

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000301609



HAND- UND LEHRBUCH
DER
NIEDEREN GEODÄSIE,

begründet

von

FRIEDRICH HARTNER,

weiland Professor an der k. k. technischen Hochschule in Wien,

fortgesetzt

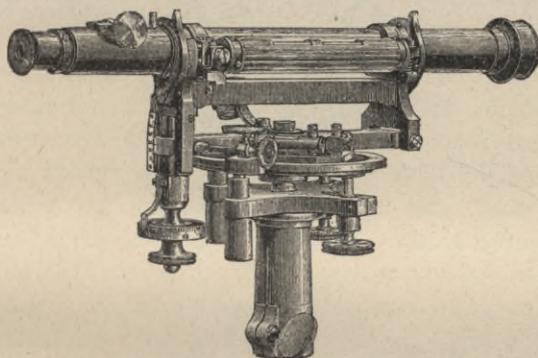
von

HOFRAT JOSEF WASTLER,

weiland Professor an der k. k. technischen Hochschule in Graz,

und

IN 10. AUFLAGE



umgearbeitet und erweitert

von

EDUARD DOLEŽAL,

so. ö. Professor an der k. k. technischen Hochschule in Wien.

II. Band.

ZARZĄD SZKOŁY GÓRNICZEJ
Dąbrowa (Śl. austr.)

WIEN.

VERLAG VON L. W. SEIDEL & SOHN, K. U. K. HOFBUCHHÄNDLER.

1910.

203



III - 307015
I



~~III 16594~~

Druck von Christoph Reisser's Söhne, Wien V.

Akc. Nr. ~~3548~~ / 50

BPK-10-142/2018

VORWORT

ZUM II. BANDE DER 9. AUFLAGE.

Der II. Band der Neubearbeitung bringt eine Reihe von Tafelbeilagen zu dem wichtigen Kapitel:

„Darstellung der Horizontal- und Vertikalaufnahmen“,

welche Zusammenstellungen von konventionellen Zeichen für Pläne, Katastral-mappen und Indikationsskizzen sowohl für schwarze als kolorierte Manier enthalten. Eine vollständige Übersicht über die konventionellen Zeichen für die Militäraufnahme 1:25.000 und die Spezialkarte 1:75.000 sowie Proben von Militärkarten werden dem Ingenieur von Nutzen sein. Nicht minder dürften die in Schraffen, beziehungsweise Schichtenlinien charakteristisch dargestellten Terrainformen und die Tafel mit den Terrainformen im Zusammenhange geeignet sein, das Kartenlesen und die Lösung verschiedener Aufgaben, welche mittels der Karten durchzuführen sind, zu fördern.

Diese reiche und instruktive Zusammenstellung erwünschter Behelfe war nur möglich durch das liebenswürdige Entgegenkommen der Herren: o. ö. Professor der k. k. Technischen Hochschule in Wien Dr. A. Schell, k. u. k. Generalmajor O. Frank, Kommandant des k. u. k. Militärgeographischen Institutes in Wien, k. k. Hofrat A. Broch, Direktor des Triangulierungs- und Kalkulbureaus des k. k. Finanzministeriums, und k. u. k. Oberst i. R. V. v. Reitzner, weshalb ihnen allen der gebührende Dank für die Förderung meiner Bestrebungen gesagt werden möge.

Dem Herrn Oberbaurate der Eisenbahnbaudirektion J. Hannak verdanke ich wertvolle Daten zum Kapitel „Tunnelabsteckung“.

Eine Reihe von mechanischen Instituten hat bereitwilligst die Abbildungen ihrer Fabrikate zur Verfügung gestellt; insbesondere war es das mathematisch-mechanische Institut von Starke & Kammerer in Wien, welches seine einheitlich schönen Figuren leihweise überließ, ferner die Wiener Firmen Gebrüder Fromme, Neuhöfer & Sohn, Rudolf und August Rost; von den

mechanischen Instituten des Auslandes seien hervorgehoben: Bre thaupt & Sohn in Kassel, Butenschön in Bahrenfeld bei Hamburg, Coradi in Zürich, Fennel Söhne in Kassel, Hildebrand in Freiberg, Sickler in Karlsruhe. Diesen Firmen sei hiemit der beste Dank zum Ausdrücke gebracht.

Auch der Verlagsbuchhandlung L. W. Seidel & Sohn sowie der Druckerei Christoph Reisser's Söhne in Wien, welche meinen Vorschlägen stets bereitwilligst entgegenkamen und bezüglich der Ausstattung des Druckes, der Figuren und der Tafeln keine Mühe und Kosten scheuten, fühle ich mich zu lebhaftem Danke verpflichtet.

Leoben, im Herbste 1904.

Prof. E. Doležal.

INHALTS-VERZEICHNIS.

II. BAND.

Zweite Abteilung.

II. Teil. Vertikalaufnahme.

Para- graph	Seite
1. Einleitende Bemerkungen	3
Erster Abschnitt. Das Nivellieren.	
2. Methoden und Einteilung des Nivellierens	6
Nivellieren ohne Berücksichtigung der Erdkrümmung und Refraktion	6
Nivellieren mit Berücksichtigung der Erdkrümmung und Refraktion	7
3. Der Nivellierapparat	10
Nivellierlatten	10
Nivellierinstrumente	11
4. Hydrostatische Nivellierinstrumente	12
5. Libellen-Nivellierinstrumente	14
Libellen-Nivellierinstrumente mit einem Diopter	14
Libellen-Nivellierinstrumente mit einem Fernrohre	17
Nivellierinstrumente mit fixem Fernrohre	18
Österreichische Nivellierinstrumente	18
Deutsche Nivellierinstrumente	31
Taschen-Nivellierinstrumente	34
Nivellierinstrumente mit verschiebbarer Skala an der Nivellierlibelle	37
Freihand-Nivellierinstrumente	40
Nivellierinstrumente mit umlegbarem Fernrohre	42
Nivellierinstrumente mit drehbarem Fernrohre und Doppellibelle	57
Untersuchung über einige allgemeine Eigenschaften der Nivellierinstrumente	65
Universal-Nivellierinstrumente	69
6. Pendel-Nivellierinstrumente	82
7. Das geometrische Nivellieren	83
Ausführung eines Punkt-, respektive Liniennivellements	84
Festlegung und Darstellung von Profilen	95
Nivellieren von Flächen	108
8. Aufgaben über das Nivellieren	112
Absteckung von Lattenprofilen bei Erdarbeiten	122
Aufnahme und Konstruktion von Horizontalkurven, Isohypsen	127
Interpolation von Isohypsenpunkten durch mechanische Hilfsmittel	132

Para- graph	Seite
9. Das trigonometrische Nivellieren	135
Formeln für die trigonometrische Bestimmung von D und H	141
Methoden des trigonometrischen Nivellierens	146
10. Genauigkeit des Nivellierens	150
11. Genauigkeit der Arbeiten mit der Sehn-, beziehungsweise Tangentschraube	156
12. Ausgleichung von Nivellements	160
Ausgleichung von Doppelnivellements	161
Ausgleichung von Nivellementschleifen	165
Ausgleichung von Nivellementnetzen	168
13. Das Präzisionsnivellement	173
Das österreichische Präzisionsnivellement	182
Zweiter Abschnitt. Das geometrische Höhenmessen.	
14. Das geometrische Höhenmessen	191
Dritter Abschnitt. Das trigonometrische Höhenmessen.	
15. Das trigonometrische Höhenmessen	198
Vierter Abschnitt. Das barometrische Höhenmessen.	
16. Barometrische Höhenmessung	218
Instrumente zur Messung des Luftdruckes	225
Quecksilberbarometer	225
Berechnung barometrisch bestimmter Höhen	238
Aneroide	244
Zeigeraneroide	245
Schraubenaneroide	253
Bestimmung der Koeffizienten und Korrekturen der Aneroidgleichungen	260
Ausführung von barometrischen Höhenmessungen	275
Höhenmessung mit zwei Aneroiden	276
Höhenmessung mit einem Aneroide	281
Genauigkeit der barometrischen Höhenmessung	294
III. Teil. Graphische Darstellung der Aufnahmen.	
Erster Abschnitt. Darstellung der Horizontalaufnahme.	
17. Das Situationszeichnen	300
18. Kopieren und Vervielfältigen der Pläne	304
Zweiter Abschnitt. Darstellung der Vertikalaufnahme.	
19. Das Terrainzeichnen	309
20. Technische Terrainlehre	320
Orographie	321
Dritte Abteilung.	
Erster Abschnitt. Die Tachymetrie.	
21. Tachymeter älterer Konstruktion	342
22. Tachymeter neuerer Konstruktion	355
Methoden der Tachymetrie	362

Para- graph	Seite
Reichenbachsche und logarithmische Methode	362
Trigonometrische Methoden	368
23. Tachymeter mit einer Sehnen- oder Tangentenschraube	375
24. Automatische und Reduktions- oder Schiebetachymeter	378
25. Tachygraphometer	387
26. Hilfsmittel zur Bestimmung der linearen tachymetrischen Elemente D und h	392
27. Ausführung von tachymetrischen Aufnahmen	400
Die Feldarbeiten	400
Die Hausarbeiten	407

Zweiter Abschnitt. Abstecken von Geraden und Kurvenbogen.

28. Abstecken von geraden Linien	416
29. Abstecken von Kurvenbogen	422
Festlegung und Absteckung der Hauptpunkte	423
Absteckung von Detailpunkten des Kurvenbogens	425
Einrückungsmethoden	430
30. Übergangskurve und ihre Absteckung	436
31. Tunnelabsteckungen	442

Dritter Abschnitt. Photogrammetrie und Stereophotogrammetrie.

32. Theorie der photogrammetrischen Aufnahme	455
33. Photogrammetrische Instrumente	463
34. Ausführung einer photogrammetrischen Aufnahme	475
Die Feldarbeiten	475
Die Hausarbeiten	477
35. Phototopographie	479
36. Stereophotogrammetrie	482

Vierter Abschnitt. Die Militäraufnahme.

37. Militärtopographische Aufnahme	509
38. Militärkartenwerke und ihre technische Verwendung	519

Fünfter Abschnitt.

39. Anwendung der kotierten Projektion auf Trassierungsaufgaben	530
---	-----

Autorenregister	537
Sachregister	544

Tafelbeilagen.

Tafel	I. Konventionelle Bezeichnungen für Pläne.
"	II. Zeichenerklärungen für Katastralmappen und Indikationsskizzen (schwarze Manier).
"	III. Konventionelle Bezeichnungen für Katastralmappen und Indikationsskizzen (kolorierte Manier).

- Tafel IV. Konventionelle Bezeichnungen für Katastralmappen und Indikationsskizzen (kolorierte Manier).
- „ V. Ein Teil einer lithographierten Katastralmappe (in schwarzer und kolorierter Manier).
- „ VI—IX. Konventionelle Bezeichnungen für Terraingegenstände, Grenzen und sonstige Verhältnisse (Militärkarten).
- „ X. Terrainformen im Zusammenhange.
- „ XI. Schichtenplan für Terrainformen im Zusammenhange mit verschiedenen Aufgaben.
- „ XII. Proben von Militärkarten.
- „ XIII. Übersichtsblatt zur Spezialkarte der Österreichisch-ungarischen Monarchie im Maße 1 : 75.000.
-

Zweite Abteilung.

II. und III. Teil.

Vertikalaufnahme. Graphische Darstellung
der Aufnahmen.

II. Teil.

Vertikalaufnahme.

§ 1. Einleitende Bemerkungen.

1. Zur unzweideutigen Festlegung eines Raumpunktes genügt die horizontale Projektion desselben (Situation) allein nicht, sondern es muß auch noch sein Vertikalabstand von einer Vergleichungsfläche oder -ebene, auf welche der Punkt bezogen wird, bekannt sein. Dieser Vertikalabstand wird als die Kote des betreffenden Punktes bezeichnet und stellt die dritte Raumkoordinate des Punktes vor.

Die Raumpunkte pflegt man auf den wahren oder scheinbaren Horizont eines streng definierten Punktes zu beziehen; im ersten Falle bildet eine Kugel-
fläche, im zweiten die Ebene des scheinbaren Horizontes die Vergleichungs-
fläche, respektive -ebene.

Haben zwei Punkte der Erdoberfläche gleiche Entfernungen vom Mittel-
punkte der Erde, so sagt man: beide Punkte liegen gleich hoch; sind dagegen
die Entfernungen verschieden, so nennt
man jenen Punkt den höher liegenden, der
vom Erdmittelpunkte weiter entfernt ist.

In Fig. 1 seien A und B zwei Punkte
der Erdoberfläche, M der Mittelpunkt der
Erde, so daß die Zeichenfläche die Ebene
darstellt, welche durch ABM gelegt ist
und mit der Oberfläche der Erde den
Schnitt $CABD$ gibt; V_1 und V_2 stellen
die Vertikallinien der Punkte A und B
vor und $NCND$ ist das Meeresniveau.
Denkt man sich mit MA und MB Kreis-
bogen gezogen, so stellen diese die wahren
Horizonte der Punkte A und B vor und sind
geometrische Orte gleich hoher Punkte.

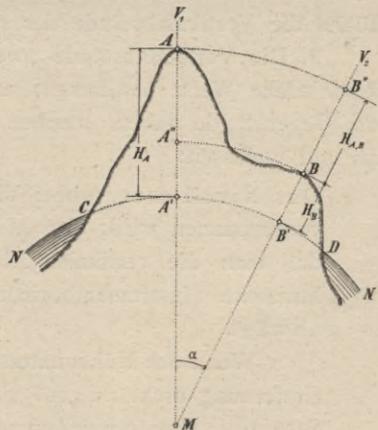


Fig. 1.

Der Höhenunterschied der beiden Punkte A und B wird als der Abstand der beiden wahren Horizonte von A und B definiert und ist durch die Strecken $H_{A,B} = \overline{AA'} = \overline{B'B}$ gegeben.

Die Meereshöhe oder absolute Höhe des Punktes A wird durch seinen Abstand vom Meeresniveau angegeben; es ist also

$$\overline{AA'} = H_A \text{ und analog } \overline{BB'} = H_B.$$

Die relative Höhe (Höhendifferenz) der beiden Punkte A und B kommt dem Abstände der wahren Horizonte der beiden Punkte gleich, und zwar ist die relative Höhe des Punktes A über B

$$H_{A,B} = \overline{AA'} = \overline{B'B}$$

und die relative Höhe des Punktes B über A

$$H_{B,A} = \overline{BB'} = \overline{A'A},$$

woraus mit Berücksichtigung des Zeichens unmittelbar folgt:

$$H_{A,B} + H_{B,A} = 0, \dots \dots \dots 1)$$

ein wichtige Relation zwischen den relativen Höhen zweier Punkte.

Der Zusammenhang zwischen der relativen und absoluten Höhe ist gegeben durch:

$$H_{A,B} = \overline{AA''} = \overline{AA'} - \overline{A''A'} = \overline{AA'} - \overline{BB'} = H_A - H_B, \dots \dots \dots 2)$$

d. h. die relative Höhe (Höhendifferenz) zweier Punkte ist gleich der Differenz der absoluten Höhen dieser Punkte.

Ist der Horizontalabstand der beiden Punkte A und B und damit der Mittelpunktswinkel α nicht groß, so können die Vertikallinien V_1 und V_2 als parallel angenommen werden, es gehen die wahren Horizonte von A und B in die scheinbaren Horizonte über und es sind dann die absoluten Höhen die Vertikalabstände der scheinbaren Horizonte vom Meeresniveau und die relativen Höhen die Vertikalabstände der scheinbaren Horizonte untereinander.

2. Die Vertikalabstände zweier Horizonte, die Höhen, lassen sich auf verschiedene Weise bestimmen; sämtliche Methoden, welche diese Ausmittlung zum Gegenstande haben, machen die Höhenmeßkunst oder Hypsometrie aus und umfassen:

1. Das Nivellieren, wobei die Ermittlung des Höhenunterschiedes direkt vorgenommen wird; der Abstand der Horizonte wird dadurch gefunden, daß man die vertikalen Abstände der beiden Punkte von einem Hilfs-horizonte (Instrumenthorizonte) unmittelbar miteinander vergleicht oder abwägt.

Wenn der Höhenunterschied der beiden Punkte und ihre horizontale Entfernung nicht zu groß sind, so kann er schon aus einem Standpunkte, Station, „Stationsnivellement“, erhalten werden; im entgegengesetzten Falle muß die ganze Strecke zwischen den beiden Punkten in einzelne Teilstrecken,

Stationen, geteilt und die Höhendifferenzen derselben bestimmt werden; die gesuchte Höhe wird dann durch Bildung der algebraischen Summe der Teilhöhen erhalten. Dieser Vorgang stellt das „Zusammengesetzte Nivellement“ vor.

2. Das eigentliche Höhenmessen, wobei die Bestimmung des Vertikalabstandes der Horizonte zweier Punkte indirekt erfolgt; der fragliche Abstand wird nicht selbst gemessen, sondern aus anderen gemessenen oder beobachteten Größen durch Rechnung abgeleitet; man unterscheidet hiebei:

- a) das geometrische Höhenmessen,
- b) das trigonometrische Höhenmessen und
- c) das barometrische oder physikalische Höhenmessen,

je nachdem bei der Ausmittlung geometrische und trigonometrische Beziehungen oder physikalische Gesetze zur Anwendung gelangen.

Außer dem strengen Begriffe, der dem Worte Nivellement nach der gegebenen Erklärung zukommt, versteht man darunter im weiteren Sinne des Wortes das Ergebnis, welches durch die Ausmittlung der Höhenunterschiede einer zusammenhängenden Reihenfolge von Punkten erhalten wird, wenn auch die Höhenunterschiede nicht durch wirkliches Nivellieren, sondern auf Grund von Höhenmessungen abgeleitet wurden. Man spricht daher von einem barometrischen, aneroidischen u. s. w. Nivellement.

Erster Abschnitt.

Das Nivellieren.

§ 2. Methoden und Einteilung des Nivellierens.

Wenn der Höhenunterschied zweier Punkte A und B ermittelt wird, so kann dies dadurch geschehen, daß man

- a) den Abstand der scheinbaren Horizonte oder
- b) den Abstand der wahren Horizonte beider Punkte sucht;

im ersten Falle nimmt man auf die Krümmung der Erde und die Refraktion keine Rücksicht, während sie im zweiten Falle berücksichtigt werden.

Nivellieren ohne Berücksichtigung der Erdkrümmung und Refraktion.

Hiebei gibt es zwei Methoden:

- a) das Nivellieren aus den Enden oder Vorwärtsnivellieren und
- b) das Nivellieren aus der Mitte.

3. Nivellieren aus den Enden. Hiebei wird im Punkte A (Fig. 2) das Instrument aufgestellt und in der Höhe $AC = J$ (der Instrumenthöhe) mit dem Instrumente eine horizontale Ebene HH , scheinbarer Horizont, Nivellierebene, hergestellt; diese trifft die in B vertikal stehende Latte im Punkte D , wobei sich aus der Abmessung $\overline{BD} = L$ die Lattenhöhe ergibt.

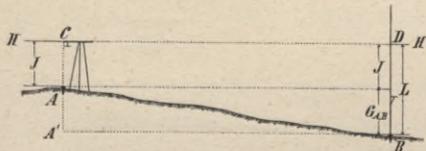


Fig. 2.

Das Gefälle der beiden Punkte A und B wird:

$$G_{A,B} = L - J, \dots \dots \dots 1)$$

d. h. das Gefälle ist gleich der Lattenhöhe weniger der Instrumenthöhe.

Denkt man sich das Instrument im Punkte B so aufgestellt, daß die Instrumentenhöhe gleich dem früheren L wird, so ergibt sich in A als Lattenhöhe J und das Gefälle von B nach A rechnet sich mit:

$$G_{B,A} = J - L, \dots \dots \dots 1)$$

somit durch Addition von Gleichung I) und 1):

$$G_{A,B} + G_{B,A} = 0, \dots \dots \dots 2)$$

eine für das Nivellieren grundlegende Beziehung.

Die Strecke $A'B = d$ nennt man die Zielweite und sie beträgt, obige Verhältnisse vorausgesetzt, etwa 100 m.

4. Nivellieren aus der Mitte. In diesem Falle wird die Latte zwischen A und B ungefähr in der Mitte bei S , Station, aufgestellt; in A und B denke man sich vertikal stehende Latten (Fig. 3).

Die durch den Punkt C gehende horizontale Nivellierebene gibt beim Rückblicke die Lattenhöhe l als „Latte rückwärts“ und beim Vorblicke L als „Latte vorwärts“.

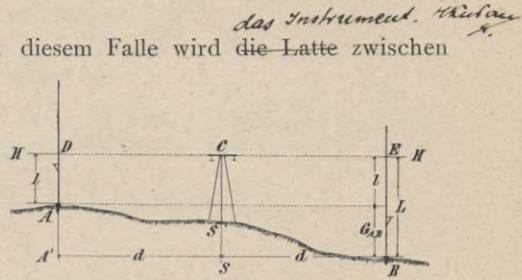


Fig. 3.

Das Gefälle der beiden Punkte A und B wird aus der Fig. 3 erhalten:

$$G_{A,B} = L - l, \dots \dots \dots II)$$

d. h. das Gefälle ist gleich der „Lattenhöhe vorwärts“ weniger der „Lattenhöhe rückwärts“.

Dieses Verfahren in der Bestimmung des Gefälles heißt „Nivellieren aus der Mitte“.

Ist $G_{A,B} > 0$, so findet von A nach B ein Gefälle statt; hat man $G_{A,B} = 0$, so liegen die Punkte A und B gleich hoch, und ist $G_{A,B} < 0$, so liegt B höher als A und von A gegen B hat man eine Steigung.

Die Lattenhöhen können entweder unmittelbar an der Latte abgelesen werden, oder aber man ermittelt sie auf trigonometrischem Wege; im erstenen Falle hat man das geometrische Nivellieren und im zweitenen Falle das trigonometrische Nivellieren, welche beide Arten des Nivellierens keine eigenen Methoden des Nivellierens darstellen, sondern nur verschiedene Bestimmungsweisen der Lattenhöhen kennzeichnen.

Nivellieren mit Berücksichtigung der Erdkrümmung und Refraktion.

5. Sind A und B (Fig. 4) zwei Punkte der Erdoberfläche in einem solchen Horizontalabstände, daß die Vertikallinien V_1 und V_2 dieser Punkte nicht mehr als parallel angenommen werden können, so muß das Gefälle der beiden Punkte A und B als Vertikalabstand der wahren Horizonte von A und B bestimmt werden, also

$$G_{A,B} = \overline{BD} = \overline{BE} - \overline{DE}.$$

Da nun $\overline{DE} = \overline{AC} = J$ der Instrumentenhöhe gleichzusetzen ist, so hat man:

$$\overline{G_{A,B}} = \overline{BE} - J \dots \dots \dots 3)$$

Würde die durch das Instrument C bestimmte Horizontalebene HH , Nivellierebene, die Latte im Punkte F treffen, wären D und E die Schnittpunkte der wahren Horizonte von A und C mit der Latte, so würde $\overline{EF} = e$ die Erhebung des scheinbaren Horizontes von C über den wahren Horizont desselben Punktes in der Vertikalen V_2 darstellen.

Setzen wir näherungsweise $\overline{MC} = R$, dem mittleren Erdradius, und $\overline{CE} = d$, dem Horizontalabstande der Punkte A und B , so folgt:

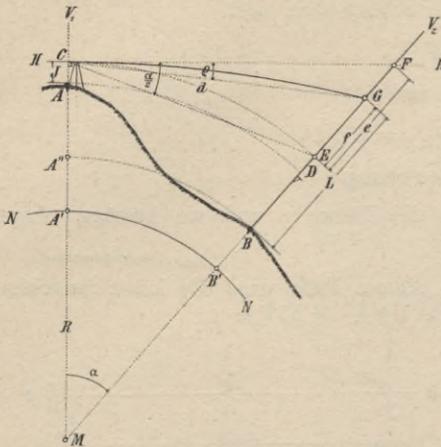


Fig. 4.

Da nun:

$$\overline{EF} = \overline{MF} - \overline{ME} = \overline{MF} - \overline{MC}$$

$\overline{EF} = e$, $\overline{MC} = R$ und $\overline{MF} = \frac{R}{\cos \alpha}$ ist, so wird:

$$e = \frac{R}{\cos \alpha} - R = \frac{1 - \cos \alpha}{\cos \alpha} R \dots \dots \dots 4)$$

Der Winkel α ist klein, man kann daher die Auflösung in eine Reihe vornehmen:

$$\cos \alpha = 1 - \frac{\alpha^2}{2} + \frac{\alpha^4}{24} - \dots \dots$$

daher

$$e = \frac{1 - \left(1 - \frac{\alpha^2}{2} + \frac{\alpha^4}{24} - \dots\right)}{1 - \frac{\alpha^2}{2} + \frac{\alpha^4}{24} - \dots} R = \frac{\alpha^2}{2} \left(1 + \frac{\alpha^2}{2}\right) R = \frac{R\alpha^2}{2} + \frac{R\alpha^4}{4} = \frac{R\alpha^2}{2} \dots \dots 5)$$

bei Vernachlässigung der höheren Potenzen von α .

Berücksichtigt man, daß $d = R \cdot \alpha$ oder $\alpha = \frac{d}{R}$ ist, so geht die Gleichung 5) über in:

$$e = \frac{R \cdot \alpha^2}{2} = \frac{d^2}{2R}, \dots \dots \dots 6)$$

eine Gleichung, welche die Erhebung des scheinbaren Horizontes über den wahren gibt.

6. Die geschilderten Verhältnisse existieren in der Wirklichkeit nicht, sondern es macht sich noch der Einfluß der Refraktion geltend. Der Beobachter, welcher von C aus in der Horizontalebene HH blickt, wird an der Latte bei G eine Ablesung machen, er ermittelt die Lattenhöhe $\overline{BG} = L$.

In der Gleichung 3) braucht man die Strecke \overline{BE} , somit muß $\overline{EG}=f$ in Abzug gebracht werden.

Da nun $\sphericalangle FCE = \frac{\alpha}{2}$ und $\sphericalangle FCG = \rho = \frac{k}{2} \alpha$ ist, wobei $k = 0.1306$ die Refraktionskonstante bedeutet, und da sich ferner die Tangenten kleiner Winkel, auf denselben Halbmesser CE bezogen, wie die Winkel verhalten, so besteht in den Dreiecken FCE und FCG die Relation:

$$e : f = \frac{\alpha}{2} : \left(\frac{\alpha}{2} - \rho \right) = \frac{\alpha}{2} : \left(\frac{\alpha}{2} - \frac{\alpha}{2} k \right) = 1 : (1 - k)$$

und hieraus $f = (1 - k)e$ 7)

und nach Einführung des Wertes für e aus Gleichung 6)

$$f = (1 - k) \frac{d^2}{2R} = \frac{d^2}{2R} - k \frac{d^2}{2R} = e - r, \dots\dots\dots 8)$$

worin e die Korrektion wegen Erhebung des scheinbaren Horizontes über den wahren (Horizontenerhebung) und r den Einfluß der Refraktion bedeuten.

Wird nun $k = 0.1306$
 $R = 6,370.000 m$ } eingeführt, so wird erhalten:

$$f = 0.000\ 000\ 0683\ d^2, \dots\dots\dots 9)$$

wonach die Korrektion f und ihre Bestandteile aus der folgenden Tabelle mit dem Argumente d bestimmt werden können.

d	Korrektion wegen der		$f = e - r$	d	Korrektion wegen der		$f = e - r$
	Horizont- erhebung e	Refraktion r			Horizont- erhebung e	Refraktion r	
m	m	m	m	m	m	m	m
60	0.0003	0.0000	0.0002	300	0.0071	0.0003	0.0061
80	05	01	04	350	96	0.0013	84
100	08	01	07	400	0.0126	16	0.0109
120	0.0011	01	0.0010	450	159	21	138
140	15	02	13	500	196	26	171
160	20	03	17	550	237	31	206
180	25	03	22	600	283	37	247
200	31	04	27	700	385	50	335
220	38	05	33	800	50	7	44
240	45	06	39	900	64	8	55
260	53	07	46	1000	78	0.010	68
280	62	08	54				

Da man für den normalen Zustand der Atmosphäre einen mittleren Wert von f aus der vorstehenden Tabelle finden kann, so ist auch jene Lattenhöhe \overline{BE} bestimmbar, nämlich $\overline{BE} = L - f$, welche dem Schnitte des wahren Horizontes von C entspricht. Mit Berücksichtigung dieses Wertes geht dann die Gleichung 3) über in:

wobei $G_{A,B} = (L - f) - J$,
 bedeutet. $f = (1 - k) \frac{d^2}{2R}$ } III)

Beim Nivellieren aus der Mitte wird bei verschiedenen Zielweiten, und zwar beim Rückblicke d_1 die Korrektion

$$f_1 = (1 - k) \frac{d_1^2}{2R} \left. \vphantom{\frac{d_1^2}{2R}} \right\} \text{sein,}$$

und beim Vorblicke d_2 die Korrektion

$$f_2 = (1 - k) \frac{d_2^2}{2R}$$

daher $G_{A,B} = (L - f_2) - (l - f_1) = L - l - (f_2 - f_1) = L - l - \Delta f_{1,2}$
 wobei $\Delta f_{1,2} = f_2 - f_1 = \frac{1 - k}{2R} (d_2^2 - d_1^2)$ } . . . IV)

den kombinierten Einfluß der Erhebung des scheinbaren Horizontes über dem wahren und der Refraktion bedeutet.

Dieser Einfluß kann dadurch eliminiert werden, daß die Zielweiten d_1 und d_2 beim Rückblicke und Vorblicke gleich lang gewählt werden.

In den Fundamentalgleichungen I), II) und III), IV) für das Nivellieren erscheinen die Lattenhöhen L und l , welche eine doppelte Bestimmungsweise zulassen, und zwar:

1. es werden die Lattenhöhen unmittelbar an Maßstäben abgelesen, man spricht dann vom geometrischen Nivellieren, oder aber
2. die Lattenhöhen werden durch trigonometrische Berechnung abgeleitet, in welchem Falle trigonometrisches Nivellieren vorliegt.

§ 3. Der Nivellierapparat.

Wie aus dem Vorhergehenden klar ist, benötigen wir zur Ausführung des Nivellierens zweierlei Vorrichtungen, und zwar:

1. Instrumente, um eine horizontale Ebene, Nivellierebene, herzustellen, die Nivellierinstrumente, und
2. Apparate zum Bestimmen der Vertikalabstände gegebener Punkte von der mit dem Instrumente hergestellten Horizontalebene; es sind dies Maßstäbe, Nivellierlatten.

Nivellierlatten.

7. Eine Nivellierlatte ist eine prismatische, hölzerne Stange, gewöhnlich von 3 bis 4 m Länge, von entsprechender Breite und Dicke; der Querschnitt ist zumeist rechteckig. Die Nivellierlatten besitzen ausschließlich gleichmäßige Teilungen und sind meist Latten zum Selbstablesen.

Die Lattenteilung und ihre Beschreibung ist bei Nivellierlatten in der verschiedenartigsten Weise ausgeführt worden, und zwar zu dem Zwecke, um die Schätzung in das kleinste Lattenintervall und die Ablesung zu erleichtern.

Einfache Strichteilung eignet sich wohl wenig für genauere Bestimmungen der Lattenhöhe, weil die Breite der Striche die Schätzung der Millimeter nicht unbedeutend erschwert. Am geeignetsten haben sich Latten mit einfacher oder auch doppelter Felder- oder Kastenteilung erwiesen, wobei für eine übersichtliche Bezifferung Sorge getragen werden soll; grundsätzlich soll z. B. jede Zahl zu dem Dezimeterfelde gehören, innerhalb dessen sie sich befindet, weil im entgegengesetzten Falle besonders bei kurzen Zielweiten, wo das Gesichtsfeld

des Fernrohres nur einen beschränkten Überblick der Lattenteilung gewährt, grobe Irrtümer in der Ablesung leicht begangen werden können.

In Deutschland werden Nivellierlatten neben der üblichen Bezifferung auch noch mit der dekadischen Ergänzung der Dezimeterzahlen versehen, welche man im Deutschen Reiche nicht ungerne bei der Ermittlung der Lattenhöhe zwecks Kontrolle abliest (siehe Nr. 159); so z. B. steht neben 1·5 noch $\times 8\cdot5$, wobei das liegende Kreuz \times das Symbol für die dekadische Ergänzung bedeutet.

Nivellierlatten mit Zielscheiben kommen beim trigonometrischen Nivellieren und bei Planierungs- und Trassierungsaufgaben mit Vorteil zur Verwendung, beim geometrischen Nivellieren sind sie wohl heute gänzlich durch die Latten zum Selbstablesen verdrängt.

Näheres über Latten siehe I. Band, Nr. 217. Distanzlatte.

Die Nivellierlatte muß in einem Punkte vertikal aufgestellt und es muß auch dafür Sorge getragen werden, daß eine unveränderte Lage in der Höhe mittels einer Vorrichtung gegen Einsinken gewährleistet wird.

Es müssen daher die Nivellierlatten stets Senkel oder Libellen, Dosenlibellen oder Kreuzlibellen, zur Vertikalstellung besitzen und außerdem muß eine Unterlagsplatte beigegeben sein, auf welche die Latte aufgestellt wird.

8. Die Unterlagsplatte, die Kröte oder der Frosch (Fig. 5) besteht aus einer dreieckigen Platte aus Guß- oder Schmiedeeisen; an der unteren Fläche derselben sind etwa 2 cm lange Metallspitzen angebracht, mittels welcher die Platte in das Erdreich eingedrückt wird. Auf der oberen Ebene der Platte ist eine Stahlkalotte eingeschraubt, auf welche die Nivellierlatte, die mit einer entsprechenden Höhlung versehen ist, aufgesetzt werden kann. Durch diese Vorrichtung erhält die Nivellierlatte eine sichere und solide Unterlage.

Bei genauen Nivellements sollen immer Latten mit Libellen, Unterlagsplatten und eventuell auch mit Spreizen verwendet werden.

Besondere Lattenkonstruktionen finden im Kapitel „Präzisionsnivellement“ nähere Behandlung.

Nivellierinstrumente.

9. Einteilung der Nivellierinstrumente. Im Laufe der Zeit ist eine große Anzahl von Nivellierinstrumenten konstruiert worden; allen liegt der Gedanke zu grunde, eine horizontale Ebene, Nivellierebene, herzustellen, beziehungsweise an

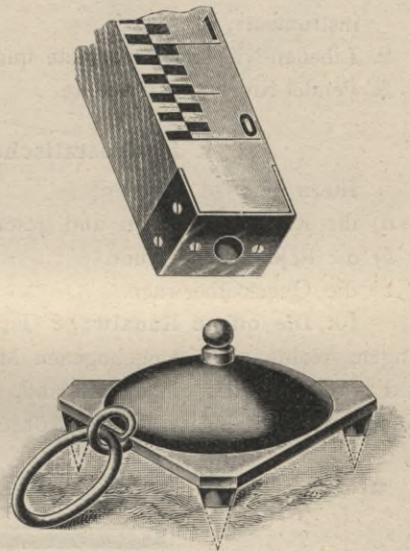


Fig. 5.
($\frac{1}{2}$ der natürlichen Größe.)

der Nivellierlatte, eine dem Instrumenthorizonte entsprechende Lattenhöhe zu ermitteln. Solche Nivellierebenen können in verschiedener Weise hergestellt werden, und zwar:

1. durch Benützung der Oberflächen von Flüssigkeiten, welche nach hydrostatischen Gesetzen in kommunizierenden Röhren eine horizontale Ebene darstellen;
2. durch Heranziehung einer Libelle, deren Haupttangente an der Marke (in Zukunft kurz Haupttangente genannt) im Augenblicke des Einspielens horizontal ist und in entsprechender Verbindung mit einer horizontalen Visierebene des Instrumentes steht, und endlich
3. durch Verwendung der mittels eines Senkels hergestellten Vertikalen, aus welcher absoluten Richtung eine horizontale Ebene, die Nivellierebene, abgeleitet wird.

Man kann daher drei Hauptgruppen von Nivellierinstrumenten unterscheiden:

1. Nivellierinstrumente mit kommunizierenden Röhren, hydrostatische Nivellierinstrumente,
2. Libellen-Nivellierinstrumente und
3. Pendel-Nivellierinstrumente.

§ 4. Hydrostatische Nivellierinstrumente.

Hiezu sind zu rechnen:

- a) die Kanalwage, offen und geschlossen,
- b) die Schlauchwage und
- c) die Quecksilberwage.

10. Die offene Kanalwage (Fig. 6). Sie besteht aus einer 60 bis 100 *cm* langen, rechtwinklig umgebogenen Metallröhre (Blech) RR' , in welche bei r und r' Glaszylinder eingekittet sind, die einige Zentimeter über die Metallröhre hinausragen; bei H ist mit der Röhre eine Hülse in Verbindung, um die ganze

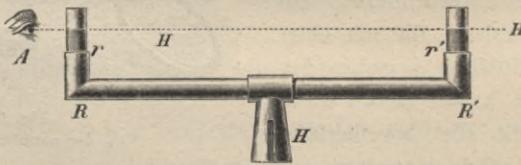


Fig. 6.

(Etwa $\frac{1}{15}$ der natürlichen Größe.)

Vorrichtung auf ein Zapfenstativ aufsetzen zu können. Die Röhre wird mit Wasser so weit gefüllt, daß es bis in den freien Teil der Glaszylinder reicht. Das Wasser steht dann, den hydrostatischen Gesetzen folgend, in beiden Zylindern gleich hoch, d. h. beide Wasserspiegel liegen in einer und derselben Horizontalebene HH , und wenn man das Auge so hält, daß der Sehstrahl an den beiden Wasserspiegeln zugleich vorbeistreift, so ist dadurch eine horizontale Visierebene HH hergestellt.

Eine etwaige Prüfung und Berichtigung fällt bei diesem Instrumente weg, weil sich die Wasseroberflächen in beiden Röhren nach physikalischen Gesetzen stets in einer Horizontalebene befinden; übrigens ist die Bedingung zu erfüllen, daß die Glaszylinder nicht zu enge und im Innern vollkommen rein und glatt sind, um den Einfluß der Adhäsion möglichst zu vermeiden.

Um die Wasserniveaus und ihre Abgrenzung besser kenntlich zu machen, wird sehr oft das Wasser gefärbt.

11. Die geschlossene Kanalwage. In neuerer Zeit findet für untergeordnete Arbeiten die geschlossene Kanalwage von kreisrunder oder rechteckiger Form Anwendung. Die kreisrunde Kanalwage (Fig. 7) hat 10 bis 12 *cm* im Durchmesser und wird in freier Hand gehalten und als Freihand-Nivellierinstrument (Nr. 36) benützt. Die rechteckige Kanalwage (viereckig gebogene Röhre) wird entweder als Freihandinstrument in den Dimensionen 21×12 *cm* ausgeführt oder größer mit 80 *cm* Länge und 12 *cm* Höhe, in welchem Falle sie auf ein Stativ befestigt wird.

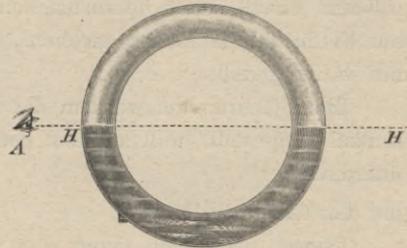


Fig. 7.

(1/4 der natürlichen GröÙe.)

12. Die Quecksilberwage. Sie beruht auf demselben Prinzipie wie die Kanalwage; die Flüssigkeit ist hier das Quecksilber. Auf die Quecksilberoberflächen werden Elfenbeinwürfel mit Dioptern aufgesetzt, welche bestimmte Bedingungen zu erfüllen haben.

Das Instrument ist schwer, erfordert besondere Sorgfalt beim Gebrauche und findet daher heute fast keine Anwendung mehr.

13. Schlauchwage. (Fig. 8.) Sie besteht aus zwei Glaszylindern *A* und *B*, welche mit Metallbeschlägen versehen sind, auf welche ein Gummischlauch,

gewöhnlich von 30 bis 40 *m* Länge, aufgeschoben werden kann; die oberen Metallbeschläge der Glaszylinder tragen Hähne H_1 und H_2 zum Abschlusse der Glasröhren.

Beim Übertragen des Instrumentes müssen die Hähne geschlossen werden; denn durch verschiedene Höhenlage der beiden Zylinder müÙte ein Ausfließen der Flüssigkeit eintreten, was durch den Hahnabschluß verhindert wird.

Die Flüssigkeitsoberfläche nimmt in beiden Glaszylindern dieselbe Höhe *HHH* ein und man ist daher in der Lage, Nivellierungen vorzunehmen.

Bei verschiedenen Arbeiten des Hochbaues, um Höhen von Türstöcken, Podesten, Fensterbrüstungen u. s. w. angeben, beziehungs-

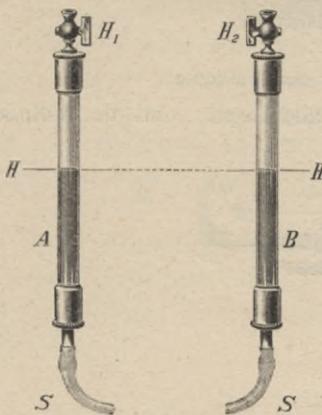


Fig. 8.

(Etwa 1/4 der natürlichen GröÙe.)

weise kontrollieren zu können, bedient man sich dieser einfachen Vorrichtung. Man legt z. B. den einen Glaszylinder an die Fensterbrüstung so an, daß das Flüssigkeitsniveau in die Höhe der Ebene der Fensterbrüstung kommt; wird nun der zweite Zylinder an die zu prüfende Brüstung angelegt, so kann unmittelbar der Höhenunterschied beider konstatiert und bestimmt werden.

Da der Apparat absolut keine Prüfung und Berichtigung notwendig hat und sein Gebrauch sehr einfach ist, so sieht man ein, daß er in der Praxis des Hochbaues und dort, wo keine intelligenten Hilfskräfte zur Verfügung stehen, nützliche und berechnete Anwendung findet.

Von Frankreich ging die Anregung aus, die Schlauchwage auch zu größeren Nivellements heranzuziehen. Es wurde dem Schlauche eine Länge von 80 bis 300 *m* Länge gegeben, die Glaszylinder hatten eine Höhe von 2 *m* und waren geteilt.

Beim Gebrauche werden die Röhren auf die zu nivellierenden Punkte vertikal aufgestellt und an den geteilten Glasröhren *L* und *l* abgelesen. Die Differenz

$$G_{A,B} = L - l \dots \dots \dots 1)$$

gibt das Gefälle.

Dieses Instrument eignet sich zur Anwendung bei Nebel und bei Nacht; es ist auch nicht zu befürchten, daß verschiedene Temperaturen an beiden Endpunkten das Resultat wesentlich beeinflussen.

§ 5. Libellen-Nivellierinstrumente.

14. Einteilung. Bei diesen Instrumenten wird zur Herstellung der Nivellierebene die Haupttangente im Normalpunkte (Marke) einer Röhrenlibelle herangezogen; die Nivellierebene wird durch die horizontale Ebene eines Diopters oder eines Fernrohres dargestellt, weshalb man auch die Libellen-Nivellierinstrumente in zwei Gruppen einteilen kann:

- a) Libellen-Nivellierinstrumente mit einem Diopter und
- b) Libellen-Nivellierinstrumente mit einem Fernrohre.

Libellen-Nivellierinstrumente mit einem Diopter.

Unter diesen sind zu nennen: Das Nivellierdiopter und der Bohnsche Gefällmesser.

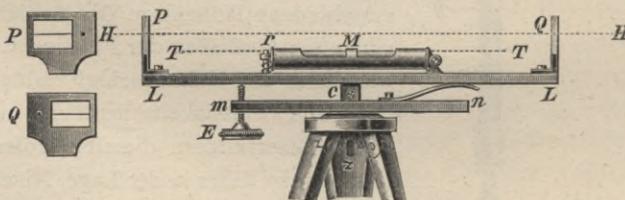


Fig. 9.

($\frac{1}{10}$ der natürlichen Größe.)

15. Das Nivellierdiopter (Fig. 9). Es besteht aus einem Messinglineale, 30 bis 50 *cm* lang, 3 bis 5 *cm* breit und entsprechend dick, an dessen

Enden zwei Diopterlamellen P und Q senkrecht zur Linealebene befestigt sind; das Lineal trägt auf seiner oberen Fläche eine justierbare Röhrenlibelle und an der unteren Fläche ist es durch das Zirkelgewinde c mit dem Teile mn in Verbindung, in welchem sich ein Zentralzapfen z oder eine Hülse befindet, um mit einem geeigneten Stative in Verbindung gebracht zu werden. Durch die Feinschraube E , Elevationsschraube, kann LL um c gedreht und die Libelle zum Einspielen gebracht werden.

Bei justiertem Instrumente soll in diesem Falle die Visierebene, gebildet durch die Okularöffnung und den Objektivfaden der gegenüberliegenden Lamelle, horizontal sein; die bei n angebrachte Feder dient zur Beseitigung des toten Ganges.

Beim Gebrauche dieses Instrumentes gibt man dem Teile mn oder dem Lineale durch das Stativ nahezu eine horizontale Lage, bringt dann die Libelle durch E genau zum Einspielen und erhält hierauf sowohl in der Richtung von P gegen Q als in jener von Q gegen P eine horizontale Visur.

16. Prüfung und Berichtigung. Das Nivellierdiopter soll die Eigenschaft haben, daß die Haupttangente im Normalpunkte der Nivellierlibelle parallel zur Nivellierebene verläuft.

Die diesfällige Prüfung wird auf nachstehende Weise vorgenommen. Man wählt in ziemlich ebenem Terrain zwei Punkte A und B (Fig. 10) im Abstände von 30 bis 40 m , stellt das Instrument über A und eine Nivellierlatte in B vertikal auf. Wenn man nicht feste, flache Steine am Boden antrifft, so treibt man zylindrische, unten zugespitzte Pflöcke aus Holz, die oben vollkommen eben sind, sogenannte Nivellierpflöcke, in die Erde, um die Punkte A und B genau zu bezeichnen.



Fig. 10.

Bei einspielender Libelle wird die Lesung L_1 an der Latte gemacht, oder falls eine Latte mit Zielscheiben benützt wird, wird diese so lange verschoben, bis der Horizontalfaden der Objektivlamelle die Zielscheibe symmetrisch teilt. Man erhält so die Lattenhöhe L_1 , mißt die Instrumenthöhe J_1 , d. i. die Höhe der Okularöffnung über dem Punkte (Pflöcke) A , und ermittelt das Gefälle von A nach B :

$$G_{A,B} = L_1 - J_1 \dots \dots \dots 1)$$

Nun stellt man das Instrument in B , die Latte dagegen in A auf und wiederholt denselben Vorgang mit Benützung derselben Diopter wie bei der ersten Aufstellung; heißt die jetzige Lattenhöhe L_2 und die Instrumenthöhe J_2 , so hat man:

$$G_{B,A} = L_2 - J_2 \dots \dots \dots 2)$$

Offenbar sollen die beiden Resultate, wenn das Instrument richtig ist, der Zahl nach gleich, aber mit verschiedenen Vorzeichen versehen sein, da eines davon ein Gefälle, das andere eine gleich große Steigung angibt. Da die

Beziehung besteht, daß $G_{A,B} + G_{B,A} = 0$ ist, so muß für ein richtiges Instrument

$$(L_1 + L_2) - (J_1 + J_2) = 0 \dots\dots\dots 3)$$

sein.

Sind Libelle und Visur nicht parallel, so kann die Gleichung 3) nicht zutreffen, weil dann unrichtige Lattenhöhen L_1, L_2 erhalten werden. Denn ist beim Einspielen der Blase die Visur nicht horizontal, sondern z. B. etwas aufwärts gerichtet, so wird dadurch die Lattenhöhe L_1 und ebenso L_2 um ein gewisses Stück x zu groß erhalten; ist dagegen die Visur abwärts geneigt, so werden L_1 und L_2 um eine Größe x zu klein ausfallen. Bezeichnen demnach L_1, L_2 die durch Beobachtung erhaltenen, mit einem Fehler $+x$ behafteten Lattenhöhen, sind also $L_1 - x$ und $L_2 - x$ die richtigen Lattenhöhen, so müssen diese, für L_1 und L_2 gesetzt, die Gleichung 3) befriedigen. Hiemit geht diese über in:

$$(L_1 - x) + (L_2 - x) - (J_1 + J_2) = 0,$$

woraus sich der Fehler x ergibt, nämlich:

$$x = \frac{(L_1 + L_2) - (J_1 + J_2)}{2} \dots\dots\dots 1)$$

Die Gleichung 1) gibt über die Richtigkeit des Instrumentes und im Falle einer Unrichtigkeit über die Größe und Art des Fehlers Aufschluß. Findet man nämlich $x = 0$, so ist das Instrument in Ordnung; dagegen gibt die Visur die Lattenhöhe um x zu groß oder zu klein, je nachdem x positiv oder negativ ausfällt.

Zur Berichtigung des Instrumentes benützt man die zweite Aufstellung. Wurde eine Nivellierlatte mit Zielscheiben benützt, so berichtigt man vorerst die Lattenhöhe L_2 , indem man die Zielscheibe um x herab- oder hinaufschiebt, je nachdem x positiv oder negativ ist, und stellt hierauf die Visur mittels der Elevationsschraube E genau auf die Zielscheibe ein; dann weiß man, daß nun die Visur horizontal ist. Die Blase der Libelle tritt dabei aus ihrem Spielpunkte und ist jetzt durch das Justierschräubchen r (Fig. 9) genau zum Einspielen zu bringen; nun ist die Haupttangente der Libelle parallel zur Visur. Daß man bei der Prüfung und Berichtigung mit möglichster Sorgfalt vorzugehen habe, ist einleuchtend; es genügt daher eine einmalige Einstellung der Zielscheibe bei der Ausmittlung von L_1 und L_2 nicht, sondern man hat für jede Lattenhöhe den Mittelwert aus mehreren Einstellungen zu nehmen. Auch hat man nach der Berichtigung die Prüfung nochmals vorzunehmen, um sich von der nunmehrigen Richtigkeit des Instrumentes zu überzeugen oder eine noch zurückgebliebene Abweichung auf gleiche Weise zu beseitigen. Findet man x gleich oder kleiner als den mittleren Fehler beim wiederholten Einstellen der Zielscheibe, so ist die Rektifikation beendet, indem diese Abweichung von den unvermeidlichen Fehlern im Einstellen herrührt und sich nicht beseitigen läßt.

Hat man eine Latte zum Selbstablesen verwendet, so ändert dies an dem Rektifikationsvorgange nichts anderes, als daß an der Latte vom Instrumente aus Ablesungen zu machen sind.

Bei dem beschriebenen Vorgange wurde nur ein Paar Absehen benützt. Um das andere Paar zu prüfen, bringt man die Libelle durch E zum Einspielen und stellt die Zielscheibe genau in die Visierlinie der geprüften Diopter; hierauf dreht man die Visiervorrichtung um 180° , bringt die Libelle, falls sie aus dem Spielpunkte getreten sein sollte, wieder genau zum Einspielen und sieht nun nach, ob die Visur durch die andern zwei Diopter den unverändert gelassenen Zielpunkt trifft. Ist dieses der Fall, so ist auch diese Visur horizontal; ergibt sich eine Abweichung, so sind die Absehen vom Mechaniker zu berichtigen.

Libellen-Nivellierinstrumente mit einem Fernrohre.

17. Die Horizontalebene, Nivellierebene, welche über einem Standpunkte herzustellen ist, wird von der horizontalen Visierebene des Fernrohres gebildet; diese ist durch den horizontalen Querfaden des Fadenkreuzes und den Objektivmittelpunkt gegeben.

Um die Nivellierebene in jedem Augenblicke im Raume horizontal zu stellen, ist es notwendig, daß zwei in ihr liegende Linien stets verbürgt horizontal gemacht werden können: der horizontale Querfaden des Fadenkreuzes und die Visierlinie. Diese zwei Linien, von denen der horizontale Querfaden eine physische Gerade darstellt, hingegen die Visierlinie eine mathematische Gerade ist, werden mit zwei bestimmten, am Instrumente vorhandenen Linien derart in Verbindung gebracht, daß aus der Lage der letzteren auf die Lage der ersteren zurückgeschlossen werden kann.

Diese Wechselbeziehungen lauten:

1. der horizontale Querfaden des Fadenkreuzes bildet mit der vertikalen Umdrehungsachse (Alhidadenachse) einen Richtungsunterschied von 90° und
2. die Visierlinie ist parallel zur Haupttangente an der Marke der Nivellierlibelle.

Treffen diese beiden Beziehungen zu, so kann man sagen, daß der horizontale Querfaden und die Visierlinie horizontal sind, die Nivellierebene daher eine Horizontalebene darstellt, wenn die vertikale Umdrehungsachse des Instrumentes im Raume vertikal steht und die Blase der Nivellierlibelle einspielt.

Sämtliche Fernrohr-Nivellierinstrumente müssen um eine vertikale Umdrehungsachse beweglich sein und das Fernrohr muß die charakteristische Libelle, Fernrohr- oder Nivellierlibelle, tragen; die Umdrehungsachse muß sich vertikal und die Haupttangente im Normalpunkte der Nivellierlibelle bequem horizontal stellen lassen. Außerdem müssen Vorrichtungen vorhanden sein, um den horizontalen Querfaden des Fadenkreuzes mit der Umdrehungsachse und die

Visierlinie mit der Haupttangente im Normalpunkte der Nivellierlibelle in die gewünschte Lage zu bringen.

Die vertikale Umdrehungsachse des Instrumentes wird mittels Libellen, Alhidadenlibellen, vertikal gestellt und die Haupttangente im Normalpunkte mit einer Feinschraube (Elevationsschraube) horizontalisiert.

Was die in 1. und 2. normierten Wechselbeziehungen zwischen dem horizontalen Querfaden und der Umdrehungsachse, der Visierlinie und der Haupttangente im Normalpunkte betrifft, so bilden diese die Hauptbedingungen, die ein Fernrohr-Nivellierinstrument erfüllen muß. Es sind eigene Vorrichtungen vorhanden, welche bei der Prüfung und Berichtigung dieser Eigenschaften verwendet werden: Rektifikations- oder Justierungsvorrichtungen.

Es ist klar, daß die mechanischen Institute bemüht waren, Instrumente zu bauen, welche die Rektifikationen leicht und bequem zulassen; es haben sich daher im Laufe der Zeit die nachstehenden Instrumententypen entwickelt:

1. Nivellierinstrumente mit fixem Fernrohre,
2. Nivellierinstrumente mit umlegbarem Fernrohre und einfacher Nivellierlibelle,
3. Nivellierinstrumente mit drehbarem Fernrohre und Doppellibelle und
4. Universal-Nivellierinstrumente.

In Deutschland wird häufig statt Libellen-Nivellierinstrument der abgekürzte Name Niveau oder in neuester Zeit die Bezeichnung Nivellier gebraucht.

Was den Unterbau der Nivellierinstrumente betrifft, so kann man zwei typische Instrumentkonstruktionen unterscheiden, und zwar:

1. die österreichischen Nivellierinstrumente, welche nahezu ausschließlich mit dem Stampferschen Unterbaue und dem dazu gehörenden Zapfenstative versehen sind, und
2. das reichsdeutsche Nivellierinstrument, das mit einem Dreifußunterbau ausgestattet ist und daher ein Scheiben- oder Tellerstativ mit Zentralschraube zur Aufstellung desselben besitzt.

Nivellierinstrumente mit fixem Fernrohre.

Diese Instrumententype ist dadurch charakterisiert, daß das Fernrohr mit seinen Trägern fest verbunden ist; die Libelle, welche zumeist mit den Fernrohrträgern in sicherer Verbindung ist, läßt sich mittels geeigneter Justierungsvorrichtungen in Bezug auf das Fernrohr, bzw. seine Visierlinie verstellen.

I.

Österreichische Nivellierinstrumente

mit dem Stampferschen Unterbaue.

18. Beschreibung. In Fig. 11 und Fig. 12 sind zwei Vertreter dieser Instrumentenkategorie zur Darstellung gebracht, von denen das erste Instrument zur Verstellung des Fernrohres im vertikalen Sinne als Elevationsschraube eine Feinschraube ohne Skala hat, so daß ihr Stand nicht abgelesen werden kann,

während das zweite eine Feinschraube mit Skala, eine Stampfersche Meßschraube (I. Band, Nr. 88) besitzt, für welche der jeweilige Stand ermittelt werden kann.

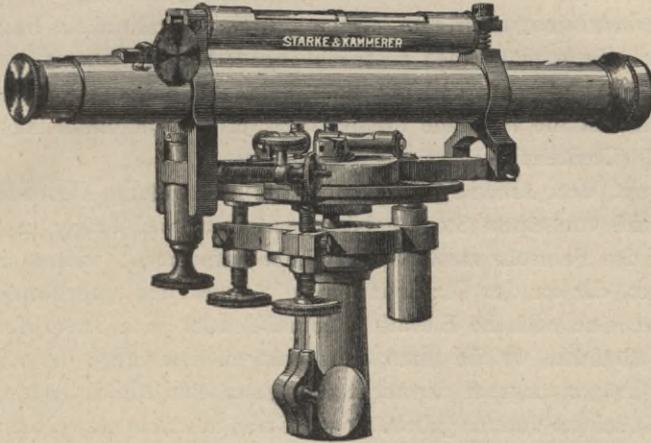


Fig. 11.

($\frac{1}{3}$ der natürlichen Größe.)

Beide Instrumente zeigen sonst gleiche Einrichtung.

Das Instrument wird mittels einer konischen Hülse auf den Zapfen eines Statives aufgesetzt und durch eine Flügelschraube befestigt. Die Hülse trägt eine

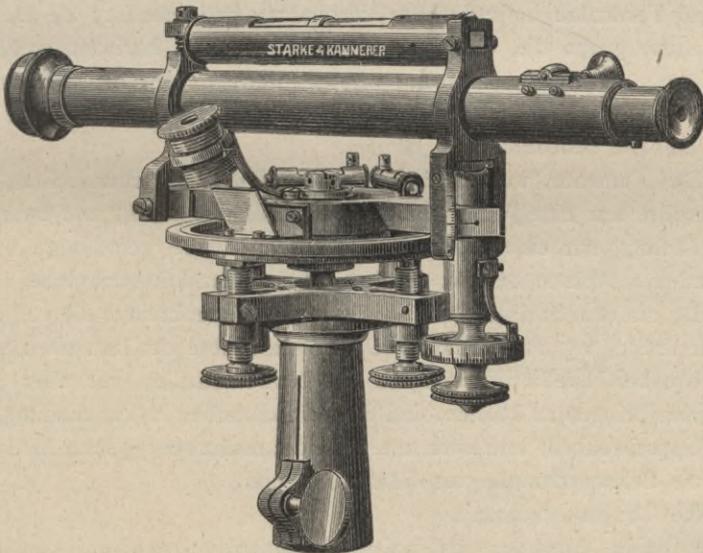


Fig. 12.

($\frac{1}{3}$ der natürlichen Größe.)

Grundplatte mit zwei Stellschrauben, welche um 90^0 voneinander abstehen; diesen gegenüber liegen eine oder zwei Federn. Im Mittelpunkte der Grundplatte ist

eine stählerne Nuß verschraubt, um welche eine Scheibe bewegt werden kann; diese stützt sich gewöhnlich auf die Stellschrauben und die ihnen gegenüberliegenden Federn, bleibt fix und ist mit einer Gradteilung versehen, wenn das Nivellierinstrument auch zum Messen von Horizontalwinkeln benützt werden soll. Die Scheibe enthält einen zentrisch angedrehten Ansatz, auf welchem die Alhidade genau aufgepaßt und mit einer Schraube befestigt werden kann; um diesen Ansatz ist die Alhidade drehbar und die Achse dieses Ansatzes bildet die vertikale Umdrehungsachse des Instrumentes.

Der mit dem Ansätze in unmittelbarer Verbindung stehende Teil der Alhidade wird von einem Stege gebildet, mit dem zwei Träger in Verbindung stehen, die das Fernrohr samt Nivellierlibelle aufnehmen; weiters ist mit dem einen Träger, der an der Okularseite sich befindet und gabelförmig gespalten ist, entweder eine einfache Elevationsschraube oder eine Stampfersche Meßschraube verbunden, welche ihren Stützpunkt an dem Stege der Alhidade hat. Der zweite Träger umgreift den rechteckig gestalteten Alhidadenarm, respektive den Steg mit seinem unteren gabelförmigen Ende, in welchem zwei Schrauben festsitzen, die mit ihren Spitzen in den Steg eingreifen, so daß eine Drehung des Fernrohres im vertikalen Sinne um die horizontale durch die beiden Schraubenspitzen gebildete Achse möglich wird.

Der erweiterte Alhidadenarm trägt Kreuzlibellen, die zur Horizontierung des Instrumentes benützt werden.

Die am Fernrohre montierte Röhrenlibelle ist die Nivellierlibelle, welche mit dem Fernrohre in justierbare Verbindung gebracht ist; sie kann im vertikalen Sinne gegen die Visierlinie geändert sowie im horizontalen Sinne zwecks Beseitigung der Libellenkreuzung verstellt werden. Sehr oft sind am Fernrohre Spiegel (Libellenspiegel) angebracht, um vom Okulare aus bequem die Blase der Nivellierlibelle beobachten zu können.

Das Fernrohr, welches fix mit seinen Trägern verbunden ist, besitzt am Okularrohre nur eine Justierschraube für das Fadenkreuz; und zwar kann nach deren Lüftung nur eine Verdrehung, nicht aber eine geradlinige Verschiebung der Fadenkreuzplatte bewirkt werden. Diese Korrektionsschraube ist eben nur dazu da, um dem horizontalen Querfaden des Fadenkreuzes die von der Theorie geforderte Stellung zur vertikalen Umdrehungsachse des Instrumentes zu geben.

Um bei Nivellierinstrumenten die Nivellierlibellen mit aller Schärfe zum Einspielen bringen zu können, sind die Feinschrauben in Verwendung, Elevations- oder Kippschrauben, und zwar unterscheidet man zwei typische Arten derselben:

1. die Sehnenschraube von Stampfer und
2. die Tangentenschraube,

welche beide entweder als reine Feinstellschrauben konstruiert sind, oder aber auch zum genauen Messen von Vertikalbewegungen der Visierlinie des Fernrohres benützt werden können, also Mikrometerschrauben darstellen. Im letzteren Falle sind sie mit Vorrichtungen ausgestattet, welche ganze und Bruchteile der Umdrehungen der Schraube zu bestimmen ermöglichen.

19. Stampfersche Meßschraube (Sehnenschraube, Fig. 13). Diese ist im I. Bande, Nr. 88 beschrieben worden. Sie ist bei A_1 des Fernrohrträgers aufgehängt, bei B ist der Mittelpunkt des Kugellagers der Schraubemutter, bei C die horizontale Umdrehungsachse des Nivellierinstrumentes; die Entfernungen CA_1 und CB sind konstant und ursprünglich gleich lang beabsichtigt, während A_1B je nach der Stellung der Schraube sich ändert.

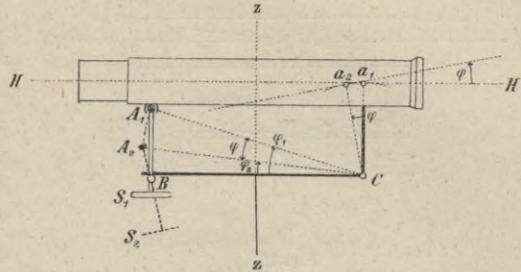


Fig. 13.

Die Schraubenspindel rotiert nicht, wie es sonst bei Schrauben üblich ist, sondern bewegt sich geradlinig und der Schraubenkopf wird gedreht. Dieser ist mit einer geteilten Trommel versehen, welche an einem Index spielt, an welchem Ablesungen der Bruchteile von Schraubenkopfumdrehungen gemacht werden können.

Wird die Visierlinie mit der Schraube verstellt, kommt A_1 nach A_2 , so hat die Visierlinie eine Änderung um den Winkel φ erfahren. Die Sehnen BA_1 und BA_2 können als Maß für die Winkel φ_1 und φ_2 und analog A_1A_2 als Maß des Winkels φ gelten und die Meßschraube führt daher mit Recht den Namen Sehnenschraube.

20. Die Tangenten-, Kipp- oder Gefällschraube (Fig. 14) ist so konstruiert, daß die bewegliche Schraubenspindel stets parallel zur vertikalen Umdrehungsachse zz des Instrumentes bleibt; die Muttergewinde der Feinschraube befinden sich in der massiven Metallplatte BC . Bei einer Bewegung der Schraube muß der Stützpunkt A_1 auf einer Linie, der Gleitlinie, bleiben, wobei dieser Stützpunkt bei horizontaler Lage der Visur den kürzesten Abstand von der Kippachse C hat.

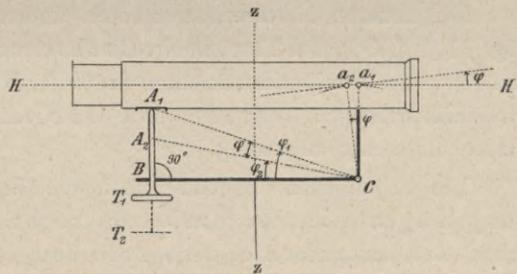


Fig. 14.

Bei richtiger Anordnung der Instrumententeile und vertikal gestellter Umdrehungsachse des Instrumentes hebt, beziehungsweise senkt sich die Spitze A_1 der Tangentenschraube um eine Länge, welche der Differenz der Tangenten beider Vertikalwinkel entspricht, weshalb der Name Tangentenschraube auch begründet ist.

Bei neueren Instrumenten mit Gefällschrauben erfolgt die Drehung des ganzen Instrumentobertheiles samt Fernrohr um eine Kippachse, die sich mit der

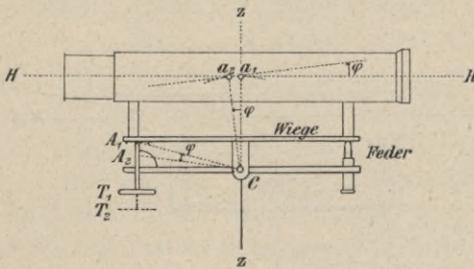


Fig. 15.

Alhidadenachse zz im Punkte C schneidet (Fig. 15); diesen beweglichen Teil, welcher um die Achse C sich auf und ab bewegt, nennt man Wiege. Zu diesem Zwecke ist der innere Träger, der mit der vertikalen Umdrehungsachse in fester Verbindung steht, in der Mitte erweitert und mit zwei stählernen Achsenzapfen versehen (Fig. 44). Der

äußere, mit den Fernrohrslagern in einem Stücke gegossene Träger, welcher den inneren Träger vollständig umschließt, kann um die beiden Achsenzapfen gekippt werden. An dem einen Ende des Trägers ist eine mit aller Sorgfalt gearbeitete Kippschraube, während am anderen Ende eine von einem Gehäuse umschlossene Spiralfeder wirkt, die jeden toten Gang der Kippschraube verhindert.

21. Aufstellung des Nivellierinstrumentes. Das Instrument muß derartig auf ein Stativ aufgesetzt werden, daß die vertikale Umdrehungsachse des Instrumentes im Raume vertikal wird. Diese Operation bezeichnet man häufig als Horizontalstellen des Nivellierinstrumentes, was dann begründet erscheint, wenn das Instrument einen Horizontalkreis besitzt.

Die Hilfsmittel, welche die vertikale Umdrehungsachse des Instrumentes vertikal zu stellen gestatten, sind Alhidadenlibellen: Kreuzlibellen oder eine einfache Röhrenlibelle, eine Dosenlibelle oder auch die Nivellierlibelle selbst.

Bei neueren Nivellierinstrumenten finden wir fast überall Kreuzlibellen (Fig. 11, 12, 34), bei Taschen-Nivellierinstrumenten eine Röhrenlibelle (Fig. 24) und bei vielen Nivellierinstrumenten deutscher Herkunft Dosenlibellen; bei älteren Nivellierinstrumenten (Fig. 16) wurde die Nivellierlibelle zum Vertikalstellen der Umdrehungsachse verwendet.

Die angeführten Libellen haben die Eigenschaft zu erfüllen, daß die Haupttangente an der Marke senkrecht zur vertikalen Umdrehungsachse des Instrumentes sich befindet.

Die Prüfung und Berichtigung dieser Libellen wurde im I. Bande, Nr. 269, eingehend erörtert.

Was die Dosenlibelle betrifft, so bietet die Rektifikation keine Schwierigkeit. Man bringt die Libellenblase durch zwei Stellschrauben mit ihrem Mittelpunkt in die Richtung der dritten Schraube und dann mittels dieser scharf zum Einspielen. Wird nun die Alhidade des Instrumentes genau um 180^0 gedreht, so zeigt sich entweder:

- a) ein Ausschlag; dann muß dieser in zwei komponentale Teile zerlegt werden: eine Komponente in der Richtung zweier Stellschrauben und die zweite Komponente in der Richtung der dritten Schraube. Diese komponentalen Ausschläge müssen zur Hälfte mit den entsprechenden Rektifikationsschrauben der Libelle und zur zweiten Hälfte mittels der Stellschrauben beseitigt werden.

Eine Drehung um 180° zeigt, ob die Rektifikation gelungen ist oder nicht; im letzteren Falle hat man den sich bei Wiederholung der Untersuchung ergebenden Ausschlag wieder so zu behandeln, wie früher angegeben wurde, oder aber

- b) kein Ausschlag, was für die Richtigkeit der Libelle spricht.

Die Aufstellung (Horizontalstellung) des Instrumentes selbst wird in nachstehender Weise vorgenommen.

1. Falls Kreuzlibellen vorhanden sind (Fig. 11, 12, 34), stellt man die Alhidade derart, daß eine Libelle in der Richtung einer Stellschraube gelangt, wodurch die zweite Libelle in die Richtung der beiden andern Stellschrauben zu liegen kommt, und bringt sie mit diesen Schrauben scharf zum Einspielen. Eine Bewegung um die vertikale Umdrehungsachse des Instrumentes wird zeigen, daß die Libellen stets im Spielpunkte bleiben, wenn sie scharf rektifiziert waren.
2. Falls eine Dosenlibelle vorhanden ist, so wird die Libelle mit Hilfe der Stellschrauben zum Einspielen gebracht. War die Libelle berichtigt, so wird sie beim Drehen um die Alhidadenachse auf dem Spielpunkte bleiben, im entgegengesetzten Falle jedoch denselben verlassen.
3. Wenn nur eine Alhidadenlibelle vorhanden ist wie bei Taschen-Nivellierinstrumenten (Fig. 24), so wird die Libelle in die Richtung zweier Stellschrauben gestellt und mit diesen die Blase zum Einspielen gebracht, dann wird um 90° gedreht und die Libelle in die Richtung der dritten Stellschraube gestellt und mittels dieser auf den Spielpunkt geführt. War die Libelle berichtigt, so wird beim Drehen des Instrumentes im Horizonte die Libelle den Spielpunkt nicht verlassen.

Anmerkung. Bei älteren Konstruktionen, welche keine Alhidadenlibellen besitzen (Fig. 16), muß die Nivellierlibelle zur Aufstellung benützt werden. In diesem Falle wird es notwendig, zuerst jene Stellung der Elevationsschraube zu suchen, für welche die Haupttangente an der Marke der Nivellierlibelle senkrecht zur vertikalen Umdrehungsachse wird, weil dann bei dieser Stellung die Nivellierlibelle sozusagen eine Alhidadenlibelle vertreten kann.

Das Aufsuchen dieser Stellung, für welche eventuell am Schraubenkopfe die Lesung gemacht und notiert werden kann, bezeichnet man als das Bestimmen der Marke, weil bei jenen Instrumenten, die keine Meßschrauben haben, an der Stirnseite des Fernrohrträgers entweder eine Marke ist oder durch die Untersuchung bestimmt wird.

Kontrollierung der Marke. Man stellt die Elevationsschraube auf die angegebene Marke, dreht die Alhidade mit der Nivellierlibelle in die Richtung einer Stellschraube und bringt sie mit dieser scharf zum Einspielen; nun wird die Alhidade um 180° gedreht, wobei der sich ergebende Ausschlag den doppelten Fehler kennzeichnet. Beseitigt man den

Ausschlag zur Hälfte mit der Elevationsschraube, so wird dadurch dieser jene Stellung gegeben, für welche die Haupttangente an der Marke senkrecht zur vertikalen Umdrehungsachse des Instrumentes steht.

Selbstredend wird man zur Kontrolle den zweiten halben Ausschlag der Libelle mit Hilfe der in der Richtung der Libelle gelegenen Stellschraube beseitigen, dann die Alhidade um 180° drehen und nachsehen, ob die Libelle einspielt; ist dies der Fall, so hat die Elevationsschraube die richtige Lage; sonst muß der kleine sich zeigende Ausschlag in derselben Weise beseitigt werden wie früher.

Diese Stellung der Elevationsschraube wird dadurch markiert, daß man am Fernrohrträger oder dem Schraubenkopfe für die vorhandene Marke die Abweichung notiert.

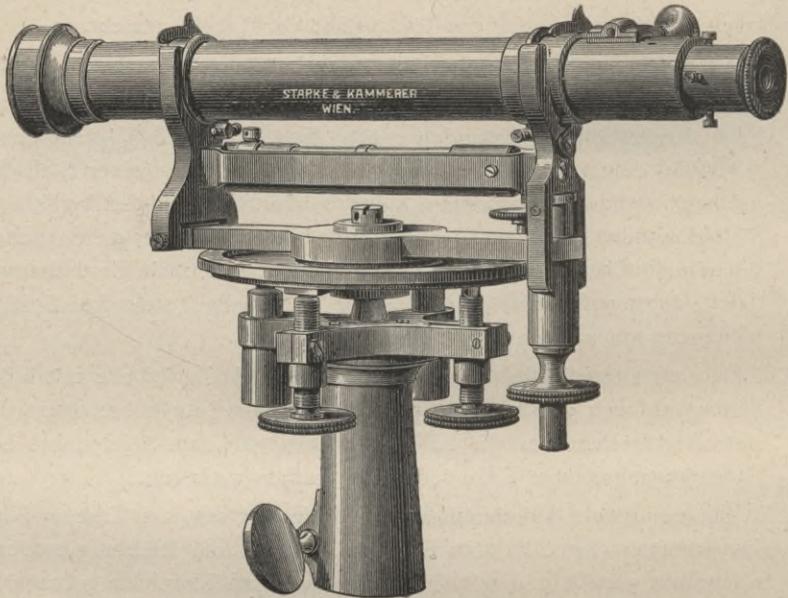


Fig. 16.

($\frac{1}{3}$ der natürlichen Größe.)

Falls eine Stampfersche Meßschraube vorhanden ist, so läßt sich die Markenlesung am Schraubenkopfe scharf bestimmen. Man bringt wie früher die Blase der Nivellierlibelle scharf zum Einspielen und liest am Schraubenkopfe S_1^r ab, dreht die Alhidade genau um 180° , beseitigt den sich ergebenden Ausschlag mit der Elevationsschraube und liest abermals am Index des Schraubenkopfes ab, z. B. S_2^r . Dann entspricht $S^r = \frac{S_1^r + S_2^r}{2}$ jener Stellung der Schraube, für welche die Haupttangente an der Marke zur Umdrehungsachse senkrecht steht, und stellt die Markenlesung vor.

Horizontalstellung. Man stellt die Elevationsschraube auf die Marke, respektive den Index des Schraubenkopfes auf die Markenlesung; hierauf wird mit der Nivellierlibelle die Horizontierung so vorgenommen, als wenn sie eine Alhidadenlibelle wäre.

Die Horizontalstellung mit der Nivellierlibelle kann sehr genau erfolgen, weil eben diese Libelle sehr empfindlich ist; es verschlägt daher für die Aufstellung nichts, wenn die Libelle um einige Teilstriche nicht einspielt.

Prüfung und Berichtigung des Nivellierinstrumentes mit fixem Fernrohre.

Erst wenn die vertikale Umdrehungsachse des Instrumentes im Raume vertikal gestellt wurde, kann an die Prüfung und Berichtigung der zwei an das Nivellierinstrument zu stellenden Forderungen geschritten werden.

22. Ad 1. Der horizontale Querfaden des Fadenkreuzes muß mit der vertikalen Umdrehungsachse einen Richtungsunterschied von 90^0 besitzen.

Die Prüfung kann in doppelter Weise geführt werden:

a) mit Benützung einer gegebenen, im Raume horizontalen oder vertikalen Geraden, mit welcher der horizontale Querfaden des Fadenkreuzes oder der Vertikalfaden verglichen wird.

Angenommen, man habe eine horizontale Kante eines Gebäudes, so wird das Fernrohr um die vertikal gestellte Umdrehungsachse des Instrumentes so lange gedreht, bis im Gesichtsfelde des Fernrohres die horizontale Gerade erscheint; fällt das Bild dieser Kante mit dem Querfaden zusammen, oder aber kann dessen Parallelismus mit der Kante festgestellt werden, so hat der Querfaden die richtige Lage; sonst aber wird es notwendig, die Fadenkreuzplatte entsprechend zu verdrehen. Zu diesem Zwecke ist eine Korrektionsschraube vorhanden (Band I, Nr. 143, 282), die gelüftet werden muß; nachdem man dem Diaphragma durch Verdrehung eine solche Lage gegeben hat, daß der horizontale Querfaden das Bild der Kante deckt, so wird die Schraube angezogen.

Wird eine vertikale Kante benützt, so wird der Vertikalfaden mit derselben verglichen. Da nun der Mechaniker Mittel besitzt, den Horizontalfaden senkrecht zum Vertikalfaden des Fadenkreuzes zu stellen, so sieht man ein, daß die Prüfung und eventuelle Berichtigung der Lage des Vertikalfadens zu demselben Ziele führt.

b) Wenn keine horizontale oder vertikale Kante zur Verfügung steht, so verwendet man einen markanten Punkt, der auf das rechte oder linke Ende des horizontalen Querfadens gestellt wird. Eine sanfte Bewegung der Alhidade mittels der Feinschraube derselben läßt erkennen, ob das Bild des Punktes am Querfaden bleibt oder nicht; im ersten Falle hat der Querfaden des Fadenkreuzes die theoretisch geforderte Lage zur Umdrehungsachse des Instrumentes; im zweiten Falle aber wird es notwendig, die Fadenkreuzplatte zu verdrehen, was mit Hilfe der vorerwähnten Korrektionsschraube geschieht.

Diese Prüfung und Berichtigung ist in kurzer Zeit und fast in jedem Standpunkte, auch vom Fenster eines Zimmers aus, durchführbar.

Ad 2. Die Visierlinie soll parallel zur Haupttangente an der Marke sein.

23. 1. Methode. Die Prüfung und Berichtigung dieses Punktes erfordert die Aufstellung des Instrumentes in zwei Standpunkten.

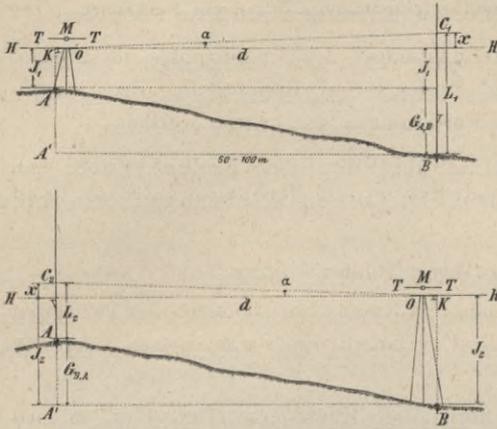


Fig. 17.

Angenommen, die Punkte *A* und *B* (Fig. 17) liegen in einem Abstände von etwa 50 bis 100 *m* auf etwas geneigtem Terrain, so wird das Instrument in *A* so aufgestellt, daß das Okular vertikal über den Punkt *A* zu liegen kommt; im Punkte *B* befindet sich die Nivellierlatte in vertikaler Lage.

Wird nun in *A* bei einspielender Libelle *TT* horizontal, wird ferner die Instrumenthöhe *J*₁ und an der

Latte in *B* die Lattenhöhe *L*₁ bestimmt, so besteht unter der Voraussetzung, daß der Parallelismus zwischen der Visierlinie *KO* und der Haupttangente *TT* nicht existiert und die Visur sich um den Winkel α hebt, die Beziehung:

$$(L_1 - x) - J_1 = G_{A,B} \dots \dots \dots 4)$$

Diese Gleichung hat zwei Unbekannte *x* und *G*_{*A,B*}; um diese zu ermitteln, stellt man das Instrument über den Punkt *B* und die Latte in *A* vertikal auf; dann wird bei einspielender Nivellierlibelle *TT* horizontal und die Lattenlesung *L*₂ und die Instrumenthöhe *J*₂ erhalten; es folgt dann die Relation:

$$(L_2 - x) - J_2 = G_{B,A} \dots \dots \dots 5)$$

Da nun $G_{A,B} + G_{B,A} = 0$ ist, so hat man nach Einführung der Werte aus den Gleichungen 4) und 5):

$$(L_1 - x) - J_1 + (L_2 - x) - J_2 = 0; \dots \dots \dots 6)$$

hieraus rechnet sich

$$x = \frac{L_1 + L_2}{2} - \frac{J_1 + J_2}{2} \dots \dots \dots II)$$

und

$$G_{A,B} = (L_1 - x) - J_1 = \frac{L_1 - L_2}{2} - \frac{J_1 - J_2}{2} \dots \dots \dots III)$$

Die Größe *x* kann nun ≥ 0 sein, was besagt, daß die Lattenhöhen *L*₁ und *L*₂ zu groß, richtig oder zu klein erhalten werden; denn im ersten Falle ist *x* positiv, im zweiten Falle Null und im letzten Falle negativ.

Angenommen $x > 0$, so ist die im Standpunkte *B* ermittelte Lattenhöhe *L*₂ um *x* zu groß, es ist daher die der horizontalen Visur entsprechende

Lattenhöhe $l_2 = L_2 - x$; da nun x bekannt ist, so kann l_2 berechnet und mittels der Elevationsschraube die Nivellierebene um den Winkel α nach unten bewegt und der Horizontalfaden von L_2 nach $L_2 - x = l_2$ geführt werden; hiedurch nimmt die Nivellierebene eine im Raume horizontale Lage ein; die Libelle tritt jedoch aus dem Spielpunkte. Wird sie nun durch ihre Rektifikationsschraube zum Einspielen gebracht, so wird die Haupttangente an der Marke horizontal, und da die Visierlinie auch horizontal gestellt worden ist, so werden beide Linien, wie es die Theorie fordert, parallel, wodurch das Instrument die geforderte Eigenschaft erhält und berichtigt ist.

In analoger Weise geht man vor, wenn $x < 0$, also negativ ist; die Lattenhöhen L_1 und L_2 sind zu klein und man hat sie um x zu vergrößern, um die Einstellungen für die horizontale Lage der Nivellierebene zu erhalten.

Wäre zufälligerweise $x = 0$, so wäre dies ein Zeichen dafür, daß das Instrument in Ordnung, also die Visierlinie und Haupttangente an der Marke zueinander parallel sind.

Die Gleichung III) zeigt, wie mit einem nicht berichtigten Instrumente das Gefälle zweier Punkte A und B richtig erhalten werden kann; es ist hiebei nur notwendig, daß in beiden Punkten Latten- und Instrumenthöhen bestimmt werden.

24. Das Messen der Instrumenthöhe. Die Bestimmung der Instrumenthöhe J , d. i. des vertikalen Abstandes der Nivellierebene von der Kopfebene des Pflockes, kann auf mehrere Arten erfolgen. Die einfachste Bestimmung wird in der Weise ausgeführt, daß man die Nivellierlatte auf den Kopf des Pflockes vertikal aufstellt und bei einspielender Libelle die Lage der Okularmitte auf der Zentimeterteilung durch Schätzung ermittelt; die Instrumenthöhe wird in Metern ausgedrückt.

Eine entschieden genauere Bestimmung wird in der Weise bewerkstelligt, daß der Beobachter das Okular gegen die auf dem Pflocke aufgestellte Latte kehrt, hinter das Objektiv tritt und, in dasselbe blickend, ein kleines kreisförmiges Gesichtsfeld mit dem Lattenbilde wahrnimmt; die Lattenablesung für die Mitte des Gesichtsfeldes würde die Instrumenthöhe J geben. Da nun diese nicht direkt abgelesen werden kann, so gibt der Beobachter durch die an die Latte gehaltene Bleistiftspitze, welche er sehr rasch in die Mitte des Gesichtsfeldes bringen kann, die Stelle an, wo die Instrumenthöhe J an der Latte abgelesen werden soll.

Eine andere scharfe Methode besteht darin, daß man bei Sonnenschein durch einen vor das Objektiv gehaltenen Spiegel Sonnenstrahlen in dasselbe leitet; der auf der Okularseite austretende Lichtzylinder bildet auf der vertikal stehenden und eventuell etwas beschatteten Latte einen Lichtkreis an der Zentimeterteilung ab, dessen horizontaler Durchmesser die Lesung für die Instrumenthöhe liefert.

Spezielles Beispiel. Für ein Nivellierinstrument wurden bei der Rektifikation folgende Beobachtungsdaten erhalten:

im Punkte <i>A</i>	$L_1 = 2.042 \text{ m}$	$J_1 = 1.294 \text{ m}$	
„ „ <i>B</i>	$L_2 = 0.804 \text{ „}$	$J_2 = 1.306 \text{ „}$	
	$L_1 + L_2 = 2.846 \text{ m}$	$J_1 + J_2 = 2.600 \text{ m}$	
	$\frac{L_1 + L_2}{2} = 1.423 \text{ „}$	$\frac{J_1 + J_2}{2} = 1.300 \text{ „}$	

$$x = \frac{L_1 + L_2}{2} - \frac{J_1 + J_2}{2} = \frac{1.423}{-1.300} \left. \vphantom{\frac{1.423}{-1.300}} \right\} = +0.123 \text{ m,}$$

somit

$$l_2 = L_2 - x = \frac{0.804}{-0.123} \left. \vphantom{\frac{0.804}{-0.123}} \right\} = 0.681 \text{ m;}$$

auf die Lesung 0.681 ist also der horizontale Faden einzustellen und hierauf die Nivellierlibelle zum Einspielen zu bringen.

Der Höhenunterschied der beiden Punkte *A* und *B* wird erhalten:

$L_1 - L_2 = 1.238 \text{ m}$	$J_1 - J_2 = -0.012 \text{ m}$
$\frac{L_1 - L_2}{2} = 0.619 \text{ „}$	$\frac{J_1 - J_2}{2} = -0.006 \text{ „}$

$$G_{A,B} = \frac{L_1 - L_2}{2} - \frac{J_1 - J_2}{2} = \frac{0.619}{+0.006} \left. \vphantom{\frac{0.619}{+0.006}} \right\} = +0.625 \text{ m.}$$

Anmerkung: Die Gleichungen II) und III) für die beiden Unbekannten *x* und $G_{A,B}$ kann man auch schreiben:

$$x = \frac{L_1 - J_1}{2} + \frac{L_2 - J_2}{2} = \frac{1}{2} (g_{A,B} + g_{B,A}) = \text{halbe Summe}$$

$$G_{A,B} = \frac{L_1 - J_1}{2} - \frac{L_2 - J_2}{2} = \frac{1}{2} (g_{A,B} - g_{B,A}) = \text{halbe Differenz.}$$

$L_1 - J_1 = +0.748 \text{ m}$	$L_2 - J_2 = -0.502 \text{ m}$
$L_2 - J_2 = -0.502 \text{ „}$	$L_1 - J_1 = +0.748 \text{ „}$
$2 G_{A,B} = +1.250 \text{ m}$	$2 x = +0.246 \text{ m}$
$G_{A,B} = +0.625 \text{ „}$	$x = +0.123 \text{ „}$

Bildet man also die Gefälle nach der Form $g = L - J$, so ist mit Rücksicht auf das Zeichen das Gefälle gleich der halben Differenz und die Korrektion *x* gleich der halben Summe derselben.

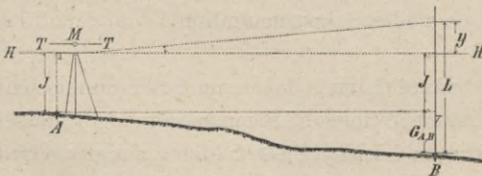


Fig. 18.

25. 2. Methode.

Wäre der Höhenunterschied der beiden markierten Punkte *A* und *B* bekannt, so ließe sich die Rektifikation in einfacher Weise aus einem Standpunkte ausführen.

Man stellt dann nämlich das Instrument mit dem Okulare vertikal über den Pflock im Punkte *A* (Fig. 18); seine Umdrehungsachse wird vertikal gestellt und die Nivellierlibelle zum Einspielen gebracht. Nun wird die Instrumentenhöhe *J* gemessen.

Nach Gleichung 4) muß die Beziehung bestehen:

$$G_{A,B} = (L - y) - J; \dots \dots \dots 7)$$

rechnet man hieraus, da $G_{A,B}$ bekannt ist,

$$L - y = G_{A,B} + J \dots \dots \dots IV)$$

und stellt den horizontalen Querfaden des Fadenkreuzes mit Hilfe der Elevations-schraube auf die Lattenlesung $L - y$ ein, so nimmt die Visierlinie im Raume eine horizontale Lage ein.

Nun betrachtet man die Nivellierlibelle; spielt sie bei der gemachten Ein-stellung ein, so besteht der Parallelismus zwischen der Visierlinie und der Haupttangente im Normalpunkte der Nivellierlibelle; spielt die Libelle nicht ein, so wird der Ausschlag durch die Rektifikationsschraube der Nivellierlibelle beseitigt.

Diese Methode ist besonders für Bau- und Vermessungsämter und Ver-messungsingenieure zu empfehlen, die in der Nähe der Bureaus zwei Punkte A und B als Fixpunkte durch prismatische Steine bezeichnen lassen können; wird ihr Höhenunterschied bestimmt, so kann dann die Prüfung und Berichtigung von Nivellierinstrumenten mit fixem Fernrohre von einem Standpunkte aus rascher und bequemer als sonst erfolgen.

Ist das Gefälle der beiden Punkte A und B nicht bekannt, so kann dasselbe auch dadurch in einfacher Weise bestimmt werden, daß man in der Mitte P zwischen den beiden Punkten A und B das Instrument horizontal aufstellt (Fig. 19) und bei ein-spielender Nivellierlibelle auf den

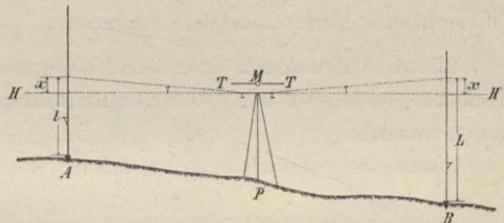


Fig. 19.

vertikal stehenden Latten in A und B die Lattenhöhen l und L abliest. Das Gefälle ist dann nach dem Principe des Nivellierens aus der Mitte:

$$G_{A,B} = (L - x) - (l - x) = L - l \dots \dots \dots 8)$$

Das Resultat ist daher unabhängig von dem etwaigen Fehler x , der in dem nicht berichtigten Instrumente seinen Grund hat.

In den beiden besprochenen Methoden muß die Instrumenthöhe ermittelt werden, was man zu umgehen sucht, um sich von der Messung der Instrument-höhe unabhängig zu machen.

26. 3. Methode. Hier wird vorausgesetzt, daß das Gefälle der beiden Punkte A und B (Fig. 20) entweder von Haus aus bekannt ist oder aber wie bei der 2. Methode er-mittelt wurde.

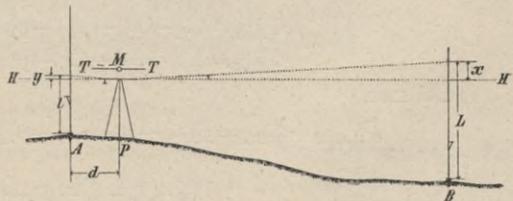


Fig. 20.

Nun wird das Instrument so nahe, als es der Auszug des Fernrohres zuläßt, bei dem einen Endpunkte, z. B. *A*, im Punkte *P* vertikal aufgestellt; auf den in den Punkten *A* und *B*, von denen *P* die Entfernung *d* und *D* hat, nacheinander vertikal aufgestellten Latten werden die Lattenhöhen *L* und *l* abgelesen.

Im allgemeinen wird wie nach Fig. 20

$$G_{A,B} = (L - x) - (l - y) \dots \dots \dots 9)$$

sein; da *y* aus der Proportion $y : x = d : D$ mit $y = \frac{d}{D} x$ sich ergibt, so folgt aus Gleichung 9):

$$G_{A,B} = (L - x) - l + \frac{d}{D} x \text{ oder } x = \frac{(L - l) - G_{A,B}}{1 - \frac{d}{D}} \dots \dots \dots V)$$

Es kann auch hier $x \geq 0$ sein, wobei im Falle, daß $x = 0$ ist, das Instrument keiner Berichtigung bedürfen würde; sollte $x > 0$ sein, so wird mit Hilfe der Elevationsschraube des Instrumentes der Querfaden auf die Lattenhöhe $L - x$, beziehungsweise $L + x$, gebracht, wodurch die Visierlinie horizontal wird. Die aus dem Spielpunkte getretene Nivellierlibelle wird mit ihrer Justierschraube zum Einspielen gebracht.

27. 4. Methode. Sollte der Höhenunterschied beider Punkte *A* und *B* unbekannt sein, so kann bei der Rektifikation in nachstehender Weise vorgegangen werden.

Man stellt das Nivellierinstrument einmal in *P*₁ nahe an *A* (Fig. 21)

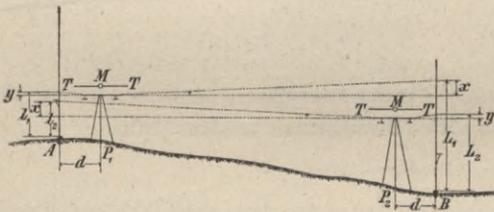


Fig. 21.

(etwa in der Entfernung von 4 bis 5 m) auf, bestimmt die Lattenhöhen bei einspielender Nivellierlibelle und vertikal stehenden Latten *l*₁, *L*₁; nun wird das Nivellierinstrument auf den Punkt *P*₂, wobei $AP_1 = P_2 B = d$ ist, gebracht und auch hier bei einspielen-

der Nivellierlibelle die Lattenhöhen *l*₂ und *L*₂ bestimmt. Dann bestehen im allgemeinen die Beziehungen:

$$\left. \begin{aligned} G_{A,B} &= (L_1 - x) - (l_1 - y) \\ G_{B,A} &= (l_2 - x) - (L_2 - y) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 10)$$

Da nun

$$G_{A,B} + G_{B,A} = [(L_1 - x) - (l_1 - y)] + [(l_2 - x) - (L_2 - y)] = 0$$

ist, so hat man:

$$x = \frac{L_1 + l_2 - l_1 - L_2 + 2y}{2} = \frac{L_1 - l_1}{2} - \frac{L_2 - l_2}{2} + y \dots \dots 11)$$

Da wie in Nr. 26. $y = \frac{d}{D} x$ ist, so folgt:

$$x = \frac{(L_1 - l_1) - (L_2 - l_2)}{2\left(1 - \frac{d}{D}\right)} = \frac{L_1 - L_2}{2\left(1 - \frac{d}{D}\right)} - \frac{l_1 - l_2}{2\left(1 - \frac{d}{D}\right)} \quad \text{VI}$$

Nachdem auf diese Weise x ermittelt wurde, wird vom zweiten Standpunkte P_2 aus der Fehler wie früher weggeschafft.

II.

Deutsche Nivellierinstrumente

mit dem Dreifuß-Unterbaue.

Die Nivellierinstrumente, welche in reichsdeutschen mechanischen Werkstätten hergestellt werden, sind zumeist mit einem Dreifuß-Unterbaue versehen; es kommen daher Scheiben- oder Tellerstative mit Zentral- oder Herzschaube, auch Stengel genannt, zur Verwendung.

Zwei charakteristische Grundformen von Nivellierinstrumenten haben sich herausgebildet, und zwar:

1. die süddeutsche oder Sicklersche Type (Fig. 22) und
2. die norddeutsche Type (Fig. 23).

28. Die süddeutsche oder Sicklersche Konstruktion (Fig. 22) unterscheidet sich von den in Österreich im Gebrauche stehenden Instrumenten

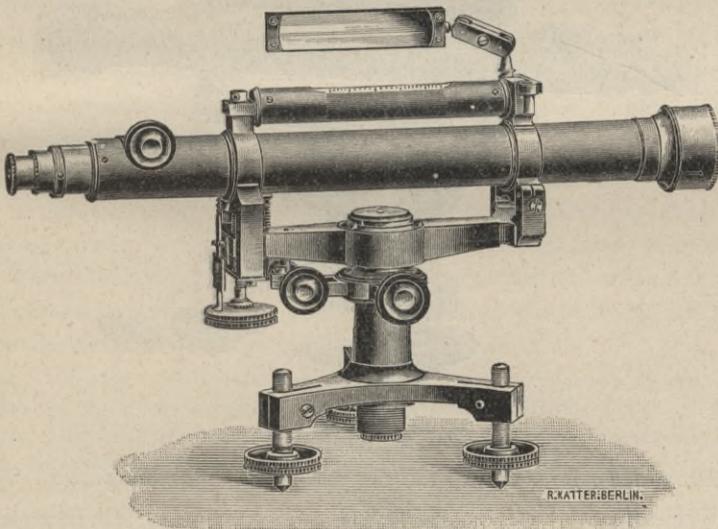


Fig. 22.

($\frac{1}{3}$ der natürlichen Größe.)

durch einen Dreifuß-Unterbau und eine Dosenlibelle als Alhidadenlibelle; die Elevationsschraube (Kippschraube), welche hier keine Sehnen- sondern eine Tangentschraube ist, gestattet, das Fernrohr mit der Nivellierlibelle in mäßigen

Grenzen zu kippen, um die letzteren scharf zum Einspielen bringen zu können. Nicht selten ist die Kippschraube mit einer Skala verbunden, so daß die Größe der Kippung im Winkelmaße ermittelt werden kann.

Der Libellenspiegel, welcher bei diesen Instrumenten mittels geeigneter Gelenke seitlich von der Libelle gestellt werden und in dem man das Einspielen der Libelle vom Okulare, ohne den Stand zu verändern, bequem beobachten kann, ist eine empfehlenswerte und nützliche Beigabe.

Für das justierte Instrument gelten die beiden Bedingungen:

1. der horizontale Querfaden des Fadenkreuzes muß die Richtung der Vertikalachse des Instrumentes normal kreuzen und
2. die Haupttangente im Normalpunkte der Nivellierlibelle muß zur Visierlinie parallel sein.

Ehe an die Prüfung der beiden genannten Eigenschaften geschritten wird, muß als vorbereitende Arbeit die als Alhidadenlibelle benützte Dosenlibelle rektifiziert werden, worauf die Aufstellung, Horizontierung, des Instrumentes durchgeführt wird.

Die Prüfung und Berichtigung der vorstehenden Forderungen selbst wird genau nach Nr. 22 und 23—27 vorgenommen.

29. Die norddeutsche Konstruktion des Nivellierinstrumentes mit fixem Fernrohre (Fig. 23) ist dadurch charakterisiert, daß das Fernrohr samt Nivellier-

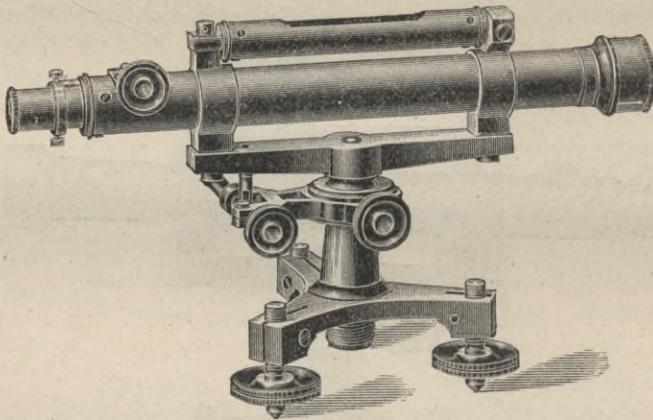


Fig. 23.

($\frac{1}{3}$ der natürlichen Größe.)

libelle durch den Alhidadensteg mit der vertikalen Umdrehungsachse (Stehachse) des Instrumentes in starrer Verbindung sich befindet; Alhidadenlibellen zur Vertikalstellung der Instrumentachse sind nicht vorhanden, weil die Nivellierlibelle hiezu verwendet wird. Das Einspielen der Nivellierlibelle wird mit den Stellschrauben besorgt, weshalb die Elevationsschraube fehlt. Da bei der Justierung des Instrumentes die Visierlinie verstellt wird, so gewahrt man auf dem äußeren Diaphragmaringe des Okulares zwei im vertikalen Sinne wirkende

Schraubchen. Eine Verdrehung des Diaphragmas, um den horizontalen Querfaden des Fadenkreuzes zur vertikalen Umdrehungsachse des Instrumentes so zu stellen, daß sich beide rechtwinklig kreuzen, wie dies bei österreichischen Nivellierinstrumenten der Fall ist, läßt sich nicht durchführen, sondern die meisten deutschen Konstruktionen gestatten, die ganze Okularröhre nach Bedarf mittels geeigneter Korrektionschraubchen zu verdrehen.

Der Mangel einer besonderen Alhidadenlibelle zur Vertikalstellung der Alhidadenachse hat folgende Forderungen an ein justiertes Instrument zur Folge:

1. die Haupttangente im Normalpunkte der Nivellierlibelle muß die Alhidadenachse normal kreuzen;
2. der horizontale Querfaden des Fadenkreuzes muß als eine zur Vertikalachse windschiefe Gerade mit ihr einen Richtungsunterschied von 90° haben und
3. die Visierlinie muß zur Haupttangente im Normalpunkte der Nivellierlibelle parallel sein.

Ad 1. Die Justierung der Nivellierlibelle wird in bekannter Weise ausgeführt, indem man sie in die Richtung zweier Stellschrauben bringt und mit diesen die Blase in den Spielpunkt führt. Nun wird die Alhidade samt Nivellierlibelle um 180° gedreht und der sich eventuell ergebende Ausschlag zur einen Hälfte mit der Korrektionschraube der Nivellierlibelle und der zweite halbe Ausschlag wird mit den Stellschrauben beseitigt; sollte die Nivellierlibelle nach vollzogener Drehung um 180° einspielen, so war die Nivellierlibelle in Ordnung.

Ad 2. Die Normalstellung des horizontalen Querfadens des Fadenkreuzes erfolgt genau nach Band II, Nr. 22 ad 1, wobei aber vorher mit der Nivellierlibelle das Instrument horizontiert, also die Alhidadenachse vertikal gestellt wird.

Ad 3. Was die Prüfung und Berichtigung dieses Punktes betrifft, so geht man nach Band II, Nr. 23—27 vor, nur wird hiebei nicht die Visierlinie durch Verstellung mittels der Elevationsschraube auf die berechnete Lesung $l_2 = L_2 - x$ gebracht, sondern die Einstellung der Visierlinie auf diese Lesung wird mit den beiden in vertikaler Richtung wirkenden Korrektionschraubchen des Diaphragmas bewirkt; die Nivellierlibelle tritt hiebei nicht im geringsten aus dem Spielpunkte.

Anmerkung. Die Praxis hat gelehrt, daß die Vertikalstellung der Alhidadendrehachse mit Hilfe der empfindlichen Nivellierlibelle zeitraubend ist; es wird daher die vertikale Umdrehungsachse nur annähernd vertikal gestellt und dann erst bei Ermittlung der Lattenhöhe die Nivellierlibelle mit geeigneter Stellschraube scharf zum Einspielen gebracht.

Aus den vorstehend angeführten und noch anderen Gründen ist es wohl empfehlenswert, eigene Libellen, Dosenlibellen oder Kreuzlibellen als Alhidadenlibellen zur Lotrechtstellung der Alhidadenachse zu benützen und zum Einspielen der Nivellierlibelle vor dem Ablesen der Lattenhöhe die feingeschnittene Elevationsschraube zu benützen, wie dies bei der süddeutschen Type und bei nahezu allen österreichischen Konstruktionen im Gebrauche ist.

Taschen-Nivellierinstrumente.

Zu den Nivellierinstrumenten mit fixem Fernrohre gehören auch die Taschen-Nivellierinstrumente, und zwar Stampfers Taschen-Nivellierinstrument und sein Taschen-Nivellierdiopter, welche beide sich durch ihre kompensiöse Form auszeichnen.

30. Stampfers Taschen-Nivellierinstrument ist in Fig. 24 dargestellt; seine einzelnen Teile sind nach dem Früheren klar. Das Instrumentchen wird

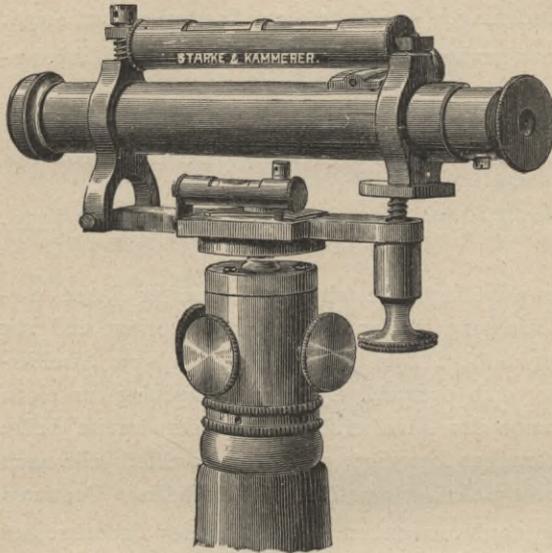


Fig. 24.
($\frac{1}{2}$ der natürlichen Größe.)

Zuhilfenahme der kleinen Alhidadenlibelle, deren Haupttangente zur vertikalen Umdrehungsachse senkrecht stehen muß und nach Band I, Nr. 269, rektifiziert wird; hiebei werden vier horizontal wirkende Stellschrauben verwendet (Band I, Nr. 93).

Das Fernrohr ist astronomisch und besitzt keinen Trieb zur Okulareinstellung, sondern es wird die Verschiebung der Okularröhre mit freier Hand vorgenommen; die Vergrößerung ist 10. Eine Elevations-schraube dient zur scharfen Einstellung der Nivellierlibelle.

Die Prüfung und Berichtigung wird nach Nr. 22 bis 27 genau so vorgenommen wie bei andern Nivellierinstrumenten mit fixem Fernrohre.

31. Stampfers Taschen-Nivellierdiopter in Fig. 26 besitzt eine große

mit einem kurzen Schraubenzapfen (Fig. 25) in eine am Stativkopfe des Zapfenstatives befindliche Metallplatte eingeschraubt.

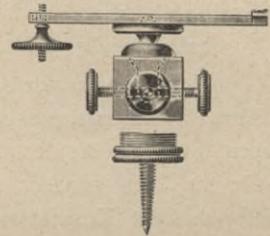


Fig. 25.
($\frac{1}{2}$ der natürlichen Größe.)

Die Vertikalstellung der Achse geschieht mit

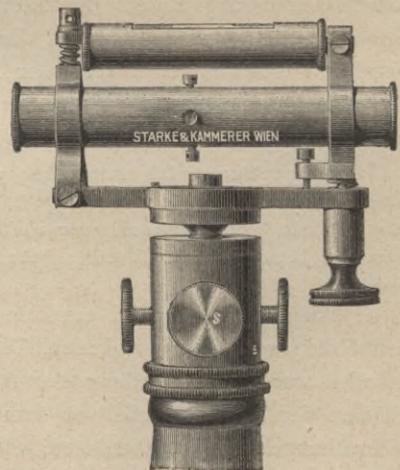


Fig. 26.
($\frac{1}{2}$ der natürlichen Größe.)

Ähnlichkeit mit dem vorstehend beschriebenen Instrumente; es unterscheidet sich von ihm dadurch, daß es in noch kleineren Dimensionen gehalten ist. Das Fernrohr ist ein Stampfersches Fernrohrdioptr mit der Vergrößerung $v = 1$ (Band I, Nr. 172). Die gleichdimensionierten plankonvexen Linsen haben eine Brennweite von 3 cm ; das Fadenkreuz ist in der Mitte zwischen den beiden Linsen justierbar angebracht; die vertikalen Schraubchen gestatten eine Verschiebung des horizontalen Querfadens im vertikalen Sinne; sind die horizontalen Schraubchen gelüftet, so kann die Fadenkreuzplatte verdreht werden.

Das Bild von nahegelegenen Objekten hat einen so geringen Abstand von der Ebene des Fadenkreuzes, daß es schwer fallen würde, selbst wenn ein bewegliches Fadenkreuz vorhanden wäre, die Parallaxe zu beseitigen, also Bild- und Fadenkreuzebene zur Deckung zu bringen, aus welchem Grunde Fadenkreuz und Linsen fix montiert sind. Beide Linsen können als Okular benützt werden.

Zur Vertikalstellung der Umdrehungsachse des Instrumentes ist keine eigene Libelle vorhanden, sondern es wird hiezu die Nivellierlibelle verwendet. Zu dem Zwecke muß die Stellung markiert werden, bei welcher die Haupttangente an der Marke der Libelle senkrecht zur vertikalen Umdrehungsachse steht; diese Stellung ist in folgender Weise fixiert: der Fernrohrträger auf der Seite des Okulares ist mit einem Schraubchen versehen, das beim Anziehen der Elevations-schraube in ein Loch des Horizontalarmes tritt. Die Markenstellung ist nun jene, bei welcher das Schraubchen gerade im Hineintreten begriffen ist, d. h. in die Fläche des Horizontalarmes tritt, und zugleich ein auf dem Mutterkopfe der Elevationsschraube eingeschlagener Punkt nach vorne zu stehen kommt; dies trifft jedoch nur annähernd zu, weil die Markenstellung nicht konstant ist.

Ehe man an die Prüfung und Berichtigung schreiten kann, ist es zum Zwecke der Vertikalstellung der vertikalen Umdrehungsachse notwendig, die Marke zu überprüfen, beziehungsweise zu bestimmen.

Man bringt durch Bewegung der Elevationsschraube das Schraubchen am Okular-träger des Fernrohres in die früher angegebene Lage und stellt die Elevationsschraube selbst so, daß der am Mutterkopfe angegebene Punkt nach vorn zu liegen kommt. Nun wird das Dioptr in die Richtung zweier Stellschrauben gestellt und mit diesen zum Einspielen gebracht; dreht man das Fernrohr um 180° , so wird bei richtiger Stellung der Elevationsschraube die Libelle einspielen; spielt sie jedoch nicht ein, so entspricht der Ausschlag dem doppelten Fehler. Wird die Blase mit Hilfe der Elevationsschraube auf den halben Ausschlag zurückgeführt, so erhält man jene Stellung der Elevationsschraube, bei welcher die Haupttangente an der Marke der Nivellierlibelle und die vertikale Umdrehungs-achse aufeinander senkrecht stehen. Diese Stellung wird vermerkt.

Nun kann bei dieser Stellung der Elevationsschraube die Umdrehungsachse vertikal gestellt werden, was dadurch geschieht, daß die Libelle in zwei um 90° abstehenden Lagen mittels der Stellschrauben zum Einspielen gebracht wird.

32. Die Prüfung und Berichtigung als Nivellierinstrument erfordert die Untersuchung nachstehender Punkte:

1. Der horizontale Querfaden muß mit der vertikalen Umdrehungs-achse einen Richtungsunterschied von 90° besitzen und

2. die Visierlinie muß zur Haupttangente im Normalpunkte der Nivellierlibelle parallel sein.

Ad 1. Die Justierung des horizontalen Querfadens wird nach Nr. 22 vorgenommen, wobei zum Zwecke einer Verdrehung der Fadenkreuzplatte die horizontal liegenden Schraubchen gelüftet und nach vollzogener Drehung angezogen werden müssen.

Ad 2. Dieser Punkt wird erfüllt, wenn:

- a) die optische Achse der Linsen (Verbindungsline der optischen Mittelpunkte der Linsen) mit der Haupttangente an der Marke der Nivellierlibelle parallel ist und
- b) der horizontale Querfaden des Fadenkreuzes die Verbindungsgerade der optischen Mittelpunkte der beiden Linsen schneidet.

33. Ad 2 a) Die Umdrehungsachse zz des Instrumentes (Fig. 27) ist vertikal; $C_1 C_2$ stellt die Verbindungsgerade der optischen Mittelpunkte der beiden

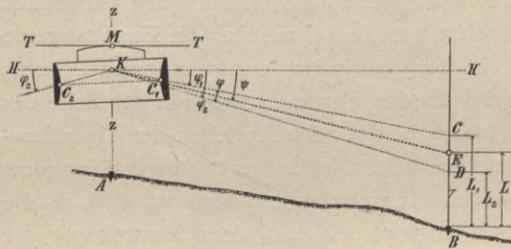


Fig. 27.

Linsen vor, K ist der Kreuzungspunkt des Fadenkreuzes; $K C_1$ und $K C_2$ schließen bei einspielender Nivellierlibelle mit HH die Winkel φ_1 und φ_2 ein.

Wird über C_1 nach der in der Entfernung von etwa 15 m befindlichen Latte in B visiert, so ergibt sich als Lattenhöhe L_1 ; nach Drehung

des Instrumentes um 180° kommt die Visierlinie $K C_2$ gegen die Latte und schließt bei einspielender Nivellierlibelle den Winkel φ_2 mit HH ein; die Lattenlesung ist L_2 .

Halbiert man den Winkel $\varphi_2 - \varphi_1$, indem die Visur mit der Elevationschraube auf die Lattenhöhe bei E :

$$L = \frac{L_1 + L_2}{2} \dots \dots \dots 12)$$

eingestellt wird, so ist die Neigung der Visierlinie $K C_1$ gegen HH :

$$\varphi_1 + \frac{\varphi}{2} = \varphi_1 + \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} = \psi \dots \dots \dots 13)$$

Denselben Winkel schließt auch $K C_2$ mit der Horizontalen HH ein. Nun ist aber $K C_1 = K C_2 = f$ der Brennweite der Linse, somit $C_1 C_2$ gleichfalls horizontal. Die Nivellierlibelle, welche nun einen Ausschlag zeigt, wird mit ihrer Rektifikationsschraube zum Einspielen gebracht und so die Verbindungsgerade $C_1 C_2$ zur Haupttangente an der Marke parallel gemacht.

34. Ad 2b) Um den horizontalen Querfaden in die Verbindungsgerade $C_1 C_2$ zu bringen, werden zwei Punkte A und B (Fig. 28) in einem Abstände von etwa 30 m benützt, deren Gefälle $G_{A,B}$ entweder gegeben ist oder aber mit dem Instrumente selbst dadurch bestimmt wird, daß man dieses in der Mitte zwischen A und B aufstellt und bei einspielender Nivellierlibelle die Lattenhöhen L und l bestimmt, wodurch das Gefälle sich ergibt mit:

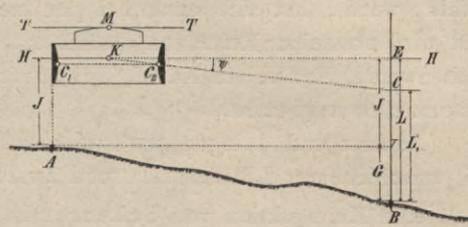


Fig. 28.

$$G_{A,B} = L - l \dots \dots \dots 14)$$

Nun wird das Instrument über dem Punkte A aufgestellt und die Instrumenten-
höhe J gemessen; zwischen J , L und $G_{A,B}$ besteht die Beziehung:

$$G_{A,B} = L - J,$$

somit ist

$$L = G_{A,B} + J \dots \dots \dots VII)$$

jene Lattenhöhe, welche bei horizontaler Lage der Nivellierebene an der Latte abgelesen werden müßte.

Wird daher bei einspielender Libelle die Visur nach der im Punkte B vertikal aufgestellten Latte gerichtet, so muß durch Heben und Senken der im vertikalen Sinne wirkenden Schraubchen der Fadenkreuzplatte der Horizontalfaden auf L eingestellt werden; ist dies geschehen, so kommt der Kreuzungspunkt K mit der horizontalen Geraden $C_1 C_2$ in dieselbe Horizontalebene. Da die Haupttangente im Normalpunkte der einspielenden Nivellierlibelle horizontal ist, so ist sie parallel zur Nivellierebene und die Rektifikation ist vollzogen.

Anmerkung. Sollte von Seite des Mechanikers der Horizontalfaden mit C_1 und C_2 in dieselbe Ebene gebracht und in seiner Lage für immer fixiert worden sein, so kann die Prüfung und Berichtigung des Instrumentes von einem Standpunkte ausgeführt werden, was gewiß vorteilhaft ist.

Erst nachdem die Rektifikation beendet ist, erfolgt die Verifikation der Markenstellung in oben beschriebener Weise; hat man die richtige Stellung der Elevationsschraube ausgemittelt, so wird das Markierungsschraubchen an dem Fernrohrträger der Elevationsschraube richtig gestellt und eine eventuelle Abweichung des eingeschlagenen Punktes am Mutterkopfe der Elevations-schraube notiert.

35. Nivellierinstrumente mit verschiebbarer Skala an der Nivellierlibelle.

Im Band I, Nr. 122 wurde die Röhrenlibelle mit Schiebescala nach Professor Zwicky in Winterthur beschrieben und ihre bequeme und dauernde Rektifikation als besonderer Vorteil betont. Diese Einrichtung einer verschiebbaren Skala

an Röhrenlibellen, welche nach den neueren Publikationen von dem französischen Militär Goulier im Jahre 1872 angegeben und von den Mechanikern Brosset und Morin in Paris, sowie Bellieni in Nancy an Nivellierinstrumenten ausgeführt wurde, hat sich auch bei den empfindlichen Nivellierlibellen bewährt und wird von einer Reihe von mathematisch-mechanischen Instituten: Reiss in Liebenwerda, Fennel in Kassel, Scheurer in Karlsruhe u. s. w., an Nivellierinstrumenten verwendet.

Nachstehend bringen wir zwei Abbildungen von Nivellierinstrumenten mit verschiebbarer Libellenskala, und zwar:

1. eine Konstruktion von Scheurer in Karlsruhe (Fig. 29) und
2. eine besondere Konstruktion von Fennel in Kassel (Fig. 30).

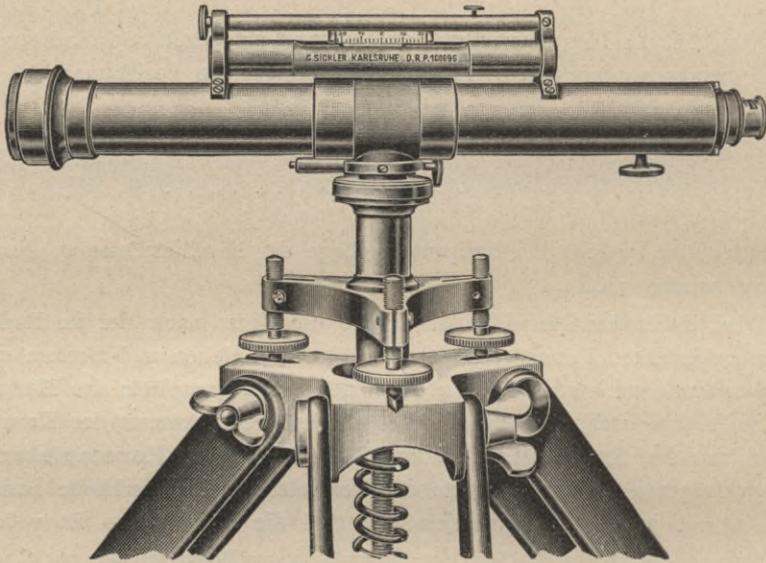


Fig. 29.

($\frac{1}{2}$ der natürlichen Größe.)

Die Nivellierlibelle der Scheurerschen Instrumentes zeigt einen Skalenhalter mit verdeckter Bewegungsschraube. Diese Modifikation, wodurch die Skalenhalter unter sich durch ein Rohr unveränderlich verbunden erscheinen, die Bewegungsschraube zur Verschiebung der Skala in einem zweiten Rohre sich befindet und der Kopf der Schraube am Ende der Libelle bequem bei der Berichtigung der Libelle gehandhabt werden kann, stellt eine Verbesserung der Libelle mit Schiebescala vor. Die Skala ist aus Glas mit geätzter Teilung.

Die Einrichtung des Instrumentes ist aus der Figur zu ersehen; die Prüfung und Berichtigung erfolgt in analoger Weise wie bei dem folgenden Instrumente von Fennel.

Das von Fennel in Kassel in der Ansicht dargestellte Instrument (Fig. 30) ist in Fig. 31 im Schnitte abgebildet. Die Nivellierlibelle ist nicht, wie es all-

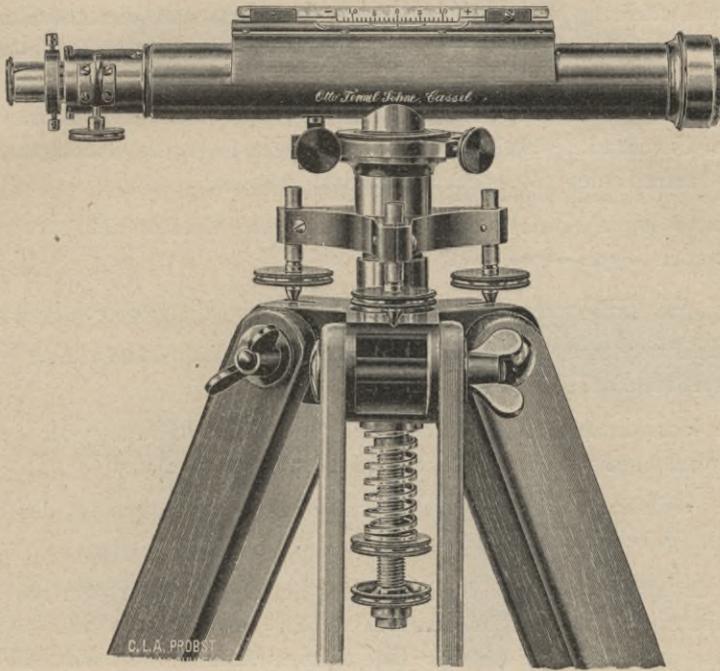


Fig. 30.

($\frac{1}{3}$ der natürlichen Größe.)

gemein üblich ist, in einer Metallröhre befestigt, sondern wird in eine muldenförmige Vertiefung des Fernrohrkörpers gelagert; die Schiebescala, aus einer

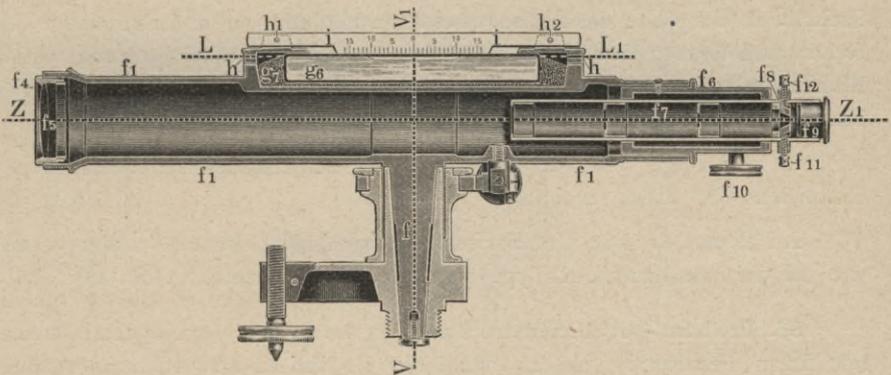


Fig. 31.

($\frac{1}{3}$ der natürlichen Größe.)

dünnen, versilberten Metall-Lamelle bestehend, liegt mit ihrer unteren Kante unmittelbar auf dem Glasrohre an, läßt sich freihändig verschieben und mittels einer Befestigungsschraube fixieren.

Zur Erreichung einer größtmöglichen Stabilität sind die Alhidadenachse, der Fernrohrkörper und das Libellenlager aus einem einzigen Gußstücke hergestellt; da auch das Libellenrohr mit diesem Gußstücke in unmittelbarer, spannungsfreier Verbindung sich befindet, so wird durch diese Einrichtung in Bezug auf Unveränderlichkeit in der gegenseitigen Lage der wichtigen Bestandteile des Instrumentes eine sichere Garantie geboten.

Die sonstigen Einrichtungen des Instrumentes decken sich mit jenen der norddeutschen Type.

Die Justierung des Instrumentes bezieht sich auf folgende Bedingungen:

1. Die Haupttangente im Nullpunkte der Schiebeskala-Libelle muß senkrecht zur Alhidadenachse stehen;
2. der Horizontalfaden des Fadenkreuzes muß die Richtung der vertikalen Umdrehungsachse des Instrumentes normal kreuzen und
3. die Visierlinie muß mit der Haupttangente im Nullpunkte der Schiebeskala (Libelle) parallel sein.

Ad 1. Man bringt den Nullstrich der Schiebeskala mit dem rot bezeichneten Indexstriche des Libellenrohres durch Verschiebung der Skala zur Koinzidenz und fixiert sie mit der Befestigungsschraube; nun wird die Libelle in die Richtung zweier Stellschrauben gebracht und mittels derselben die Libelle auf den Spielpunkt geführt, so daß der Blasenmittelpunkt sowohl mit dem Index am Libellenrohre als auch mit dem Nullpunkte der Schiebeskala koinzidiert. Hierauf wird die Alhidade um 180° gedreht; ergibt sich ein Ausschlag des Blasenmittelpunktes in Bezug auf den koinzidierenden Skalennullpunkt und Libellenindex, so wird der halbe Ausschlag durch Verschiebung der Skala nach der Seite des Blasenausschlages hin und zur anderen Hälfte durch Heben und Senken der beiden Stellschrauben weggeschafft. Dadurch wird der Blasenmittelpunkt mit dem Nullpunkte der Skala übereinstimmen und die Blasenenden zeigen beiderseits gleiche Ablesungen an der Schiebeskala.

In der Folge wird der Nullpunkt der Schiebeskala zur Beurteilung des Einspielens der Blase verwendet.

Ad 2 und 3. Die Untersuchung dieser beiden Punkte erfolgt genau so wie bei der norddeutschen Type des Nivellierinstrumentes in Nr. 29.

36. Freihand-Nivellierinstrumente. In die Gruppe der Nivellierinstrumente mit fixem Fernrohre gehören auch die Freihand-Nivellierinstrumente, welche wegen ihrer kompendiösen Ausstattung wie die vorstehend besprochenen als Taschen-Nivellierinstrumente bezeichnet werden können.

Diese Instrumente besitzen eine solche Einrichtung, daß die Lattenlesung am Horizontalfaden des Fadenkreuzes im Augenblicke des Einspiels der Libelle vorgenommen werden kann. Zu dem Zwecke ist die Nivellierlibelle derart mit dem Fernrohre verbunden, daß reflektierende Spiegel oder Prismen das Bild der Libellenblase in das Gesichtsfeld des Fernrohres bringen, so daß der Beobachter durch einen Blick ins Fernrohr Horizontalfaden und Libellenblase übersehen und nach Änderung der Neigung des Fernrohres im Momente der Libelleneinspielung die Bestimmung der Lattenhöhe vornehmen kann.

Es ist bereits eine größere Zahl solcher Instrumente gebaut worden, von welchen unter den Konstruktionen deutscher Provenienz anzuführen sind: das Freihand-Nivellierinstrument von Wagner, ausgeführt von Tesdorpf in Stuttgart, und das Freihand-Nivellierinstrument vom Mechaniker Butenschön in Bahrenfeld bei Hamburg.

In Fig. 32 und 33 ist das Taschen-Nivellierinstrument von Butenschön in der Ansicht und im Schnitte dargestellt.

Die Nivellierlibelle befindet sich unterhalb des Okularrohres und ein Spiegel, unter 45° zur optischen Achse des Fernrohres geneigt, empfängt durch einen Ausschnitt die Lichtstrahlen der Libellenblase samt Teilung und reflektiert sie nach dem Okulare. Den Anblick, den der Beobachter im Fernrohre gewahrt, zeigt die Nebenfigur 33.

Das Instrument kann in freier Hand oder auch auf einem leichten Stativ gebraucht werden, wobei

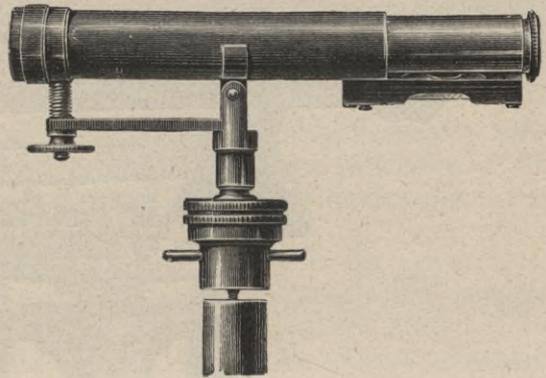


Fig. 32.
($\frac{1}{2}$ der natürlichen Größe.)

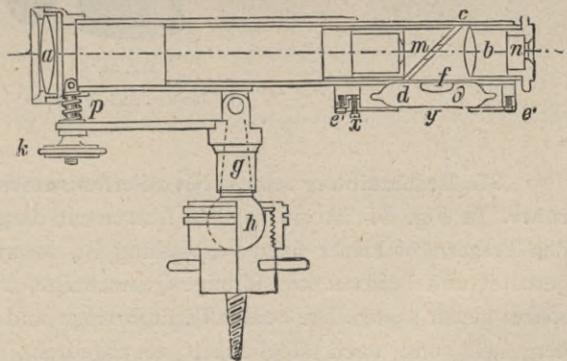
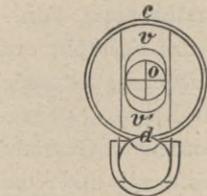


Fig. 33.
($\frac{1}{2}$ der natürlichen Größe.)



dann die Elevationsschraube, die sich auf der Objektivseite befindet, zum Einspielen der Libelle benützt wird.

Nivellierinstrumente mit umlegbarem Fernrohre.

Die Nivellierinstrumente mit fixem Fernrohre haben den Nachteil, daß die Prüfung und Berichtigung im allgemeinen von zwei Standpunkten aus erfolgen muß, was gewiß zeitraubend ist. Es soll dem Ingenieur die Möglichkeit geboten werden, seine Instrumente in einem Standpunkte zu prüfen und zu berichtigen, also in jedem Augenblicke sich von der Richtigkeit seines Nivellierapparates zu überzeugen.

Dies ist dadurch erzielt worden, daß das Fernrohr nicht fix, sondern in seinen Lagern zum Umlegen eingerichtet ist.

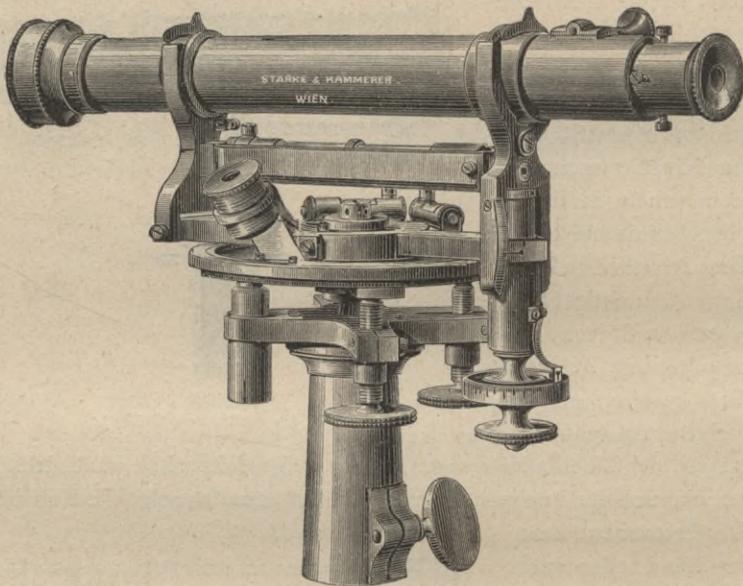


Fig. 34.

($\frac{1}{3}$ der natürlichen Größe.)

37. Beschreibung eines Nivellierinstrumentes mit umlegbarem Fernrohre. In Fig. 34 ist ein solches Instrument dargestellt. Da das Fernrohr mit den Trägern in keiner fixen Verbindung ist, so werden die Träger gabelförmig gestaltet und besitzen kreisförmige Querschnitte, in welche die Ringe des Fernrohres genau passen. Die beiden Fernrohrhinge sind aus Stahlbronze oder Gußstahl hergestellt und nach Möglichkeit so abgedreht, daß sie kreisförmig und vom gleichen Radius sind. Die Mittelpunkte dieser Ringe geben eine Linie, die Ringachse, welche bei einer Drehung des Fernrohres in seinen Lagern unveränderlich bleibt, so daß die Ringachse die geometrische und Rotationsachse des Fernrohres bildet.

Bei den Fernrohringen sind vorspringende Ränder vorhanden, welche das Herabgleiten desselben verhindern; damit dem horizontalen Querfaden des Fadenkreuzes eine bestimmte Lage gegeben werden kann, ist folgende Einrichtung vorhanden (Fig. 35). Das Fernrohr trägt einen kleinen Anschlagzapfen z eingeschraubt und an beiden Trägern des Fernrohres sind Justierschraubchen s , deren Muttern in den Ansätzen a sich befinden. Man sieht ein, daß durch entsprechende Verstellung des Schraubchens s und nach erfolgtem Anschlage des Zapfens z dem horizontalen Querfaden des Fadenkreuzes im Raume eine horizontale Lage gegeben werden kann.

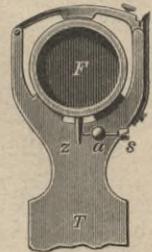


Fig. 35.

Da das Objektiv vom Mechaniker fix zentriert, d. h. sein Mittelpunkt in die Ringachse gebracht wird, die Diaphragma-platte mit dem Fadenkreuz jedoch mittels vier Korrekcionsschraubchen eine Verschiebung in horizontaler und vertikaler Richtung zuläßt, so wird im allgemeinen der Kreuzungspunkt K des Fadenkreuzes nicht in die Ringachse fallen, also es werden Ringachse und Visierlinie einander nicht decken. Dies hat zur Folge, daß bei einer Drehung des Fernrohres um die Ringachse der Kreuzungspunkt und damit die Visierlinie ihre Lage stets ändern werden.

Das Fernrohr ist in seinen Lagern drehbar, d. h. es läßt sich um seine Ringachse bewegen, rotieren, ferner läßt es sich herausheben und so einlegen, daß die Ringe ihre Lager wechseln, d. h. es ist umlegbar.

Die Nivellierlibelle kann nun in verschiedener Weise an dem Instrumente angebracht sein, und zwar:

1. sie ist eine Reiterlibelle, d. i. eine freie Libelle, und läßt sich auf die Fernrohrringe aufsetzen,
2. sie ist mit dem Fernrohre oder
3. sie ist mit den Fernrohrträgern in sicherer, jedoch justierbarer Verbindung.

38. Eigenschaften. Zu den zwei Eigenschaften, welche im II. Bande, Nr. 17, für alle Fernrohr-Nivellierinstrumente aufgestellt worden sind, nämlich:

1. der horizontale Querfaden des Fadenkreuzes soll mit der vertikalen Umdrehungsachse einen Richtungsunterschied von 90° besitzen und
 2. die Visierlinie soll zur Haupttangente im Normalpunkte der Nivellierlibelle parallel sein,
- tritt noch zufolge der Drehbarkeit und Umlegbarkeit des Fernrohres die folgende Forderung hinzu:
3. die Visierlinie soll mit der geometrischen Achse, Ringachse, des Fernrohres zusammenfallen oder mindestens zu ihr parallel sein.

39. Horizontalstellung des Instrumentes. Diese erfolgt in genau derselben Weise, wie dies in Nr. 21 für Nivellierinstrumente mit fixem Fernrohre auseinandergesetzt wurde.

Prüfung und Berichtigung.

Die Untersuchungen, ob

1. der horizontale Querfaden des Fadenkreuzes mit der vertikalen Umdrehungsachse einen Richtungsunterschied von 90° hat und
2. die Visierlinie mit der geometrischen Achse, der Ringachse, des Fernrohres zusammenfällt oder mindestens zu ihr parallel ist,

werden für alle drei Arten von Nivellierinstrumenten mit umlegbarem Fernrohre gleich ausgeführt; nur der Vorgang bei der Überprüfung der dritten Eigenschaft,

3. ob die Visierlinie zur Haupttangente im Normalpunkte der Nivellierlibelle parallel ist,

wird je nach der Art der Verbindung der Nivellierlibelle mit dem Instrumente abweichend erledigt.

Bei allen folgenden Untersuchungen wird vorausgesetzt, daß die vertikale Umdrehungsachse des Instrumentes scharf vertikal gestellt wurde.

40. Ad 1. Untersuchung, ob der horizontale Querfaden des Fadenkreuzes mit der vertikalen Umdrehungsachse des Instrumentes einen Richtungsunterschied von 90° bildet.

Man bringt den stählernen Zapfen z (Fig. 35) des Fernrohres mit der KorrekTIONSSchraube am Träger des Fernrohres zum Anschlage; hierauf visiert man mit dem horizontalen Querfaden nach einem entfernten, gut pointierbaren und nahezu im Horizonte gelegenen Objekte (Punkt), den man auf das eine Ende des Fadenkreuzes einstellt, und sieht zu, ob bei Drehung der Alhidade das anvisierte Objekt (Punkt) den horizontalen Faden verläßt oder nicht. Im ersten Falle bildet der horizontale Querfaden mit der Alhidadenachse einen von 90° verschiedenen Winkel. Dieser Fehler kann durch die KorrekTIONSSchraube s am Fernrohrträger, beziehungsweise Fernrohre, weggeschafft werden, indem sie so lange verstellt wird, bis das Bild des Objektes beim Drehen der Alhidade den Faden nicht mehr verläßt.

In ähnlicher Weise wird nach dem Umlegen des Fernrohres auch das KorrekTIONSSchraubchen am zweiten Träger untersucht, ob bei einem scharfen Anschlage des Zäpfchens der horizontale Querfaden des Fadenkreuzes die gewünschte Lage zur Alhidadenachse hat oder nicht.

41. Ad 2. Untersuchung, ob die Visierlinie des Fernrohres mit der geometrischen oder Ringachse desselben zusammenfällt oder zu ihr parallel ist.

Da vom Mechaniker aus der Objektivmittelpunkt zentriert wird, so erfordert die vorstehende Eigenschaft, daß auch der Kreuzungspunkt des Fadenkreuzes zentriert werde, weshalb man diese Untersuchung auch als das Zentrieren des Kreuzungspunktes oder der Visierlinie bezeichnet. Für die Zwecke des Nivellierens ist es nicht unbedingt notwendig, daß gerade der Kreuzungspunkt in der Ringachse sich befindet; es genügt, wenn die Nivellierebene die Ringachse enthält, d. h. der horizontale Querfaden des Fadenkreuzes die Ringachse schneidet.

Nachfolgend wollen wir die instruktive Untersuchung vollständig durchführen und den Kreuzungspunkt in die Ringachse bringen.

In einem Abstände von etwa 80 bis 100 m wird im Punkte *B* (Fig. 36) eine Latte vertikal aufgestellt und bei ungefähr horizontaler Lage der Visier-

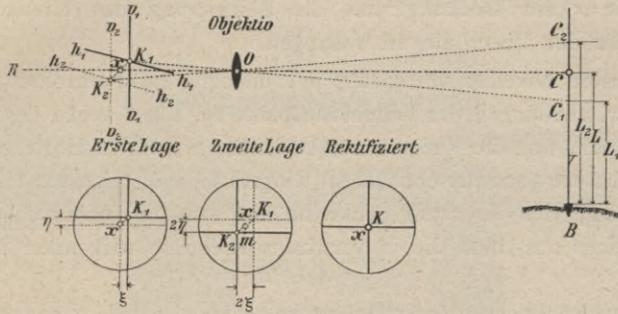


Fig. 36.

linie an der Latte bei *C*₁ die Lattenlesung *L*₁ gemacht; diese Lesung entspricht dem Falle in Fig. 36, daß die Visur nach unten geht.

Wird nun das Fernrohr in seinen Lagern um 180° gedreht (die Drehung erfolgt um die Ringachse), so kommt der Kreuzungspunkt aus der Lage *K*₁ nach *K*₂ und der horizontale und vertikale Faden des Fadenkreuzes gelangen in die diametral entgegengesetzten Lagen; die Visierlinie, respektive der horizontale Querfaden trifft die Latte in einem andern Punkte *C*₂, bei welchem die Lattenhöhe *L*₂ abgelesen wird.

Nach unserer Darstellung erfordert der Kreuzungspunkt *K*₂ eine zweimalige Verschiebung, um nach *x*, d. h. in die Ringachse, gebracht zu werden: eine seitliche Verschiebung um das lineare Stück *K*₂ *m* = ξ mittels der im horizontalen Sinne wirkenden Schraubchen und eine Verschiebung im vertikalen Sinne um *m* *x* = η mit Hilfe der vertikalen Schraubchen der Fadenkreuzplatte.

Um diese Verschiebungen genau bewerkstelligen zu können, wäre es von Vorteil, wenn in beiden Lagen des Fernrohres sowohl der Horizontal- als Vertikal-faden an der Latte abgelesen werden könnte, zu welchem Zwecke an der Latte eine horizontale und vertikale Teilung vorhanden sein müßte.

	I. Lage	II. Lage
Nennen wir die Lesungen am Horizontalfaden	<i>L</i> ₁	<i>L</i> ₂
„ „ „ „ „ Vertikalfaden	<i>l</i> ₁	<i>l</i> ₂
		} SO
entsprechen die arithmetischen Mittel	$L = \frac{L_1 + L_2}{2}$	$l = \frac{l_1 + l_2}{2}$

der richtigen Lage der Visierlinie für den Moment nämlich, wenn sie mit der Ringachse zur Deckung gelangt.

Wenn also mittels der horizontal wirkenden Korrektionschraubchen der Fadenkreuzplatte der Vertikalfaden auf $l = \frac{l_1 + l_2}{2}$ eingestellt wird, so gelangt K_2 nach m ; wenn ferner durch Verstellung des Diaphragmas in vertikaler Richtung der Horizontalfaden auf die Lesung $L = \frac{L_1 + L_2}{2}$ gebracht wird, somit dieser eine Verschiebung um die lineare Größe $m x$ erleidet, so kommt der Kreuzungspunkt K_2 mit x zur Deckung und die Zentrierung des Kreuzungspunktes, beziehungsweise der Visierlinie, ist vollzogen.

Die meisten Nivellierinstrumente mit umlegbarem Fernrohre lassen auch die beiden Verschiebungen der Fadenkreuzplatte zu. Für Zwecke des Nivellierens genügt es jedoch, nur die Visierebene, beziehungsweise den Horizontalfaden, so zu verstellen, daß die geometrische Achse (Ringachse) ihn schneidet. Hierbei wird es nicht notwendig, den Kreuzungspunkt im horizontalen Sinne zu verschieben, sondern es reicht aus, bloß die in vertikaler Richtung wirkenden Schraubchen zu benutzen.

Es sei ausdrücklich bemerkt, daß es im gegebenen Falle gar nicht notwendig ist, eine Latte zu verwenden, sondern man kann auch von einem Fenster aus diese Prüfung und Berichtigung vornehmen, indem man markante Gegenstände in das Gesichtsfeld des Fernrohres bringt und an diesen die Lage des horizontalen Querfadens in der normalen, dann in der um 180° gedrehten Lage des Fernrohres beurteilt. Es wird nicht schwer fallen, jene Stelle eines Gegenstandes, beziehungsweise jenen Gegenstand dem Gedächtnisse einzuprägen, der der Mittellage des Horizontalfadens entspricht und auf welche dann derselbe durch die im vertikalen Sinne wirkenden Justierschraubchen zurückzuführen ist.

42. Ad 3. Ist die Zentrierung der Visierlinie durchgeführt, so handelt es sich um die Parallelstellung der Visierlinie, beziehungsweise Ringachse zur Haupttangente an der Marke der Nivellierlibelle.

Die Prüfung und Berichtigung wird für die drei verschiedenen Konstruktionen von Nivellierinstrumenten mit umlegbarem Fernrohre auf verschiedene Weise durchgeführt.

Bei allen drei Konstruktionen wird zunächst vorausgesetzt, daß die Fernrohrringe gleiche Querschnitte haben; in Nr. 46 bis 50 findet die Ungleichheit der Ringhalbmesser spezielle Berücksichtigung.

Nivellierinstrumente mit umlegbarem Fernrohre und Aufsetzlibelle.

Die Nivellierlibelle ist eine freie Libelle (Fig. 37), wird auf die Ringe aufgesetzt und durch drehbare Haken, die an den Fernrohrträgern befestigt sind, festgehalten. Die übrige Einrichtung ist wie bei den bereits bekannten Instrumenten.

43. **Eigenschaften und Rektifikation.** Da die Halbmesser der Ringe gleich vorausgesetzt werden und weiters die Zentrierung der Visierlinie

nach Nr. 41 schon ausgeführt sein muß, so ist nur notwendig, daß die Aufsetzlibelle für sich rektifiziert wird.

Diese Rektifikation erfordert zwei getrennte Untersuchungen, und zwar:

- a) die Prüfung des Parallelismus der Haupttangente an der Marke der Nivellierlibelle zur Unterlageebene und
- b) die Untersuchung der Libellenkreuzung.

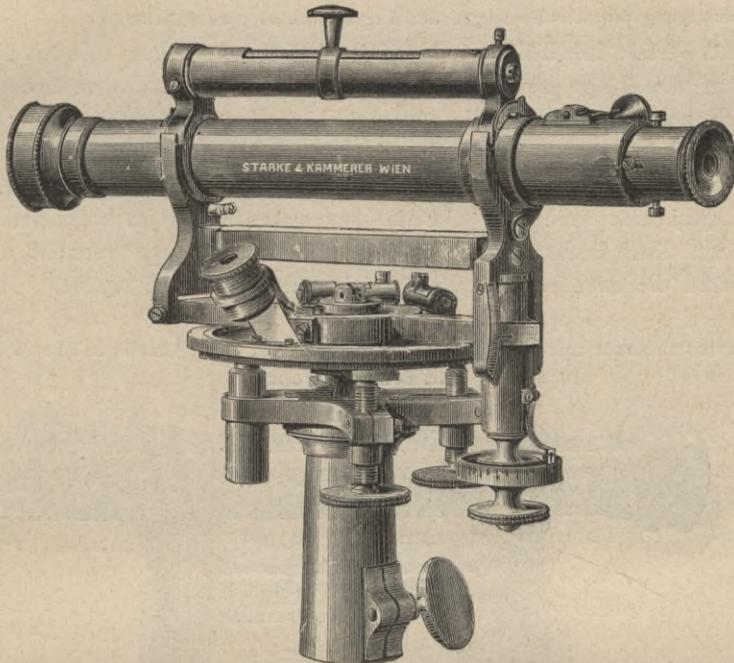


Fig. 37.

($\frac{1}{3}$ der natürlichen Größe.)

Ad a) Man setzt die Libelle auf die Ringe des Fernrohres und bringt die Blase durch die Elevationsschraube scharf zum Einspielen; hebt man die Libelle ab, wendet sie und setzt sie abermals auf die Fernrohrringe auf, so kann man entweder ein Einspielen der Blase beobachten, in welchem Falle der Parallelismus der Haupttangente an der Marke mit der Visierlinie besteht, oder einen Ausschlag, der zur Hälfte mit der Rektifikationsschraube der Libelle (in vertikaler Richtung wirkend) beseitigt wird, wodurch die Berichtigung vollzogen ist. Zur Kontrolle wird der zweite halbe Ausschlag mit der Elevationsschraube weggeschafft, wodurch die Blase zum Einspielen gebracht wird. Wird hierauf die Libelle abgehoben, gewendet und neuerdings aufgesetzt, so wird sie entweder einspielen oder aber einen kleineren Ausschlag zeigen, der in analoger Weise beseitigt wird wie früher.

Anmerkung. Die Prüfung der Libelle kann auch so bewerkstelligt werden, daß bei aufgesetzter und einspielender Nivellierlibelle in entsprechender Entfernung auf einer

Latte die Lattenhöhe L_1 abgelesen wird; dann wird die Libelle abgehoben, gewendet und abermals aufgesetzt und zum Einspielen gebracht. Ist nun die abgelesene Lattenhöhe L_2 , so gibt das arithmetische Mittel

$$L = \frac{L_1 + L_2}{2}$$

jene Lattenhöhe, für welche die Visierlinie horizontal ist. Mittels der Elevationsschraube wird nun der Horizontalfaden auf L eingestellt; die Libelle tritt aus dem Spielpunkte und wird durch die vertikal wirkende Rektifikationsschraube zum Einspielen gebracht, wodurch die Berichtigung der Libelle wegen der Eigenschaft *a)* durchgeführt ist.

Ad *b)* Die Libellenkreuzung wird wie folgt untersucht. Die Nivellierlibelle wird auf die Ringe aufgesetzt und auf den Ringen etwas geschwenkt, d. h. senkrecht zur Ringachse um diese bewegt; bleibt bei dieser Schwenkung die Blase in Ruhe, so ist keine Libellenkreuzung vorhanden, tritt hingegen die Blase aus dem Spielpunkte, so bilden die Ringachse und die Haupttangente an der Marke zwei sich kreuzende Gerade. Nun werden die im horizontalen Sinne wirkenden KorrekTIONSSCHRÄUBCHEN der Libelle so lange verstellt, bis beim Schwenken die Libellenblase ihren Spielpunkt nicht mehr verläßt.

Nivellierinstrumente mit umlegbarem Fernrohre und einer Libelle in fixer Verbindung mit dem Fernrohre.

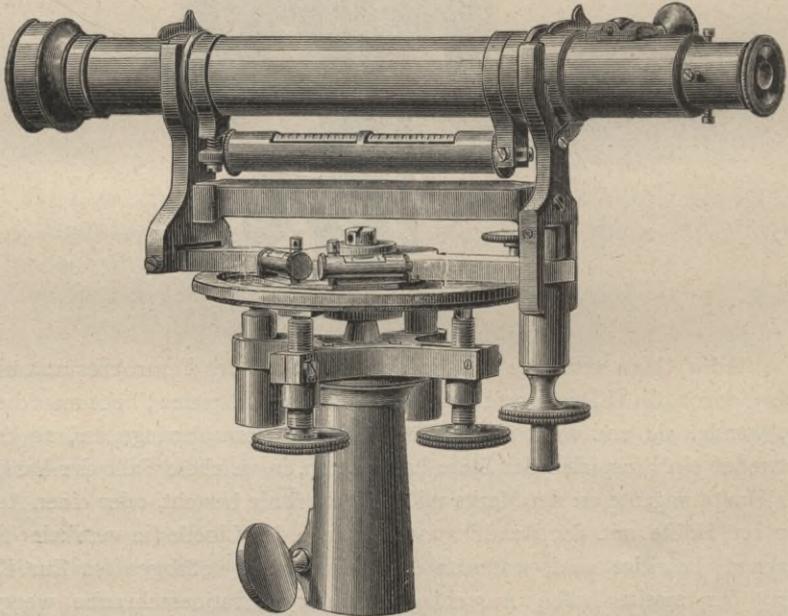


Fig. 38.

($\frac{1}{2}$ der natürlichen Größe.)

In Fig. 38 ist ein solches Instrument abgebildet. Die an der unteren Seite des Fernrohres befestigte Libelle ist hier eine Hängelibelle, die zugleich mit dem Fernrohre umgelegt werden kann.

44. Eigenschaften und Rektifikation. Auch hier hat man die mit dem Fernrohr in justierbare Verbindung gebrachte Nivellierlibelle bezüglich zweier Punkte zu untersuchen:

- a) ob der Parallelismus der Haupttangente im Normalpunkte der Nivellierlibelle mit der Ringachse, beziehungsweise Visierlinie besteht und
- b) ob eine Libellenkreuzung vorhanden ist.

Ad a) Die Nivellierlibelle wird mit der Elevationsschraube scharf zum Einspielen gebracht, hierauf das Fernrohr aus seinen Lagern gehoben und umgelegt, so daß die Ringe mit den Lagern wechseln. Spielt die Libelle ein, so ist sie bezüglich des Punktes a) in Ordnung; ergibt sich ein Ausschlag, so ist er zur Hälfte mit der Justierschraube der Libelle (im vertikalen Sinne wirkend) zu beseitigen. Damit wäre die Berichtigung vollendet; da es sich aber auch um eine Kontrolle der richtig durchgeführten Rektifikation handelt, so wird der zweite halbe Ausschlag mit der Elevationsschraube beseitigt, wodurch die Libelle zum Einspielen gebracht wird.

Wird jetzt das Fernrohr umgelegt, so wird die Libelle bei gut durchgeführter Rektifikation einspielen; sonst müßte der sich eventuell noch ergebende Ausschlag wie früher eliminiert und der Versuch so lange wiederholt werden, bis die Libelle in beiden Fernrohrlagen einspielt.

Ad b) Die Libellenkreuzung wird durch ein Schwenken, d. h. seitliches Bewegen des Fernrohres in seinen Lagern überprüft und der etwa auftretende Ausschlag der Nivellierlibelle mit den horizontal wirkenden Korrektschraubchen beseitigt.

Nivellierinstrumente mit umlegbarem Fernrohre und einer Libelle in fixer Verbindung mit den Fernrohrträgern.

45. Bei dieser Instrumentkonstruktion (Fig. 34) genügt es, bloß den Parallelismus der Haupttangente im Normalpunkte der Nivellierlibelle mit der Ringachse, beziehungsweise Visierlinie zu überprüfen.

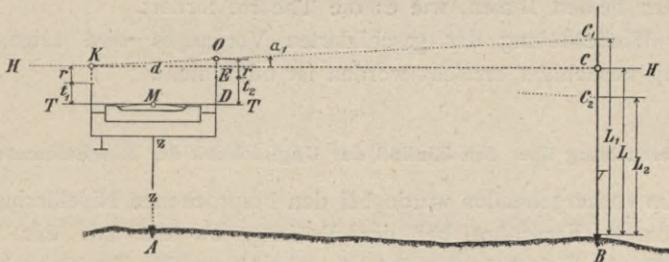


Fig. 39.

Man wählt zwei Punkte *A* und *B* (Fig. 39) in einem Abstände von 80 bis 100 *m*, so daß das Gefälle die verfügbare Lattenlänge nicht überschreitet. Nun wird bei scharf einspielender Nivellierlibelle des über dem Punkte *A* horizontal

aufgestellten Instrumentes an der Latte in B die Lattenhöhe L_1 ermittelt. Führen wir die Symbole ein: r für den Ringhalbmesser, t_1 und t_2 für die in der Figur angegebenen Längen der Träger von der horizontalen Haupttangente TT aus und ist $KE = d$, so folgt für den Neigungswinkel α_1 der Visierlinie:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{DO - DE}{KE} = \frac{(t_2 + r) - (t_1 + r)}{d} = \frac{t_2 - t_1}{r} \dots \dots \dots 15)$$

Hebt man das Fernrohr aus seinen Lagern und legt es um, so kommt das Objektiv zum Beobachter und das Okular gegen das Objekt; um nun nach der Latte in B visieren zu können, wird die Alhidade um 180° gedreht, so daß das Okular wieder zum Beobachter gelangt. Hierbei wird es zumeist geschehen, daß die Nivellierlibelle nicht mehr scharf einspielen wird, weshalb sie mit der Elevationsschraube zum Einspielen gebracht wird. Nun wird an der Latte die Lattenhöhe L_2 bestimmt.

Der Neigungswinkel α_2 der Visierlinie folgt mit:

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{(t_1 + r) - (t_2 + r)}{d} = \frac{t_1 - t_2}{2} = -\frac{t_2 - t_1}{2} = -\operatorname{tg} \alpha_1 \text{ oder } \alpha_1 = -\alpha_2, \dots \dots \dots \text{VIII)}$$

d. h. die Visierlinie geht in der zweiten Lage um denselben Winkel abwärts, um den sie in der ersten Lage sich gehoben hat.

Soll die Visierlinie, respektive die Ringachse im Raume eine horizontale Lage erhalten, so wird der Horizontalfaden mit der Elevationsschraube auf die Lattenhöhe

$$L = \frac{L_1 + L_2}{2} \dots \dots \dots \text{IX)}$$

gebracht; die Nivellierlibelle tritt aus dem Spielpunkte und wird mit ihrer in vertikaler Richtung wirkenden Justierschraube zum Einspielen gebracht.

Ist dies geschehen, so ist die Haupttangente an der Marke der Nivellierlibelle horizontal, die Visierlinie ist es auch, somit besteht der Parallelismus zwischen den beiden Linien, wie es die Theorie fordert.

Eine Wiederholung des geschilderten Vorganges wird zeigen, ob die Berichtigung tatsächlich erreicht worden ist oder nicht.

Untersuchung über den Einfluß der Ungleichheit der Ringhalbmesser.

46. Im vorhergehenden wurde bei den besprochenen Nivellierinstrumenten mit umlegbarem Fernrohre bei der Prüfung, ob die mit der Ringachse zusammenfallende Visierlinie parallel zur Haupttangente im Normalpunkte ist, die Voraussetzung gemacht, daß die Ringe des Fernrohres von gleichem Durchmesser sind; ist dies nicht der Fall, sind also die Ringhalbmesser verschieden, so ist die Ringachse und die mit ihr zusammenfallende Visierlinie zur Haupttangente nicht parallel und es wird bei einspielender Libelle die



ZARZĄD SZKOŁY GÓRNICZEJ
Dąbrowa (Śl. austr.)

Ringachse und mit ihr die Visierlinie zum Horizonte geneigt sein und die abgelesenen Lattenhöhen entsprechen nicht der horizontalen Lage der Nivellierebene.

Die Untersuchung über den Einfluß der Ungleichheit der Ringhalbmesser kann für die drei Konstruktionen von Nivellierinstrumenten mit umlegbarem Fernrohre verschieden geführt werden; nachfolgend geben wir eine Methode welche auf alle drei besprochenen Konstruktionen anwendbar ist.

47. Denken wir uns die dritte Konstruktion, wobei die Nivellierlibelle mit den Trägern des Fernrohres verbunden ist. Ist $T_1 T_2$ in Fig. 40 die im Normalpunkte M der Nivellierlibelle horizontale Haupttangente, sind O_1 und O_2 die Mittelpunkte der Ringe, so stellt $O_1 O_2$ die Ringachse und

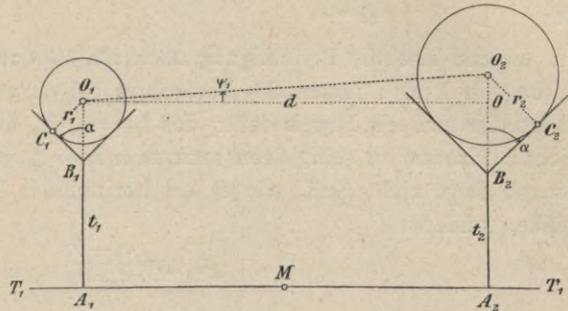


Fig. 40.

die mit ihr sich deckende Visierlinie dar; $A_1 B_1$ und $A_2 B_2$ sind die beiden Träger mit den in die Ebene des Papiers umgelegten ungleichen Ringen; die Lager, in welchen die Ringe ruhen, sind gabelförmig. Führen wir die Symbole ein:

$$\begin{aligned} O_1 C_1 &= r_1 & O_2 C_2 &= r_2 \\ A_1 B_1 &= t_1 & A_2 B_2 &= t_2 \\ A_1 A_2 &= O_1 O_2 = d, & \sphericalangle C_1 B_1 O_1 &= \sphericalangle C_2 B_2 O_2 = \alpha, \end{aligned}$$

ferner φ_1 für den Neigungswinkel der Ringachse zum Horizonte, so erhält man für die Tangente dieses Neigungswinkels:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{O O_2}{O O_1} = \frac{A_2 O_2 - A_1 O_1}{O O_1} = \frac{(A_2 B_2 + B_2 O_2) - (A_1 B_1 + B_1 O_1)}{O O_1} \dots 16)$$

Da nun

$$B_1 O_1 = \frac{r_1}{\sin \alpha}, \quad B_2 O_2 = \frac{r_2}{\sin \alpha} \text{ ist, so folgt mit Berücksichtigung der Symbole:}$$

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{\left(t_2 + \frac{r_2}{\sin \alpha}\right) - \left(t_1 + \frac{r_1}{\sin \alpha}\right)}{d} = \frac{t_2 - t_1}{d} + \frac{r_2 - r_1}{d \cdot \sin \alpha} \dots 17)$$

Wird nun das Fernrohr aus seinen Lagern gehoben, um 180° gedreht und wieder in die Lager gebracht, also umgelegt, so kommt r_2 über t_1 und r_1 über t_2 ; der Neigungswinkel der Ringachse zum Horizonte wird ein anderer φ_2 . Die Tangente dieses Winkels φ_2 wird aus Gleichung 17) erhalten, wenn man t_2 und t_1 vertauscht, also:

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{t_1 - t_2}{d} + \frac{r_2 - r_1}{d \cdot \sin \alpha} \dots 18)$$

Hat man z. B. in der normalen Lage des Fernrohres an einer in etwa 100 m entfernten Latte eine Ablesung gemacht, so wird nach der in Nr. 45 durchgeführten Rektifikation in umgekehrter Lage des Fernrohres an der Latte dieselbe Lesung gefordert; wäre dies der Fall, so müßte $\varphi_1 = \varphi_2$ sein. Dies gibt die Bedingungs-gleichung:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi_1 = \operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{t_2 - t_1}{d} + \frac{r_2 - r_1}{d \cdot \sin \alpha} = \frac{t_1 - t_2}{d} + \frac{r_2 - r_1}{d \cdot \sin \alpha} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 19)$$

oder

$$t_1 = t_2$$

Wenn also die Berichtigung nach Nr. 45 durchgeführt wird, wonach die Lesung in beiden Lagen des Fernrohres bei einspielender Libelle dieselbe ist, so ist dies nur ein Beweis dafür, daß $t_1 = t_2$ ist, und es braucht die Visur gar nicht horizontal zu sein; denn setzt man $t_1 = t_2$ in die Gleichungen 17) und 18) ein, so folgt nicht Null, wie es bei horizontaler Lage der Nivellierebene sein müßte, sondern:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{r_2 - r_1}{d \cdot \sin \alpha} \dots \dots \dots X)$$

Soll nun $\varphi_1 = 0$ werden, so ist es notwendig, daß $r_2 = r_1$ wird, daß also die Ringhalbmesser gleich sind.

Wegen der Kleinheit von φ_1 und φ_2 kann statt der Tangente der Bogen gesetzt werden; wird dann auf das Winkelmaß übergegangen, so wird erhalten:

$$\varphi_1'' = \rho \frac{r_2 - r_1}{d \cdot \sin \alpha} \dots \dots \dots XI)$$

Für $\alpha = 45^\circ$ ist $\sin \alpha = \frac{1}{\sqrt{2}}$,

somit

$$\varphi_1'' = \rho \frac{r_2 - r_1}{d} \sqrt{2} \dots \dots \dots XII)$$

Ist $r_2 > r_1$, d. h. ist der Objektivring der größere, so wird φ_1 positiv und die Visur hebt sich bei einspielender Libelle um den Winkel φ_1 ; falls $r_2 < r_1$ ist, so senkt sich die Visur.

Beträgt der Winkel $\alpha = 90^\circ$, was dann der Fall ist, wenn die Träger zylindrisch geformt sind, so wird $\sin \alpha = \sin 90^\circ = 1$ und

$$\varphi_1'' = \rho \frac{r_2 - r_1}{d} \dots \dots \dots XIII)$$

Die vorstehend abgeleiteten Relationen bestehen mit den entsprechenden Modifikationen auch für Nivellierinstrumente mit umlegbarem Fernrohre, bei denen die Nivellierlibelle zum Aufsetzen auf die Fernrohrringe eingerichtet, beziehungsweise mit dem Fernrohre verbunden ist.

Um zur Kenntnis der Ungleichheit der Ringhalbmesser selbst zu gelangen, macht man mit dem Instrumente die Prüfung auf den Parallelismus der Visierlinie zur Haupttangente an der Marke aus zwei Standpunkten, genau so, als wenn ein Nivellierinstrument mit fixem Fernrohre vorliegen würde (II. Band, Nr. 23).

Es ergibt sich für den Fehler

$$x = \frac{L_1 + L_2}{2} - \frac{J_1 + J_2}{2} \dots \dots \dots 20)$$

bei dem Abstände D der beiden Standpunkte A und B ; man hat dann

$$tg \varphi = \frac{x}{D} \text{ oder } \varphi'' = \frac{x}{D} \rho'' \dots \dots \dots \text{XIV)}$$

Die Verbindung dieser Gleichung mit XI) gibt:

$$\left. \begin{array}{l} \text{für } \alpha = 45^0 \\ \text{„ } \alpha = 90^0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} r_2 - r_1 = \frac{x \cdot d}{D} \sin \alpha; \\ r_2 - r_1 = \frac{x \cdot d}{2D} \sqrt{2} \\ r_2 - r_1 = \frac{x \cdot d}{D} \end{array} \text{ und } \left. \dots \dots \dots \text{XV)}$$

Hat man z. B. für ein Instrument

$$\left. \begin{array}{l} \alpha = 45^0 \\ d = 0.120 \text{ m} \\ x = 0.010 \text{ m} \\ D = 150 \text{ m} \end{array} \right\}, \text{ so ist } r_2 - r_1 = \frac{0.010 \cdot 0.120}{2 \cdot 150} \sqrt{2} \text{ m} = 0.0066 \text{ mm.}$$

48. Hat man durch diese Untersuchung die Ungleichheit der Ringhalbmesser konstatiert, so kann die beobachtete Lattenhöhe auf folgende drei Arten von diesem Fehlereinflusse befreit werden.

1. Man korrigiert die bei einspielender Nivellierlibelle ermittelten Lattenhöhen. Ist nämlich der Fehler für die Distanz D mit x gefunden worden, so ist er für die Distanz D_1 aus

$$x_1 : x = D_1 : D \text{ mit } x_1 = \frac{D_1}{D} x$$

zu berechnen und an die Lattenhöhe mit dem Zeichen von x anzubringen. Man kann sich nun eine Tabelle rechnen, aus welcher mit dem Argumente D die Korrektion x entnommen wird, wobei wegen der Kleinheit der Ungleichheit der Ringe die Distanzen nicht sehr genau bekannt zu sein brauchen.

2. Man korrigiert die Visierlinie und macht sie parallel zur Haupttangente im Normalpunkte der Nivellierlibelle. Hat man nämlich die Ungleichheit der Ringhalbmesser, also ein x konstatiert, so verstelle man den Kreuzungspunkt des Fadenkreuzes derart, daß die Lesung an der Latte, wenn man sich bei der Prüfung im zweiten Standpunkte B befindet, nicht L_2 , sondern, wenn $x > 0$ ist, $L_2 - x$ wird. Dadurch macht man die Visierlinie parallel zur Haupttangente im Normalpunkte und sie wird bei einspielender Libelle stets horizontal sein. Die Visierlinie wird aber aus der Ringachse gebracht, und man muß in der Folge auf den Vorteil des umleg-

baren Fernrohres verzichten; denn die Visur wird bei einspielender Blase nur dann horizontal sein, wenn das Fernrohr so in den Lagern liegt wie bei der Untersuchung. Die Visierlinie ist dann nicht zentriert. Die Haupttangente ist nicht parallel zur Ringachse, wohl aber zur Visierlinie.

3. Man beachtet den geringen Fehler weiter nicht, nivelliert aber stets nach „der Methode aus der Mitte“ mit gleichen Zielweiten, wobei die auftretenden Fehler sich aufheben.

Für die Praxis dürfte dieses Verfahren wohl das empfehlenswerteste sein.

Spezielle Untersuchung der Ungleichheit der Ringhalbmesser für den Fall, daß eine Aufsetzlibelle vorhanden ist.

Obleich das soeben erläuterte Verfahren der Bestimmung der Ungleichheit der Ringhalbmesser für alle drei Konstruktionen von Nivellierinstrumenten mit umlegbarem Fernrohre Gültigkeit hat, so empfiehlt es sich doch, bei Vorhandensein einer aufsetzbaren Nivellierlibelle den folgenden Weg einzuschlagen.

Die Untersuchung wird abweichend geführt, je nachdem die benützte Aufsetzlibelle rektifiziert ist oder nicht.

49. 1. Fall. Die Aufsetzlibelle ist rektifiziert, d. h. die Auflagenlinie ist parallel zur Tangente im Normalpunkte.

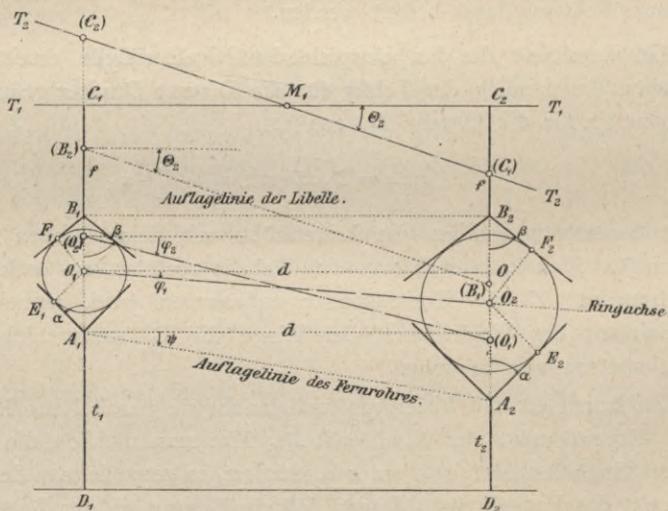


Fig. 41.

Bei einer rektifizierten Reiterlibelle ist die Verbindungslinie $B_1 B_2$ der Kniepunkte der Libellenfüße (Fig. 41) parallel zur Haupttangente $T_1 T_2$, es sind daher die Libellenfüße $B_1 C_1 = B_2 C_2 = f$ einander gleich.

Wird das Fernrohr in die Normallage, d. h. das Okular über die Elevationsschraube, gebracht, die rektifizierte Aufsetzlibelle auf die Ringe aufgesetzt und mit der Elevationsschraube zum Einspielen gebracht, so sind $T_1 T_1$ und $B_1 B_2$ horizontal, die Ringachse $O_1 O_2$ hingegen schließt den Winkel φ_1 und die Auflagelinie $A_1 A_2$ des Fernrohres den Winkel ψ mit der Horizontalen ein.

Gelten hier dieselben Symbole wie in Fig. 40, so ergibt sich aus nebenstehender Fig. 41:

$$tg \varphi_1 = \frac{\overline{B_2 O_2} - \overline{B_1 O_1}}{d}, \quad tg \psi = \frac{\overline{B_2 A_2} - \overline{B_1 A_1}}{d} = \frac{\overline{D_1 A_1} - \overline{D_2 A_2}}{d}.$$

Da nun:

$$\left. \begin{aligned} \overline{O_1 B_1} &= \frac{r_1}{\sin \beta} & \overline{O_2 B_2} &= \frac{r_2}{\sin \beta} \\ \overline{B_1 A_1} &= r_1 \left(\frac{1}{\sin \alpha} + \frac{1}{\sin \beta} \right) & \overline{B_2 A_2} &= r_2 \left(\frac{1}{\sin \alpha} + \frac{1}{\sin \beta} \right) \end{aligned} \right\}$$

ist, so erhält man nach Substitution:

$$tg \varphi_1 = \frac{r_2 - r_1}{d \cdot \sin \beta}, \quad tg \psi = \frac{r_2 - r_1}{d} \left(\frac{1}{\sin \alpha} + \frac{1}{\sin \beta} \right) = \frac{t_1 - t_2}{d} \dots \dots \dots 21)$$

und daraus die Beziehung:

$$\frac{r_2 - r_1}{d \cdot \sin \alpha} = tg \psi - \frac{r_2 - r_1}{d \cdot \sin \beta} = tg \psi - tg \varphi_1 \dots \dots \dots 22)$$

Bei einspielender Libelle sollte die Ringachse horizontal, also $\varphi_1 = 0$ sein, was dann eintreten würde, wenn $r_2 = r_1$ wäre; um dies zu prüfen, hebe man die Aufsetzlibelle ab, nehme das Fernrohr aus den Lagern, bringe es in umgelegter Lage in die Lager und setze wieder die Libelle auf.

Die Visierlinie kommt in die Lage $(O_2)(O_1)$ und schließt den Winkel φ_2 mit dem Horizonte ein; die Auflagelinie der Libelle kommt nach $(B_2)(B_1)$ mit dem Winkel Θ_2 , die Tangente kommt nach $T_2 T_2$ und die Auflagelinie des Fernrohres $A_1 A_2$ bleibt unverändert.

Für die Tangenten der Winkel φ_2 und Θ_2 erhält man:

$$tg \varphi_2 = \frac{D_1(O_2) - D_2(O_1)}{d}, \quad tg \Theta_2 = \frac{D_1(B_2) - D_2(B_1)}{d}$$

oder nach Einführung der bekannten Werte:

$$tg \varphi_2 = \frac{\left(t_1 + \frac{r_2}{\sin \alpha} \right) - \left(t_2 + \frac{r_1}{\sin \alpha} \right)}{d},$$

$$tg \Theta_2 = \frac{\left[t_1 + r_2 \left(\frac{1}{\sin \alpha} + \frac{1}{\sin \beta} \right) \right] - \left[t_2 + r_1 \left(\frac{1}{\sin \alpha} + \frac{1}{\sin \beta} \right) \right]}{d}$$

oder
$$tg \varphi_2 = \frac{t_1 - t_2}{d} + \frac{r_2 - r_1}{d \cdot \sin \alpha}, \quad tg \Theta_2 = \frac{t_1 - t_2}{d} + \frac{r_2 - r_1}{d} \left(\frac{1}{\sin \alpha} + \frac{1}{\sin \beta} \right) \dots \dots 23)$$

Berücksichtigt man die Gleichungen 21) und 22), so gehen die vorstehenden Gleichungen über in:

$$tg \varphi_2 = tg \psi + tg \psi - tg \varphi_1 = 2 tg \psi - tg \varphi_1, \quad tg \Theta_2 = 2 tg \psi \dots \dots \dots 24)$$

In den meisten Fällen kann $\alpha = \beta$ angenommen werden; statt der Tangenten der kleinen Winkel kann man die Bogen einführen und erhält:

$$\left. \begin{array}{l} \text{aus Gleichung 22) } \dots \dots \dots \psi = 2 \varphi_1 \\ \text{„ „ 24) } \dots \dots \varphi_2 = 2 \psi - \varphi_1 = 4 \varphi_1 - \varphi_1 = 3 \varphi_1 \text{ und } \\ \qquad \qquad \qquad \Theta_2 = 2 \psi \qquad \qquad \qquad = 4 \varphi_1 \end{array} \right\} \dots \text{XVI)}$$

An der Libelle wird man den Ausschlag beobachten, welcher dem Winkel $\Theta_2 = 4 \varphi_1$ entspricht; wird die Libelle mit der Elevationsschraube zum Einspielen gebracht, so wird $(B_2)(B_1)$ um Θ_2 gegen den Horizont geändert und horizontal gemacht; damit wird auch die Visierlinie um $4 \varphi_1$ gegen die frühere Lage geändert, so daß nun die Visierlinie den Winkel $\varphi_2 - 4 \varphi_1 = 3 \varphi_1 - 4 \varphi_1 = -\varphi_1$ mit dem Horizonte einschließt, d. h. wenn die Ringachse bei einspielender Aufsetzlibelle und normaler Lage des Fernrohres sich (wie in Fig. 41) um den Winkel φ_1 gesenkt hat, so wird sie bei umgelegter Lage des Fernrohres und einspielender Libelle sich um denselben Winkel heben. Würde man daher die Lattenhöhen L_1 und L_2 in beiden Lagen ermitteln, so entspräche das arithmetische Mittel $L = \frac{L_1 + L_2}{2}$ der horizontalen Lage der Ringachse, beziehungsweise der mit ihr sich deckenden Visierlinie.

Um nun die Ungleichheit der Ringhalbmesser zu bestimmen, wird man die Gleichungen 21) und XVI) verbinden; also:

$$tg \varphi_1 = \frac{r_2 - r_1}{d \cdot \sin \beta} = \frac{tg \Theta_2}{4} \dots \dots \dots 25)$$

woraus folgt $r_2 - r_1 = d \cdot \sin \beta \cdot tg \varphi_1 = \frac{d}{4} \sin \beta \cdot tg \Theta_2 \dots \dots \dots \text{XVII)}$

Den Winkel Θ_2 kann man aus dem Ausschlage der Libelle ableiten; werden nach dem Umlegen des Fernrohres und aufgesetzter Libelle die Blasenenden abgelesen, und zwar i auf der Okularseite, a auf der Objektivseite, so ist der Stand der Blasenmitte $\frac{i+a}{2}$ (i und a mit ihren entsprechenden Vorzeichen). Beträgt der Winkelwert des Skalenteiles γ'' , so läßt sich der Neigungswinkel Θ_2 und damit φ_1 bestimmen; denn es ist, eine Libelle mit unterbrochener Teilung vorausgesetzt:

$$\left. \begin{array}{l} \Theta_2'' = \frac{i+a}{2} \gamma'' = 4 \varphi_1'' \text{ oder } \\ \varphi_1'' = \frac{\Theta_2''}{4} = \frac{1}{4} \frac{i+a}{2} \gamma'' \end{array} \right\} \dots \dots \dots 25 a)$$

Kennt man den Winkel θ_2 , beziehungsweise φ_1 , so kann der Fehler x in der Lattenhöhe für eine beliebige Distanz D berechnet werden; er ist

$$x = D \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 = D \cdot \widehat{\varphi_1} = \frac{D \cdot \varphi_1''}{\rho''} \dots \dots \dots \text{XVIII)}$$

Hat man die Ungleichheit der Ringhalbmesser festgestellt, so kann die Unschädlichmachung dieses Fehlers nach Nr. 48 bewerkstelligt werden.

Beispiel. Bei einem Nivellierinstrumente, dessen Libelle eine symmetrische Teilung hatte, wurde beobachtet:

$$\left. \begin{matrix} a = 0.4 \\ i = 7.0 \end{matrix} \right\} \text{, wobei } 7.0 \text{ positiv und } 0.4 \text{ negativ in}$$

Rechnung zu bringen ist; es ist:

$$\frac{a + i}{2} = \frac{7.0 - 0.4}{2} = 3.3 \text{ Skalenteile der Libelle; da}$$

$$\gamma'' = 11.86'' \text{ ist, so folgt:}$$

$$\theta_2 = 3.3 \times 11.86'' = 39.14'' \text{ oder } \varphi_1 = 9.78''.$$

Man sieht aus dieser Untersuchung, daß hier der Okularring der größere ist, daß also bei der ersten normalen Lage des Fernrohres und einspielender Libelle die Visur um $9.78''$ zu hoch geht. Will man daraus den Fehler der Lattenhöhe x im Abstände $D = 80 \text{ m}$ berechnen, so folgt:

$$x = D \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 = D \cdot \widehat{\varphi_1} = \frac{D \cdot \varphi_1''}{\rho''}$$

oder nach Substitution

$$x = 80 \text{ m} \cdot \frac{9.78''}{260.265''} = 0.0038 \text{ m,}$$

also ein namhafter Betrag als Fehler in der Lattenhöhe.

50. 2. Fall. Die Nivellierlibelle ist nicht rektifiziert. Dadurch daß die Libelle nicht rektifiziert ist, wird es notwendig, die Libelle in jeder Fernrohrlage durch Umsetzen um 180° zweimal zu beobachten; es lassen sich soviel Gleichungen aufstellen, daß dann alle Neigungen bestimmt werden können, und es läßt sich sehr schön konstatieren, ob eine Ungleichheit der Ringhalbmesser besteht oder nicht.

Auf die theoretische Untersuchung dieses allgemeinen Falles müssen wir wegen Raummangels verzichten.

Nivellierinstrumente mit drehbarem Fernrohre und Doppellibelle.

51. Bei diesen Nivellierinstrumenten werden als Nivellierlibellen geprüfte und in Bezug auf den Parallelismus der Tangentialebenen in den Normalpunkten für richtig befundene Doppellibellen (I. Band, Nr. 121) verwendet; es kann daher stets angenommen werden, daß die Tangentialebenen der Doppellibelle zueinander parallel sind.

Das Fernrohr ist in seinen Lagern drehbar; die Drehung ist durch Anschläge eines Zapfens an Justierschrauben, ähnlich wie bei Nivellierinstrumenten mit umlegbarem Fernrohre, in einer bestimmten Lage begrenzt; die Doppellibelle ist mit dem Fernrohre in justierbarer Verbindung.

In Fig. 42 ist ein solches Nivellierinstrument aus dem mathematisch-mechanischen Institute von Starke & Kammerer in Wien dargestellt. Das Fern-

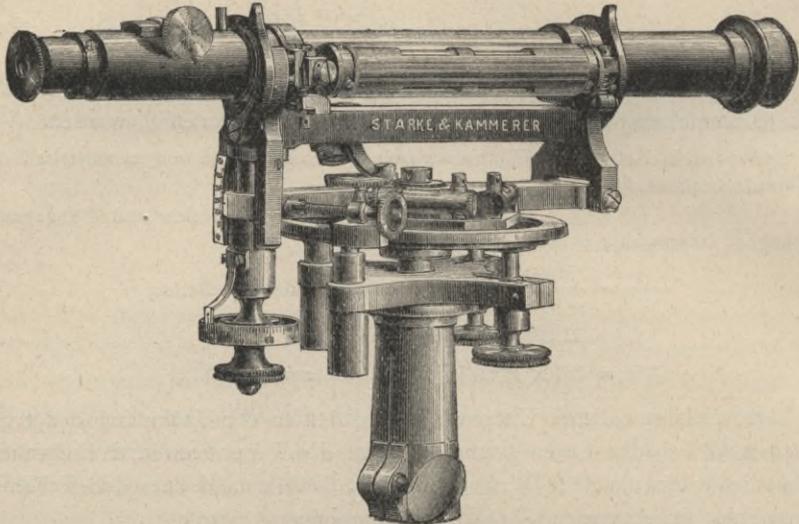


Fig. 42.

(1/2 der natürlichen Größe.)

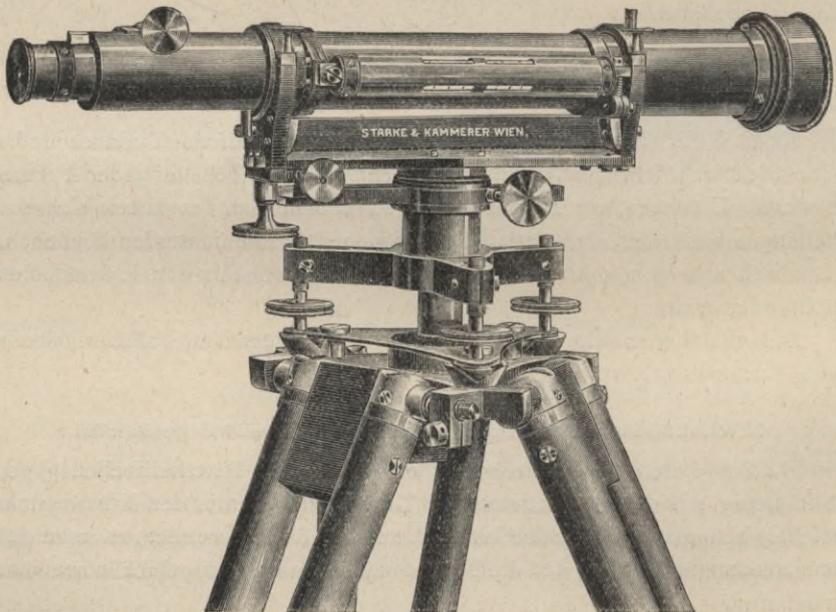


Fig. 43.

(1/3 der natürlichen Größe.)

rohr ist zum Drehen und Umlegen eingerichtet; da aber bei der Rektifikation das Umlegen nicht notwendig ist, so bleiben die Klammern, die sich um die

Ringe des Fernrohres legen, geschlossen. Die Doppellibelle ist seitwärts am Fernrohre derart angebracht, daß sie durch Drehung des Fernrohres um seine Längsachse um 180° in zwei charakteristische Stellungen zu demselben gebracht werden kann, nämlich Doppellibelle „links“ und „rechts“ vom Fernrohre. Das Einspielen der Doppellibelle wird durch eine Elevationsschraube (Sehnschraube nach Stampfer) bewirkt.

Während die meisten Nivellierinstrumente aus der mathematisch-mechanischen Werkstätte von Starke & Kammerer mittels einer Hülse auf ein Zapfenstativ

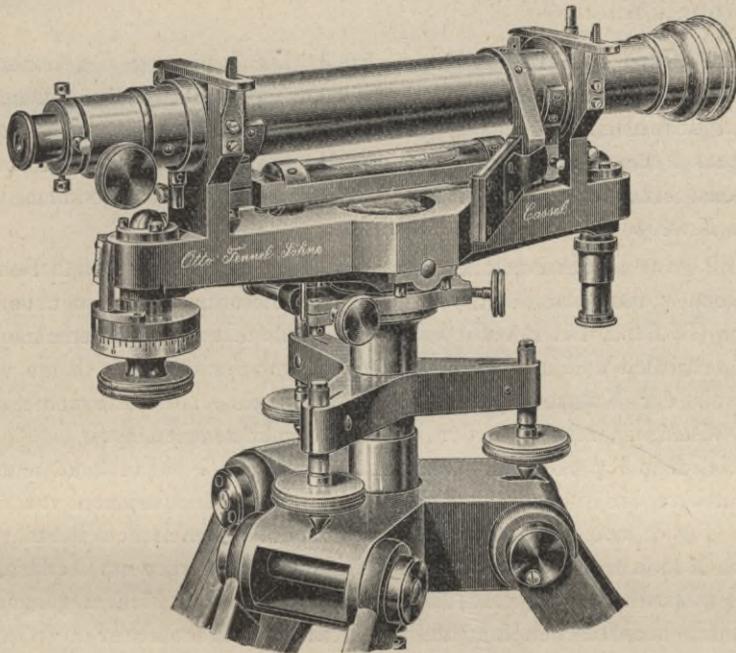


Fig. 44.

($\frac{1}{2}$ der natürlichen Größe.)

aufgesetzt werden können, zeigt die Fig. 43 ein Nivellierinstrument mit drehbarem Fernrohre und Doppellibelle mit einem Dreifußunterbaue auf einem besonders solid und stabil hergestellten Stative. Dieses Instrument eignet sich zur Ausführung von feineren Nivellements.

Das in Fig. 44 dargestellte Instrument mit Doppellibelle stammt aus dem mathematisch-mechanischen Institute von Otto Fennel Söhne in Kassel. Das Instrument ruht auf einem Dreifußunterbaue; das drehbare und umlegbare Fernrohr besitzt eine Doppellibelle unterhalb des Fernrohres, welche durch Drehung desselben oberhalb erscheint. Eine Tangentenschraube besorgt die scharfe Einstellung der Doppellibelle. Ein seitlich am Fernrohre angebrachter Spiegel ermöglicht die Kontrolle der gemachten Einstellung der Libellenblase.

52. Eigenschaften. Die Bedingungen, welche Nivellierinstrumente dieser Kategorie erfüllen müssen, lauten:

1. der horizontale Querfaden des Fadenkreuzes soll mit der vertikalen Umdrehungsachse des Instrumentes einen Richtungsunterschied von 90° bilden,
2. die Visierlinie muß zentriert sein, d. h. mit der Ringachse zusammenfallen und
3. die Visierlinie, beziehungsweise Ringachse muß parallel sein zu den parallelen Tangentialebenen in den Normalpunkten der Doppellibelle.

53. Prüfung und Berichtigung. Ad 1. Die Justierung des horizontalen Querfadens des Fadenkreuzes wird bei vertikaler Lage der vertikalen Umdrehungsachse des Instrumentes genau so ausgeführt wie bei Nivellierinstrumenten mit umlegbarem Fernrohre, wobei die Anschlagzapfen des Fernrohres und die Korrektionsschraubchen an den Fernrohrträgern zu Hilfe genommen werden (II. Band Nr. 40).

Ad 2. Was diesen Punkt betrifft, so wird seine Prüfung und Berichtigung in derselben Weise ausgeführt wie bei Nivellierinstrumenten mit umlegbarem Fernrohre (II. Band, Nr. 41). Die Fadenkreuzplatte kann mit Justierschraubchen, zwei im vertikalen und zwei im horizontalen Sinne wirkend, so lange verstellt werden, bis der Kreuzungspunkt des Fadenkreuzes in die Ringachse kommt, also die Visierlinie, respektive der Kreuzungspunkt zentriert ist.

An dem in Fig. 44 dargestellten Instrumente von Fennel kann man auch am Okularrohre die Justierschraubchen sehen; bei den Instrumenten von Starke hingegen (Fig. 42 und 43) sind die Korrektionsschraubchen nicht sichtbar; sie sind von einem Metallringe, der mit seinen Befestigungsschraubchen am Okularrohre in der Figur wahrnehmbar ist, verdeckt, sind also unmittelbar nicht zugänglich. Im mathematisch-mechanischen Institute von Starke & Kammerer in Wien wird die Zentrierung der Visierlinie exakt ausgeführt, so daß Ringachse und Visierlinie scharf zusammenfallen; die Fadenkreuzplatte wird in dieser Lage fixiert und die Korrektionsschraubchen werden mit einem Metallringe nach außen hin geschützt.

Diese Vorsichtsmaßregel halten wir für praktisch, sie schützt vor Rektifikationsstörungen einerseits und fördert andererseits die Ausführung der Prüfung und Berichtigung des Instrumentes, weil die Untersuchung des Punktes 2 wegfällt.

Ad 3. Die Prüfung, ob die Ringachse parallel zu den Tangentialebenen in den Normalpunkten der Doppellibelle ist, kann ohne Verwendung einer Latte durchgeführt werden.

Man bringt die Doppellibelle bei der Lage „links“ mit der Elevationschraube scharf zum Einspielen und liest deren Stand S_1^r ab; hiebei schließen die parallelen, horizontalen Tangentialebenen $T_1 T_1$ (Fig. 45) mit der Ringachse $R_1 R_1$ einen Winkel α ein.

Nun wird das Fernrohr um die Ringachse um 180^0 gedreht, die Doppellibelle kommt „rechts“ zu liegen und es wird mit der Elevationsschraube die Libelle im Normalpunkte M_2 zum Einspielen gebracht und auch hier der Stand der Elevationsschraube S_2^r abgelesen.

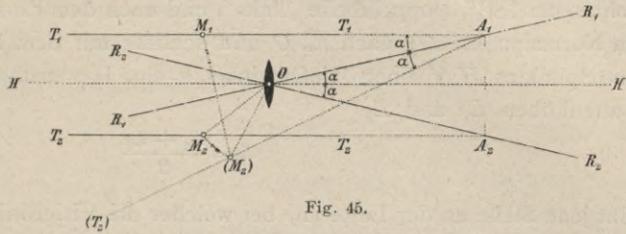


Fig. 45.

Auch jetzt schließt die Ringachse den Winkel α mit den parallelen Tangentialebenen in den Normalpunkten ein, aber sie kommt in die entgegengesetzte Lage zum Horizonte.

Der Winkel 2α könnte, wenn die Winkelgleichung der Meßschraube vorliegen würde, aus den Ablesungen berechnet werden; doch ist sein numerischer Wert gleichgültig, man braucht nur die Elevationsschraube auf

$$S^r = \frac{S_1^r + S_2^r}{2}$$

zu stellen, wodurch die Ringachse RR im Raume eine horizontale Lage einnimmt. Tut man dies, so tritt die Doppellibelle im Normalpunkte M_2 aus der Spiegung und muß mit ihrer im vertikalen Sinne wirkenden Justierschraube wieder zum Einspielen gebracht werden. Dadurch wird der Parallelismus zwischen Ringachse (Visierlinie) und den Tangentialebenen in den Normalpunkten der Doppellibelle hergestellt und die Berichtigung dieses Punktes ist vollzogen.

Selbstredend wird die Rektifikation genau so ausgeführt, wenn eine Tangentenschraube am Instrumente vorhanden ist (Fig. 44).

Sollte keine Meßschraube, sondern nur eine Elevationsschraube vorhanden sein, so läßt sich die Berichtigung in beschriebener Weise mit Zuhilfenahme der Libellentheilung ausführen, oder man bedient sich einer Latte.

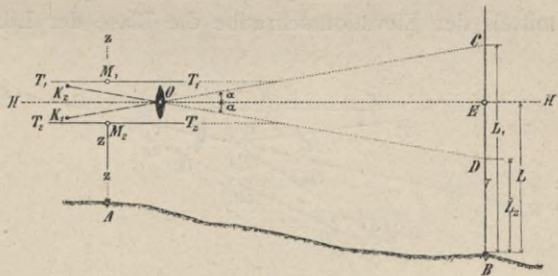


Fig. 46.

Eine Latte wird in einem Abstände von etwa 100 m (Fig. 46) im Punkte B vertikal aufgestellt; im Standpunkte A werden bei vertikal stehendem Instrumente in den beiden charakteristischen Positionen der Doppellibelle die Lattenhöhen bestimmt; man hat

Doppellibelle „rechts“ die Lattenhöhe L_1 ,
 „links“ „ „ „ L_2 .

War die Visierlinie in der ersten Lage, Doppellibelle „rechts“, und beim Einspielen der Libelle im Normalpunkte M_1 in $K_1 O$ und schließt sie mit dem Horizonte den Höhenwinkel α ein, so gelangt sie nach Drehung des Fernrohres um 180° , Doppellibelle „links“, und nach dem Einspielen der Doppellibelle im Normalpunkte M_2 nach $K_2 O$ und schließt mit dem Horizonte des Objektivmittelpunktes HH einen Tiefenwinkel α ein. Das arithmetische Mittel aus den Lattenhöhen L_1 und L_2

$$L = \frac{L_1 + L_2}{2}$$

gibt jene Stelle an der Latte an, bei welcher die Visierlinie im Raume horizontal wird; wenn daher mittels der Elevationsschraube der horizontale Quersfaden auf L scharf eingestellt und die aus dem Spielpunkte getretene Libelle auf den Normalpunkt M_2 mittels der Rektifikationsschraube zurückgeführt wird, so werden Visierlinie und die Tangenten in den Normalpunkten horizontal, also untereinander parallel.

Hat man das Nivellierinstrument in dieser Richtung berichtigt, so wird, wenn die Doppellibelle in der Lage „rechts“ zum Einspielen gebracht wurde, die Blase auch nach Drehung um 180° in der Lage „links“ scharf am Spielpunkte erscheinen und die Nivellierebene hat im Raume eine horizontale Lage.

54. Wird die vorstehende Untersuchung unter der Annahme ausgeführt, daß die Tangentialebenen in den Normalpunkten der Doppellibelle untereinander nicht parallel, sondern unter einem Winkel φ geneigt sind, so wird man finden, daß die Doppellibelle in beiden Lagen des Fernrohres scharf einspielen wird, ohne daß die Ringachse im Raume horizontal wäre; sie schließt dann mit dem Horizonte den Winkel $\frac{\varphi}{2}$ ein.

Der Untersuchung liegen dann folgende Erscheinungen zugrunde. Wird mittels der Elevationsschraube die Blase der Libelle in dem Normalpunkte M_1

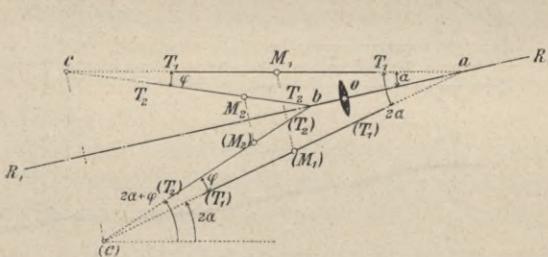


Fig. 47.

zum Einspielen gebracht (Fig. 47), so wird die Tangentialebene $T_1 T_1$ horizontal; die Tangentialebene $T_2 T_2$ schließt mit ihr den Winkel φ und die Ringachse $R_1 R_1$ den Winkel α ein. Nun lese man den Stand der Elevationschraube S_1^r ab.

Wird das Fernrohr aus der Lage Doppellibelle „rechts“ um die Ringachse um 180° in die Lage Doppellibelle „links“ gedreht, so werden die Tangentialebenen ihre Neigung zum Horizonte ändern; $(T_1)(T_1)$ schließt nun den Winkel 2α und $(T_2)(T_2)$ den Winkel $2\alpha + \varphi$ mit der Horizontalebene ein.

Nun wird mittels der Elevationsschraube die Blase in dem Normalpunkte M_2 zum Einspielen gebracht und der Stand der Elevationsschraube S_2^r abgelesen. Die Tangentialebene $(T_2)(T_2)$ wird horizontal, $(T_1)(T_1)$ schließt den Winkel φ mit der Horizontalen ein und die Ringachse ist um den Winkel $2\alpha + \varphi$ abwärts gedreht worden und schließt mit der Horizontalen den Winkel $\alpha + \varphi$ ein. Wird die Elevationsschraube auf die Lesung $\frac{S_1^r + S_2^r}{2}$ eingestellt, so wird die Ringachse um den Winkel $\alpha + \frac{\varphi}{2}$ gehoben, sie schließt daher den Winkel $(\alpha + \varphi) - (\alpha + \frac{\varphi}{2}) = \frac{\varphi}{2}$ mit dem Horizonte ein; die Tangentialebenen in den Normalpunkten werden jetzt mit dem Horizonte gewisse Winkel bilden, und zwar $(T_1)(T_1)$ den Winkel $2\alpha - (\alpha + \frac{\varphi}{2}) = \alpha - \frac{\varphi}{2}$ und $T_2 T_2$ den Winkel $(2\alpha + \varphi) - (\alpha + \frac{\varphi}{2}) = \alpha + \frac{\varphi}{2}$, es spielt daher die Libelle im Normalpunkte M_2 nicht ein.

Nun wird die Tangentialebene $(T_2)(T_2)$ mit der Rektifikationsschraube der Libelle horizontal gemacht, also beide Tangentialebenen um $\alpha + \frac{\varphi}{2}$ verändert, so daß folgende Neigungen bestehen:

- die Ringachse (Visierlinie) . . . $\frac{\varphi}{2}$
- die Tangente $T_2 T_2$ 0
- „ „ $T_1 T_1$ φ

und beide Tangentialebenen haben zur Ringachse die gleiche Neigung $\frac{\varphi}{2}$ (Fig. 48). Wird nun durch Drehung des Fernrohres um die Ringachse die Doppellibelle „rechts“ gebracht, so wird die Blase im Normalpunkte M_1 einspielen müssen.



Fig. 48.

Wir sehen, daß ein Einspielen der Doppellibelle in beiden Lagen beobachtet wird, trotzdem die Tangentialebenen zueinander unter dem Winkel φ geneigt sind; es findet eben eine Drehung des Fernrohres um eine Achse statt, die zum Horizonte unter dem halben Winkel geneigt ist, den die Tangentialebenen miteinander einschließen. Die Visierlinie, respektive die Ringachse als Drehungsachse des Fernrohres ist im Raume nicht horizontal, obwohl die Doppellibelle in beiden Lagen des Fernrohres einspielt.

Da nun diese Tatsache besteht und leicht zu falschen Schlüssen Anlaß geben könnte, so muß auch der Ingenieur Mittel besitzen, um sich von dem richtigen Schliffe der Doppellibelle überzeugen zu können; ist der Parallelismus

der Tangentialebenen in den Normalpunkten der Doppellibelle erwiesen, so kann nach ausgeführter Rektifikation des Punktes 3) die Visierebene des horizontalen Querfadens als Nivellierebene verwendet werden.

55. Prüfung der Doppellibelle auf den Parallelismus der Tangentialebenen in den Normalpunkten. Wir werden zwei Methoden besprechen.

1. Methode. Das nach Nr. 53 justierte Instrument wird in dem Endpunkte A einer etwa 80 bis 100 m langen Geraden horizontal aufgestellt; in B befinde sich eine vertikal aufgestellte Latte. Bei einspielender Doppellibelle „rechts“ wird die Lattenhöhe L_1 ermittelt und nach Drehung um die Ringachse bei einspielender Doppellibelle „links“ die Lesung L_1 kontrolliert.

Nun wird die Doppellibelle aus dem Rahmen, welcher die Verbindung mit dem Fernrohre herstellt, herausgenommen; dies geschieht durch Lösung der Schrauben, welche die Libellenfassung im Rahmen festhalten. Hierauf wird die Libelle in verkehrter Lage in dem Rahmen befestigt, so daß dasjenige Ende dem Okulare zugekehrt ist, welches früher nach dem Objekte gewendet war.

Bei der gewendeten Lage der Doppellibelle wird zwecks Kontrolle, beziehungsweise Mittelbildung nun in beiden Positionen des Fernrohres — Doppellibelle „rechts“ und „links“ — die Lattenhöhe L_2 ermittelt.

Wenn $L_1 = L_2$ ist, so sind die Tangentialebenen in den Normalpunkten der Doppellibelle parallel und $\varphi = 0$; ist hingegen $L_1 - L_2$ von Null verschieden, so entspricht die Differenz der Lattenhöhen dem Neigungswinkel φ der Tangentialebenen, und ist D der Abstand der Punkte A und B , so hat man:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{L_1 - L_2}{D} \text{ oder } \varphi'' = 206.265'' \frac{L_1 - L_2}{D} \dots \dots \dots \text{XIX)}$$

Anmerkung. Ist die Doppellibelle nicht zuerst nach Nr. 53 justiert worden, so daß je zwei Lattenlesungen bei „rechts“ und „links“ abweichen, dann sind für L_1 , beziehungsweise L_2 die Mittel einzusetzen.

2. Methode. Der Winkel φ kann auch dadurch gefunden werden, daß das bekannte Gefälle G der beiden Punkte A und B verwertet wird; hiebei ist es auch nicht notwendig, die Libelle aus ihrem Rahmen herauszunehmen und umzulegen.

Das Instrument wird in einem Punkte A aufgestellt und an der im Punkte B befindlichen Latte bei einspielenden Blasen der Doppellibelle in den zwei charakteristischen Lagen des Fernrohres — Doppellibelle „rechts“ und „links“ — die Lattenhöhe L_0 ermittelt.

Ist das bekannte Gefälle G , die gemessene Instrumenthöhe J , so muß die bekannte Relation bestehen:

$$G = L - J, \text{ woraus sich } L = G + J \text{ rechnet.}$$

Stimmt nun die berechnete Lattenhöhe L mit der beobachteten L_0 überein, so ist $\varphi = 0$; falls dies nicht zutrifft, so folgt:

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = \frac{L_0 - L}{D} \text{ oder } \frac{\varphi''}{2} = 206.265'' \frac{L_0 - L}{D} \dots \dots \dots \text{XX})$$

als halber Neigungswinkel der beiden Tangentialebenen in den Normalpunkten der Doppellibelle.

56. Vorteile des Nivellierinstrumentes mit drehbarem Fernrohre und Doppellibelle. Heute, wo tadellose Doppellibellen hergestellt werden, bei welchen der Parallelismus der Tangentialebenen in den Normalpunkten verbürgt werden kann, stellen Nivellierinstrumente mit drehbarem Fernrohre und Doppellibelle wahre Kompensationsinstrumente vor; denn etwaige Fehler wegen Ungleichheit der Ringhalbmesser, einer exzentrischen Lage der Visierlinie zur Ringachse und einer unrichtigen Bewegung des Okularrohres werden durch die Methode der Beobachtung unschädlich gemacht; außer der Prüfung und Berichtigung des horizontalen Querfadens des Fadenkreuzes hat man am Instrumente eigentlich gar keine Rektifikationen vorzunehmen; das Mittel aus den Lattenhöhen $L = \frac{L_1 + L_2}{2}$, in den zwei charakteristischen Lagen des Fernrohres — Doppellibelle „rechts“ und „links“ — bestimmt, ist frei von allen Fehlereinflüssen.

Gegenüber den Nivellierinstrumenten mit umlegbarem Fernrohre besitzen Nivellierinstrumente mit Doppellibelle namhafte Vorzüge:

die Leichtigkeit der Herstellung der richtigen Doppellibelle, gegenüber der Schwierigkeit in der Ausführung der gleichen Ringe,

Unveränderlichkeit der Doppellibelle, der die Abnützung der Ringe entgegengestellt werden muß, und

die Bequemlichkeit der Untersuchung der Doppellibelle, während die Prüfung der Gleichheit der Ringhalbmesser zu den heikligsten und subtilsten Untersuchungen gehört.

Die vorstehend angeführten Vorteile lassen erwarten, daß das Nivellierinstrument mit drehbarem Fernrohre und Doppellibelle das Zukunftsinstrument des Ingenieurs und des Geodäten sein wird.

Untersuchung über einige allgemeine Eigenschaften der Nivellierinstrumente.

Einige wichtige allgemeine Eigenschaften, welche bei Nivellierinstrumenten vorkommen, betreffen:

1. die Empfindlichkeit der Libelle,
2. die Schärfe in der Bestimmung der Lattenhöhe,
3. die Bewegung der Okularröhre und
4. den Winkelwert eines Skalenteiles der Nivellierlibelle.

57. Untersuchung der Empfindlichkeit der Nivellierlibelle. Bei Nivellierinstrumenten wird aus dem Stande der Blase im Normalpunkte der Nivellierlibelle auf die Lage der Nivellierebene geschlossen und für diese dann die

Lattenhöhe bestimmt. Die Libelle muß daher bei guten Konstruktionen eine der Leistungsfähigkeit des Fernrohres entsprechende Genauigkeit besitzen, oder die durch die Libelle zu erkennende Neigung muß mit dem Visurfehler, der wieder von der Vergrößerung des Fernrohres abhängig ist, in Einklang stehen. Wenn z. B. die durch die Libelle gerade noch erkennbare Neigung der Visierlinie im Betrage größer ist als der Visurfehler, somit die Libelle im Verhältnisse zu wenig empfindlich erscheint, so ist die stärkere Vergrößerung insofern nutzlos, als die schärfere Visurgenaugkeit in der Bestimmung der Lattenhöhe nicht zum Ausdrucke kommt.

Eine zu empfindliche Libelle erfordert andererseits mehr Zeit zum scharfen Einstellen; dies bedingt aber einen nutzlosen Zeitverlust, wenn die Visurschärfe die Genauigkeit der Libelle nicht erreicht.

Eine Untersuchung der Empfindlichkeit der Nivellierlibelle kann auf folgende Weise geführt werden. Das Instrument wird auf festem Boden aufgestellt und in entsprechender Entfernung wird die Nivellierlatte vertikal gehalten. Indem die scharfe Visur nach der Latte gerichtet wird, wird bei genau einspielender Libelle die Lattenhöhe L abgelesen. Nun wird die Libelle mit der Elevations-schraube ein wenig aus dem Spielpunkte geführt, neuerdings scharf zum Einspielen gebracht und nachgesehen, ob der Horizontalfaden dieselbe Stelle der Latte trifft. Wird bei wiederholten Versuchen keine Abweichung in der Ableseung beobachtet, so ist die Libelle hinreichend empfindlich, es besteht eine entsprechende Wechselbeziehung zwischen Visurfehler und Empfindlichkeit der Nivellierlibelle.

Um zu untersuchen, ob die Libelle nicht unnötig empfindlich ist, verfährt man wie folgt. Man stellt den Horizontalfaden auf einen markanten Punkt der Latte (am besten auf eine Zielscheibe) und liest den Stand der Blasenenden der Nivellierlibelle ab. Nun wird mittels der Elevations-schraube die Visur ver-stellt, von neuem der Faden auf die markante Stelle der Latte gebracht und abermals die Blasenenden abgelesen. Ergeben sich bei wiederholten Ver-suchen in den Ableseungen an den Blasenenden keine nennenswerten Differenzen, so stimmt die Empfindlichkeit mit der Leistungsfähigkeit des Fernrohres überein; ergeben sich aber bedeutende Schwankungen in den notierten Ableseungen, so ist die Nivellierlibelle zu empfindlich.

Es ist selbstverständlich, daß bei derartigen subtilen Untersuchungen die größten Vorsichten beobachtet werden müssen: gute und stabile Aufstellung des Statives, eine sichere Verbindung des Instrumentes mit dem Stative, Schutz der Libelle vor direkter Sonnenbestrahlung u. s. w.

58. Bestimmung des mittleren Fehlers in der Lattenhöhe. Die dies-bezügliche Untersuchung findet sich in dem Kapitel: „Genauigkeit des Nivel-lierens“, II. Band, § 10.

59. Untersuchung der Bewegung der Okularröhre. Der Parallelismus der Haupttangente im Normalpunkte der Nivellierlibelle besteht streng ge-nommen nur für die Distanz, bei welcher die Prüfung und Berichtigung des

Instrumentes erfolgte; also z. B. in den vorstehenden Fällen, wo AB etwa 100 m gewählt wurde, für die Zielweite von 100 m.

Die Zielweiten variieren aber und es ist nun die Frage, ob bei der Bewegung der Okularröhre der Kreuzungspunkt K stets in der charakteristischen Visierlinie bleibt, zu welcher bei der Rektifikation die Haupttangente im Normalpunkte parallel gestellt wurde, oder aber ob die Visierlinie bei anderer Zielweite ihre Lage ändert.

Die Untersuchung kann in nachfolgender Weise geführt werden. In den Punkten A und B (Fig. 49), welche bei der Rektifikation verwendet wurden (Nr. 23, 1. Methode) werden Latten vertikal aufgestellt; im Abstände $AP_1 = BP_2 = d$, etwa 4 bis 6 m, wird das Nivellierinstrument

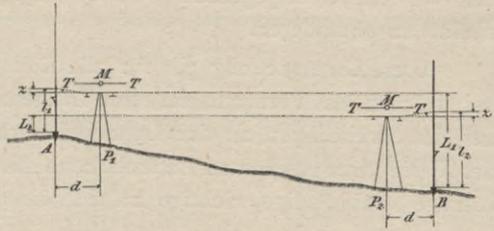


Fig. 49.

aufgestellt und bei einspielender Nivellierlibelle die Ablesungen L_1, l_1 und L_2, l_2 gemacht. Den Lattenhöhen L_1 und L_2 , welche ungefähr der Zielweite entsprechen, bei welcher das Instrument berichtigt wurde, entsprechen die parallelen Lagen der Visierlinie zur Haupttangente im Normalpunkte; verläßt jedoch der Kreuzungspunkt die charakteristische Visierlinie, gelangt er z. B. nach unten, so werden die Lattenhöhen l_1 und l_2 um z zu groß; es entspricht:

$$\left. \begin{aligned} G_{A,B} &= L_1 - (l_1 - z) \\ G_{B,A} &= L_2 - (l_2 - z) \end{aligned} \right\} \text{ und } G_{A,B} + G_{B,A} = L_1 - (l_1 - z) + L_2 - (l_2 - z) = 0, \dots \text{ (26)}$$

woraus folgt:

$$z = \frac{l_1 + l_2}{2} - \frac{L_1 + L_2}{2} \dots \dots \dots \text{XXI)}$$

Ergibt sich bei dieser Untersuchung ein Fehler z , der nicht vernachlässigt werden darf, so kann dieser behoben werden dadurch, daß

- a) das Instrument von einem Mechaniker in Ordnung gesetzt wird;
- b) man nur aus der Mitte nivelliert, wobei sich eventuelle Fehler aufheben, oder
- c) man den Fehler durch Rechnung berücksichtigt.

Im letzteren Falle, wenn das Instrument für die Zielweite d rektifiziert ist und bei der Zielweite d_1 der Fehler z_1 gefunden wurde, wird er für die Zielweite d_2 unter der Voraussetzung einer proportionalen Änderung sein:

$$z_2 = \frac{d - d_2}{d - d_1} z_1, \dots \dots \dots \text{XXII)}$$

wonach im gegebenen Falle eine Tabelle für verschiedene Zielweiten berechnet werden kann.

Bei Nivellierinstrumenten mit umlegbarem Fernrohre ist die Untersuchung, ob beim Herausziehen des Okularrohres die Visierlinie parallel zur Haupttangente bleibt, sehr einfach.

Nachdem man nach Band II, Nr. 41, die Visierlinie zentriert hat, wobei der benützte Zielpunkt der Latte in der Entfernung d vom Instrumente sich befand, wiederholt man die Prüfung wegen Zentrierung des Kreuzungspunktes (Visierlinie) nun für eine kurze Zielweite d_1 ; zeigt sich keine Abweichung, so ist das Instrument bezüglich der Bewegung des Okularrohres in Ordnung. Ergibt sich aber eine Abweichung, so ist das ein Beweis dafür, daß beim Herausziehen der Okularröhre die Visierlinie ihre Lage ändert, und es muß in der vorstehend angegebenen Weise vorgegangen werden, um diesen Fehler einfluß zu eliminieren.

Diese Untersuchung gilt für alle Konstruktionen von Nivellierinstrumenten, bei welchen das Fernrohr um seine Längachse drehbar ist; durch das Mittel aus den zweimaligen an der Latte bei normaler und um 180° gedrehter Lage des Fernrohres gemachten Lattenhöhenbestimmungen wird stets die vom Okularauszuge unabhängige, richtige Lattenhöhe erhalten.

60. Bestimmung des Winkelwertes eines Skalenteiles der Nivellierlibelle. Da die Kenntnis des Winkelwertes γ'' , der einem Pars der Nivellierlibelle entspricht, in mehrfacher Beziehung von Interesse ist, so soll ein Verfahren besprochen werden, welches ohne Zuhilfenahme eines Setzbrettes mit Benützung der Nivellierlatte zum Ziele führt.

Über dem Punkt A wird das Nivellierinstrument und im bekannten Abstände D , etwa 80 bis 100 m , im Punkte B eine Nivellierlatte vertikal aufgestellt. Nun werden bei verschiedenem Stande der Blase der Nivellierlibelle die Lattenhöhen bestimmt und die Änderungen in der Lattenhöhe und in dem Stande der Libellenblase mit der bekannten Distanz D in eine Beziehung gebracht.

Die Untersuchung kann in zweifacher Weise geführt werden. Man bringt entweder mit der Elevationsschraube das eine Blasenende sukzessive mit mehreren Teilstrichen der Libelle zur Deckung und bestimmt die entsprechenden Lattenhöhen, oder man liest bei den Blasenenden ab und rechnet mit dem Blasenmittelpunkte. Ist die Elevationsschraube zum Messen eingerichtet, so kann auch diese zur Bestimmung verwendet werden.

Angenommen, man habe mit der Elevationsschraube ein Blasenende, z. B. das rechte, auf einen Teilstrich scharf eingestellt und die Lattenhöhe L bestimmt; hierauf wurde die Elevationsschraube so lange bewegt, bis das rechte Blasenende um n Teilstriche seine Lage geändert hat, worauf gleichfalls die Lattenhöhe L_2 abgelesen wurde.

Die Visierlinie und das beobachtete Blasenende haben denselben Winkel α beschrieben, den man doppelt ausdrücken kann; es ist:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{L_2 - L_1}{D} = \widehat{\alpha} \text{ oder } \alpha'' = 206.265'' \frac{L_2 - L_1}{D} \dots \dots \dots 27)$$

ausgedrückt durch D , L_1 und L_2 , und

$$\alpha'' = n \cdot \gamma''$$

ausgedrückt durch n und γ'' , hieraus folgt:

$$\gamma'' = 206.265'' \frac{L_2 - L_1}{n \cdot D} \dots \dots \dots \text{XXIII)$$

Beispiel. Im nachfolgenden Falle wurde eine Latte im Abstände $D = 80 \text{ m}$ aufgestellt und bei einer Verstellung um fünf Skalenteile zuerst das rechte und dann ebenso das linke Blasenende benützt und die Lattenhöhenbestimmungen besorgt.

Blasenende	Lattenhöhe bei		Differenz der Lattenhöhen		Anmerkung
	Anfangsstellung L_1	Endstellung L_2	$L_2 - L_1$		
	der Blase		einzelnen	im Mittel	
rechts	m	m			Die Lattenhöhen sind Mittelwerte aus vier Ablesungen. $D = 80 \text{ m}$ $n = 5$.
	1·6488	1·6703	0·0220		
	1·6320	1·6553	0·0233	0·0232	
links	1·6563	1·6327	0·0236		
	1·6327	1·6087	0·0240		

Auf Grund der vorstehenden Daten rechnet sich:

$$\gamma'' = 206.265'' \frac{0.0233 \text{ m}}{5 \cdot 80 \text{ m}} = 11.96''$$

Falls beide Blasenenden bei der Untersuchung abgelesen werden, so kann die Bestimmung ähnlich angelegt werden wie im I. Band, Nr. 117 gezeigt wurde.

Anmerkung. Ist die Elevationsschraube als Meßschraube ausgestattet, so läßt sich die Berechnung des Winkelwertes γ'' mit Zuhilfenahme der Lesungen am Schraubenkopfe entweder selbständig und unabhängig von den Lattenhöhen und der Distanz D ausführen oder aber sie können zur Kontrolle verwendet werden.

Universal-Nivellierinstrumente.

61. Aufgabe der Universal-Nivellierinstrumente und ihre Einteilung. Die Aufgabe der bisher beschriebenen Instrumente liegt in erster Linie im Nivellieren; der Horizontalkreis, welcher vielen der angeführten Instrumente beigegeben ist, gestattet, Horizontalwinkel zu ermitteln, ebenso kann die mit einer Teilung versehene Elevationsschraube zum Messen von Vertikalwinkeln und Distanzen, beziehungsweise Höhen benützt werden; man ist aber bei diesen Arbeiten durch die beschränkte Bewegung des Fernrohres im vertikalen Sinne behindert.

Der in der Praxis tätige Ingenieur bedarf eines Instrumentes, das nicht bloß zum Nivellieren, sondern auch zur Horizontal- und Vertikalwinkelmessung

und zum optischen Distanzmessen verwendet werden kann, so zwar, daß er in der Lage ist, bei Bauausführungen mit dem Instrumente alle an ihn herantretenden geodätischen Fragen der Lösung zuzuführen.

Um diesem Bedürfnisse abzuhelfen, sind Universal-Nivellierinstrumente gebaut worden, die in vier Gruppen geteilt werden können:

1. Universal-Nivellierinstrumente mit umlegbarem Fernrohre und Aufsetzlibelle,
2. Universal-Nivellierinstrumente mit durchschlagbarem Fernrohre und Aufsetzlibelle,
3. Universal-Nivellierinstrumente mit durchschlagbarem Fernrohre und Doppellibelle und
4. Universal-Nivellierinstrumente mit fixer Libelle.

Universal-Nivellierinstrumente mit umlegbarem Fernrohre und Aufsetzlibelle.

In Fig. 50 und 51 sind zwei Vertreter dieses Typus zur Darstellung gebracht, wobei das erste Universal-Nivellierinstrument einen vertikalen Voll-

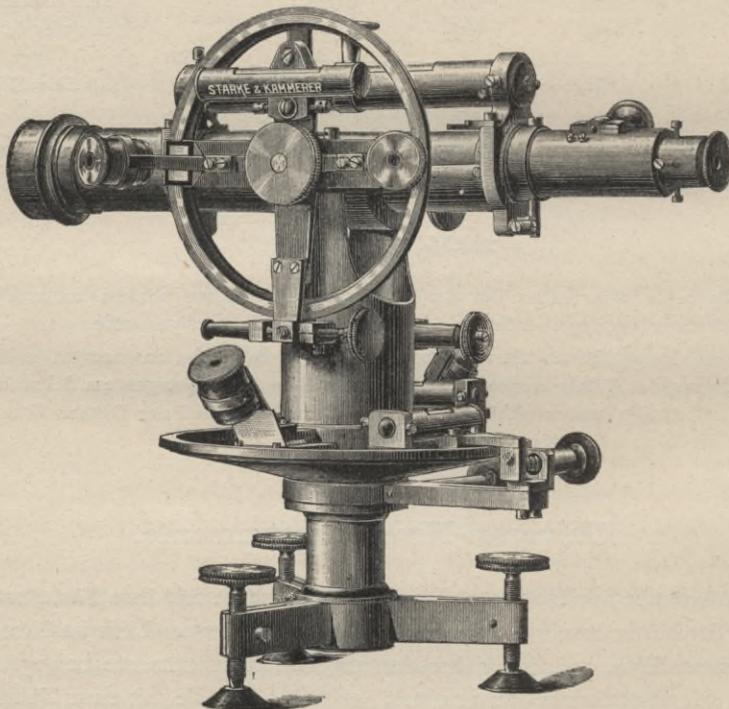


Fig. 50.

($\frac{1}{3}$ der natürlichen Größe.)

kreis mit einer Vertikalkreislibelle hat, während das zweite nur einen Vertikalbogen ohne Libelle besitzt.

62. Beschreibung. Das Instrument dient als Horizontalwinkel-Meßinstrument; zu dem Zwecke ist mit dem Unterbaue der geteilte Horizontalkreis in Verbindung, der mittels dreier Stellschrauben horizontal gestellt werden kann. Die drehbare Alhidade ist mit dem Unterteile in sicherer Verbindung; sie wird von einem starkwandigen Rohre gebildet, welches ausgeschnitten ist und als Ständer für die Aufnahme der horizontalen Umdrehungsachse des Fernrohres benützt wird.

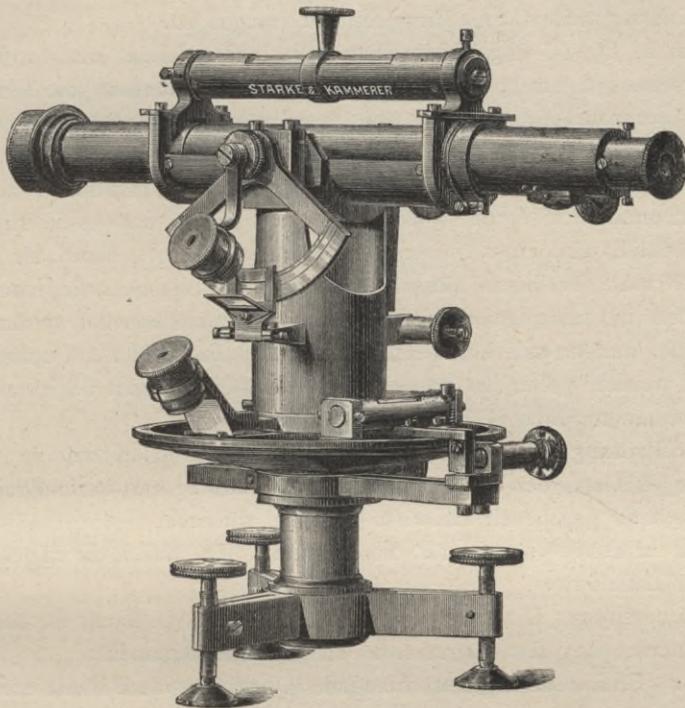


Fig. 51.

$\frac{1}{2}$ der natürlichen Größe.)

Die Fernrohdrehachse ist mit einem starken, halbzyklindrisch geformten Messingstücke, welches eine feste Metallrinne aufnimmt, in Verbindung; diese Metallrinne enthält die Lager für die Fernrohringe und die Anschlag-, respektive Korrektionsschraubchen, welche bei der Justierung des horizontalen Querfadens des Fadenkreuzes verwendet werden.

Das Fernrohr besitzt zwei aufgedrehte Ringe mit Anschlagzapfen, ferner an der Stelle der Fadenkreuzplatte in horizontaler und vertikaler Richtung je zwei Korrektionsschraubchen, um den Kreuzungspunkt des Fadenkreuzes verstellen zu können. Auf die Fernrohringe läßt sich eine Reiterlibelle aufsetzen, die als Nivellierlibelle benützt und mittels Klammern festgehalten wird; sie besitzt auch die erforderlichen Korrektionsschraubchen

Zur Klemmung und Feinbewegung der Alhidade ist eine Klemme und Feineinstellschraube vorhanden; ebenso läßt sich das Fernrohr durch entsprechende Klemm- und Feineinstellschrauben fixieren und fein im vertikalen Sinne bewegen.

Mit der horizontalen Drehachse des Fernrohres ist ein Vertikalkreis verbunden; die Alhidade des Vertikalkreises trägt auf ihren horizontalen Querarmen diametrale Nonien zur Bestimmung der Vertikalwinkel; ihr dritter Arm hat eine justierbare Libelle, die Vertikalkreis- oder Versicherungslibelle, welche durch eine Feineinstellschraube, die auf den verlängerten Arm wirkt, vor der Nonienablesung scharf zum Einspielen zu bringen ist.

Das in Fig. 51 abgebildete Instrument unterscheidet sich von dem soeben beschriebenen dadurch, daß statt des Vertikalvollkreises ein Vertikalbogen auf die Fernrohrachse montiert ist; Vertikalkreislibelle ist keine vorhanden; zur Ablesung der Vertikalwinkel dient ein fliegender Nonius.

63. Eigenschaften des Instrumentes. Da das Instrument zum Messen von Horizontal- und Vertikalwinkeln benützt wird, so muß es die Eigenschaften des Theodolites und eines Universalinstrumentes haben (I. Band, Nr. 280—282, 348); soll man Nivellieren können, so müssen die Eigenschaften eines Nivellierinstrumentes mit umlegbarem Fernrohre und Aufsetzlibelle erfüllt werden (II. Band, Nr. 38, 43), und da auch Distanzen, beziehungsweise Höhen auf optischem Wege ermittelt werden sollen, so müssen auch die Bedingungen für einen optischen Distanzmesser zutreffen (I. Band Nr. 219, 224).

64. Prüfung und Berichtigung. Nachfolgend geben wir in Kürze den vollständigen Gang der Untersuchung bei der Prüfung und Berichtigung, obwohl die vorstehend gegebenen Hinweise genügen würden.

Der erprobte Vorgang für diese Rektifikation umfaßt die folgende Reihenfolge der Arbeiten:

1. Vorbereitung: Untersuchung der Kreuzlibellen (I. Band, Nr. 269);
2. Untersuchung des Instrumentes als Nivellierinstrument:
 - a) Horizontierung des horizontalen Querfadens des Fadenkreuzes (II. Band, Nr. 40),
 - b) Zentrierung der Visierlinie, respektive des Fadenkreuzes (II. Band, Nr. 41) und
 - c) Untersuchung der Aufsetzlibelle (II. Band, Nr. 43);
3. Untersuchung der Vertikalkreislibelle (I. Band, Nr. 348);
4. Untersuchung des Instrumentes als Horizontalwinkel-Meßinstrument, umfassend:
 - a) Senkrechtstellung der horizontalen Fernrohrdrehachse zur vertikalen Umdrehungsachse des Instrumentes (I. Band, Nr. 281),
 - b) Senkrechtstellung des Vertikalfadens des Fadenkreuzes zur Fernrohrdrehachse (I. Band, Nr. 282. a) und
 - c) Untersuchung der Kollimation (I. Band, Nr. 282. b);
5. Untersuchung der optischen Konstanten. Kontrolle der Konstanten der Distanzgleichung (I. Band, Nr. 220, 224).

Ad 1. Untersuchung der Kreuzlibellen. Durch Drehung der Alhidade wird eine der beiden Kreuzlibellen in die Richtung zweier Stellschrauben gestellt, worauf die zweite Libelle von selbst in die Richtung der dritten Stellschraube zu liegen kommt, und beide Libellen werden durch die entsprechenden Stellschrauben zum Einspielen gebracht. Nun wird die Alhidade und damit die Kreuzlibellen mit Hilfe der Kreisteilung um 180° gedreht und nachgesehen, ob die Kreuzlibellen einspielen, in welchem Falle sie in Ordnung sind; ergibt sich ein Ausschlag, so wird er zur Hälfte mit den Rektifikationsschraubchen der Libelle weggebracht. Der restliche halbe Ausschlag wird mit den Stellschrauben beseitigt.

Hat man die Berichtigung erreicht, so müssen nach einer Drehung der Alhidade um 180° die Kreuzlibellen wieder scharf einspielen; sollte sich noch ein Ausschlag ergeben, so wird er in analoger Weise beseitigt wie früher und das Verfahren so lange wiederholt, bis die Kreuzlibellen in beiden Lagen scharf einspielen.

Ad 2. Vor Durchführung dieser Untersuchung muß die vertikale Umdrehungsachse des Instrumentes mittels der Kreuzlibellen genau vertikal gestellt werden. (I. Band, Nr. 270.)

a) Horizontierung des horizontalen Querfadens des Fadenkreuzes. Das Fernrohr wird in normaler Lage, d. h. das Okular über der Klemm- und Feineinstellvorrichtung der Alhidade, eingelegt und so lange um die Ringachse gedreht, bis der Anschlagzapfen das Korrektions-schraubchen des Fernrohringringes berührt; hierauf wird ein markanter Punkt im Horizonte des Instrumentes gesucht und sein Bild auf das eine Ende des horizontalen Querfadens scharf eingestellt.

Wird mittels der Feinschraube die Alhidade sanft im Horizonte um die vertikale Umdrehungsachse bewegt, bis das Bild des Gegenstandes an den zweiten Rand des Gesichtsfeldes kommt, so kann beobachtet werden, daß das Bild am Horizontalfaden geblieben ist oder ihn verlassen hat. Im ersten Falle hat der horizontale Querfaden des Fadenkreuzes die richtige Lage; im zweiten Falle hingegen muß man durch Änderung des Korrektions-schraubchens am Fernrohrlagerringe das Bild mit dem Horizontalfaden zur Deckung bringen. Wenn nun das Bild bei der Bewegung des Fernrohres durch das ganze Gesichtsfeld am Horizontalfaden bleibt, so ist die Rektifikation vollzogen.

In ähnlicher Weise muß das Fernrohr in der um 180° gedrehten Lage, wobei das Objektiv über die Alhidaden-Einstellvorrichtungen zu liegen kommt, untersucht und das Korrektions-schraubchen am zweiten Fernrohrlagerringe berichtigt werden.

b) Zentrierung der Visierlinie. Ein entfernter, gut anzielbarer Punkt wird auf den Kreuzungspunkt scharf eingestellt, worauf das Fernrohr in seinen Lagern um 180° gedreht (gewälzt) wird; bleibt das Bild des Objektes am Kreuzungspunkte, so fällt die Visierlinie mit der Ringachse zusammen, sie, beziehungsweise der Kreuzungspunkt, ist zentriert; ist dies aber nicht der Fall, so wird die Fadenkreuzplatte mit Zuhilfenahme ihrer vier Korrektions-schraubchen im vertikalen und horizontalen Sinne um den halben Betrag der Abweichung verschoben und dann das Diaphragma gut fixiert.

Nach neuerdings ausgeführter scharfer Einstellung auf das Objekt und Drehung des Fernrohres um 180° kann man sich überzeugen, ob die Berichtigung erzielt wurde oder nicht; wenn nicht, so ist der vorherbeschriebene Vorgang so lange zu wiederholen, bis der Kreuzungspunkt in beiden Fernrohrlagen denselben Punkt trifft.

Hiebei ist es jedoch, um eine Kollision mit dem Kollimationsfehler zu vermeiden, empfehlenswerter, nur den Horizontalfaden zu zentrieren (II. Band, Nr. 41).

c) Rektifikation der Aufsetzlibelle (Nivellierlibelle). Diese muß als Reiterlibelle in zweifacher Beziehung untersucht werden, und zwar wegen des Parallelismus der Haupttangente im Normalpunkte zur Ringachse und wegen der Achsenkreuzung.

Was den Parallelismus der Haupttangente im Normalpunkte zur Ringachse betrifft, so wird die auf die Ringachse aufgesetzte Libelle mit der Feineinstellschraube des Fernrohres scharf zum Einspielen gebracht, hierauf die Libelle abgehoben und umgesetzt. Ergibt sich ein Ausschlag, so hat man ihn zur Hälfte mit den im vertikalen Sinne

wirkenden Korrektions-schraubchen zu beseitigen; die zweite Hälfte des Ausschlages beseitigt man mit Hilfe der Feineinstellschraube des Fernrohres. Wenn nun dann die Libelle umgesetzt wird, so wird man bei erzielter Berichtigung finden, daß die Libelle einspielt; sollte sich noch ein Ausschlag ergeben, so wird er genau so beseitigt wie früher. Nach Wiederholung des Vorganges wird die Libelle in beiden Lagen einspielen und berichtigt sein.

Zur Untersuchung der Libellenkreuzung wird die Nivellierlibelle auf die Ringe aufgesetzt und bei fixiertem Fernrohre mit der Feinschraube scharf zum Einspielen gebracht; hierauf wird die Libelle auf den Ringen vor- und rückwärts geschwenkt. Wenn die Blase in der Längsrichtung in Ruhe bleibt, so ist die Libelle in Ordnung; zeigt sie ein Ausweichen, so muß der Ausschlag mit Hilfe der im horizontalen Sinne wirkenden Korrektions-schraubchen beseitigt werden, bis beim Schwenken der Libelle diese ihren Ort auf der Teilung nicht verläßt.

Ad 3. Berichtigung der Vertikalkreislibelle. Bekanntlich sollen bei horizontaler Lage der Visierlinie des Fernrohres und bei einspielender Vertikalkreislibelle die Lesungen an den Nonien des Vertikalkreises Null sein. Das kann nach vorstehend durchgeführter Berichtigung ganz einfach untersucht werden.

Die Nivellierlibelle und die Vertikalkreislibelle werden scharf zum Einspielen gebracht; nun sollen die Nullstriche der Nonien am Vertikalkreise mit 0° und 180° zusammenfallen. Findet dies nicht statt, so werden mit Hilfe der Feineinstellschraube der Vertikalkreislibelle die Noniusarme verstellt und die Nullstriche der Nonien auf 0° und 180° gebracht; da hiebei die Vertikalkreislibelle aus der Spielung tritt, so wird sie durch ihre Korrektions-schraubchen wieder zum Einspielen gebracht.

Es kann sich ereignen, daß die Abweichung der Nullstriche der Nonien zu groß ist und daher eine Veränderung der Vertikalkreislibelle durch ihre Korrektions-schraubchen nicht ausreicht; in diesem Falle müssen die Nonien oder sogar der ganze Vertikalkreis auf seiner Achse etwas verdreht werden, worauf dann die weitere Justierung in der beschriebenen Weise zu Ende geführt wird.

Ad 4. Untersuchung des Instrumentes als Theodolit. Diese umfaßt gewöhnlich nur einen Punkt:

a) Die Prüfung, ob die Fernrohrdrehachse zur vertikalen Umdrehungsachse des Instrumentes senkrecht steht, wird schon von Seite des Mechanikers mit aller Sorgfalt durchgeführt, es braucht also in dieser Hinsicht keine besondere Untersuchung vorgenommen werden und es sind auch keine Korrektionsvorrichtungen für diesen Zweck am Instrumente vorhanden.

b) Die Prüfung, ob der Vertikalfaden des Fadenkreuzes auf der Fernrohrdrehachse senkrecht steht, deckt sich mit der Untersuchung wegen Horizontierung des horizontalen Querfadens des Fadenkreuzes und braucht, da letztere erledigt ist, nicht mehr gemacht zu werden.

c) Die Untersuchung, ob die Visierlinie mit der horizontalen Drehungsachse des Fernrohres einen Richtungsunterschied von 90° besitzt, wird in nachstehender Weise geführt.

Man stellt den Vertikalfaden auf ein entferntes Objekt, das nahe im Horizonte liegt, scharf ein; nun werden die Lagerdeckel abgeschraubt und das Fernrohr mit der Rinne aus den Lagern gehoben und umgelegt, so daß die Zapfen die Lager wechseln, wodurch die Rinne nach oben und das Fernrohr nach unten zu liegen kommt. Hiebei wird es gut sein, das Fernrohr mittels einer Schnur mit der Rinne fest zu verbinden. Trifft der Vertikalfaden das Objekt, so ist kein Kollimationsfehler vorhanden; sonst muß die halbe Ausweichung mit den im horizontalen Sinne wirkenden Korrektions-schraubchen der Fadenkreuzplatte zur Hälfte beseitigt werden, während die zweite Hälfte der Ausweichung durch die Feineinstellschraube der Alhidade beseitigt wird.

Wenn die Kollimation behoben wurde, so wird nach neuerlichem Umlegen des Fernrohres das eingestellte Objekt genau am Vertikalfaden erscheinen.

Durch Wiederholung des vorbeschriebenen Vorganges wird die vollständige Behebung der Kollimation leicht erreicht.

Zufolge dieser Berichtigung ist die Zentrierung des Vertikalfadens verloren gegangen, was jedoch für das Nivellieren ohne Belang ist; doch wird es gut sein, jetzt die Zentrierung des Horizontalfadens zu überprüfen.

Ad. 5. Was die optischen Konstanten des Instrumentes betrifft, so ist nunmehr zu prüfen, ob die Konstanten der Distanzgleichung:

$$D = C.L + c, \text{ wenn das Fernrohr die gewöhnliche Einrichtung hat, oder} \\ D = C.L, \text{ wenn das Fernrohr anallatisch eingerichtet ist,}$$

den vom mathematisch-mechanischen Institute angegebenen Wert haben.

Zu dem Zwecke werden auf horizontalem Terrain von einem Punkte A aus Distanzen D_1, D_2, D_3, \dots scharf gemessen und die Punkte durch Pföcke bezeichnet; im Punkte A stellt man das Instrument und in den Endpunkten der Distanzen D_1, D_2, D_3, \dots sukzessive die Distanzlatte vertikal auf und bestimmt die Lattenabschnitte L_1, L_2, L_3, \dots zwischen den distanzmessenden Fäden. Es wird dann:

$$C = \frac{[D - c]}{[L]}, \text{ respektive } C = \frac{[D]}{[L]}.$$

Die additionelle Konstante c wird direkt bestimmt, indem man das Bild eines unendlich fernen Objektes, das Sonnenbild, auf einer Ebene auffängt und den Abstand des Mittelpunktes des herausgeschraubten Objektivs von der Auffangebene mißt; oder aber, indem man ein weit entferntes Objekt mit dem Fernrohre einstellt und am Fernrohre selbst den Abstand der geschätzten Objektivmitte von der Fadenkreuzebene direkt mißt.

Die Prüfung und Berichtigung des Universal-Nivellierinstrumentes in Fig. 51 wird in fast allen Punkten so geführt, wie vorstehend für Fig. 50 angegeben wurde; nur statt des Punktes 3) ist zu setzen:

Justierung des Vertikalbogens. Bei scharfem Einspielen der Kreuzlibellen und der Aufsetzlibelle (Nivellierlibelle) des Fernrohres wird nachgesehen, welche Lesung am Nullstriche des Nonius besteht; ist sie 0^0 , so ist der Vertikalbogen richtig justiert; ist hingegen die Lesung von Null verschieden, so muß bei größerem Betrage der Vertikalbogen auf seiner Achse etwas verdreht werden, so daß nahezu die Lesung 0^0 erhalten wird. Der Rest wird durch Verschiebung des fliegenden Nonius mittels seiner Spitzschrauben beseitigt und der Nullstrich des Nonius genau auf 0^0 des Vertikalbogens gestellt.

Universal-Nivellierinstrumente mit durchschlagbarem Fernrohre und Aufsetzlibelle.

65. Da die Abnützung der Ringe bei Universal-Nivellierinstrumenten mit umlegbarem Fernrohre unvermeidlich ist und dadurch eine Ungleichheit der Durchmesser und mit dieser weitere Fehler sich einstellen, ging man daran, Instrumente zu bauen, welche dieselbe Bequemlichkeit in der Rektifikation bieten wie Nivellierinstrumente mit umlegbarem Fernrohre, ohne jedoch eine starke Abnützung der Ringe herbeizuführen, und konstruierte Instrumente mit durchschlagbarem Fernrohre und Aufsetzlibelle.

Heute ist diese Konstruktion durch Ausnützung der Vorteile der Doppellibelle, wodurch die dritte Kategorie von Universal-Nivellierinstrumenten entstanden ist, weit überholt; es soll anbei doch noch ein Vertreter dieser Instrumententype vorgeführt werden, da diese Konstruktion noch im Besitze vieler Ingenieure Oesterreichs und des Auslandes sein dürfte.

66. Beschreibung. Das in Fig. 52 dargestellte Instrument hat einen Vertikalbogen, doch sind auch Instrumente mit Vertikalkreis und Versicherungslibelle gebaut worden.

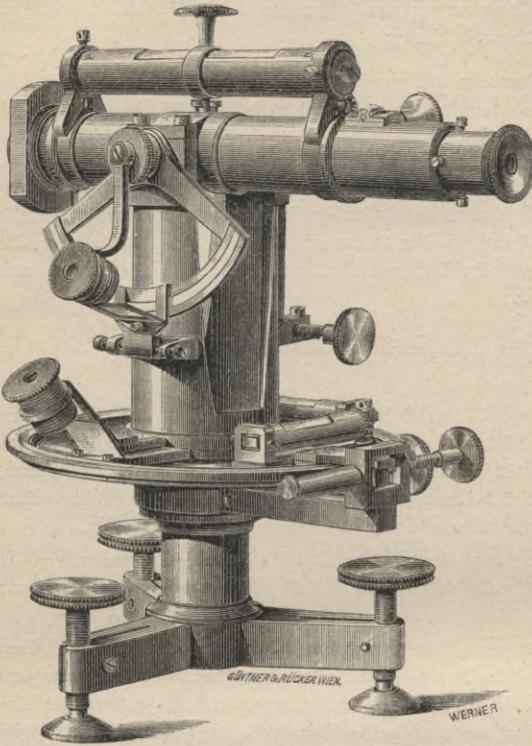


Fig. 52.

($\frac{1}{2}$ der natürlichen Größe.)

und das fünfte Schraubchen ist zu dem Zwecke vorhanden, um eine Verdrehung der Fadenkreuzplatte zu ermöglichen.

Die Aufsetzlibelle besitzt neben der erwähnten Einrichtung zur Befestigung auf dem Fernrohre, um sie vor dem Herabfallen zu schützen, die üblichen KorrekTIONSSchraubchen zur Verstellung in horizontaler und vertikaler Richtung.

Das abgebildete Instrument besitzt einen Vertikalbogen mit einem fliegenden Nonius.

67. Eigenschaften. Da das Instrument zum Messen von Horizontal- und Vertikalwinkeln, zur optischen Distanz- und Höhenmessung sowie zum Nivellieren benützt wird, so muß es auch die diesbezüglichen Eigenschaften aufweisen.

68. Die Prüfung und Berichtigung erstreckt sich auf folgende Punkte:

1. Vorbereitend: Untersuchung der Kreuzlibellen (I. Band, Nr. 269);
2. Untersuchung als Horizontalwinkel-Meßinstrument, umfassend:

- a) Prüfung ob die Fernrohrdrehachse senkrecht zur vertikalen Umdrehungsachse des Instrumentes steht (I. Band, Nr. 281),
 - b) Senkrechtstellung des Vertikalfadens des Fadenkreuzes zur Fernrohrdrehachse, beziehungsweise Horizontierung des horizontalen Querfadens (I. Band, Nr. 282 a),
 - c) Prüfung der Kollimation (I. Band, Nr. 282 b);
3. Untersuchung als Nivellierinstrument:
- a) Prüfung des horizontalen Querfadens (II. Band, Nr. 22),
 - b) Prüfung der Aufsetzlibelle (II. Band, Nr. 43),
 - c) Prüfung des Parallelismus der Haupttangente im Normalpunkte zur Visierlinie.
4. Adjustierung des Vertikalbogens, respektive des fliegenden Nonius I. Band, Nr. 348 oder II. Band, Nr. 64. 3.) und
5. Überprüfung der optischen Konstanten der Distanzgleichung (I. Band, Nr. 220, 224).

Ad 1. Untersuchung der Kreuzlibellen (I. Band, Nr. 269).

Ad 2. a) Eine Berichtigung der Fernrohrdrehachse, welche senkrecht zur vertikalen Umdrehungsachse stehen soll, kann bei diesem Instrumente nicht ausgeführt werden, da keine eigenen Justiervorrichtungen für Hebung und Senkung der Fernrohrdrehachse vorhanden sind. Diese Eigenschaft wird dem Instrumente vom Mechaniker erteilt und die Prüfung kann daher übergangen werden. Wird sie dennoch ausgeführt, so kommt sie an letzter Stelle und wird nach Nr. 282. Anmerkung vorgenommen.

b) Stellung des Vertikalfadens senkrecht zur Fernrohrdrehachse oder Horizontierung des horizontalen Querfadens des Fadenkreuzes (I. Band, Nr. 282 a) oder II. Band, Nr. 22).

c) Zur Beseitigung der Kollimation wird nachstehend vorgegangen.

Es werden mit dem Instrumente drei Punkte *A*, *B* und *C* in einem gegenseitigen Abstände von 200 bis 400 *m* genau in eine Flucht gebracht in der Art, daß das Instrument über den Punkt *A*, der durch einen Nagel auf dem Kopfe eines zylindrischen Pflöckes bezeichnet ist, aufgestellt wird und in derselben Richtung auf Pflöcken die Punkte *B* und *C* bestimmt werden, die in derselben Visierebene sich befinden; man bezeichnet sie mit feinen Nägeln (Drahtstiften).

Das Instrument wird nun im mittleren Punkte *B* zentrisch und horizontal aufgestellt, worauf der Vertikalfaden des Fernrohres scharf auf den Punkt *A* pointiert wird; nach Durchschlagen des Fernrohres soll der Punkt *C* getroffen werden. Tritt dies ein, so ist der Kollimationsfehler gleich Null; zeigt sich jedoch eine Abweichung, so wird sie zur Hälfte mit den im horizontalen Sinne wirkenden Schraubchen beseitigt.

Um eine Kontrolle zu haben, wird man die zweite halbe Abweichung mit der Feinschraube der Alhidade beseitigen. Wird jetzt das Fernrohr durchgeschlagen, so muß bei Eliminierung des Kollimationsfehlers der Punkt *A* scharf getroffen werden. Eine eventuell zurückgebliebene kleine Abweichung wird so beseitigt, wie früher angegeben.

Andere Methoden finden sich im I. Band, Nr. 282 b).

Ad 3 a) Die Prüfung des Horizontalfadens wird nach Nr. 22 ausgeführt, wobei zur Berichtigung das seitliche Schraubchen am Diaphragma benützt wird.

b) Die Untersuchung und Berichtigung der Aufsetzlibelle erfolgt wie in Nr. 64 2 c).

c) Die Untersuchung, ob der Parallelismus der Haupttangente im Normalpunkte zur Visierebene besteht, wird in nachstehender Weise geführt.

In einem Abstände von etwa 100 m wird eine Nivellierlatte vertikal aufgestellt und bei einspielender Aufsetzlibelle wird die Lattenlesung L_1 am mittleren Horizontalfaden gemacht; das Einspielen der Aufsetzlibelle wird mit der Feineinstellschraube des Fernrohres bewirkt.

Nun wird die Aufsetzlibelle vom Fernrohre abgehoben, das Fernrohr durchgeschlagen, die Alhidade um 180° gedreht und die Visur nach der Latte gerichtet; die Aufsetzlibelle wird wieder aufgesetzt und mit der Feineinstellschraube des Fernrohres zum Einspielen gebracht und die Lattenlesung L_2 am mittleren Horizontalfaden gemacht.

Das arithmetische Mittel $L = \frac{L_1 + L_2}{2}$ gibt jene Lattenhöhe, für welche die Visur des Mittelfadens im Raume horizontal ist; nun wird mittels der in vertikaler Richtung wirkenden Korrektionschraubchen der Fadenkreuzplatte der Mittelfaden auf die Lesung L gebracht, wodurch die Parallelstellung der Visierebene mit der Haupttangente im Normalpunkte der Aufsetzlibelle vollendet ist.

Ad 4. Die Adjustierung des Vertikalbogens oder Richtigungstellung des fliegenden Nonius erfolgt am einfachsten nach II. Band, Nr. 64. 3.

Ad 5. Die Überprüfung der Konstanten der Distanzgleichung wird nach II. Band, Nr. 64. 5 vorgenommen.

Universal-Nivellierinstrumente mit durchschlagbarem Fernrohre und Doppellibelle.

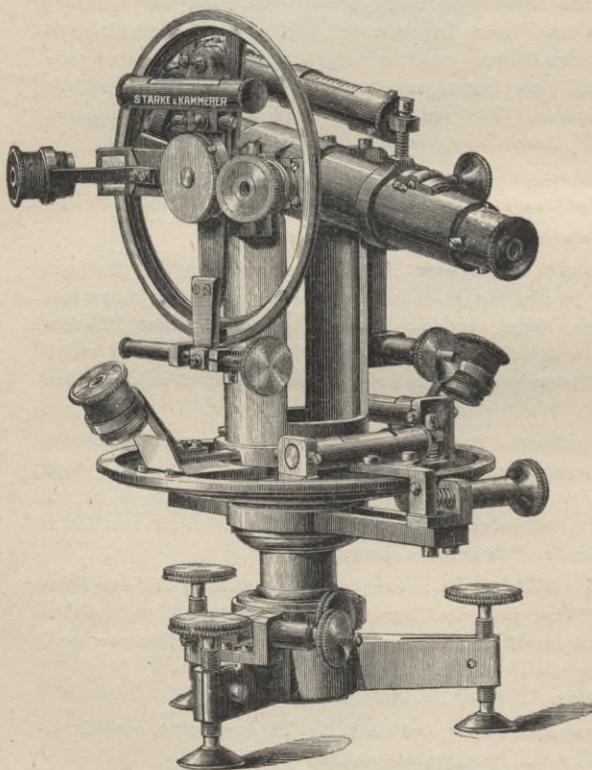


Fig. 53.

($\frac{1}{4}$ der natürlichen Größe.)

Hier sollen zwei Konstruktionen vorgeführt werden:

- a) ein Instrument mit einem vertikalen Vollkreise (Fig. 53) und
- b) ein Instrument mit einem Vertikalbogen (Fig. 55).

69. Beschreibung. Diese Instrumente unterscheiden sich von den früheren Konstruktionen hauptsächlich durch die mit dem Fernrohre justierbar verbundene Doppellibelle.

Die Doppellibelle wurde vom mathematisch-mechanischen Institute von Starke & Kammerer in Wien für Tachymeter und tachymetrische Kippregeln bereits im Jahre 1880 zur Anwendung gebracht; an Universal-Nivellierinstrumenten wird die Doppellibelle seit 1894 verwendet, in welchem Jahre die zu besprechende Kategorie von Instrumenten eingeführt wurde.

Das durchschlagbare Fernrohr besitzt am Diaphragma drei Korrektionsschräubchen, wovon zwei eine Verstellung der Fadenkreuzplatte im horizontalen Sinne gestatten und das dritte eine Drehung derselben ermöglicht.

Die Doppellibelle ist auf dem Fernrohre montiert und läßt eine Verstellung in vertikaler und horizontaler Richtung zu.

70. Eigenschaften. Diese erstrecken sich auf die Benützung des Instrumentes als Universalinstrument zur Messung von Horizontal- und Vertikalwinkeln, als Nivellierinstrument und als optischer Distanz- und Höhenmesser.

71. Prüfung und Berichtigung. Das ganze Instrument in allen seinen Teilen erfordert:

1. als Vorbereitung eine Untersuchung der Kreuzlibellen (I. Band, Nr. 269);
2. Untersuchung als Horizontalwinkel-Meßinstrument (Theodolit):
 - a) Prüfung, ob die Fernrohdrehachse senkrecht zur vertikalen Umdrehungsachse des Instrumentes steht (I. Band, Nr. 281),
 - b) Prüfung, ob der Vertikalfaden des Fadenkreuzes auf der Fernrohdrehachse senkrecht steht (I. Band, Nr. 282 a),
 - c) Untersuchung der Kollimation (I. Band, Nr. 282 b);
3. Untersuchung als Nivellierinstrument:
 - a) Horizontalierung des horizontalen Querfadens des Fadenkreuzes (II. Band, Nr. 22),
 - b) Adjustierung der Doppellibelle;
4. Adjustierung des Vertikalkreises, respektive der Vertikalkreislibelle (I. Band, Nr. 348 oder II. Band, Nr. 64. 3) und
5. Untersuchung der optischen Konstanten der Distanzgleichung (I. Band, Nr. 220, 224).

Ad 1. Untersuchung der Kreuzlibellen nach I. Band, Nr. 269.

Ad 2. Untersuchung als Horizontalwinkel-Meßinstrument.

a) Die Prüfung, ob die Fernrohdrehachse zur vertikalen Umdrehungsachse des Instrumentes senkrecht steht, braucht nicht gemacht zu werden; diese Eigenschaft kann als bestehend angenommen werden, es sind auch keine Justierungsvorrichtungen vorhanden.

b) Die Stellung des Vertikalfadens senkrecht zur Visierlinie deckt sich mit der Horizontalierung des horizontalen Querfadens des Fadenkreuzes (Nr. 282 a).

c) Die Überprüfung dieses Punktes wird mit Zuhilfenahme des vierfachen Kollimationsfehlers gemacht (I. Band, Nr. 282 b) III. Methode).

Man stellt das Instrument auf nahezu horizontalem Terrain so auf, daß die Kreuzlibellen scharf einspielen, wodurch die Umdrehungsachse des Instrumentes im Raume vertikal steht. Nun läßt man in einer Entfernung von etwa 100 m von *A* einen Absteckstab so einsetzen, daß der Vertikalfaden denselben biseziert; hierauf schlägt man das Fernrohr durch und läßt in entgegengesetzter Richtung in *B* in etwa demselben Abstände einen Absteckstab *B* vertikal aufstellen. Nun wird die Alhidade um die vertikale Umdrehungsachse gedreht und der Vertikalfaden auf den Stab in *A* scharf eingestellt, was dadurch geschieht, daß man beim Erscheinen des Bildes von *A* im Gesichtsfelde des Fernrohres die Alhidade klemmt und dann mit der Feinschraube einstellt; hierauf wird das Fernrohr durchgeschlagen und nachgesehen, ob der Stab in *B* getroffen wird oder nicht. Zeigt sich eine Abweichung,

so entspricht sie dem vierfachen Fehler und muß nun der vierte Teil dieser Abweichung durch die in horizontaler Richtung wirkenden Justierschraubchen des Diaphragmas beseitigt werden.

Zur vollständigen Beseitigung des Kollimationsfehlers muß der beschriebene Vorgang so lange wiederholt werden, bis nach dem zweiten Durchschlagen des Fernrohres der vertikale Faden genau den Absteckstab in *B* trifft.

Bei der praktischen Ausführung kann der Absteckstab *A* wegbleiben, weil sich stets nahezu im Horizonte des Instrumentes ein markanter Punkt finden läßt, der *A* ersetzt. Um das Einvisieren des Stabes bei *B* zu umgehen, befestigt man in Instrumenthöhe auf dem Stabe in *B* ein Kartontäfelchen mit einer Zentimeterteilung (Fig. 54). Das Einwinken des Stabes erfolgt nun so, daß der Vertikalfaden ungefähr die Mitte der Tafel trifft.

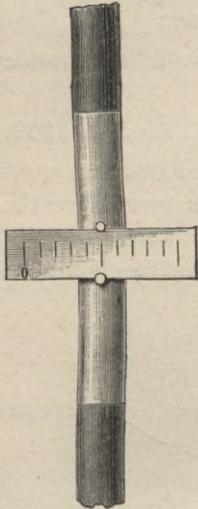


Fig. 54.

Die Feststellung des vierfachen Kollimationsfehlers, ebenso die Einstellung auf den vierten Teil des Kollimationsfehlers kann nun mit Hilfe dieser Zentimeterteilung sehr bequem erfolgen.

Ad 3. Die Prüfung als Nivellierinstrument erfordert:

a) die Untersuchung des horizontalen Querfadens des Fadenkreuzes; diese ist identisch mit der sub 2 b) und wird nach II. Band, Nr. 22, vorgenommen;

b) Adjustierung der Doppellibelle. Der Parallelismus der Tangentialebenen in den Normalpunkten der Doppellibelle kann bei guten Doppellibellen stets als existierend angenommen werden; es bleibt daher nur zu untersuchen, ob die Visierlinie zu den Tangentialebenen in den Normalpunkten parallel ist; dies wird in nachstehender Weise bewerkstelligt.

In einem Abstände von etwa 100 m wird eine Nivellierlatte vertikal aufgestellt und bei einspielender Doppellibelle, oberhalb des Fernrohres gelegen, wird die Lattenlesung L_1 am mittleren Horizontalfaden gemacht; das Einspielen der Doppellibelle wird mit der Feineinstellschraube des Fernrohres bewirkt.

Hierauf wird das Fernrohr durchgeschlagen, die Alhidade um 180° gedreht, die Visur nach der Latte gerichtet; die Doppellibelle befindet sich nunmehr unterhalb des Fernrohres. Sie wird mit der Feineinstellschraube des Fernrohres scharf zum Einspielen gebracht und abermals am mittleren Horizontalfaden die Lattenlesung L_2 besorgt.

Das arithmetische Mittel $L = \frac{L_1 + L_2}{2}$ gibt jene Lattenhöhe, für welche die Visur des Mittelfadens im Raume eine horizontale Lage hat; nun wird mittels der Feineinstellschraube des Fernrohres der Mittelfaden auf die Lesung L gebracht, wodurch die Doppellibelle aus der Spielung tritt. Sie wird mit Hilfe der in vertikaler Richtung wirkenden Korrektionschraube der Doppellibelle zum Einspielen gebracht, wodurch der Parallelismus der Visierlinie mit den Tangentialebenen in den Normalpunkten der Doppellibelle hergestellt ist.

Ad 4. Die Justierung der Vertikalkreislibelle, respektive des Vertikalbogens wird wie folgt vorgenommen.

Nachdem die Doppellibelle justiert ist, wird sie scharf zum Einspielen gebracht; hiebei sollen die Lesungen, wenn die Vertikalkreislibelle einspielt, was man mit Hilfe der Feineinstellschraube ihres Armes bewerkstelligt, an den Nullstrichen der Nonien des Vertikalkreises 0° und 180° geben. Ist dies nicht der Fall, so wird der die Nonien und die Vertikalkreislibelle tragende Alhidadenarm mit Hilfe der betreffenden Feineinstellschraube so lange verstellt, bis die Lesungen an den Nullstrichen der Nonien 0° und 180° geben; dadurch tritt die Versicherungslibelle aus dem Spielpunkte und wird mittels ihres Korrektionschraubchens scharf zum Einspielen gebracht.

Jedesmal, wenn die Nonien des Vertikalkreises auf 0° und 180° eingestellt sind und die Versicherungslibelle einspielt, hat die Visierlinie im Raume eine horizontale Lage.

Ad 5. Die Kontrolle der Konstanten der Distanzgleichung ist nach Band I., Nr. 220, 224, vorzunehmen.

Hat man ein Universal-Nivellierinstrument mit durchschlagbarem Fernrohr und Doppellibelle, aber statt eines vertikalen Vollkreises einen Vertikalbogen (Fig. 55), so umfaßt die vollständige Überprüfung folgende Punkte:

1. Untersuchung der Kreuzlibellen (I. Band, Nr. 269);
2. Untersuchung als Horizontalwinkel-Meßinstrument (Theodolit), bestehend in

- a) Prüfung der gegenseitigen Lage der Fernrohrdrehachse und der vertikalen Umdrehungsachse des Instrumentes (I. Bd., Nr. 281),
- b) Stellung des Vertikalfadens des Fadenkreuzes zur Fernrohrdrehachse

(I. Band, Nr. 282 a),

- c) Prüfung der Kollimation (I. Band, Nr. 282 b);

3. Untersuchung des Instrumentes als Nivellierinstrument:

- a) Horizontierung des horizontalen Querfadens des Fadenkreuzes (II. Band, Nr. 22),
- b) Justierung der Doppellibelle (II. Band, Nr. 71. 3 b);

4. Adjustierung des Vertikalbogens und

5. Kontrolle der optischen Konstanten der Distanzgleichung (I. Bd., 220, 224).

Der Gang der Untersuchung des vorstehenden Instrumentes wurde bei dem früheren Instrumente mit Doppellibelle näher beschrieben.

Die Adjustierung des Vertikalbogens erfolgt, nachdem die Doppellibelle rektifiziert ist, in folgender Weise. Das Instrument wird gut vertikal gestellt, die Doppellibelle scharf zum Einspielen gebracht und nachgesehen, ob die Lesung am Nullstriche des Nonius am Vertikalbogen 0° ist; ist dies der Fall, so ist der Vertikalbogen justiert, zeigt sich aber eine andere Lesung, so wird bei großer Differenz gegen 0° der Bogen freihändig verstellt und dann der fliegende Nonius mit seinen Spitzschraubchen verschoben, bis die Lesung 0° gibt.

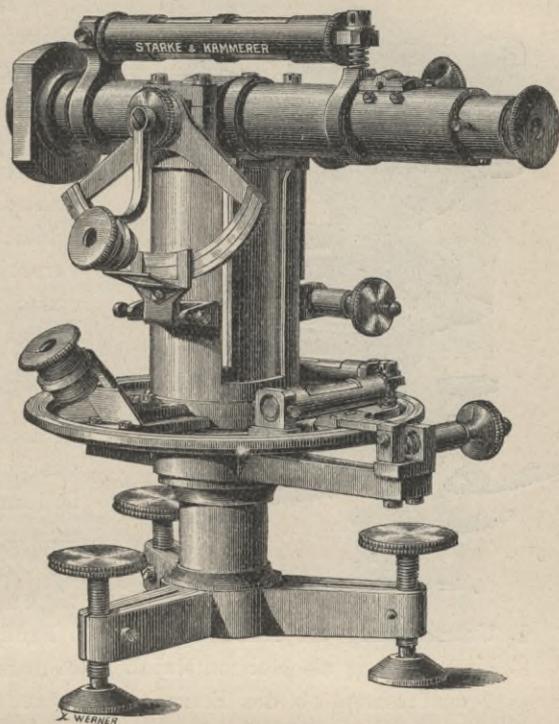


Fig. 55.

($\frac{1}{3}$ der natürlichen Größe.)

Universal-Nivellierinstrumente mit durchschlagbarem Fernrohre und fixer Libelle.

72. Diese Instrumententype gehört zu den ältesten Vertretern von Universalinstrumenten, die für nivellitische und distanzmessende Zwecke gebaut worden sind und steht heute noch in der Praxis in ausgedehnter Verwendung.

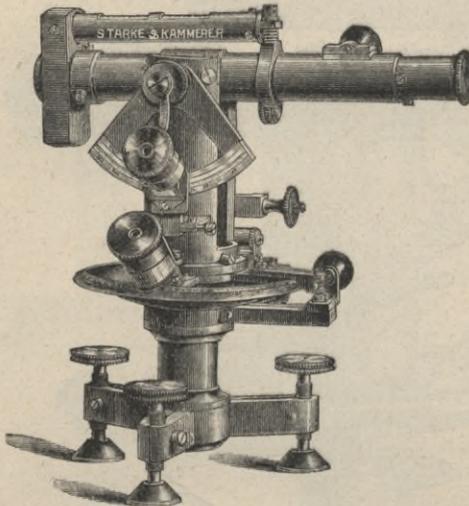


Fig. 56.

($\frac{1}{3}$ der natürlichen Größe.)

In Fig. 56 bringen wir ein kleines Instrument dieser Art zur Darstellung, welches nur mit einem Vertikalbogen ausgestattet ist.

Beschreibung. In seiner Detailkonstruktion schließt sich das Instrument am meisten dem in Fig. 55 abgebildeten an, nur hat man eine Fernrohrlibelle (Nivellierlibelle) mit einfachem Schlitze und statt Kreuzlibellen ist eine einfache Alhidadenlibelle vorhanden.

Eigenschaften. Da das Instrument zur Horizontal- und Vertikalwinkelmessung, zum Nivellieren und zur optischen Distanz- und Höhenmessung benützt wird, so erstreckt sich die Prüfung und Berichtigung auf nachstehende Punkte:

1. Untersuchung der Alhidadenlibelle (I. Band, Nr. 269);
2. Untersuchung als Horizontalwinkel-Meßinstrument (Theodolit):
 - a) Prüfung, ob die Fernrohrdrehachse senkrecht zur vertikalen Umdrehungsachse des Instrumentes steht (I. Band, Nr. 281),
 - b) Prüfung, ob der Vertikalfaden des Fadenkreuzes auf der Fernrohrdrehachse senkrecht steht (I. Band, Nr. 282 a) und
 - c) Untersuchung der Kollimation (I. Band, Nr. 282 b);
3. Untersuchung als Nivellierinstrument:
 - a) Horizontierung des Horizontalfadens des Fadenkreuzes (II. Band, Nr. 22) und
 - b) Parallelstellung der Haupttangente im Normalpunkte der Nivellierlibelle zur Visierlinie (II. Band, Nr. 23—27);
4. Adjustierung des Vertikalbogens (II. Band, Nr. 64. 3) und
5. Untersuchung der optischen Konstanten der Distanzgleichung (I. Band, Nr. 220 und 224).

§ 6. Pendel-Nivellierinstrumente.

73. Bei diesen Instrumenten wird mittels eines Senkels eine vertikale Linie hergestellt; indem der Mechaniker mit dem Lote eine zu ihm senkrechte

Ebene, welche als Visier- oder Nivellierebene dient, in Verbindung bringt, so sieht man ein, daß bei richtiger Konstruktion und Ruhelage des beweglichen Teiles die Visierebene im Raume eine horizontale Lage einnehmen wird und daher als Nivellierebene benützt werden kann.

Die Pendelinstrumente haben zumeist als Visier-
vorrichtung ein Diopter, die Zielweiten sind daher
nicht lang. Die Genauigkeit kann naturgemäß keine
hohe sein; sie beträgt erfahrungsgemäß etwa $\frac{1}{500}$ der
Zielweite, ruhige Luft und Diopter als Visiermittel
vorausgesetzt.

In der forstlichen Praxis sind Pendel-Nivellier-
instrumente wegen ihrer bequemen Handhabung, wegen
des mäßigen Preises und auch deshalb beliebt, weil
sie sehr oft zu Trassierungszwecken ausgestattet sind
und daher auch beim Baue von Waldwegen benützt
werden können. Die bekanntesten Instrumente sind
die von Bose, Desaga, Hurth, Mathes u. s. w.

74. Nachstehend wollen wir ein Pendel-Nivellier-
instrument mit einem Fernrohre (Diopter) aus der
mathematisch-mechanischen Werkstätte von Starke
& Kammerer in Wien vorführen (Fig. 57).

Es besteht aus einem Stampferschen Visierrohre
(Fernrohr mit der Vergrößerung $v=1$), welches zum
Vor- und Rückwärtsvisieren benützt werden kann; es
ist mit einem Gewichte, das als Lot dient, verbunden
und besitzt als horizontale Drehachse zwei Stahlspitzen,
die so gelagert sind, daß das Fernrohr leicht pendeln
kann. Ein Metallring dient zur Einschränkung der Elongation. Der Unterbau
ermöglicht eine gute Verbindung mit dem Zapfenstative.

Das Instrument ist so justiert, daß die Visierebene eine horizontale Lage
erhält, wenn der bewegliche Teil zur Ruhe kommt.

Über den Gebrauch des Instrumentes ist wohl weiter nichts zu sagen;
Rektifikation entfällt.

Eine große Anwendungsmöglichkeit des Instrumentes ist dadurch gegeben,
daß der Visierebene bestimmte Neigungen bis 15° erteilt werden können; es
ist nämlich am Visierrohre ein verstellbarer Schieber angebracht, der an einer
Teilung eingestellt wird, wodurch der Schwerpunkt des beweglichen Teiles verlegt
und der Visierebene Neigungen direkt von $\frac{1}{4}$ zu $\frac{1}{4}^{\circ}$ gegeben werden können.

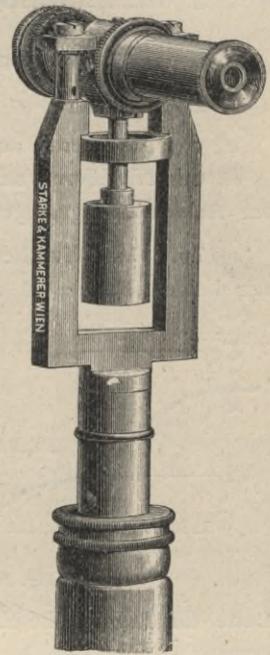


Fig. 57.

($\frac{1}{2}$ der natürlichen Größe.)

§ 7. Das geometrische Nivellieren.

75. Bei der praktischen Ausführung von Nivellements hat man entweder
den Höhenunterschied zweier gegebenen Punkte zu ermitteln oder den einer

Reihe von Punkten, die im Zuge einer Linie sich befinden, oder aber einer großen Anzahl von Punkten, welche die Neigungs- und Lageverhältnisse einer Fläche charakterisieren; man spricht daher von

1. einem Nivellement von Punkten und Linien und
2. einem Nivellement von Flächen.

Ausführung eines Punkt-, respektive Liniennivellements.

Hiebei kann:

- a) das Nivellieren aus den Enden und
- b) das Nivellieren aus der Mitte

zur Anwendung gelangen.

76. Das Nivellieren aus den Enden. Hat man den Höhenunterschied der beiden Punkte *A* und *B*, d. i. das Gefälle $G_{A,B}$ zu bestimmen, so wird in folgender Weise vorgegangen (Fig. 58). Man stellt das Nivellierinstrument im Punkte *A* so auf, daß das Okular desselben vertikal über den Punkt *A* zu stehen kommt, und im Punkte 1 wird eine Latte vertikal aufgestellt; bei horizontal gerichteter Visur des Instrumentes wird an der

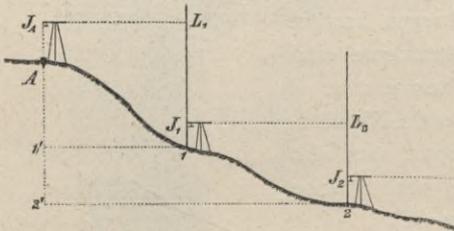


Fig. 58.

Latte die Lattenhöhe L_1 abgelesen und die Instrumentenhöhe J_A im Punkte *A* gemessen. Das Gefälle der beiden Punkte *A* und 1 wird sein:

$$G_{A,1} = L_1 - J_A$$

Wird das Instrument nach 1, die Latte nach 2 übertragen und in vorbeschriebener Weise weiter vorgegangen, so ergibt sich das Gefälle der beiden Punkte 1 und 2:

und weiter

$$\left. \begin{aligned}
 G_{1,2} &= L_2 - J_1 \\
 G_{2,3} &= L_3 - J_2 \\
 &\vdots \\
 G_{n,B} &= L_B - J_n
 \end{aligned} \right\} \text{als Einzelgefälle; } \dots \dots \dots 1)$$

die Summe dieser Gleichungen gibt

$$G_{A,B} = [L] - [J], \dots \dots \dots 1)$$

das Gesamt- oder summarische Gefälle der beiden Punkte *A* und *B*.

Man erhält also das Gefälle zwischen zwei Punkten, wenn man von der Summe der Lattenhöhen die Summe der Instrumenthöhen subtrahiert.

Wären die Zielweiten derart groß, daß der Einfluß wegen Erhebung des scheinbaren Horizontes über dem wahren und die Wirkung der Refraktion berücksichtigt werden müßten, dann hätte man in den Gleichungen 1) für die

Einzelgefälle noch die Korrekturen f_1, f_2, \dots, f_n subtraktiv in Rechnung zu bringen, so daß das Gesamtgefälle sich ergeben würde mit:

$$G_{A,B} = [L] - [J] - [f] \dots \dots \dots \text{II}$$

Die Gleichung II) wird kaum jemals zur Anwendung kommen, weil in den Fällen, wo eventuell das „Nivellieren aus den Enden“ in der Praxis benützt werden dürfte, bei starken Neigungen nämlich, die Zielweiten so kurz sein werden (gewiß unter 100 m), daß die in f zum Ausdruck kommenden Einflüsse überhaupt belanglos sind.

Summiert man bloß die ersten zwei, die ersten drei u. s. w., allgemein die ersten k der oben angegebenen Gleichungen 1), so erhält man das Gefälle von A bis 2, von A bis 3 u. s. w., allgemein von A bis k .

77. Bemerkungen für die praktische Ausführung. Bei der praktischen Ausführung auf dem Felde werden die abgelesenen Lattenhöhen L und die gemessenen Instrumenthöhen J in ein entsprechend angelegtes Protokoll eingetragen.

Nivellementprotokoll.

Instrument Nr. . . .

Ort und Datum:

Beobachter: N. N.

Station			Lattenhöhe L	Instrumenthöhe J	Korrektur f	Gefälle		Höhe über der Vergleichungsebene		Anmerkung
Anf.	Ende	Länge				einzeln	zusammen	Punkt	Betrag	
		m	m	m	m	m		m		
A	1	40	2·163	1·352		+ 0·811	+ 0·811	A	430·000	Die Vergleichungsebene ist das Meeresniveau; die absolute Höhe des Punktes A beträgt 430·00 m.
1	2	50	2·614	1·349		+ 1·265	+ 2·076	1	429·189	
2	3	30	2·917	1·350		+ 1·567	+ 3·643	2	427·924	
3	4	60	0·143	1·336		- 1·193	+ 2·450	3	426·357	
4	5	55	0·968	1·342		- 0·374	+ 2·076	4	427·550	
			8·805	6·729				5	427·924	Punkt 3 auf einem Steine am Wegeande, mit roter Farbe bezeichnet.
				+ 2·076					2·076	
									430·000	Ruhige Luft, scharfe Visuren.

In den Vertikalreihen 1, 2, 3 werden die auf die Station Bezug habenden Daten: Stationsanfang, -ende, -länge eingetragen, wobei die Entfernungen der anvisierten Punkte direkt oder indirekt, wenn möglich optisch gemessen werden, und zwar mit hinlänglicher Genauigkeit, falls man eine graphische Darstellung, ein Profil, der nivellierten Linie zu machen beabsichtigt. Die Kolonnen 4 und 5 enthalten die ermittelten Latten- und Instrumenthöhen, in Metern ausgedrückt. Damit sind die Aufzeichnungen auf dem Felde eigentlich beendet.

Waren die Zielweiten nahe an 100 oder über 100 m, so kann eine Vertikalreihe 6 für die Korrektur f wegen der Erhebung des scheinbaren Horizontes über dem wahren und wegen der Refraktion angelegt werden.

Die Berechnung der Gefälle und der Höhen über der Vergleichungsebene ist in den Vertikalreihen 7, 8 und 9 enthalten und kann diese Arbeit in Ermangelung eines besonderen Protokollführers, der die Rechnung gleich auf dem Felde ausführen kann, zu Hause gemacht werden.

Die Zahlen in der Kolumne „Gefälle einzeln“ geben der Reihe nach die Gefälle von A nach 1, 1 nach 2, ... u. s. w. und werden erhalten durch Subtraktion der betreffenden Instrumenthöhe von der nebenstehenden Lattenhöhe; die „Gefälle zusammen“ werden durch sukzessives Addieren der Einzelgefälle gewonnen und geben der Reihe nach die Gefälle von A nach 1, A nach 2, A nach 3, ... A nach 5.

Die einzelnen f werden der Länge der Station entsprechend aus der Tabelle Band II, Nr. 6, entnommen und sollten streng genommen von jedem Einzelgefälle abgezogen werden; da aber diese f besonders bei geringen Zielweiten kaum auf die dritte Dezimalstelle einen Einfluß haben, so genügt es, dieselben summarisch in Rechnung zu bringen, indem man von den summarischen Gefällen in den dritten Dezimalstellen die entsprechenden Einheiten abzieht, sobald die Summe der f bis zu der betreffenden Post diese Anzahl von Einheiten abwirft. Wenn Zielweiten von 100 m Länge gemacht werden, so ist es geboten, die Korrektion f zu berücksichtigen; denn wenn auch die f wegen ihrer Kleinheit für die Einzelgefälle nicht in Rechnung zu bringen sind, so können sie doch in den summarischen Gefällen leicht eine nicht zu vernachlässigende Größe erreichen und Fehler bedingen.

Ist eine Vergleichungsebene gegeben, auf welche die Koten aller übrigen Punkte bezogen werden sollen, so lassen sich diese in äußerst einfacher Weise durch Subtraktion oder Addition bestimmen; aus der Kolumne 9 ist das Erforderliche ersichtlich.

In der Vertikalreihe „Anmerkung“ können Bemerkungen, welche sich auf die nivellierten Punkte, ihre Lage und Markierung, respektive auf die Nebenumstände bei der Beobachtung beziehen, eingetragen werden.

Von Bedeutung sind Rechenkontrollen, die niemals unterbleiben sollen; gestützt auf die Gleichung I) kann man das sukzessiv berechnete Gefälle des Punktes 5 kontrollieren; es ist:

$$G_{A,5} = [L] - [J] = 8.805 - 6.729 = + 2.076 \text{ m,}$$

welches Gefälle des Punktes 5 mit dem in Kolumne 8 unter „Gefälle zusammen“ berechneten übereinstimmt.

Hat man die Höhen, auf eine Vergleichungsebene bezogen, berechnet, so ergibt sich nach Addition des „Gefälles zusammen“ des Punktes 5 zur Höhe des Punktes 5, das ist:

$$427.924 + 2.076 = 430.000 \text{ m,}$$

die Höhe des Punktes A ; analog, wenn man bildet:

427.550	426.357	427.924	429.180
+ 2.450	+ 3.643	+ 2.076	+ 0.811
430.000	430.000	430.000	430.000

Das Nivellieren aus den Enden kommt zur Anwendung bei starken Neigungen des Terrains, wo die folgende Methode „Das Nivellieren aus der Mitte“ nicht praktisch ausführbar ist, weil seitlich keine günstigen Standpunkte zu finden sind, um gleiche Zielweiten einzuhalten. Bei Ausführung eines solchen Nivellements wird man leichte, bequem transportable Instrumente benutzen, wie es Taschen-Nivellierinstrumente sind, die rasch und bequem auf einem Zapfenstative aufgestellt und horizontiert werden können, wobei die Leistungsfähigkeit der kleinen Fernrohre für die kurzen Zielweiten vollends ausreicht.

78. Nivellieren aus der Mitte. Die Grundlage für das Nivellieren aus der Mitte bildet die Formel:

$$G_{A,B} = L_B - l_A - \Delta f_{B,A}, \dots \dots \dots 2)$$

wobei L_B die „Lattenhöhe vorwärts“ im Punkte B , l_A die „Lattenhöhe rückwärts“ im Punkte A und $\Delta f_{B,A} = f_B - f_A$ die Differenz der Korrekturen wegen Erhebung des scheinbaren Horizontes über den wahren und wegen der Refraktion bedeuten.

Liegen die beiden Punkte A und B weit voneinander (Fig. 59), so daß mehrere Aufstellungen des Instrumentes, Stationen, notwendig sind, so werden die Lattenstandpunkte

1, 2, 3, ... so angenommen, daß das ungefähr in der Mitte zwischen den Punkten $A-1$, $1-2$, ... aufgestellte Instrument eine sichere Bestimmung der Lattenhöhen bei horizontaler Lage der Nivellierebene zuläßt. Die Stationen I, II, ... brauchen durchaus nicht mit den benachbarten Lattenständen $A1$, 12 , ... in einer Vertikalebene zu liegen, sondern können auch seitlich gewählt werden (unterer Teil der Fig. 59), womöglich aber derart, daß die beiden Zielweiten einer Station untereinander gleich werden.

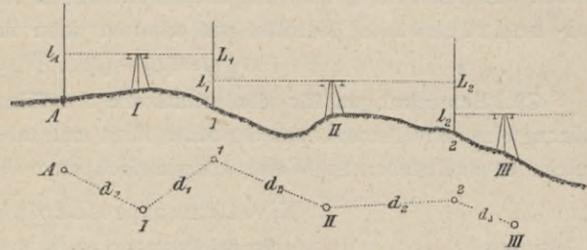


Fig. 59.

Wir erhalten nach der allgemeinen Formel:

$$\left. \begin{array}{l} \text{das Einzelgefälle von } A \text{ nach } 1 \dots G_{A,1} = L_1 - l_A - \Delta f_{1,A} \\ \text{„ „ „ } 1 \text{ „ } 2 \dots G_{1,2} = L_2 - l_1 - \Delta f_{2,1} \\ \dots \\ \text{„ „ „ } n \text{ „ } B \dots G_{n,B} = L_B - l_n - \Delta f_{B,n} \end{array} \right\} \dots \dots \dots 3)$$

woraus durch Summenbildung

$$G_{A,B} = [L] - [l] - [\Delta f] \dots \dots \dots \text{III)}$$

als Gesamtgefälle resultiert.

Bei diesem Verfahren wird die Latte mit Ausnahme des ersten und letzten Punktes A und B in jedem Punkte 1, 2, ... n zweimal anvisiert und „Latte vorwärts“ und „Latte rückwärts“ bestimmt. Da hiebei die Latte von dem Gehilfen in diesen Punkten immer zum Instrumente gerichtet werden muß, so erfordert dies eine Drehung der Latte, welche so auszuführen ist, daß hiebei der Aufstellungspunkt der Latte seine Höhenlage nicht ändert. Sind die Punkte 1, 2, ... n zwischen A und B ausgepflockt, so kann die Latte direkt auf die Pföcke gesetzt und auf diesen sicher in gewendeter Lage aufgestellt werden; anders ist es aber, wenn die Zwischenpunkte nicht bezeichnet werden, wie es meist der Fall ist. Dann ist es notwendig, falls die im Bande II, Nr. 8, beschriebene und in Fig. 5 dargestellte Unterlagsplatte nicht vorhanden ist

oder nicht verwendet wird, den Gehilfen zu verhalten, daß er für die Latte stets einen mitgenommenen platten Stein oder aber einen im Terrain gelagerten Stein als Unterlage benützt. Besonders im weichen und sandigen oder mit Gras bewachsenen Boden wird dieser Vorgang unter allen Umständen einzuhalten sein.

Da in den Lattenstandpunkten 1, 2, ... n durch Drehen der Latte sozusagen ein Wechsel der Latte eintritt, wodurch sie einmal zur „Latte vorwärts“ und dann zur „Latte rückwärts“ wird, so nennt man diese Punkte „Wechselpunkte“.

Die Formel vereinfacht sich, wenn die Korrekturen:

$$Af_{1,A} = Af_{2,1} = \dots = Af_{B,n} = 0 \dots \dots \dots 4)$$

gesetzt werden können, was bei gleichen Zielweiten zusammengehöriger „Latten vor- und rückwärts“ zutrifft; wir erhalten dann für das Gefälle:

$$G_{A,B} = [L] - [l] \dots \dots \dots IV)$$

79. Bemerkungen für die praktische Ausführung. Bei wirklicher Ausführung eines Nivellements aus der Mitte führt man tabellarische Aufschreibungen, welche in nachstehender Weise übersichtlich angeordnet werden können.

Nivellementprotokoll.

Instrument Nr. ...

Ort und Datum: ...

Beobachter: N. N.

1			2		3		4		5	
Station			Lattenhöhe		Gefälle		Höhe über der Vergleichungsebene			Anmerkung
Anfang	Ende	Länge	vorwärts L	rückwärts l	einzel	zusammen	Punkt	Betrag		
		<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>		<i>m</i>		
A	1	90	0·214	1·693	- 1·479	- 1·479	A	520·00	Die absolute Höhe des Punktes A ist gegeben mit 520·00 m. Punkt 3 ist gegeben durch die obere Ebene eines Randsteines und ist mit roter Farbe markiert. Etwas bewölkt, gute Visuren.	
1	2	100	0·435	2·043	- 1·603	- 3·087	1	521·479		
2	3	80	2·617	1·214	+ 1·403	- 1·684	2	523·087		
3	4	120	2·946	1·025	+ 1·921	+ 0·237	3	521·684		
4	5	90	2·514	0·943	+ 1·572	+ 1·809	4	519·763		
5	6	100	1·471	1·306	+ 0·165	+ 1·974	5	518·191		
			10·197	8·223			6	518·026		
			+ 1·974					+ 1·974		
								520·00		

Die Einzelgefälle werden durch Subtraktion jeder rückwärtigen Lattenhöhe von der daneben stehenden vorwärtigen erhalten und geben der Reihe nach die Gefälle von A nach 1, von 1 nach 2, ... von 5 nach 6; aus diesen folgen dann durch stufenweise Addition die summarischen Gefälle von A nach 2, nach 3, ... von A nach 6.

Werden die Gefälle auf eine Vergleichungsebene bezogen, so erfolgt ihre Bestimmung dadurch, daß die einzelnen Gefälle mit der gegebenen Kote des vorhergehenden Punktes in Verbindung gebracht werden.

Rechenkontrollen ergeben sich auch hier ähnlich wie beim „Nivellieren aus den Enden“ und man macht von der Gleichung $G_{A,B} = [L] - [l]$ nützlichen Gebrauch; also

$$G_{A,6} = 10·197 - 8·223 = + 1·974 m,$$

welches Gefälle mit der fettgedruckten Zahl in Kolumne 3 übereinstimmt.

Addiert man zur Kote des Punktes 6 in der Vertikalreihe 4 das summarische Gefälle $+1.974$, so muß sich die gegebene Höhe des Punktes *A* ergeben.

In ähnlicher Weise können die Kontrollen für jeden Punkt durchgeführt werden.

Die Längen der Stationen in der Kolumne 1, das sind die Entfernungen je zweier aufeinanderfolgenden Punkte, sind zur Ausmittlung der Gefälle nicht nötig und werden nur gemessen, wenn es der Zweck der Arbeit erfordert (Ausgleichung u. s. w.), oder wenn ein Profil anzufertigen ist.

Rücksichtlich des Vorganges bei der Ermittlung der Lattenhöhen gelten auch hier die im II. Bande, Nr. 77, gemachten Bemerkungen und wird noch hinzugefügt, daß man womöglich den Standpunkt des Instrumentes immer so wählt, daß dessen Entfernungen von den beiden Latten nahezu gleich groß ausfallen, weil dann die Korrekturen *f* und auch ein eventuell zurückgebliebener Fehler im Parallelismus der Visierlinie zur Haupttangente sowie Mängel in der Bewegung der Okularröhre u. s. w. sich gegenseitig aufheben.

80. Nivellieren aus der Mitte mit Zwischenpunkten. Bei dem besprochenen Verfahren des Nivellierens aus der Mitte werden von jedem Instrumentstande nur zwei Lattenhöhen, und zwar in den Wechsellpunkten, bestimmt, so also (Fig. 60) in den Stationen I, II, . . . die

„Lattenhöhen rückwärts“ nach *A, a, b, . . . n* und die „Lattenhöhen vorwärts“ nach *a, b, c, . . . B*, wobei die Zielweiten je nach der Leistungsfähigkeit des Fernrohres, dem Zwecke der Arbeit und den Terrainverhältnissen zwischen 20 und 120 *m* und darüber betragen können.

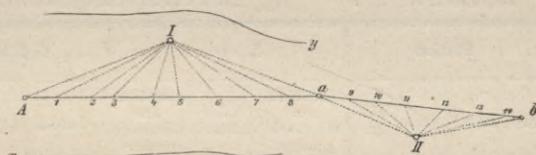


Fig. 60.

Nun wird es aber oft nötig, daß eine größere Anzahl von Punkten nivelliert wird, die in geringen Abständen voneinander entfernt in einer Geraden liegen, wie beim Nivellement von Straßen, Kanälen u. s. w., oder die auf einem Flächenstreifen verteilt sind; würde man den im II. Bande, Nr. 79, behandelten Vorgang einhalten, so müßte eine große Anzahl von Stationen gewählt und das Instrument sehr oft überstellt werden, was einen großen Zeitverlust bedingen würde und unökonomisch erscheinen müßte.

In diesem Falle werden zwischen den Wechsellpunkten, welche sozusagen die Anbindepunkte von Station zu Station bilden, Punkte innerhalb der zulässigen Zielweiten angenommen, oder sie sind von Haus aus gegeben und dienen als Zwischenpunkte; so z. B. hat man im Zuge der Linie *A a b . . .* die Zwischenpunkte 1, 2, 3, . . ., wobei die Punkte 1, 2, 3, . . . 8 von der Station I, die Punkte 9, 10, . . . 14 von der Station II bestimmt werden; weiters ließen

sich von der Station I auch Punkte in dem Flächenstreifen xy nivellieren, wenn es die Terrainverhältnisse gestatten würden.

Bei dieser Art des Nivellierens aus der Mitte, wobei von einer Station eine große Anzahl von Lattenhöhen abgelesen wird, ist es wünschenswert, daß bei der Drehung des Instrumentes im Horizonte die Nivellierlibelle nicht zu sehr aus der Spielung tritt. Aus dem Grunde sind daher die Nivellierinstrumente so konstruiert, daß die vertikale Umdrehungsachse derselben mit eigenen Libellen, Alhidadenlibellen, vertikal gestellt werden kann. Freilich erfolgt diese Vertikalstellung nicht mit jener Schärfe, welche der Empfindlichkeit der Nivellierlibellen entsprechen würde; daher ist es erklärlich, daß beim Drehen der Alhidade die Blase der Nivellierlibelle stets etwas aus dem Spielpunkte treten wird; unmittelbar vor dem Ablesen der Lattenhöhe muß nun die Nivellierlibelle mit der Elevationschraube scharf zum Einspielen gebracht werden. Dadurch wird allerdings bei Instrumenten, deren Fernrohrdrehachse nicht die Visierlinie schneidet, die Instrument- oder Visierhöhe von einer Visur zur andern etwas geändert; diese Änderung ist jedoch so gering, daß sie nicht in Betracht kommt, selbst wenn die Blase um mehrere Skalenteile in den Spielpunkt zurückzuführen wäre.

Für die Zusammenstellung der Beobachtungs-, respektive Rechendaten ist die Führung eines Protokolles empfehlenswert, welches z. B. in nachstehender Form angelegt werden kann.

Instrument Nr. . . .

Nivellementprotokoll.

Beobachter: N. N.

Station				L a t t e			Gefälle		Meereshöhe		Anmerkung
Anf.	Mitte	Ende	Länge	rückwärts am Wechsel- punkte	in der Mitte	vorwärts am Wechsel- punkte	einzel-	zu- sammen	Punkt	Betrag	
			<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>		<i>m</i>	
<i>A</i>			98	2·414				0·000	<i>A</i>	360·00	Absolute Höhe des Punktes <i>A</i> : 360·00 <i>m</i> .
	1				1·203		-1·211	-1·211	1	361·211	
	2				1·043		-1·371	-1·371	2	361·371	
	3				1·581		-0·830	-0·830	3	360·830	
	4				2·147		-0·267	-0·267	4	360·267	
	5				2·435		+0·021	+0·021	5	359·979	
	6				1·773		-0·641	-0·641	6	360·641	
	7				1·615		-0·799	-0·799	7	360·799	
	8				1·382		-1·032	-1·032	8	361·032	
		<i>a</i>	102			0·915	-1·499	-1·499	<i>a</i>	361·499	
<i>a</i>			70	2·602				-1·499	<i>a</i>	361·499	
	9				1·840		-0·762	-2·261	9	362·261	
	10				1·875		-0·727	-2·226	10	362·226	
	11				2·427		-0·175	-1·674	11	361·674	
	12				2·970		+0·368	-1·131	12	361·131	
	
	
	.	<i>b</i>	65			0·295	-2·307	-3·806	<i>b</i>	363·806	

81. Vorteile des Nivellierens aus der Mitte. Das Nivellieren aus der Mitte bietet im Vergleiche mit dem Nivellieren aus den Enden beträchtliche Vorteile:

1. Man kann, wenn es der Zweck der Arbeit zuläßt, die Längen der Stationen, die Zielweiten, größer nehmen, wodurch beim Nivellement derselben Strecke die Anzahl der Aufstellungen sich vermindert;
2. es entfällt das lästige Messen der Instrumenthöhe;
3. es entfällt die Korrektion wegen Erhebung des scheinbaren Horizontes über den wahren und wegen der Refraktion, wenn die Zielweiten beim Vor- und Rückblicke gleich groß eingehalten werden, und
4. es wird ein etwa zurückgebliebener Fehler in der Berichtigung des Instrumentes unschädlich, weil der Fehler durch die Differenzbildung der Lattenhöhen eliminiert wird.

Aus Fig. 61 ist ersichtlich, daß der Fehler in der Lattenhöhe wegen unvollständiger Rektifikation bei gleichen Zielweiten sowohl beim Vor- als Rückblicke die lineare Größe x ist; daher

sind die abgelesenen Lattenhöhen L und l vor Einführung in die Grundformel um den Betrag x sowie um die Korrektion f zu reduzieren; wir erhalten daher für das Gefälle zwischen zwei Punkten:

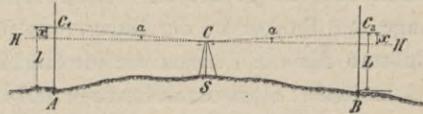


Fig. 61.

$$G = (L - x - f) - (l - x - f) = L - l, \dots \dots \dots 5)$$

einen von x und f freien Ausdruck.

Aus den vorstehend angeführten Gründen wird man in der Praxis stets aus der Mitte nivellieren und das Nivellieren aus den Enden nur dann anwenden, wenn bei sehr steilem Terrain und Mangel an Raum zur seitlichen Aufstellung des Instrumentes das Nivellieren aus der Mitte nicht gut ausführbar wäre.

82. Nivellementprofil. In vielen Fällen ist die gegenseitige Höhenlage der einzelnen Punkte eines Nivellements durch eine Zeichnung, also graphisch darzustellen. Diese graphischen Darstellungen haben den Vorteil, daß man ein übersichtliches Bild der nivellierten Linie erhält, die Neigungsverhältnisse des Terrains studieren kann u. s. w.

Man denkt sich hiezu die nivellierten Punkte in ihrer Reihenfolge in eine Vertikalebene nebeneinander gelegt, durch ihre Horizontalentfernungen voneinander und durch ihre Höhenunterschiede auf eine Ebene bezogen und graphisch im verjüngten Maßstabe dargestellt. Diese Darstellung führt den Namen **Nivellementprofil**; wird dadurch eine nivellierte Längentrasse zur Anschauung gebracht, so nennt man es ein **Längenprofil**; wird hingegen das Terrain senkrecht zur Längenrichtung einer Trasse dargestellt, so spricht man von einem **Querprofile**.

Die Anfertigung eines Profiles erfolgt auf Grundlage der nach Band II, Nr. 77 und 79, für das Nivellement zu führenden Aufschreibungen in nachstehender Weise.

Man zieht eine horizontale Gerade, die Haupthorizontale, trägt auf dieser die Längen der Stationen der Reihe nach auf und errichtet in den so erhaltenen Punkten Senkrechte, trägt auf diesen die summarischen Gefälle auf, die positiven nach unten, die negativen nach oben, und verbindet die sich ergebenden Punkte. Das Profil in Fig. 62 ist auf diese Weise angefertigt, wobei 0—H als Haupthorizontale angenommen wurde.

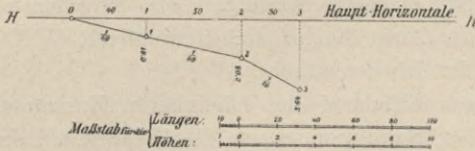


Fig. 62.

Da die Höhenunterschiede im allgemeinen bedeutend kleiner sind als die Längen der Stationen, so wählt man für die ersteren, um sie in der Zeichnung deutlich ersichtlich zu machen, einen größeren Maßstab als für die letzteren; die Überhöhungs-, beziehungsweise Verzerrungszahl wird zumeist im Verhältnisse zum Maßstabe der Situation 10, 50 oder 100 angenommen. Dadurch erhält man im Profile ein verschobenes, verzerrtes Bild von der gegenseitigen Lage der Punkte in der Natur, was jedoch nichts zur Sache hat, da man den Maßstab für die Längen wie für die Höhen angibt und gewöhnlich auch die einzelnen Maße: Horizontaldistanzen und Höhenkoten in der Zeichnung dazuschreibt.

Der Maßstab richtet sich nach dem Zwecke der Arbeit und wird für die horizontalen Entfernungen 1:1000, 1:2000 bis 1:10.000, dagegen für die Höhen 1:100, 1:200 bis 1:500 angenommen.

Sollen sich sämtliche Punkte nicht auf den Anfangspunkt, sondern auf einen anderen Punkt des Nivellements beziehen, so hat man vorerst zu sämtlichen Gefällen das summarische Gefälle des gewählten Punktes mit entsprechenden Zeichen zu addieren, um die nun aufzutragenden Gefälle zu erhalten.

Gewöhnlich gibt man auch für jede Station die Neigung der Bodenfläche gegen den Horizont in Zahlen an, und zwar in Form eines Bruches, wobei der Höhenunterschied h zweier aufeinanderfolgenden Punkte, das Einzelgefälle, den Zähler und ihre Entfernung den Nenner bildet. So hat man in Fig. 62 von 0 bis 1:

$$\frac{h}{d} = \frac{0.811}{40} = \frac{1}{49.3}$$

von 1 bis 2: $\frac{h}{d} = \frac{1.265}{50} = \frac{1}{39.5}$ u. s. w.

Es ist auch üblich, das Gefälle in Prozenten der Länge anzugeben, wo dann für das vorstehende Beispiel nach der Proportion:

$$d : h = 100 : x \dots x = 100 \frac{h}{d} = 2.03\% \text{ und } 2.53\% \text{ u. s. w.}$$

erhalten wird. Auch das Gefälle für 1000 m (Promille) wird angegeben und nach

$$d : h = 1000 : x \text{ mit } x = 1000 \frac{h}{d} = 20.3\%_{00} \text{ und } 25.3\%_{00} \text{ u. s. w.}$$

berechnet.

Wird bloß der Quotient $\frac{h}{d}$ ausgeführt, so erhält man die Steigung für die Längeneinheit mit: 0.203, 0.253 u. s. w.

Bei horizontalen Strecken pflegt man zu setzen:

$$\frac{1}{\infty}, 1 : \infty, 0\% \text{ oder } 0.$$

83. Wahl der einzelnen Stationspunkte. In der vorhergehenden Nummer wurde die Wahl der Stationspunkte vorläufig übergangen. Diese hängt ab:

1. von dem Zwecke der Arbeit,
2. von den Terrainverhältnissen,
3. von der Leistungsfähigkeit der Instrumente und
4. von der Genauigkeit, mit welcher ein Nivellement ausgeführt werden soll.

Ad 1. In Betreff des Zweckes der Arbeit unterscheidet man General- und Detailnivellements.

Ein Generalnivellement nennt man dasjenige, welches ausgeführt wird, um den Höhenunterschied zweier entfernten Punkte kennen zu lernen, wenn dabei entweder keine oder nur wenige Zwischenpunkte im vorhinein bezeichnet sind, welche in das Nivellement einbezogen werden sollen. In diesem Falle wählt man die Stationspunkte in möglichst großer Entfernung und derart, daß man auf dem kürzesten Wege zum Resultate gelangt, aus welchem Grunde man hiebei in der Regel Instrumente größerer Gattung anwendet. Solche Nivellements kommen vorzüglich bei vorläufigen Erhebungen über die Anlage von neuen Straßen, Eisenbahnen, größeren Wasserleitungen u. s. w. zur Anwendung und sollen zeigen, ob das vorliegende Projekt überhaupt ausführbar ist oder nicht; sie heißen insofern auch Rekognoszierungsnivellements. Bei diesen Nivellements werden einzelne Punkte (z. B. alle 1000 *m* und wichtige Stellen) gut kennbar und auf eine sichere Weise bezeichnet; diese Punkte (Anhalts- oder Fixpunkte genannt) dienen dann bei dem Detailnivellement zur Kontrolle und als Anknüpfungspunkte oder Repèrepunkte für die weitere Arbeit.

Unter Detailnivellements versteht man diejenigen Nivellements, welche ausgeführt werden, um die Gestaltung des Bodens zwischen zwei oder mehreren Punkten längs einer bestimmten Verbindungslinie derselben kennen zu lernen. Sie finden ihre Anwendung bei wirklich auszuführenden Straßen, Eisenbahnen u. s. w., um darnach die Erdabgrabungen und Anschüttungen (die Erdbewegung) sowohl als den ganzen Bau vollständig ausführen zu können. In solchen Fällen sind dann auch genaue Profile anzufertigen und Horizontalkurven in den Plan einzuzeichnen, um danach das Projekt ausarbeiten zu können. Dabei genügt ein Längenprofil, wie es nach Nr. 82 erhalten wird, allein nicht, sondern es werden auch Querprofile erforderlich, welche sich senkrecht zur Längentrasse nach beiden Seiten derselben hin erstrecken und dazu dienen, um auch nach dieser Richtung die Gestalt der Bodenfläche kennen zu lernen. Das Nähere über die Detailnivellements und Querprofile folgt in den nächsten Nummern.

Ad 2. Auf freiem, ebenem Boden kann man die Stationspunkte nach den oben ausgesprochenen Erfordernissen wählen; nicht so ist es bei sehr unebenem und bebautem Terrain; da ist man genötigt, die Stationen oft weit kleiner zu nehmen, als es sonst erforderlich wäre. Es sei z. B. längs der Linie AB (Fig. 63) ein Nivellement auszuführen. Arbeitet man von A gegen B , so ist die Latte l , damit sie von der horizontalen Visierlinie aus m noch getroffen wird, in

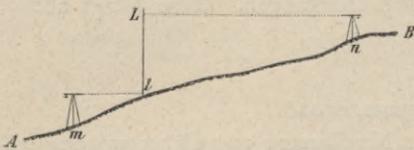


Fig. 63.

geringerer Entfernung von dem Instrumente aufzustellen, als wenn von B gegen A gearbeitet wird. Die Instrumenthöhe beträgt nämlich etwa 1.3 m , die ganze Lattenhöhe gewöhnlich 4 m , wonach der Punkt l im ersten Falle höchstens um 1.3 m höher liegen darf als m , während im zweiten Falle der

Höhenunterschied zwischen n und l bei 2.7 m betragen kann und somit die Stationslänge doppelt so groß ausfällt als von m bis l . Aus diesem Grunde arbeitet man bei dem Nivellement aus den Enden, wenn die Wahl frei ist, immer von der Höhe in die Tiefe, weil man da die Stationen größer nehmen kann; beim Nivellement aus der Mitte ist dieses, wie leicht zu sehen, auf die Stationslänge ohne Einfluß; übrigens ist es auch bei dieser Methode vorzuziehen, von der Höhe in die Tiefe zu arbeiten wegen des leichteren Transportes der Geräte während der Arbeit.

Wechselt das Terrain und kommt man auf diese Weise auf eine ansteigende Strecke, so kann man zur Vermeidung kurzer Stationen mit dem Instrumente der Latte vorangehen, in welchem Falle dann die Lattenhöhen in die Kolumne „Instrumenthöhe“ und umgekehrt die Instrumenthöhen als Lattenhöhen einzutragen sind.

Ist das Terrain sehr steil, so kann es vorkommen, daß beim Nivellement aus der Mitte (besonders wenn man mit einem Fernrohre von starker Vergrößerung arbeitet) die Entfernung des Instrumentes von der Latte ($m\ l$ in Fig. 63)

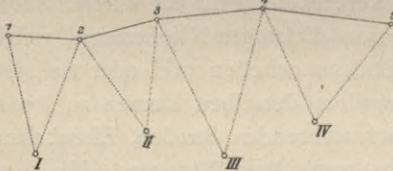


Fig. 64.

so kurz wird, daß man die Okularröhre nicht mehr weit genug herausziehen kann, um das Bild der Latte deutlich zu sehen. In diesem Falle hilft man sich durch seitliche Aufstellung des Instrumentes. Man stellt z. B., um die Punkte 1, 2, 3, 4, 5 der in Fig. 64 im Grundrisse dargestellten Trasse zu nivellieren, das Instrument der Reihe nach in I, II, III, IV auf, wodurch die Zielweite vergrößert wird. Nur wenn der Raum zur seitlichen Aufstellung mangelt, wird man das Nivellement aus den Enden anwenden müssen, und zwar, wie früher erwähnt wurde, so, daß das Instrument immer höher steht als die Latte.

Wenn z. B. die gegebene Trasse über eine bewaldete, steile Berglehne führt, so kann es notwendig werden, durch den Wald einen Durchschlag ausführen zu lassen. Der Durchschlag kann aber der hohen Kosten wegen nicht so breit gemacht werden, um nach der in Fig. 64 dargestellten Zickzackmanier zu arbeiten, so daß man in diesem Falle

so kann es notwendig werden, durch den Wald einen Durchschlag ausführen zu lassen. Der Durchschlag kann aber der hohen Kosten wegen nicht so breit gemacht werden, um nach der in Fig. 64 dargestellten Zickzackmanier zu arbeiten, so daß man in diesem Falle

unbedingt auf das Nivellieren aus den Enden angewiesen ist, welches auch noch den Vorteil bietet, daß in jedem Stationspunkte mit dem Instrumente unter einem der betreffende Polygonwinkel gemessen werden kann, um die Trasse im Grundrisse auftragen zu können.

Ad 3. Es ist für sich klar, daß man bei der Wahl der Stationspunkte auf die Leistungsfähigkeit der Instrumente Rücksicht zu nehmen hat und für ein vorliegendes Instrument die Stationen nicht größer nehmen darf, als sich aus der Grenze ergibt, innerhalb deren jede einzelne Lattenhöhe sicher sein soll. Man wird z. B. bei dem Gebrauche eines Nivellierdiopters die Stationen so wählen, daß die Entfernung des Instrumentes von der Latte nicht über 15 *m* beträgt, wenn jede Lattenhöhe auf 0.001 *m* genau sein soll, während für Fernrohrinstrumente je nach ihrer Leistungsfähigkeit bei derselben Genauigkeit die Distanz 60 bis 100 *m* betragen kann.

84. Das Detailnivellement. In den vorhergehenden Nummern 76 bis 79 wurde angenommen, daß von den Punkten, deren Höhenunterschied gefunden werden soll, je zwei unmittelbar aufeinanderfolgende eine Station bilden und eine eigene Instrumentaufstellung bedingen. Wenn ein sogenanntes Detailnivellement ausgeführt, d. h. jede Änderung in der Neigung des Bodens angegeben werden soll, so fallen bei wechselndem Terrain die zu wählenden Punkte oft so nahe aneinander, daß man von einem Standpunkte aus mehrere Punkte, die vorwärts, rückwärts oder seitwärts vom Instrumentstandpunkte liegen können, anvisieren und das Gefälle bestimmen kann; in einem solchen Falle wird dann ein „Nivellement aus der Mitte mit Zwischenpunkten“ nach II. Band, Nr. 80, ausgeführt.

Festlegung und Darstellung von Profilen.

Die Nivellements von Profilen, welche für Terrainstudienzwecke ausgeführt werden, sind fast stets Detailnivellements; da aber in der Praxis der Profilaufnahme das Nivellement sich der Situationsaufnahme anschließt oder mit derselben verbunden wird, so erscheint es zweckmäßig, die Aufgabe der Festlegung der Profile im Zusammenhang zu behandeln.

85. Festlegung und Darstellung von Längenprofilen. Ein Längenprofil ist der Schnitt der topographischen Fläche (des Terrains) mit einer Vertikalfläche, welche durch einen auf dem Terrain bezeichneten, geraden oder krummen Linienzug, die Achse des technischen Objectes, hindurchgeht.

Die Festlegung umfaßt folgende Arbeiten:

1. die Stationierung, Bestimmung der Haupt- und Zwischenpunkte der Trasse, mit welcher
2. die Auspflockung der Achse verbunden wird; weiters
3. die Festlegung der Achsenpunkte und
4. das Detailnivellement des Längenprofiles.

Die Stationierung wird in der Weise ausgeführt, daß man, vom Nullpunkte der Trasse ausgehend, die Länge in Stationen von 100 *m* und Zwischenstationen von 50 *m* oder 20 *m*, beziehungsweise 10 *m* einteilt. Die Stationen werden

mit starken, zylindrischen Pflöcken, die auf Terrainhöhe eingeschlagen werden, Terrainpunkte, bezeichnet; gewöhnlich seitwärts werden Schreib- oder Beipflöcke angebracht, welche die Stationierung tragen.

Zwischen den Stationen werden mit schwächeren Pflöcken jene Punkte markiert, in welchen Terrainwechsel stattfindet und durch welche Querprofile gelegt werden sollen. Diese Zwischenpunkte werden durch Angabe ihrer Entfernungen vom vorhergehenden Stationspunkte bezeichnet.

Die Festlegung des geradlinig gebrochenen Linienzuges der Trasse kann nach dem Verfahren der Aufnahme eines polygonalen Zuges (I. Band, Nr. 427 und § 66) geschehen; die Längen werden direkt mit dem Stahlmeßbande oder indirekt optisch gemessen, die Winkel mit einem Theodolite ermittelt.

Anmerkung. Sollte die Situation des Terrainstreifens längs der mutmaßlichen Trasse nicht vorliegen, so wird es notwendig, alle in der Nähe der Trasse gelegenen Gräben, Parzellengrenzen, Kultur-, Weg- und Ufergrenzlinien, Dämme, Mauern, Gebäude etc. durch rechtwinklige Koordinaten auf die Seiten des Längenprofils als Achsen einzumessen; ferner werden alle in der Nähe der Trasse gelegenen Brücken, Steinbrüche, Sand- und Schottergruben u. dgl., die von der Trasse durchschnittenen Kulturen anzugeben sein, so daß ein möglichst vollständiges Bild der Situation der auf die Trasse Bezug habenden Gegenstände erhalten wird.

Niemals soll eine sichere Fixierung der Trasse übersehen werden, damit sie jederzeit mit Sicherheit ersichtlich gemacht und verfolgt werden kann; zu dem Zwecke muß, wo feste Punkte, Grenzsteine, Kilometersteine u. s. w. nicht vorhanden sind, durch besonders starke Pfähle eine entsprechende Versicherung getroffen werden.

Das Längennivellement der Achse besteht in einem Nivellieren aus der Mitte, wobei einzubeziehen sind: sämtliche Stationspunkte, Brechungspunkte des Terrains, Achsenpunkte, durch welche Querprofile gelegt werden, die Knotenpunkte der durchschnittenen Kommunikationen und Gewässer, Ufer und Sohlenpunkte sowie Wasserstandspunkte von Wasserläufen, endlich Fixpunkte, als da sind: sichere Steine an Gebäuden, Brücken u. s. w., die durch den Bau nicht behindert und später benützt werden können.

Das Nivellement ist bei Einhaltung aller Vorsichten vorzunehmen: das Instrument muß scharf rektifiziert sein, die Nivellierlatte muß eine Libelle tragen; als Wechsellpunkte beim Nivellieren aus der Mitte werden Achsenpunkte gewählt; ist dies nicht möglich, so muß eine Bodenplatte, ein Frosch, als Unterlage benützt werden.

Zur Aufdeckung grober Fehler ist stets ein Konternivellement zu machen.

Die Maßzahlen des Nivellements werden in ein passend angelegtes Protokoll, wie es für „das Nivellieren aus der Mitte mit Zwischenpunkten“ im II. Band, Nr. 80, angegeben wurde, eingetragen oder aber es empfiehlt sich auch das folgende Manuale. Es enthält die Aufschreibung für das Detailnivellement eines Längenprofils (siehe Fig. 65), wozu folgende Erläuterungen dienen.

Station	Punkt	Horizont des Instrumentes	Lattenhöhe	Meereshöhe	Anmerkung
		<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	
①	I	116·672	1·358	115·314	
	1		1·047	115·625	
	II		1·408	115·264	
	2		2·153	114·519	
	3		2·971	113·701	
②	3	115·625	1·924	113·701	
	4		2·851	112·774	
	III		1·804	113·821	
	5		0·890	114·735	
	6		0·148	115·477	
	IV		0·357	115·268	
	7		0·609	115·016	
	V		0·123	115·502	
③	V	115·984	0·482	115·502	
	VI		0·241	115·743	
	8		1·356	114·628	
	9		2·901	113·088	
	VII		3·745	112·239	

Die zu nivellierende Trasse ist I III, III VI, VI VII. In den mit römischen Ziffern bezeichneten Punkten sollen Querprofile gelegt werden, zwischen welchen noch die das Terrain charakterisierenden Detailpunkte 1, 2, 3, . . . 9 gewählt werden.

Die Messung der horizontalen Entfernungen dieser Punkte geschieht unter einem mit dem Auftragen der Distanzen der Querprofile.

Hierauf stellt man das Nivellierinstrument in einem geeigneten Punkte, z. B. in ① (Fig. 65) auf, richtet es horizontal und nivelliert von diesem Standpunkte aus die ersten Pflöcke: I, 1, II, 2, 3 der Trasse, indem man den Gehilfen mit der Latte von Punkt zu Punkt gehen läßt und in jedem Punkte die Lattenhöhe bestimmt. Diese Punkte zusammen bilden die erste Station. Für die zweite Station wählt man einen geeigneten Standpunkt, von welchem aus möglichst viele Punkte bearbeitet werden können, z. B. ②, läßt den Gehilfen behufs Anbindung an die frühere Station in einem der bereits bestimmten Punkte, z. B. in 3, sich nochmals aufstellen und nivelliert nun die Punkte 3, 4, III, 5, 6, IV, 7, V. Hierauf folgt die Station ③ mit dem Anbindepunkte V und den Detailpunkten VI, 8, 9, VII etc.

Bei größeren Arbeiten (Trassierungen von Eisenbahnen und Straßen) ist es üblich, die Meereshöhen der einzelnen Punkte anzugeben. Ist die Meereshöhe des Anfangspunktes I bekannt, so ergeben sich die Meereshöhen der übrigen aus unserer Aufschreibung. Es erscheint hier zweckmäßig, damit die Meereshöhen aller nivellierten Punkte sukzessive durch einfache Addition er-

halten werden, nicht die Gefälle, sondern die Steigungen zu rechnen, oder noch besser, man bestimmt für jede Station die Meereshöhe des Instrument-

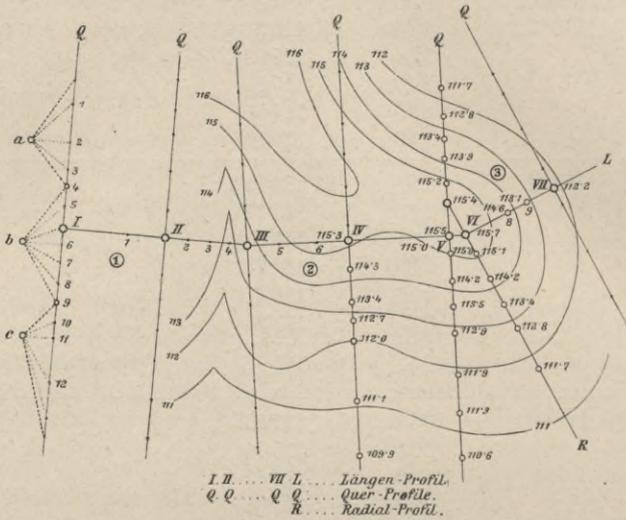


Fig. 65.

horizontes, woraus man durch einfache Subtraktion die Meereshöhe der einzelnen Punkte erhält.

Denn ist M die Meereshöhe irgend eines Punktes, l die Lattenhöhe daselbst, H die Meereshöhe des Instrumenthorizontes der betreffenden Station, so hat man:

$$M = H - l \dots \dots \dots 6)$$

und umgekehrt, für die Bestimmung der Meereshöhe des Instrumenthorizontes einer neuen Station:

$$H = M + l \dots \dots \dots 7)$$

Da in unserem Beispiele die Meereshöhe des Punktes I gegeben ist, so ist nach Gleichung 7) die Meereshöhe des Instrumenthorizontes der Station ①:

$$H = M + l = 115.314 + 1.358 = 116.672.$$

Diese Ziffer wird in die 3. Kolumne eingesetzt und damit bekommt man nach Gleichung 6) z. B. die Meereshöhe des Punktes 1:

$$M = H - l = 116.672 - 1.047 = 115.625$$

und so für jeden weiteren Punkt.

Für die Station @ hat man mit Hilfe der Meereshöhe des Anknüpfungspunktes ß zunächst wieder die Meereshöhe des Instrumenthorizontes zu rechnen:

$$H = 113.701 + 1.924 = 115.625$$

und damit erhält man der Reihe nach die Meereshöhen der anderen Punkte ohne jede Nebenrechnung.

Nicht unpraktisch ist es, sich im Feldbuche auf der linken Seite das Protokoll und auf der rechten Hälfte desselben oder aber auf im Feldbuche

Skizze eines Längenprofiles.

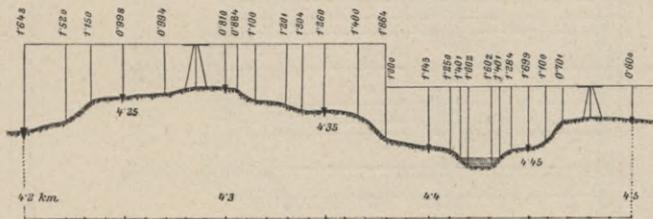


Fig. 66.

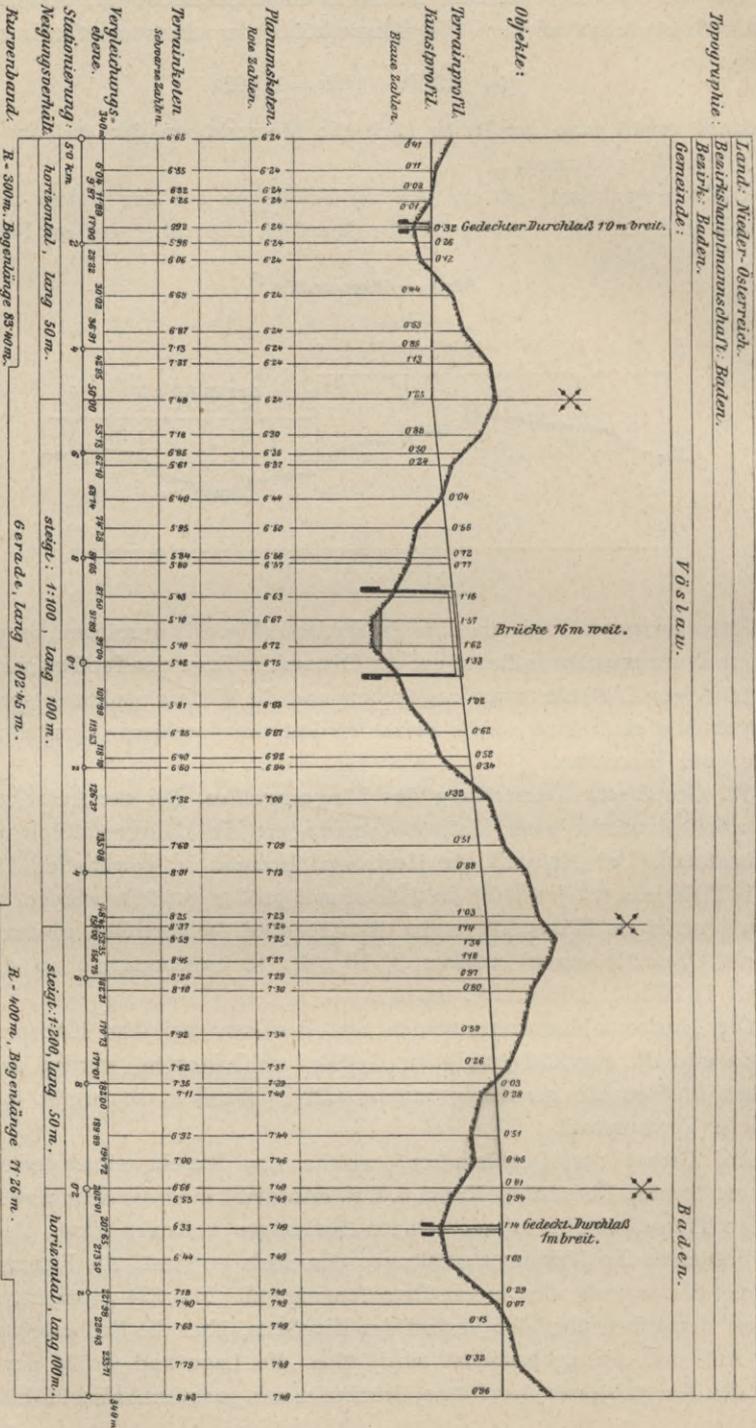
eingelegten karierten Papieren eine Profilskizze (Fig. 66) anzulegen, in welcher markante Terrainpunkte in Bezug auf die Distanz im Zuge des Profiles und durch die zugehörigen Lattenlesungen angegeben und die Wechsellpunkte entsprechend hervorgehoben sind. Eine solche Skizze fördert die graphische Darstellung des Profiles ganz besonders.

86. Graphische Darstellung des Längenprofiles. Bei der Auftragung des Längenprofiles werden zwei Maßstäbe verwendet: ein Längenmaßstab und ein Höhenmaßstab. Der Maßstab für Horizontaldistanzen ist gewöhnlich 1 : 1000, auch 1 : 2000 u. s. w.; jener für die Höhen muß größer gewählt werden, um die eventuell geringen Höhendifferenzen entsprechend hervortreten zu lassen. Es wird als Überhöhungszahl zumeist 5, 10 oder 15 angenommen, so daß der Maßstab 1 : 200, 1 : 100 u. s. w. ist.

Die Horizontaldistanzen werden als Abszissen auf dem Horizonte aufgetragen und die zugehörigen Höhen (Gefälle) als Ordinaten; werden dann die einzelnen Profilverpunkte geradlinig miteinander verbunden, so ergibt sich das natürliche Terrainprofil.

Auf Grund der Detailstudien, welche das Projekt eines technischen Objektes: Straße, Eisenbahn, Kanal u. s. w. erfordert, wird die definitive Höhenlage der Trasse, welche in wechselnden Neigungen verlaufen kann, als Kunstprofil bestimmt, die Neigungsverhältnisse derselben ermittelt, die Planumskoten berechnet u. s. w. und alles in ein Detaillängenprofil (Fig. 67) gebracht, so daß man aus demselben über den Verlauf der Nivellette, über die Erdbewegung, die durch Auf- und Abtrag bestimmt wird, über die Lage und Größe der zu richtenden Kunstobjekte: Durchlässe, Brücken u. s. w. genauen Aufschluß bekommt.

Detail-Längen-Profil der Straße: Töslau-Baden.



Maßstab für die Längen: 1:1000.
 Höhen: 1:100.

Die Vergleichungsebene liegt 300m über dem Niveau des Mittel-Meeres.

Fig. 67.

Wenn auch durch die verschiedenen Maßstäbe für Längen und Höhen das Längenprofil ein Zerrbild ist, so behindert dies das gewohnte Auge des Technikers in keiner Weise, denn die Höhenverhältnisse treten dadurch deutlich hervor, was ja die Hauptsache bildet.

87. Fehlergrenzen für Längenprofile. In manchen Staaten sind für Längenprofile gesetzliche Grenzen normiert; wir geben nachstehend die in Deutschland zulässigen Fehler für ein Doppelnivellement:

0— 20 <i>m</i>	Länge:	1— 5 <i>mm</i>
20— 50 "	" "	3— 5 "
50— 100 "	" "	5— 7 "
100— 250 "	" "	7—10 "
250— 500 "	" "	10—14 "
500—1000 "	" "	14—19 "
1000—2000 "	" "	19—25 "

Festlegung und Darstellung von Querprofilen.

88. Ein Querprofil stellt den Schnitt des Terrains mit einer Vertikalebene vor, welche zumeist senkrecht zum Längenprofile der abgesteckten Trasse steht.

Die Querprofile erstrecken sich zu beiden Seiten der Trasse und sollen weiter reichen, als sich die projektierte Anlage voraussichtlich erstrecken wird. Die Anzahl der Querprofile richtet sich nach dem Zwecke der Arbeit, sie wird bei generellen Studien kleiner sein können als bei Ausarbeitung von speziellen Projekten.

Es genügt z. B. nicht, die Querprofile nur in den Brechpunkten des Längenprofiles zu legen, sondern man muß noch Zwischenpunkte an jenen Stellen wählen, wo das seitliche Terrain namhafte Höhenänderungen aufweist, die gleichfalls zu berücksichtigen sind, wenn das Terrain um die Längenchse der Trasse vollständig zur Darstellung gebracht werden soll. Besonders dann, wenn sich auf die Querprofilenaufnahmen die Erdmassenberechnung und die anschließenden Kostenvoranschläge stützen sollen, wird es nötig, sehr gewissenhaft vorzugehen. Im Verlaufe des Querprofiles selbst sind alle Brechpunkte des Terrains, Gräben, Bäche, Terrainstufen u. s. w. aufzunehmen.

Nach dem Gesagten läßt sich ein bestimmter Abstand für die Querprofile voneinander nicht angeben; er wird in der Ebene 50 bis 100 *m* betragen, kann jedoch im wechselnden Terrain auf 4 bis 6 *m* herabsinken. Die Querprofile stets in gleichen Abständen legen zu wollen, ist entschieden zu verwerfen.

Die Festlegung und Darstellung der Querprofile erfordert nachstehende Arbeiten:

1. Absteckung des Querprofiles und Festlegung desselben im Zuge des Längenprofiles,
2. Aufnahme des Querprofiles und Bestimmung der Abstände der nivellierten Punkte desselben,
3. graphische Darstellung in entsprechendem Maßstabe.

89. Absteckung und Festlegung des Querprofiles. Das Querprofil wird rechtwinklig mittels eines Winkelinstrumentes (Winkelspiegel, Glasprisma u. s. w.) oder mit Hilfe eines Winkelmeßinstrumentes abgesteckt und mit Absteckstäben ersichtlich gemacht.

Die Festlegung in der Trasse erfolgt durch Angabe der Lage des Achsenpflockes derselben, der auf den vorhergehenden Stationspunkt des Längenprofiles bezogen werden muß, und zwar in Situation und Höhe.

Die Aufnahme von Querprofilen erfolgt:

- a) mit dem Nivellierinstrumente oder
- b) auf Grund einer Staffelmessung mit der Setzlatte.

90. Querprofilaufnahme mit dem Nivellierinstrumente. Man entwirft sich zuerst einen Handriß des Querprofiles, und zwar denkt man sich in der Achse

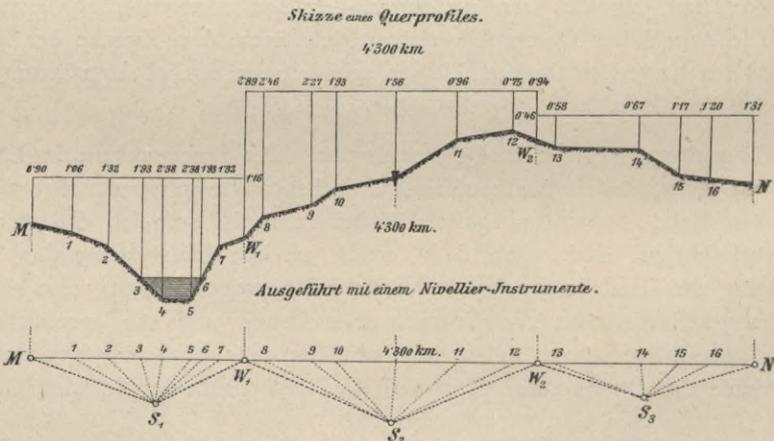


Fig. 68.

stehend und nach dem nächsten Achsenpflocke blickend; dann liegt nach der in Fig. 68 entworfenen Skizze links von der Achse ein Bach und rechts ein Weg.

1. Verfahren. Wird die Horizontaldistanzmessung getrennt von der Höhenmessung ausgeführt, so müssen die Punkte des Querprofils ausgepflockt werden; die Horizontaldistanzen werden direkt bestimmt und in die Skizze eingetragen.

Nun wird das Profil nivelliert; im steilen Gelände wählt man dazu meist kleine Instrumente, Taschen-Nivellierinstrumente, weil diese rasch aufgestellt und bequem transportiert werden können und ihre Genauigkeit ausreicht.

Das Instrument wird seitwärts in den Standpunkten S_1 , S_2 und S_3 (Fig. 68) aufgestellt; bei der Bestimmung der Lattenhöhen im Achsenpflocke und den Wechsellpunkten muß besondere Sorgfalt verwendet werden. Die Ablesungen werden in die Profilskizze in angegebener Weise oder auch längs der Ordinaten angesetzt.

In Fig. 68 ist ersichtlich, daß bei Profil 4:300 *km* das Instrument zuerst in S_1 aufgestellt war, von dort die Lattenhöhen in den Punkten 1, 2, 3, ... W_1 bestimmt, dann in S_2 die Visuren nach $W_1, \dots W_2$ und endlich in S_3 die Visuren nach W_2, \dots gemacht wurden; die Visuren nach dem Achsenpflocke und den Wechsellpunkten sind ihrer Bedeutung gemäß besonders hervorgehoben.

2. Verfahren. Besitzt man ein Nivellierinstrument, welches neben dem mittleren Horizontalfaden auch distanzmessende Fäden besitzt, so kann die Horizontal- und Vertikalmessung verbunden werden. Hierbei wird es notwendig, daß man sich mit dem Nivellierinstrumente in der Ebene des Querprofils aufstellt und in jedem Lattenstandpunkte Lesungen an den drei Horizontalfäden macht, die bequem kontrolliert und in ein übersichtlich angelegtes Manuale eingetragen werden können.

Auch dann, wenn die Nivellierinstrumente mit einer Stampferschen Meßschraube oder einer Tangentenschraube versehen sind, kann man in einfacher Weise zur Kenntnis der Horizontaldistanz gelangen; hierbei kann auch die indirekt bestimmte Höhe zur Kontrolle der auf nivellitischem Wege ermittelten herangezogen werden (siehe Nr. 138 u. s. w.).

Bei diesem Verfahren braucht man die gewählten Punkte nicht auszuflocken.

91. Querprofilaufnahme mit der Setzlatte. Dieses Verfahren ist in der Praxis des Bauingenieurs sehr beliebt, bietet es doch den namhaften Vorteil, daß durch eine einzige Operation die Horizontaldistanz und Höhe der Profilmomente erhalten werden; bedenkt man, daß in sehr steilem Gelände ohnehin für die Horizontalmessung gestaffelt werden müßte, so ist dieses Verfahren auch ökonomisch zu nennen; seine Genauigkeit reicht in vielen Fällen vollends aus.

Zur Verwendung gelangen neben der Horizontallatte noch Vertikallatten, Stichlatten; bei gleichmäßig geneigtem Terrain reicht wohl eine Stichlatte aus, bei rasch wechselndem Terrain sind zwei Stichlatten von Vorteil.

Die Ausführung der Profilaufnahme schließt sich an die im I. Bande, Nr. 199, gemachten Auseinandersetzungen.

Ein nach dem Anblicke des Terrains skizziertes Profil, wobei für alle Brechpunkte im Terrain die Horizontalabstände, bezogen auf den Achsenpfeil, und die Höhen eingetragen sind, leistet beim Auftragen der Profile vorzügliche Dienste. In beistehender Fig. 69 ist eine solche Skizze dargestellt.

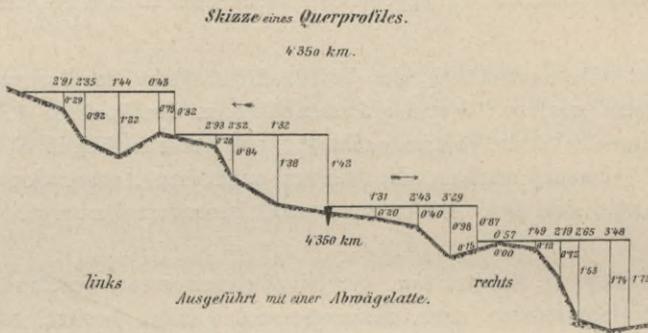


Fig. 69.

Neben dem vorstehenden Verfahren der Querprofilaufnahme, wobei der leitende Ingenieur eine Skizze des Querprofils nach dem Augenmaße auf dem Felde entwirft und die Messungsdaten für Horizontalabstände und Höhen in dasselbe unmittelbar einträgt, wäre auch das nachstehende Verfahren zur Anwendung zu empfehlen.

Eine Skizze der Aufnahme wird gar nicht angefertigt, sondern der Leiter der Aufnahme konzentriert seine ganze Aufmerksamkeit auf die richtige Auswahl der Terrainbrechpunkte, auf die korrekte Angabe und Verbuchung der Distanzen und Höhen.

Die Horizontallatte des Staffelizeuges von 4 oder mehr Meter Länge wird als die Nivellierebene eines Nivellierapparates, die an den Enden abgelesenen Höhen als „Latte rückwärts“ und „Latte vorwärts“ angesehen und die innerhalb der Lattendistanz bestimmten Höhen geben die Lattenhöhen in der Mitte, zu welchen auch die Horizontalabstände hinzugefügt werden.

Es ist nur nötig ein Protokoll korrekt zu führen, welches für das in Fig. 69 dargestellte Querprofil folgendes Aussehen hätte.

Für das summarische Gefälle können dieselben Kontrollen verwendet werden wie beim Nivellieren aus der Mitte (Nr. 79).

Das Auftragen des Querprofils wird mit Zuhilfenahme der Kolonnen: „Horizontallatte zusammen“ und „Gefälle zusammen“ vorgenommen.

92. Querprofile im Kurvenbogen. Querprofile, die im Bogen einer Trasse liegen, müssen radial abgesteckt werden.

Dies wird dadurch ausgeführt, daß z. B. bei zwei gegebenen Bogenpunkten *A* und *B* im bekannten Abstände *s* und bei Kenntnis des Radius *r* der Winkel α (Fig. 70) aus

$$\cos \alpha = \frac{s}{2r} \dots \dots \dots 8)$$

berechnet und dann das Profil *MN* im Anschlusse an die Sehne *AB* abgesteckt wird.

Man kann aber auch so verfahren, daß man die Tangente *TT* mit Hilfe von

$$y = s \sin (90^\circ - \alpha) = s \cdot \cos \alpha = \frac{s^2}{2r} \dots \dots \dots 9)$$

berührend an den mit $y = \frac{s^2}{2r}$ aus *B* beschriebenen Kreisbogen außerhalb des Kurvenbogens legt; das Profil *MN* geht dann senkrecht zu *TT*.

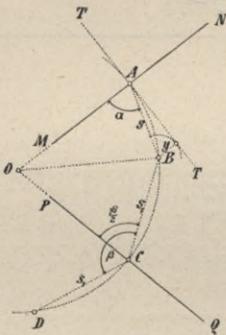


Fig. 70.

Liegen zu beiden Seiten des Punktes *C*, in welchem ein Profil abgesteckt werden soll, im gleichen Abstände *s*₁ die Bogenpunkte *B* und *D*, so sind die Längen *s*₁ und *r* gar nicht notwendig; die Radialrichtung halbiert den Winkel β , den die Sehnen miteinander einschließen.

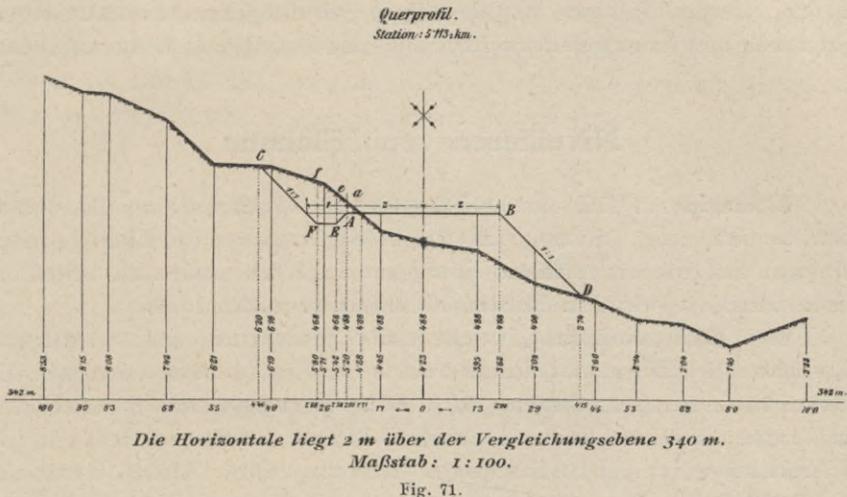
93. Kontrolle der Querprofilaufnahmen. Diese kann man sich verschaffen durch doppelte Messung der Längen und durch geeignete Meßproben für die Höhen; das erstere würde eine Nachmessung des durch die Endpunkte bezeichneten Profiles erfordern; eine Höhenprobe würde sich ergeben, wenn man die Endpunkte der Querprofile, die ausgepflockt werden

müßten, im Zusammenhange nivelliert, wobei die Koten der Endpunkte aus dem Kontrollnivelement und der Querprofilaufnahme innerhalb zulässiger Grenzen stimmen müßten.

94. Die zeichnerische Darstellung der Querprofile erfolgt an der Hand der Skizzen oder entsprechend geführter Protokolle. Der Maßstab wird größer gehalten als bei Längenprofilen, und zwar ist die Verjüngung für Horizontalabstände und Höhen gleich; in der Regel ist sie 1 : 100.

In Fig. 71 ist ein Querprofil für die Station 5+113,2 km im Maße 1 : 100 dargestellt; es ist auch das Kunstprofil eines Straßenkörpers eingetragen und entsprechend hervorgehoben.

Ein in dieser Weise angelegtes Profil gestattet, nicht nur die Querschnittsflächen des Kunstprofiles planimetrisch oder rechnerisch abzuleiten, sondern auch Maße für charakteristische Punkte desselben: Nivellette, Kronen-



kantenpunkte, Böschungfußpunkte u. s. w., deren Kenntnis für die Profilierung (II. Band, Nr. 120 bis 123) notwendig ist, sowohl in Bezug auf ihre Abstände vom Achsenpflocke als auch ihre Höhe über oder unter demselben aus dem Profile direkt abzunehmen.

95. **Querprofile von Bächen und Flüssen** werden zumeist rechtwinklig zum Stromstriche gelegt. Nachdem die Absteckung vorgenommen ist, wird in der Ebene des Profiles von einem Ufer zum andern eine in Öl gesottene Peilleine gespannt, auf welcher durch Lederstreifen Metermarken angebracht sind. Sollte wegen der zu großen Breite die Einsenkung der Leine eine so große sein, daß sie die Wasseroberfläche berührt, so muß für eine Unterstüzung durch ein verankertes Floß oder einen Nachen gesorgt werden. Zur Messung der Wassertiefen werden runde, in Dezimeter geteilte Peilstangen benützt, welche schräg gegen die Flußrichtung des Wassers eingesetzt und im Momente der Ablesung der Wassertiefe nach Möglichkeit vertikal gestellt werden.

Bei der Bestimmung der Horizontalabstände und der Wassertiefen begibt sich der leitende Ingenieur auf ein eventuell improvisiertes Floß oder einen Kahn, der längs der Peilleine geführt wird, und ermittelt am Uferrande, ferner an den Stellen, wo die Peilstange aufgestellt wurde, an der Leine die Distanz und an der Peilstange die Höhe des Querprofiles.

96. **Radialprofile** können von einem Punkte des Längen- oder Querprofiles ausgehen; sie breiten sich strahlenförmig aus und werden so festgelegt, daß sie charakteristische Brechpunkte des Terrains enthalten.

Ihre Aufnahme und Darstellung bietet nach den über die Längen- und Querprofile gemachten Auseinandersetzungen keine Schwierigkeit.

In gebirgigen und felsigen Gegenden, an steilen Ufern von Bächen und Flüssen und durch diese hindurch müssen oft Querprofile gelegt werden; da hat der leitende Ingenieur mit besonderen Schwierigkeiten zu kämpfen und nicht selten muß er angeseilt werden, um seine Messungen ausführen zu können.

Nivellieren von Flächen.

97. Handelt es sich um die Kenntnis der Neigungen einer Bodenfläche nicht nur nach einer Richtung hin, wie beim Nivellieren von Linien, sondern will man die Höhenverhältnisse einer ganzen Fläche nach allen Seiten hin kennen lernen, so wird ein Flächennivellement auszuführen sein.

Eine Flächennivellierung, welche eine Terrainpartie genau wiedergeben soll, müßte sich auf ganz bestimmte Punkte der Erdoberfläche erstrecken. Die Punkte hätte man so zu wählen, daß die Verbindungsgeraden unmittelbar mit dem Terrain zusammenfallen; die einzelnen Punkte müßten so verteilt sein, daß ein Anschmiegen an die Geländeformen eintreten würde. Dadurch würde man der Erdoberfläche ein Polyeder, das Reliefpolyeder, einschreiben, dessen Flächen Dreiecke, eventuell windschiefe Vierecke wären und sich möglichst der Erdoberfläche anschmiegen. Durch ein solches Polyeder könnte die betreffende Terrainpartie ersetzt werden.

In der Praxis findet wohl eine in vorbeschriebener Weise angegebene Punktauswahl nicht statt, weil die Arbeit zeitraubend und auch kostspielig wäre.

Im Laufe der Zeit haben sich, mit der Situationsaufnahme in inniger Verbindung stehend, Methoden herausgebildet, welche gleichfalls zum Ziele führen; es sind dies:

1. Flächennivellement mittels Kombination von Längen-, Quer- und Radialprofilen,
2. Flächennivellement auf Grund eines Rostes, mittels dessen ein Quadratnetz über die zu nivellierende Fläche gebreitet wird, und
3. Flächennivellement mittels zerstreuter Punkte.

98. **Flächennivellement mittels Kombination von Längen-, Quer- und Radialprofilen.** Bei vielen Arbeiten des Ingenieurwesens hat das aufzunehmende Terrain eine ausgesprochene Längenausdehnung, z. B. beim Baue von Eisenbahnen, Straßen, Kanälen u. s. w., wo häufig ein Flächenstreifen aufzunehmen ist, welcher viele Kilometer lang und nur 100, 200 m breit ist. In diesem Falle wird in der Richtung der Hauptausdehnung ein Längenprofil gelegt, mit welchem Quer-, beziehungsweise Radialprofile verbunden und sowohl in der Situation als Höhe festgelegt werden; es werden in Abständen von 10, 20, 50 m je nach Bedarf senkrecht auf die Längenausdehnung Querprofile errichtet und, wenn es die Terraingestaltung erfordert, auch Radialprofile eingeschaltet.

Die Anlage, Festlegung und Aufnahme der Längen- und Querprofile erfolgt nach den in den vorhergehenden Nummern gemachten Auseinandersetzungen.

Wird nach den Skizzen und Messungsdaten ein Grundriß angefertigt und zu jedem Punkte die Höhe über einer angenommenen Vergleichungsebene oder der Meeresfläche hinzugesetzt, wie auf der rechten Seite der Fig. 72, so erhält man einen „kotierten Plan“ der aufgenommenen Fläche, in welchem nach II. Band, Nr. 124 bis 133, die Schichtenlinien eingezeichnet und beliebige Konstruktionen von Profilen u. s. w. ausgeführt werden können.

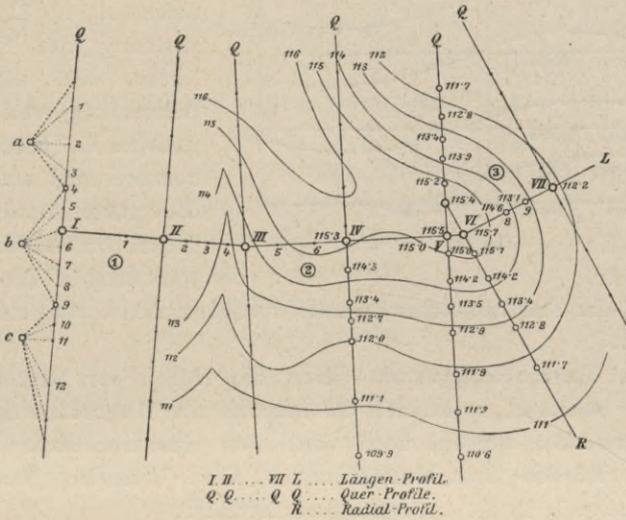


Fig. 72.

99. Flächenaufnahme auf Grund eines Rostes oder Netzes. Ziemlich rasch werden, wenn andere Grundlagen für die Situation der zu nivellierenden Fläche fehlen, mit Hilfe eines abgesteckten Rostes, d. i. Netzes von quadratischen oder rechteckigen, überhaupt viereckigen Feldern, die Höhenverhältnisse einer Terrainpartie nebst Situation bestimmt.

Die Eckpunkte der viereckigen Felder, Terrainpunkte, geben verbunden windschiefe Vierecke, wobei ihre Seiten mit dem Terrain zusammenfallen sollen; von den Diagonalen wird verlangt, daß von den durch sie geführten Profilen das eine konvex und das andere konkav ist. Durch diese Vierecke, beziehungsweise Dreiecke wird der Erdoberfläche ein Polyeder eingeschrieben, Reliefpolyeder, welches umso mehr sich dem natürlichen Terrain anpaßt, je engmaschiger das Vierecksnetz gelegt wird.

Über die ganze aufzunehmende Fläche (Fig. 73) wird ein Quadratnetz von 5, 10 m oder bei gleichmäßiger Terrainkonfiguration auch 20 m Seitenlänge abgesteckt und die Netzlinien nach beiden Seiten entweder mit Zahlen oder

Buchstaben bezeichnet; in Fig. 73 haben wir Buchstaben gewählt. Dadurch sind sämtliche Durchschnittspunkte in sehr einfacher Weise, ohne sie besonders

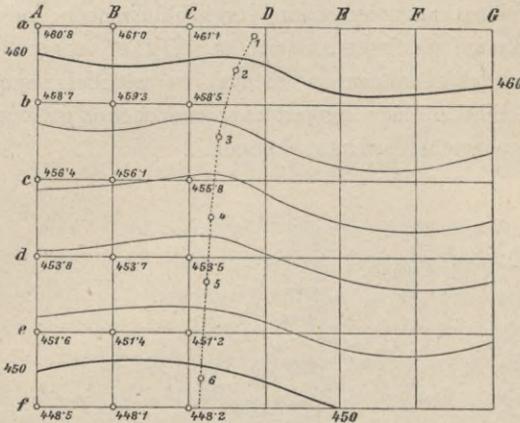


Fig. 73.

beschreiben zu müssen, kenntlich gemacht; in der Netzlinie A hat man die Punkte Aa , Ab , Ac , ... und analog in den folgenden.

Bei der Wahl des Netzes ist die eine Richtung der Netzlinien A , B , C , ... in der Richtung der Falllinien zu legen, weil die sicherste Bestimmung von Isohypsenpunkten in Falllinien vorgenommen wird und diese auch die größte Anzahl derselben liefern. Die Netzlinien a , b , c , ... von welchen die Horizontal-

kurven nicht gar sehr abweichen, werden zur Konstruktion von Isohypsen nicht herangezogen. Ist die Terrainkonfiguration durch die Höhen der Netzpunkte allein nicht sicher bestimmt, so können die Schnitte der Diagonalen der einzelnen Quadrate verwendet werden, auch wird man charakteristische Punkte der Terrainform, Rücken- und Muldenlinien u. s. w. besonders bezeichnen, so z. B. die Punkte 1, 2, 3, ..., und später nivellieren.

Die Absteckung selbst wird so vorgenommen, daß man die längste Netzgerade, welche durch die Mitte der aufzunehmenden Fläche geht, aussucht, z. B. d , bezeichnet und auf ihr Punkte Ad , Bd , Cd , ... in Abständen von 5, 10, beziehungsweise 20 m einmißt und auspflöckt. Nun errichtet man mit einer Winkeltrommel oder einem Winkelspiegel, beziehungsweise einem Winkelmeßinstrumente in jedem der eingemessenen Punkte Ad , Bd , Cd , ... Senkrechte und macht sie ersichtlich; auf der ungefähr in der Mitte verlaufenden Netzlinie D werden von Dd aus gleichfalls in Abständen von 5, 10, respektive 20 m Punkte Dc , Db , Da nach der einen und De , Df , ... nach der andern Richtung eingemessen und in ihnen Normale zu D errichtet. Nun kann man die Schnittpunkte der Netzlinien bestimmen und verpflocken.

Wenn kein Situationsplan vorliegt, so können die Netzlinien als Abszissenachsen (Aufnahmelinien) verwendet und die Begrenzungspunkte von Parzellen, Gebäuden u. s. w. auf diese durch rechtwinklige Koordinaten festgelegt werden. Ist hingegen der Situationsplan vorhanden, so wird es notwendig, um das Netz in den Plan eintragen zu können, einzelne Netzpunkte einzumessen.

Nach diesen vorbereitenden Arbeiten kann an die Ausführung des Flächennivellements selbst geschritten werden. Zuerst wird ein geschlossenes

Nivellement an den Grenzen vorgenommen, wobei möglichst viele Fixpunkte, Grenzsteine u. s. w. einbezogen werden. Punkte im Innern werden durch ein Nivellement aus der Mitte mit Zwischenpunkten, wobei von einem Standpunkte aus, der an einen bestimmten Punkt angeschlossen wurde, eine größere Anzahl von Netzpunkten im Umkreise bei Zielweiten von 30—50 *m* und darüber bis 100 *m* nivelliert wird. Das Manuale ist nach Nr. 80 anzulegen.

Die Höhen, welche sich auf eine bestimmte Vergleichungsebene oder den Meeresspiegel beziehen, werden nach den Manualen berechnet und in die Situation eingetragen.

Die Bestimmung von Isohypsen erfolgt durch Einschaltung am besten mit Hilfe von Profilen durch Konstruktion (II. Band, Nr. 128).

100. Flächennivellement mittels zerstreuter Punkte. Man wählt in der zu bestimmenden Fläche die Punkte 1, 2, 3, . . . (Fig. 74), welche so zu verteilen sind, daß durch sie das Terrain charakterisiert ist, daß also überall dort, wo eine wesentliche Änderung der Steigung eintritt, ein Punkt zu stehen kommt. Denkt man sich durch je drei benachbarte Punkte eine Ebene gelegt, so ist die unregelmäßige Fläche in lauter dreiseitige ebene Flächen aufgelöst, die zusammen um so genauer die Bodenfläche wiedergeben, je näher die gewählten Punkte gelegt werden. Durch die freiere Punktauswahl wird es möglich, das Dreiecksnetz so zu legen, daß sich dessen Seiten der Geländeform möglichst anschmiegen und das so gebildete Stück des Reliefpolyeders die Erdoberflächenpartie ersetzt. Die Punkte werden nun im Grundrisse entweder mittels Meßtisches oder durch Koordinaten aufgenommen und dann nivelliert, wobei nach dem Prinzipie des Detailnivellements von einem Standpunkte aus möglichst viele Punkte anvisiert werden, dann von einem zweiten Standpunkte zunächst einer der in der ersten Station bestimmten Punkte (Anbindungspunkt) und abermals eine Reihe neuer Punkte u. s. f.

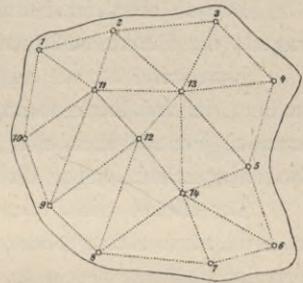


Fig. 74.

War z. B. in der Gegend zwischen 11 und 13 der erste Instrumentstandpunkt, von wo aus die Lattenhöhe der Punkte 1, 2, 3, 9, 10, 11, 12 und 13 bestimmt wurden, dann zwischen 5 und 12 der zweite Standpunkt, von welchem aus die Lattenhöhen in 12 (Anbindungspunkt), 4, 5, 6, 7 und 8 bestimmt wurden, so ist nach dem früheren klar, wie man die relativen Höhen der einzelnen Punkte oder, wenn die Meereshöhe eines derselben gegeben ist, die Meereshöhen aller übrigen bestimmen kann, so daß man wieder im stande ist, einen kotierten Plan anzufertigen.

Eine spezielle Art der Methode der zerstreuten Punkte wird im Kapitel „Tachymetrie“, § 27, besprochen werden.

101. Flächennivellement einer gegebenen Situation. Liegt eine Horizontalprojektion, der Plan eines Gebietes vor, wie es Katastermappen, die Horizontalaufnahme auf graphischem Wege mittels des Meßtisches, und in Deutschland die Flurkarten sind, so muß zum Zwecke der Angabe der altimetrischen Verhältnisse (Höhenverhältnisse) ein Flächennivellement ausgeführt werden.

Vorerst werden in dem rekonoziierten Gebiete an Kommunikationen, Gewässern, in Ortschaften bei Kirchen und öffentlichen Gebäuden, am Orts- ein- und -ausgange Fixpunkte gewählt und bezeichnet; selbstredend wird man auch Punkte einbeziehen, die bei gebirgigem Terrain auf Anhöhen sich befinden. Diese Punkte werden durch ein kontrolliertes Längennivellement in Bezug auf ihre Höhe fixiert; hiebei kann geometrisch oder, wenn erforderlich, auch trigonometrisch nivelliert werden; falls Fixpunkte des Präzisionsnivellements im Gebiete sich befinden, können die gewählten Punkte, indem ein Anschluß oder ein Einschalten stattfindet, nach dem Prinzipie der Interpolation ausgeglichen werden (§ 12), oder aber es werden Nivellements Schleifen und -netze angelegt und so eine größere Anzahl von gut bestimmten und kontrollierten Höhenpunkten über das ganze Gebiet verteilt.

Die so erhaltenen und ausgeglichenen Koten werden in den Plan eingetragen; die Punkte selbst dienen als Repère- oder Anbindepunkte.

Nun kann an die eigentliche Detailflächenaufnahme geschritten werden, welche, sich an Repèrepunkte anschließend, an mehreren Stellen in Angriff genommen werden kann und nach der Methode des Nivellierens aus der Mitte mit Zwischenpunkten ausgeführt wird.

Da hiebei nicht nur in der Situation, dem Plane, angegebene Punkte, sondern auch eine größere Anzahl von Zwischenpunkten, welche je nach der Terraingestaltung wechseln, nivelliert werden müssen, so ist es notwendig, daß ein Ingenieur dem Lattenträger, beziehungsweise dem Figuranten die Standpunkte anweist und neugewählte in die Skizze richtig durch Schätzung oder Einmessung einträgt, während ein zweiter Ingenieur die Arbeiten beim Nivellierinstrumente besorgt.

Besondere Sorgfalt ist auf die Führung des Protokolles und der Skizze zu verwenden.

Zu Hause werden nach den Manualen die Höhenkoten berechnet, auf die Vergleichungsebene reduziert und die Koten in den Plan eingetragen, wodurch eine „kotierte Projektion“ der Terrainpartie erhalten wird, auf welche sich dann die Konstruktion der Isohypsen gründet.

§ 8. Aufgaben über das Nivellieren.

Nachfolgend mögen einige Aufgaben besprochen werden, die unmittelbar die Verwendung des Nivellierens für wichtige Fälle der praktischen Betätigung des Ingenieurs vorführen. Es sind dies Aufgaben, die bei Planierungs- und Regulierungsarbeiten, bei Trassierungen von Straßen und Bahnen, bei Anlage von verschiedenen technischen Objekten vorkommen.

102. 1. Aufgabe. Ein Punkt A ist gegeben; in der Richtung der Trasse Ax soll eine horizontale Gerade abgesteckt werden.

Man stellt das Nivellierinstrument mit dem Okularende über dem Punkte A auf und mißt bei einspielender Nivellierlibelle die Instrumenthöhe J (Fig. 75).

An Stellen 1, 2, . . . in der Richtung der Trasse läßt man Pflöcke, die eventuell in gleichen Abständen 10, 20, . . . m gewählt sein können, einschlagen; die Köpfe dieser Pflöcke, die mit A in demselben Horizonte sich befinden



Fig. 75.

sollen, werden vom Horizonte des Instrumentes HH den Abstand J haben. Steht eine Latte mit einer Zielscheibe zur Verfügung, so wird die letztere auf die Instrumenthöhe J eingestellt und vom Figuranten an den Pflöck 1 in vertikaler Lage gehalten und durch Einweisen des Ingenieurs von A aus so lange im vertikalen Sinne verstellt, bis der Horizontalfaden des Instrumentes die Zielscheibe genau schneidet. Nun wird am Fuße der Latte eine Marke am Pflöcke gezogen und der überragenden Teil des Pflöckes mit einer kleinen Säge (Fuchsschwanz) entfernt oder der Pflöck weiter eingetrieben; dadurch kommt der Kopf des Pflöckes in den Horizont des Punktes A .

Falls eine Latte mit Zielscheiben nicht vorhanden ist, so wird eine Latte zum Selbstablesen benützt, doch ist es zweckmäßig, Latten mit Zielscheiben zu verwenden, wie es die Fig. 75 zeigt, weil das Einweisen viel rascher, sicherer und bequemer vorgenommen werden kann.

Es ist nicht unbedingt notwendig, das Instrument über dem Punkte A aufzustellen, sondern das Instrument kann auch seitwärts aufgestellt werden. Es wird dann bei einspielender Nivellierlibelle auf der in A vertikal aufgestellten Latte die Lattenhöhe L bestimmt, die Zielscheibe auf L eingestellt und dann genau so verfahren, wie vorstehend angegeben wurde.

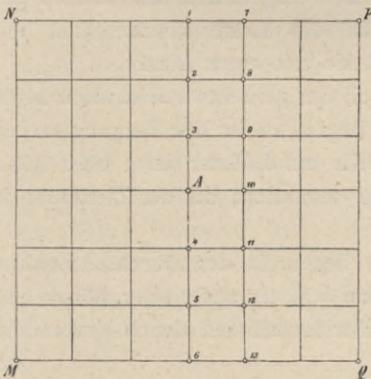


Fig. 76.

103. 2. (Planierungs)aufgabe. Die soeben behandelte Aufgabe kommt bei Planierungen zur steten Anwendung.

Hat man nämlich durch den Punkt A eine horizontale Ebene $MNPQ$ (Fig. 76) abzustecken, so wird man sich z. B. über der Fläche ein Netz von Punkten abstecken, durch Pflöcke 1, 2, 3, . . . n bezeichnen und nach dem beschriebenen Verfahren diese Pflöcke in den Horizont von A bringen.

Gestützt auf das vorstehende Verfahren, kann auch die folgende für die Trassierung wichtige Aufgabe gelöst werden.

104. 3. Aufgabe. In einem unebenen Terrain sollen Punkte bestimmt werden, die mit einem gegebenen Punkte A gleich hoch liegen.

Man stellt in A oder, falls dies nicht möglich sein sollte, seitwärts von A das Nivellierinstrument auf, stellt es horizontal, mißt die Instrumentenhöhe J oder ermittelt die Lattenhöhe L und stellt die Zielscheibe auf die Höhe J , beziehungsweise L . Nun läßt man den Gehilfen versuchsweise mit der vertikal gehaltenen Latte weitergehen, bis der Zielpunkt im Horizonte des Instrumentes sich befindet; dann erhält man einen Punkt im Terrain, der mit A in demselben Horizonte liegt, und kann ihn durch einen Pflock bezeichnen.

Solcher Punkte lassen sich im Umkreise von A viele finden; es gibt eigentlich unendlich viele Punkte, welche der gestellten Forderung entsprechen. Alle diese Punkte liegen in der Durchschnittslinie des Terrains mit der durch A gelegten Horizontalebene.

Der Anblick wird lehren, welche der so bestimmten Punkte mit einer kontinuierlichen Kurve zu verbinden wären; diese enthält dann Punkte gleicher Höhe und stellt eine Horizontal- oder Niveaulinie dar.

Hat man in einer bestimmten Entfernung D vom Punkte A Terrainpunkte zu suchen, die mit A in demselben Horizonte sich befinden, so wird diese Aufgabe ähnlich gelöst.

105. 4. Aufgabe. Auf dem Pflöcke im Punkte 1 soll ein Punkt angegeben werden, der um h Meter tiefer liegt als der gegebene Punkt A (Fig. 77).

In diesem Falle wird die Zielscheibe auf $J + h$, wenn das Instrument über den Punkt A , oder auf $L + h$ eingestellt, wenn das Instrument seitwärts von A sich befindet, und ermittelt man auf dem Pflöcke im Punkte 1 jene Stelle, welche bei eingestellter Zielscheibe den Fußpunkt der Latte kennzeichnet und versieht sie mit einer Marke.

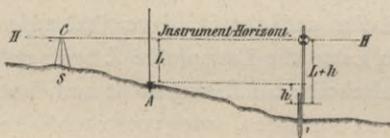


Fig. 77.

Soll der gesuchte Punkt um h Meter über A liegen, so ist der Vorgang analog.

Hat man Terrainpunkte zu suchen, die um h Meter tiefer oder höher liegen, so wird der Lattenstandpunkt so lange verändert, bis der Zielpunkt im Horizonte HH des Instrumentes erscheint.

Die Punkte, die so bestimmt werden, liegen in der Durchschnittslinie des Terrains mit einer Horizontalebene, die um h Meter tiefer oder höher liegt als der gegebene Punkt. Auch hier werden Horizontallinien durch Verbindung mit einer kontinuierlichen Kurve erhalten.

Ist der Betrag h zu groß, so daß eine Lattenlänge nicht ausreicht, so wird h in zwei oder mehrere Teile zerlegt, welche kleiner als die Lattenlänge l sind, also

$$h = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n, \text{ wobei } h_1 \dots h_n < l \text{ ist.}$$

Man bestimmt zuerst einen Punkt, der um h_1 tiefer liegt als A , und erhält B ; dann wird ein zweiter Punkt C ermittelt, der um h_2 tiefer liegt als B , u. s. w.

106. 5. Aufgabe. Liegt ein Punkt A auf dem linksseitigen Abhänge eines Berges (Fig. 78) und soll man auf dem rechtsseitigen Abhänge in einer gegebenen Richtung (Vertikalebene) einen Punkt B suchen, der um h Meter tiefer liegt (eventuell höher), so geht man, wie folgt, vor:

Vor allem wird man, um die Richtung zu fixieren, die Vertikalebene A, C, B, \dots abstecken und bezeichnen. Nun wählt man am Gipfel des Berges einen Punkt C und ermittelt den Höhenunterschied H_1 desselben in Bezug auf A ; hierauf führt man am rechtsseitigen Abhänge das Nivellement bergab, wobei man aus dem Nivellementprotokolle ersehen kann, ob man sich in der Nähe des gesuchten Punktes befindet oder nicht. Angenommen, man sei im Punkte D

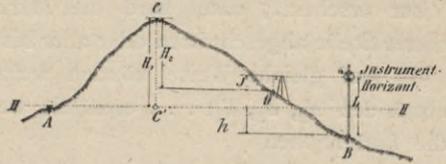


Fig. 78.

mit der Höhe H_2 und der Instrumenthöhe J angelangt, so liegt dieser um $(H_1 - H_2)$ über dem Horizonte von A oder der Instrumenthorizont in D liegt um $(H_1 - H_2) + h + J$ Meter über dem Horizonte des gesuchten Punktes. Aus dem Grunde läßt man die Zielscheibe auf $L = (H_1 - H_2) + J + h$ einstellen und ermittelt in bekannter Weise den Punkt B .

Soll der gesuchte Punkt B höher liegen als der gegebene Punkt A , so wird es notwendig, das Nivellement von C abwärts, ehe man in den Horizont von A gelangt, abzubrechen und die Zielscheibe auf $(H_1 - H_2) + J - h$ einstellen zu lassen.

Wenn der gesuchte Punkt mit A in gleicher Höhe liegen soll, so wird die Zielscheibe auf $(H_1 - H_2) + J$ einzustellen sein, da $h = 0$ ist.

107. 6. Aufgabe. Zwei Punkte A und B sind gegeben; es sollen Punkte der durch AB bestimmten geneigten Geraden ermittelt werden (Fig. 79).

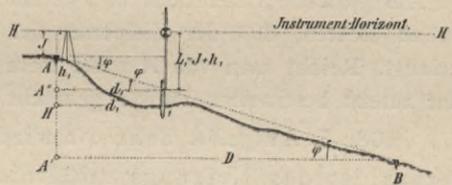


Fig. 79.

Man ermittelt den Höhenunterschied H der beiden Punkte und ihren Horizontalabstand D ; dann ist die Neigung φ dieser Geraden:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{H}{D} \quad \text{oder} \quad \frac{1}{\left(\frac{D}{H}\right)} = \frac{1}{n}$$

Um einen Punkt der Geraden AB zu erhalten, mißt man bis zu einem in der Richtung AB geschlagenen Pflöcke 1 die horizontale Entfernung

$H \cdot 1 = d_1$; dann ist, wenn h_1 der Höhenunterschied von A und 1 ist,

$$D : d_1 = H : h_1, \text{ also } h_1 = \frac{H}{D} d_1 = d_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

und h_1 ist berechenbar.

Um den Kopf des Pflockes 1 in die Gerade AB zu bringen, hat man in Bezug auf A in der Geraden AB einen Punkt zu suchen, der um h_1 tiefer liegt als A .

Wenn daher das Nivellierinstrument über dem Punkte A aufgestellt wird und die Instrumenthöhe J ist, so wird die Zielscheibe auf $L_1 = J + h_1$ fixiert und die Latte an dem Pflocke in 1 so lange verschoben, bis der Zielpunkt in der Visur erscheint; dann wird die Marke am Pflocke gezogen, der Pflock an dieser Stelle abgeschnitten oder aber bis zu dieser Höhe ins Erdreich eingetrieben.

Auf gleiche Weise können weitere Punkte $2, 3, 4, \dots$ in Horizontalabständen d_2, d_3, d_4, \dots ermittelt werden; hierbei wird die Zielscheibe auf die Lattenhöhen

$$L_2 = J + h_2, L_3 = J + h_3, L_4 = J + h_4, \dots$$

zu stellen sein, worin

$$h_2 = d_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi, h_3 = d_3 \cdot \operatorname{tg} \varphi, h_4 = d_4 \cdot \operatorname{tg} \varphi, \dots$$

zu nehmen ist.

Man wird bei der praktischen Ausführung finden, daß die Lattenlänge sehr bald nicht mehr ausreicht, und man ist daher genötigt, einen andern Weg einzuschlagen. Die Zielscheibe wird auf die Höhe J gestellt, die Latte im Punkte B in vertikale Lage gebracht und mittels der Elevationsschraube der Horizontalfaden scharf auf den Zielpunkt eingestellt; dadurch erhält man eine zu AB parallele Visierebene und es sind die Pflocke in den Punkten $2, 3, \dots$ so zu richten, daß der Zielpunkt der aufgestellten Latte in die Visierebene gelangt. Reicht man von A nicht mehr aus, so wird das Instrument in einen der zuletzt bestimmten Punkte gebracht und genau so vorgegangen wie in A .

108. 7. Aufgabe. Sehr oft wird bloß der Punkt A gegeben sein; ferner ist das Neigungsverhältnis $\frac{1}{n}$ oder der Neigungswinkel φ , die Richtung der abzusteckenden Geraden, bekannt und man hat die Absteckung der Geraden vorzunehmen.

In diesem Falle rechnet man sich vorerst den Höhenunterschied für eine Distanz d , in welcher man die Punkte von A aus abzustecken beabsichtigt; es ist

$$h = \frac{H}{D} d = \frac{d}{\left(\frac{D}{H}\right)} = \frac{d}{n} \text{ oder } h = d \cdot \operatorname{tg} \varphi.$$

Nachdem h bekannt ist, werden dann die Punkte in den Horizontalabständen $d, 2d, 3d, \dots n \cdot d$ durch die Höhen $h, 2h, 3h, \dots n \cdot h$ in ähnlicher Weise bestimmt, wie in der vorhergehenden Aufgabe angegeben wurde.

109. 8. Aufgabe. Durch einen Punkt A ist eine Ebene abzustecken, von der die Neigung und die Richtung ihres größten Falles gegeben sind (Fig. 80).

Man steckt in der Richtung des größten Falles durch den Punkt A eine Gerade von gegebener Neigung; dies ist die Falllinie oder Böschungsgerade (Spurnormale) der Ebene, in welcher in gewissen Abständen, etwa von 5 zu 5 m , Pflöcke eingesetzt werden a, b, c, \dots . Nun errichtet man in den Punkten a, b, A, c, d, \dots Senkrechte zur Falllinie, welche abgesteckt werden, und erhält Horizontale oder Niveaugerade, Spurparallele, der Ebene, in welchen nach dem früheren eine beliebige Anzahl von Punkten bestimmt werden kann.

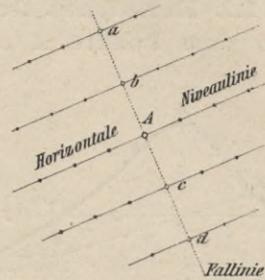


Fig. 80.

Hat man eine horizontale Ebene abzustecken, deren Neigung Null ist, so ist auch die erste vorher abgesteckte Falllinie, deren Richtung nun eine beliebige ist, von A horizontal abzustecken und dann, wie eben erklärt, weiter vorzugehen.

110. 9. Aufgabe. Es ist die Linie des stärksten Falles einer gegebenen Ebene zu ermitteln.

Man steckt durch einen beliebigen Punkt der Ebene eine horizontale Gerade ab, welche als Horizontale eine Spurparallele der Ebene darstellt; errichtet man auf diese eine Senkrechte, so stellt diese die Linie des stärksten Falles vor und ihre Neigung gibt die Neigung der Ebene gegen den Horizont an.

111. 10. Aufgabe. Durch den Punkt A soll in einer gegebenen Richtung Ax eine Gerade unter einem bestimmten Neigungswinkel φ gegen den Horizont gelegt werden, in welchem die Gerade das Terrain verläßt (Fig. 81).

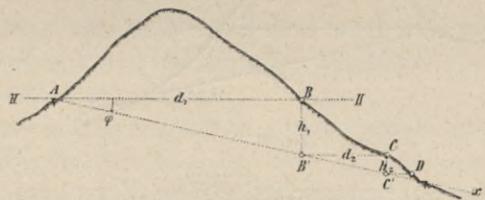


Fig. 81.

Man steckt zuerst die Richtung Ax ab, in welcher der gesuchte Punkt liegen muß. Nun bestimmt man in der gegebenen

Richtung den Punkt B , der mit A in demselben Horizonte, aber auf dem rechtsseitigen Hange des Berges sich befindet; hat die Gerade die Neigung $tg \varphi = \frac{1}{n}$, so findet man für den Horizontalabstand $\overline{AB} = d_1$ die Höhe des Punktes B über der Geraden Ax mit $h_1 = d_1 \cdot tg \varphi$.

Denkt man sich durch B' eine Horizontale, so trifft sie das Terrain im Punkte C ; diesen Punkt kann man finden, wenn unterhalb B ein Punkt gesucht

wird, der um h_1 tiefer liegt als B . Nun rechnet man für die horizontale Distanz $BC = d_2$ die Höhe des Punktes C über C' , d. i. $\overline{CC'} = h_2 = d_2 \cdot \text{tg } \varphi$, und sucht den Punkt D im Horizonte von C' .

Das beschriebene Verfahren wird so lange fortgesetzt, bis die reduzierte Horizontalabstand Null wird; der so bestimmte Punkt bezeichnet jene Stelle, in welcher die unter φ geneigte Gerade das Terrain verläßt.

112. 11. Aufgabe. Durch den Punkt P , der im Vertikalabstande h unter dem Punkte A sich befindet, soll nach einer gegebenen Richtung Ax eine Gerade von einem bestimmten Neigungswinkel φ gegen den Horizont gelegt und die Stelle angegeben werden, in welcher diese Gerade das Terrain verläßt (Fig. 82).

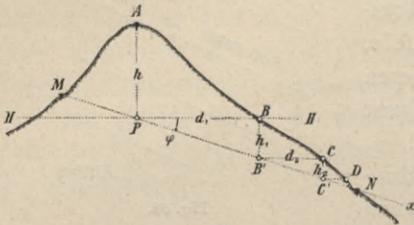


Fig. 82.

Man bestimmt vorerst in der gegebenen Richtung Ax den Punkt B , der mit P gleiche Höhe hat; hierauf rechnet man aus der gegebenen Neigung φ und der horizontalen Distanz $PB = d_1$ den Höhenunterschied $h_1 = d_1 \cdot \text{tg } \varphi$; dann bestimmt man von B aus jenen Punkt C , der um h_1 tiefer liegt als der Punkt B . Nun berechnet man für die horizontale Entfernung $\overline{B'C} = d_2$ den Höhenunterschied $\overline{CC'} = h_2 = d_2 \cdot \text{tg } \varphi$, bestimmt dann jenen Terrainpunkt D , für welchen derselbe Höhenunterschied gilt, und fährt auf gleiche Weise fort, bis man endlich den Punkt N erhält.

Wie man nun vorzugehen hat, um auch den Punkt M zu bestimmen, in welchem die Gerade PV das Terrain verläßt, braucht nicht mehr näher erörtert zu werden.

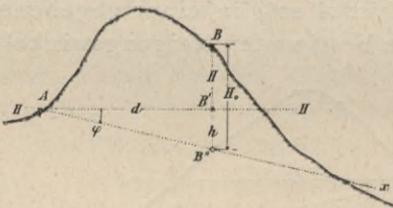


Fig. 83.

113. 12. Aufgabe. Es ist der Vertikalabstand des Punktes B von der unter dem Winkel φ gelegten Geraden Ax zu bestimmen (Fig. 83).

Der Höhenunterschied $\overline{BB'} = H$ wird auf nivellitischem Wege bestimmt; die Höhe $\overline{B'B''} = h$ wird, wenn $\overline{AB'} = d$ bekannt ist, sein:

$$h = d \cdot \text{tg } \varphi,$$

daher der gesuchte Abstand des Punktes B von der Geraden Ax :

$$H_0 = H + h = H + d \cdot \text{tg } \varphi.$$

114. 13. Aufgabe. Das Gefälle eines Flusses soll innerhalb einer gegebenen Strecke AB bestimmt werden (Fig. 84).

Es werden in den Endpunkten der zu nivellierenden Strecke AB starke Pflöcke eingetrieben und hierauf durch ein geometrisches Nivellement das Gefälle der Pflöckköpfe a und b , d. i.

$G_{a,b}$ bestimmt.

Nun werden die Abstände h_1 und h_2 der Köpfe der Pflöcke vom Wasserniveau möglichst gleichzeitig gemessen.

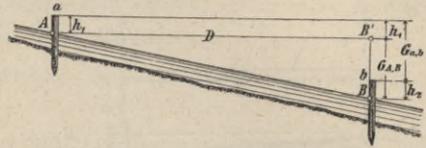


Fig. 84.

Aus der Fig. 84 liest man die Beziehung ab:

$$G_{A,B} + h_1 = h_2 + G_{a,b},$$

somit das gewünschte Gefälle

$$G_{A,B} = G_{a,b} + (h_2 - h_1).$$

Dies ist das Gefälle für die Distanz D , somit $\frac{G_{A,B}}{D}$ das Gefälle für die Längeneinheit.

Interessiert das Gefälle des Flusses für 100 m oder für 1 km , so hat man:

$$\frac{G_{A,B}}{D} \times 100 = G^0_{/0} \text{ (Gefälle in Prozenten),}$$

$$\frac{G_{A,B}}{D} \times 1000 = G^0_{/00} \text{ (Gefälle in Promille).}$$

Es sei hervorgehoben, daß bei präziseren nivellitischen Arbeiten, speziell solchen, die bei der Anlage von Wasserleitungen, Kanälen u. dgl. verwendet werden, es unbedingt notwendig ist, ein Kontrollnivellement zu machen, weil die Ausführung solcher Anlagen oft von ganz geringen Höhenunterschieden abhängig ist; auf 100 m Länge haben z. B. größere Flüsse 8 bis 15 cm , oft 1 bis 2 cm , stellenweise sogar ein noch geringeres Gefälle.

115. Mehrere von den vorstehend behandelten Aufgaben lassen sich, falls keine Nivellierinstrumente zur Verfügung stehen, mit einfachen Hilfsmitteln, wie es das Staffeleuge und die Visierkreuze sind, ausführen.

Das Staffeleuge, das hier Verwendung findet, besitzt zwei vertikale Stäbe samt Hülsen, Stichlatten S_1 und S_2 (Fig. 85), in welche sich die horizontale Latte, das Richtscheit R , einlegen läßt. Die vertikalen Stäbe müssen an ihren unteren Enden beschlagen und ihrer Länge nach mit einer Zentimeterteilung versehen sein, um den jedesmaligen Stand der Hülsen bei horizontal gerichtetem Richtscheit ablesen zu können.

116. 1. Aufgabe. Durch einen Punkt A soll mit dem Staffeleuge eine horizontale Gerade in gegebener Richtung abgesteckt werden.

Man schlägt in der gegebenen Richtung von 4 zu 4 m Pflöcke ein, richtet die Hülsen auf den beiden Stichlatten auf gleiche und solche Höhe h , daß bei eingelegetem Richtscheit der Geometer bequem die aufgesetzte Libelle

oder die Setzwage beobachten kann (Fig. 85). Nun setzt man eine der Stichlatten auf den Anfangspflöck A , die zweite auf den nächsten Pflöck 1, legt hierauf das Richtschieit in die Hülsen ein und sieht nach, um wieviel die Stichlatte längs des Pflöckes 1 verschoben werden muß, bis das Richtschieit horizontal wird, also die Libelle einspielt, und macht eine Marke M , bei welcher dann der Pflöck abzuschneiden ist; man kann aber auch durch Eintreiben des Pflöckes dasselbe erreichen.

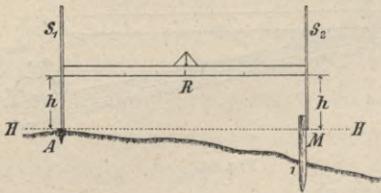


Fig. 85.

Auf gleiche Weise wird die Arbeit von Pflöck zu Pflöck fortgesetzt.

117. 2. Aufgabe. In gegebener Richtung soll vom Punkte A eine Gerade von bestimmter Neigung abgesteckt werden.

Ist das Neigungsverhältnis $\frac{1}{n}$, so rechnet man die Höhe h_1 für die Länge des Richtschieites, im allgemeinen $4 m$; hierauf stellt man die Hülse auf der einen Stichlatte auf eine beliebige Höhe h , die zweite Stichlatte aber um h_1 höher; hiedurch erhält die Verbindungsgerade der Fußpunkte der Stichlatten bei horizontaler Lage des Richtschieites eine Neigung $\frac{1}{n}$ zum Horizonte (Fig. 86).

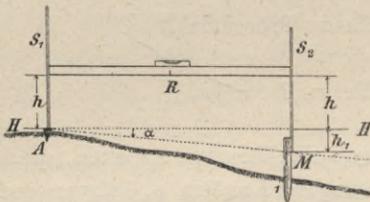


Fig. 86.

118. 3. Aufgabe. Es sind Terrainpunkte zu bestimmen, die mit einem gegebenen Punkte in einem Horizonte liegen.

Man stellt die Hülsen auf gleiche Höhe, legt das Richtschieit ein, setzt die eine Stichlatte auf den gegebenen Punkt und sucht durch allmähliches Weiterstreiten im Kreise mit der zweiten Stichlatte den Terrainpunkt zu ermitteln, in welchem das Richtschieit eine horizontale Lage einnimmt.

Wie man vorzugehen hat, wenn im bergigen Terrain eine Linie von bestimmter Neigung abgesteckt werden soll, ist nach den gegebenen Erklärungen wohl leicht zu finden.

119. Visierkreuze oder Nivellierkrücken (Fig. 87) bestehen aus zwei Holzleisten A und B , die $60 cm$ breit und 100 bis $120 cm$ hoch sind; sie sind miteinander rechtwinklig verbunden und der Teil B ist gewöhnlich zum Schutze vor Abnützung unten mit Metall beschlagen.

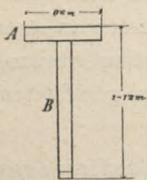


Fig. 87.

Beim praktischen Gebrauche kommen drei Stück Visierkreuze, eine Garnitur, zur Verwendung: das schwarze Visierkreuz befindet sich stets beim Beobachter,

das rote am Endpunkte einer Geraden dem Beobachter gegenüber und das weiße Visierkreuz stets zwischen dem schwarzen und roten.

Die Visierkreuze finden dann nützliche und äußerst einfache Anwendung, wenn zwischen zwei gegebenen Punkten A und B

- Punkte in Bezug auf ihre Höhenlage zu den gegebenen Punkten zu bestimmen oder
- Punkte zu ermitteln sind, die mit A und B in derselben Ebene sich befinden

Hiebei können die gegebenen Punkte A und B in einer horizontalen oder schiefen Ebene sich befinden.

Es sei z. B. der Höhenunterschied von C in Bezug auf A und B zu ermitteln (Fig. 88).

Es werden in A und B Visierkreuze und in C eine Nivellierlatte oder sonst geteilte Latte (Stichlatte des Staffelzeuges) vertikal auf den Pflock aufgestellt; nun wird an die Latte in C ein Visierkreuz angelegt und so lange auf- und abwärts geschoben, bis die horizontal liegende Oberkante MN in die Visierebene $a_1 a_2 b_1 b_2$ der Visierkreuze in A und B gelangt. Bezeichnen wir die

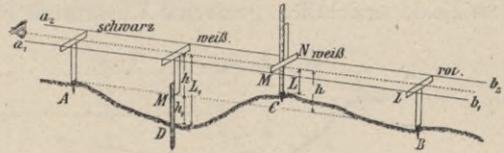


Fig. 88.

Höhe der Visierkreuze mit h , die abgelesene Lattenhöhe im Punkte C mit L , so stellt die Differenz $h - L$ jene lineare Größe dar, um welche der Punkt C über der Verbindungsgeraden AB sich befindet; für den Punkt D ergibt sich durch die Differenz $h - L_1 < 0$ jener Betrag h_1 , um welchen D unterhalb von AB sich befindet.

Ist die Verbindungsgerade AB im Raume horizontal, so geben die genannten Differenzen $h - L$ unmittelbar die Beträge, um welche C höher, respective D tiefer als A und B liegen; ist hingegen AB zum Horizonte geneigt, so müßte, falls der Höhenunterschied zwischen A und C , respective D bestimmt werden sollte, auch noch die Neigung α und die Horizontalabstand $AC = D_1$ bekannt sein. Wir hätten z. B. durch $L + D_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha - h$ das Gefälle zwischen A und D bestimmt.

Hat man die Aufgabe, zwischen zwei gegebene Punkte A und B Punkte einzuschalten, welche in derselben Geraden sich befinden, so ist die Bestimmung einfach. Es wird z. B. in D (Fig. 88) ein Pflock eingetrieben und an diesen daß weiße Visierkreuz angelegt; der Beobachter in A visiert über das rote Visierkreuz in B und läßt in D das Visierkreuz so lange verschieben, bis seine obere Kante in die Visierebene $a_1 a_2 b_1 b_2$ gelangt; hierauf wird am Fuße des Visierkreuzes in D eine Bleistiftmarke M gezogen und der Pflock an dieser Stelle, welche mit A und B in derselben Geraden liegt, abgeschnitten.

Liegen A und B in einer horizontalen Geraden, so wird auch D sich in derselben befinden.

Wie weitere Punkte bestimmt werden, ist aus dem Gesagten klar.

Absteckung von Lattenprofilen bei Erdarbeiten. (Bauprofile.)

120. Im II. Bande, Nr. 90 und 91, wurde gezeigt, wie Querprofile mit dem Nivellierinstrumente und mit der Abwägelatte aufgenommen werden. In die graphische Darstellung werden die Schnitte des projektierten technischen Objektes, die Kunstprofile, eingetragen. Für die Inangriffnahme von Erdarbeiten ist es dann erforderlich, die Absteckung der Kunstprofile auf dem Felde vorzunehmen; hiebei sind die Höhe und Breite des Planums (Krone) anzugeben, die Nivellette und Punkte der Kronenkanten, ferner die Schnittpunkte der seitlichen Böschungsebenen mit dem Terrain ersichtlich zu machen. Dies ist von Wichtigkeit, weil die Profildreiten, die Fußpunkte der Böschung, die Grenzen des Bauwerkes auf dem Terrain zur Vornahme der Arbeiten notwendig sind.

Diese Arbeiten werden als Profilieren bezeichnet und das durch Latten auf dem Felde ersichtlich gemachte Kunstprofil führt den Namen „Lattenprofil“.

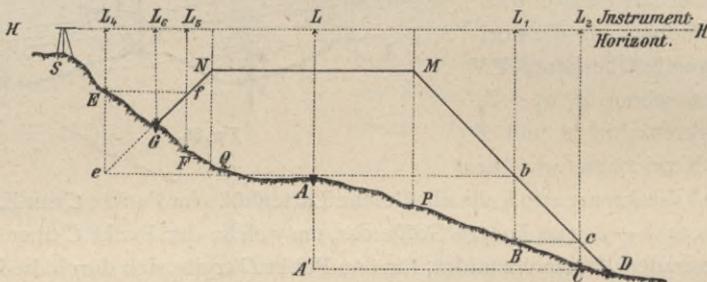


Fig. 89.

Sind die Kunstprofile des Bauwerkes in die Querprofile eingezeichnet worden, so lassen sich die Abstände der Böschungsränder von der Mittellinie aus der Zeichnung entnehmen und auf das Feld übertragen; unbedingt notwendig ist aber diese graphische Darstellung der Querprofile mit den Kunstprofilen nicht, es genügt ein Längenprofil, aus welchem man den vertikalen Abstand der Trasse vom markierten Achsenpunkte im Terrain entnehmen kann. Sind außerdem die Kronenbreite $2b$, das Neigungsverhältnis $1 : m$ der Böschung und die Dimensionen der eventuellen Seitengräben bekannt, so kann direkt auf dem Felde die Bestimmung der Lattenprofile vorgenommen werden.

Absteckung der Lattenprofile. Diese kann mit dem Nivellierinstrumente oder mit der Setz- oder Profillatte vorgenommen werden.

Im flachen und nicht bedeckten Terrain, wo nicht viele Überstellungen des Instrumentes erforderlich sind, wird das Nivellierinstrument gute Dienste leisten, sonst aber, besonders im gebirgigen Terrain, wird man mit der Abwägelatte in Verbindung mit einer oder zwei Vertikallatten Lattenprofile bestimmen.

121. 1. Verfahren. Mit dem Nivellierinstrumente ohne gezeichnetes Querprofil (Fig. 89).

Die Höhe der Nivellette h kann aus dem gezeichneten und beschriebenen Längenprofile entnommen werden.

Nun rechnet man den Horizontalabstand $b + h \cdot m$ jenes Punktes b der Böschung, der mit A in demselben Horizonte sich befindet, trägt diese Distanz im Terrain auf und stellt in B die Nivellierlatte auf, auf der die Lattenhöhe L_1 ermittelt wird; diese, mit der Lattenhöhe im Punkte A verglichen, zeigt, um welche Höhe der Punkt B tiefer oder höher als b liegt. Allgemein kann $L_1 - L \geq 0$ sein; ist $L_1 - L > 0$, $Bb = h_1$, wie in Fig. 89, so liegt B unter b . Nun wird $h_1 \cdot m$ gerechnet und abgemessen, in C die Latte aufgestellt und die Lattenhöhe L_2 bestimmt; da nach der Figur $L_2 - L_1 = h_2 > 0$ ist, so gehört der Punkt C noch nicht der Böschung an, der gesuchte Punkt D des Böschungsfußes liegt tiefer. Fällt das Terrain von C gegen D , so wird die Höhe von C nach D geschätzt und $(h_2 + h_3) \cdot m$ von C aus aufgetragen und bei D ein Pflock eingetrieben. Wird die Latte in D aufgestellt und die Lattenhöhe L_3 ermittelt, so muß, wenn h_3 gut abgeschätzt wurde,

$$L_3 - (L + h_1 + h_2 + h_3) = 0$$

sein; die zulässige Differenz wird im gegebenen Falle vorgeschrieben sein, gewöhnlich nimmt man sie mit $\pm 5 \text{ cm}$ an.

Auf der Bergseite des Querprofiles geht man analog vor; im Abstände $b + h \cdot m$ wird in E die Latte aufgestellt und die Lattenhöhe L_4 abgelesen. Da nach der Figur $L_4 - L = h_4 < 0$, also h_4 negativ ist, so hat man den Böschungsfuß bereits überschritten. Nun rechnet man $h_4 \cdot m$, läßt die Latte in F aufstellen und bestimmt L_5 ; die Differenz $L_5 - L_4 > 0$ ist h_5 und da sie positiv ist, so zeigt dies, daß der Böschungsfuß zwischen E und F sich befindet; man kann h_6 schätzen und erhält aus $\overline{GF} = (h_5 - h_6) \cdot m$ jene Strecke, die von F gegen E aufzutragen ist, um den Terrainpunkt G zu erhalten. Zur Kontrolle dient die Beziehung:

$$L_5 - (L + h_5 - h_6 - h_4) = 0.$$

Bei G wird nun der Terrainpflock eingeschlagen.

Liegt das Profil im Einschnitte oder teilweise im Auf- und Abtrage, so wird die Absteckung des Kunstprofiles ähnlich durchzuführen sein.

Wie man aus dem beschriebenen Vorgange erkennt, liegt kein Näherungsverfahren vor.

122. 2. Verfahren. Besonders beim Profilieren im Flachlande oder sanft geneigten Gelände, wobei der Höhenunterschied zwischen dem höchsten und tiefsten Terrainpunkte des Querprofiles die Lattenhöhe nicht überschreitet, kann das Nivellierinstrument mit Vorteil verwendet werden, wenn ein eingezeichnetes Kunstprofil vorliegt.

Der Standpunkt für das Nivellierinstrument wird so gewählt, daß die in den Punkten O und U (Fig. 90) aufgestellte Nivellierlatte von der horizontalen Nivellierebene des Instrumentes getroffen wird.

In Fig. 90 bezeichnen b die Kronenbreite, h den Auftrag, $1:m$ das Neigungsverhältnis der Böschung, L, L_o, L_u die Lattenhöhen im Achsenpflocke A und in den Punkten O und U , l_o und l_u die von der Kronenkante abzumessenden Abstände der Lattenstandpunkte O und U , x und y die

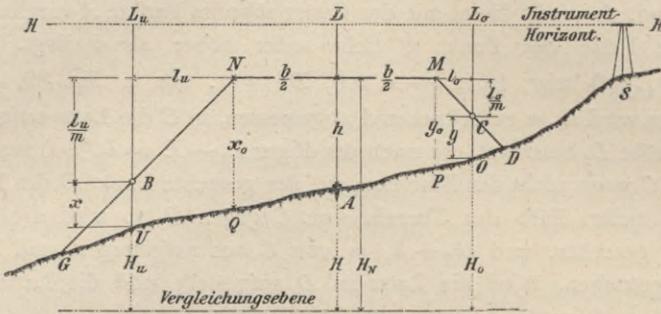


Fig. 90.

Abstände der Punkte U und O von der Böschung, endlich H_A, H_o, H_u die Höhen des Achsenpflockes und der Lattenstandpunkte über der Vergleichungsebene und H die Höhe des Instrumenthorizontes über derselben.

In einem gezeichneten Querprofile werden l_o und l_u so gewählt, daß x und y passende Werte erhalten, und diese Werte in den Profilen notiert; in der Natur werden diese Längen vom Planumsrande aufgetragen, wodurch die Lattenstandpunkte O und U erhalten werden.

Wenn keine gezeichneten Profile vorliegen, so wählt man

$$\frac{l_u}{m} \geq h \text{ und } \frac{l_o}{m} < h$$

für ein Dammprofil; für einen Einschnitt sind die Verhältnisse gerade umgekehrt.

Hierauf werden die Lattenhöhen in den Punkten U, A und O bestimmt. Die Größen x und y ergeben sich unmittelbar aus der Figur:

$$\begin{aligned} x &= \left(L_u - \frac{l_u}{m} \right) - (L - h) & \left\{ \right. & \quad x = \left(H_N - \frac{l_u}{m} \right) - (H - L_u) & \left. \right\} \\ y &= \left(L_o - \frac{l_o}{m} \right) - (L - h) & \left\{ \text{oder} \right. & \quad y = \left(H_N - \frac{l_o}{m} \right) - (H - L_o) & \left. \right\} \end{aligned} \quad \dots 1)$$

Kennt man x und y , so werden in den Punkten U und O Latten vertikal eingeschlagen, x und y vom Terrain abgemessen und in B und C die Böschungslatte unter der bestimmten Neigung befestigt.

Handelt es sich um die Angabe einer Profillatte vom Planumsrande, so ergeben sich die diesbezüglichen x_o und y_o nach Einführung von $l_u = l_o = 0$ mit:

$$\left. \begin{aligned} x_o &= L_u - (L - h) = H_N - (H - L_u) \\ y_o &= L_o - (L - h) = H_N - (H - L_o) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 2)$$

worin L_u und L_o die Lattenlesungen in den Punkten P und Q bedeuten (diese L_u und L_o sind nicht gleich den in den Punkten U und O erhaltenen Lattenhöhen).

Zur Kontrolle müssen die Lattenlesungen der in den Punkten M und N auf den Lattenköpfen aufgestellten Nivellierlatte gleich sein und $L - h$ betragen.

Beispiel.

Gegeben:	Gewählt:	Beobachtet:
$b = 5.00$	$l_o = 1.50$	$L = 3.65 \text{ m}$
$h = 2.35$	$l_u = 3.00$	$L_o = 2.95 \text{ m}$
$1 : m = 1 : 1.5$	$\frac{l_o}{m} = \frac{2}{3} \times 1.50 = 1.00 \text{ m}$	$L_u = 4.28 \text{ m}$
$m = \frac{3}{2}$	$\frac{l_u}{m} = \frac{2}{3} \times 3.00 = 2.00 \text{ m}$	

Berechnung:

$L_o 4.28$	$L 3.65$	$L_o 2.95$
$\frac{l_u}{m} 2.00$	$h 2.35$	$\frac{l_o}{m} 1.00$
<hr/>		<hr/>
$L_u - \frac{l_u}{m} = 2.28$	$L - h 1.30$	$L_o - \frac{l_o}{m} = 1.95$
	$x = 0.98 \text{ m}$	$y = 0.65 \text{ m.}$

Formeln, die zur Berechnung von x und y im Einschnitte und im Übergangskörper dienen, wobei die Achse im Auftrage oder Einschnitte liegen kann, ergeben sich einfach entweder aus einer Figur, welche man sich für den betreffenden Fall zeichnet, oder indem man in die Gleichungen 1) und 2) für den Einschnitt statt h den Wert $-t$ setzt, und l_o und l_u negativ einführt; t bedeutet hierbei die Höhe, um welche die Krone vom Achsenpflocke tiefer liegt; für den Übergangskörper hat man l_o negativ und $l_u = 0$ zu setzen, wenn die Achse im Auftrage liegt, hingegen statt h die Größe $-t$ einzuführen, wenn sie sich im Einschnitte befindet.

123. 3. Verfahren, Absteckung mit Hilfe eines Staffelzeuges (Fig. 91).

Im Wesen ist der Vorgang analog jenem, der bei Benützung des Nivellierinstrumentes nach dem 1. Verfahren eingehalten wurde.

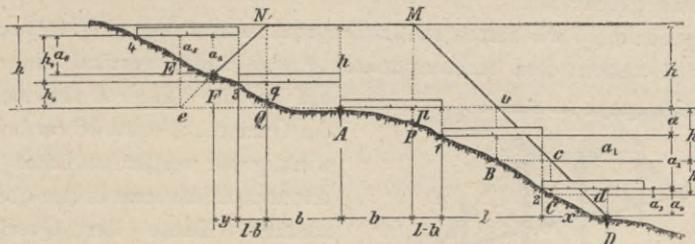


Fig. 91.

Man rechnet $b + h \cdot m$ und beginnt im Achsenpflocke A , mißt die Höhe a im Punkte 1 und a_1 im Punkte B , worauf $h_1 = a + a_1$ für den Punkt b , der

der Böschung angehört, gerechnet werden kann; vom Punkte *B* aus sollte $Bc = h_1 \cdot m$ aufgetragen werden, wodurch der Punkt *c* der Böschung gewonnen würde; indem a_2 in *2* und a_3 in *C* gemessen wird, läßt sich mit Hilfe von $h_2 = a_2 - a_1 + a_3$ der Punkt *d* durch die Distanz $h_2 \cdot m$ finden. Im Punkte *C*, beziehungsweise *d* angelangt, kann man a_4 schätzen und dadurch die Horizontal-distanz $h_2 \cdot m + (a_4 - a_3) \cdot m$ von *C* auftragen, um den Böschungsfuß *D* zu erhalten und durch einen Pflock zu bezeichnen.

Zur Kontrolle wäre die Gleichung:

$$h + a + a_2 + a_4 = [(l - b) + l + x] \frac{1}{m}, \dots \dots \dots 3)$$

heranzuziehen, welche unmittelbar aus der Figur abgelesen werden kann.

Ähnlich geht man auf der linken Seite des Profils vor. Für den Horizontal-abstand $eA = b + h \cdot m$ vom Achsenpunkte wird für den Punkt *e* die Höhe a_5 bestimmt; da $a_5 < h$ ist, so befindet sich der Punkt *e* unterhalb des Terrains, der Punkt *E* hat bereits den Böschungsfuß überschritten. Aus der Größe von a_5 kann man im gegebenen Falle urteilen, um welchen Betrag man gegen den Achsenpflock zurückzugehen hat. Für den Böschungsfuß *F* besteht die aus der Figur ablesbare Relation:

$$a_6 + h - (h_3 + h_4) = [(l - b) + y] \frac{1}{m} \dots \dots \dots 4)$$

Punkte der Kronenkanten *M* und *N* werden in Bezug auf ihre Höhe über den Punkt *P* und *Q*, welche im Abstände *b* vom Achsenpflocke liegen, bestimmt; hat man die Höhe *p* und *q* gemessen, so ist

$$PM = h + p; \quad QN = h - h_3 + q, \dots \dots \dots 5)$$

wodurch die Punkte *M* und *N* bestimmt erscheinen.

Die Absteckung von Kunstprofilen im Einschnitte oder zum Teile im Damme und im Abtrage bietet nach dem Vorgehenden keine Schwierigkeit.

Hat man auf Grund der besprochenen Verfahren die Böschungsfußpunkte oder Punkte in der Nähe des Fußes der Böschung, ferner Punkte, welche den Kronenkanten entsprechen, gefunden und bezeichnet, so werden gewöhnlich unmittelbar mit der Ausführung der Absteckung des Kunstprofils auch die Lattenprofile geschlagen.

Angenommen, wir hätten ein Lattenprofil im Auftrage (Fig. 92) zu machen. Zuerst wird neben dem Achsenpunkte *A* eine Latte vertikal eingeschlagen,

Lattenprofil im Damme.

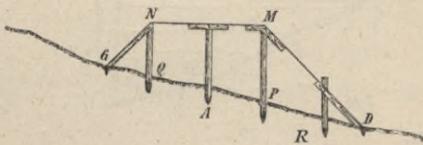


Fig. 92.

auf ihr die Länge *h* abgemessen und ein Querstück, etwa 60 cm breit, rechtwinklig zur vertikalen Latte befestigt; dadurch erhält man in der oberen horizontalen Kante der Querlatte die Planumshöhe, die Nivellette. In den Punkten *P* und *Q* können Lattenstücke

von den Längen $h + p$, respektive $h - q$ vertikal eingetrieben werden, wobei $+p$ und $-q$ die Gefälle der Punkte *P* und *Q* gegen *A* bedeuten; sie geben

die Punkte der Kronenkante und die Stellen, in welchen die Böschung beginnt; manchmal werden in den Endstellen M und N Lattenstücke befestigt, welche die Richtung der Nivellette und der Böschung angeben, und nicht selten, besonders wenn die Böschung nicht lang ist, wird die Böschungslatte bis zum Böschungsfuße fortgesetzt; notwendig ist es nicht, es genügt, die Böschung durch Lattenstücke anzudeuten.

Hat man den Böschungsfuß D ermittelt, so wird in dessen Nähe in der Ebene des Querprofils bei R ein Pfahl eingetrieben und eine Latte unter der Neigung der Böschung in den Böschungsfuß D eingesteckt und an der vertikalen Hilfslatte in R befestigt.

Die Neigung der Böschungslatte kann mit Hilfe eines entsprechend dimensionierten Dreieckes in Verbindung mit einer Setzwage oder Libelle bestimmt werden.

Auf der Bergseite wird analog verfahren und die Böschungslatte so gelegt, wie es in der Fig. 92 angegeben ist.

In Fig. 93 ist ein Lattenprofil für einen Übergangskörper skizziert, wobei nach dem 2. Verfahren die Böschungspunkte nicht direkt abgesteckt wurden, sondern Punkte U und O der Böschung in den Abständen x und y vom Terrain. Die Lattenprofile können so geschlagen werden, wie dies die Fig. 93 angibt.

Ein Lattenprofil für einen Einschnitt zeigt Fig. 94.

Lattenprofil im Übergange.

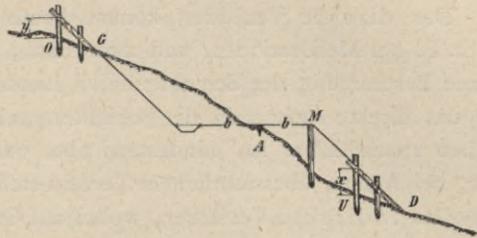


Fig. 93.

Lattenprofil im Einschnitte.

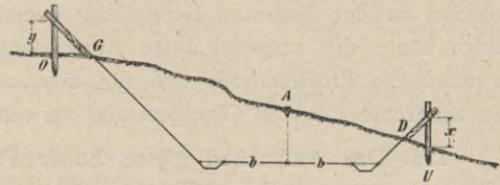


Fig. 94.

Aufnahme und Konstruktion von Horizontalkurven, Isohypsen.

124. Die Horizontalkurven verbinden Terrainpunkte gleicher Höhe; werden ihre Ebenen in gleichen Vertikalabständen geführt, so haben wir äquidistante Horizontallinien, Niveaukurven, Schichtenlinien oder Isohypsen, welche für die Darstellung des Terrains für technische Studien von größter Bedeutung sind.

Die Äquidistanz der Schichtenebenen, die Schichtenhöhe, hängt in erster Linie vom Zwecke der Aufnahme und dem Maßstabe der graphischen Darstellung der Terrainpartie ab, sie beträgt 1 bis 5 m , steigt bis 10 und 20 m und mehr bei Militärkarten und sinkt bei Meliorationsplänen unter 1 m bis auf 0,25 m herab.

Die Bestimmung der Schichtenlinien kann erfolgen:

1. direkt durch das Aufsuchen gleich hoher Punkte im Terrain oder
2. indirekt durch Einschalten, gestützt

a) auf die Profilmethode und

b) auf die Methode der zerstreuten Punkte.

Das direkte Verfahren kommt heute in der Praxis nur selten mehr vor, z. B. bei Meliorationen, und zwar dann, wenn es sich um eine besonders genaue Bestimmung der Schichtenlinien handelt, vornehmlich aus dem Grunde, weil das direkte Aufsuchen der Schichtenpunkte bei ungünstigem Terrain sehr, oft fast unausführbar ist, mindestens aber mühsam, zeitraubend und kostspielig wäre; bei freiem, übersichtlichem Terrain steht der Ausführung nichts im Wege.

Das indirekte Verfahren, wobei auf Grund der Aufnahme einer größeren Anzahl von Höhenpunkten, die in Profilen angeordnet oder aber über das Terrain seiner Konfiguration entsprechend zerstreut sind und in einer Situationsaufnahme vorliegen, einzelne Punkte der Horizontalkurven durch Einschaltung oder Interpolation in der kotierten Darstellung zumeist konstruktiv bestimmt werden, findet heute die ausgedehnteste Anwendung. Bei Trassenstudien wird vornehmlich die Profilmethode und für diverse technische Studien die Methode der zerstreuten Punkten (Tachymetrie) verwendet.

125. Das Aufsuchen gleich hoher Punkte. Auf einer Bergfläche oder einer sonstigen Terrainpartie sollen für eine bestimmte Schichtenhöhe h die Isohypsen direkt bestimmt und aufgenommen werden.

Die ganze Arbeit ist auf die Aufgabe in Nr. 104 zurückgeführt, sobald man in jeder Schichtenlinie einen oder mehrere Punkte bestimmt hat; das Aufsuchen dieser Punkte erfolgt nach Nr. 105, womit die Aufgabe gelöst erscheint.

Bei praktischer Ausführung wird man vorerst die Gegend rekognoszieren, um die Richtungen der Hauptabdachungen A, B, C, \dots (Fig. 95) der Terrainpartie kennen zu lernen, nach deren Erstreckung hin die Punkte der Schichtenlinien angegeben werden.

Hienach kann mit der Arbeit am höchsten Punkte O , bei einem Berge auf dem Gipfel begonnen werden, indem man vorerst diesen absteckt.

Man stellt hiezu das Instrument in dem höchsten Punkte O auf, läßt den Gehilfen sich in einem Punkte a_1 des Saumes mit der Latte aufstellen und die Zielscheibe in die Visur richten, oder man macht die Lattenlesung L bei einer

Latte zum Selbstablesen; hierauf stellt sich der Gehilfe gegen die Abdachung B hin auf und wird hier so lange weiter beordert, bis er einen Punkt b_1 gefunden hat,

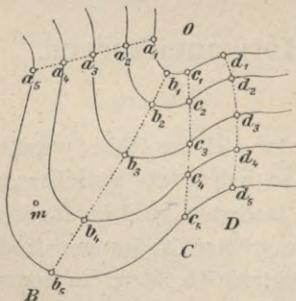


Fig. 95.

in welchem die Zielscheibe genau in der Visur erscheint oder die Lesung Z erhalten wird; ebenso wird c_1 bestimmt u. s. w.; demnach gehören alle diese Punkte einer Schichtenlinie an. Ist nun die Schichtenhöhe h und das Gefälle von O bis a_1 die Größe m , so handelt es sich darum, in der Richtung OA die Punkte a_2, a_3, a_4 u. s. w. zu bestimmen, welche um $m + h, m + 2h, m + 3h$ u. s. w. tiefer liegen als O . Zu diesem Ende nivelliert man in der Richtung OA und mittelt dabei nach Band II, Nr. 105, die Punkte a_2, a_3 u. s. w. aus; auf gleiche Weise werden an den anderen Abhängen B, C für die aufeinanderfolgenden Schichten die Punkte $b_2, b_3, \dots, c_2, c_3, \dots$ erhalten. Ging schon eine Aufnahme des Berges voraus, so führt man das Nivellement durch Punkte, welche in dem Plane festgelegt sind; man läßt in der Richtung von O gegen solche bekannte Punkte hin Signale setzen.

Es gehören demnach alle mit einem gleichen Index versehenen Pflöcke zu ein und derselben Schichtenlinie; man bezeichnet diese Pflöcke, welche eben mit dem Boden eingeschlagen werden, an ihrer oberen Fläche und markiert zur leichteren Auffindung derselben den Boden oder einen nebenstehenden Baum oder setzt neben dem eingetriebenen Terrainpflock einen Schreibpflock, mit entsprechendem Zeichen versehen, ein.

Die so erhaltenen Pflöcke dienen als Fixpunkte für die weitere Arbeit und es werden nun nach Band II, Nr. 104, von jedem derselben weitere Punkte jener Schichtenlinie bestimmt, der er angehört. Aus diesem Grunde ist es aber auch notwendig, die Fixpunkte früher zu prüfen. Man bestimmt nämlich die Höhe eines Punktes, der von zwei Fixpunkten derselben Schichtenlinie gesehen wird, z. B. die Höhe von m über a_5 und b_5 ; erhält man übereinstimmende Resultate, so ist das Nivellement von O bis a_5 und bis b_5 wahr scheinlich richtig, im entgegengesetzten Falle müßte der Fehler aufgesucht werden.

Was endlich die Situationsaufnahme der Punkte der Schichtenlinie betrifft, so kann man diese bei übersehbarem Terrain am zweckmäßigsten mit dem Meßtische bewerkstelligen, wobei es sehr vorteilhaft ist, wenn man eine größere Partie von einer gegenüberliegenden Bergwand übersehen kann und sich mit dem Tische daselbst aufstellt. Bei bewachsenem Terrain legt man Polygonzüge an, auf welche die Punkte der Schichtenlinien mittels Koordinaten oder auf andere Weise bezogen werden. Zu dieser Arbeit gehört ein Nivellierinstrument mit Horizontalkreis und Distanzmesser.

126. Interpolation von Horizontalkurven. Wenn es sich darum handelt, das Terrain nach einer bestimmten Richtung und in einer bekannten Breitenausdehnung kennen zu lernen, so wird ein Flächennivellement in der erforderlichen Erstreckung vorgenommen, wobei dasselbe entweder durch Profile, mittels eines Netzes oder nach dem Verfahren der zerstreuten Punkte zur Aufnahme gelangt.

Die Horizontal- oder Situationsaufnahme des betreffenden Terrainteiles sowie die Resultate des Flächennivellements liegen in Manualen vor und es können die auf eine Vergleichungsebene bezogenen Höhen, auch absolute oder

Meereshöhen in den Plan eingetragen werden, wodurch ein kotierter Plan erhalten wird. Nun hat man den Verlauf der Isohypsen für eine bestimmte Schichtenhöhe h zu bestimmen, was dadurch geschieht, daß einzelne Punkte der Schichtenlinien zwischen gegebene Höhenpunkte eingeschaltet werden, wodurch zufolge der Konstruktion auch die richtige Situation derselben erhalten wird.

Bei der Aufnahme mit dem Tachygraphometer (siehe Tachymetrie) kann die Zeichnung der Schichtenlinien dadurch erleichtert werden, daß durch Schätzung auf dem Felde der ungefähre Verlauf der Isohypsen eingezeichnet wird; geübte Topographen pflegen bei Meßsichaufnahmen zwischen gegebene Höhenpunkte nach dem Augenmaße die Schichtenlinien mit großem Geschicke zu interpolieren, wobei sie den Terraincharakter ganz vorzüglich zum Ausdrucke bringen.

Die Einschaltung der Schichtenpunkte kann erfolgen:

- a) durch Rechnung,
- b) durch Konstruktion auf graphischem Wege oder
- c) durch Benützung mechanischer Hilfsmittel.

Wie wir sehen werden, darf die Einschaltung der Isohypsenpunkte zwischen gegebene Höhenpunkte nicht regellos geschehen und auch die Verbindung der zusammengehörigen Punkte einer und derselben Schichtenlinie nicht planlos vorgenommen werden.

Zur Interpolation sollen Höhenpunkte verwendet werden, die in der Richtung der Falllinien sich befinden. Was die Verbindung der Isohypsenpunkte betrifft, so ist für den richtigen, dem Terrain entsprechenden Schichtenverlauf, die Schichtenführung, unbedingt notwendig, in einer Situationsskizze auf dem Felde nach dem Augenmaße Leitkurven einzuzichnen, welche einen unentbehrlichen Behelf für die Schichtenkonstruktion bilden.

Bei Konstruktion von Horizontalkurven muß stets eine Situationsskizze mit Leitkurven vorliegen.

127. Einschaltung von Isohypsen durch Rechnung. Hierbei hat man die Aufgabe zu lösen, zwischen zwei kотиerte Punkte A und B von einem bekannten Abstände d und gegebenen Koten H_1 und H_2 einen Punkt P von der Kote H zu bestimmen.

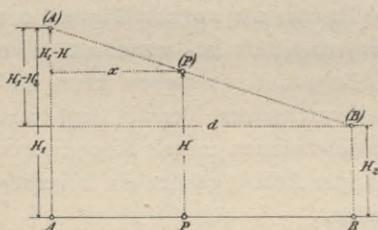


Fig. 96.

Unter der Annahme einer gleichmäßigen Neigung des Terrains zwischen den Punkten A und B wird aus der Umlegung in Fig. 96 unmittelbar die Proportion erhalten:

$$x : d = (H_1 - H) : (H_1 - H_2),$$

woraus

$$x = \frac{H_1 - H}{H_1 - H_2} d$$

sich ergibt.

Die Bestimmung wird stets an höher gelegenen Punkten begonnen und nach tiefer gelegenen Punkten fortgesetzt, und zwar so, daß die einzelnen Punkte möglichst in der Richtung des stärksten Falles, in Fallinien, sich befinden.

Hat man eine größere Anzahl von Kurvendurchgängen zu rechnen, so bedient man sich zur Ausrechnung des Rechenschiebers oder verschiedener graphischer Hilfsmittel; die Messung von d geschieht durch Anlegen des Prismenmaßstabes an die kotierte Gerade AB und Ablesen der Länge. Das Auftragen der Länge x wird gleichfalls mit dem Prismenmaßstabe ausgeführt, wobei die gefundenen Punkte fein pikiert werden.

128. Einschaltung der Isohypsen durch Konstruktion (Profile). Denken wir uns, wir hätten für den in Fig. 97 zum Teile dargestellten kotierten Plan die Schichtenlinien mit der Schichtenhöhe $h=2\text{ m}$ zu konstruieren.

Da der höchste Punkt des ganzen Planes die Höhe $H_1=563.1$ und der tiefste Punkt die Höhe $H_2=544.8$ besitzt, so beträgt die Höhendifferenz $H_1 - H_2 = 18.3\text{ m}$; da die Schichtenhöhe $h=2\text{ m}$ ist, so sind im ganzen $\frac{H_1 - H_2}{h} = \frac{18.3}{2} = 9$ Schichtenlinien zu bestimmen.

Für die Konstruktion verwendet man ein Netz von parallelen Linien; um das Zeichnen und Konstruieren derselben zu ersparen, nimmt man Millimeterpapier und setzt den Abstand von 5 oder 10 mm einer bestimmten Höhe gleich, welche durch die Schichtenhöhe bedingt ist und so gewählt wird, daß Dezimalen der Höhen noch mit Sicherheit geschätzt werden können.

Handelt es sich darum, im Profile AB , das in der Richtung des größten Falles gewählt wurde, durch Konstruktion die Einschaltung der gesuchten Kurvenpunkte vorzunehmen, so wird man, bei A beginnend, im Liniennetze den höchsten Punkt des Profiles 562.4 beliebig wählen, von da die

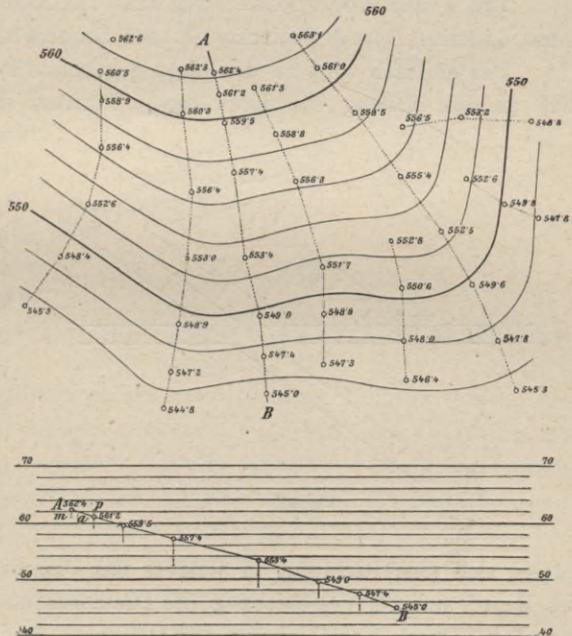


Fig. 97.

kotierte Strecke 562.4 bis 561.2 aus der Situation in den Zirkel nehmen und von 562.4 im Liniennetze auf der gedachten horizontalen Netzlinie abstechen, eine Senk-

rechte ziehen und den Punkt mit der Kote 561·2 in derselben aufsuchen; die beiden Punkte 562·4 und 561·2, im Liniennetze geradlinig verbunden, geben die Profillinie zwischen den beiden Punkten. Der Punkt *a*, in welchem die Horizontale 562 die Profillinie schneidet, gibt mit dem Punkte *m* verbunden jene Strecke, welche in der Situation vom Punkte 562·4 aufgetragen werden muß, um den gesuchten Isohypsenpunkt 562 zu erhalten.

Da die Strecke *ma* klein ist und aus dem Liniennetze nicht mit hinreichender Schärfe abgegriffen werden kann, so wird man so verfahren, daß man die Strecke *pa* zwischen die Zirkelspitzen faßt und von der Kote 561·2 aus aufträgt, wodurch derselbe Punkt 562 erhalten werden muß.

In analoger Weise werden die kotierten Strecken 561·2 bis 559·5, 559·5 bis 557·4, 557·4 bis 553·4 u. s. w. aus der Situation in das Liniennetz übertragen, die Profillinien bestimmt, die Schnittpunkte der Horizontalen 560, 558, 556 u. s. w. aufgesucht und die entsprechenden Strecken vom Liniennetze in die Situation übertragen.

Interpolation von Isohypsenpunkten durch mechanische Hilfsmittel.

In dieser Richtung ist eine große Zahl von mehr oder weniger praktischen Behelfen: Proportionalmaßstäbe, Interpolationstafeln u. s. w. angegeben worden.

129. *a*) Die Proportionalteilung kann mit Hilfe eines Maßstabes *M* (Fig. 98), eines Lineales *L* und Dreieckes *D* sehr bequem ausgeführt werden.

Der Maßstab wird an den einen gegebenen Punkt, z. B. 451·3, so angelegt, daß an der Teilung die Kote dieses Punktes sich befindet; dies ist direkt möglich, wenn der Maßstab eine den Terrainkoten entsprechende Bezifferung trägt, sonst wird es notwendig, das Anlegen des Maßstabes so zu treffen, wie es in Fig. 98 angegeben ist, wobei der Punkt 451·3 bei dem Teilungspunkte 11·3 des Maßstabes steht. Bei 22·5 des Maßstabes denkt man sich daher die Kote 462·5; wird 22·5 mit dem gegebenen Punkte 462·5 verbunden gedacht, so

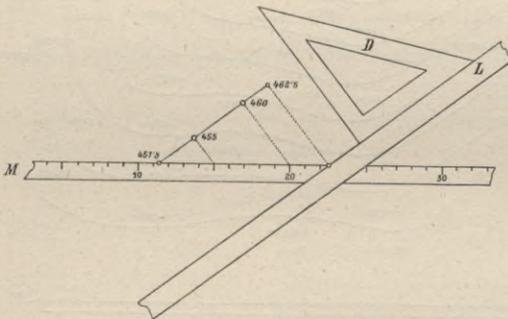


Fig. 98.

ergibt sich jene Richtung, in welcher das Dreieck mit seiner Kathete zu legen ist. Behufs sicherer Verschiebung des Dreieckes wird ein Lineal *L* entsprechend angelegt. Durch Verschiebung des Dreieckes längs des Lineales auf 20 (460) und 15 (455) lassen sich Schnittpunkte auf der gegebenen kotierten Geraden finden, denen die Koten 460 und 455 zugehören und die den Isohypsen 460 und 455 angehören. Diese Punkte werden gewöhnlich mit einer Nadel pikiert oder als Bleistiftschnittpunkte erhalten.

Durch Verdrehung des Maßstabes M wird es immer möglich, die Kathete des Dreiecks D so zu legen, daß sich sichere und gute Schnitte mit der kotierten Geraden ergeben.

130. b) Der Proportionalmaßstab hat die Form eines Strahlendiagrammes, welches auf Metall, Zelluloid oder Pauspapier, beziehungsweise Pausleinwand, mit Sorgfalt ausgeführt ist, wobei in den zwei letzten Fällen das Abgreifen der Distanzen mit dem Zirkel entfällt, weil das Diagramm über die betreffende Stelle des Planes gebracht und über die Endpunkte der kotierten Geraden, wie es notwendig ist, richtiggestellt werden kann.

Die Ausführung kann im beliebigen Maßstabe erfolgen, die Beschreibung wird nach Einheiten vorgenommen, so daß die Schichtenhöhen beliebige Beträge haben können (Fig. 99).

Hätte man für den obigen Fall der kotierten Geraden 451·3 bis 462·5 oder reduziert, indem 450 abgezogen werden, 1·3 bis 12·5 die Isohypsenpunkte 460 und 455 zu suchen, so nimmt man die begrenzte Strecke 451·3 bis 462·5 aus der Situation in den Zirkel, sucht 1·3 auf und gleitet über der Teilungslinie 1·3 so lange, bis die zweite Zirkelspitze auf der Teilungslinie 12·5 sich befindet; werden die Punkte 1·3 und 12·5 verbunden, so erhält man im Schnitte mit den Teilungslinien 5 und 10 die gesuchten Punkte und kann die Abstände von 1·3 bis zu diesen Stellen, also 1·3 bis 5 und 1·3 bis 10, mit dem Zirkel abgreifen und im Plane von 451·3 aus übertragen, wodurch die Durchgangspunkte der Isohypsen 5 und 10 erhalten werden.

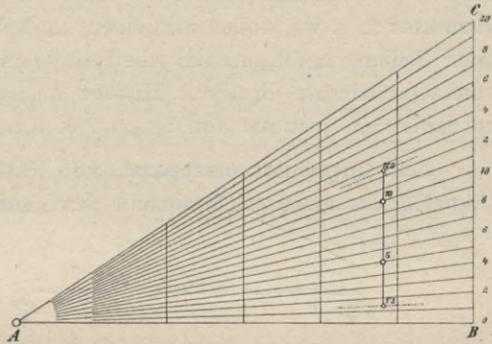


Fig. 99.

Steht ein Proportionalmaßstab auf durchscheinendem Stoffe zur Verfügung, so ist die Bestimmung eine besonders einfache; man legt das Diagramm so auf den Plan, daß BC zur kotierten Geraden parallel wird, bringt durch passende Verschiebung die Endpunkte auf die Teilungslinien 1·3 und 12·5 und pikiert dann die Schnittpunkte der Teilungslinien 5 und 10 mit der graduierten Geraden vom Proportionalmaßstabe; um Beschädigungen zu verhindern, kann man auch die erforderlichen Strecken vom Maßstabe abgreifen und übertragen.

Man sieht ein, daß diese Bestimmungsweise an Einfachheit und Raschheit der Ausführung wohl nichts zu wünschen übrig läßt.

131. c) Interpolationstafel. Diese stellt ein Liniennetz dar (Fig. 100), in welchem die Linien

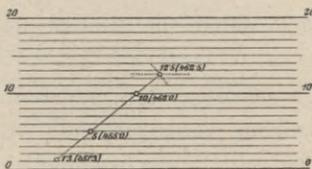


Fig. 100.

in gleichem, aber sonst beliebigem Abstände geführt sind und das übersichtlich angelegt und beschrieben ist; dasselbe wird auf durchscheinendem Stoffe, Pauspapier, Pausleinwand, durch Zeichnung oder Druck hergestellt.

Die Anwendung ist eine einfache, sie stützt sich auf das in Nr. 128 beschriebene Verfahren der Konstruktion von Profilen.

Man legt das Liniennetz derart auf den Plan, daß der kотиerte Endpunkt, z. B. im vorliegenden Falle 451·3, auf die interpoliert gedachte Netzlinie 1·3 zu liegen kommt; durch Drehung des Netzes um diesen Punkt, bis der zweite kотиerte Endpunkt der Geraden 462·5 auf 12·5 gelangt, bringt man das Liniennetz in die richtige Lage und kann die Stellen 5 und 10, welche den Isohypsen-durchgängen 455 und 460 entsprechen, pikieren oder aber auf eine andere Weise übertragen.

Unter den vielen mechanischen Hilfsmitteln: Interpolationsschere von Jordan, Teilungsmaßstab von Friedmann, eine Verbesserung der Jordanschen Schere, der Mestrostroph von Denner & Pape, der Proportionalmaßstab von Hammer u. s. w., wollen wir einen kleinen Apparat besprechen, der mit Hilfe einer Teilung auf Kautschuk die Interpolation sehr bequem bewirkt; er wurde vom Oberbaurate Professor Halter angegeben und wird im mathematisch-mechanischen Institute von Starke & Kammerer in Wien angefertigt.

132. Interpolationsapparat von Halter. Das zylindrische Rohr RR' (Fig. 101) ist an einem Ende mit dem Arme ab fest verbunden, während ein

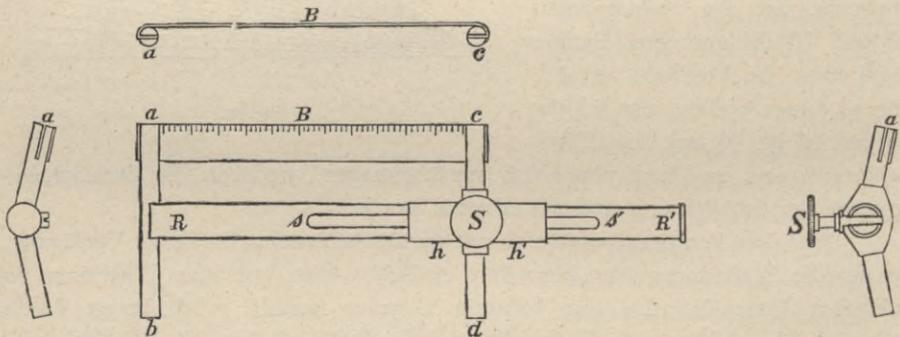


Fig. 101.

zweiter Arm cd mit einer auf RR' leicht gleitenden Hülse hh' verbunden ist und durch die Druckschraube S in jeder beliebigen durch die Enden des Schlitzes ss' begrenzten Lage fixiert werden kann.

So ist es möglich, daß das zwischen a und c gehaltene und gespannte Gummiband B innerhalb der gegebenen Grenzen beliebig verlängert und verkürzt werden kann, wodurch sich die Intervalle der am Rande befindlichen Einteilung entsprechend vergrößern und verkleinern.

Die Teilung ist auf dem gespannten Kautschukstreifen angebracht worden, um hiedurch Fehler infolge ungleichmäßiger Ausdehnung der Kautschukmasse zu reduzieren.

Außerdem sind jedem Apparate mehrere Streifen beigegeben, um ein Auswechseln nach längerer Gebrauchsdauer zu ermöglichen.

Die Interpolation selbst sei hier an einem Beispiele erläutert. Auf einem Plane im beliebigen Maßstabe seien die Terrainpunkte A und B mit den Höhenkoten 145·0 und 149·5 in einer Linie kontinuierlichen Gefälles gegeben und es sind die Schichtenlinien von Meter zu Meter, also hier die Schichtenpunkte 146, 147, 148 und 149 in AB zu finden.

Zwischen A und B sind (149·5 bis 145·0) 4·5 Teile gelegen.

Spannt man nun den Kautschukstreifen derart, daß zwischen A und B $4\frac{1}{2}$ Teile zu liegen kommen und daß auf A selbst ein Teilstrich fällt, so ist die Aufgabe gelöst und es können dann sofort die Teilstriche für die Resultatspunkte 146 und 149 auf das Zeichenblatt übertragen werden.

Ganz ähnlich ist die Handhabung, wenn die Koten A und B auf beliebige Dezimalen endigen.

133. Führung der Schichtenlinien. Hat man durch Konstruktion oder Interpolation eine große Anzahl von Kurvenpunkten erhalten, wobei nach dem Grundsätze vorgegangen wird, daß nur zwischen kotierten Punkten in der Richtung des stärksten Falles eine Einschaltung vorgenommen werden darf, so kann an die Verbindung der korrespondierenden Schichtenpunkte geschritten werden.

Ohne eine Situations-skizze mit eingezeichneten Leitkurven ist ein sicheres Verbinden der zusammengehörigen Punkte unmöglich, abgesehen von dem seltenen Falle, daß die aufgenommene Terrainpartie ein gleichmäßiges Ansteigen in bestimmter, leicht erkennbarer Richtung besitzt; denn es kann der leitende Ingenieur trotz des besten Gedächtnisses für Terraineindrücke das Bild kaum sicher genug behalten. Ein Fremder kann überhaupt ohne Leitkurven weder die Konstruktion, respektive Interpolation noch das Führen von Schichtenlinien vornehmen.

Nur gestützt auf vorhandene, à la vue eingezeichnete Leitkurven des bezüglichen Terrainteiles kann ein guter, der Natur entsprechender Schichtenplan hergestellt werden.

§ 9. Das trigonometrische Nivellieren.

134. Beim geometrischen Nivellieren werden die Lattenhöhen unmittelbar an der Latte abgelesen und zur Bestimmung des Gefälles verwertet. Die größten Höhenunterschiede, die von einem Standpunkte aus ermittelt werden können, sind bei dreimetrischen Latten, da J im Mittel 1·300 m angenommen werden kann:

beim Nivellieren aus den Enden $L—J$ etwa $3—1·3 = 1·7 m$
 und „ „ „ der Mitte $L—l$ „ $3—0$ zwischen 2 und 3 m .

Man kann aber auch die Lattenhöhen trigonometrisch bestimmen und ist dann in der Lage, bedeutende Höhenunterschiede, beziehungsweise Gefälle zu bewältigen; in diesem Falle wird dann die der horizontalen Visur entsprechende Lattenhöhe nicht direkt, sondern durch Rechnung auf trigonometrischem Wege bestimmt.

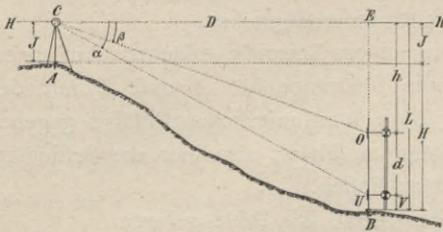


Fig. 102.

Man stellt in B (Fig. 102) eine Latte vertikal auf, auf welcher zwei Zielscheiben O und U in bestimmter Entfernung d befestigt sind; die untere U hat vom Lattenfuße den Abstand V, d. i. die Zielhöhe der unteren Zielscheibe; in A wird ein

Instrument, welches zum Messen von Vertikalwinkeln eingerichtet ist, aufgestellt.

Nun mißt man in bekannter Weise (I. Band, § 47) die Winkel α und β , welche die beiden Visuren nach den Zielpunkten O und U mit dem Horizonte bilden; aus den bekannten Größen:

$$\begin{aligned} OU = d & \quad \sphericalangle ECU = \alpha \\ BU = V & \quad \sphericalangle ECO = \beta \\ AC = J & \end{aligned}$$

und mit Zuhilfenahme der Rechnungsgröße $OE = h$ erhalten wir vorerst:

$$\begin{aligned} \text{aus dem Dreiecke } ECO \dots & \quad h = D \cdot \operatorname{tg} \beta \\ \text{'' '' '' } ECU \dots & \quad h + d = D \cdot \operatorname{tg} \alpha \end{aligned} \quad \dots \dots \dots 1)$$

woraus folgt:

$$\left. \begin{aligned} d &= D(\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta) = D \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\cos \alpha \cos \beta} \\ D &= \frac{\cos \alpha \cos \beta}{\sin(\alpha - \beta)} d \\ h + d &= D \cdot \operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \alpha \cos \beta}{\sin(\alpha - \beta)} d \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 2)$$

Die gesuchte Lattengröße $BE = L = (h + d) + V$

wird nach Einführung der Werte aus Gleichung 2) die Form annehmen:

$$L = \frac{\sin \alpha \cdot \cos \beta}{\sin(\alpha - \beta)} d + V \dots \dots \dots 3)$$

Das Gefälle der beiden Punkte A und B lautet nach der Grundformel für das Nivellieren aus den Enden:

$$G_{A,B} = L - J = \frac{\sin \alpha \cdot \cos \beta}{\sin(\alpha - \beta)} d + (V - J) \dots \dots \dots I)$$

Beim Nivellieren aus der Mitte erhält man für die Lattenhöhen, und zwar:

$$\left. \begin{aligned} \text{Lattenhöhe vorwärts} \dots\dots\dots L &= \frac{\sin \alpha_1 \cdot \cos \beta_1}{\sin (\alpha_1 - \beta_1)} d_1 + V_1 \\ \text{„ rückwärts} \dots\dots\dots l &= \frac{\sin \alpha_2 \cdot \cos \beta_2}{\sin (\alpha_2 - \beta_2)} d_2 + V_2 \end{aligned} \right\}$$

wobei d und V in vollster Allgemeinheit verschieden groß angenommen sind, so daß für das Gefälle der beiden Punkte A und B erhalten wird:

$$G_{A,B} = L - l = \left[\frac{\sin \alpha_1 \cdot \cos \beta_1}{\sin (\alpha_1 - \beta_1)} d_1 + V_1 \right] - \left[\frac{\sin \alpha_2 \cdot \cos \beta_2}{\sin (\alpha_2 - \beta_2)} d_2 + V_2 \right] \dots\dots\dots \text{II}$$

Wir sehen, daß man beim trigonometrischen Nivellieren dieselben beiden Methoden:

„das Nivellieren aus den Enden“ und „das Nivellieren aus der Mitte“ benutzen kann, um das Gefälle zweier Punkte zu finden, wie beim behandelten geometrischen Nivellieren.

Das trigonometrische Nivellieren hat vor dem geometrischen den Vorzug, daß man bei coupiertem, stark hügeligem Terrain in der Wahl der Lattenstandpunkte weniger beschränkt ist, indem man von der Lattenlänge nicht abhängig ist, da die Latte von der horizontalen Visur nicht getroffen werden muß. Sollen jedoch die erhaltenen Resultate jenen nach der geometrischen Methode an Genauigkeit nicht weit nachstehen, so müssen die Winkel α und β selbst bei mäßigen Distanzen bis auf wenige Sekunden genau bestimmt werden, wie aus der folgenden Erörterung hervorgeht.

Wir haben nach Gleichung 1)

$$h + d = D \cdot \text{tg } \alpha \text{ oder } h = D \cdot \text{tg } \alpha - d, \dots\dots\dots 4)$$

und denken wir uns D und d als fehlerfrei, so bedingt ein Fehler im Winkel α eine Änderung in der Höhe

$$\Delta h = D \frac{\Delta \alpha}{\cos^2 \alpha} \dots\dots\dots \text{III}$$

und wenn α so klein ist, daß $\cos \alpha = 1$ gesetzt werden kann, so folgt:

$$\Delta h = D \cdot \widehat{\Delta \alpha} \dots\dots\dots \text{IV}$$

Um über die geforderte Schärfe des Winkels α eine Vorstellung zu erhalten, rechnet man:

$$\widehat{\Delta \alpha} = \frac{\Delta h}{D} \text{ oder } \Delta \alpha'' = 206.265'' \frac{\Delta h}{D} \dots\dots\dots \text{V}$$

Soll nun wie bei Nivellierinstrumenten mittlerer Größe

$$\frac{\Delta h}{D} = \frac{1}{100.000} \text{ werden,}$$

so folgt:

$$\Delta \alpha'' = \frac{206.265''}{100.000} = 2''.$$

Mit der Zunahme von α wächst bei demselben $\Delta \alpha$ wegen des Nenners $\cos^2 \alpha$ in Gleichung III) der Fehler Δh ; es muß dann $\Delta \alpha$ noch unter der obigen Grenze liegen, wenn dieselbe Genauigkeit in der Bestimmung von h erreicht werden soll.

Wird auch D als fehlerhaft angenommen, wie es notwendig wäre, so stellen sich die Verhältnisse nur wenig ungünstiger, da der Fehler in D von geringem Einflusse auf den Fehler in h ist.

Das trigonometrische Nivellieren ist sonach für die praktische Ausführung nur dann geeignet, wenn man ein Instrument zur Verfügung hat, das die Vertikalwinkel mit der erforderlichen Schärfe gibt.

Für die Praxis des Ingenieurs hat das trigonometrische Nivellieren von dem Zeitpunkte an eine größere Bedeutung erhalten, wo man einfache Instrumente konstruiert hat, welche eine bequeme Bestimmung der Vertikalwinkel α und β und außerdem statt der trigonometrischen Rechnung der Lattenhöhe einfache arithmetische Operationen (Multiplikation und Division) zulassen, beziehungsweise auch die Verwendung von praktisch eingerichteten Tafeln gestatten.

Es sind vor allem zwei solche Hilfsmittel zur Messung von Vertikalwinkeln angegeben worden, und zwar:

1. die Stampfersche Meßschraube und
2. die Tangenten- oder Gefällschraube.

135. Messen von Vertikalwinkeln mit der Stampferschen Meßschraube.

Die Stampfersche Meßschraube bietet ein Mittel, Vertikalwinkel, insoweit diese innerhalb der Bewegung der Elevationsschraube liegen, mit großer Schärfe zu bestimmen.

Vorausgesetzt, daß die Schraubengänge der Elevationsschraube vollkommen gleich sind, so kann man annehmen, daß die Winkel den ihnen zukommenden Schraubengängen oder den Ablesungen am Schraubenkopfe proportional seien; dies gilt jedoch nur für kleine Winkel, da durch die Schraube eigentlich die Änderung in der Sehne von einer Visur zur andern gemessen wird (II. Band, Nr. 19); für größere Winkel wird man daher den Winkelwert als eine Funktion höheren Grades der Ablesung zu betrachten haben.

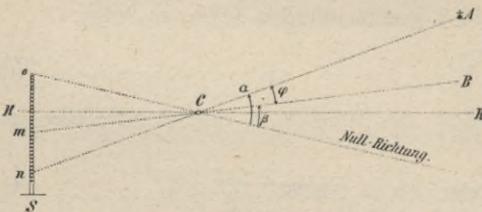


Fig. 103.

Bezeichnet man mit α den Winkel, welchen die der Nullablesung auf der Teilung entsprechende Visur mit der auf ein Objekt A (Fig. 103) eingestellten Visur des Horizontalfadens einschließt, bei welcher am Träger

die Lesung n gemacht wird, so kann man den Winkel α als eine Funktion von n darstellen, welche, nach Taylor entwickelt, gibt:

$$\alpha = f(n) = a n + b n^2 + c n^3 + \dots \dots \dots 5)$$

worin a, b, c, \dots für jedes Instrument zu bestimmende Konstanten sind.

Stellt man den Horizontalfaden auf ein zweites Objekt B , das mit A in derselben Vertikalebene liegt, und erhält man dabei die Ablesung m , so ist, wenn man mit β den Winkel zwischen der Nullrichtung und der jetzigen Visur bezeichnet:

$$\beta = f(m) = a m + b m^2 + c m^3 + \dots, \dots \dots \dots 6)$$

so daß man für den Winkel φ zwischen den beiden Objekten A und B die Relation hat:

$$\varphi = \alpha - \beta = f(n) - f(m) = a(n - m) + b(n^2 - m^2) + c(n^3 - m^3) + \dots \dots \dots 7)$$

Erfahrungsgemäß konvergiert die Reihe so stark, daß die Konstante c sehr klein ist; die Konstante b ist bei Instrumenten aus dem mathematisch-mechanischen Institute Starke & Kammerer in Wien stets negativ, so daß

$$\varphi = a(n - m) - b(n^2 - m^2) = (n - m)[a - b(n + m)]. \dots \dots \dots \text{VI)}$$

ist, welcher Ausdruck die Stampfersche Winkelgleichung darstellt.

136. Bestimmung der Konstanten. Um die Konstanten a und b zu bestimmen, mißt man mehrere bekannte Vertikalwinkel, macht die Lesungen auf den unteren und oberen Zielpunkt m und n , setzt sie in die Winkelgleichung VI) ein und erhält so mehrere Gleichungen mit zwei Unbekannten a und b , die dann auf Grund von überschüssigen Bestimmungsgleichungen nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt werden.

Praktisch führt man die Konstantenbestimmung wie folgt aus.

Auf horizontalem Boden mißt man mit Meßlaten den Abstand der beiden Punkte A und B und erhält so die Horizontalabstand D (Fig. 104); nun wird in A das Instrument so aufgestellt, daß der Drehungspunkt C des Fernrohres vertikal über A sich befindet. Auf der in B vertikal stehenden Latte wird eine Reihe von Zielpunkten $B_0, B_1, B_2, B_3, \dots$ in genau bekannten Entfernungen d_1, d_2, d_3, \dots von einem Punkte B_0 , der ungefähr im Horizonte des Instrumentes sich befindet, mit dem Horizontalfaden scharf anvisiert und die Lesungen am Schraubenkopfe $n_0, n_1, n_2, n_3, \dots$ gemacht.

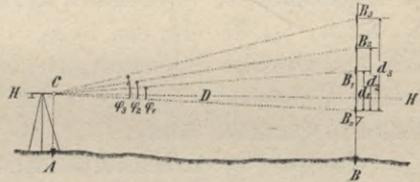


Fig. 104.

Die einzelnen Vertikalwinkel $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots$ sind nun aus d und D scharf bestimmbar und lassen sich auch durch die Stampfersche Winkelgleichung ausdrücken; man erhält:

$$\text{vorerst} \left\{ \begin{array}{l} \text{tg } \varphi_1 = \frac{d_1}{D} \\ \text{tg } \varphi_2 = \frac{d_2}{D} \\ \text{tg } \varphi_3 = \frac{d_3}{D} \\ \vdots \end{array} \right. \text{ und dann} \left\{ \begin{array}{l} \varphi_1 = a(n_1 - n_0) - b(n_1^2 - n_0^2) \\ \varphi_2 = a(n_2 - n_0) - b(n_2^2 - n_0^2) \\ \varphi_3 = a(n_3 - n_0) - b(n_3^2 - n_0^2) \\ \vdots \end{array} \right. \dots \dots \dots 8)$$

Nach der Methode der kleinsten Quadrate gelangt man zur Kenntnis der wahrscheinlichsten Werte von a und b .

Es ist zu bemerken, daß hiebei die Längenmessungen d und D sehr genau ausgeführt werden müssen, denn ein Fehler von $\Delta d = 0.001 \text{ m} = 1 \text{ mm}$ gibt bei $D = 60 \text{ m}$ im Winkel φ einen Fehler von $3''$. Vertikalwinkel, welche eine solche Unsicherheit aufweisen, können unmöglich gute Werte für die Konstanten liefern.

Theoretische Untersuchungen lehren, daß der mittlere Fehler der beiden Konstanten a und b der Winkelgleichung am kleinsten wird, wenn für die Bestimmung derselben solche Winkel gewählt werden, bei welchen die ganze Schraube zur Anwendung kommt. Innerhalb eines geschlossenen Raumes, wo in vielen Fällen solche Konstantenbestimmungen ausgeführt werden, stehen aber so große Winkel nicht zur Verfügung, man muß daher kleinere Vertikalwinkel bei verschiedenen Anfangsstellungen der Meßschraube messen; dadurch kommen sukzessive die verschiedensten Teile der Schraube zur Verwendung und die etwa vorhandenen Ungleichheiten der einzelnen Schraubengänge finden Berücksichtigung.

Hier kann man auch das Prinzip des Repetitionsverfahrens zur nützlichen Anwendung bringen; es wird die Elevationsschraube auf $0.000'$ gestellt und die Visierlinie mit der Fußschraube in die Richtung des einen Schenkels des zu messenden Vertikalwinkels gebracht, sodann mit der Meßschraube dieser Vertikalwinkel gemessen und der Stand des Schraubenkopfes abgelesen; wird dann mittels der Stellschraube die Visierlinie auf das ursprüngliche Objekt zurückgeführt, so kann derselbe Vertikalwinkel abermals gemessen werden; wird so fortgefahren, so ergeben sich an der Trommel des Schraubenkopfes Lesungen $S_1, S_2, \dots S_n$, die dem ein-, zwei-, \dots n -fachen Winkel φ entsprechen. Es lassen sich überschüssige Bestimmungsgleichungen aufstellen, die zur Berechnung der beiden Unbekannten a und b der Winkelgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate führen.

Professor Dr. A. Schell hat die beiden vorstehend angeführten Methoden in einer sehr lehrreichen Abhandlung: „Über die Bestimmung der Konstanten der Winkelgleichung des Stampferschen Nivellierinstrumentes“ in der Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur- und Architektenvereines 1872 behandelt.

137. Das Stampfersche Nivellierinstrument unterscheidet sich von den andern Nivellierinstrumenten (Fig. 11, 16, 38, \dots) dadurch, daß am Fernrohrträger unterhalb des Okulares eine Teilung angebracht ist und der Schraubenkopf der Elevationsschraube eine Trommel trägt, welche zur Ablesung der Bruchteile einer Umdrehung derselben mit Zuhilfenahme eines Index verwendet wird. Da die Elevationsschraube als Meßschraube benützt wird, so muß sie sehr genau und sorgfältig gearbeitet sein. In den Fig. 12, 34, 37 sind solche Instrumente zur Darstellung gebracht.

Das Vorhandensein der Stampferschen Meßschraube ändert an der Rektifikation des Instrumentes gar nichts, sie wird einfach als Elevationsschraube verwendet.

Von Interesse ist noch der Begriff der Marke; es ist dies jener Stand M der Elevationsschraube, bei welchem die Haupttangente an der Marke der Nivellierlibelle zur vertikalen Umdrehungsachse des Instrumentes senkrecht steht. Die Kenntnis der Marke war notwendig, als an den Nivellierinstrumenten noch keine selbständigen Alhidadenlibellen montiert waren und man die Nivellierlibelle zum Vertikalstellen der Umdrehungsachse des Instrumentes benützt hat (II. Band, Nr. 21).

Bei horizontal gestelltem Instrumente kommt die Marke M nahezu in die Mitte der Teilung an der Stirnseite des Fernrohrträgers zu stehen, wonach die eine Hälfte der Teilung für Höhen- und die andere für Tiefenwinkel erübrigt; jeder dieser Teilungen entspricht einem Vertikalwinkel von 4^0 . Bei stark geneigtem Terrain kann man die ganze Teilung für Höhen- oder Tiefenvisuren (etwa 8^0) auf nachstehende Weise in Anwendung bringen: Man gibt dem Instrumente auf dem Stative eine solche Stellung, daß eine Stellschraube in die Richtung gegen die anzuvisierende Latte zu stehen kommt, stellt den Index bei ansteigendem Terrain nahe an den Anfang, bei fallendem Terrain dagegen nahe an das Ende der Teilung und bringt durch die genannte Stellschraube die Nivellierlibelle zum Einspielen; dann steht nun die ganze Teilung für Höhen- oder Tiefenvisuren zu Gebote.

Formeln für die trigonometrische Bestimmung von D und H .

138. *a)* Strenge Ausdrücke für D und H . Im II. Bande, Nr. 134, sind für die trigonometrische Bestimmung von D und H strenge Formeln, nämlich:

$$\left. \begin{aligned} D &= \frac{\cos \alpha \cdot \cos \beta}{\sin(\alpha - \beta)} d \\ h + d &= \frac{\sin \alpha \cdot \cos \beta}{\sin(\alpha - \beta)} d \dots \quad H = h + d + (V - J) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{VII}$$

abgeleitet worden.

Die Vertikalwinkel α und β können nun bei Benützung eines Instrumentes mit Stampferscher Meßschraube auf Grund der Winkelgleichung VI):

$$\varphi = a(n - m) - b(n^2 - m^2) = (n - m)[a - b(n + m)]$$

mit großer Schärfe berechnet werden. Nennen wir die Lesungen am Schraubenkopfe, entsprechend der Fig. 102, h, o, u , so wird erhalten:

$$\left. \begin{aligned} \alpha'' &= a''(h - u) - b''(h^2 - u^2) = (h - u)[a'' - b''(h + u)] \\ \beta'' &= a''(h - o) - b''(h^2 - o^2) = (h - o)[a'' - b''(h + o)] \\ (\alpha - \beta)'' &= a''(o - u) - b''(o^2 - u^2) = (o - u)[a'' - b''(o + u)] \end{aligned} \right\} ; \dots \dots \dots 9)$$

h bedeutet hiebei die Trommellesung bei einspielender Fernrohrlibelle.

Sind $\alpha, \beta, (\alpha - \beta)$ nach diesen Gleichungen bestimmt, so ergeben sich D und h , respektive H aus Gleichungen VII) auf logarithmischem Wege.

139. *b)* Näherungsformeln für D und H . Die logarithmische Berechnung von D und H kann man dadurch umgehen, daß Näherungsausdrücke abgeleitet

werden, in welchen unmittelbar die Ablesungen h, o, u , erscheinen, so daß einfache Operationen: Multiplikation und Division zum Ziele führen, beziehungsweise die Anwendung von eigenen Tafeln sich praktisch erweist.

Führt man

$$\left. \begin{aligned} \sin \alpha &= \alpha - \frac{\alpha^3}{6}, & \cos \alpha &= 1 - \frac{\alpha^2}{2} \\ \sin(\alpha - \beta) &= (\alpha - \beta) - \frac{(\alpha - \beta)^3}{6}, & \cos \beta &= 1 - \frac{\beta^2}{2} \end{aligned} \right\}, \text{ worin } \left. \begin{aligned} \alpha &= (h - u)[a - b(h + u)] \\ \beta &= (h - o)[a - b(h + o)] \\ \alpha - \beta &= (o - u)[a - b(o + u)] \end{aligned} \right\} \cdot 10$$

im analytischen Maße auftreten, in die strengen Gleichungen VII) ein und transformiert sie entsprechend, so kommt man endlich auf die Ausdrücke:

$$\left. \begin{aligned} D &= \frac{\cos \alpha \cdot \cos \beta}{\sin(\alpha - \beta)} d = d \left[\frac{1}{a(o - u)} + \frac{b}{a} \frac{o + u}{o - u} - a \frac{(h - u)^2}{o - u} \right] = d[\text{I} + \text{II} + \text{III}] \\ h + d &= \frac{\sin \alpha \cdot \cos \beta}{\sin(\alpha - \beta)} d = d \left[\frac{h - u}{o - u} - \frac{b}{a} \frac{(h - u)^2}{o - u} - \frac{2}{3} a^2 \frac{(h - u)^3}{o - u} \right] \\ &= d \left[\frac{h - u}{o - u} + \text{IV} + \text{V} \right] \\ H &= h + d + (V - J) \end{aligned} \right\} \text{ VIII)}$$

Diese Formeln gestatten eine ziemlich bequeme Berechnung, wenn man sich der Hilfstafeln bedient, welche G. Starke für die drei Kategorien von Instrumenten, die in der mathematisch-mechanischen Werkstätte von Starke & Kammerer in Wien gefertigt werden, berechnet hat und aus welchen die entsprechenden mit I, II, ... V bezeichneten Glieder entnommen werden können.

Siehe: Stampfer-Doležal: Theoretische und praktische Anleitung zum Nivellieren, Wien 1902.

Noch bequemere und für die meisten Fälle des Ingenieurs ausreichend genaue Formeln für D und h werden erhalten, wenn man sich die Winkel α und β so klein denkt, daß

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \cos \beta = 1, \\ \sin \alpha &= \widehat{\alpha} \text{ und } \sin(\alpha - \beta) = \widehat{\alpha - \beta} \end{aligned}$$

gesetzt werden kann; dann gehen die

Gleichungen VII) über in:

$$\left. \begin{aligned} D &= \frac{1}{\alpha - \beta} d \\ h + d &= \frac{\alpha}{\alpha - \beta} d, \quad H = h + d + (V - J) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 11)$$

Vernachlässigt man konsequenterweise in den Winkelgleichungen für α, β und $(\alpha - \beta)$ die Glieder mit der Konstanten b , oder nimmt man an, wie es bei kleinen Winkeln stets der Fall ist, daß sie sich zueinander verhalten wie die Anzahl der ihnen zukommenden Schraubengänge, beziehungsweise -lesungen am Schraubenkopfe der Meßschraube, so wird erhalten:

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= a(h - u) \\ \beta &= a(h - o) \\ \alpha - \beta &= a(o - u) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 12)$$

und nach Einführung in die Gleichungen 11) hat man:

$$\left. \begin{aligned} D &= \frac{1}{a} \frac{d}{o-u} = K \frac{d}{o-u} \\ h+d &= \frac{h-u}{o-u} d \text{ und } H = h+d+(V-J) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{IX)}$$

Die Differenz ($o - u$) fällt nach der Bezifferung der Teilung immer positiv aus, dagegen wird ($h - u$) positiv oder negativ, je nachdem die untere Zielscheibe unter oder über der horizontalen Visur liegt, wonach sich das Zeichen von $h + d$ ergibt, das wohl zu beachten ist.

140. Messen von Vertikalwinkeln mit der Tangentenschraube. Wird mit der Tangentenschraube die Libelle zum Einspielen gebracht und die Lesung h

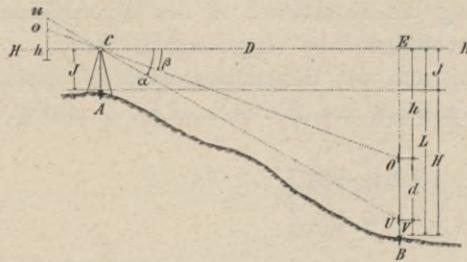


Fig. 105.

an dem Indexe gemacht, so entspricht dieser Lesung bei justiertem Instrumente die horizontale Lage der Nivellierebene; hiebei trafe der Horizontalfaden die Latte bei E und entspräche ihm die Lattenhöhe L (Fig. 105).

Bringt man mit der Tangentenschraube den Horizontalfaden auf die durch eine Visierscheibe oder in einer anderen Weise markierte Stelle O , beziehungsweise U und macht die Lesungen o und u , so lassen sich aus diesen mit Heranziehung von konstanten Dimensionen des Instrumentes die Tangenten der Vertikalwinkel α und β ableiten.

Nennen wir die Ganghöhe der Mikrometerschraube g , setzt man $hC = K.g$, einem Vielfachen der Ganghöhe, und werden h , o und u in Ganghöhen der Tangentenschraube ausgedrückt, so hat man (Fig. 105):

$$\left. \begin{aligned} tg \alpha &= \frac{hu}{hC} = \frac{(h-u)g}{K.g} = \frac{h-u}{K} \\ tg \beta &= \frac{ho}{hC} = \frac{(h-o)g}{K.g} = \frac{h-o}{K} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{13)}$$

wobei angenommen wird, daß die Ablesungen der Schraube bei zunehmendem Vertikalwinkel wachsen; im vorstehenden Falle ist $h > o$ und $h > u$, somit $h - u$

und $h - o > 0$, also positiv, die Winkel α und β sind Depressionswinkel; der Nullpunkt der fixen Teilung wird hierbei am oberen Ende der Skala gedacht.

Für kleine Winkel, für welche man statt der Tangente den Bogen setzen kann, gilt als Winkelgleichung:

$$\varphi'' = \rho'' \cdot \varphi = \rho'' \frac{o - u}{K} = \alpha'' (o - u). \dots \dots \dots \text{X}$$

Die Berechnung von Vertikalwinkeln, die im Bereiche der Tangentenschraube ($\pm 3^\circ$) liegen, wird wohl am bequemsten nach Gleichung 13) vorgenommen; man könnte, um den gesuchten Winkel sofort im Gradmaße zu erhalten, auch die Entwicklung desselben in eine konvergierende Reihe vornehmen, welche nach Potenzen der Tangente fortschreiten würde; doch ist dieser Weg umständlich und unpraktisch.

Die Bestimmung der Konstanten K der Winkelgleichung kann wie bei der Stampferschen Meßschraube vorgenommen werden.

Die Distanz D und der Höhenunterschied H bestimmen sich aus den beiden rechtwinkligen Dreiecken ECO und ECU in Fig. 105 wie folgt:

$$\left. \begin{aligned} h &= D \cdot \operatorname{tg} \beta \\ h + d &= D \cdot \operatorname{tg} \alpha \end{aligned} \right\}$$

und daraus erhält man mit Berücksichtigung der Gleichungen 13):

$$\left. \begin{aligned} h &= \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta} d = \frac{h - o}{o - u} d \\ D &= \frac{h}{\operatorname{tg} \beta} = \frac{d}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta} = K \frac{d}{o - u} \\ H &= h + d + (V - J) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{XI}$$

Für das Nivellieren ist die Lattenhöhe erforderlich; der Ausdruck für sie ist:

$$L = h + d + V = \frac{h - o}{o - u} d + d + V = \frac{h - u}{o - u} d + V. \dots \dots \text{XII}$$

Die vorstehenden Formeln XI) und XII) stimmen vollends mit jenen überein, die für die Stampfersche Meßschraube abgeleitet worden sind, nur mit dem Unterschiede, daß sie in dieser Entwicklung keine Näherungsformeln sind, sondern in aller Strenge Gültigkeit haben.

Die Horizontaldistanz D bezieht sich auf die Drehungsachse des Fernrohres; liegt diese zur vertikalen Umdrehungsachse exzentrisch, so muß noch die Exzentrizität e hinzugefügt werden. Bei neueren feineren Nivellierinstrumenten mit Tangentenschraube ist die Drehachse des Fernrohres zentrisch angebracht (Fig. 44).

Die in dem Ausdrucke für die Horizontalabstand D auftretende Konstante K wird analog wie bei andern optischen Distanzmessern (I. Band, Nr. 220), gestützt auf sorgfältig direkt gemessene Vergleichungsdistanzen, abgeleitet.

Die Tangentenschraube hat unstreitig der Sehnenmeßschraube Stampfers gegenüber den besonderen Vorteil für sich, daß sowohl die Winkelgleichung als auch die Ausdrücke für D und h keine Näherungsformeln sind, sondern in aller Strenge vollständig die Werte der genannten Größen zum Ausdrucke bringen; jedoch sind die Schwierigkeiten bei der richtigen mechanischen Herstellung der Tangentenschraube größer.

141. Professor Dr. Fr. Lorber hat für die Bestimmung der Distanz und Höhe bei Instrumenten mit Tangentenschrauben ein einfaches und bequemes Verfahren angegeben. In den Gleichungen:

$$\left. \begin{aligned} D &= \frac{K}{o-u} d \\ h &= \frac{h-o}{o-u} d, H = \frac{h-u}{o-u} d + (V-J) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 14)$$

kann man $o-u = s$ konstant annehmen und erhält:

$$\left. \begin{aligned} D &= \frac{K}{s} d \\ h &= \frac{h-o}{s} d, H = \frac{h-u}{s} d + (V-J) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 15)$$

Ist zufolge der Dimensionen des Instrumentes für $s = 2$ der Bruch $\frac{K}{s} = 100$ und stellt man sich unter $(h-o) = S$ eine ganze Anzahl von Umdrehungen vor, so kann man die Formeln 15) in der Form ansetzen:

$$\left. \begin{aligned} D &= 100 d \\ h &= \frac{S}{2} d, H = h + d + (V-J) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots XIII)$$

worin S nach den Terrainverhältnissen variiert. Wird S gleich einem Vielfachen von 2 angenommen, also $S = n \cdot 2$, so erscheint auch die Höhe in einfacher Gestalt:

$$h = n \cdot d, H = (n + 1) d + (V-J). \dots \dots \dots XIV)$$

Die praktische Ausführung erfolgt in nachstehender Weise. Bei einspielender Libelle wird h abgelesen; hierauf wird die Tangentenschraube um eine gerade Anzahl $2n$ von Schraubengängen so lange verstellt, bis die Latte vom Horizontalfaden getroffen wird, worauf die Lattenhöhe L_1 abgelesen wird; nachdem man die Schraube um zwei Schraubengänge aufwärts bewegt hat, liest man neuerdings

die Lattenhöhe L_2 ab. Die berechnete Lattendifferenz $L_2 - L_1 = d$ und n in die Gleichungen XIII), beziehungsweise XIV) eingeführt, geben die gesuchten Größen D und H .

Bei der Aufnahme von Querprofilen, wo zur graphischen Darstellung die Distanzen notwendig sind, kann man mit dem Nivellement die Distanzmessung in vorstehender Weise bequem verbinden, doch ist es notwendig, daß man mit dem Instrumente in der Ebene des Profiles sich befindet.

Es ist selbstverständlich, daß das vorstehende Verfahren auch bei einem Nivellierinstrumente mit Stampferscher Meßschraube Anwendung finden kann, da die Formeln 14) auch für diese Instrumente genäherte Gültigkeit haben.

Methoden des trigonometrischen Nivellierens.

Wie beim geometrischen Nivellieren hat man auch hier zwei Methoden zu unterscheiden:

- a) das Nivellieren aus den Enden und
- b) das Nivellieren aus der Mitte.

Sowohl beim Nivellieren aus den Enden als auch aus der Mitte hat man in jedem Stationspunkte, wenn das Fernrohr nach der Latte gerichtet ist, die drei Lesungen h , o und u zu machen, welche sich ergeben, wenn die Libelle durch die Elevationsschraube scharf zum Einspielen gebracht und dann die Visur auf O und U eingestellt wird; ($o - u$) fällt nach der Bezifferung der Teilung immer positiv aus, dagegen wird ($h - o$) positiv oder negativ, je nachdem die obere Zielscheibe unter oder über der horizontalen Visur liegt, wonach sich das Zeichen von h ergibt. Der jedesmalige Zahlenwert $\frac{h - o}{o - u}$, mit der Entfernung d der beiden Zielscheiben multipliziert, gibt h selbst; ist z. B. $d = 2 m$, so hat man:

$$h = 2 \frac{h - o}{o - u} \text{ Meter.}$$

Die im I. Bande (Fig. 175) dargestellte Stampfersche Latte ist nach dem Metermaße geteilt; es ist bei ihr die Höhe der unteren Zielscheibe $0.2 m$, der oberen Zielscheibe $2.2 m$ und $d = 2 m$. Für sehr kurze Distanzen, für welche die Elevationsschraube nicht ausreicht, um die Visur von o bis zu u zu verstellen, nimmt man $d = 1 m$, wofür an der Latte in der Höhe von $1.2 m$ gewöhnlich ein kleines Kreuz eingerissen ist, so daß bei fallendem Terrain die obere Zielscheibe als o und das Kreuz als u anvisiert wird, bei steigendem Terrain hingegen das Kreuz als o und die untere Zielscheibe als u , wo dann jedesmal $d = 1 m$ beträgt. Im ersten Falle beträgt der untere Zielscheibenabstand $1.2 m$, im zweiten Falle nur $0.2 m$.

Instrument Nr. . . .

Nivellement-

Station			Instrument- höhe <i>J</i>	Schraubenlesung			Latte		<i>-f</i>
Anfang	Ende	Länge		<i>h</i>	<i>o</i>	<i>u</i>	<i>d</i>	<i>V</i>	
		<i>m</i>	<i>m</i>	<i>r</i>	<i>r</i>	<i>r</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>
A	1	40.0	1.353	20.620	24.632	16.522	1.0	0.2	-0.000
1	2	413.4	1.412	20.599	40.021	36.886	4.0	0.2	-0.012
2	3	135.6	1.372	20.596	13.756	8.976	2.0	0.2	-0.001
			4.137						

Hier gelten dieselben Rechenkontrollen wie für das „Nivellieren aus den Enden“ beim geometrischen Nivellieren (II. Band, Nr. 77).

143. Nivellieren aus der Mitte. Der Vorgang schließt sich an den im II. Bande, Nr. 78, für das geometrische Nivellieren besprochenen an; die Zielweiten werden zumeist groß gewählt und in jeder Station die Elemente:

Schraubenlesungen: *h, o, u* und Lattengrößen: *d, V*

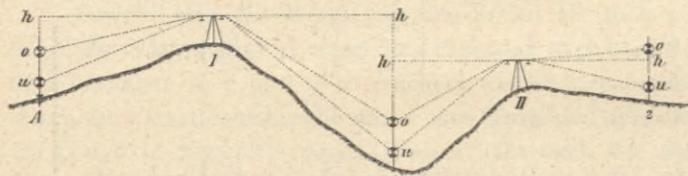


Fig. 107.

sowohl für die „Latte rückwärts“ beim Rückblicke und „Latte vorwärts“ beim Vorblicke beobachtet.

Wir erhalten z. B. in der Station I (Fig. 107):

$$\left. \begin{aligned} \text{„Latte rückwärts“ in } A \dots\dots\dots l_A &= \frac{h'_A - u'_A}{o'_A - u'_A} d'_A + V'_A - f'_A \\ \text{„Latte vorwärts“ in } 1 \dots\dots\dots L_1 &= \frac{h_1 - u_1}{o_1 - u_1} d_1 + V_1 - f_1 \end{aligned} \right\} \dots\dots 17)$$

somit das erste Teilgefälle

$$G_{A,1} = L_1 - l_A - \Delta f_{1,A} = \left(\frac{h_1 - u_1}{o_1 - u_1} d_1 - \frac{h'_A - u'_A}{o'_A - u'_A} d'_A \right) + (V_1 - V'_A) - (f_1 - f'_A);$$

die weiteren Teilgefälle sind:

$$\left. \begin{aligned} G_{1,2} &= L_2 - l_1 - \Delta f_{2,1} = \left(\frac{h_2 - u_2}{o_2 - u_2} d_2 - \frac{h'_1 - u'_1}{o'_1 - u'_1} d'_1 \right) + (V_2 - V'_1) - (f_2 - f'_1) \\ G_{2,3} &= L_3 - l_2 - \Delta f_{3,2} = \left(\frac{h_3 - u_3}{o_3 - u_3} d_3 - \frac{h'_2 - u'_2}{o'_2 - u'_2} d'_2 \right) + (V_3 - V'_2) - (f_3 - f'_2) \end{aligned} \right\} \dots\dots 18)$$

$$G_{n,B} = L_n - l_n - \Delta f_{n,B} = \left(\frac{h_n - u_n}{o_n - u_n} d_n - \frac{h'_n - u'_n}{o'_n - u'_n} d'_n \right) + (V_n - V'_n) - (f_n - f'_n)$$

protokoll.

Beobachter: N. N.

Rechnungsgrößen		Gefälle		Höhe über der Vergleichungsebene		Anmerkung
$d \frac{h-u}{o-u}$	$L = d \frac{h-u}{o-u} + V - f$	einzel	zusammen	Punkt	Betrag	
<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>		<i>m</i>	
+ 0.505	+ 0.705	- 0.648	- 0.648	A	246.00	Der Punkt A hat die Höhenkote 246.00 m.
- 20.780	- 20.592	- 22.004	- 22.652	1	246.646	
+ 4.862	+ 5.061	+ 3.689	- 18.963	2	268.652	
	- 4.137			3	264.963	
	- 18.963					

und das Gesamtgefälle

$$G_{A,B} = [L] - [l] - [\Delta f] = \left[\frac{h-u}{o-u} \cdot d + V \right] - \left[\frac{h'-u'}{o'-u'} \cdot d' + V' \right] - [f - f'] \dots \text{XVI}$$

Nachstehend folgt ein konkretes Beispiel.

Instrument Nr. . . .

Nivellementprotokoll.

Beobachter: N. N.

Station		Schraubenlesung						Latte					
Anfang	Ende	Länge		rückwärts			vorwärts			rückwärts		vorwärts	
		rückw.	vorw.	<i>h</i>	<i>o</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>o</i>	<i>u</i>	<i>d</i>	<i>V</i>	<i>d</i>	<i>V</i>
A	1	84.0	96.1	20.642	35.325	27.615	20.630	25.721	22.350	2.0	0.5	1.0	1.4
1	2	302.8	297.5	20.617	40.127	37.987	20.629	5.620	2.352	2.0	1.0	3.0	0.2
2	3	265.4	274.1	20.615	22.196	19.754	20.630	7.022	4.658	2.0	0.2	2.0	0.2

$d \frac{h-u}{o-u}$		$d \frac{h-u}{o-u} + V$		Gefälle		Meereshöhe	
rückwärts	vorwärts	rückwärts	vorwärts	einzel	zusammen	Punkt	Betrag
<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>		<i>m</i>
- 1.810	- 0.510	- 1.310	+ 0.890	+ 2.200	+ 2.200	A	190.00
- 16.234	+ 16.779	- 15.234	+ 16.979	+ 32.213	+ 34.413	1	187.800
+ 0.706	+ 13.512	+ 0.906	+ 13.712	+ 12.806	+ 47.219	2	155.587
		- 15.638	+ 31.581			3	142.781
			+ 15.638				
			+ 47.219				

Die Korrekturen Δf sind hier nicht berechnet worden, da sie sich infolge der nahezu gleichbleibenden Zielweiten aufheben.

Rechenkontrollen, die beim „Nivellieren aus der Mitte“ beim geometrischen Nivellieren zur Anwendung gekommen sind, gelten auch hier.

144. Das trigonometrische Nivellieren mit der Stampferschen Meßschraube und der Tangentenschraube eignet sich nach dem Vorstehenden besonders für Rekognoszierungs- und Generalnivellements in sehr coupiertem Terrain, da die horizontale Visur die Latte nicht zu treffen braucht und man von einem Standpunkte aus sehr beträchtliche Höhenunterschiede bei großen Zielweiten bewältigen kann, ohne daß dieselben den Resultaten des geometrischen Nivellements an Genauigkeit bedeutend nachstehen.

Für Detailnivellements und Arbeiten im flachen Terrain ist unbedingt das gewöhnliche geometrische Nivellieren wegen seiner Einfachheit vorzuziehen und es wäre unberechtigt, unpraktisch und unökonomisch, in diesem Falle trigonometrisch nivellieren zu wollen.

§ 10. Genauigkeit des Nivellierens.

145. Fehlerquellen. In den Ausdrücken für die Bestimmung des Gefälles zweier Punkte erscheinen neben der Instrumenthöhe beim geometrischen Nivellieren aus den Enden nur die Lattenhöhen; unter der Voraussetzung, daß das Nivellierinstrument rektifiziert ist, wird daher die Genauigkeit in erster Linie von der Schärfe abhängen, mit der die Lattenhöhen bestimmt werden können.

Der Fehler in der Lattenhöhe kann seinen Grund haben:

1. in der durch ungenaues Einspielen der Nivellierlibelle bedingten nicht horizontalen Lage der Visierebene,
2. in der Unsicherheit der Ablesung des Horizontalfadens an der Latten-
teilung, beziehungsweise der Schätzung in das kleinste Teilungsintervall
der Latte und
3. in einer nicht vertikalen Lage der Nivellierlatte.

Das Einspielen der Libelle läßt sich mit großer Schärfe bewerkstelligen, weil die Libellen besserer Instrumente stets mit Teilungen versehen sind, wodurch eine sichere Beurteilung des Einspielens möglich wird. Die Libelle soll auch die nötige Empfindlichkeit besitzen, denn die Blase einer trägen Libelle bleibt noch im Spielpunkte, wenn diese und mit ihr die Nivellierebene schon merklich von der horizontalen Richtung abweichen. Nennen wir den Einstellungsfehler der Libelle, beziehungsweise den der Nivellierebene im Winkelmaße α'' und ist γ'' der Winkelwert eines Skalenteiles der Nivellierlibelle, so kann man den Fehler im Einspielen mit $\alpha'' = \pm \frac{\gamma''}{10}$ annehmen (nach Rein-
hertz $0.1 \sqrt{\gamma''}$, siehe I. Band, Nr. 119).

Was die Ungenauigkeit in der Bestimmung der Lattenhöhe L betrifft, so hängt sie in erster Linie von der Unsicherheit in der Schätzung der Stellung des Horizontalfadens im kleinsten Teilungsintervalle der Latte ab. Daß hiebei die optische Leistungsfähigkeit des Fernrohres, welche klare, scharf begrenzte Bilder der Lattenintervalle bedingt, die passende Dicke des Horizontalfadens, die Beleuchtung der Latte, die Beschaffenheit der Atmosphäre, die Lage des Fadens im Teilungsintervalle und nicht zuletzt die Geschicklichkeit des Beobachters eine große Rolle spielen, ist einleuchtend.

Der Schätzungsfehler kann im Winkelmaße mit $\pm \beta''$ ausgedrückt werden.

Der Fehler, welcher durch das Schiefstehen der Latte entsteht, die von dem Gehilfen nach dem Augenmaße vertikal gehalten wird, kann ein bedeutender sein. Das Schiefstehen der Latte in der zur Visur senkrechten Richtung läßt sich am Vertikalfaden des Fadenkreuzes leicht beurteilen, nicht aber die Abweichung der Latte von der Vertikalen in der Richtung der Visur.

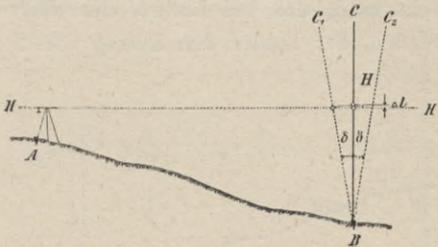


Fig. 108.

In Fig. 108 ist die vertikale und die um δ nach vorn und hinten geneigte Latte dargestellt. Ist L die Lattenhöhe, welche effektiv an der geneigten Latte abgelesen wird, so wäre

$$\overline{BH} = L \cdot \cos \delta$$

jene Lattenhöhe, die man eigentlich bestimmen sollte; daher ist

$$Al = L - L \cdot \cos \delta = L(1 - \cos \delta) = L[1 - (1 - \frac{\delta^2}{2} + \dots)] = L \frac{\delta^2}{2} \dots \dots \dots 1)$$

der Fehler wegen der Lattenschiefe, wobei δ im Bogenmaße, L und Al in derselben Maßeinheit verstanden sind; dieser Fehler wirkt stets in demselben Sinne und bedingt, daß die Lattenhöhe zu groß abgelesen wird, er muß daher mit dem Qualitätszeichen — in Rechnung gebracht werden. Nimmt man L in Metern und Al in Millimetern an, so hat man:

$$Al = 1000 L \frac{\delta^2}{2} \dots \dots \dots 1)$$

Da erfahrungsgemäß bei mit freier Hand nach dem Augenmaße gehaltenen Latten δ den Betrag von $2^\circ 20'$ erreichen kann, so folgt:

$$Al = 1000 \cdot \frac{0.0407^2}{2} \cdot L = 0.8 L \dots \dots \dots 2)$$

Benützt man hingegen eine Dosenlibelle an der Latte ohne Stativ, so kann man $\delta = 25'$ setzen; somit folgt:

$$Al = 1000 \cdot \frac{0.0073^2}{2} \cdot L = 0.03 L \dots \dots \dots 3)$$

Aus folgender Tabelle, die nach den Gleichungen 2) und 3) entworfen ist,

L	Δl	
	freihändig gehalt ne Latte	Latte mit Dosenlibelle
<i>m</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
1	0.8	0.03
2	1.6	0.06
3	2.4	0.09

sieht man, daß bei Latten, die bloß nach dem Augenmaße vertikal gehalten werden, der Fehler den Betrag von 2.4 mm erreichen kann; man kann daher sagen: Nivellierlatten sollen stets mit Libellen zum Vertikalstellen versehen sein.

Im Winkelmaße kann man den von der Lattenschiefe herrührenden, mit konstantem Zeichen behaftenden Fehler mit λ'' bezeichnen.

Die drei besprochenen Fehlerquellen, welchen die mittleren Fehler $\pm \alpha, \pm \beta, -\lambda$ entsprechen, bedingen

einen Winkelfehler φ , der nach den Sätzen der Methode der kleinsten Quadrate

$$\varphi = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} - \lambda \dots \dots \dots 4)$$

gesetzt werden kann und dem der Fehler ΔL in der Lattenhöhe entspricht (Fig. 109). Dieser Fehler steht nun mit der Zielweite d in einem einfachen Zusammenhange; es ist nämlich:

$$\Delta L = d \cdot \text{tg} \varphi = d \cdot \widehat{\varphi} \text{ oder } \widehat{\varphi} = \frac{\Delta L}{d} \text{ oder } \varphi'' = 206.265'' \frac{\Delta L}{d} = 206.265 \mu \dots \dots 11)$$

Der Quotient $\frac{\Delta L}{d} = \mu$ stellt den mittleren Fehler in der Lattenhöhe für die Einheit der Distanz dar und wird auch als das Maß der Zielschärfe angesehen.

146. Bestimmung des mittleren Fehlers in der Lattenhöhe. Eine Vorstellung von der Genauigkeit in der Lattenhöhe, welche für die Leistungsfähigkeit des Nivellierinstrumentes maßgebend ist, erhält man dadurch, daß man bei verschiedenen Zielweiten, $d_1, d_2, d_3, \dots d_n$ die mittleren Fehler in den Lattenhöhen $\Delta L_1, \Delta L_2, \Delta L_3, \dots \Delta L_n$ durch Beobachtung bestimmt und dann die Quotienten $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots \mu_n$ bildet.

Man stellt das Instrument gehörig auf, richtet die Visur gegen eine in entsprechender Entfernung vertikal aufgestellte Nivellierlatte, bringt die Blase der Nivellierlibelle scharf zum Einspielen und bestimmt sorgfältig die Latten-



Fig. 109.

höhe. Nun wird die Nivellierlibelle mit der Elevationsschraube etwas verstellt, dann zum Einspielen gebracht und wieder die Lattenhöhe ermittelt.

Bei diesen Untersuchungen soll die Libelle nicht dem Einflusse direkter Sonnenstrahlen ausgesetzt und nicht ungleich erwärmt sein; man hat daher während der Beobachtung die Libelle mit einem Schirme zu schützen und vor einseitig wirkender Körperwärme zu bewahren. Vorteilhaft ist es, die Untersuchungen bei ruhiger und reiner Luft anzustellen.

Mit einem Nivellierinstrumente der Lehrkanzel für Geodäsie und Markscheidekunde an der k. k. montanistischen Hochschule in Leoben wurden bei der Zielweite $d = 120\text{ m}$ nachstehende Daten erhalten.

Nr.	L	v	$v v$	Anmerkung
	m	mm		
1	1.455	+0.2	0.04	$\Delta L = \sqrt{\frac{[v v]}{n-1}}$ $= \sqrt{\frac{6.80}{4}} = \pm 1.30\text{ mm.}$
2	— 6	— 0.8	0.64	
3	— 4	+1.2	1.44	
4	— 4	+1.2	1.44	
5	— 7	— 1.8	3.24	
	1.4552	0	6.80	

Nach der in der Kolonne „Anmerkung“ angeführten Berechnung beträgt der mittlere Fehler in der Bestimmung der Lattenhöhe:

$$\Delta L = 1.30\text{ mm} = 0.00130\text{ m, also } \mu = \frac{\Delta L}{d} = \frac{0.00130\text{ m}}{120\text{ m}} = \frac{1}{92.000}$$

In analoger Weise wurde bei folgenden Distanzen vorgegangen und die Werte erhalten:

$d:$	20	40	60	80	100	120 m
$\Delta L:$	0.45	0.35	0.48	0.57	0.94	1.30 mm
$\mu:$	$\frac{1}{44.000}$	$\frac{1}{114.000}$	$\frac{1}{125.000}$	$\frac{1}{140.000}$	$\frac{1}{106.000}$	$\frac{1}{92.000}$

Eine solche Untersuchung gibt dem Ingenieur einen Aufschluß über die Leistungsfähigkeit des untersuchten Instrumentes; sie setzt ihn in den Stand, sich schon im voraus über den zu befürchtenden Fehler in der Lattenhöhe zu orientieren und jene Zielweiten auszuwählen, die er bei seiner Arbeit anwenden kann.

Der mittlere Fehler in der Lattenhöhe ΔL sowie μ werden für verschiedene Beobachter mit demselben Instrumente und bei denselben Zielweiten nicht gleich sein; denn sie hängen noch von der Geschicklichkeit und Übung der Beobachter selbst ab, wenn sie auch bei gleichen Nebenumständen (Beleuchtung, Zustand der Luft u. s. w.) angestellt werden.

147. Genauigkeit des Nivellierens aus den Enden. Beim Nivellieren aus den Enden gelten die Formeln:

$$\left. \begin{aligned} g &= L - J \quad \dots \text{für das Einzelgefälle und} \\ G &= [L] - [J] \quad \dots \text{„ „ Gesamtgefälle} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 5)$$

Sind die mittleren Fehler einander gleich, also $\Delta L_1 = \Delta L_2 = \dots = \Delta L_n = \Delta L$, ferner $\Delta J_1 = \Delta J_2 = \dots = \Delta J_n = \Delta J$, was bei sorgfältiger Arbeit stets angenommen werden kann, so erhält man für den mittleren Fehler

$$\left. \begin{aligned} \text{im Einzelgefälle } \Delta g &= \sqrt{\Delta L^2 + \Delta J^2} \\ \text{„ Gesamtgefälle } \Delta G &= \sqrt{n \cdot \Delta L^2 + n \cdot \Delta J^2} = \sqrt{n(\Delta L^2 + \Delta J^2)} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 6)$$

Nehmen wir an, daß zwischen A und B ($n - 1$) Standpunkte benützt wurden, also mit A n gleiche Zielweiten d gedacht sind, so kann man für die Länge der nivellierten Strecke $AB = D$ setzen:

$$D = n \cdot d \text{ oder } n = \frac{D}{d};$$

führt man in die vorstehende Gleichung 6) die Zielweite d und die Länge der nivellierten Strecke D ein, so folgt für den mittleren Fehler im Gesamtgefälle:

$$\Delta G = \sqrt{n(\Delta L^2 + \Delta J^2)} = \sqrt{\frac{D}{d}(\Delta L^2 + \Delta J^2)} \dots \dots \dots 7)$$

Setzt man $\Delta J = k \cdot \Delta L$, so folgt

$$\Delta G = \sqrt{\frac{D}{d}(\Delta L^2 + k^2 \cdot \Delta L^2)} = \frac{\Delta L}{d} \sqrt{D d (1 + k^2)} = \mu \sqrt{D d (1 + k^2)} \dots \text{III}$$

148. Nivellieren aus der Mitte. Man hat die Formeln:

$$\left. \begin{aligned} g &= L - l \dots \dots \text{für das Einzelgefälle und} \\ G &= [L] - [l] \dots \dots \text{„ „ Gesamtgefälle} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 8)$$

Setzt man für die mittleren Fehler auch hier:

$$\left. \begin{aligned} \Delta L_1 = \Delta L_2 = \dots = \Delta L_n = \Delta L \\ \Delta l_1 = \Delta l_2 = \dots = \Delta l_n = \Delta l = \Delta L \end{aligned} \right\},$$

so erhält man für den mittleren Fehler

$$\left. \begin{aligned} \text{im Einzelgefälle } \dots \Delta g &= \sqrt{\Delta L^2 + \Delta l^2} = \Delta L \sqrt{2} \\ \text{„ Gesamtgefälle } \dots \Delta G &= \sqrt{n \cdot \Delta L^2 + n \cdot \Delta l^2} = \sqrt{2n \cdot \Delta L^2} = \Delta L \sqrt{2n} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 9)$$

Da die ganze nivellierte Strecke $AB = D$ durch n Stationen mit je zwei Zielweiten d zerlegt wird, also $D = 2n \cdot d$ ist, so kann statt $2n = \frac{D}{d}$ gesetzt werden, somit für den mittleren Fehler im Gesamtgefälle:

$$\Delta G = \Delta L \sqrt{\frac{D}{d}} = \frac{\Delta L}{d} \sqrt{D d} = \mu \sqrt{D d} \dots \dots \dots \text{IV}$$

Der Quotient $\mu = \frac{\Delta L}{d}$ bleibt für dasselbe Instrument und denselben Beobachter nahezu konstant, somit kann die Gleichung IV) in folgende Sätze zusammengefaßt werden:

1. Der mittlere Fehler eines Nivellements ΔG wächst bei gleicher Zielweite d mit der Quadratwurzel der nivellierten Strecke, also $\Delta G = (\mu \sqrt{d}) \sqrt{D} = k_1 \sqrt{D}$.

2. Der mittlere Fehler ΔG wächst bei derselben Länge der nivellierten Strecke D proportional der Quadratwurzel der Zielweite, somit $\Delta G = (\mu \sqrt{D}) \sqrt{d} = k_2 \sqrt{d}$.

Die mittleren Fehler der Nivellements sind also nicht den Distanzen, sondern den Quadratwurzeln derselben proportional; dies ist das Quadratwurzelgesetz für das Nivellieren, analog dem für direkte Längenmessungen (I. Band, Nr. 209).

Hat man mehrere Strecken von ungleicher Länge D_1, D_2, \dots, D_n mit denselben Hilfsmitteln und mit gleicher Sorgfalt nivelliert, so werden die Gefälle ungleich genau sein; für die zugehörigen Gewichte wird man erhalten:

$$p_1 = \frac{m_0^2}{m_1^2}, p_2 = \frac{m_0^2}{m_2^2} \text{ oder } \frac{p_1}{p_2} = \frac{m_2^2}{m_1^2} \dots \dots \dots 10)$$

und da der mittlere Fehler eines Nivellements nach dem Vorhergehenden

$$\left. \begin{aligned} m_1 &= k \sqrt{D_1} \\ m_2 &= k \sqrt{D_2} \end{aligned} \right\} \text{ ist, so besteht nach Einführung dieser Werte}$$

in die vorstehenden Ausdrücke die Beziehung:

$$p_1 : p_2 = D_2 : D_1, \dots \dots \dots 11)$$

woraus konsequenterweise die wichtige Relation gefolgert wird:

$$p_1 = \frac{1}{D_1}, p_2 = \frac{1}{D_2}, \dots \dots p_n = \frac{1}{D_n} \dots \dots \dots V)$$

d. h. bei sonst gleichen Nivellements sind die Gewichte umgekehrt proportional den Längen der nivellierten Strecken.

Die Genauigkeit des Nivellierens läßt sich steigern, wenn man den Fehler in der Bestimmung der Lattenhöhe durch wiederholte Ermittlungen der Lattenhöhe vermindert; denn stellt man eine Visur p -mal ein und nimmt aus den Lattenhöhen das Mittel, so hat man für den zu befürchtenden Fehler des arithmetischen Mittels $\frac{\Delta L}{\sqrt{p}}$; setzt man diesen Wert statt ΔL in die Gleichung IV) ein, so folgt:

$$\Delta G = \Delta L \sqrt{\frac{2n}{p}} = \frac{\Delta L}{d} \sqrt{\frac{Dd}{p}} = \mu \sqrt{\frac{Dd}{p}}, \dots \dots \dots VI)$$

welcher Betrag um so kleiner ausfällt, je größer p angenommen wird.

149. Fehler im Nivellement für ein Kilometer. Wird in Gleichung IV) für $D = 1000\text{ m} = 1\text{ km}$ gesetzt, so ergibt sich

$$\Delta G = \mu \sqrt{1000} \sqrt{d} = 31.6 \mu \sqrt{d} = m_k \dots \dots \dots \text{VII)}$$

als allgemeiner Ausdruck für den theoretischen Wert eines Nivellementfehlers für ein Kilometer. Drückt man den Quotienten μ im Winkelmaße aus (Zielschärfe) und setzt $\mu'' = 1'', 2'', 3''$, so können für verschiedene Zielweiten die theoretischen Werte des Kilometerfehlers berechnet und in einer Tafel zusammengestellt werden.

Zielweite in Metern							Zielschärfe μ''	Parswert der Libelle γ''	Fernrohr- ver- größerung v
20	40	50	60	80	100	120			
<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	"	"	
0.7	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5	1.7	1	10	30
1.0	1.5	1.6	1.8	2.1	2.3	2.5	1.5	12	20
2.1	2.9	3.3	3.6	4.1	4.6	5.0	3.0	15	10

Die letzten zwei Kolonnen enthalten Größen, welche die Leistungsfähigkeit der Nivellierinstrumente charakterisieren: es sind dies die Vergrößerung des Fernrohres v und der Winkelwert eines Skalenteiles γ'' (Parswert) der Nivellierlibelle.

Für die praktische Ausführung von Nivellements für technische Zwecke können folgende Fehlergrenzen zur Richtschnur dienen; auch sind die für die Leistungsfähigkeit der entsprechenden Instrumente maßgebenden Größen angegeben.

Art des Nivellements	Fehlergrenze für ein Kilometer	Leistungsfähigkeit des Instrumentes	
		Vergrößerung v	Parswert der Nivellierlibelle γ''
Längennivellement	10 bis 20 <i>mm</i>	20—30	6—15
Querprofile und Schichtenaufnahme	20 <i>mm</i>	10—20	15—30

§ 11. Genauigkeit der Arbeiten mit der Sehnen-, beziehungsweise Tangentenschraube.

150. Genauigkeit der Vertikalwinkel. In der Winkelgleichung:

$$\omega'' = a''(n - m) - b''(n^2 - m^2) \text{ oder genähert } \omega'' = a''(n - m)$$

müssen m und n nach Einstellung des Horizontalfadens auf die Zielobjekte abgelesen werden; die Konstante a ist bekannt. Die Genauigkeit des Vertikal-

winkels hängt daher von der Schärfe ab, mit welcher die Einstellungen auf die Zielobjekte und die Ablesungen m und n erfolgen, und ferner ist hiefür auch die Richtigkeit der Konstanten a und b maßgebend.

Nennen wir die jeweiligen mittleren Einstellungsfehler auf das Zielobjekt und den mittleren Ablesefehler am Kopfe der Schraube $\pm \mathcal{A}m$ und $\pm \mathcal{A}n$ und ist $\pm \mathcal{A}a$ der mittlere Fehler der Konstanten a , so folgt nach Band I, Nr. 24, für den mittleren Fehler im Winkel ω als Funktion der Größen m , n und a :

$$\mathcal{A}\omega = \sqrt{\left(\frac{\partial \omega}{\partial a} \mathcal{A}a\right)^2 + \left(\frac{\partial \omega}{\partial m} \mathcal{A}m\right)^2 + \left(\frac{\partial \omega}{\partial n} \mathcal{A}n\right)^2 \dots \dots \dots 1)}$$

Da nun:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \omega}{\partial a} &= n - m = \frac{\omega}{a} \\ \frac{\partial \omega}{\partial m} &= -a = -\frac{\omega}{n - m} \\ \frac{\partial \omega}{\partial n} &= a = \frac{\omega}{n - m} \end{aligned} \right\} \text{ und } \mathcal{A}m = \mathcal{A}n \text{ gesetzt werden kann,}$$

so folgt:

$$\mathcal{A}\omega'' = \sqrt{(n - m)^2 \mathcal{A}a^2 + 2a^2 \mathcal{A}m^2} = \omega'' \sqrt{\left(\frac{\mathcal{A}a}{a}\right)^2 + 2\left(\frac{\mathcal{A}m}{n - m}\right)^2} \dots \dots \dots \text{I)}$$

Auf Grund zahlreicher Versuche kann man $\mathcal{A}m = 0.003$ Schraubenumdrehungen annehmen; die Konstante für die Stampferschen Instrumente kann im Mittel gesetzt werden $a = 640''$ und ihr mittlerer Fehler $\mathcal{A}a = \pm 0.05''$; ist $n - m = 10^r$, so folgt:

$$\mathcal{A}\omega'' = \sqrt{10^{2r} \cdot 0.05^2 + 2 \times 640^2 \cdot 0.003^2} = \pm \sqrt{0.25 + 7.38} = \pm 2.8''.$$

Werden Höhen- oder Tiefenwinkel gemessen, so gelten die Winkelgleichungen:

$$\left. \begin{aligned} \varphi'' &= a''(o - h) - b''(o^2 - h^2), \text{ beziehungsweise } \varphi'' = a''(h - u) - b''(h^2 - u^2) \\ \varphi'' &= a''(o - h) \qquad \qquad \qquad \varphi'' = a''(h - u) \end{aligned} \right\}; \dots \dots \dots \text{2)}$$

hiebei wird die Lesung h nach scharfer Einstellung der Libelle vorgenommen, o und u nach Einstellung auf das Zielobjekt. Die Fehler, welche hier begangen werden, sind der Einstellungsfehler der Libelle, die Visurfehler bei Einstellung auf das Objekt und bei den beiden Ablesungen h und o ; hiezu tritt noch der Fehler in der Konstanten a .

Es berechnet sich der mittlere Fehler mit Zugrundelegung der genäherten Winkelgleichung

$$\text{mit } \left. \begin{aligned} \varphi'' &= a''(o - h) \\ \mathcal{A}\varphi &= \sqrt{\left(\frac{\partial \varphi}{\partial a} \mathcal{A}a\right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial o} \mathcal{A}o\right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial h} \mathcal{A}h\right)^2} \\ \mathcal{A}\varphi &= \sqrt{(o - h)^2 \mathcal{A}a^2 + a^2 (\mathcal{A}h^2 + \mathcal{A}o^2)} \end{aligned} \right\}; \dots \dots \dots \text{II)}$$

hier können Δh und Δo nicht gleichgesetzt werden, da erfahrungsgemäß die Einstellung der Libelle mit größerer Schärfe geschehen kann als die Einstellung auf das Zielobjekt, somit $\Delta h < \Delta o$ ist.

Nach Stampfers Versuchen ist:

$$\left. \begin{aligned} \Delta o &= \Delta u = 0.003'' \\ \Delta h &= 0.002'' \end{aligned} \right\}, \text{wodurch für die drei Größen}$$

von Nivellierinstrumenten mit Stampferscher Meßschraube, die im mathematisch-mechanischen Institute von Starke & Kammerer in Wien gebaut werden, der mittlere Fehler im Winkelmaße folgt:

$$\left. \begin{aligned} \text{für } a = 640'' &, \Delta o'' = \Delta u'' = 1.9'' &, \Delta h'' = 1.3'' \\ &740 &= 2.2 &= 1.5 \\ &920 &= 2.8 &= 1.8 \end{aligned} \right\}.$$

Der mittlere Fehler Δa in der Konstanten a kann nach den Angaben Professor Schells mit $\pm 0.05''$ angenommen werden.

Unter diesen Verhältnissen ergibt sich für den speziellen Fall $o - h = 10''$;

$$\Delta \omega'' = \sqrt{10^2 \cdot 0.05^2 + 640^2 (0.002^2 + 0.003^2)} = \sqrt{0.25 + 5.57} = \pm 2.4''.$$

Kann man die Konstante a der Winkelgleichung als fehlerfrei annehmen, so vereinfachen sich die allgemeinen Gleichungen nicht unbedeutend; es wird

$$\left. \begin{aligned} \Delta \omega'' &= a'' \cdot \Delta m \sqrt{2} &= \pm 0.0042 a'' \\ \Delta \varphi'' &= a'' \sqrt{\Delta h^2 + \Delta o^2} &= \pm 0.0036 a'' \end{aligned} \right\},$$

also

$$\left\{ \begin{aligned} \Delta \omega &= 2.7'' &, \Delta \varphi &= 2.3'' & \text{für die Instrumentkategorie } A \\ \Delta \omega &= 3.1 &, \Delta \varphi &= 2.6 & \text{'' '' '' '' '' } B \\ \Delta \omega &= 4.1 &, \Delta \varphi &= 3.3 & \text{'' '' '' '' '' } C \end{aligned} \right\}.$$

Die vorstehenden allgemeinen Fehlergleichungen gelten auch für die Tangentenschraube; sie lassen auch lehrreiche Diskussionen zu und ermöglichen die Aufstellung von für die Praxis wichtigen Fehlergesetzen, die wir wegen Raummangel übergehen müssen.

151. Genauigkeit der Distanz und Höhe. In den beiden Näherungsausdrücken für D und h :

$$\left. \begin{aligned} D &= K \frac{d}{o-u} \\ H &= \frac{h-u}{o-u} d + V - J \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 3)$$

erscheinen als direkt beobachtete Größen: h, o, u, d, J und V , während die Konstante gegeben vorliegt. Wenn d, J und V , als mit kleinen mittleren Fehlern behaftet, bei der Fehlerbestimmung nicht berücksichtigt werden, so hat man:

$$\begin{aligned} \mathcal{A}D &= \sqrt{\left(\frac{\partial D}{\partial K} \mathcal{A}K\right)^2 + \left(\frac{\partial D}{\partial o} \mathcal{A}o\right)^2 + \left(\frac{\partial D}{\partial u} \mathcal{A}u\right)^2} \\ \mathcal{A}H &= \sqrt{\left(\frac{\partial H}{\partial h} \mathcal{A}h\right)^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial o} \mathcal{A}o\right)^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial u} \mathcal{A}u\right)^2} \end{aligned} \quad \dots \dots \dots 4)$$

welche Gleichungen nach Einführung der partiellen Differentialquotienten übergehen in:

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{A}D &= \sqrt{\left(\frac{d}{o-u} \mathcal{A}K\right)^2 + \left(\frac{K \cdot d}{(o-u)^2} (\mathcal{A}o^2 + \mathcal{A}u^2)\right)^2} = D \sqrt{\left(\frac{\mathcal{A}K}{K}\right)^2 + \frac{\mathcal{A}o^2 + \mathcal{A}u^2}{(o-u)^2}} \\ \mathcal{A}H &= \frac{d}{o-u} \sqrt{\mathcal{A}h^2 + \left(\frac{h-u}{o-u}\right)^2 \mathcal{A}o^2 + \left(\frac{h-o}{o-u}\right)^2 \mathcal{A}u^2} = \\ &\quad \frac{d}{(o-u)^2} \sqrt{(o-u)^2 \mathcal{A}h^2 + (h-u)^2 \mathcal{A}o^2 + (h-o)^2 \mathcal{A}u^2} \end{aligned} \right\} \dots \dots 5)$$

oder wenn $\mathcal{A}o = \mathcal{A}u$ gesetzt wird, nehmen die vorstehenden Formeln die Form an:

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{A}D &= D \sqrt{\left(\frac{\mathcal{A}K}{K}\right)^2 + \frac{2 \mathcal{A}o^2}{(o-u)^2}} \\ \mathcal{A}H &= \frac{d}{(o-u)^2} \sqrt{(o-u)^2 \mathcal{A}h^2 + [(h-u)^2 + (h-o)^2] \mathcal{A}o^2} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{III)}$$

Nimmt man $\mathcal{A}K = 0$, so vereinfacht sich der Ausdruck für den mittleren Fehler der Distanz und man hat:

$$\mathcal{A}D = \frac{\sqrt{\mathcal{A}o^2 + \mathcal{A}u^2}}{o-u} D = \frac{D \sqrt{2}}{o-u} \mathcal{A}o = \frac{\sqrt{2}}{K} \frac{D^2}{d} \mathcal{A}o \dots \dots \dots \text{IV)}$$

Diese Gleichung lehrt, daß der Fehler in der Distanz mit dem Quadrate der Distanz wächst und daß er umgekehrt proportional dem Zielscheibenabstande d und der Konstanten K ist. Da die Konstante unveränderlich ist, so soll der Zielscheibenabstand d , um verschieden große Distanzen halbwegs relativ gleich genau zu erhalten, eventuell variiert, unter allen Umständen aber bei größeren Distanzen möglichst groß gewählt werden.

Setzt man als Mittelwert $\mathcal{A}o = 0.003$, so ergeben sich für die drei Kategorien von Instrumenten mit Stampferscher Meßschraube folgende Fehlerausdrücke für die Distanz:

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{A}D &= \frac{0.003 \sqrt{2}}{324} \frac{D^2}{d} = 1.31 \times 10^{-5} \frac{D^2}{d} \dots \text{Große Instrumente:} & \text{Kategorie } A \\ \mathcal{A}D &= \frac{0.003 \sqrt{2}}{280} \frac{D^2}{d} = 1.51 \times 10^{-5} \frac{D^2}{d} \dots \text{Mittlere Instrumente:} & \text{„ } B \\ \mathcal{A}D &= \frac{0.003 \sqrt{2}}{225} \frac{D^2}{d} = 1.89 \times 10^{-5} \frac{D^2}{d} \dots \text{Taschen-Nivellierinstrumente:} & \text{„ } C \end{aligned} \right\} \text{IV'}$$

Aus diesen Formeln ergeben sich die mittleren zu befürchtenden Fehler in der Distanz, wie sie die nachfolgende Tabelle enthält.

Distanz	Große		Mittlere		Taschen-Nivellier-	
	In-strumente bei dem Zielscheibenabstande d					
	1 m	2 m	1 m	2 m	1 m	2 m
m	m	m	m	m	m	m
50	0·033	0·016	0·038	0·019	0·047	0·024
100	0·13	0·07	0·15	0·08	0·19	0·09
200	0·5	0·26	0·6	0·30	0·8	0·38
300	1·2	0·6	1·4	0·7	1·7	0·9
400	2·1	1·0	2·4	1·2	3·0	1·5

Selbstredend kann man durch Vervielfältigung der Beobachtungen die Genauigkeit in der Bestimmung der Distanz nicht unbedeutend erhöhen.

Was die Genauigkeit in der Höhenbestimmung betrifft, so läßt sich dieselbe auf Grund der abgeleiteten Gleichungen III) diskutieren; dieselben Gleichungen stellen auch den mittleren Fehler in der Lattenhöhe L vor, der für die Genauigkeit des trigonometrischen Nivellierens maßgebend ist.

Der mittlere Fehler in der Höhe, respektive der Lattenhöhe lautet:

$$\Delta H = \Delta L = \frac{d}{(o-u)^2} \sqrt{(o-u)^2 \Delta h^2 + [(h-u)^2 + (h-o)^2] \Delta o^2; \dots \dots V}$$

er ist:

1. umgekehrt proportional dem Quadrate der Differenz $(o-u)$, d. h. je größer $(o-u)$, desto genauer wird H , respektive L erhalten;
2. um so größer, je größer die Differenzen $(h-u)$ und $(h-o)$ werden, d. h. je größer der Vertikalwinkel der Visuren nach den Zielscheiben ist.

In einem speziellen, günstigen Falle, wenn z. B.:

$$\left. \begin{matrix} h = 20\cdot006'' \\ o = 18\cdot172 \\ u = 12\cdot417 \\ d = 2\ m \end{matrix} \right\} \text{ ist, ergibt sich } \left\{ \begin{matrix} D \doteq 113\ m \\ h_o = 2\cdot64\ m \end{matrix} \right\} \text{ und } \Delta L = \pm 0\cdot0015\ m.$$

§ 12. Ausgleichung von Nivellements.

Für die Praxis des Ingenieurs sind vornehmlich vier Aufgaben der Ausgleichung von Nivellements von Bedeutung, nämlich die Ausgleichung von:

1. Doppelnivellements,
2. von interpolierten Punkten,
3. von Nivellementpolygonen oder -schleifen und
4. von Nivellementnetzen.

Ausgleich von Doppelnivellements.

152. *a) Doppelnivellement einer Strecke.* Sind g_1 und g_2 die Resultate einer doppelt nivellierten Strecke, so ist

der wahrscheinlichste Wert des Gefälles $g = \frac{g_1 + g_2}{2}, \dots \dots \dots$ 1)

die Nivellementdifferenz $d = g_1 - g_2, \dots \dots \dots$ 2)

die Verbesserungen "sind $\left\{ \begin{array}{l} v_1 = g - g_1 = -\frac{d}{2} \\ v_2 = g - g_2 = +\frac{d}{2} \end{array} \right\}, \dots \dots \dots$ 3)

wobei $[v] = v_1 + v_2 = 0$ ist.

Der mittlere Fehler eines einfachen Nivellements ist:

$$m = \sqrt{\frac{[v v]}{n-1}} = \frac{d}{\sqrt{2}} \dots \dots \dots$$
 I)

und der mittlere Fehler im arithmetischen Mittel g :

$$\mu = \pm \frac{d}{2} \dots \dots \dots$$
 II)

153. *b) Doppelnivellement von n Strecken.*

$\alpha)$ Der Fall von gleicher Genauigkeit wird zu behandeln sein, wenn die nivellierten Strecken gleiche Längen haben. Sind

$$d_1, d_2, \dots d_n$$

die Nivellementdifferenzen der einzelnen Strecken, so wird sich die mittlere Differenz d aus

$$n \cdot d^2 = d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2 = [d d] \text{ ergeben mit } d = \sqrt{\frac{[d d]}{n}} \dots \dots \dots$$
 III)

Aus der mittleren Differenz d kann man den mittleren Fehler des einfachen Nivellements einer Strecke bei Berücksichtigung sämtlicher n Doppelnivellements bestimmen, und zwar aus der Gleichung:

$$m = \frac{d}{\sqrt{2}} \dots \dots \dots$$
 4)

wenn für d die mittlere Nivellementdifferenz aus Gleichung III) eingeführt wird, also

$$m = \sqrt{\frac{[d d]}{2n}} \dots \dots \dots$$
 IV)

Der mittlere Fehler des mittels eines Doppelnivellements bestimmten Gefälles g bei Berücksichtigung sämtlicher doppelt nivellierten Strecken rechnet sich aus

$$\mu = \frac{m}{\sqrt{2}} \text{ mit}$$

$$\mu = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[d d]}{n}} \dots \dots \dots$$
 V)

β) Eine Ausgleichung von Doppelnivellements mit ungleicher Genauigkeit liegt vor, wenn die nivellierten Strecken ungleiche Längen haben oder bei den Teilnivellements verschiedene Instrumente verwendet und verschieden geübte Beobachter mitgewirkt haben.

Nennen wir die Resultate der einzelnen Doppelnivellements:

$$\left. \begin{array}{l} g'_1 g''_1 \text{ auf der Strecke } D_1 \\ g'_2 g''_2 \text{ " " " } D_2 \\ \vdots \\ g'_n g''_n \text{ " " " } D_n \end{array} \right\}$$

so sind die wahrscheinlichsten Werte der Gefälle, Nivellementdifferenzen und der zugehörigen Gewichte:

$$\left. \begin{array}{l} g_1 = \frac{g'_1 + g''_1}{2} \dots d_1 = g'_1 - g''_1 \dots p_1 = \frac{1}{D_1} \\ g_2 = \frac{g'_2 + g''_2}{2} \dots d_2 = g'_2 - g''_2 \dots p_2 = \frac{1}{D_2} \\ \vdots \\ g_n = \frac{g'_n + g''_n}{2} \dots d_n = g'_n - g''_n \dots p_n = \frac{1}{D_n} \end{array} \right\} \dots \dots \dots 5)$$

Die mittlere Nivellementdifferenz d_o für die Gewichtseinheit (Einheit der Distanz) rechnet sich aus der folgenden plausiblen Relation:

$$n \cdot d_o^2 = p_1 d_1^2 + p_2 d_2^2 + \dots + p_n d_n^2 = [p d d]$$

oder
$$n \cdot d_o^2 = \frac{d_1^2}{D_1} + \frac{d_2^2}{D_2} + \dots + \frac{d_n^2}{D} = \left[\frac{d d}{D} \right]$$

mit
$$d_o = \sqrt{\frac{[p d d]}{n}} = \sqrt{\frac{\left[\frac{d d}{D} \right]}{n}} \dots \dots \dots \text{VI}$$

und der mittlere Fehler der Gewichtseinheit eines einfachen Nivellements für $D=1 m$ lautet:

$$m_o = \frac{d_o}{\sqrt{2}} = \sqrt{\frac{[p d d]}{2n}} = \sqrt{\frac{\left[\frac{d d}{D} \right]}{2n}} \dots \dots \dots \text{VII}$$

Für die mittleren Fehler der einfachen Nivellements bei Berücksichtigung aller Nivellements wird aus der allgemeinen Beziehung, wobei:

$$p_o m_o^2 = p_1 m_1^2 = p_2 m_2^2 = \dots = p_n m_n^2$$

und $p_o = 1$ zu setzen ist, erhalten:

$$\left. \begin{aligned} m_1 &= \frac{m_o}{\sqrt{p_1}} = m_o \sqrt{D_1} \\ m_2 &= \frac{m_o}{\sqrt{p_2}} = m_o \sqrt{D_2} \\ &\vdots \\ m_n &= \frac{m_o}{\sqrt{p_n}} = m_o \sqrt{D_n} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{VIII}$$

Beispiele. a) Für gleiche Genauigkeit. Die Hauptstationen eines Längennivellements von 400 m Länge in Abständen von 100 m wurden doppelt nivelliert und erhalten:

$$\begin{aligned} g_1 &= \begin{cases} + 5.643 \text{ m} \\ - 5.648 \text{ ,,} \end{cases} & g_3 &= \begin{cases} + 3.647 \text{ m} \\ - 3.640 \text{ ,,} \end{cases} \\ g_2 &= \begin{cases} + 2.712 \text{ m} \\ - 2.709 \text{ ,,} \end{cases} & g_4 &= \begin{cases} + 10.346 \text{ m} \\ - 10.351 \text{ ,,} \end{cases} \end{aligned}$$

Es erweist sich am praktischesten, wenn die Ausgleichung tabellarisch geführt wird.

Nr.	Gegebenes Gefälle	Mittel der Doppelnivellements	d	dd	Mittlerer Nivellementfehler m	Anmerkung
	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>		<i>m</i>	
1	+ 5.643 - 5.648	5.6455	0.005	0.000025	0.0035	Mittlere Differenz: $d = \sqrt{\frac{[dd]}{n}} = \pm 0.0052 \text{ m.}$
2	+ 2.712 - 2.709	2.7105	0.003	— 09	— 21	Mittlerer Fehler eines einfachen Nivellements: $m = \sqrt{\frac{[dd]}{2n}} = \pm 0.0037 \text{ m.}$
3	+ 3.647 - 3.640	3.6435	0.007	— 49	— 50	Der mittlere Fehler des Mittels eines Doppelnivellements: $\mu = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[dd]}{n}} = \pm 0.0026 \text{ m.}$
4	+ 10.346 - 10.351	10.3485	0.005	— 25	— 35	Der mittlere Fehler eines einfachen Nivellements für 1 km: $m_k = \sqrt{\frac{[dd]}{2n}} \sqrt{\frac{1000}{400}} = \pm 0.0058 \text{ m.}$
			$[dd] = 0.000108$			

b) Für ungleiche Genauigkeit. Ein konkretes Doppelnivellement mit ungleichen Streckenlängen ist auszugleichen; die gegebenen Größen und die erforderliche Ausgleichsrechnung sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Nr.	Gegebene Größen		Mittel der Doppel-nivellements	d	dd	$p = \frac{1}{D}$	$\frac{dd}{D}$	d_o, m_o, m_k	$m_n = m_o \sqrt{D_n}$
	D	g							
	m	m	m	m					mm
1	420	$\begin{cases} + 2\cdot612 \\ - 2\cdot619 \end{cases}$	$+ 2\cdot6155$	7×10^{-3}	49×10^{-6}	$2\cdot38 \times 10^{-3}$	117×10^{-9}		5.7
2	280	$\begin{cases} + 12\cdot497 \\ - 12\cdot501 \end{cases}$	$+ 12\cdot5005$	7 "	49 "	3.57 "	175 "	$d_o = \sqrt{\frac{[dd]}{n}}$	4.6
3	640	$\begin{cases} - 1\cdot612 \\ + 1\cdot620 \end{cases}$	$- 1\cdot6160$	8 "	64 "	1.56 "	100 "		$= \pm 0\cdot392 mm$
4	190	$\begin{cases} + 2\cdot794 \\ - 2\cdot801 \end{cases}$	$+ 2\cdot7975$	7 "	49 "	5.25 "	258 "	$m_o = \frac{d_o}{\sqrt{2}}$	3.8
5	840	$\begin{cases} - 19\cdot460 \\ + 19\cdot470 \end{cases}$	$- 19\cdot4650$	10 "	100 "	1.19 "	119 "	$= \pm 0\cdot277 mm$	9.1
						$[\frac{dd}{D}] = 769 \times 10^{-9}$		$m_k = m_o \sqrt{1000}$ $= \pm 8\cdot75 mm$	

154. **Ausgleichung von interpolierten Punkten.** Zwei Punkte A und B sind in Bezug auf ihre Höhe bekannt, das Gefälle G ist gegeben; es sind dies vielleicht zwei Punkte eines Präzisionsnivellements, zwei Punkte eines bereits ausgeglichenen Nivellements. Man hat zwischen den beiden Punkten andere 1, 2, ... durch ein Nivellement festgelegt, wobei auch die gegebenen Punkte in das Nivellement einbezogen wurden. Es soll nun mit Benützung des bekannten Gefalles G eine Ausgleichung der Koten der Punkte 1, 2, ... vorgenommen werden.

Die Punkte 1, 2, ... sind als interpolierte Punkte zu betrachten; das Nivellement zwischen $A, 1, 2, \dots B$ kann ein einfaches oder ein Doppelnivellement sein. Ehe an die Interpolationsausgleichung geschritten wird, müssen die Einzelgefälle berechnet vorliegen.

Sind die Gefälle der einzelnen Punkte, auf A bezogen,

$$g_1, g_2, g_3, \dots, g_n,$$

so wird die Bedingung erfüllt werden müssen:

$$G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n = [G] = G \dots \dots \dots 6)$$

Da diese theoretische Bedingungsgleichung nicht streng erfüllt wird, so ergibt sich ein Widerspruch:

$$G - [g] = \Delta G, \dots \dots \dots 7)$$

welcher auf die einzelnen Gefälle aufzuteilen ist.

Nennen wir die Korrekturen, welche die ermittelten Gefälle

	$g_1, g_2, g_3, \dots, g_n$
der nivellierten Strecken	$D_1, D_2, D_3, \dots, D_n$
erhalten:	$\Delta g_1, \Delta g_2, \Delta g_3, \dots, \Delta g_n,$

so bestehen für diese die Beziehungen:

$$\text{und } \left. \begin{aligned} \Delta g_1 + \Delta g_2 + \Delta g_3 + \dots + \Delta g_n &= \Delta G \\ \Delta g_1 : \Delta g_2 : \Delta g_3 : \dots : \Delta g_n &= D_1 : D_2 : D_3 : \dots : D_n \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 8)$$

Die einzelnen Korrekturen berechnen sich aus den vorstehenden zwei Relationen und es wird für sie und die ausgeglichenen Gefälle erhalten:

$$\left. \begin{aligned} \Delta g_1 &= \frac{\Delta G}{[D]} D_1 \dots G_1 = g_1 + \Delta g_1 \\ \Delta g_2 &= \frac{\Delta G}{[D]} D_2 \dots G_2 = g_2 + \Delta g_2 \\ &\dots \dots \dots \\ \Delta g_n &= \frac{\Delta G}{[D]} D_n \dots G_n = g_n + \Delta g_n \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{IX)}$$

Beispiel. Es sind gegeben, beziehungsweise durch Beobachtung erhalten worden

der Punkt *A* mit der Höhenkote 540·370 *m*

die Strecke *A1* = 413 *m* und ihr Gefälle $g_1 = 9\cdot620$ „
 „ „ 12 = 516 „ „ „ „ $g_2 = 16\cdot728$ „
 „ „ 13 = 320 „ „ „ „ $g_3 = 28\cdot479$ „
 „ „ 3*B* = 1043 „ „ „ „ $g_4 = 18\cdot741$ „

der Punkt *B* mit der Höhenkote 466·884 „

Hier ist $G = \left. \begin{aligned} 540\cdot370 \text{ m} \\ - 466\cdot884 \text{ „} \end{aligned} \right\} = 73\cdot486 \text{ m} \quad [g] = 73\cdot568 \text{ m},$

somit $\Delta G = G - [g] = \left. \begin{aligned} 73\cdot486 \text{ m} \\ - 73\cdot568 \text{ „} \end{aligned} \right\} = -0\cdot082 \text{ m} = -82 \text{ mm}.$

Die weitere Rechnung ist tabellarisch zusammengestellt.

Punkt	Gegebene Größen		Korrekturen		Ausgegliche Gefälle	Anmerkung
	Distanz	Gefälle	$\frac{\Delta G}{[D]}$	$\Delta g = \frac{\Delta G}{[D]} D$		
<i>A</i>	<i>km</i>		<i>mm</i>	<i>mm</i>		
<i>A</i>	0·413	+ 9·620		-14·8	+ 9·6052	
1	0·516	+ 16·728	-35·8	-18·5	+ 16·7095	
2	0·320	+ 28·479		-11·4	+ 28·4676	
3	1·043	+ 18·741		-37·3	+ 18·7037	
<i>B</i>	2·292	+ 73·568		-82·0	+ 73·4860	
	[<i>D</i>]	[<i>g</i>]		ΔG	<i>G</i>	
Kontrollen.						

Ausgleichung von Nivellementschleifen.

155. Bei größeren Nivellements werden die nivellierten Strecken so geführt, daß sie die Seiten eines geschlossenen Polygons bilden. Die einzelnen ge-

geschlossenen Polygone heißen Nivellementschleifen oder -polygone. Jede Schleife besteht aus einer mehr oder minder großen Zahl von Stationen. Wenn man die Gefälle in jeder Schleife algebraisch addiert, so soll die Summe Null geben; in der Regel wird dies nicht der Fall sein, sondern es bleibt ein gewisser Schlußfehler, Widerspruch, der durch die Ausgleichsrechnung zu beheben ist.

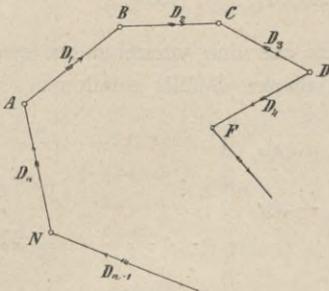


Fig. 110.

Nennen wir in dem Polygone $AB \dots N$ (Fig. 110) die Seitenlängen D_1, D_2, \dots, D_n , die ermittelten Gefälle der einzelnen Seiten g_1, g_2, \dots, g_n , so handelt es sich um eine Ausgleichung dieser Gefälle, wenn ihre Summe nicht Null gibt, wie es die Theorie fordert.

Sind die wahren (ausgeglichenen) Gefälle in den Polygonseiten

$$G_1, G_2, \dots, G_n,$$

so besteht die Bedingungsgleichung:

$$G_1 + G_2 + \dots + G_n = 0; \dots \dots \dots 9)$$

führt man hier statt G die bestimmten Gefälle g ein, so erhalten wir:

$$\text{Widerspruchsgleichung } g_1 + g_2 + \dots + g_n = w = [g], \dots \dots \dots 10)$$

und wenn die wahren, respektive ausgeglichenen Gefälle $G = g + v$ hier eingeführt werden, so wird die Fehlergleichung

$$v_1 + v_2 + \dots + v_n + w = 0 \dots \dots \dots 11)$$

gewonnen.

Die eine Normalgleichung für die Korrelate k lautet nach Band I, Nr. 39:

$$\left[\frac{aa}{p} \right] k + w = 0 \dots \dots \dots 12)$$

Da nun nach Band II, Nr. 148, für die Gewichte die Beziehung besteht:

$$p_1 = \frac{1}{D_1}, p_2 = \frac{1}{D_2}, \dots, p_n = \frac{1}{D_n} \dots \dots \dots 13)$$

und $a_1 = a_2 = \dots = a_n = 1$ ist, so hat man:

$$\left[\frac{aa}{p} \right] = \frac{1}{p_1} + \frac{1}{p_2} + \dots + \frac{1}{p_n} = D_1 + D_2 + \dots + D_n = U \dots \dots 14)$$

dem Umfange des Polygons, respektive der Schleife, und die Normalgleichung 12) nimmt die Form an:

$$U \cdot k + w = 0, \dots \dots \dots 15)$$

aus welcher die Korrelate

$$k = -\frac{w}{U} \dots \dots \dots 16)$$

berechnet wird; sie stellt die Verbesserung für die Längeneinheit dar.

Nun ergeben sich die Verbesserungen nach Band I, Nr. 39, mit:

$$\left. \begin{aligned} v_1 &= \frac{a_1}{p_1} k = D_1 \cdot k \\ v_2 &= \frac{a_2}{p_2} k = D_2 \cdot k \\ &\vdots \\ v_n &= \frac{a_n}{p_n} k = D_n \cdot k \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{X)}$$

und die ausgeglichenen Gefälle lauten:

$$\left. \begin{aligned} G_1 &= g_1 + v_1 = g_1 + D_1 \cdot k \\ G_2 &= g_2 + v_2 = g_2 + D_2 \cdot k \\ &\vdots \\ G_n &= g_n + v_n = g_n + D_n \cdot k \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{XI)}$$

Will man den mittleren Fehler der Gewichtseinheit, hier, wo die Distanzen in Kilometern ausgedrückt wurden, den mittleren Fehler für ein Kilometer, so ist

$m = \sqrt{\frac{[\hat{p} v v]}{r}}$, wobei $r = 1$ ist, zu bestimmen.

Beispiel. In einer Nivellementschleife, einem Polygone von vier Seiten, betragen

$D_1 = 1.224 \text{ km}$	$g_1 = -40.123 \text{ m}$
$D_2 = 0.310 \text{ „}$	$g_2 = -13.820 \text{ „}$
$D_3 = 0.387 \text{ „}$	$g_3 = -1.324 \text{ „}$
$D_4 = 0.961 \text{ „}$	$g_4 = +55.204 \text{ „}$

Daher ist $U = 2.882 \text{ km}$ $w = [g] = \begin{matrix} + 55.204 \\ - 55.267 \end{matrix} \left\{ \begin{matrix} = -0.063 \text{ m} = -63 \text{ mm} \end{matrix} \right.$

und es ergibt sich

$$k = -\frac{w}{U} = -\frac{-63 \text{ mm}}{2.882} = +21.9 \text{ mm};$$

weilers resultieren die Verbesserungen und ausgeglichenen Gefälle mit:

$v_1 = D_1 \cdot k = +26.8 \text{ mm}$	$G_1 = g_1 + v_1 = -40.123$	$\left. \begin{matrix} + 26.8 \\ + 68 \\ + 84 \\ + 21.0 \end{matrix} \right\} m = -40.0962 \text{ m}$
$v_2 = D_2 \cdot k = +6.8 \text{ „}$	$G_2 = g_2 + v_2 = -13.820$	$\left. \begin{matrix} + 68 \\ + 84 \end{matrix} \right\} \text{ „} = -13.8132 \text{ „}$
$v_3 = D_3 \cdot k = +8.4 \text{ „}$	$G_3 = g_3 + v_3 = -1.324$	$\left. \begin{matrix} + 84 \\ + 21.0 \end{matrix} \right\} \text{ „} = -1.3156 \text{ „}$
$v_4 = D_4 \cdot k = +21.0 \text{ „}$	$G_4 = g_4 + v_4 = +55.204$	$\left. \begin{matrix} + 21.0 \end{matrix} \right\} \text{ „} = +55.2250 \text{ „}$
$[v] = -w = +63.0$	$[G] =$	$= 0.000$

Der mittlere Fehler für ein Kilometer folgt nach Berechnung von

$$\begin{array}{rcl}
 v_1^2 = 718 & p_1 v_1^2 = \frac{v_1^2}{D_1} = 587 & \\
 v_2^2 = 46 & p_2 v_2^2 = \frac{v_2^2}{D_2} = 149 & \\
 v_3^2 = 71 & p_3 v_3^2 = \frac{v_3^2}{D_3} = 182 & \\
 v_4^2 = 441 & p_4 v_4^2 = \frac{v_4^2}{D_4} = 459 & \\
 & \hline
 [p v v] = & 1377 & \\
 \text{aus } m = \sqrt{\frac{[p v v]}{r}} = \sqrt{\frac{1377}{1}} = \pm 37.1 \text{ mm.} & &
 \end{array}$$

Ausgleichung von Nivellementnetzen.

156. Werden Nivellementschleifen oder -polygone derart miteinander verbunden, daß gemeinsam nivellierte Seiten vorkommen, so entsteht ein Nivellementnetz. Da die Schleifen schon für sich Bedingungsgleichungen liefern und durch gemeinsame Seiten weitere Bedingungen entstehen, so liegt eine Ausgleichung von bedingten Beobachtungen vor. Ob nun diese nach vermittelnden oder bedingten Beobachtungen (Korrelaten) vorzunehmen ist, zeigt die folgende Untersuchung.

Wenn p die Punktzahl des Netzes ist, so reichen $(p - 1)$ unabhängige Seitennivellements aus, um die Höhen der Netzpunkte gegeneinander festzulegen; hat man aber im ganzen q Seiten des Netzes nivelliert, wobei $q > (p - 1)$ ist, so liegen überschüssige Nivellements vor und die Differenz

$$B = q - (p - 1) = q - p + 1 \dots\dots\dots \text{XII}$$

gibt die Anzahl der unabhängigen Bedingungsgleichungen des Netzes.

Bei der Auflösung nach bedingten Beobachtungen (Korrelaten) werden $(q - p + 1)$ Normalgleichung aufzulösen sein. Wird nach vermittelnden Beobachtungen ausgeglichen, so können sämtliche q nivellierten Strecken durch $(p - 1)$ Höhenunterschiede als Unbekannte gegen einen Ausgangspunkt bestimmt werden; es ist $(p - 1)$ die Anzahl der Fehlergleichungen und damit der $(p - 1)$ unabhängigen Unbekannten. Die Anzahl der aufzulösenden Gleichungen ist der Anzahl der unabhängigen Unbekannten gleich, also $(p - 1)$.

Von der Beziehung $q - (p - 1) \begin{matrix} \geq \\ \leq \end{matrix} (p - 1)$ oder $q \begin{matrix} \geq \\ < \end{matrix} 2(p - 1)$ hängt die Wahl der Ausgleichungsmethode ab; ist $q > 2(p - 1)$, so wird man nach vermittelnden Beobachtungen, und wenn $q < 2(p - 1)$ ist, nach Korrelaten die Ausgleichung vornehmen; für $q = 2(p - 1)$ bleibt die Mühe bei der Ausgleichung beider Methoden ungefähr die gleiche.

In den meisten Fällen wird man die Korrelatenmethode vorziehen, weil sie durchgreifende Rechenproben bietet und zum Schlusse unmittelbar alle Höhen widerspruchsfrei liefert; die Auflösung nach vermittelnden Beobachtungen wird günstiger, wenn die Zahl der nivellierten Seiten sehr groß ist.

157. Es seien (Fig. 111) $ABCA$, $ACDEA$ und $AEFGA$ die drei Nivellementschleifen: I, II, III. Die Strecken $AB = D_1$, $BC = D_2, \dots$ (mit 1, 2, ... bezeichnet) bestehen aus einer größeren Anzahl von Nivellementstationen; der Zug des Nivellements mit den Stationen ist der Einfachheit wegen in der Figur nicht eingezeichnet, sondern nur bei BC punktiert angedeutet.

Die Richtungen der geführten Nivellements sind in der Figur durch Pfeile angegeben, so daß man in jeder Schleife wieder zum Ausgangspunkte zurückkehrt, also eine Bedingungsgleichung $[G] = 0$ für jede Schleife aufgestellt werden kann. Hierbei ist es nicht notwendig, daß die zwei angrenzenden Schleifen gemeinsamen Seiten (z. B. 3 gemeinsam für die Schleife I und II, 6 für II und III) zweimal nivelliert werden, da die Gefälle dieser Seiten mit ihren richtigen Zeichen auch für die angrenzenden Schleifen benützt werden können. Werden aber diese gemeinschaftlichen Seiten oder aber alle andern doppelt, dreifach, ... nivelliert, so wird selbstverständlich die Genauigkeit der Arbeit gesteigert und man hat in der Rechnung Gewichte oder die entsprechenden neu entstehenden Bedingungsgleichungen einzuführen.

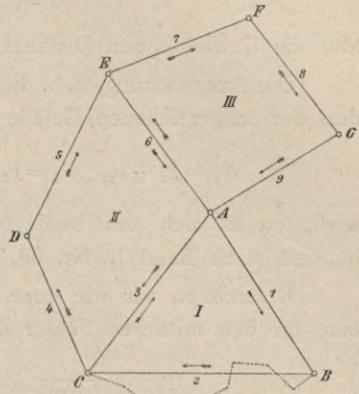


Fig. 111.

Bezeichnen wir mit

- $D_1, D_2, D_3, \dots, D_9$ die Längen der nivellierten Strecken in Kilometern,
- $g_1, g_2, g_3, \dots, g_9$ die Gesamtgefälle der nivellierten Strecken,
- $v_1, v_2, v_3, \dots, v_9$ die Verbesserungen der Seitengefälle,
- $G_1, G_2, G_3, \dots, G_n$ die fehlerfreien (ausgeglichenen) Gefälle der einzelnen Seiten und mit
- w_1, w_2 und w_3 die Widersprüche in den einzelnen Schleifen, so lauten

die Bedingungsgleichungen

$$\left. \begin{aligned} G_1 + G_2 + G_3 &= 0 \\ -G_3 + G_4 + G_5 + G_6 &= 0 \\ -G_6 + G_7 + G_8 + G_9 &= 0 \end{aligned} \right\},$$

die Widerspruchsgleichungen: daher die Fehlergleichungen:

$$\left. \begin{aligned} g_1 + g_2 + g_3 &= w_1 \\ -g_3 + g_4 + g_5 + g_6 &= w_2 \\ -g_6 + g_7 + g_8 + g_9 &= w_3 \end{aligned} \right\}, \quad \left. \begin{aligned} v_1 + v_2 + v_3 + w_1 &= 0 \\ -v_3 + v_4 + v_5 + v_6 + w_2 &= 0 \\ -v_6 + v_7 + v_8 + v_9 + w_3 &= 0 \end{aligned} \right\}.$$

Da nach Band II, Nr. 148, die mittleren Fehler eines Nivellements aus der Mitte bei gleich langen Zielweiten, welche bei Präzisionsnivellements stets

eingehalten werden, der Quadratwurzel aus den nivellierten Distanzen proportional sind, so hat man für die Gewichte:

$$p_1 = \frac{1}{D_1}, p_2 = \frac{1}{D_2}, \dots p_9 = \frac{1}{D_9},$$

also die Gewichte den Distanzen umgekehrt proportional zu setzen.

Die Ausgleichung, d. h. die Bestimmung der Verbesserungen $v_1, v_2, v_3, \dots v_9$ und der ausgeglichenen Gefälle

$$G_1 = g_1 + v_2, \quad G_2 = g_2 + v_2, \quad G_3 = g_3 + v_3, \dots G_9 = g_9 + v_9 \dots \text{XIII}$$

wird, da es sich um bedingte Beobachtungen von ungleicher Genauigkeit handelt, nach Band I, Nr. 39, vorgenommen.

Bezeichnen wir wie dort die Anzahl der Unbekannten mit r , so erhält man für den mittleren Fehler der Gewichtseinheit:

$$m = \sqrt{\frac{[p v v]}{r}} = \sqrt{\frac{1}{r} \left(\frac{v_1^2}{D_1} + \frac{v_2^2}{D_2} + \frac{v_3^2}{D_3} + \dots + \frac{v_9^2}{D_9} \right)} \dots \text{XIV}$$

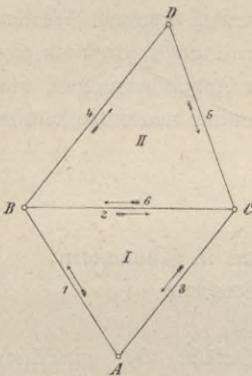


Fig. 112.

Da m der mittlere Fehler in der Beobachtung vom Gewichte 1 ist, wobei also $P = \frac{1}{D} = 1$ oder $D = 1$ ist, und da alle Distanzen in Kilometern verstanden werden, so ist m der mittlere Fehler im Nivellement für ein Kilometer (mittlerer Kilometerfehler).

Numerisches Beispiel. Mit einem größeren Kernschen Nivellementsinstrumente der Lehrkanzel für Geodäsie an der k. k. Technischen Hochschule in Graz wurden von dem damaligen Assistenten der Grazer Technischen Hochschule und verstorbenen Professor der Technischen Hochschule in Wien Rudolf Peithner von Lichtenfels zwei Schleifen $ABCA$ und $BDCB$ (Fig. 112) nivelliert und folgende Werte erhalten:

Erste Schleife	$\left\{ \begin{array}{l} \text{von } A \text{ nach } B \text{ Länge } D_1 = 1.00 \text{ km} \dots g_1 = + 3.708 \text{ m} \\ \text{'' } B \text{ '' } C \text{ '' } D_2 = 0.45 \text{ '' } \dots g_2 = - 1.124 \text{ ''} \\ \text{'' } C \text{ '' } A \text{ '' } D_3 = 1.20 \text{ '' } \dots g_3 = - 2.579 \text{ ''} \end{array} \right\}$	Arbeitszeit: 4 Stunden.			
			Zweite Schleife	$\left\{ \begin{array}{l} \text{von } B \text{ nach } D \text{ Länge } D_4 = 2.10 \text{ km} \dots g_4 = - 14.068 \text{ m} \\ \text{'' } D \text{ '' } C \text{ '' } D_5 = 1.55 \text{ '' } \dots g_5 = + 12.952 \text{ ''} \\ \text{'' } C \text{ '' } B \text{ '' } D_6 = 0.45 \text{ '' } \dots g_6 = + 1.125 \text{ ''} \end{array} \right\}$	Arbeitszeit: 6 Stunden.

Die Anschlußstrecke BC wurde zweimal nivelliert; das Gewicht des arithmetischen Mittels aus 1.124 und 1.125, d. i. 1.1245, wird doppelt so groß sein müssen, als wenn die Strecke einfach nivelliert worden wäre, da der mittlere Fehler des Mittels $\frac{m}{\sqrt{2}}$ ist, wenn m den mittleren Fehler einer einfach nivellierten Strecke darstellt. Das Gefälle 1.1245 hat nicht das Gewicht $\frac{1}{D_2}$, sondern $\frac{2}{D_2}$.

Wir haben:

Widersprüche:

Gewichte:

$$\text{Erste Schleife } \left\{ \begin{array}{l} g_1 = + 3\cdot7080 \\ g_2 = - 1\cdot1245 \\ g_3 = - 2\cdot5790 \end{array} \right\} w_1 = + 0\cdot0045 \quad \left\{ \begin{array}{l} p_1 = \frac{1}{D_1}, \frac{1}{p_1} = D_1 = 1\cdot00 \\ p_2 = \frac{2}{D_2}, \frac{1}{p_2} = \frac{D_2}{2} = 0\cdot225 \\ p_3 = \frac{1}{D_3}, \frac{1}{p_3} = D_3 = 1\cdot2 \end{array} \right.$$

$$\text{Zweite Schleife } \left\{ \begin{array}{l} g_4 = - 14\cdot0680 \\ g_5 = + 12\cdot9520 \\ g_6 = + 1\cdot1245 \end{array} \right\} w_2 = + 0\cdot0085 \quad \left\{ \begin{array}{l} p_4 = \frac{1}{D_4}, \frac{1}{p_4} = D_4 = 2\cdot1 \\ p_5 = \frac{1}{D_5}, \frac{1}{p_5} = D_5 = 1\cdot55 \\ p_6 = \frac{2}{D_6}, \frac{1}{p_6} = \frac{D_6}{2} = 0\cdot225 \end{array} \right.$$

Nun können aufgestellt werden:

Bedingungsgleichungen:

Widerspruchsgleichungen:

$$\begin{aligned} G_1 + G_2 + G_3 &= 0 \\ G_4 + G_5 - G_2 &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g_1 + g_2 + g_3 &= + 0\cdot0045 \\ g_4 + g_5 - g_2 &= + 0\cdot0085 \end{aligned}$$

und die Fehlergleichungen:

$$\left. \begin{array}{l} v_1 + v_2 + v_3 = - 0\cdot0045 \\ v_4 + v_5 - v_2 = - 0\cdot0085 \end{array} \right\} \text{ von der allgemeinen Form } \left\{ \begin{array}{l} a_1 v_1 + a_2 v_2 + \dots + a_5 v_5 = - w_1, \\ b_1 v_1 + b_2 v_2 + \dots + b_5 v_5 = - w_2. \end{array} \right.$$

Die weitere Rechnung folgt in tabellarischer Zusammenstellung.

Nr.	a	b	$\frac{1}{p}$	$\frac{aa}{p}$	$\frac{ab}{p}$	$\frac{bb}{p}$	$\frac{a}{p} k_1$	$\frac{b}{p} k_2$	v	$p v v$
1	+1	.	1\cdot000	1\cdot000	.	.	$\times 10^{-3}$ -2\cdot1	$\times 10^{-3}$.	$\times 10^{-3}$ -2\cdot1	$\times 10^{-6}$ 4\cdot41
2	+1	-1	0\cdot225	0\cdot225	-0\cdot225	0\cdot225	-0\cdot5	+0\cdot5	0\cdot0	0\cdot00
3	+1	.	1\cdot200	1\cdot200	.	.	-2\cdot4	.	-2\cdot4	4\cdot80
4	.	+1	2\cdot100	.	.	2\cdot100	.	-4\cdot9	-4\cdot9	11\cdot43
5	.	+1	1\cdot550	.	.	1\cdot550	.	-3\cdot6	-3\cdot6	8\cdot36
				2\cdot425	-0\cdot225	3\cdot875				29\cdot00

Die Normalgleichungen lauten:

$$\left. \begin{array}{l} 2\cdot425 k_1 - 0\cdot225 k_2 = - 0\cdot0045 \\ - 0\cdot225 k_1 + 3\cdot875 k_2 = - 0\cdot0085 \end{array} \right\}$$

woraus folgt:

$$\left. \begin{array}{l} k_1 = - 0\cdot0021 \\ k_2 = - 0\cdot0023 \end{array} \right\}$$

Kontrollen geben die Fehlergleichungen:

$$\begin{array}{rcl}
 v_1 = -2.1 \times 10^{-3} & & -v_2 = 0.0 \times 10^{-3} \\
 v_2 = 0.0 & & +v_4 = -4.9 \\
 v_3 = -2.4 & & +v_5 = -3.6 \\
 \hline
 v_1 + v_2 + v_3 = -4.5 \times 10^{-3} = -w_1 & & -v_2 + v_3 + v_5 = -8.5 \times 10^{-3} = -w_2
 \end{array}$$

Bringt man nun die Verbesserungen an die beobachteten Gefälle an, so ergeben sich die ausgeglichenen Gefälle:

$$\begin{array}{rcl}
 g_1 = +3.7080 & g_2 = -1.1245 & g_3 = -2.5790 & g_4 = -14.0680 & g_5 = +12.9520 \\
 v_1 = -21 & v_2 = 00 & v_3 = -24 & v_4 = -49 & v_5 = -36 \\
 \hline
 G_1 = +3.7059 m, G_2 = -1.1245 m, G_3 = -2.5814 m, G_4 = -14.0729 m, G_5 = +12.9484 m.
 \end{array}$$

Zur Kontrolle müssen hier:

$$\begin{array}{rcl}
 \left. \begin{array}{l} G_1 = +3.7059 \\ G_2 = -1.1245 \\ G_3 = -2.5814 \end{array} \right\} & \text{und} & \begin{array}{l} G_4 = -14.0729 \\ G_5 = +12.9484 \\ -G_2 = +1.1245 \end{array} \\
 \hline
 G_1 + G_2 + G_3 = 0.0000 & & G_4 + G_5 - G_2 = 0.0000 \quad \text{geben.}
 \end{array}$$

Um den mittleren Fehler für ein Kilometer zu bestimmen, wird $[p v v] = \left[\frac{v v}{D} \right]$ in vorstehender Tabelle berechnet, wobei, um viele Dezimalstellen zu vermeiden, die v in Millimetern ausgedrückt werden. Wir erhalten, da $r=2$ die Anzahl der Korrelaten bedeutet:

$$m = \sqrt{\frac{[p v v]}{r}} = \sqrt{\frac{1}{2} 29} = \pm 3.8 \text{ mm.}$$

Literatur zu „Nivellieren“.

1. Amsler: „Neues Nivellierinstrument von Amsler-Laffon“ in Dinglers Polytechnischem Journale, Band CLIII, 1859.
2. Decher: „Neues Nivellierinstrument“, München 1890.
3. Duplessis: Traité du nivellement, Paris 1877.
4. Hartl: Höhenmessungen des Mappeurs, 2. Auflage, Wien 1884.
5. Hogrewe: Praktische Anweisung zum Nivellieren, Hannover 1800.
6. Instructions préparées par le comité du nivellement (de la France) pour les opérations sur le terrain, Paris 1889.
7. Kummer: „Genauigkeit der Abschätzung mittels Nivellierlatten“ in der Zeitschrift für Vermessungswesen, 1894 und 1897.
8. Leo: Theoretisch-praktische Anleitung zum Nivellieren, Weimar 1846.
9. Lorber: „Über die Verwendung der Tangentialschraube in der Tachymetrie“ in der Wochenschrift des Österreichischen Ingenieur- und Architektenvereines in Wien, 1881.
10. v. Nießl: Untersuchungen über die Genauigkeit des Nivellierens und Distanzmessens nach der Stampferschen Methode, Brünn 1864.
11. Reinhertz: Mitteilungen einiger Beobachtungen über die Schätzungsgenauigkeit an Maßstäben, insbesondere an Nivellierlatten, Halle a. S. 1894.

12. **Schell**: „Über die Bestimmung der Konstanten der Winkelgleichung des Stampferschen Nivellierinstrumentes“ in der Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur- und Architektenvereines, 1872.
13. **Stampfer**: Das Nivellieren, 9. neubearbeitete Auflage der „Theoretischen und praktischen Anleitung zum Nivellieren“ von F. Lorber, Wien 1894.
14. **Stampfer-Doležal**: Theoretische und praktische Anleitung zum Nivellieren, 10. Auflage, Wien 1902.
15. **Vogler**: „Die Tangentenkippschraube“ in der Zeitschrift für Vermessungswesen, 1891.
16. **Wagner**: „Über Schätzungsgenauigkeit an Nivellier- und Distanzskalen“ in der Zeitschrift für Vermessungswesen, 1896.

Abhandlungen zu verschiedenen Kapiteln des Nivellierens sind in den verschiedenen Jahrgängen der Zeitschrift für Vermessungswesen u. s. w. zu finden.

§ 13. Das Präzisionsnivellement.

158. Die „Internationale Vereinigung der europäischen Gradmessung“ hat beschlossen, in den verschiedenen bei der Gradmessung beteiligten Ländern längs der Eisenbahnen und Landstraßen genaue Nivellements, Präzisionsnivellements, auszuführen, welche die Bestimmung haben, die Küsten Europas zu verbinden und in allen Ländern des Kontinentes eine große Anzahl von dauerhaften, genau einnivellierten Marken als Grundlagen für die Höhenmessungen zu schaffen. Da nun festgestellt wurde, daß ein sehr genau ausgeführtes geometrisches Nivellement eine größere Genauigkeit gewährt als das trigonometrische Höhenmessen, so wurde beschlossen, das geometrische Nivellieren beim Präzisionsnivellement in Anwendung zu bringen.

Das Präzisionsnivellement unterscheidet sich von dem gewöhnlichen geometrischen Nivellieren nur dadurch, daß dabei ganz vorzügliche Instrumente und Latten verwendet werden und der Vorgang beim Nivellieren so eingerichtet ist, daß durch die besondere Lattenbestimmung sowie durch die Wiederholung der Beobachtungen eine genügende Kontrolle und ein größerer Grad der Genauigkeit erreicht werden.

Obwohl in den einzelnen Staaten verschiedene Methoden angewendet werden, um diesen letzteren Zweck zu erreichen, so sind doch gewisse allgemein angenommene Grundsätze aufgestellt worden (in der zweiten allgemeinen Konferenz der internationalen Gradmessung 1867); sie lauten:

1. Die praktische Ausführung des Nivellements soll nach der Methode des „Nivellierens aus der Mitte“ erfolgen; hiebei soll, wie es die Theorie fordert, der Instrumentstandpunkt, die Station, in der Mitte zwischen den Lattenaufstellungspunkten sich befinden, wobei es genügt, die Entfernung vom Instrumente zur Latte durch Abschreiten zu bestimmen; hiedurch werden die Krümmung der Erde und die Refraktion, ja selbst ein in der Parallelstellung der Haupttangente an der Marke zur Visierlinie und andere zurückgebliebene Fehler der Rektifikation ohne Einfluß bleiben.

2. Die Zielweite soll im Mittel 50 *m*, nie aber mehr als 100 *m* betragen.
3. Die Ablesungen an der Latte sollen außer an dem Mittelfaden noch an mehreren Parallelfäden erfolgen, um aus dem Mittel derselben eine genauere Lattenhöhe für den Mittelfaden zu erhalten.
4. Die Nivellierlatte soll entweder mittels eines Lotes oder einer an der Latte angebrachten Dosenlibelle oder mit Hilfe von Kreuzlibellen vertikal gestellt werden können.
5. Die Latten sollen stets auf eine solide Unterlage, am besten eine eigene Fußplatte aus Metall, den sogenannten Frosch, aufgestellt werden, um ein Einsinken zu vermeiden.
6. Die verwendeten Nivellierlatten sollen in Bezug auf ihre Teilungsfehler untersucht und ihre absolute Korrektur durch Lattenvergleiche festgestellt sein; auch hat man die Temperatur und Feuchtigkeit der Luft zu berücksichtigen.
7. Der mittlere Fehler für ein Kilometer soll im allgemeinen ≤ 4 bis 5 *mm* sein, jedoch den Betrag von 7 bis 8 *mm* nicht überschreiten.
8. Zwecks erwünschter Kontrollen sollen Polygonabschlußnivellements, Schleifen ausgeführt werden, wobei jede Seite wenigstens doppelt nivelliert werden soll.
9. Die Höhenmarken sollen gut versichert werden und das Höhennetz soll sich auf einen unverrückbaren, versicherten Nullpunkt beziehen, bei dem zufolge der geologischen Verhältnisse keine Änderung durch Hebung und Senkung des Bodens zu befürchten ist.

Die Nivellierinstrumente, welche in der Praxis des Präzisionsnivellements im Gebrauche stehen, gehören zu den feinsten Konstruktionen der Nivellierapparate. Der optische Teil muß ganz vorzüglich sein, die Nivellierlibellen sehr empfindlich und dann ist auch dafür Sorge zu tragen, daß durch Drehbarkeit und Umlegbarkeit des Fernrohres, durch Beobachtungsmethoden und andere Mittel die Instrumentalfehler kompensiert und eine große Schärfe in der Bestimmung der Lattenhöhe gewährleistet wird.

Die Nivellierlatten, welche für Zwecke des Präzisionsnivellements konstruiert wurden, sollen vor Ablesefehlern schützen, für die Lattenhöhenbestimmung eine erwünschte Kontrolle bieten und eine Erhöhung der Genauigkeit ermöglichen. Die Teilung dieser Latten soll mit großer Sorgfalt durchgeführt sein.

In dem Bestreben, diesen Bedingungen zu entsprechen, sind entstanden:

- a) Nivellierlatten mit dekadischer Ergänzung, welche eine Teilung mit doppelter Bezifferung, und
- b) Wende- oder Reversionslatten, welche zwei gegeneinander verschobene Teilungen auf der Vorder- und Rückseite besitzen.

Die Nivellierlatte mit dekadischer Ergänzung hat eine Teilung auf einer Seite, die als eine einfache oder doppelte Felderteilung ausgeführt wird und doppelt rechts und links beziffert ist, und zwar rechts von unten nach oben

und links von oben nach unten. Es werden stets zwei Lesungen gemacht, deren Summe konstant 100 ist; es bildet die Lesung auf einer Teilung die Ergänzung der zweiten zu 100, weshalb der Name „Latte mit dekadischer Ergänzung“ gerechtfertigt ist; es ist $L_1 + L_2 = 100$ oder $L_2 = 100 - L_1$ als Ergänzung zu 100.

Die Wende- oder Reversionslatte trägt zwei in derselben Richtung bezifferte Teilungen: die eine Teilung I auf der Vorder- und die zweite Teilung II auf der Rückseite der Latte; die Nullpunkte beider Teilungen sind um eine konstante Größe verschoben; die Differenz korrespondierender Lesungen der Lattenteilungen I und II ist konstant und gleich dem Abstände der Nullpunkte der Lattenteilungen. Die Drehung der Latte erfolgt um ihre Längsachse, beim Gebrauche eine vertikale Gerade.

Man kann sich aber auch eine Nivellierlatte denken, die beim Gebrauche durch Drehung um eine horizontale Gerade aus der einen Stellung in die zweite gebracht wird und dann wieder auf die Unterlagsplatte aufgesetzt wird. Wir nennen sie Drehlatte; sie kann mit einer oder zwei Teilungen versehen und als Nivellierlatte mit dekadischer Ergänzung oder als Wendelatte benützt werden. Es besteht zwischen den Lattenlesungen in normaler und gedrehter Lage bei Vorhandensein einer Teilung auf einer Seite die Beziehung $L_1 + L_2 = L$, eine konstante Länge.

Veränderlichkeit der Nivellierlatten. Die kleinsten Lattenintervalle sollen untereinander gleich sein, ebenso auch die Meterintervalle; es werden aber beide untereinander Differenzen zeigen. Der Mittelwert der effektiven Meterlängen der Latte heißt mittleres Lattenmeter und die Differenz gegen das wahre Meter die Lattenkorrektion.

Abgesehen von eventuell vorhandenen Teilungsfehlern bedingen die Temperatur und Feuchtigkeit der Luft namhafte Änderungen in der Lattenteilung, wobei der größere Teil der Änderungen dem Einflusse der Feuchtigkeit zufällt. Erfahrungsmäßig unterliegen hölzerne Latten Änderungen bis 0.5 mm auf das Meter.

Bei Präzisionsnivellements müssen diese Änderungen berücksichtigt werden; für jede in Verwendung stehende Latte muß das mittlere Lattenmeter und die tägliche Abweichung von demselben ermittelt und diese Änderung in Rechnung gezogen werden.

Zu feinen Nivellierungsarbeiten wird die Lattenkorrektion durch Vergleichung mit einem metallenen Metermaßstabe bestimmt; zu dem Behufe sind auf der Latte zwei sorgfältig angebrachte Marken vorhanden, deren Abstand täglich geprüft wird und dadurch die Lattenkorrektion liefert.

Um sich von dem Wechsel des Feuchtigkeitsgehaltes des Holzes und der dadurch verursachten Lattenänderungen unabhängig zu machen, hat man Teilungen auf Metall ausgeführt, Metalllatten; neben Aluminium und andern Metallen wurde in letzter Zeit der von Guillaume empfohlene Nickelstahl, eine Legierung von 36% Nickel und 64% Stahl wegen des äußerst geringen Ausdehnungskoeffizienten gerne verwendet.

Methoden der Beobachtung. Abgesehen von den verschiedenen Lattenkonstruktionen hat man auch nach Methoden gesucht, um Kontrollen während der Arbeit und Versicherungen gegen Ablesefehler zu gewinnen und um eine größere Genauigkeit in der Lattenhöhe zu erreichen; hiezu gehören:

1. Das Ablesen an mehreren Fäden, um die Ablesegenauigkeit zu erhöhen, wobei sich nebenbei auch die Zielweite optisch ergibt.
2. Das Nivellement mit „doppelten Anbindepunkten“, wobei von einem Standpunkte sowohl beim Rück- als Vorblicke an zwei Latten abgelesen wird und so eigentlich zwei Nivellierungszüge nebeneinander ausgeführt werden.

Dieses Verfahren wurde vom Professor Bauernfeind in Bayern beim Präzisionsnivellement eingeführt und dort auch vielfach ausgebildet.

3. Das Einstellen des Horizontalfadens auf die Mitte des kleinsten Lattenintervalles, weil die Ablesung und Schätzung in die Feldmitte die größte Sicherheit, beziehungsweise Genauigkeit gewährt.

Diese Methode ist bei der königlichen preußischen Abteilung der Landesaufnahme und im Geodätischen Institute zu Potsdam eingeführt.

4. Das Nivellieren mit geneigter Visierlinie und Reduktion derselben auf die Horizontale durch Bestimmung der Libellenausschläge.
5. Kombinierte Verfahren, z. B. Nivellieren mit geneigter Visierlinie, Ablesung der Libellenausschläge und Bestimmung der Lattenlesungen an drei Horizontalfäden.

Dieses Verfahren findet bei dem österreichischen Präzisionsnivellement (k. u. k. Militärgeographisches Institut) Anwendung.

159. Ausführung des Präzisionsnivellements. Die Fixpunkte, Höhenmarken, geben, miteinander verbunden, Nivellementzüge, welche sich längs der Reichsstraßen und Eisenbahnen hinziehen und geschlossene Polygone (Schleifen) von großer Ausdehnung bilden, die mit angrenzenden Nivellementpolygonen ein großes Netz, das Landeshöhennetz, bilden.

Die Nivellementzüge (Doppelnivellements), Schleifen und Netze sind mit großer Sorgfalt nivelliert und ausgeglichen.

Man spricht von Präzisionsnivellierungen I. und II. Ordnung; die ersteren schaffen die Höhenfixpunkte für ganze Länder und Staaten und geben mit den Höhenfixpunkten benachbarter Staaten das Höhennetzsystem für den ganzen Kontinent; diese Arbeiten vereinigt die „Internationale Erdmessung“.

Dem Präzisionsnivellement II. Ordnung gehören die Hauptnivellements für technische Zwecke: Eisenbahnbauten, Wasserstraßen u. s. w. an, die im Anschlusse an die Fixpunkte des Netzes I. Ordnung sehr genau gemacht und ausgeglichen werden.

Als Fehlergrenzen gelten die nachfolgend zusammengestellten Werte, wobei auch die zu beanspruchende Leistungsfähigkeit der Nivellierinstrumente angegeben ist, welche für die verschiedenen Nivellements benützt werden sollen.

Art des Nivellements	Fehlergrenzen für ein Kilometer	Leistungsfähigkeit des Nivellierinstrumentes	
		v'	γ
Präzisionsnivellement {	I. Ordnung $< 5 \text{ mm}$	30 — 40	4 — 6''
	II. Ordnung 5 bis 10 mm		
Längennivellement für technische Zwecke	10 bis 20 mm	20 — 30	6 — 15''
Nivellement für Querprofile und Schichten- aufnahmen	$> 20 \text{ mm}$	10 — 20	15 — 30''

Die Resultate des Präzisionsnivellements werden in selbständigen, meist offiziellen Publikationen der einzelnen Staaten bekanntgegeben, worin auch alles Nähere über die instrumentalen Hilfsmittel, die Methoden der Beobachtung, die erzielte Genauigkeit u. s. w. zu finden ist.

160. Das Präzisionsnivellierinstrument von Professor Schell. Professor Dr. A. Schell an der k. k. Technischen Hochschule in Wien hat die Vorteile der Doppelbelle verwertet und ein Nivellierinstrument mit

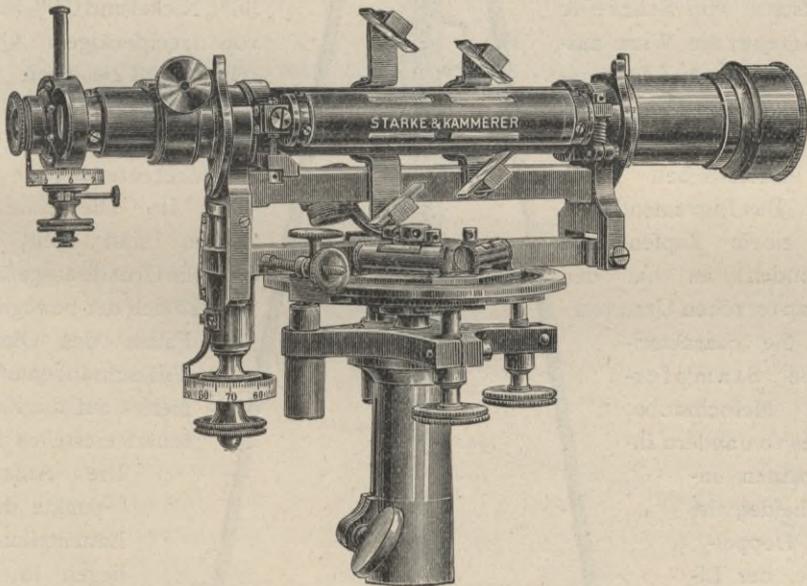


Fig. 113.

($\frac{1}{3}$ der natürlichen Größe.)

drehbarem Fernrohre, Doppelbelle und Okular-Filarschraubenmikrometer konstruiert, welches gestattet, durch Anwendung einer geistreichen Methode bei Bestimmung der Lattenhöhe das Schätzen in das kleinste Lattenintervall

zu eliminieren und durch eine Messung zu ersetzen. Die Methode der Beobachtung, welche bei dem neuen Verfahren der Lattenhöhenbestimmung eingehalten werden muß, bedingt eine Kompensation der sonst auftretenden Fehler. Eine Metallwendelatte gibt in Verbindung mit dem erwähnten Instrumente einen wahren Präzisionsnivellierapparat, den wir in Kürze besprechen werden.

Das Präzisionsnivellierinstrument (Fig. 113) welches in der mathematisch-mechanischen Werkstätte von Starke & Kammerer in Wien ausgeführt wurde, hat den typischen Bau der Nivellierinstrumente aus der genannten mechanischen Werkstätte. Das Instrument wird mit einem Zapfenstative verbunden; es hat den Stampferschen Unterbau und die charakteristische Stampfersche Meßschraube; was es von andern Instrumenten unterscheidet, ist die Doppellibelle, der Libellendoppelspiegel, ferner ein seitwärts vom Okulare angebrachtes Diopter, durch



Fig. 114.

(Etwa $\frac{1}{20}$ der natürlichen Größe.)

welches die Libellenblase im Libellenspiegel beobachtet wird, und ein Okular-Filarschraubenmikrometer, welches die übliche Einrichtung besitzt (I. Band, Nr. 144 *b*). Kreuzlibellen sind zum Zwecke der Horizontalstellung mit der Alhidade verbunden.

Die Nivellierlatte (Fig. 114) wurde in der mechanischen Werkstätte der Gebrüder Rudolf und August Rost in Wien ausgeführt; sie besteht aus einem 3,1 m langen prismatischen Stabe aus Nickelstahl (nach Guillaume 36% Nickel und 64% Stahl) von rechteckigem Querschnitte, 3 cm breit und 6 mm dick, welcher auf beiden Seiten mit einer Dezimeterzackenteilung versehen ist. Die einzelnen Zacken sind weiß auf dunkelm Grunde ausgeführt, so daß sich der bewegliche Faden des Okular-Filarschraubenmikrometers auf die Zacke scharf einstellen läßt.

Die Anfangspunkte der Lattenteilungen liegen in verschiedener Höhe, der eine ist mit 0 und der andere mit 30 beziffert, so daß diese Latte

als Wendelatte benützt werden kann. Um die Temperatur dieser Metallatte mit Sicherheit ermitteln zu können, ist sie mit einer Hülle umgeben, innerhalb welcher eine Temperatur herrscht, die der Temperatur des Metallstabes möglichst entspricht und an einem eingelegten Thermometer direkt abgelesen werden kann.

Die Latte besitzt Spreizen zur Stütze, Kreuzlibellen ermöglichen die Vertikalstellung und eine Unterlagsplatte schützt vor Einsenkungen der Latte.

Eigenschaften. Nachdem durch die besondere Art der Bestimmung der Lattenhöhe (nach Professor Schell) in den zwei charakteristischen Lagen der Doppellibelle Beobachtungen an der Latte ausgeführt werden, so entfallen hier die zwei bei Nivellierinstrumenten mit drehbarem Fernrohre und Doppellibelle geforderten Eigenschaften: Zentrierung der Visierlinie und Parallelismus der parallelen Tangentialebenen in den Normalpunkten der Doppellibelle mit der Ringachse, und es wird, da stets nur gute und genau geprüfte Doppellibellen benützt werden, eigentlich nur eine Eigenschaft gefordert, nämlich: daß der fixe und bewegliche Horizontalfaden des Schraubenmikrometers parallel sind und beide mit der Umdrehungsachse der Alhidade einen Richtungsunterschied von 90^0 haben.

Die Kreuzlibellen, welche zur Horizontalstellung des Instrumentes verwendet werden, haben als Alhidadenlibellen ihre bestimmte Bedingung zu erfüllen (I. Band, Nr. 269), welche vor der Rektifikation des Instrumentes als Nivellierapparat in Ordnung gebracht sein muß.

Prüfung und Berichtigung. Die Überprüfung der beiden Horizontalfäden des Schraubenmikrometers wird nach Band II, Nr. 40, ausgeführt.

Bestimmung der Lattenhöhe nach der Methode von Professor Schell. Der bewegliche Faden des Schraubenmikrometers wird in die Gesichtsfeldmitte auf etwa 2.5^r gebracht.

Bei genau ein spielender Doppellibelle — Doppellibelle rechts — trifft die Horizontale des Objektivmittelpunktes O (Fig. 115) die Latte im Punkte H ; nun wird der bewegliche Faden auf eine Dezimeterzacke P in der Nähe der Gesichtsfeldmitte gebracht, die Lattenhöhe L_1 in einer ganzen Zahl der Dezimeter ausgedrückt und der Stand des beweglichen Fadens des Mikrometers S_1^r abgelesen; wir haben für die Lattenhöhe:

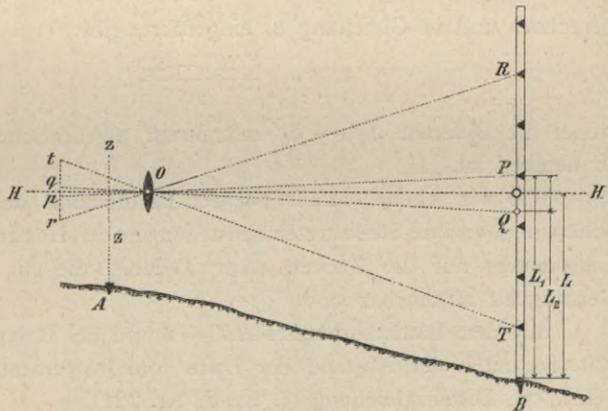


Fig. 115.

$$L_1 = n. \dots \dots \dots 1)$$

Hierauf wird das Fernrohr um die Ringachse gedreht — Doppellibelle links — und die Doppellibelle scharf zum Einspielen gebracht, wobei der bewegliche Faden auf der Lattenhöhe L_2 bei Q sich befindet. Die Lattenhöhe des Objektivmittelpunktes ist:

$$L = \frac{L_1 + L_2}{2} \dots \dots \dots 2)$$

Die Bestimmung von L_2 erfolgt indirekt. Setzen wir $PQ = \lambda$, so ist

$$L_2 = L_1 - \lambda$$

und dieser Wert, in die Gleichung 2) eingeführt, gibt:

$$L = \frac{L_1 + L_1 - \lambda}{2} = L_1 - \frac{\lambda}{2} = n \cdot i - \frac{\lambda}{2} \dots \dots \dots 3)$$

Wenn der bewegliche Faden von Q nach P gebracht wird, bei welcher Einstellung die Ablesung S_2^r gemacht wird, so entspricht dem Stücke λ die Differenz $S_2^r - S_1^r$.

Mittels der Elevationsschraube wird der fixe Faden auf eine in seiner Nähe gelegene Dezimeterzacke, z. B. R , gebracht und der bewegliche Faden auf die Zacke T scharf eingestellt; hiebei soll das Bild von RT womöglich fünf Schraubengänge umfassen. Nun wird die Lesung am Schraubenkopfe S^r gemacht, welche dem Lattenstücke $RT = l$ entspricht.

Aus den ähnlichen Dreiecken: $p q O \sim P Q O$ und $r t O \sim R T O$ folgt:

$$\frac{\lambda}{l} = \frac{p q}{r t} = \frac{(S_2^r - S_1^r) g}{g \cdot S^r} = \frac{S_2^r - S_1^r}{S^r},$$

woraus sich

$$\lambda = \frac{S_2^r - S_1^r}{S^r} l = - \frac{S_1^r - S_2^r}{S^r} l \dots \dots \dots 4)$$

berechnet und in Gleichung 3) eingeführt, gibt:

$$L = n \cdot i + \frac{S_1^r - S_2^r}{2 S^r} l, \dots \dots \dots I)$$

wobei die Differenz $S_1^r - S_2^r$ mit ihrem algebraischen Zeichen in Rechnung zu nehmen ist.

Wie wir sehen, entfällt bei der Bestimmung der Lattenhöhe L jedwede Schätzung; an ihre Stelle treten Einstellungen der Horizontalfäden des Schraubenmikrometers auf die Zacken einer Teilung, die mit einem hohen Grade von Genauigkeit ausführbar sind.

Mit dem Lattenabschnitte $RT = l$ und der Lesung am Schraubenkopfe S^r läßt sich auch der Abstand der Latte vom Instrumente, die Zielweite, aus der bekannten Distanzgleichung (I. Band, Nr. 221)

$$D = C \frac{l}{S^r} + c \dots \dots \dots II)$$

berechnen, wenn die Konstanten C und c bekannt sind.

Beispiel. Nachfolgend führen wir ein Nivellement vor, welches mit dem Präzisionsnivellierinstrumente von Professor Dr. A. Schell in Wien gelegentlich der Vermessungsübungen im Studienjahre 1903/04 am 25. Mai 1904 von den Hörern der praktischen Geometrie an der k. k. Technischen Hochschule in Wien ausgeführt wurde.

Protokoll des Präzisionsnivellements.

Station	L a t t e n t e i l l u n g I										L a t t e n t e i l l u n g II										A n m e r k u n g
	Lattenhöhe rückwärts					Lattenhöhe vorwärts					Lattenhöhe rückwärts					Lattenhöhe vorwärts					
	n. i	Libelle rechts	links	l	S	n. i	Libelle rechts	links	l	S	n. i	Libelle rechts	links	l	S	n. i	Libelle rechts	links	l	S	
Anfang	m	r	r	m	r	m	r	r	m	r	m	r	r	m	r	m	r	r	m	r	
0. V. 1	1.7	2.908	2.079	0.5	4.287	1.8	3.019	1.976	0.5	4.203	4.7	2.929	2.070	0.5	4.288	4.8	3.039	1.961	0.5	4.200	
1	2	0.6	3.023	1.973	0.5	4.202	1.1	2.623	2.377	0.6	5.054	3.6	3.044	1.963	0.5	4.198	4.1	2.639	2.355	0.6	5.057
2	3	1.3	2.156	2.843	0.5	4.469	0.6	2.568	2.431	0.5	4.722	4.3	2.173	2.823	0.5	4.470	3.6	2.588	2.419	0.5	4.717
3	4	1.5	2.553	2.467	0.6	4.571	0.7	2.379	2.611	0.6	4.651	4.6	1.791	3.211	0.6	4.569	3.7	2.396	2.598	0.6	4.647
4	5	1.6	2.381	2.633	0.6	4.399	1.0	2.282	2.726	0.6	4.927	4.6	2.391	2.623	0.6	4.398	4.0	2.303	2.716	0.6	4.916
5	6	1.7	3.182	1.816	0.5	4.804	0.5	2.908	2.099	0.5	4.572	4.7	3.190	1.811	0.5	4.806	3.5	2.921	2.072	0.5	4.581
6	7	1.5	2.734	2.263	0.6	4.734	0.6	2.450	2.548	0.8	4.838	4.5	2.744	2.247	0.6	4.728	3.6	2.469	2.531	0.8	4.832
7	8	0.6	2.067	2.926	0.7	4.019	1.1	2.441	2.556	0.9	4.810	3.5	2.667	2.349	0.7	4.020	4.1	2.457	2.542	0.9	4.809
8	9	2.0	2.424	2.573	0.9	4.599	0.9	2.723	2.278	0.6	4.459	5.0	2.428	2.572	0.9	4.607	3.9	2.726	2.267	0.6	4.457
9	H.	1.5	2.149	2.849	0.4	4.523	1.1	2.757	2.244	0.3	3.493	4.5	2.176	2.832	0.4	4.524	4.1	2.779	2.214	0.3	3.499

Die Berechnung des Präzisionsnivellements befindet sich in nachstehender tabellarischer Übersicht zusammengestellt (nächste Seite).

Station			Lattenteilung I				Lattenteilung II			
Anfang	Ende	Länge in <i>m</i>	Lattenhöhe in <i>m</i>		Gefälle in <i>m</i>		Lattenhöhe in <i>m</i>		Gefälle in <i>m</i>	
			rück- wärts	vor- wärts	einzel	zusammen	rück- wärts	vor- wärts	einzel	zusammen
0. V.	1	118-638	1-7483	1-8620	+ 0-1137	+ 0-1137	4-7500	4-8642	+ 0-1142	+ 0-1142
1	2	119-699	0-6624	1-1146	+ 0-4522	+ 0-5659	3-6642	4-1166	+ 0-4524	+ 0-5666
2	3	109-727	1-2616	0-6072	- 0-6544	- 0-0885	4-2636	3-6089	- 0-6547	- 0-0881
3	4	130-996	1-5043	0-6850	- 0-8193	- 0-9078	4-5070	3-6870	- 0-8200	- 0-9081
4	5	130-020	1-5828	0-9729	- 0-6099	- 1-5177	4-5838	3-9748	- 0-6090	- 1-5171
5	6	107-466	1-7711	0-5442	- 1-2269	- 2-7446	4-7718	3-5463	- 1-2255	- 2-7426
6	7	146-962	1-5299	0-5919	- 0-9380	- 3-6828	4-5316	3-5940	- 0-9376	- 3-6802
7	8	181-460	0-5252	1-0892	+ 0-5640	- 3-1186	3-5284	4-0920	+ 0-5638	- 3-1164
8	9	165-877	1-9854	0-9299	- 1-0555	- 4-1741	4-9859	3-9307	- 1-0552	- 4-1716
9	H.	87-941	1-4690	1-1220	- 0-3470	- 4-5211	4-4710	4-1242	- 0-3468	- 4-5184
		1298-786								

Faßt man die aufeinanderfolgenden „Gefälle zusammen“, welche mit den Lattenteilungen I und II der Wendelatte erhalten worden sind, als je zwei voneinander unabhängige Resultate von Doppelnivellements auf, und zwar als solche von ungleicher Genauigkeit, da die nivellierten Strecken ungleiche Längen haben, so kann die Ausgleichung dieser Resultate nach Band II, Nr. 153 β , vorgenommen werden.

Die mittlere Nivellementdifferenz d_0 für die Gewichtseinheit ($D = 1 \text{ km}$) beträgt:

$$d_0 = \sqrt{\frac{[\rho d d]}{n}} = \sqrt{\frac{[d d]}{n D}} = \pm 1.8 \text{ mm}$$

und der mittlere Fehler der Gewichtseinheit eines Nivellements, also der Kilometerfehler, ist:

$$m_0 = \frac{d_0}{\sqrt{2}} = \pm 1.3 \text{ mm.}$$

Der wahrscheinlichste Wert des schließlichen Gesamtgefälles ist mit Lattenteilung I: -4.5211 m , Lattenteilung II: -4.5184 m , im Mittel -4.51975 m mit $d = +2.7 \text{ mm}$, $m = \frac{d}{\sqrt{2}} = \pm 1.91 \text{ mm}$ und $\mu = \frac{d}{2} = \pm 1.35 \text{ mm}$.

Das österreichische Präzisionsnivellement.

161. Das k. u. k. Militärgeographische Institut in Wien hat in der Zeit von 1873 bis 1899 das Präzisionsnivellement der österreichisch-ungarischen Monarchie ausgeführt, wobei allerdings in Bosnien und der Hercegovina

die Arbeiten noch nicht abgeschlossen sind. Es wurde längs der Eisenbahnen und Straßen durchschnittlich alle 1.5 km ein Höhenfixpunkt stabilisiert.

Der Normalhöhenpunkt des österreichischen Präzisionsnivellements wird durch eine Höhenmarke gebildet, welche bei dem selbstregistrierenden Flutmesser in Triest am Molo sartorio sich befindet. Diese Höhenmarke (Fig. 116) besteht aus einer Platte mit zwei sich rechtwinklig schneidenden Strichen, einem horizontalen und einem vertikalen. Die Höhe dieser Marke über dem mittleren Meeresniveau der Adria wurde auf Grund langjähriger Beobachtungen bestimmt und beträgt 3.352 m.

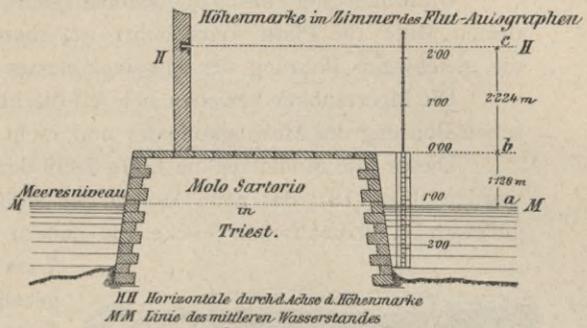


Fig. 116.

Höhenmarken. Unter den Höhenmarken haben wir zu unterscheiden:

1. Urmarken, die unmittelbar auf festem Gesteine (Fels) hergestellt sind; sie bestehen aus einer etwa ein Dezimeter im Quadrate messenden, tunlichst horizontalen, fein abpolierten Fläche, welche durch ein aufgesetztes kleines Monument gedeckt ist. Die beiden unteren Werkstücke des Monumentes haben eine vierseitige, axiale Durchbohrung von 30 cm Seite, durch welche nach Abhebung des oberen Monumentteiles die Nivellierlatte direkt auf die polierte Felsenfläche aufgesetzt werden kann.

Solche Urmarken bestehen in der österreichisch-ungarischen Monarchie sieben; die Höhenangaben beziehen sich auf die polierte Fläche.

2. Höhenmarken, Höhenfixpunkte oder Repèrepunkte I. Ordnung (Fig. 117); dies sind messingene, ungefähr 1 dm lange, abgestutzte Konusse mit kreisförmigen Endflächen von 3 und 4 cm Durchmesser.

In der Achse befindetsich eine 4mm weite Bohrung. Diese Konusse werden in das Mauerwerk solcher Gebäude oder in eigens hergestellte Steinsäulen eingesetzt.



Fig. 117.

Die Achse der Konusse liegt horizontal, die Endfläche mit dem kleineren Durchmesser nach außen, und zwar beiläufig in der Mauerflucht.

Die Konusse sind mit gußeisernen Platten bedeckt, auf welchen in erhabenen Buchstaben das Wort „Höhenmarke“ steht. Diese Platten sind an in das Mauerwerk eingelassene Holzdübel geschraubt.

Unterhalb der Inschrift befindet sich ein horizontaler Wulst, in dessen Mitte die Platte durchbohrt ist; diese Durchbohrung wird über die gleichweite Bohrung des Messingkonusses aufgepaßt.

Die Meereshöhen beziehen sich auf die horizontale Achse der zylindrischen Bohrung des Messingkonusses und nicht auf den natürlichen Boden.

Dieses alte Modell ist im Jahre 1899 durch ein neues Modell ersetzt worden (Fig. 118); das neue Modell der Höhenmarke besteht aus einem gußeisernen, prismatischen Stücke von nahezu quadratischem Querschnitte,

7 cm breit, 14 cm lang mit roh gezahnten Längenkanten. Diese Dimensionen stehen mit der normalen Ziegelgröße in Übereinstimmung; das Gußstück ist hohl und mit eingegossenem Gips ausgefüllt.

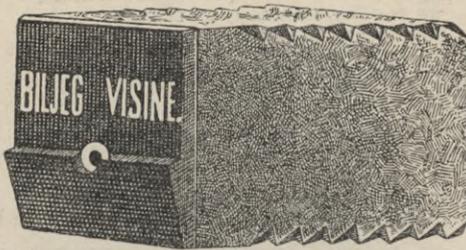


Fig. 118.

Die Vorderfläche trägt ein gußeisernes Täfelchen, das mittels zweier Blindschrauben befestigt ist und im oberen Teile die In-

schrift „Höhenmarke“ oder wie in nebenstehender Figur in kroatischer Sprache „Biljeg visine“ in vertieften weißen Buchstaben besitzt. Unterhalb der Inschrift befindet sich eine 5 cm tiefe, zylindrische Bohrung, die eine Messinghülse enthält und nach außen mit einem etwas versenkten weißen Ringe versehen ist. Die Achse der Bohrung gibt das Niveau des markierten Punktes.

Unter der Bohrung befindet sich ein konsolförmiger Ansatz, dessen obere, ebene Fläche durch die Achse der Bohrung geht; die Kante dieses Ansatzes liegt im Niveau des Höhenpunktes.

Diese prismatischen Höhenmarken werden so im Mauerwerke befestigt, daß die Vorderfläche derselben in die Mauerflucht zu liegen kommt und die Achse der Bohrung, respektive die obere Fläche des Ansatzes horizontal liegt.

3. Steinmarken (Fig. 119) stellen Höhenfixpunkte oder Repèrepunkte II. Ordnung vor und werden auf ebenen, horizontalen Flächen solider Objekte angebracht; sie sind durch eingemeißelte, mit Ölfarbe geschwärtzte Vierecke, neben welchen die Buchstaben *H. M.* (Höhenmarke) sich befinden, bezeichnet.



Fig. 119.

Solche Höhenfixpunkte sind auf Kilometersteinen, Barrièrestein, Brückengeländern, Stiegenstufen, Bildstöcken und auf Beobachtungspfeilern trigonometrischer Stationen angebracht. Die Höhenkoten beziehen sich auf die horizontal bearbeitete Fläche.

4. Strichmarken werden an Monumenten, Bildstöcken, Marksteinen u. dgl. eingemeißelt; sie stellen geschwärtzte, horizontale, etwa 10 *cm* lange Striche vor, neben welchen die Buchstaben *H. M.* stehen.

Bei Fluß- und Seepegeln werden einzelne Teilstriche in das Nivellement einbezogen.

Die konventionellen Zeichen für die Höhenmarken in den Original-Militäraufnahmeblättern und in der Spezialkarte sind auf Tafel VI — IX angegeben.

Nivellierinstrument. Für das Präzisionsnivellement in Österreich werden Stampfersche Nivellierinstrumente mit umlegbarem Fernrohre von 36facher Vergrößerung verwendet. Das Fernrohr hat stählerne Ringe anstatt der bronzenen und zur Vervielfältigung der Beobachtungen sind drei Horizontalfäden vorhanden, die abgelesen werden. Außer einer fest mit den Trägern des Fernrohres verbundenen Libelle ist noch eine zweite, die eigentliche Nivellierlibelle mit 3''—6'' Parswert vorhanden, welche auf die Stahlringe aufgesetzt wird. Da das Nivellieren eigentlich mit einer zum Horizonte geneigten Visur vorgenommen wird, so werden die Blasenenden der nicht einspielenden Nivellierlibelle abgelesen und zur Reduktion auf die horizontale Visur verwendet.

Als Nivellierlatte wird eine Wendelatte verwendet, an deren Teilungen I und II der Stand des Mittelfadens und der beiden distanzmessenden Seitenfäden ermittelt wird; man ist so im stande, die Zielweite zu bestimmen und außerdem durch Reduktion der Seitenlesungen auf den Mittelfaden die Schärfe in der Lattenhöhenbestimmung zu erhöhen. Selbstredend besitzt die Wendelatte eine Dosenlibelle zum Vertikalstellen und eine Platte zur soliden Unterlage.

Die Ausführung des Nivellements erfolgt nach der Methode „des Nivellierens aus der Mitte“; die Zielweiten für den Rück- und Vorblick sind gleich zu halten, betragen normal 60 *m* und sollen 80 *m* nicht überschreiten.

Nachdem das Instrument in einer Station mit aller Sorgfalt stabil horizontal aufgestellt wurde, wird folgendes Verfahren bei der Bestimmung der Lattenhöhe eingehalten:

a) Fernrohr in normaler Lage: Trieb oben; Lattenteilung I dem Beobachter zugewendet.

1. Ablesung der Blasenenden der Aufsetzlibelle, welche mit der Elevationsschraube annähernd auf den Spielpunkt gebracht wurde: $\frac{r_1 + l_1}{2}$; dann gleich Umsetzung der Aufsetzlibelle.

2. Ablesung an den drei Horizontalfäden; Kontrolle: $\frac{o_1 + u_1}{2} = m_1$.

3. Ablesung der Blasenenden: $\frac{r_1' + l_1'}{2}$.

4. Nach Abnahme der Aufsetzlibelle Drehen des Fernrohres in seinen Lagern um 180° und Wenden der Latte, so daß die Teilung II dem Beobachter zugewendet wird.

b) Fernrohr in gedrehter Lage: Trieb unten; Lattenteilung II dem Beobachter zugewendet.

5. Aufsetzen der Libelle und Ablesung der Blasenenden: $\frac{r'_2 + l'_2}{2}$ und Umsetzen der Libelle.

6. Ablesung an den drei Horizontalfäden; Kontrolle: $\frac{o_2 + u_2}{2} = m_2$.

7. Ablesen der Blasenenden: $\frac{r_2 + l_2}{2}$.

Dies sind die Beobachtungen für den Lattenstandpunkt rückwärts, den der Figurant nun verläßt, indem er sich auf den Lattenstandpunkt vorwärts begibt, wo die Latte vertikal gestellt und mit der Teilung II dem Beobachter zugewendet wird.

Damit die Zielweiten gleich gewählt werden, wird der Abstand mit einem Stahlmeßbande abgemessen.

Die Beobachtungen für die Lattenhöhe vorwärts werden in umgekehrter Reihenfolge ausgeführt, so zwar, daß zum Schlusse die Lattenteilung I dem Beobachter zugewendet wird und der Trieb des Fernrohres sich oben befindet, genau so wie zu Beginn der Beobachtung in der Station beim Lattenstandpunkte rückwärts.

An Ort und Stelle werden alle Kontrollen gerechnet: Die Mittel der Lattenlesungen oben und unten geben die Lesung des Mittelfadens; die Differenzen der korrespondierenden und reduzierten Lattenlesungen an den Teilungen I und II müssen konstant und gleich jener Länge sein, um welche die Nullpunkte der Teilungen I und II verschoben sind.

Durch das beschriebene Nivellierverfahren werden die meisten konstanten Fehler des Instrumentes und der Beobachtung eliminiert. Zu diesen Fehlern sind zu rechnen:

1. der Nichtparallelismus der Haupttangente an der Marke der Nivellierlibelle zur Ringachse,
2. die exzentrische Lage der Visierlinie zur Ringachse,
3. die unrichtige Bewegung der Okularröhre zur Ringachse,
4. die Ungleichheit der Ringhalbmesser,
5. die Ungleichheit des Fadenabstandes der seitlichen, distanzmessenden Fäden vom Mittelfaden,
6. die Durchbiegung des ganzen Fernrohres infolge der Schwere und außerdem
7. der Einfluß der Erdkrümmung und der Strahlenbrechung.

Die Leistung eines Nivelleurs bei einstündiger Arbeit beträgt durchschnittlich 3 bis 4 Stationen, also etwa 25 km täglich und 60 bis 80 km monatlich.

Genauigkeit des Präzisionsnivellements. Für die Genauigkeit der Koten des österreichischen Präzisionsnivellements bestehen folgende Angaben. Der wahrscheinliche Fehler einer doppelt nivellierten Strecke von 1 km Länge beträgt ± 2.8 mm oder rund 3 mm. Wird mit diesem Einheitsfehler das einfache Gesetz der Fehlerfortpflanzung für Nivellements in Anwendung gebracht, wonach der Fehler mit der Quadratwurzel aus der Länge D der nivellierten Strecke wächst, so ist der wahrscheinliche Fehler einer Nivellementkote in Millimetern gleich $3\sqrt{D}$, wobei unter D die Länge der betreffenden Nivellementlinie bis zum Ausgangspunkte Triest in Kilometern zu verstehen ist. Da nun D für die von Triest entferntesten Punkte der Monarchie kaum 1500 km übersteigt, so wird der wahrscheinliche Fehler einer Nivellementkote in keinem Falle größer sein als ± 0.12 m und für mittlere Entfernungen mit ± 0.08 m angenommen werden können.

162. Anschluß eines Nivellements an das Präzisionsnivellement. Sehr oft kommt der Vermessungsingenieur in die Lage, absolute Höhen der auf-

genommenen Punkte anzugeben; dies ist nur möglich durch den Anschluß an gegebene Höhenpunkte des Präzisionsnivellements. Andererseits darf ein neues Präzisionsnivellement nur an stabilisierte Höhenfixpunkte eines fertigen Präzisionsnivellements angeschlossen werden. Es handelt sich nun um die technische Ausführung des Anschlusses.

Bei Ur- und Steinmarken ist der Anschluß sehr einfach; die Nivellierlatte wird nach Abhebung des schützenden Monumentteiles unmittelbar auf die polierte Felsenfläche aufgesetzt und der Abstand des Instrumenthorizontes nach dem Prinzipie des Nivellierens aus der Mitte als „Latte rückwärts“ beim Rückblicke abgelesen und mit der Lattenhöhe beim Vorblicke in Verbindung gebracht, um die Höhe des Lattenstandpunktes bestimmen zu können.



Fig. 120.

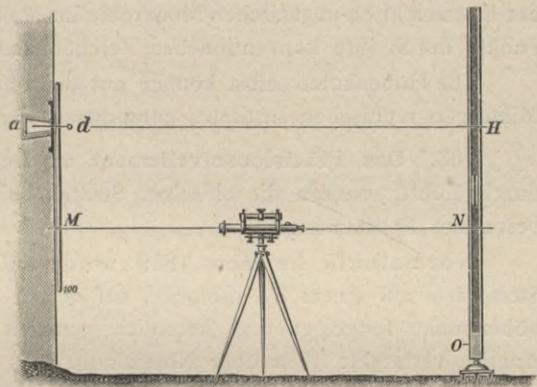


Fig. 121.

Bei Höhenfixpunkten II. Ordnung, Höhenmarken H , Nivellementbolzen, wird der Anschluß mit Zuhilfenahme eines Messingstabes (Fig. 120), der auf einen Stift S der Höhenmarke aufgehängt wird, bewerkstelligt.

Der Messingmaßstab besitzt zwei Teilungen, die direkt in Millimetern durchgeführt und symmetrisch zur Mittellinie der kreisförmigen Bohrung, durch welche der zylindrische Stift geführt werden kann, angebracht sind. Der Messingstab M (Fig. 121) kann auf den zylindrischen Stift d aufgehängt werden und bleibt in der Ruhelage vertikal hängen.

Wird nun bei einspielender Nivellierlibelle im Standpunkte des Instrumentes der Stand der horizontalen Visur auf dem Messingmaßstabe $dM = HN = a$, ferner die Lattenhöhe $NO = L_1$ abgelesen, so gibt $a + L_1$ den Höhenunterschied zwischen der Höhenmarke und dem Lattenstandpunkte an und $(H_m - a)$ gibt die absolute Höhe des Instrumenthorizontes, wenn H_m die Meereshöhe der Marke ist.

Wird nun das Instrument in eine zweite Station gebracht, so kann in bekannter Weise nach dem Verfahren des „Nivellierens aus der Mitte“ das Nivellement fortgesetzt werden.

Die neuen Höhenmarken des österreichischen Präzisionsnivellements (Fig. 118) sind insoferne praktischer als die alten (Fig. 117), weil der Anschluß bequemer dadurch ausführbar ist, daß kein vermittelnder Messingmaßstab notwendig ist, da die Nivellierlatte unmittelbar auf die obere horizontale Ebene der Konsole, welche durch die Achse der zylindrischen Durchbohrung geht, aufgesetzt werden kann. Ist l_o die Lattenhöhe an der auf der Konsole aufgesetzten Latte und L_1 jene der Latte vorwärts, so wird die absolute Höhe des Instrumenthorizontes ($H_m + l_o$) und die Höhe des Lattenstandpunktes vorwärts $H = H_m - (L_1 - l_o)$.

Bei Vornahme der Anschlußnivellements ist die Kenntnis der Höhenkoten der Fixpunkte und Höhenmarken des Präzisionsnivellements notwendig. Über die Lage der Höhenmarken des Präzisionsnivellements gibt die Spezialkarte der österreichisch-ungarischen Monarchie im Maße 1 : 75.000 Aufschluß, wo diese Punkte durch ihre konventionellen Zeichen kenntlich gemacht sind.

Die Höhenkoten selbst können aus den offiziellen Publikationen des k. u. k. Militärgeographischen Institutes entnommen werden (siehe Literatur 10. a).

163. Das Präzisionsnivellement in Deutschland ist nicht einheitlich durchgeführt, sondern die einzelnen Staaten haben für die Vornahme desselben besondere Bestimmungen.

Normalnull. Im Jahre 1879 wurde auf dem Nordpfeiler der Berliner Sternwarte auf einem Syenitblocke, auf dessen äußerer Steinfläche der Normalhöhenpunkt festgelegt und kenntlich gemacht wurde, neben demselben die Angabe vermerkt: 37 *m* über Normalnull.

Als Normalnullpunkt, abgekürzt *N. N.*, gilt der Nullpunkt des Amsterdamer Pegels, der 37 *m* unter der Berliner Höhenmarke angenommen ist. Alle staatlichen Höhenmessungen von 10 *km* und mehr Länge müssen an Höhenmarken angeschlossen werden.

Die trigonometrische Abteilung der Landesaufnahme hat an den Provinzialchausseen und Eisenbahnen Preußens Präzisionsnivellements ausgeführt und in Abständen von 2 *km* behauene Steine mit eisernen Bolzen setzen lassen. Die Bolzen tragen auf ihrer Stirnfläche Nummern und als Höhenpunkt gilt der obere Rand des zylindrischen Bolzens.

Auf den käuflichen Meßtischblättern der Landesaufnahme sind die Nivellementbolzen mit *N. B.* bezeichnet und die Koten der Bolzenoberkante in Metern mit einer Dezimalstelle eingetragen; die Höhenmarken auf den Bahnhöfen mit der Marke *H. M.* enthalten die Höhen in Metern mit 3 Dezimalstellen.

Wir erwähnen folgende Werke:

1. Nivellements der trigonometrischen Abteilung der Landesaufnahme. Band I bis VIII, Berlin 1870—1894, sie enthalten die Resultate dieser Nivellements mit Metern in 3 De-

zimalstellen; seit dem Jahre 1896 werden eigene Hefte nach Provinzen herausgegeben, in welchen die Resultate des Präzisionsnivellements zusammengestellt sind. Die offizielle Publikation heißt:

2. Nivellementergebnisse der trigonometrischen Abteilung der königlich preußischen Landesaufnahme. Heft . . . Provinz . . . Berlin 1896.
3. Veröffentlichungen des königlich preußischen Geodätischen Institutes, enthaltend das Präzisionsnivellement der Elbe 1878, 1887 u. s. w.
4. Auszüge der Höhen über *N. N.* von Festpunkten und Pegeln an Wasserstraßen. Berlin 1896 und 1897

und bemerken, daß sie neben den Resultaten der Nivellements auch Andeutungen über die Ausführung derselben u. s. w. enthalten.

Literatur zu „Präzisionsnivellement“.

1. **Bauernfeind**: Das bayerische Präzisionsnivellement, München 1870.
2. **Bauernfeind**: Das bayerische Präzisionsnivellement und seine Beziehungen zur europäischen Gradmessung, München 1880.
3. Der Normalhöhenpunkt für das Königreich Preußen an der königlichen Sternwarte zu Berlin, Berlin 1879.
4. **Hammer**: „Neues über Holz- und Metallatten für Feinnivellements“ in der Zeitschrift für Vermessungswesen 1895.
5. **Hirsch et Plantamour**: Nivellement de précision de la Suisse, Genf und Basel 1867.
6. **v. Kalmár**: „Bericht über den Stand des Präzisionsnivellements in Europa mit Ende 1899“ in den Mitteilungen des k. u. k. Militärgeographischen Institutes in Wien, X. und XIII. Band.
7. **Lallemand**: „Nivellement de haute précision“ in dem Werke: „Levé des plans et nivellements“ von Durand-Claye, Pelletan et Lallemand.
8. Nivellement der trigonometrischen Abteilung der königlich preußischen Landesaufnahme, acht Bände, 1870—1894.
9. Nivellementergebnisse der trigonometrischen Abteilung der königlich preußischen Landesaufnahme, Heft . . . , Provinz . . . Berlin 1896.
10. Präzisionsnivellement in der österreichisch-ungarischen Monarchie:
 - a) Astronomisch-geodätische Arbeiten des k. u. k. Militärgeographischen Institutes in Wien.
 - Band VII.: I. Theoretische Grundlagen und Ausführungsbestimmungen.
 - Band VIII.: II. Westlicher Teil.
 - Band X.: III. Nordöstlicher Teil.
 - Band XIV.: IV. Südwestlicher Teil.
 - b) Mitteilungen des k. u. k. Militärgeographischen Institutes in Wien.
 - Band IV.: **Lehrl**: „Das Präzisionsnivellement der österreichisch-ungarischen Monarchie.“
 - Band XIX.: **Lehrl**: „Das Präzisionsnivellement der österreichisch-ungarischen Monarchie.“
11. **Schell**: „Das Präzisionsnivellierinstrument“ in den Sitzungsberichten der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien, Band CXII, 1903.
12. Verhandlungen der permanenten Kommission der internationalen Erdmessung, worin sich wertvolle Berichte über verschiedene Themen des Präzisionsnivellements von Lallemand, Kalmár u. s. w. befinden.

13. Veröffentlichungen des Bureaus für die Hauptnivellements- und Wasserstandsbeobachtungen im Ministerium der öffentlichen Arbeiten.
Höhen über *N. N.* von Festpunkten und Pegeln an Wasserstraßen, Berlin 1896 und 1897.
14. Veröffentlichungen des königlich preußischen Geodätischen Institutes:
Seibt: Präzisionsnivellement der Elbe, Berlin 1878—1887.
Seibt: Gradmessungsnivellement zwischen Swinemünde und Konstanz, Berlin 1882.
Seibt: Gradmessungsnivellement zwischen Swinemünde und Amsterdam, Berlin 1883.
Neben den vorstehenden Arbeiten von Seibt im 9., 11. und 19. Teile der Publikationen findet man weitere Arbeiten über Präzisionsnivellements von Seibt im 14., 20., 21. und 24. Teile derselben Publikationen.
15. **Vogler**: Über Ziele und Hilfsmittel geometrischer Präzisionsnivellements, München 1873.
16. **Vogler**: „Über Ziele und Hilfsmittel geometrischer Präzisionsnivellements“ in der Zeitschrift für Vermessungswesen 1877.

Aufsätze über verschiedene Gegenstände des Präzisionsnivellements finden sich in verschiedenen Jahrgängen der Zeitschrift für Vermessungswesen u. s. w.

Zweiter Abschnitt.

Das geometrische Höhenmessen.

§ 14. Das geometrische Höhenmessen.

164. **Allgemeine Bemerkungen.** Bei jeder Höhenmessung kommt es darauf an, den vertikalen Abstand zweier Punkte zu bestimmen. Befinden sich beide Punkte in einer Vertikallinie, so hat man das zwischen den beiden Punkten liegende Stück derselben zu bestimmen; ist dies nicht der Fall, so muß man sich von dem höher gelegenen Punkte eine Vertikale gezogen denken, bis sie den durch den tieferen Punkt gehenden Horizont trifft, und nun hat man wieder dieses begrenzte Stück der Vertikallinie zu ermitteln.

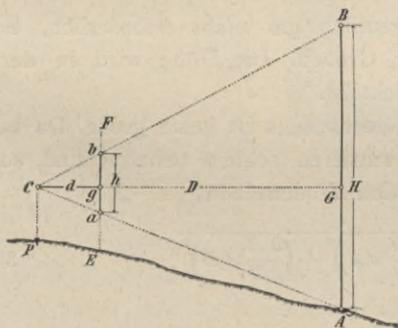


Fig. 122.

Beim geometrischen Höhenmessen kommen nur die Ähnlichkeitssätze der Dreiecke zur Anwendung.

Es sei AB eine begrenzte Vertikallinie (Fig. 122), deren Länge ermittelt werden soll. Denkt man sich von einem passend gewählten, sonst aber beliebigen Punkte C die Visuren nach A und B gerichtet, die Punkte a und b , in welchen die Visuren eine im Punkte E vertikal befindliche Gerade treffen, bezeichnet, ist ferner CG die durch C gelegte Horizontale und g der entsprechende Punkt der Geraden EF , so entstehen zwei ähnliche Dreiecke $\triangle ACB$ und $\triangle aCb$.

Setzt man:

$$\left. \begin{array}{l} AB = H \\ CG = D \end{array} \right\} \begin{array}{l} ab = h \\ Cg = d \end{array},$$

so gilt in den obigen ähnlichen Dreiecken die Proportion:

$$H : D = h : d,$$

somit

$$H = \frac{h}{d} D.$$

Setzt man

$$\left. \begin{array}{l} g^b = h_1 \\ GB = H_1 \end{array} \right\} \text{ und } \left. \begin{array}{l} g^a = h_2 \\ GA = H_2 \end{array} \right\}, \dots \dots \dots \text{ I)}$$

so rechnet sich

$$H_1 = \frac{h_1}{d} D \text{ und } H_2 = \frac{h_2}{d} D$$

und somit:

$$H = H_1 + H_2 = \frac{h_1 + h_2}{d} D \dots \dots \dots \text{ II)}$$

Kann man H_2 unmittelbar abmessen, so wird die Höhe in der Form erhalten:

$$H = \frac{h_1}{d} D + H_2 \dots \dots \dots 1)$$

Liegen die Punkte C und A im gleichen Horizonte, dann ist $H_2 = 0$ und die Gleichung 1) geht über in:

$$H = \frac{h_1}{d} D \dots \dots \dots 2)$$

Aus der vorstehenden Untersuchung geht hervor, daß es sich bloß um die Herstellung eines Dreieckes handelt, das demjenigen ähnlich ist, welches die fragliche Höhe zur Seite hat; jede Vorrichtung oder jedes Instrument, durch welches auf Grund der Ähnlichkeit von Dreiecken die Bestimmung der Quotienten $\frac{h}{d}$ möglich ist, ist zum geometrischen Höhenmessen geeignet. Hierbei ist die Kenntnis von h und d eigentlich gar nicht erforderlich, es handelt sich nur um das Verhältnis dieser Größen. Die Höhe wird in der Maßeinheit erhalten, in welcher D ausgedrückt ist.

Die Genauigkeit des geometrischen Höhenmessens ist keine große. Da in Gleichung I) alle Größen rechter Hand mit mittleren Fehlern behaftet sind, so hat man für den mittleren Fehler der Funktion H derselben;

$$\Delta H = \sqrt{\left(\frac{\partial H}{\partial h} \Delta h\right)^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial d} \Delta d\right)^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial D} \Delta D\right)^2} \dots \dots \dots 3)$$

oder, da

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\partial H}{\partial h} = \frac{D}{d} = \frac{H}{h} \\ \frac{\partial H}{\partial d} = -\frac{h \cdot D}{d^2} = -\frac{H}{d} \\ \frac{\partial H}{\partial D} = \frac{h}{d} = \frac{H}{D} \end{array} \right\} \dots \dots \dots 4)$$

ist, ergibt sich nach Einführung dieser Werke in die Gleichung 3)

$$\left. \begin{array}{l} \Delta H = H \sqrt{\left(\frac{\Delta h}{h}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2} \\ \text{und für die Einheit der Distanz} \\ \frac{\Delta H}{D} = \frac{h}{d} \sqrt{\left(\frac{\Delta h}{h}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2} \end{array} \right\} \dots \dots \dots \text{ III)}$$

Instrumente zum geometrischen Höhenmessen. Die Instrumente, welche zum geometrischen Höhenmessen verwendet werden, sind einfach und es ist eine größere Anzahl derselben konstruiert worden; wir nennen das Lehmannsche Diopterlineal, das Dendrometer von Winkler und Sanlville, die Höhenmeßinstrumente von Bose, Abney u. s. w. Sie spielen namentlich in der forstlichen Praxis, in der Baumhöhenmeßkunde, eine wichtige Rolle und finden da eine ausgedehnte Anwendung; man hat sie mehrfach ausgestaltet, so zwar, daß sie nicht nur als Freihandinstrumente verwendet, sondern auch auf ein Stativ aufgestellt werden können; sie wurden auch mit Libellen versehen, wodurch sie auch zum Abstecken von rechten Winkeln, zur Aufnahme kleiner Flächen, zur Trassierung von Waldwegen und untergeordneten Nivellierungsarbeiten benützt werden können.

Nachfolgend soll in Kürze:

- a) das Lehmannsche Diopterlineal und
- b) das Dendrometer oder der Baummesser von Winkler besprochen werden.

165. Das Lehmannsche Diopterlineal (Fig. 123). Dieses unterscheidet sich von dem gewöhnlichen Diopterlineale dadurch, daß die Objektivlamelle Q nach Erfordernis entweder am Ende L des Lineales oder näher an der Okularlamelle P bei M aufgeschraubt werden kann, wodurch im letzteren Falle die höchste und tiefste Visur des Instrumentes mit dem Horizonte einen so großen Winkel bilden,

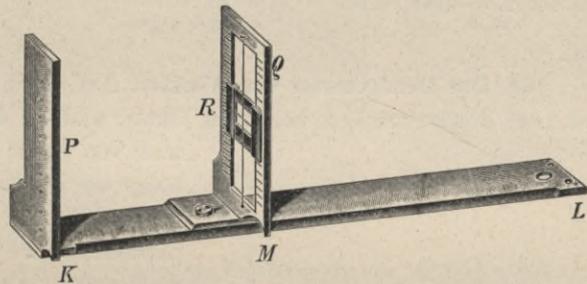


Fig. 123.

daß die Bergdiopter entbehrlich werden. Das oberste und das unterste Visierloch sind genau in derselben Höhe über dem Lineale wie das obere und untere Ende des Objektivfadens und nebst diesem ist an der Lamelle Q noch ein kleiner verschiebbarer Rahmen R mit einem horizontalen Faden angebracht; ferner ist die Entfernung KM der gegen den Geometer gekehrten Lamellenfläche genau der Länge des vertikalen Objektivfadens gleich und diese Länge ist an der inneren Fläche von Q in 100 gleiche Teile geteilt, so daß mittels eines am Schieber R befindlichen Nonius die jedesmalige Stellung des horizontalen Fadens abgelesen werden kann; dadurch eignet sich das Instrument zum Distanz- und Höhenmessen.

Legt man das Instrument auf eine horizontale Ebene, so ist die durch die unterste Okularöffnung und das untere Ende des Objektivfadens gehende Visur horizontal und gibt, gegen den Höhengegenstand gerichtet, den in Fig. 122 mit G bezeichneten Punkt; richtet man den Schieber R so, daß die Visur durch

die unterste Okularöffnung geht und der Kreuzungspunkt des Objektivfadens den höchsten Punkt des anvisierten Objektes trifft, so hat man den in Gleichung 1) behandelten Fall. Heißt die an der Teilung der Lamelle Q der Stellung von R entsprechende Ablesung n ($h_1 = n$), so hat man, da die Entfernung der beiden Lamellen 100 solcher Teile besitzt, also $d = 100$ ist:

$$H = \frac{n}{100} D + H_2 \dots \dots \dots 5)$$

und wenn $D = 100$ m gewählt wird, so hat man:

$$H = n \text{ Meter} + H_2 \dots \dots \dots \text{IV)}$$

Um das Abmessen der Größe H_2 am Objekte zu ersparen, kann man durch eine andere passende Okularöffnung die Visur nach dem höchsten und tiefsten Punkte des Objektes richten und beidmal den Stand des Schiebers ablesen; dann gibt die Differenz der Ablesungen δ die Größe h in Teilen von d , womit nach Gleichung 1) folgt:

$$H = \frac{\delta}{100} D \dots \dots \dots 6)$$

und für $D = 100$

$$H = \delta \text{ Meter} \dots \dots \dots \text{V)}$$

wird.

166. Das Dendrometer von Winkler. Auf einem Brettchen MN (Fig. 124) sind zwei Diopterlamellen, bei a das Okular und bei b das Objektiv angebracht

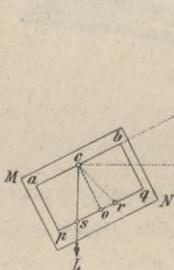


Fig. 124.

und von einem Punkte c der Linie ab hängt ein Lot herab; senkrecht zur Visierlinie ab ist die Linie co gezogen, pq ist parallel mit ab und auf dieser Geraden sind gleiche aliquote Teile von oc aufgetragen.

Visiert man über ab nach B , so bildet cL mit co und pq ein rechtwinkliges Dreieck cos , welches, wie leicht einzusehen, dem Dreiecke cBQ ähnlich ist, wobei oc die Stelle von d und os

jene von h_1 in Gleichung II) vertritt; ist ferner oc in m gleiche Teile geteilt und schneidet os auf der Geraden pq n solche Teile ab, so hat man nach Gleichung 1):

$$H = \frac{h_1}{d} \cdot D + H_2 = \frac{n}{m} D + H_2 \dots \dots \dots 7)$$

Für $D = m$ Meter ist

$$H = n \text{ Meter} + H_2 \dots \dots \dots \text{VI)}$$

Der Punkt Q ergibt sich, wenn man das Instrumentchen so hält, daß das Lot in oc einspielt, wobei dann die Visur horizontal ist und die Stelle Q an

einer in A aufgestellten Latte bezeichnet werden kann. Einfacher ist es, die Visur nach A zu richten, wodurch man eine zweite, gegen q hin liegende Ablesung or erhält, welche dem h_2 in Gleichung II) entspricht und somit, zu der früheren Ablesung addiert, den Wert von h gibt; die Ausmittlung von Q und o fällt nun weg. Sollten beide Ablesungen os und or auf dieselbe Seite von o fallen, so ist offenbar deren Differenz in die Gleichung II) einzuführen.

Beschreibung und Gebrauch des Instrumentes (Fig. 125). Das Dendrometer besteht nach seiner gegenwärtigen Konstruktion aus einem vierkantigen Kästchen von ausgetrocknetem, hartem Holze, 15 cm lang, 8 cm breit und 2 cm dick. Die vordere Fläche $ABCD$ (Fig. 125) trägt auf einer angeschraubten Messingplatte die Teilung; auf der Rückseite ist eine Vorrichtung befestigt, welche eine Horizontal- und Vertikalbewegung zuläßt und mit einer Hülse zum Aufstecken des Instrumentes auf ein Stock- oder Zapfenstativ versehen ist.

Das Okularabsehen besteht in einer kleinen runden Öffnung im Ansatz BB' , das Objektivabsehen ist bei AA' angebracht und aus einem Horizontal- und Vertikalfaden gebildet. Von dem Drehungspunkte c hängt ein frei bewegliches, schmales Messinglineal ch herab, welches durch das darauf befestigte Lot L in vertikale Richtung gebracht wird. Die Linie cm ist senkrecht zu der durch die Absehen gebildeten Visierlinie $v v'$ eingerissen und darauf sind die verjüngten Distanzen (Standlinien) 20, 40, 60, 80 und 100 aufgetragen. Durch diese Distanzpunkte sind die Höhenskalen senkrecht zu cm gezogen, auf welchen dieselben Hauptteile wie auf cm aufgetragen und noch in kleinere Teile eingeteilt sind. Ganz dieselbe Teilung ist auf dem Lineale ch , Senkelskala, angebracht.

Der Gebrauch des Instrumentes zum Höhenmessen ist auf Grund der vorhergehenden Erklärungen einleuchtend. Die Vorderfläche $ABCD$ wird in eine vertikale Lage gebracht, in welcher ch frei spielt; hierauf werden die Visuren über $v v'$ hergestellt und jedesmal an jener Höhenskala, welche der benützten Distanz entspricht, die Ablesungen h_1 und h_2 gemacht. Die Ablesungen an der Senkelskala von c bis zur bezüglichen Höhenskala geben die Länge der Visierlinie von der Okularöffnung bis zum anvisierten Punkte. Nimmt man die Distanz zu 20, 40, 60, 80 oder 100 m, so erhält man die Höhen und erforderlichenfalls die schiefen Längen auch sofort in Metern ausgedrückt.

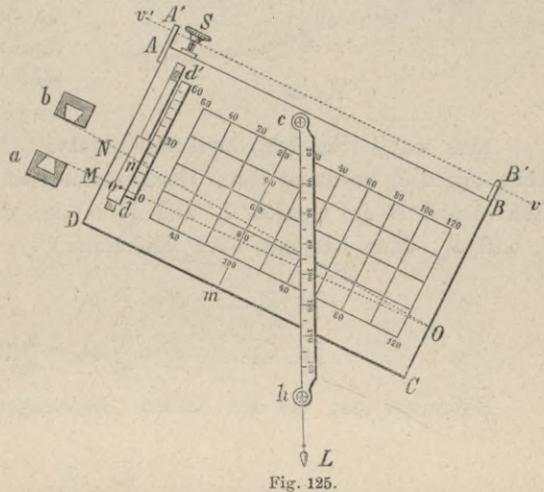


Fig. 125.

Um dem Zwecke des Instrumentes als Baummesser zu entsprechen, ist eine zweite Vorrichtung an den schmalen Seiten BC und AD angebracht, mittels welcher die Durchmesser eines Baumes in verschiedenen Höhen bestimmt werden können.

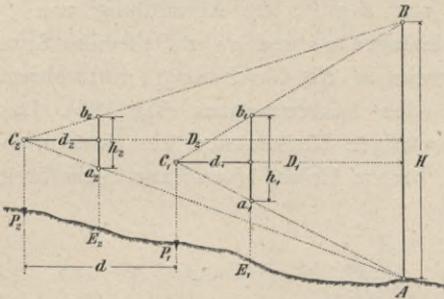


Fig. 126.

167. Höhenbestimmung unzugängiger Geraden. Sehr oft kommt es vor, daß der Horizontalabstand des Aufstellungspunktes von dem zu bestimmenden vertikalen Gegenstande, die notwendige Basis, nicht direkt gemessen werden kann; es muß daher eine mittelbare Messung vorgenommen werden.

Man wählt (Fig. 126) zwei Standpunkte C_1 und C_2 in derselben Vertikalebene mit AB , bestimmt ihren Horizontalabstand d und ermittelt durch Visieren nach A und B die Größen h_1 und h_2 in den Vertikalen in E_1 und E_2 sowie d_1 und d_2 ; dann hat man nach Gleichung I):

$$\left. \begin{aligned} \text{für } C_1 \dots \quad H &= \frac{h_1}{d_1} D_1 \\ \text{für } C_2 \dots \quad H &= \frac{h_2}{d_2} D_2 = \frac{h_2}{d_2} (D_1 + d) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 8)$$

Eliminiert man aus den beiden Gleichungen D_1 , so wird erhalten:

$$H = \frac{d}{\frac{d_2}{h_2} - \frac{d_1}{h_1}} \dots \dots \dots \text{VII)}$$

Hiernach sind zur Bestimmung von H zwei Aufstellungen erforderlich, und zwar derart, daß beide Standpunkte mit AB in derselben Vertikalebene sich befinden.

Bei den in den vorhergehenden Nummern besprochenen Instrumenten ist $\frac{d_1}{h_1} = \frac{m}{n_1}$ für den einen und $\frac{d_2}{h_2} = \frac{m}{n_2}$ für den zweiten Standpunkt, weil m unverändert bleibt; somit geht die Formel VII) über in:

$$H = \frac{n_1 \cdot n_2}{n_1 - n_2} \cdot \frac{d}{m} \dots \dots \dots 9)$$

Hierin bedeuten n_1 , beziehungsweise n_2 die Summen oder nach Umständen auch die Differenzen der Ablesungen bei den Visuren auf die Punkte A und B in den Standpunkten C_1 und C_2 .

Für $d = m$ Meter erhält man die einfachere Formel:

$$H = \frac{n_1 \cdot n_2}{n_1 - n_2} \dots \dots \dots \text{VIII)}$$

Literatur zu „Das geometrische Höhenmessen“.

1. **F. Baur:** Lehrbuch der Holzmeßkunde, Berlin 1891.
2. **F. Baur:** Lehrbuch der niederen Geodäsie, Berlin 1895.
3. **H. L. Bose:** Beschreibung zweier Instrumente zum Nivellieren der Waldwege und Messen der Baumhöhen, Darmstadt 1863.
4. **F. Großbauer:** Das Winklersche Taschendendrometer neuester Konstruktion, Wien 1864.
5. **G. Winkler:** Anleitung zu der Konstruktion und dem Gebrauche eines einfachen Taschendendrometers, Wien 1846.

In verschiedenen forstlichen Zeitschriften: Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, Frankfurt a. M., Zentralblatt für das gesamte Forstwesen, Wien u. s. w. finden sich interessante Aufsätze über verschiedene Instrumente, welche zum geometrischen Höhenmessen verwendet werden.

Dritter Abschnitt.

Das trigonometrische Höhenmessen.

§ 15. Das trigonometrische Höhenmessen.

Bei jeder Höhenmessung handelt es sich um die Länge einer begrenzten Vertikallinie, welche den Abstand der Horizonte zweier Punkte, z. B. A und B , darstellt. Dieser Abstand kann auf trigonometrischen Wege bestimmt werden, sobald man in einem Dreiecke, in welchem die gesuchte Höhe als Seite erscheint, zwei Winkel und eine andere Seite kennt.

Der Vorgang bei der trigonometrischen Höhenmessung besteht demnach in der Bestimmung dieser drei Stücke; die Strecke, welche in diesem Dreiecke entweder bekannt ist oder aber direkt oder indirekt bestimmt wird, bildet die Basis der Höhenmessung. Winkel, die hier gemessen werden müssen, sind vornehmlich Vertikalwinkel, können aber auch Horizontalwinkel sein; es ist daher das hier verwendete Instrument das Universalinstrument.

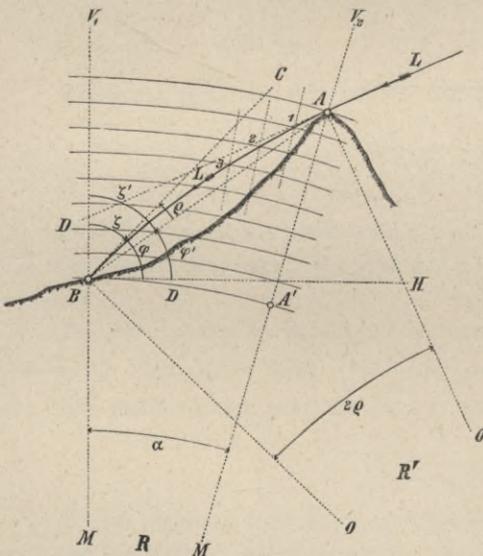


Fig. 127.

168. Refraktion. Die mit dem Universalinstrumente erhaltenen Vertikalwinkel unterliegen einer Korrektur wegen der Refraktion der Lichtstrahlen.

Da nämlich die Luft nicht durchaus gleiche Dichte besitzt, sondern die Dichte der Atmosphäre von der Erdoberfläche aus allmählich abnimmt, so gelangt ein Lichtstrahl L von einem höher gelegenen Punkte A nach B (Fig. 127)

nicht in gerader, sondern in einer krummen Linie. Denkt man sich die Atmosphäre in unendlich dünne, mit der Erdoberfläche konzentrische Schichten zerlegt, so kann die Dichte innerhalb der einzelnen Schichten als gleichmäßig angenommen werden; sie ist aber um so größer, je näher die Schicht der Erdoberfläche liegt.

Ein von A ausgehender Lichtstrahl wird demnach bei den Eintrittsstellen $1, 2, 3, \dots$ in jede tiefer liegende Schicht zum Einfallslotte gebrochen und auf diese Weise gelangt an einen Beobachter in B ein von A kommender Lichtstrahl in einer gegen die Erde konkaven Linie AB , die Licht- oder Refraktionskurve heißt.

Das Fernrohr oder überhaupt die Visiervorrichtung wird stets so gerichtet, daß der Sehstrahl über das Visiermittel hinwegstreift; somit kommt die Visierlinie des Instrumentes in die Richtung des letzten Elementes der Lichtkurve in B , d. h. in die Tangente BC zu liegen; die bei dieser Lage stattfindende Ablesung gibt den Vertikalwinkel von BC (φ) statt jenen von BA (φ'). Dadurch wird der Vertikalwinkel des Punktes A um den Winkel $CBA = \rho$, den Refraktionswinkel, zu groß, hingegen die Zenithdistanz von BA um eben diesen Winkel zu klein erhalten.

Wird der Punkt B von A aus beobachtet, so erhält man auf gleiche Weise nicht die Neigung von AB , sondern jene der Tangente AD , also eine um den Winkel DAB zu kleine Zenithdistanz.

Nennen wir die Winkel

$\sphericalangle V_1 BC = \zeta$ die scheinbare $\left\{ \begin{array}{l} \text{Zenithdistanz,} \\ \text{ferner} \end{array} \right.$ $\sphericalangle HBC = \varphi$ die scheinb. $\left\{ \begin{array}{l} \text{Horizont-} \\ \text{distanz,} \end{array} \right.$
 $\sphericalangle V_1 BA = \zeta'$ die wahre $\left\{ \begin{array}{l} \text{Zenithdistanz,} \\ \text{ferner} \end{array} \right.$ $\sphericalangle HBA = \varphi'$ die wahre $\left\{ \begin{array}{l} \text{Horizont-} \\ \text{distanz,} \end{array} \right.$
 so bestehen die aus der Figur ablesbaren allgemein gültigen Beziehungen:

$$\zeta' = \zeta + \rho \text{ und } \varphi' = \varphi - \rho, \dots \dots \dots 1)$$

wenn φ mit dem entsprechenden Zeichen eingeführt wird.

Der Bogen AB der Refraktionskurve wird näherungsweise als ein flacher Kreisbogen mit dem Mittelpunkte in O und einem konstanten Radius R' angenommen; der Zentriwinkel bei O ist dann 2ρ zu setzen. Die Größen R und R' (Erdradius und Krümmungsradius der Refraktionskurve) können mit Hilfe eines Koeffizienten k zueinander in Beziehung gebracht werden:

$$R = k \cdot R' \dots \dots \dots 2)$$

Da nun näherungsweise der Bogen $\widehat{AB} = \widehat{BA}' = D$ gesetzt und doppelt ausgedrückt werden kann

$$D = \widehat{AB} = R \cdot \alpha = R' \cdot 2\rho,$$

so erhält man nach Einführung der vorstehenden Beziehung 2):

$$D = R \cdot \alpha = k \cdot R' \cdot \alpha = R' \cdot 2\rho$$

oder

$$\rho = \frac{k}{2} \alpha = \frac{1}{2} k \frac{D}{R}, \dots \dots \dots 3)$$

wobei nach den Untersuchungen von Gauß

$$k = 0.1306$$

zu setzen ist, also die Relation

$$\rho = 0.0653 \alpha \text{ oder } R = 0.1306 R' \dots \dots \dots 4)$$

besteht.

Mit Rücksicht auf die Gleichung 3) können die Gleichungen 1) geschrieben werden:

$$\left. \begin{aligned} \zeta' &= \zeta + \frac{k}{2} \alpha = \zeta + \frac{1}{2} \frac{k \cdot D}{R} \\ \varphi' &= \varphi - \frac{k}{2} \alpha = \varphi - \frac{1}{2} \frac{k \cdot D}{R} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 1)$$

Die Korrektion für die Vertikalwinkel $\rho = \frac{1}{2} \frac{k \cdot D}{R}$ kann mit einem mittleren Werte von k für verschiedene Distanzen D berechnet werden und man ist dann in der Lage, mit dem Argumente D den Refraktionswinkel ρ aus einer Tafel zu entnehmen (II. Band, Nr. 172).

Strenge genommen hängt der Refraktionswinkel nicht nur vom Mittelpunktswinkel α , sondern auch von der Dichte der Luft, also vom Barometerstande und der Temperatur der Luft ab und es lassen sich hiefür in aller Strenge theoretisch begründete Formeln ableiten.

Selbstverständlich wird der Unterschied zwischen den strengen Formeln und der obigen Gleichung für ρ nur bei größeren Distanzen von Belang sein; da bei den Arbeiten der niederen Geodäsie selten Distanzen von mehr als 15 bis 20 *km* vorkommen werden, so genügt die obere Gleichung 3) für ρ vollkommen. Bei Distanzen unter 100 *m* kann man die Refraktion sogar ganz vernachlässigen.

Gesetzt, es wäre die Zenithdistanz der Visur von *A* nach *B* zu bestimmen und die Horizontaldistanz *A'B* der beiden Punkte betrage $D = 2000 \text{ m}$, so ist

$$\alpha'' = 206.265'' \frac{D}{R} = \frac{2000 \cdot 206.265''}{6,370.000} = 64.8'',$$

somit $\sphericalangle CBA = \rho = 0.0653 \times 64.8'' = 4.2''$, was z. B. bei einer Noniusangabe des Vertikalkreises von $20''$ nicht in Betracht kommt.

Die hier betrachtete Refraktion, welche eintritt, wenn der Lichtstrahl von einem Punkte *B* der Erde zu einem andern *A* derselben gelangt, wird die terrestrische Refraktion genannt, zum Unterschiede von der astronomischen Refraktion, wenn der Lichtstrahl, von einem Gestirne kommend, die ganze Atmosphäre zu durchlaufen hat, in welchem Falle auch auf den Barometerstand und die Temperatur der Luft Rücksicht zu nehmen ist.

169. Ausführung der trigonometrischen Höhenmessung. Im allgemeinen werden sich bei trigonometrischen Höhenbestimmungen zwei Fälle unterscheiden lassen:

1. der Horizontalabstand des in Bezug auf seine Höhe zu bestimmenden Punktes ist kein bedeutender, so daß man von der Krümmung der Erde absehen kann, oder
2. die Entfernung ist so groß, daß Erdkrümmung und Refraktion berücksichtigt werden müssen.

1. Fall. Trigonometrische Höhenmessung ohne Berücksichtigung der Erdkrümmung. Von der Erdkrümmung kann man absehen, wenn der Horizontalabstand der zwei in Bezug auf die Höhe fraglichen Punkte 500 bis 600 *m* (Fehler 0·02 *m*) nicht übersteigt. In diesem Falle kann man als Höhenunterschied den Normalabstand der scheinbaren Horizonte der beiden Punkte *A* und *B* ansehen.

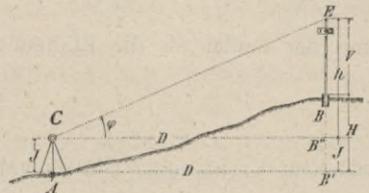


Fig. 128.

Ist im Punkte *A* (Fig. 128) ein Instrument aufgestellt, mit dem Vertikalwinkel gemessen werden können, und befindet sich im Punkte *B* ein Gegenstand von bekannter Länge *V* in vertikaler Stellung, z. B. ein Signal oder eine Latte, und wird der Vertikalwinkel φ gemessen, so ergibt sich aus dem rechtwinkligen Dreiecke $B''CE$:

$$h = D \cdot \text{tg } \varphi$$

und mit Berücksichtigung von *V*, der Zielhöhe, und *J*, der Instrumenthöhe, der Höhenunterschied der beiden Punkte *A* und *B*

$$H = h + (J - V) = D \cdot \text{tg } \varphi + (J - V) \dots \text{II}$$

Hier kann man zwei Fälle unterscheiden, je nachdem der Horizontalabstand *D* bekannt oder unbekannt ist.

Angenommen, der Horizontalabstand *D* sei bekannt, so handelt es sich nur um die Bestimmung des Vertikalwinkels φ .

Dieser kann entweder direkt gemessen werden mittels eines Universalinstrumentes (Band I, Nr. 338—346), oder aber man benützt eine Stampfersche Sehnenschraube, beziehungsweise die Tangentenschraube, um indirekt aus der Winkelgleichung die Horizontdistanz φ zu berechnen.

Hat man ein Nivellierinstrument mit Stampferscher Meßschraube, so wird, wenn *h* und *o* die Lesungen am Schraubenkopfe der Meßschraube bedeuten (Fig. 128), die Horizontdistanz aus

$$\varphi'' = a''(o - h) - b''(o^2 - h^2) = (o - h)[a'' - b''(o + h)],$$

der Winkelgleichung berechnet.

Bedenkt man, daß der Vertikalwinkel auf 1'' bis 2'' scharf bestimmt werden kann, daß die Horizontalabstand *D* auf Grund vorhergegangener geo-

dätischer Arbeiten (Triangulierung) mit großer Schärfe bekannt ist, so lassen sich auf diese Weise genaue Höhenmessungen durchführen.

Eine Genauigkeitsuntersuchung für den vorliegenden Fall ist im I. Bande, Nr. 26, ausgeführt; für die speziellen Werte

$$\left. \begin{aligned} D &= 1000 \text{ m} & \Delta D &= \pm 0.1 \text{ m} \\ \varphi &= 5^\circ & \Delta \varphi &= \pm 2'' \end{aligned} \right\}$$

wird für den mittleren Fehler erhalten:

$$\Delta h = \pm h \sqrt{\left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \varphi}{\sin 2\varphi}\right)^2} = 87.5 \sqrt{(1.0 + 1.2) \times 10^{-8}} = \pm 0.013 \text{ m}$$

und der Fehler für die Einheit der Distanz wird

$$\frac{\Delta H}{D} = \frac{1}{77.000},$$

welchem Verhältnisse ein Winkel

$$\psi'' = \rho'' \frac{\Delta H}{D} = \frac{206.265''}{77.000} = 2.7'' \text{ entspricht.}$$

Anmerkung. An die Übungstriangulierungen, welche mit den Hörern der praktischen Geometrie an der k. k. Technischen Hochschule in Wien unter Leitung des Professors Dr. A. Schell und später unter derjenigen des Autors und mit jenen an der k. k. montanistischen Hochschule in Leoben unter Leitung des Autors abgehalten wurden, reihen sich auch trigonometrische Höhenmessungen der Netzpunkte, die in der vorstehend beschriebenen Art ausgeführt werden. Die Resultate waren immer überraschend gute, wie es die, der Triangulierung entnommene, genaue Distanz und die scharfe Messung des Vertikalwinkels mittels Stampferscher Meßschraube gewärtigen lassen.

Selbstredend kann der Vertikalwinkel φ auch mittels einer Tangentenschraube ermittelt werden.

In dem Falle, als die Horizontal-distanz D unbekannt ist, kann bei Benutzung eines Nivellierinstrumentes mit Stampferscher Meßschraube nach Band II, Nr. 134, vorgegangen werden (Fig. 129); man erhält

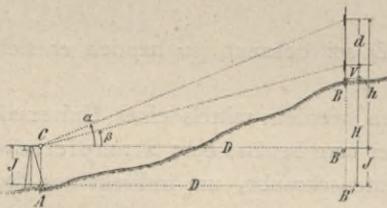


Fig. 129.

$$H = \frac{\sin \beta \cos \alpha}{\sin(\alpha - \beta)} d + (J - V), \dots \dots \dots \text{III}$$

wobei die Vertikalwinkel α und β nach strengen Formeln:

$$\left. \begin{aligned} \alpha'' &= a''(o - h) - b''(o^2 - h^2) \\ \beta'' &= a''(u - h) - b''(u^2 - h^2) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{IV}$$

berechnet werden; ein genäherter Wert für H wird erhalten, wenn die Winkel α und β nach den Näherungsformeln

$$\alpha'' = \alpha''(o - h) \text{ und } \beta'' = \alpha''(u - h)$$

bestimmt werden.

Eine gesonderte Berechnung der Winkel entfällt, wenn man sich mit einer geringeren Genauigkeit begnügt, wobei

$$H = d \frac{u - h}{o - u} + (J - V) \dots \dots \dots V)$$

wird.

Anmerkung. Die Umkehrung der Differenzen z. B. $o - h$ beim trigonometrischen Höhenmessen gegen $h - o$ beim Nivellieren erklärt sich daraus, daß beim trigonometrischen Höhenmessen positive Höhenunterschiede aufwärts, beim Nivellieren hingegen positive Gefälle abwärts gezählt werden.

Analoge Formeln kommen zur Verwertung, wenn eine Tangentschraube zur Messung der Vertikalwinkel benützt wird.

Natürlich können die Vertikalwinkel α und β , respektive φ auch mittels eines Universalinstrumentes gemessen werden; besitzt dieses als Ablesemittel Schraubenmikroskope, so ist die Genauigkeit in der Vertikalwinkelmessung eine nicht unbedeutende, besonders wenn die Messungen der Zenithdistanzen mit Libellenkontrolle (Band I, Nr. 346) ausgeführt werden.

170. Aufgaben über die Höhenmessung. Anschließend an die behandelte Höhenmessung bringen wir zwei Aufgaben über Höhenbestimmung eines beliebigen Gegenstandes.

1. Aufgabe. Die Höhe eines Gegenstandes AB ist zu bestimmen, wenn eine Basis bis zum Fußpunkte F desselben direkt gemessen oder einfach abgeleitet werden kann.

a) Die Basis SF (Fig. 130) sei horizontal.

Man stellt in S ein Instrument zum Messen von Vertikalwinkeln auf und mißt nebst der Basis $SF = D$ die Vertikalwinkel $ACE = \alpha$ und $BCE = \beta$; dann hat man:

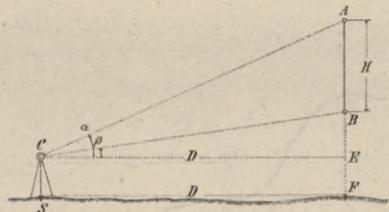


Fig. 130.

$$BC = \frac{D}{\cos \beta} \dots \dots \dots 5)$$

und damit aus dem Dreiecke ABC nach Berücksichtigung der Gleichung 5):

$$H = BC \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin(90^\circ - \alpha)} = \frac{D \sin(\alpha - \beta)}{\cos \alpha \cos \beta} \dots \dots \dots VI)$$

Liegt B tiefer als C , so wird β ein Tiefenwinkel und ist negativ zu nehmen, was in der vorstehenden Formel zu berücksichtigen ist.

- b) Die Basis SF sei geneigt (Fig. 131), wobei im Fußpunkte F entweder
 α) eine Latte aufgestellt werden kann, oder aber
 β) eine solche Aufstellung unmöglich ist.

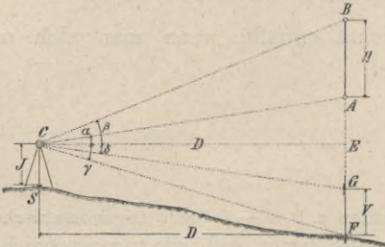


Fig. 131.

α) Nebst den Vertikalwinkeln $ACE = \alpha$, $BCE = \beta$, werden auch die Winkel $ECF = \gamma$ und $ECG = \delta$ gemessen, indem man im Abstände V vom Fußpunkte auf einer in F aufgestellten Latte einen Punkt G (Zielscheibe) markiert.

Nach dem früheren ist:

$$H = \frac{D \sin(\beta - \alpha)}{\cos \alpha \cos \beta} \dots \dots \dots 6)$$

und analog
$$V = D \frac{\sin(\gamma - \delta)}{\cos \delta \cos \gamma}, \dots \dots \dots 7)$$

wodurch nach Einführung von D aus Gleichung 7) in die Gleichung 6) folgt:

$$H = V \frac{\cos \gamma \cos \delta \sin(\beta - \alpha)}{\cos \alpha \cos \beta \sin(\gamma - \delta)} \dots \dots \dots VII)$$

- β) Angenommen, es lasse sich im Fußpunkte F keine Latte aufstellen, so wird man genötigt, auf folgende Weise vorzugehen (Fig. 132).

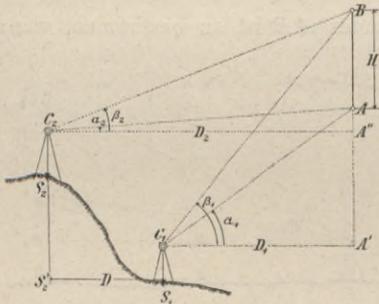


Fig. 132.

Im Standpunkte S_1 wird das Instrument aufgestellt und die Vertikalwinkel α_1 und β_1 gemessen. Nach Gleichung VI) erhält man:

$$H = \frac{\sin(\beta_1 - \alpha_1)}{\cos \alpha_1 \cos \beta_1} D_1 \dots \dots \dots 8)$$

Da nun D_1 nicht direkt gemessen werden kann, so wird ein zweiter Standpunkt S_2 in der Vertikalebene von ABS_1 gewählt und das Instrument über demselben aufgestellt; der Horizontalabstand

der beiden Standpunkte S_1 und S_2 , d. i. D , kann nun durch direkte Messung ermittelt werden. Wir haben dann die Beziehung:

$$D = D_2 - D_1 \dots \dots \dots 9)$$

Mißt man von S_2 die Vertikalwinkel α_2 und β_2 , so wird für die Höhe H erhalten:

$$H = \frac{\sin(\beta_2 - \alpha_2)}{\cos \alpha_2 \cos \beta_2} D_2 \dots \dots \dots 10)$$

Diese drei Gleichungen 8), 9) und 10) enthalten drei Unbekannte D_1, D_2 und die gesuchte Höhe H ; man muß daher die beiden Distanzen eliminieren. Es folgt aus 8) und 10)

$$\left. \begin{aligned} D_1 &= H \frac{\cos \alpha_1 \cos \beta_1}{\sin (\beta_1 - \alpha_1)} \\ D_2 &= H \frac{\cos \alpha_2 \cos \beta_2}{\sin (\beta_2 - \alpha_2)} \end{aligned} \right\}$$

woraus durch Subtraktion sich ergibt:

$$D = D_2 - D_1 = H \left(\frac{\cos \alpha_2 \cos \beta_2}{\sin (\beta_2 - \alpha_2)} - \frac{\cos \alpha_1 \cos \beta_1}{\sin (\beta_1 - \alpha_1)} \right) \dots 11)$$

und die gesuchte Höhe wird:

$$H = \frac{D}{\frac{\cos \alpha_2 \cos \beta_2}{\sin (\beta_2 - \alpha_2)} - \frac{\cos \alpha_1 \cos \beta_1}{\sin (\beta_1 - \alpha_1)}} \dots \dots \dots \text{VIII)}$$

Nun kann es aber geschehen, daß die beiden Standpunkte S_1 und S_2 nicht in derselben Vertikalebene gewählt werden können. Für diesen Fall wird man in der Gleichung 8)

$$H = \frac{\sin (\beta_1 - \alpha_1)}{\cos \alpha_1 \cos \beta_1} D_1 \dots \dots \dots 12)$$

die Horizontaldistanz D_1 indirekt zu bestimmen suchen.

Zu dem Zwecke wird seitwärts von S_1 in entsprechender Entfernung ein Punkt S so angenommen, daß der Abstand $S_1 S = b$ direkt gemessen werden kann; weiters werden in dem durch Verbindung der Punkte $S_1 BS$ entstehenden Dreiecke in S_1 und S die Horizontalwinkel α und β gemessen, wonach nach dem Sinussatze folgt:

$$b : D_1 = \sin (\alpha + \beta) : \sin \beta$$

oder

$$D_1 = b \frac{\sin \beta}{\sin (\alpha + \beta)}$$

Nach Einführung dieses Wertes in die Gleichung 12) wird erhalten:

$$H = \frac{\sin (\beta_1 - \alpha_1)}{\cos \alpha_1 \cos \beta_1} \cdot \frac{\sin \beta}{\sin (\alpha + \beta)} b \dots \dots \dots \text{IX)}$$

171. 2. Fall. **Trigonometrische Höhenmessung mit Berücksichtigung der Erdkrümmung.** Liegen zwei Punkte A und B (Fig. 133), deren Höhenunterschied $BB' = H$ bestimmt werden soll, in großer horizontaler Entfernung,

so berechnet man die Höhe H unmittelbar aus dem schiefwinkligen Dreiecke ABB' . Zu dem Zwecke muß der Bogen AB' , respektive die Sehne $\overline{AB'} = D$, d. i. die horizontale Entfernung der beiden Punkte A und B , bestimmbar sein oder aber bekannt vorliegen.

Die Projektion von A und B auf die Meeresoberfläche in a und b ist bekannt, daher auch ihr Abstand s , respektive d ; ebenso ist die absolute Höhe H_1 von A gegeben. Die absolute Höhe des Punktes B wird nach Fig. 133 sein:

$$H_2 = H_1 + H. \dots 13)$$

Aus dem Dreiecke ABB' folgt:

$$H : D = \sin \xi : \sin \eta$$

oder

$$H = D \frac{\sin \xi}{\sin \eta}, \dots 14)$$

worin D , ξ und η noch unbekannt sind.

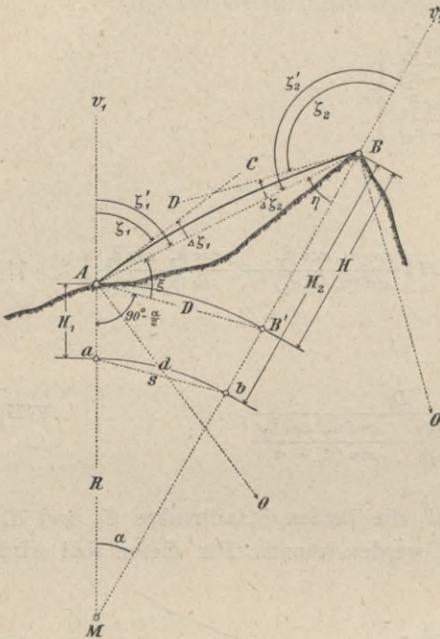


Fig. 133.

Man sucht zuerst D ; aus den ähnlichen Dreiecken $Ma b$ und MAB' folgt

$$D : s = (R + H_1) : R,$$

also

$$D = s \frac{R + H_1}{R} = s \left(1 + \frac{H_1}{R} \right).$$

Da nun $d = R \cdot \alpha$ und

$$s = 2R \sin \frac{\alpha}{2} = 2R \left(\frac{\alpha}{2} - \frac{1}{6} \frac{\alpha^3}{8} + \dots \right) = R \cdot \alpha - \frac{1}{24} R^3 \frac{\alpha^3}{R^2} = d - \frac{1}{24} \frac{d^3}{R^2}$$

ist, so ergibt sich für D der Ausdruck:

$$D = d \left(1 - \frac{1}{24} \frac{d^2}{R^2} \right) \left(1 + \frac{H_1}{R} \right) \dots 15)$$

Nun handelt es sich noch um die Bestimmung der beiden Winkel ξ und η in dem Dreiecke ABB' ; diese kann man in zweifacher Art ermitteln, nämlich durch Messung der Zenithdistanz der Linie AB entweder in einem Punkte, z. B. A : einseitige Zenithdistanzmessung, oder in beiden Punkten A und B : gegenseitige Zenithdistanzmessung.

Nennen wir ζ'_1 die wahre, ζ_1 die scheinbare Zenithdistanz im Punkte A ,
 ζ'_2 „ „ „ ζ_2 „ „ „ „ „ „ B ,

so stellen $\mathcal{A} \zeta_1 = \rho_1$ und $\mathcal{A} \zeta_2 = \rho_2$ die zugehörigen Refraktionswinkel vor;
gemessen werden mit dem Universalinstrumente oder der Meßschraube die
scheinbaren Zenithdistanzen ζ_1 und ζ_2 und es bestehen die Gleichungen:

$$\begin{aligned} \zeta'_1 &= \zeta_1 + \mathcal{A} \zeta_1 \\ \zeta'_2 &= \zeta_2 + \mathcal{A} \zeta_2 \end{aligned}$$

Aus der Figur folgen in den Punkten A und B die Winkelbeziehungen:

$$\begin{aligned} \zeta_1 + \mathcal{A} \zeta_1 + \xi + \left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right) &= 180^\circ \\ \zeta_2 + \mathcal{A} \zeta_2 + \eta &= 180^\circ \end{aligned}$$

und daraus

$$\left. \begin{aligned} \xi &= 90^\circ - \left(\zeta_1 + \mathcal{A} \zeta_1 - \frac{\alpha}{2}\right) \\ \eta &= 180^\circ - (\zeta_2 + \mathcal{A} \zeta_2) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 16)$$

Werden diese Werte in die Gleichung 14) eingeführt, so resultiert:

$$H = D \frac{\cos\left(\zeta_1 + \mathcal{A} \zeta_1 - \frac{\alpha}{2}\right)}{\sin(\zeta_2 + \mathcal{A} \zeta_2)} \dots \dots \dots X)$$

als Grundformel für das trigonometrische Höhenmessen.

Die Messung der Zenithdistanzen kann

- a) gleichzeitig und gegenseitig oder aber
- b) einseitig erfolgen.

a) Gleichzeitig und gegenseitig gemessene Zenithdistanzen. Ist der Höhenunterschied H nicht bedeutend und erfolgte die Beobachtung der Zenithdistanzen in A und B gleichzeitig, so kann $\mathcal{A} \zeta_1 = \mathcal{A} \zeta_2$ gesetzt werden.

Da nun im Dreiecke ABM

oder
$$\left. \begin{aligned} \zeta_1 + \mathcal{A} \zeta_1 &= 180^\circ - (\zeta_2 + \mathcal{A} \zeta_2) + \alpha = \eta + \alpha \\ \zeta_2 + \mathcal{A} \zeta_2 &= 180^\circ - (\zeta_1 + \mathcal{A} \zeta_1) + \alpha = \xi + 90^\circ + \frac{\alpha}{2} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 17)$$

ist, so ergibt sich mit Berücksichtigung von $\mathcal{A} \zeta_1 = \mathcal{A} \zeta_2$:

$$\mathcal{A} \zeta_1 = \mathcal{A} \zeta_2 = 90^\circ - \frac{\zeta_1 + \zeta_2}{2} + \frac{\alpha}{2} = 90^\circ - \left(\frac{\zeta_1 + \zeta_2}{2} - \frac{\alpha}{2}\right) \dots \dots \dots 18)$$

Die unbekanntn Winkel ξ und η gehen nach Gleichung 17) über in:

$$\left. \begin{aligned} \xi &= \zeta_2 + \mathcal{A} \zeta_2 - \left(90^\circ + \frac{\alpha}{2}\right) = \zeta_2 + 90^\circ - \left(\frac{\zeta_1 + \zeta_2}{2} - \frac{\alpha}{2}\right) - \left(90^\circ + \frac{\alpha}{2}\right) = \frac{\zeta_2 - \zeta_1}{2} \\ \eta &= \zeta_1 + \mathcal{A} \zeta_1 - \alpha = \zeta_1 + 90^\circ - \left(\frac{\zeta_1 + \zeta_2}{2} - \frac{\alpha}{2}\right) - \alpha = 90^\circ - \frac{\zeta_2 - \zeta_1 + \alpha}{2} \end{aligned} \right\} 19)$$

so daß nach Einführung dieser Werte in die Gleichung 14) folgt:

$$H = D \frac{\sin \frac{\zeta_2 - \zeta_1}{2}}{\cos \frac{\zeta_2 - \zeta_1 + \alpha}{2}} \dots \dots \dots \text{XI}$$

Diese Gleichung hat den Vorteil, daß sie frei ist vom Refraktionswinkel. Transformation der Formel XI). Entwickelt man den Kosinus im Nenner der Formel XI), so hat man:

$$\begin{aligned} H &= D \frac{\sin \frac{\zeta_2 - \zeta_1}{2}}{\cos \left(\frac{\zeta_2 - \zeta_1}{2} + \frac{\alpha}{2} \right)} = D \frac{\sin \frac{\zeta_2 - \zeta_1}{2}}{\cos \frac{\zeta_2 - \zeta_1}{2} \cos \frac{\alpha}{2} - \sin \frac{\zeta_2 - \zeta_1}{2} \sin \frac{\alpha}{2}} \\ &= D \frac{\sin \frac{\zeta_2 - \zeta_1}{2}}{\cos \frac{\zeta_2 - \zeta_1}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg} \frac{\zeta_2 - \zeta_1}{2} \right)} = D \operatorname{tg} \frac{\zeta_2 - \zeta_1}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg} \frac{\zeta_2 - \zeta_1}{2} \right)^{-1} \\ &= D \operatorname{tg} \frac{\zeta_2 - \zeta_1}{2} + D \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg}^2 \frac{\zeta_2 - \zeta_1}{2} \end{aligned}$$

oder mit Berücksichtigung, daß man im zweiten Gliede annähernd

$$D = R \cdot \alpha, \text{ also } \alpha = \frac{D}{R}$$

setzen kann, auch

$$H = D \operatorname{tg} \frac{\zeta_2 - \zeta_1}{2} + \frac{D^2}{2R} \operatorname{tg}^2 \frac{\zeta_2 - \zeta_1}{2} \dots \dots \dots \text{XII}$$

Das zweite Glied $\frac{D^2}{2R} \operatorname{tg}^2 \frac{\zeta_2 - \zeta_1}{2}$ gibt den Einfluß, den die Krümmung der Erde auf die Höhenmessung übt, daher stellt der erste Summand einen sehr genäherten Wert für die Höhe dar und wir können setzen:

$$H = D \operatorname{tg} \frac{\zeta_2 - \zeta_1}{2} + \frac{H^2}{2R} \dots \dots \dots \text{XIII}$$

Man kann auch jene Höhe bestimmen, für welche das zweite Glied vernachlässigt werden kann; setzt man

$$\frac{H^2}{2R} < f,$$

so folgt hieraus

$$H < \sqrt{2Rf}$$

als jene Höhe, die für einen bestimmten tolerierten Fehler f nicht überschritten werden darf.

b) Einseitig gemessene Zenithdistanzen. Der Fall, wo gleichzeitige und gegenseitige Zenithdistanzen gemessen werden, wird sich in der Praxis höchst

selten ereignen; es werden in den meisten Fällen nur in einer Station Zenithdistanzen gemessen und liegen daher gewöhnlich einseitig gemessene Zenithdistanzen vor.

Eine einfache Transformation der Formel X) läßt auch die Elimination einer beliebigen Zenithdistanz zu.

Da nämlich nach den Gleichungen 16) und 19)

$$\left. \begin{aligned} \xi &= 90^\circ - \left(\zeta_1 + \mathcal{A} \zeta_1 - \frac{\alpha}{2} \right) \\ \gamma_1 &= \zeta_1 + \mathcal{A} \zeta_1 - \alpha \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 20)$$

ist, so folgt für den Höhenunterschied nach Gleichung 14)

$$H = D \frac{\cos \left(\zeta_1 + \mathcal{A} \zeta_1 - \frac{\alpha}{2} \right)}{\sin \left(\zeta_1 + \mathcal{A} \zeta_1 - \alpha \right)}, \dots \dots \dots 21)$$

worin nur die scheinbare Zenithdistanz der unteren Station *A* und der zugehörige Refraktionswinkel enthalten sind.

Man kann aber auch, da nach den Gleichungen 19) und 16)

$$\left. \begin{aligned} \xi &= \zeta_2 + \mathcal{A} \zeta_2 - \left(90^\circ + \frac{\alpha}{2} \right) = - \left[90^\circ - \left(\zeta_2 + \mathcal{A} \zeta_2 - \frac{\alpha}{2} \right) \right] \\ \gamma_1 &= 180^\circ - \left(\zeta_2 + \mathcal{A} \zeta_2 \right) \end{aligned} \right\}$$

ist, schreiben:

$$H = -D \frac{\cos \left(\zeta_2 + \mathcal{A} \zeta_2 - \frac{\alpha}{2} \right)}{\sin \left(\zeta_2 + \mathcal{A} \zeta_2 \right)}, \dots \dots \dots 22)$$

in welchem Ausdrücke nur mehr die scheinbare Zenithdistanz und der Refraktionswinkel in der oberen Station *B* erscheinen.

Da nun

$$\mathcal{A} \zeta_1 = \frac{k}{2} \alpha, \left\{ \begin{aligned} \mathcal{A} \zeta_1 - \frac{\alpha}{2} &= (k - 1) \frac{\alpha}{2} = - \left(1 - k \right) \frac{\alpha}{2} \\ \mathcal{A} \zeta_1 - \alpha &= \left(\frac{k}{2} - 1 \right) \alpha = - \left(1 - \frac{k}{2} \right) \alpha \end{aligned} \right\}$$

ist, so kann man die Formel 21) transformieren; es wird:

$$H = D \frac{\cos \left[\zeta_1 - \left(1 - k \right) \frac{\alpha}{2} \right]}{\sin \left[\zeta_1 - \left(1 - \frac{k}{2} \right) \alpha \right]} \dots \dots \dots 23)$$

Dieser Ausdruck kann in folgender Weise entwickelt werden:

$$H = D \frac{\cos \zeta_1 + \left(1 - k \right) \frac{\alpha}{2} \sin \zeta_1}{\sin \zeta_1 - \left(1 - \frac{k}{2} \right) \alpha \cos \zeta_1} = D \frac{\cos \zeta_1 \left[1 + \left(1 - k \right) \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg} \zeta_1 \right]}{\sin \zeta_1 \left[1 - \left(1 - \frac{k}{2} \right) \alpha \operatorname{cotg} \zeta_1 \right]}$$

oder

$$\begin{aligned} H &= D \operatorname{cotg} \zeta_1 \left[1 + \left(1 - k \right) \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg} \zeta_1 \right] \left[1 + \left(1 - \frac{k}{2} \right) \alpha \operatorname{cotg} \zeta_1 \right] \\ &= D \operatorname{cotg} \zeta_1 + \left(1 - k \right) \frac{\alpha}{2} D + \left(1 - \frac{k}{2} \right) \alpha D \operatorname{cotg}^2 \zeta_1 \dots \dots \dots 24) \end{aligned}$$

Das dritte Glied kann in den meisten Fällen vernachlässigt werden, so daß mit Berücksichtigung von $\alpha = \frac{D}{R}$ erhalten wird:

$$H = D \cotg \zeta_1 + (1 - k) \frac{D^2}{2R} = D \cotg \zeta_1 + \frac{D^2}{2R} - \frac{D^2}{2R} k; \dots \dots \dots \text{XIV}$$

das Glied $\frac{D^2}{2R}$ gibt den Einfluß der Erdkrümmung auf die Höhe und

„ „ $\frac{D^2}{2R} k$ bringt den Einfluß der Refraktion zum Ausdrucke.

Will man, daß der Fehler wegen der Erdkrümmung den Betrag f_1 nicht überschreite, so läßt sich der Grenzwert für die Distanz D angeben; es ist, da

$$\frac{D^2}{2R} < f_1 \text{ ist, } D \leq \sqrt{2Rf_1};$$

analog läßt sich für den Refraktionseinfluß setzen

$$\frac{D^2}{2R} k < f_2 \text{ oder } D \leq \sqrt{\frac{2Rf_2}{k}}.$$

Formt man die Gleichung 22) für die Höhe:

$$H = -D \frac{\cos(\zeta_2 + A \zeta_2 - \frac{\alpha}{2})}{\sin(\zeta_2 + A \zeta_2)},$$

worin die gemessene Zenithdistanz der oberen Station erscheint, in ähnlicher Weise um wie die Formel 21), so folgt:

$$H = -D \cotg \zeta_2 - (1 - k) \frac{D^2}{2R} = -D \cotg \zeta_2 - \frac{D^2}{2R} + \frac{D^2}{2R} k \dots \dots \text{XV}$$

(auf das Vorzeichen von $\cotg \zeta_2$ ist hiebei Rücksicht zu nehmen).

Vereinigt man nun die so erhaltenen Höhen H_1 aus der unteren Station (Gleichung XIV) und H_2 aus der oberen Station (Gleichung XV), so erhält man:

$$H = \frac{D}{2} (\cotg \zeta_1 - \cotg \zeta_2) = D \frac{\sin(\zeta_2 - \zeta_1)}{2 \sin \zeta_1 \sin \zeta_2} \dots \dots \dots \text{XVI}$$

Wie man sieht, fehlt in dieser Gleichung der Refraktionseinfluß vollständig.

172. Näherungsformel für die trigonometrische Höhenmessung. In der

Praxis wird, weil einseitige Zenithdistanzen gemessen werden, die Formel XIV) benützt:

$$H = D \cotg \zeta + (1 - k) \frac{D^2}{2R}; \dots \dots \dots \text{XVII}$$

hierin kann der Logarithmus des Faktors $\frac{1-k}{2R}$ für verschiedene Meereshöhen von 100 zu 100 m zunehmend im vorhinein gerechnet und in eine Tafel gebracht werden, so daß die Berechnung des zweiten Gliedes auf logarithmischem Wege sehr einfach erledigt wird.

Das zweite Glied kann unter der Annahme eines mittleren Erdradius aus der folgenden Tabelle mit dem Argumente D entnommen werden, und zwar:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{D^2}{2R} \quad \text{der Einfluß der Erdkrümmung für sich} \\ - \frac{D^2}{2R} k \quad \text{„ „ der Refraktion „ „} \\ \frac{(1-k)D^2}{2R} \quad \text{beide Einflüsse vereinigt.} \end{array} \right\} \text{oder aber}$$

D	Korrektion wegen		Gesamt- korrektion $(1-k) \frac{D^2}{2R}$	Refraktions- winkel $\Delta \zeta = \rho$
	Erdkrümmung $\frac{D^2}{2R}$	Refraktion $-\frac{D^2}{2R} k$		
km	m	m	m	' ''
1	0.1	0.0	0.1	2
2	0.3	0.0	0.3	4
3	0.7	0.1	0.6	6
4	1.3	0.2	1.1	8
5	2.0	0.3	1.7	11
6	2.8	0.4	2.4	13
7	3.8	0.5	3.3	15
8	5.0	0.7	4.4	17
9	6.3	0.8	5.5	19
10	7.8	1.0	6.8	21
15	17.6	2.3	15.3	32
20	31.3	4.1	27.3	42
30	70.5	9.2	61.4	1 03
40	125	16	109	1 24
50	196	25	170	1 45

Setzt man in Gleichung XVII) $\zeta = 90^\circ$, so wird nicht, wie man es erwarten würde, $H=0$, sondern $H = \frac{1-k}{2R} D^2$, eine Höhe, die als „Horizontkorrektion“ bezeichnet wird.

173. Bestimmung des Refraktionskoeffizienten. Für die Bestimmung des Refraktionskoeffizienten bieten sich mehrere Wege:

1. Man geht von der Formel XIV) aus:

$$H = D \cotg \zeta_1 + (1-k) \frac{D^2}{2R}$$

aus welcher folgt:

$$1 - k = (H - D \cotg \zeta_1) \frac{2R}{D^2}$$

oder

$$k = 1 - (H - D \cotg \zeta_1) \frac{2R}{D^2} \dots \dots \dots \text{XVIII)}$$

Da nun H, D, ζ_1 und R entweder von Haus aus gegeben sind oder aber durch Beobachtung bestimmt werden können, so ist k berechenbar. Auf diese Weise hat Professor Bauernfeind in München seine Refraktionsuntersuchungen ausgeführt.

2. Man benützt gleichzeitige und gegenseitige Zenithdistanzmessungen in zwei örtlich verschiedenen Stationen.

Dieses Mittel der gegenseitigen Zenithdistanzen wurde frühzeitig verwendet, um den Refraktionskoeffizienten zu bestimmen.

Hiebei kann nun die Annahme gemacht werden:

- a) daß die Refraktionswinkel $\mathcal{A}\zeta_1 = \mathcal{A}\zeta_2$ entweder gleich sind, was bei gleichzeitig ausgeführten und örtlich nicht zu sehr entfernten Stationen A und B auch zutreffen wird, oder aber
- b) die Refraktionswinkel $\mathcal{A}\zeta_1$ und $\mathcal{A}\zeta_2$ werden voneinander verschieden angenommen.

Im ersteren Falle hat man $\mathcal{A}\zeta_1 = \mathcal{A}\zeta_2 = \rho = \frac{k}{2} \alpha$ nach Gleichung 2).

Es folgt mit Gleichung 18)

$$2 \mathcal{A}\zeta_1 = \alpha - (\zeta_1 + \zeta_2 - 180^\circ) = k \cdot \alpha$$

und daraus

$$k = 1 - \frac{\zeta_1 + \zeta_2 - 180^\circ}{\alpha} \dots \dots \dots \text{XIX)}$$

In der Tat wurde auf diese Weise von bedeutenden Geodäten der Wert für die Refraktionskonstante bestimmt und erhalten:

	Jahr	k
Tobias Mayer berechnete aus französischen Messungen	1751	0.1250
Delambre und Méchain berechneten aus französischen Messungen	1792	0.1678
Gauß	1823	0.1306
Corabœuf	1831	0.1296
Struve berechnete aus Breitengradmessungen in den russischen Ostseeprovinzen	1831	0.1237
Bessel berechnete aus der Gradmessung in Ostpreußen	1834	0.1370
Savitsch berechnete in Rußland	1837	0.1760
Bayer berechnete aus der Küstenvermessung 0.1362	1849	0.1300
Bayer berechnete aus der Binnenlandvermessung 0.1239		
Britische Landesaufnahme im Mittel	1858	0.1587
Preußische Landesaufnahme im Mittel	1870—1875	0.1180

Wie man sieht, hat man für den Refraktionskoeffizienten k ziemlich abweichende Resultate erhalten, da nicht nur Lokalverhältnisse, sondern besonders die Tageszeit auf die Refraktion einen wesentlichen Einfluß ausüben. In dieser Veränderlichkeit von k liegt der Grund, warum Höhenbestimmungen aus gegenseitigen Zenithdistanzen jenen aus einfachen Zenithdistanzen vorzuziehen sind und bedeutend genauere Resultate bieten.

Können wegen zeitlicher und örtlicher Umstände $\mathcal{A}\zeta_1$ und $\mathcal{A}\zeta_2$ nicht als einander gleich angenommen werden, so ist es notwendig, daß H scharf auf nivellistischem Wege bestimmt und D aus einer geodätischen Arbeit entnommen wird. Man hat dann für gegenseitig beobachtete Zenithdistanzmessungen:

$$H = D \frac{\cos(\zeta_1 + \mathcal{A}\zeta_1 - \frac{\alpha}{2})}{\sin(\zeta_2 + \mathcal{A}\zeta_2)}$$

oder nach Einführung einseitig gemessener Zenithdistanzen:

$$H = D \frac{\cos(\zeta_1 + \mathcal{A}\zeta_1 - \frac{\alpha}{2})}{\sin(\zeta_1 + \mathcal{A}\zeta_1 - \alpha)} = -D \frac{\cos(\zeta_2 + \mathcal{A}\zeta_2 - \frac{\alpha}{2})}{\sin(\zeta_2 + \mathcal{A}\zeta_2)}$$

worin H , D und α bekannt sind; somit sind hieraus

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{A}\zeta_1 &= \frac{k}{2} \alpha \\ \mathcal{A}\zeta_2 &= \frac{k'}{2} \alpha \end{aligned} \right\} \text{berechenbar und damit auch} \quad \left. \begin{aligned} k &= \frac{2 \cdot \mathcal{A}\zeta_1}{\alpha} \\ k' &= \frac{2 \cdot \mathcal{A}\zeta_2}{\alpha} \end{aligned} \right\} \dots \dots \text{XX)$$

Hieraus kann man sich überzeugen, ob die Refraktionskoeffizienten der unteren und oberen Station dieselben Werte ergeben.

Untersuchungen haben gezeigt, daß $k = k'$ gesetzt werden kann, wenn der Höhenunterschied H nicht bedeutend ist und die Beschaffenheit der Atmosphäre keine Änderungen erfahren hat.

In Bezug auf die Veränderlichkeit des Refraktionskoeffizienten wurde gefunden, daß derselbe mit der Höhe über dem Meere abnimmt, daß er an demselben Orte mit der Zunahme des Luftdruckes an Größe zunimmt und daß besonders die Beschaffenheit der Unterlage, auf welcher der von den Lichtstrahlen durchlaufene Teil der Atmosphäre ruht, bedeutenden Einfluß auf die Refraktion nimmt. Wenn des Morgens die an der Oberfläche der Erde liegenden, in der Nacht abgekühlten Luftschichten von der Sonne erwärmt werden und ein Ausgleich der wärmeren und kälteren Luftschichten stattfindet, so gibt sich das im Fernrohre durch ein lebhaftes Zittern und Wogen der Bilder kund, welche Erscheinung man die Unruhe der Bilder nennt. In diesem Zustande der Luft ist die Refraktion am größten; sie nimmt im Laufe des Vormittags mit der Unruhe der Bilder ab, bis sie 1 bis 1½ Stunden vor Mittag das Minimum erreicht. Um 1 Uhr nachmittags hat der Boden seine höchste Temperatur erreicht, welche er durch einige Zeit beibehält, während die Durchwärmung der Luft nach aufwärts andauert. Die Refraktion wird von da an wieder größer. Nachmittags, etwa in 3/5 der Zeit zwischen Mittag und Sonnenuntergang, wenn der vollkommene Ausgleich der Luftschichten stattgefunden hat, tritt Ruhe der Bilder ein, was zwischen 1½ und 1 Stunde dauert, worauf dann wieder gegen Abend zu eine, aber nun geringere Unruhe der Bilder eintritt als des Morgens. Teils nun, weil frühmorgens die Refraktion am größten ist, teils weil während der starken Unruhe der Bilder das Beobachten mit dem Fern-

rohre unsicher ist (besonders das Visieren mit dem Horizontalfaden, da die Bewegungen des Bildes vorzugsweise im vertikalen Sinne erfolgen), erscheint für das Höhenmessen und Nivellieren die Nachmittagszeit, besonders aber die Zeit der absoluten Bildruhe günstiger als der Morgen.

174. Ermittlung der absoluten Höhe (Meereshöhe). Durch trigonometrische Höhenbestimmung der einzelnen Punkte der Landstriangulierung untereinander erhält man die relativen Höhen derselben; nun ist es nicht nur wünschenswert, sondern sogar notwendig, die absoluten Höhen dieser Punkte über der Meeresoberfläche zu ermitteln. Hierzu ist unbedingt erforderlich, daß die absolute Höhe wenigstens eines Punktes gegen das Meeresniveau bekannt ist; die anderen lassen sich hieraus ableiten.

Die absolute Höhe eines Punktes *A* in Fig. 134 läßt sich ermitteln:

- a) durch ein Nivellement und
- b) durch eine trigonometrische Höhenmessung.

Ad a) Im Punkte *P* ist eine Pegellatte aufgestellt, auf welcher auf Grund jahrelanger Beobachtungen die mittlere Lage der Meeresoberfläche bezeichnet ist, so daß z. B. der Abstand des obersten Punktes *C* des Pegels *P* von der mittleren Meeresoberfläche das lineare Stück *L* ist.

Nun wird vom Punkte *C* nach *A* nivelliert und der Höhenunterschied von *A* und *C*, d. i. *G* ermittelt, so daß

$$H = G + L \dots \dots \dots \text{XXI)}$$

die absolute Höhe von *A* darstellt.

Ad b) Mit einem etwas geringeren Grade von Genauigkeit läßt sich die Bestimmung der absoluten Höhe auf trigonometrischem Wege ausführen.

Ist in Fig. 134 *M* der Mittelpunkt der Erde und *A* der Punkt, dessen Höhe über dem Meeresniveau zu bestimmen ist, so ergibt sich,

indem *AB* eine Tangente an *A'B* darstellt:

$$R = (R + H) \cos \alpha,$$

woraus

$$H = \frac{1 - \cos \alpha}{\cos \alpha} R \dots \dots \dots 25)$$

sich ergibt, oder umgeformt:

$$H = \frac{2R \sin^2 \frac{\alpha}{2}}{\cos^2 \frac{\alpha}{2} - \sin^2 \frac{\alpha}{2}} = \frac{2R \sin^2 \frac{\alpha}{2}}{\cos^2 \frac{\alpha}{2} (1 - \tan^2 \frac{\alpha}{2})} = 2R \tan^2 \frac{\alpha}{2} \left(1 - \tan^2 \frac{\alpha}{2}\right)^{-1}$$

oder

$$H = 2R \left(1 + \tan^2 \frac{\alpha}{2}\right) \tan^2 \frac{\alpha}{2}, \dots \dots \dots 26)$$

wenn die Glieder mit höheren Potenzen von $\tan^2 \frac{\alpha}{2}$ vernachlässigt werden.

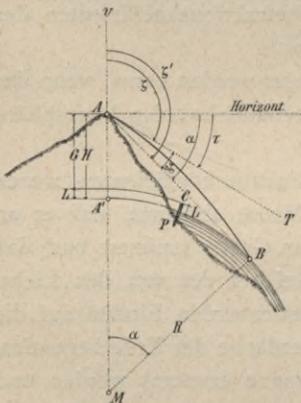


Fig. 134.

Die Gleichung 26) kann auch geschrieben werden:

$$H = 2 R \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2} + \frac{4 R^2 \operatorname{tg}^4 \frac{\alpha}{2}}{2 R},$$

worin nach Einführung des Näherungswertes für $H \doteq 2 R \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}$ folgt:

$$H = 2 R \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2} + \frac{H^2}{2 R} \dots \dots \dots \text{XXII}$$

Unter der Voraussetzung, daß α bekannt ist, kann aus Gleichung XXII) der Wert von H bestimmt werden.

Da nun:

$$\zeta' = 90^\circ + \alpha = \zeta + \Delta \zeta = \zeta + \frac{k}{2} \alpha$$

ist, so folgt: $\zeta - 90^\circ = \alpha - \frac{k}{2} \alpha = \left(1 - \frac{k}{2}\right) \alpha = \tau$

oder $\alpha = \frac{\tau}{1 - \frac{k}{2}} \dots \dots \dots 27)$

Ist ζ nahezu 90° , so stellt die Differenz $\zeta - 90^\circ$ die Kimmtiefe τ vor, die gleichfalls sehr klein ist, somit kann man setzen:

$$\alpha = \frac{\tau}{1 - \frac{k}{2}} = \left(1 + \frac{k}{2}\right) \tau \dots \dots \dots 28)$$

oder $\operatorname{tg} \alpha = \left(1 + \frac{k}{2}\right) \operatorname{tg} \tau$, respektive $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{k}{2}\right) \operatorname{tg} \tau$ sowie $\operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{1}{4} \left(1 + \frac{k}{2}\right)^2 \operatorname{tg}^2 \tau \dots \dots 29)$

und nach Einführung in die Gleichung XXII) folgt die Höhe in der Form:

$$H = R \frac{1 + k}{2} \operatorname{tg}^2 \tau + \frac{H^2}{2 R} \dots \dots \dots \text{XXIII}$$

Um also die absolute Höhe eines Punktes zu finden, ist es bloß nötig, die Kimmtiefe mit einem entsprechenden Instrumente zu ermitteln; die Größen R und k sind bekannt.

Anmerkung. Wäre die absolute Höhe auf nivellitischem Wege bestimmt worden oder sonstwie bekannt, so ließe sich nach Vernachlässigung von $\frac{H^2}{2 R}$ aus Gleichung XXII) der Mittelpunktswinkel α finden; wir hätten:

$$H = 2 R \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}$$

oder hieraus $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{H}{2 R}} = \frac{\alpha}{2}$ oder $\alpha = \sqrt{\frac{2 H}{R}} \dots \dots \dots 30)$

Da man nun nach Gleichung 28) vorstehender Entwicklung auch hat:

$$\alpha = \tau \left(1 + \frac{k}{2}\right) = \sqrt{\frac{2 H}{R}}, \dots \dots \dots 31)$$

so ergibt sich für die Kimmtiefe:

$$\tau = \frac{1}{1 + \frac{k}{2}} \sqrt{\frac{2H}{R}} \text{ oder } \tau'' = \rho'' \frac{1}{1 + \frac{k}{2}} \sqrt{\frac{2H}{R}} = \left(\rho'' \frac{1}{1 + \frac{k}{2}} \sqrt{\frac{2}{R}} \right) \sqrt{H}, \text{ XXIV)}$$

worin der eingeklammerte Ausdruck den Wert $107.8''$ hat; daher resultiert:

$$\tau'' = 107.8'' \sqrt{H} \dots \dots \dots \text{XXIV'}$$

Diese Gleichung wird benützt, wenn auf der See Höhenmessungen ausgeführt werden.

Aus der Gleichung

$$\alpha = \tau \left(1 + \frac{k}{2} \right) = \sqrt{\frac{2H}{R}}$$

kann auch der Refraktionskoeffizient bestimmt werden; es wird

$$\frac{k}{2} = \frac{\sqrt{\frac{2H}{R}} - \tau}{\tau} \text{ oder } k = \frac{2}{\tau} \left(\sqrt{\frac{2H}{R}} - \tau \right) \dots \dots \dots \text{XXV)}$$

Die auf diesem Wege bestimmten Werte für den Refraktionskoeffizienten haben bedeutend größere Beträge ergeben als die auf die früher besprochene Weise auf dem Festlande bestimmen.

175. Reduktion gemessener Zenithdistanzen auf den wahren Scheitelpunkt. Die besprochene Höhenbestimmung durch Messung gegenseitiger Zenithdistanzen setzt voraus, daß sich an beiden Beobachtungsorten der Mittelpunkt des Vertikalkreises genau in demselben Punkte befinde, welcher als Zielpunkt dient. Dies ist allgemein nicht ausführbar, da entweder die Punkte durch weit sichtbare Signale, Pyramiden, bezeichnet werden oder andere genau erkennbare Objekte, z. B. Türme, sind; dann dient der höchste Punkt des Signales oder der Turmknopf als Zielpunkt, während das Instrument in der Vertikalebene am Fußpunkte der Signalstange oder in einem Turmfenster exzentrisch aufgestellt wird; es handelt sich nun darum, die für den Standpunkt des Instrumentes erhaltene Zenithdistanz auf den wahren Scheitelpunkt zu reduzieren.

1. Fall. Angenommen, man könne sich unter der Pyramide aufstellen (Fig. 135), so wird die Zenithdistanz ζ im Punkte C' gemessen, statt ζ_0 im vertikalen Abstände $C'A = h$ im Punkte C zu bestimmen; es besteht die Relation:

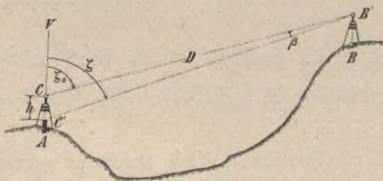


Fig. 135.

$$\zeta_0 = \zeta + \beta, \dots \dots \dots 32)$$

wenn man den Winkel $C'B'C'$ mit β bezeichnet.

Setzt man die schiefe Entfernung $C'B' = D$, welche hinreichend genau der horizontalen Entfernung D der beiden Punkte A und B gleich gesetzt werden kann, so folgt aus dem Dreiecke $C'C'B'$:

$$D : h = \sin \zeta : \sin \beta$$

oder

$$\sin \beta = \frac{h}{D} \sin \zeta; \beta'' = \rho'' \frac{h}{D} \sin \zeta,$$

somit nach Gleichung 32): $\zeta_0 = \zeta + \beta = \zeta + \rho'' \frac{h}{D} \sin \zeta. \dots \dots \dots \text{XXVI}$

Das vorbehandelte Verfahren stellt eine Reduktion der gemessenen Zenithdistanz ζ auf den Zielpunkt C im Punkte A dar.

In analoger Weise geht man bei Reduktion auf den Zielpunkt B' im Punkte B vor, da das Instrument nicht in B' aufgestellt werden kann.

2. Fall. Sehr oft kommt es vor, daß das Winkelmeßinstrument in der Vertikalen des Zielpunktes A überhaupt nicht aufgestellt werden kann, wie es bei unzugängigen Punkten: Kirchturmspitzen, Blitzableitern u. dgl. der Fall ist; dann ist man genötigt, sich exzentrisch aufzustellen, wobei die Aufstellung in der Vertikalebene der beiden Punkte A und B (Fig. 136) die einfachste Reduktion bietet.

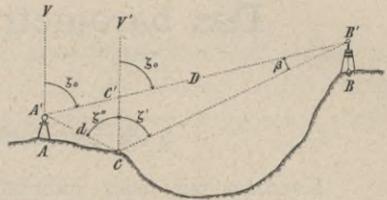


Fig. 136.

Unter dieser Annahme werden nun im Punkte C (Fig. 136) die Zenithdistanzen ζ' und ζ'' gemessen; dann wird, wenn der Abstand $A'C = d$ ermittelt und $A'B' = D$, aus einer früheren Arbeit entnommen wurde, aus dem Dreiecke $CA'B'$ erhalten:

$$d : D = \sin \beta : \sin (\zeta' + \zeta'')$$

$$\sin \beta = \frac{d}{D} \sin (\zeta' + \zeta'') = \widehat{\beta}$$

und aus dem Dreiecke $C'CB'$:

$$\zeta_0 = \zeta' + \beta = \zeta' + \rho'' \frac{d}{D} \sin (\zeta' + \zeta'') \dots \dots \dots \text{XXVII}$$

3. Fall. Werden manchmal beide Reduktionen, die im 1. und 2. Falle besprochen wurden, erforderlich, dann geschieht dies durch aufeinanderfolgende Anwendung der Gleichungen XXVI) und XXVII).

Literatur zu „Trigonometrisches Höhenmessen“.

1. Bauernfeind: „Die atmosphärische Strahlenbrechung auf Grund einer neuen Aufstellung über die physische Konstitution der Atmosphäre“ in den Astronomischen Nachrichten, 62. und 67. Band.
2. Bauernfeind: „Ergebnisse aus Beobachtungen der terrestrischen Refraktion“ in den Abhandlungen der königlich Bayrischen Akademie der Wissenschaften, München 1880, 1883, 1888 und 1890.
3. Hartl: „Beiträge zum Studium der terrestrischen Refraktion“ in den Mitteilungen des k. u. k. Militärgeographischen Institutes in Wien, III. Band, 1883.
4. Helmert: Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie. II. Teil: Die physikalischen Theorien. 8. Kapitel: Die trigonometrische Höhenmessung, Berlin 1880—1884.
5. Jordan: Die trigonometrische Höhenmessung und die Ausgleichung ihrer Resultate, Stuttgart 1866.
6. Stampfer-Lorber: Das Nivellieren, Wien 1894.

Vierter Abschnitt.

Das barometrische Höhenmessen.

§ 16. Barometrische Höhenmessung.

Konform mit jeder indirekten Höhenmessung wird auch bei der barometrischen Höhenmessung statt der gesuchten Höhe H eine mit ihr in einem gewissen Zusammenhange stehende Größe, nämlich der Luftdruck gemessen. Die barometrische Höhenformel bringt theoretisch den Zusammenhang zum Ausdruck, welcher zwischen dem Höhenunterschiede zweier Punkte und den in denselben gleichzeitig herrschenden Maßzahlen des Luftdruckes besteht, so zwar, daß man in der Lage ist, aus diesen den Höhenunterschied zu berechnen.

Auf den zwei physikalischen Tatsachen, daß nämlich die atmosphärische Luft zufolge ihrer Expansivkraft auf Körper, die ihrem Ausdehnungsbestreben hinderlich sind, einen Druck (Luftdruck) ausübt und gleich allen übrigen Körpern den Gesetzen der Schwere unterliegt, fußt das Prinzip des barometrischen Höhenmessens.

176. Ableitung der Höhenformel. Denken wir uns zwei Punkte A und B , wobei A die untere und B die obere Station darstellen mag, setzen Gleichgewichtszustand der Atmosphäre voraus und nehmen die Temperatur der Luft

mit 0° an, so wird, weil eben die Luft eine Spannkraft besitzt und der Einwirkung der Schwere unterworfen ist, in den beiden Stationen ein verschiedener Luftdruck herrschen. Da der Luftdruck aus leicht begreiflichen Gründen mit der Entfernung von der Erdoberfläche abnimmt, so wird der Luftdruck P_1 in der unteren Station A größer sein als P_2 in der oberen Station B . Der Höhenunterschied wird als eine Funktion der Maßzahlen der Luftdrücke P_1 und P_2 erscheinen, also $H = F(P_1, P_2)$ sein; natürlich wird auch noch die Temperatur zu berücksichtigen sein.

Um nun einfach zu der in Frage stehenden Funktion zu gelangen, denken wir uns die beiden Stationen zuvörderst in einer Vertikalen gelegen.

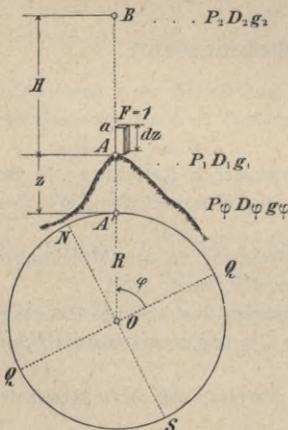


Fig. 137.

Betrachten wir einen Punkt A der Erdoberfläche (Fig. 137), dessen geographische Koordinaten φ , λ und z (Meereshöhe) seien; A' stellt seine Projektion auf das Meeresniveau dar.

Bedeutet die Symbole P den Luftdruck, D die Dichte der Luft und g die Beschleunigung oder Akzeleration der Schwere, so sollen im Punkte A herrschen: P_1 , D_1 und g_1 , am Meeresniveau im Punkte A' : P_φ , D_φ und g_φ . Nach dem Mariotteschen Gesetze ist die Dichte der Luft der sie zusammendrückenden Kraft proportional, somit:

$$P_\varphi : P_1 = D_\varphi : D_1, \dots \dots \dots 1)$$

welche Proportion einen normalen Zustand der atmosphärischen Luft voraussetzt.

Stellen P das Gewicht, V das Volumen, M die Masse, D die Dichte und S das spezifische Gewicht eines Körpers dar, so bestehen zwischen diesen Größen die Relationen:

$$P = V.S = M.g$$

oder

$$\frac{S}{g} = \frac{M}{V} = D;$$

wenden wir diese Beziehungen auf den Luftkörper an und führen den vorstehenden Ausdruck für die Dichte in Gleichung 1) ein, so folgt:

$$P_\varphi : P_1 = \frac{S_\varphi}{g_\varphi} : \frac{S_1}{g_1}, \dots \dots \dots 2)$$

Das Volumen eines Luftprismas im Punkte A , dessen Basis $F=1$ der Flächeneinheit gleichkommt und dessen Höhe dz beträgt, ist:

$$dV = F . dz = 1 . dz,$$

somit das Gewicht, respektive der Druck, den dieses Prisma ausüben würde:

$$dP_1 = S_1 . dV = S_1 . dz.$$

Erhebt man sich von A nach a , so entspricht dP_1 der sich äußernden Luftdruckabnahme, weshalb dP_1 negativ zu nehmen ist, also:

$$dP_1 = -S_1 . dz \dots \dots \dots 3)$$

Diese Gleichung läßt sich noch nicht integrieren und es handelt sich vorerst darum, sie integrabel zu machen.

Für das spezifische Gewicht S_1 folgt aus Gleichung 2):

$$S_1 = \frac{P_1}{P_\varphi} \left(\frac{g_1}{g_\varphi} \right) S_\varphi,$$

worin S_1 von dem Quotienten $\frac{g_1}{g_\varphi}$ abhängig ist. Da nun die Akzelerationen der

Schwere sich umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen vom Erdmittelpunkte verhalten, so hat man:

$$g_1 : g_\varphi = \frac{1}{(R+z)^2} : \frac{1}{R^2}$$

oder $\frac{g_1}{g_\varphi} = \frac{R^2}{(R+z)^2} = \left(1 + \frac{z}{R}\right)^{-2} = 1 - 2\frac{z}{R}$, also $S_1 = \frac{P_1}{P_\varphi} \left(1 - 2\frac{z}{R}\right) S_\varphi$

und in die Gleichung 3) eingeführt:

$$\frac{dP_1}{P_1} = -\frac{S_\varphi}{P_\varphi} \left(1 - 2\frac{z}{R}\right) dz. \dots\dots\dots 4)$$

Diese Gleichung stellt die Differentialgleichung für das barometrische Höhenmessen vor.

Da nun der Bruch $\frac{S_\varphi}{P_\varphi}$ für das Meeresniveau konstant ist, so ist die Gleichung 4) integrel und wir erhalten:

$$\log nat P_1 = -\frac{S_\varphi}{P_\varphi} \left(z - \frac{z^2}{R}\right) + C \dots\dots\dots 5)$$

Um die Integrationskonstante zu bestimmen, wählt man einen höher gelegenen Punkt B; ist dessen Höhe über A $\overline{AB} = H$ und der hier herrschende Luftdruck P_2 , so folgt:

$$\log nat P_2 = -\frac{S_\varphi}{P_\varphi} \left[(z+H) - \frac{(z+H)^2}{R} \right] + C \dots\dots\dots 6)$$

Werden die Gleichungen 5) und 6) subtraktiv verbunden und bedenkt man, daß $P_1 > P_2$ sein muß, so wird

$$\log nat \frac{P_1}{P_2} = \frac{S_\varphi}{P_\varphi} H \left(1 - \frac{H+2z}{R}\right),$$

woraus $H = \frac{P_\varphi}{S_\varphi} \frac{1}{1 - \frac{H+2z}{R}} \log nat \frac{P_1}{P_2} = \frac{P_\varphi}{S_\varphi} \left(1 + \frac{H+2z}{R}\right) \log nat \frac{P_1}{P_2}$

sich ergibt. Geht man auf dekadische oder Briggsche Logarithmen über, so ergibt sich für die Höhe die Gleichung:

$$H = \frac{P_\varphi}{S_\varphi} \frac{1}{M} \left(1 + \frac{H+2z}{R}\right) \log \frac{P_1}{P_2} = h_\varphi \frac{1}{M} \left(1 + \frac{H+2z}{R}\right) \log \frac{P_1}{P_2} \dots\dots\dots I)$$

In dem vorstehenden Ausdrücke sind die Glieder: $\frac{1}{M}, \left(1 + \frac{H + 2z}{R}\right)$ und $\log \frac{P_1}{P_2}$ Zahlen ohne Dimensionen, es muß daher $\frac{P_1}{S_\varphi}$ von derselben Dimension sein wie H , somit eine Linie darstellen, eine Luftsäulenhöhe h_φ am Meeresniveau vom Querschnitte 1. Die Größe h_φ stellt gewissermaßen die Maßeinheit vor, auf welche die gesuchte Höhe H bezogen wird.

Denkt man sich in der geographischen Breite $\varphi = 45^\circ$ einen Ort am Meeresniveau, einen sogenannten Normalort, so herrscht hier P_{45}, S_{45}, g_{45} und hiezu gehört h_{45} .

Die Schwerkraft ist, wie bekannt, am Äquator am kleinsten und nimmt gegen die Pole hin zu; mit ihr nimmt auch die Dichte der Luft in geradem Verhältnisse zu, wodurch eine Abnahme der Höhe gleich schwerer Luftschichten eintritt. Hat demnach eine Luftschicht bei der Schwerkraft g_φ die Höhe h_φ , so nimmt sie bei einer Schwerkraft g_{45} die Höhe h_{45} an, wobei die Relation:

$$h_\varphi : h_{45} = g_{45} : g_\varphi \text{ oder } h_\varphi = h_{45} \frac{g_{45}}{g_\varphi} \dots \dots \dots 7)$$

besteht.

Da die Akzeleration der Schwere für einen Ort am Meeresniveau und der geographischen Breite φ lautet:

$$g_\varphi = a + b \sin^2 \varphi,$$

so wird bei $\varphi = 45^\circ$

$$g_{45} = a + \frac{b}{2}, \text{ daher}$$

$$\begin{aligned} \frac{g_{45}}{g_\varphi} &= \frac{a + \frac{b}{2}}{a + b \sin^2 \varphi} = \left(1 + \frac{b}{2a}\right) \left(1 + \frac{b}{a} \sin^2 \varphi\right)^{-1} = \left(1 + \frac{b}{2a}\right) \left(1 - \frac{b}{a} \sin^2 \varphi\right) \\ &= 1 + \frac{b}{2a} - \frac{b}{a} \sin^2 \varphi = 1 + \frac{b}{2a} (1 - 2 \sin^2 \varphi) = 1 + \frac{b}{2a} \cos 2 \varphi. \end{aligned}$$

Baily hat die Konstanten a und b auf experimentellem Wege bestimmt und gefunden:

$$\left. \begin{aligned} a &= 9.7806 \text{ m} \\ b &= 0.05145 \text{ ,,} \end{aligned} \right\}$$

hierin bedeutet $a = g_0$ die Akzeleration der Schwere (Schwerebeschleunigung) am Äquator; somit ist

$$\frac{g_{45}}{g_\varphi} = 1 + 0.0026228 \cos 2 \varphi \dots \dots \dots 8)$$

Da der französische Physiker Regnault am Meere für die geographische Breite $\varphi = 45^\circ$ und einen Barometerstand von 760 mm für das spezifische Gewicht der Luft mit Kohlensäure fand:

$$S_{45} = 0.001293024$$

und das spezifische Gewicht des Quecksilbers ebenda 13·595 93 *kg* beträgt, so wird der Quotient

$$h_{45} = \frac{P_{45}}{S_{45}} = \frac{13\cdot595\ 93}{0\cdot001\ 293\ 024} \cdot 760\ \text{mm} = 7,991\cdot270\ \text{mm} = 7991\cdot27\ \text{m}; \dots\dots 9)$$

h_{45} stellt die Höhe einer Luftsäule dar, welche einer Quecksilbersäule von 760 *mm* Höhe am Meeresniveau in der geographischen Breite $\varphi = 45^0$ das Gleichgewicht hält, es ist gleichsam die Höhe der Atmosphäre des betreffenden Punktes, des Normalortes. Man nennt sie auch die Barometrische Einheit.

Die Gleichung 7) geht nach Einführung der Werte aus 8) und 9) über in:

$$h_{\varphi} = (1 + 0\cdot002\ 623\ \cos 2\ \varphi) h_{45} = (1 + 0\cdot002\ 623\ \cos 2\ \varphi) 7991\cdot27\ \text{Meter}$$

und dieser Wert, in die Gleichung 1) eingesetzt, gibt für die Höhe:

$$H = \frac{h_{45}}{M} (1 + 0\cdot002\ 623\ \cos 2\ \varphi) \left(1 + \frac{H + 2\ \varepsilon}{R}\right) \log \frac{P_1}{P_2} \dots\dots\dots 10)$$

Der Bruch $\frac{h_{45}}{M} = K$ stellt den Barometerkoeffizienten dar, welcher nach den vorstehend abgeleiteten Werten sich berechnet mit:

$$K = \frac{h_{45}}{M} = \frac{7991\cdot27\ \text{m}}{0\cdot434\ 2945} = 18\cdot400\cdot2\ \text{m}.$$

Die Höhe resultiert dann mit:

$$H = 18\cdot400\cdot2 (1 + 0\cdot002\ 623\ \cos 2\ \varphi) \left(1 + \frac{H + 2\ \varepsilon}{R}\right) \log \frac{P_1}{P_2} \dots\dots\dots \text{II)}$$

177. Bestimmung des Barometerkoeffizienten. Wie wir bereits gezeigt haben, bestimmte Regnault den Barometerkoeffizienten

$$K = \frac{h_{45}}{M} = \frac{P_{45} \cdot 1}{S_{45} \cdot M}$$

direkt, indem er S_{45} und P_{45} auf experimentellem Wege ermittelte. Mehrere Geometer haben auf praktischem Wege den Koeffizienten K bestimmt. Bei verschiedenen Landesvermessungen wurden Höhen mit großer Schärfe auf nivellistischem Wege ermittelt und, gestützt auf diese bekannten Größen, K berechnet.

So fanden

Laplace und Ramond.....	$K = 18\cdot393\ \text{m}$
Gauß	$K = 18\cdot382\ \text{„}$
Bauernfeind.....	$K = 18\cdot405\ \text{„}$

während

Rühlmann.....	$K = 18\cdot400\cdot2\ \text{„}$
---------------	----------------------------------

aus physikalischen Messungen berechnet hat.

178. Korrektion der Barometerformel wegen Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit. Die Ableitung der Barometerformel wurde unter der Voraussetzung durchgeführt, daß die Temperatur konstant sei und Null Grad betrage; die Luftfeuchtigkeit fand keine Berücksichtigung.

Nun zeigt es sich aber, daß bei der Beobachtung des Luftdruckes, die in beiden Stationen, der oberen und unteren, gleichzeitig vorgenommen wird, eine verschiedene Temperatur herrscht und daß die Luft einen verschiedenen Gehalt an Feuchtigkeit aufweist. Beide Faktoren üben aber einen modifizierenden Einfluß auf die Barometerformel II) aus und es muß daher diese wegen der Lufttemperatur und der Luftfeuchtigkeit korrigiert werden.

Korrektion wegen der Lufttemperatur in der unteren und oberen Station. Wurde in der unteren Station die Lufttemperatur t_1 und in der oberen eine solche t_2 beobachtet, so kann man das arithmetische Mittel $\frac{t_1 + t_2}{2}$ bei normalen Zuständen der Atmosphäre als die Temperatur der Luftschicht zwischen A und B annehmen.

Die Barometerformel II) gibt die Höhe H einer trockenen Luftsäule von 0^0 C; ist α der Ausdehnungskoeffizient der Luft, so wird die verbesserte Höhe H sein:

$$H_1 = H + \alpha H t = H \left(1 + \alpha \frac{t_1 + t_2}{2} \right), \dots \dots \dots 11)$$

wobei $t = \frac{t_1 + t_2}{2}$ und $\alpha = 0.00367$ den Ausdehnungskoeffizienten der Luft bedeuten; es wird daher die wegen der Lufttemperatur korrigierte Höhe, wenn für H der Wert aus Gleichung II) eingeführt wird, sich ergeben:

$$H_1 = 18.400.2 \left(1 + 0.00367 \frac{t_1 + t_2}{2} \right) (1 + 0.002623 \cos 2\varphi) \left(1 + \frac{2s + H}{R} \right) \log \frac{P_1}{P_2} \dots \dots \dots \text{III)}$$

Korrektion wegen der Luftfeuchtigkeit. Die Formel III) setzt voraus, daß die Luftsäule zwischen den beiden Stationen vollkommen trocken sei. Nun ist aber die Luft mehr oder weniger mit Wasserdampf durchsetzt und der Feuchtigkeitszustand derselben nimmt auf den Luftdruck Einfluß.

Wurde mit einem Psychrometer der Feuchtigkeitsgehalt in den beiden Beobachtungsstationen ermittelt, ist daraus der Dunstdruck a_1 mm in der unteren, a_2 mm in der oberen Station erhalten worden und bedeuten $a = \frac{a_1 + a_2}{2}$ den mittleren Dunstdruck und $P = \frac{P_1 + P_2}{2}$ den mittleren Luftdruck der beiden Stationen, so wird die nach III) gefundene Höhe H_1 auf Grund von theoretischen Untersuchungen eine Korrektion von $\frac{3}{8} \frac{a}{P} H_1$ erfahren, so daß, wenn die wirkliche Höhe wieder mit H bezeichnet wird, erhalten wird:

$$H = H_1 + \frac{3}{8} \frac{a}{P} H_1 = \left(1 + \frac{3}{8} \frac{a}{P} \right) H_1 \dots \dots \dots 12)$$

oder nach Substitution des Wertes aus III)

$$H = 18.400.2 \left(1 + 0.00367 \frac{t_1 + t_2}{2} \right) (1 + 0.002623 \cos 2\varphi) \left(1 + \frac{3}{8} \frac{a}{P} \right) \left(1 + \frac{2s + H}{R} \right) \log \frac{P_1}{P_2} \dots \dots \dots \text{IV)}$$

Dies ist nun die vollständige Formel für das barometrische Höhenmessen, in welcher z die Seehöhe der unteren Station, H die Höhe der oberen Station über der unteren, P_1, t_1, a_1 Luftdruck, Lufttemperatur und Dunstdruck in der unteren, P_2, t_2, a_2 Luftdruck, Lufttemperatur und Dunstdruck in der oberen Station, R den mittleren Erdradius und φ die geographische Breite der beiden in einer Vertikalen gedachten Stationen bedeuten.

Dr. R. Rühlmann hat in seinem Werke: „Die barometrischen Höhenmessungen und ihre Bedeutung für die Physik der Atmosphäre“, Leipzig 1870, die Grundformel für das barometrische Höhenmessen in vollständiger Strenge abgeleitet und hierbei noch berücksichtigt, daß die beiden Stationen in verschiedenen geographischen Breiten φ_1 und φ_2 gelegen sind.

179. In der technischen Praxis kommt die barometrische Höhenmessung meist in räumlich enge begrenzten Gebieten zur Anwendung; die Korrektionsfaktoren für die Schwere wegen absoluter Höhe und geographischer Breite sowie Feuchtigkeit der Luft können daher als konstant aufgefaßt und mit dem absoluten Faktor 18.400·2 verbunden werden. Für Mitteleuropa werden als Mittelwerte angenommen:

$$\varphi = 50^\circ, 2z + H = 1000 \text{ m}, a = 7.2 \text{ mm}, P = 720 \text{ mm} \text{ und } R = 6,370.000;$$

für diese Verhältnisse wird

$$N = 18.400 \cdot 2 \left(1 + \frac{2z + H}{R} \right) (1 + 0.002623 \cos 2\varphi) \left(1 + \frac{3}{8} \frac{a}{P} \right) = 18.464 \text{ m} \dots \text{V}$$

und die vereinfachte Barometerformel lautet:

$$H = 18.464 \left(1 + 0.00367 \frac{t_1 + t_2}{2} \right) \log \frac{P_1}{P_2} \dots \dots \dots \text{V}'$$

Diese Formel gestattet unter den gemachten Voraussetzungen, den Höhenunterschied beider Stationen in einfacher Weise zu ermitteln, da neben dem Luftdrucke nur mehr die mittlere Temperatur beider Stationen in Rechnung kommt.

Es ist selbstverständlich, daß für andere Orte der Erde, auf welchen andere Feuchtigkeitsverhältnisse der Luft herrschen und für welche andere Höhenverhältnisse in Betracht kommen, die vereinfachte Formel eine andere barometrische Konstante haben wird, die sich stets nach der allgemeinen Formel v) für N leicht berechnen läßt.

Anmerkung. Bei der Aufstellung der Formel I) bis V') wurden die beiden Stationen vertikal übereinander liegend angenommen; aber auch auf horizontal entfernt liegende Punkte finden die angeführten Formeln Anwendung, solange nämlich die Voraussetzung zulässig ist, daß an den Beobachtungspunkten der Zustand der Atmosphäre derselbe ist wie bei vertikal übereinander liegenden Punkten und daß Änderungen in dem Zustande der Atmosphäre an beiden Stationen gleichzeitig eintreten. Je geringer die horizontale Entfernung der beiden Stationen ist, um so sicherer wird dies zutreffen; der Erfahrung zufolge soll die horizontale Entfernung nicht über 5 bis 10 km betragen, weil sonst die Höhenbestimmung unverläßlich wird.

Instrumente zur Messung des Luftdruckes.

180. Bei den Instrumenten, welche zur Messung des Luftdruckes gebaut worden sind, kommt dasselbe Prinzip zur Anwendung, welches beim Abwägen der Körper im Gebrauche ist; es wird nämlich der Luftdruck gemessen durch ein bekanntes Gewicht oder mittels einer Feder. Man hat daher zwei Gattungen von Luftdruckmessern oder Barometern:

1. die Quecksilberbarometer, bei welchen der Luftdruck durch das Gewicht einer Quecksilbersäule, welche ihm das Gleichgewicht hält, bestimmt wird, und
2. die Aneroide oder Federbarometer, bei welchen der Luftdruck durch die Federkraft einer metallenen, nahezu luftleeren Büchse gemessen wird.

Quecksilberbarometer.

Diese dienen zur sicheren und direkten Bestimmung des Luftdruckes; mit ihnen können absolute Luftdruckmessungen vorgenommen werden.

Der Luftdruck wird durch die in Millimetern ausgedrückte Höhe einer Quecksilbersäule gemessen, welche von der (unteren) Quecksilberoberfläche im Gefäße (oder offenen Schenkel des Hebers) bis zu jener (oberen) in der Röhre (oder im geschlossenen Arme des Hebers) reicht. Tritt eine Änderung im Luftdrucke ein, so ändert sich der Stand beider Oberflächen und damit auch die Höhe der Quecksilbersäule, die im Gleichgewichte gehalten wird; nimmt der Luftdruck zu, so sinkt die Oberfläche im Gefäße (oder im offenen Schenkel) und steigt in der Röhre (oder im geschlossenen Arme des Hebers) und umgekehrt.

Ihrer Konstruktion nach unterscheidet man:

- a) Gefäßbarometer, und zwar:
 - α) mit Fortinscher Einrichtung, wobei der Boden beweglich ist, und
 - β) mit unbeweglichem Boden, sogenannte Stationsbarometer von Kappeller.
- b) Heber- oder Gay-Lussacsche Barometer.

181. **Gefäßbarometer nach Fortin** (Fig. 138 und 139). Die Barometeröhre reicht in ein zylindrisches Gefäß, dessen Hälfte aus Glas ist, durch welches man die spiegelnde Oberfläche des Quecksilbers und eine Elfenbeinspitze *s* sieht; der untere Teil ist aus Metall. Der leicht bewegliche Quecksilberbehälter, aus weichem Leder *L* hergestellt, wird auf einem Holzringe befestigt, der in den Metallzylinder eingeschraubt wird. Mit Hilfe der Metallschraube *S*, deren Muttergewinde im Boden des Gefäßes sich befindet, kann die Oberfläche des Quecksilbers gehoben und gesenkt werden. Der längere Teil der Barometeröhre *R* ist in einer schützenden Metallröhre untergebracht, welche eine Teilung trägt und in ihrem oberen Teile vorne und rückwärts ausgeschnitten ist, wodurch im Ausschnitte die Barometeröhre *R* mit der oberen kuppenförmigen

Quecksilberoberfläche sichtbar wird. Über der Quecksilberkuppe bis zum oberen Ende der natürlich geschlossenen Röhre ist die Torricellische Leere oder das Vakuum.

In dem Ausschnitte ist ein Nonius N beweglich; er steht in Verbindung mit einem Ringe r , der durch ein Schraubengewinde in einen zweiten drehbaren Ring r' eingreift; dieser ist mit der zylindrischen Hülse h der Länge nach verschiebbar und wird mittels der Bremsschraube b festgeklemmt. Ist b gelüftet, so können beide Ringe und mit ihnen der Nonius längs der Teilung frei bewegt werden; ist b angezogen, so erfolgt die feine Bewegung des Nonius durch ein Drehen des Ringes r' . Hiedurch wird es möglich, den Nonius so zu stellen, daß die unteren Kanten des Nonius und des rückwärtigen Führungsplättchens, welche mit dem Nullpunkte des Nonius zusammenfallen, die Quecksilberkuppe tangieren und an der Teilung den Stand der oberen Quecksilberoberfläche abzulesen gestatten.

Am Barometer befindet sich ein Thermometer zur Angabe der inneren Temperatur des Quecksilbers; es ist derart an dem Instrumente montiert, daß seine Kugel in das Quecksilber des Barometers versenkt ist. Es heißt das eingefügte oder attachierte Thermometer.

Ein zweites, freies Thermometer, das als Schleuderthermometer benützt wird, dient zur Bestimmung der Lufttemperatur.

Die Höhe der Quecksilbersäule (Barometerstand), welche dem Luftdrucke das Gleichgewicht hält, reicht von der mit der Elfenbeinspitze zusammenfallenden Oberfläche des Quecksilbers im Glasgefäße bis zur oberen Fläche des Quecksilbers in der Barometerröhre (Tangentialebene an die Kuppe) und wird bei eingestelltem Nonius an dessen Nullpunkt abgelesen. Die Teilung, welche an der Messingfassung des Barometers ersichtlich ist, muß daher so ausgeführt sein, daß ihr Nullpunkt mit der Elfenbeinspitze zusammenfällt.

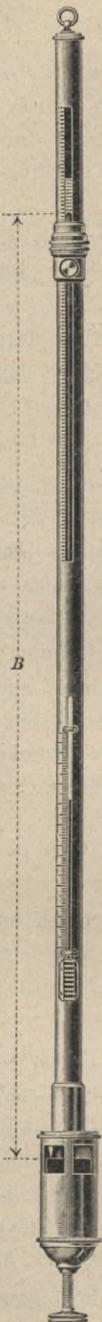


Fig. 138.

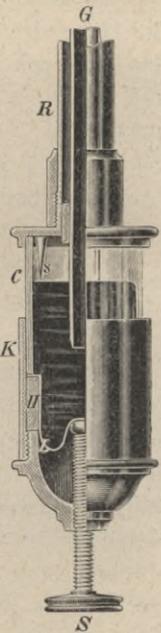
(Etwa $\frac{1}{6}$ der natürlichen GröÙe.)

Fig. 139.

(Etwa $\frac{1}{3}$ der natürlichen GröÙe.)

182. Gebrauch des Instrumentes. Für den Gebrauch des Fortinschen Quecksilberbarometers ist es von Wichtigkeit, über seine Aufstellung, seine Beobachtung und seinen Transport vollends im klaren zu sein.

a) Aufstellung. Was die Aufstellung des Instrumentes betrifft, so hat man auf Einhaltung folgender Punkte zu achten:

1. Das Barometer darf niemals direkter Wärmestrahlung ausgesetzt werden, muß also vor den direkten Sonnenstrahlen im Freien und der Ofenwärme in geschlossenen Lokalen geschützt werden; denn zufolge der ungleichen Verteilung der Temperatur über die verschiedenen Teile der Quecksilbersäule kann sonst die Angabe des attachierten Thermometers nicht richtig in Rechnung gezogen werden.
2. Das Barometer muß genau vertikal hängen, wenn es den Stand des Luftdruckes richtig liefern soll; dies wird stets eintreten, wenn das Barometer zufolge der Schwere frei auf seinem Ringe hängt, oder wenn ein Gestell, Stativ, benützt wird, auf dem es kardanisch aufgehängt ist.
3. Die Kuppe des Quecksilbers soll sich beim Einstellen scharf von dem Hintergrunde abheben; zu dem Zwecke wird hinter der Skala ein Stück weißes Papier befestigt. Ein kleiner Handspiegel kann zur Beleuchtung der Skala gute Dienste leisten.
4. Schnelle Temperaturschwankungen sollen stets vermieden werden, weil sich dabei die Temperatur der Quecksilbersäule nicht genau in derselben Weise ändert wie jene des attachierten Thermometers.

Nach dem Vorstehenden wird man in Lokalen zur Aufstellung des Barometers einen gleichmäßig oder gar nicht geheizten Raum benützen, dessen Fenster nordseitig liegen; im Freien wird man das Barometer auf einen eigenen Haken (Baumschraube) mittels seines Ringes so aufhängen, daß das Instrument schattenseitig und mit seiner unteren Quecksilberoberfläche etwa 1 m über der Erdoberfläche hängt.

b) Beobachtung. Diese umfaßt im Wesen die Ablesung des inneren Thermometers, die Einstellung der Quecksilberoberfläche auf die Elfenbeinspitze und jene des Nonius auf die Kuppe und das Ablesen des Nonius; diese Operationen sollen möglichst schnell ausgeführt werden, was natürlich eine gewisse Fertigkeit in der Ausführung der Beobachtungen voraussetzt.

Vor allem tut man gut, das Instrument etwas aus der vertikalen Lage zu bringen, wodurch das Quecksilber in der Röhre in Bewegung kommt und desto richtiger seinen wahren Stand einnimmt. Durch sanftes Klopfen mit dem Finger oder einem Bleistift in der Nähe der Quecksilberkuppe wird die Adhäsion des Quecksilbers aufgehoben, worauf nach zwei bis drei Minuten die Einstellung selbst vorgenommen werden kann.

1. Die Ablesung des inneren Thermometers geschieht unmittelbar nach dem Herantreten an das Barometer, damit es von der Körperwärme des Beobachters nicht beeinflußt wird.
2. a) Die Einstellung der Quecksilberoberfläche im Gefäße führt man mit der Schraube *S* derart aus, daß das unterste Ende der Elfenbeinspitze *s* berührt wird; dies wird am schärfsten dadurch erzielt, daß man vorerst die Spitze etwas in das Quecksilber eintauchen läßt; hiebei wird man bei reinem Quecksilber um die Spitze eine trichterförmige Vertiefung wahrnehmen, die durch Senken des Bodens immer seichter wird und in dem Augenblicke verschwindet, als man die richtige Einstellung der Quecksilberoberfläche erreicht hat.

Bei reiner Oberfläche wird auch das Reflexbild der Spitze im Quecksilber mit Vorteil benützt werden können.

- b) Die Einstellung des Nonius auf die Kuppe besteht darin, daß man einen zur Achse senkrecht abgeschnittenen Metallring *R* (Fig. 140), der vorne den Nonius trägt, mittels der Schraube *r'* (Fig. 139) derart verstellt, daß die Ebene seiner unteren Ränder

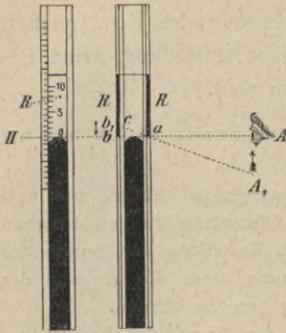


Fig. 140.

Tangentialebene zur Kuppe wird. Dies wird dadurch erreicht, daß man den Ring bis auf etwa $\frac{1}{2}$ mm Abstand von der Kuppe herabschraubt und das Auge A_1 so hält, daß deutlich ein Teil bb_1 der hinteren, dunkel erscheinenden Innenfläche des Ringes gesehen wird; dann hebt man das Auge nach A , bis bb_1 verschwunden ist, und schraubt so lange herab, bis die einander deckenden Ränder ab den obersten Punkt c der Kuppe zu berühren scheinen. Dann liegen bca und A in derselben Horizontalebene HA .

Wird das Auge von der Lage HA nach oben und unten bewegt, so darf in keiner Lage ein heller Zwischenraum über der Kuppe bleiben und die hellen seitlichen Dreiecke werden in der richtigen horizontalen Lage am größten erscheinen.

3. Das Ablesen am Nullpunkte des Nonius wird in bekannter Weise bewerkstelligt und so der Barometerstand in Millimetern erhalten, abgesehen von Korrekturen, die noch anzubringen sind.

Lufttemperatur. Bezüglich ihrer Bestimmung seien einige Winke gegeben. Man bedient sich eines sogenannten Schleudermometers; es sind dies mit einer Celsius-gradteilung versehene, gute und sorgfältig geprüfte (mit Normalthermometern verglichene) Instrumente mit langem und starkem Gefäße.

Die Messung der Temperatur geschieht am besten in der Weise, daß das an einer starken Schnur befestigte Thermometer eine Zeitlang (2–5 Minuten) im Kreise herumgeschleudert und dann schleunigst abgelesen wird. Dadurch kommt das Quecksilbergefäß mit vielen Luftteilchen in Berührung, nimmt schnell ihre Temperatur an und wird nicht von der strahlenden Wärme der Umgebung beeinflusst.

Die Ablesungen an hängenden Thermometern geben bei nicht bewegter Luft wegen der Wärmestrahlung unbrauchbare Resultate.

Das Schleudern soll so lange fortgesetzt werden, bis der Stand des Thermometers genügend konstant bleibt.

Anmerkung. Für die Barometerformel sollen die Lufttemperaturen in den Stationen gemessen werden, indem vorausgesetzt wird, daß dadurch die mittlere Temperatur der in Betracht kommenden Luftmasse gefunden werde. Dies trifft jedoch nicht vollständig zu. Die unmittelbar an der Erdoberfläche unter der Einwirkung der lokalen Einflüsse angestellten Beobachtungen gestatten nicht ohneweiters, auf die in Betracht kommende Luftmasse zu schließen, da wir eine unmittelbare Übereinstimmung der thermischen und dynamischen Eigenschaften der Atmosphäre nicht voraussetzen dürfen.

Über die Beziehung zwischen Lufttemperatur und Höhe sind Untersuchungen von Bauernfeind und Rühlmann gemacht worden, welche zum Erkennen einer täglichen Periode der Höhenfehler führten.

c) Transport. Einpacken. Hierbei wird das Instrument behutsam geneigt, bis die Kuppe des Quecksilberbarometers an das obere Ende der Röhre anstößt; dies gibt sich dadurch zu erkennen, daß die Hand am oberen Ende des Barometers einen leichten Stoß verspürt und das Ohr einen reinen, metallischen Anschlag vernimmt. Diese letzte Tatsache spricht zugleich dafür, daß das Vakuum erhalten ist, während ein dumpfer Anschlag auf das Vorhandensein von Luft im Vakuum hinweist.

Nachdem die Barometerröhre mit Quecksilber gefüllt ist, wird die Schraube S so weit hineingeschraubt, bis der Lederboden leicht an dem unteren Ende der Röhre R anliegt. Man kann nun das Instrument in etwas geneigter Stellung oder vollkommen umgestürzt tragen,

ohne daß es Schaden leidet, nur hat man stets darauf zu achten, daß es nicht stark gerüttelt wird.

Zum bequemen Tragen ist zumeist ein Lederfutteral vorhanden, in welches das Instrument in umgewendeter Lage eingeschoben und das mittels eines Riemens umgehängt wird.

Auspacken. Hierbei wird das Barometer in etwas geneigter Stellung aus dem Futterale herausgenommen, so daß das untere Ende der Barometerröhre von dem im Gefäße befindlichen Quecksilber gut umgeben ist, damit keine Luftblase in die Röhre kommt; hierauf wird *S* etwas gelüftet, das Barometer allmählich geneigt und nicht zu rasch in die vertikale Lage übergeführt. Man wird in der Röhre bald die Quecksilberkuppe wahrnehmen, welche bei vertikaler Lage des Instrumentes ihren tiefsten Stand einnimmt.

Selbst wenn das Barometer eine kurze Strecke, z. B. aus einem Zimmer in das andere, übertragen wird, so soll dieser Transport in umgekehrter Lage des Instrumentes erfolgen.

183. Stationsbarometer von Kappeller. (Fig. 141.) In Österreich ist das sogenannte Kappellersche Stationsbarometer sehr verbreitet und steht an der Mehrzahl der österreichischen meteorologischen Stationen in Verwendung.

Das Glasgefäß ist in ein Messinggefäß *K* eingeschlossen, welches eine eingeschraubte Bodenplatte besitzt; diese drückt mittels einer Korkscheibe den Boden des Glasgefäßes nach oben und preßt seinen oberen Rand, respektive den oberen Rand des Holzdeckels, der sich auf dem Glasgefäße befindet, gegen die obere Deckplatte der Messinghülse. Wie bei dem Gefäßbarometer Fortinscher Einrichtung taucht auch hier die Barometerröhre in das im Gefäße befindliche Quecksilber; ebenso ist ein eingefügtes Thermometer vorhanden und die Ablesevorrichtung ist ähnlich konstruiert wie beim geschilderten Fortinschen Barometer.

Die Quecksilberoberfläche im Gefäße ändert mit dem Luftdrucke ihre Lage gegen den Nullpunkt der Skala. Wenn z. B. bei einem Luftdrucke von 760 *mm* die Quecksilberoberfläche im Gefäße in einer Ebene liegt mit dem Nullpunkte der Skala, so wird bei abnehmendem Luftdrucke das Quecksilberniveau sich heben, bei wachsendem Luftdrucke aber unter den Nullpunkt der Skala fallen.

Niveaurektion. Da sich die Lesung des Standes der Kuppe in der Barometerröhre auf den fixen Nullpunkt bezieht, so wird die gemachte Lesung bei kleinerem Luftdrucke zu groß und bei größerem Luftdrucke zu klein, und zwar um die Distanz der Quecksilberoberfläche im Gefäße vom Nullpunkte der Skala.



Fig. 141.

($\frac{1}{3}$ der natürlichen Größe.)

(Etwa $\frac{1}{6}$ der natürl. Größe.)

Diese Distanz läßt sich leicht berechnen, wenn die Querschnitte der Röhre und des Gefäßes bekannt sind.

Nennen wir r den Radius der Röhre, R jenen des Gefäßes, so sind die Dimensionen beider in Frage kommenden Querschnitte: πr^2 und $\pi (R^2 - r^2)$.

Angenommen, die Lesung am Barometer sei $N = 760 \text{ mm}$, wenn der Nullpunkt der Skala mit der Quecksilberoberfläche zusammenfällt, welche Stelle der Neutrale Punkt genannt wird, so muß jede andere Lesung korrigiert werden. Steigt das Quecksilber in der Röhre vom „Neutralen Punkte“ um 1 mm , so sinkt das Quecksilber im Gefäße um $c = \frac{r^2}{R^2 - r^2} \text{ mm}$ unter die Ebene des Nullpunktes.

War die Lesung an der eingestellten Kuppe der Quecksilbersäule B , so ist die Korrektur:

$$c(B - N) = c(B - 760)$$

und die gesuchte Höhe der Quecksilbersäule, welche im Momente der Beobachtung der Luftsäule das Gleichgewicht hält:

$$B' = B + c(B - N) = B + c(B - 760) \dots \text{VI}$$

Bei dem Stationsbarometer nach Kappeller mit unbeweglichem Boden erfolgt also die Ermittlung des Korrektionsgliedes durch Rechnung, beim Gefäßbarometer mit Fortinscher Einrichtung hingegen durch mechanische Hebung und Senkung der Quecksilberoberfläche; es entfällt bei der Rechnung wohl jedweder Einstellungsfehler der Quecksilberoberfläche, dagegen wird die genaue Kenntnis der beiden Konstanten c und N vorausgesetzt. N wird gewöhnlich 760 mm gewählt und c von Seite der mechanischen Werkstätte scharf bestimmt und auf der Gefäßbodenplatte des Instrumentes eingraviert.

Wegen Reduktion der Lesungen siehe Nr. 186.

184. Das Heberbarometer. Dasselbe besteht aus einer heberförmigen Glasröhre $abcd$ (Fig. 142), welche in eine Holzfassung eingelassen ist. Diese Glasröhre ist nach Gay-Lussac zwischen b und c stark verengt und bei b mit der sogenannten Buntenschen Versicherung versehen. Die obere Röhre a endet nämlich in eine feine Spitze s und ist in eine zweite Röhre b eingeschmolzen.

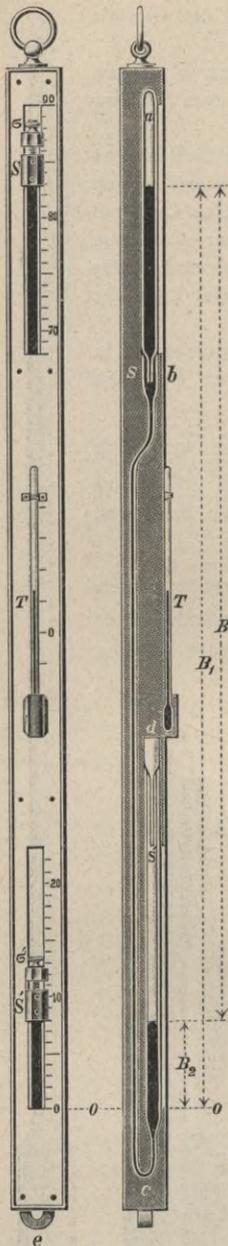


Fig. 142.

(Etwa $\frac{1}{6}$ der natürlichen Größe.)

Die Verengung der Röhre hat den Zweck, einerseits das Instrument leichter zu machen, andererseits aber die Luft aus dem längeren Schenkel möglichst fern zu halten; kommt aber dennoch eine Luftblase hinein, so macht es

die Buntensche Spitze s unmöglich, daß dieselbe in den Torricellischen Raum tritt, denn sie wird durch die enge Öffnung der feinen Spitze nicht durchgehen, sondern sich in dem Raume zwischen Spitze und Röhrenwand unschädlich ansetzen. Der kürzere Schenkel d ist offen; damit aber beim Umkehren des Instrumentes das Quecksilber nicht herausfällt, ist auch hier eine Buntensche Spitze s' angebracht, so daß sich beim Neigen des Instrumentes das im kurzen Schenkel befindliche Quecksilber zwischen s' und der Röhrenwand ansammelt, ohne durch die feine Öffnung der Spitze hinausdringen zu können.

Die vordere Seite der hölzernen Hülse ist mit einem Metallstreifen belegt, welcher oben und unten Ausschnitte hat, um das obere und untere Quecksilberniveau beobachten zu können. Auf diesem Metallstreifen ist eine Millimetertheilung angebracht mit einem unter dem Niveau der unteren Quecksilberkuppe befindlichen, übrigens beliebigen Nullpunkte. Das Barometer hat oben einen Messingring zum Aufhängen an einer Baumschraube, welche in einen Baum, Pfahl oder dergleichen eingeschraubt wird, und unten ein Öhr e , an welches bei heftigem Winde ein Gewicht angehängt wird, um das Instrument in vertikaler Lage zu erhalten. Beim Transport wird es in umgekehrter Lage in einem Lederfutteral verwahrt.

Beim Gebrauche werden, nachdem das Instrument frei aufgehängt ist, die Schieber S und S' mittels der Schraubchen σ und σ' tangierend an die obere und untere Kuppe des Quecksilbers eingestellt und deren Stellung durch die Nonien auf der Skala abgelesen. Die Differenz der Ablesungen gibt dann die Höhe der Quecksilbersäule. Zur Ermittlung der Temperatur des Quecksilbers ist das Thermometer T vorhanden, dessen Kugel in das Innere des Instrumentes versenkt ist; die Temperatur t der Luft wird auf einem eigenen Thermometer abgelesen, welches neben dem Instrumente geschleudert wird.

Die Gefäßbarometer eignen sich vorzüglich zu Standbarometern, welche am unteren Stationspunkte fix aufgestellt bleiben. Für den Transport, also zu sogenannten Reisebarometern sind die Heberbarometer sehr vorteilhaft; ihre Genauigkeit steht zwar etwas hinter den früher genannten zurück, aber sie sind ihres geringeren Gewichtes wegen zum Transport geeigneter und haben außerdem noch den Vorteil, daß bei ihnen der Einfluß wegen Kapillardepression nahezu behoben wird.

185. Gebrauch des Instrumentes. *a) Aufstellung.* Wegen der Aufstellung des Instrumentes gilt das in Nr. 182 Gesagte; nur ist folgendes zu beachten.

Bleibt das Instrument durch längere Zeit an einem Orte hängen, dient es also als Stationsbarometer, so bildet sich bei längerer vertikaler Lage auf der Quecksilberoberfläche des offenen Schenkels ein vom Quecksilberoxyd herrührender Überzug, welcher mit der Zeit das Glas trübt und undurchsichtig macht; gleichzeitig wird die Form des Meniskus und die Wirkung der Kapillarität eine unregelmäßige. Aus dem Grunde ist es geboten, Heberbarometer, wenn sie nicht benutzt werden, in geneigte Lage zu bringen, wobei der geschlossene Schenkel mit Quecksilber ausgefüllt wird; hiebei kann man den Anschlag des Quecksilbers beobachten, der über das Vakuum Aufschluß gibt. Wenn nun im offenen Schenkel sich eine Oxydschicht bildet, so ist sie auf einer Stelle, welche bei normaler Lage

des Barometers unter der Ablesestelle sich befindet, so daß die eventuelle Trübung der Glasröhre weder auf das Sehen noch auf die Kapillarität Einfluß üben kann.

b) Beobachtung. Auch hier hat man die in Nr. 182 besprochenen Vorsichten zu beachten.

Der Barometerstand wird als die Differenz zweier Einstellungen und Ablesungen erhalten; es vergrößern sich somit hier gegenüber den Gefäßbarometern die Beobachtungsfehler. Zahlreiche Vergleichen von Gefäß- und Heberbarometern an der ehemaligen Zentralanstalt für Meteorologie und Erdmagnetismus in Wien haben gezeigt, daß der mittlere Fehler einer Vergleichung eines Kappelle'schen Stationsbarometers $\pm 0.081 \text{ mm}$ und eines Heberbarometers $\pm 0.126 \text{ mm}$ beträgt.

c) Transport. Auch das Heberbarometer wird in verkehrter Lage transportiert. Das Instrument wird vom Haken abgenommen und vorsichtig und langsam so lange geneigt, bis das Quecksilber das Vakuum ausfüllt und an das obere Ende der Barometerröhre anschlägt, wobei wieder der Anschlag beobachtet wird; in vertikaler verkehrter Lage wird es in das Futteral geschoben und in geneigter Lage geschultert transportiert.

Beim Auspacken wird das Barometer aus dem Futteral behutsam herausgezogen und nun vorsichtig so geneigt, daß das Quecksilber in den offenen Schenkel tritt und im geschlossenen sich das Vakuum bildet; hierauf wird es aufgehängt und kann nach etwa $\frac{1}{4}$ Stunde beobachtet werden.

186. Reduktionen bei Quecksilberbarometer-Beobachtungen. Bei einem Quecksilberbarometer wird der Luftdruck durch den gleich starken Druck, welchen ihm das Gewicht einer Quecksilbersäule entgegengesetzt, im Gleichgewichte erhalten. Nennen wir F den Querschnitt der kalibrierten Glasröhre des Barometers, S das spezifische Gewicht des Quecksilbers, B die Höhe der Flüssigkeitssäule, den Barometerstand, so ist der von ihr ausgeübte Druck bei der am inneren Thermometer abgelesenen Temperatur T :

$$P = F \cdot B \cdot S \text{ oder auf die Flächeneinheit } F = 1, P = B \cdot S.$$

In der Grundformel für das barometrische Höhenmessen ist der Luftdruck bei Null Grad Temperatur eingeführt; da ferner nach vorstehender Gleichung der Luftdruck als Funktion des Barometerstandes B und des spezifischen Gewichtes S erscheint, so wird es notwendig, den Barometerstand auf 0° C zu reduzieren und wegen der Änderung des spezifischen Gewichtes mit der Schwere eine Zurückführung auf gleiche Schwere vorzunehmen.

Außer den vorstehend erwähnten Reduktionen werden noch Korrekturen erforderlich, die in der Eigenart und Konstruktion des Instrumentes begründet sind, so daß bei Quecksilberbarometern besonders folgende Reduktionen notwendig sind:

1. Reduktion des Barometers auf Null Grad,
2. Korrektion wegen Ausdehnung der Metallskala des Quecksilberbarometers,
3. Korrektion wegen der Kapillardepression und
4. Reduktion der Barometerstände auf gleiche Schwere.

187. Ad 1. und 2. **Reduktion des Barometerstandes auf Null Grad und Korrektion wegen Ausdehnung der Metallskala.** An der Messingskala des Barometers wird der Barometerstand B bei der Temperatur T abgelesen; die Länge, welche derselben nach der Bezifferung zufällt, gilt nur für eine bestimmte, die sogenannte normale Temperatur, z. B. T_0 . Ist $T > T_0$, so wird wegen der positiven Differenz $T - T_0$ die Größe B sich zu klein ergeben. Bedeutet α den Ausdehnungskoeffizienten des Maßstabes, so ist

$$B_1 = B + \alpha(T - T_0) B = [1 + \alpha(T - T_0)] B. \dots\dots\dots 13)$$

die wegen der Ausdehnung des Metallmaßstabes korrigierte Höhe der Barometersäule für die Temperatur T .

Nennen wir β den Ausdehnungskoeffizienten des Quecksilbers, so wird der auf Null Grad reduzierte Barometerstand:

$$B_0 = B_1 - \beta \cdot B_1 \cdot T = B_1 (1 - \beta \cdot T),$$

oder nach Einführung des Wertes für B_1 aus Gleichung 13):

$$\begin{aligned} B_0 &= B [1 + \alpha(T - T_0)] (1 - \beta T) \\ &= B [1 - (\beta - \alpha) T - \alpha \cdot T_0] = B - B [(\beta - \alpha) T + \alpha \cdot T_0] \dots\dots\dots 14) \end{aligned}$$

Wird

$$[(\beta - \alpha) T + \alpha \cdot T_0] B = \mathcal{A} B \dots\dots\dots 15)$$

gesetzt, so folgt:

$$B_0 = B - \mathcal{A} B \dots\dots\dots \text{VII})$$

als der auf Null Grad reduzierte Barometerstand.

Da die Ausdehnungskoeffizienten

$$\left. \begin{array}{l} \text{von Messing} \quad \alpha = 0.000\ 0180 \\ \text{„ Quecksilber} \quad \beta = 0.000\ 1802 \end{array} \right\} \text{ sind, somit } \gamma = \beta - \alpha = 0.000\ 1622,$$

und die normale Temperatur

$$T_0 = 15^\circ \text{ ist, daher } \delta = \alpha \cdot T_0 = 0.000\ 270,$$

so hat man:

$$\mathcal{A} B = (\gamma \cdot T + \delta) B = (0.000\ 1622 T + 0.000\ 270) B.$$

Diese Korrektion kann aus berechneten Tabellen mit den Argumenten T und B unmittelbar oder nach einfacher Interpolation erhalten werden.

Reduktion der in *mm* abgelesenen Barometerstände auf Null Grad.

Für Messingskala mit der Normaltemperatur $T_0 = 0^\circ$.

Temperatur ° C	Barometerstand in <i>mm</i>											
	540	560	580	600	620	640	660	680	700	720	740	760
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4
4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5
5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
7	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9
8	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0
9	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1
10	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2
11	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4
12	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5
13	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5	1.6	1.6
14	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	1.6	1.6	1.7	1.7
15	1.3	1.3	1.4	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.7	1.7	1.8	1.8
16	1.4	1.4	1.5	1.5	1.6	1.7	1.7	1.8	1.8	1.9	1.9	2.0
17	1.5	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8	1.8	1.9	1.9	2.0	2.0	2.1
18	1.6	1.6	1.7	1.7	1.8	1.9	1.9	2.0	2.0	2.1	2.1	2.2
19	1.7	1.7	1.8	1.8	1.9	2.0	2.0	2.1	2.1	2.2	2.3	2.3
20	1.7	1.8	1.9	1.9	2.0	2.1	2.1	2.2	2.2	2.3	2.4	2.4
21	1.8	1.9	2.0	2.0	2.1	2.2	2.2	2.3	2.4	2.4	2.5	2.6
22	1.9	2.0	2.1	2.1	2.2	2.3	2.3	2.4	2.5	2.6	2.6	2.7
23	2.0	2.1	2.1	2.2	2.3	2.4	2.4	2.5	2.6	2.7	2.7	2.8
24	2.1	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.6	2.7	2.8	2.9	2.9
25	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1
26	2.3	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2
27	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.0	3.1	3.2	3.3
28	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.1	3.2	3.3	3.4
29	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.5
30	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7

188. Ad 3. **Korrektion wegen der Kapillardepression.** Wegen der Adhäsion des Quecksilbers an den Wänden der Barometerröhre sinkt der Barometerstand im Verhältnisse zum Niveau eines Normalbarometers um den Betrag δ , die sogenannte Kapillardepression (Fig. 143).

Das Normalbarometer hat einen so großen Durchmesser der Röhre, daß die Oberfläche des Quecksilbers eben bleibt, während durch die Adhäsion in engen Glasröhren die Quecksilberkuppe um den Betrag δ sinkt.

Ist h die Höhe des Meniskus, r der Radius der Röhre, so ist allgemein:

$$\delta = f(h, r), \dots \dots \dots 16)$$

welcher Betrag zum Barometerstande zu addieren ist, also:

$$B_0 = B - AB + \delta. \dots \dots \dots VIII)$$

Die Höhe h des Meniskus ist eine veränderliche Größe und muß von Zeit zu Zeit gemessen werden.

Schleiermacher und Eckhard haben Tabellen berechnet, aus welchen mit den Argumenten r und h die Kapillardepression unmittelbar entnommen werden kann.

Tabelle für die Kapillardepression.

Alle Zahlen in Millimetern.

$r \backslash h$	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
1	1.262	2.450	4.377	5.581	6.698	6.171					
2	0.299	0.595	1.152	1.643	2.037	2.338	2.541	2.658	2.681	2.699	2.712
3	0.121	0.242	0.476	0.695	0.839	1.066	1.206	1.316	1.397	1.449	1.473
4	0.068	0.120	0.210	0.354	0.460	0.546	0.530	0.702	0.758	0.805	0.838
5	0.031	0.069	0.138	0.205	0.247	0.299	0.308	0.390	0.428	0.468	0.476

189. Ad 4. Reduktion der Barometerstände auf gleiche Schwere (Schwerekorrektion). Die Maßzahlen der P_1 und P_2 auf der unteren und oberen Station, welche in der Grundformel IV), respektive V') erscheinen und bei Null Grad Temperatur herrschen, berechnen sich aus:

$$\left. \begin{matrix} P_1 = b_1 \cdot S_1 \\ P_2 = b_2 \cdot S_2 \end{matrix} \right\} \text{ und } \frac{P_1}{P_2} = \frac{b_1 \cdot S_1}{b_2 \cdot S_2} \dots \dots \dots 17)$$

Wenn b_1 und b_2 die auf die Normaltemperatur Null Grad reduzierten und wegen der Ausdehnung des Messingmaßstabes und des Quecksilbers und der Kapillardepression korrigierten Barometerstände bezeichnen, so werden dieselben nach Gleichung VIII) gefunden mit:

$$\left. \begin{matrix} b_1 = B_1 - AB_1 + \delta_1 \\ b_2 = B_2 - AB_2 + \delta_2 \end{matrix} \right\} \dots \dots \dots 18)$$

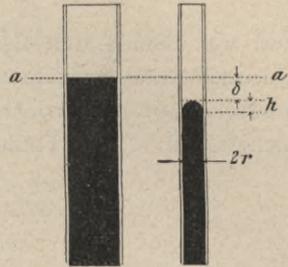


Fig. 143.

Für einen und denselben Ort sind die spezifischen Gewichte S_1 und S_2 gleich zu setzen, somit werden die Drücke für die Flächeneinheit:

$$\left. \begin{matrix} P_1 = b_1 \cdot S \\ P_2 = b_2 \cdot S \end{matrix} \right\}, \text{ daher das Verhältnis } \frac{P_1}{P_2} = \frac{b_1}{b_2}$$

und wir können statt der eigentlichen Luftdrücke die Höhen b_1 und b_2 der Quecksilbersäule einführen und diese als das absolute Maß des Luftdruckes ansehen. Mit Berücksichtigung dieses Umstandes nimmt die abgekürzte Barometerformel v') die Form an:

$$H = 18.464 \left(1 + 0.00367 \frac{t_1 + t_2}{2} \right) \log \frac{b_1}{b_2}$$

Wenn jedoch an verschiedenen Orten, deren geographische Breiten und absolute Höhen verschieden sind, Barometerbeobachtungen gemacht werden, so wird das spezifische Gewicht des Quecksilbers durch die Verschiedenheit der Intensität der Schwere alteriert und das Gewicht einer gleich langen Quecksilbersäule ist veränderlich.

Hiebei können zwei Wege eingeschlagen werden:

- a) es werden die Reduktionen der Barometerstände direkt mit der Höhenformel verbunden, oder
- b) es werden die bereits reduzierten Barometerstände in die Höhenformel eingeführt.

Ad a) Der erste Weg hat den Vorteil, daß man eine Höhenformel erhält, in welcher jeder Einfluß berücksichtigt wird und die Formel unmittelbar alle beobachteten Größen enthält.

Ad b) Falls in den Quotienten $\frac{P_1}{P_2} = \frac{b_1 \cdot S_1}{b_2 \cdot S_2}$ die vollständig reduzierten Barometerstände eingeführt werden sollen, so werden die spezifischen Gewichte auf die Schwerkraft eines ganz bestimmten Ortes, des Normalortes, reduziert.

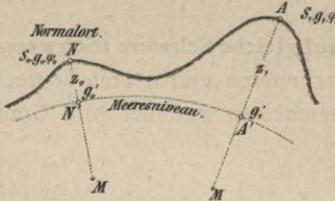


Fig. 144.

Für zwei Orte der Erdoberfläche N und A (Fig. 144), und zwar

den Normalort N mit S_0, g_0, φ_0 und z_0 , ferner
 „ Ort A mit S_1, g_1, φ_1 und z_1 seien
 g'_0 und g'_1 die Akzelerationen der Schwere im

Meeresniveau; dann folgt zuerst:

$$S_1 : S_0 = g_1 : g_0 \text{ oder } S_1 = S_0 \frac{g_1}{g_0}, \dots \dots \dots 19)$$

wodurch das spezifische Gewicht eines beliebigen Ortes durch jenes des Normalortes ausgedrückt wird; hierin gilt für das Verhältnis der Akzelerationen der Schwere die Beziehung:

für den Punkt A ergibt sich: $\dots g_1 : g'_1 = \frac{1}{(R + z_1)^2} : \frac{1}{R^2} \dots g_1 = g'_1 \cdot \frac{R^2}{(R + z_1)^2} \left. \vphantom{\frac{1}{(R + z_1)^2}} \right\} \dots \dots \dots 20)$
 „ „ Normalort $N \dots \dots \dots g_0 : g'_0 = \frac{1}{(R + z_0)^2} : \frac{1}{R^2} \dots g_0 = g'_0 \cdot \frac{R^2}{(R + z_0)^2} \left. \vphantom{\frac{1}{(R + z_0)^2}} \right\}$

Nach einfacher Umformung und Berücksichtigung, daß z gegen R sehr klein ist, folgt:

$$\left. \begin{aligned} g_1 &= g'_1 \frac{R^2}{R^2 \left(1 + \frac{z_1}{R}\right)^2} = g'_1 \frac{1}{1 + \frac{2z_1}{R} + \dots} = g'_1 \left(1 - \frac{2z_1}{R}\right) \\ g_0 &= g'_0 \frac{R^2}{R^2 \left(1 + \frac{z_0}{R}\right)^2} = g'_0 \frac{1}{1 + \frac{2z_0}{R} + \dots} = g'_0 \left(1 - \frac{2z_0}{R}\right) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 21)$$

und $\frac{g_1}{g_0} = \frac{g'_1}{g'_0} \frac{1 - \frac{2z_1}{R}}{1 - \frac{2z_0}{R}} = \frac{g'_1}{g'_0} \left(1 - \frac{2z_1}{R}\right) \left(1 + \frac{2z_0}{R}\right) = \frac{g'_1}{g'_0} \left[1 - \frac{2}{R}(z_1 - z_0)\right] \left. \vphantom{\frac{g'_1}{g'_0}} \right\} \dots \dots \dots 22)$

Da die Abhängigkeit der Beschleunigung der Schwere im Meeresniveau von der geographischen Breite durch die Gleichungen:

$$\left. \begin{aligned} g'_1 &= a + b \sin^2 \varphi_1 \\ g'_0 &= a + b \sin^2 \varphi_0 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 23)$$

zum Ausdrucke kommt, so hat man:

$$\frac{g'_1}{g'_0} = \frac{1 + \frac{b}{a} \sin^2 \varphi_1}{1 + \frac{b}{a} \sin^2 \varphi_0} = \left(1 + \frac{b}{a} \sin^2 \varphi_1\right) \left(1 - \frac{b}{a} \sin^2 \varphi_0\right) = 1 + \frac{b}{a} (\sin^2 \varphi_1 - \sin^2 \varphi_0) \left. \vphantom{\frac{b}{a}} \right\} \dots 24)$$

Wird dieser Ausdruck in die Gleichung 22) eingeführt und formt man entsprechend um, so wird erhalten:

$$\frac{g_1}{g_0} = \left[1 + \frac{b}{a} (\sin^2 \varphi_1 - \sin^2 \varphi_0)\right] \left[1 - \frac{2}{R} (z_1 - z_0)\right] = \left[1 + \frac{b}{a} (\sin^2 \varphi_1 - \sin^2 \varphi_0) - \frac{2}{R} (z_1 - z_0)\right] \dots \dots \dots 25)$$

und nach Einführung in die Gleichung 19)

$$S_1 = S_0 \left[1 + \frac{b}{a} (\sin^2 \varphi_1 - \sin^2 \varphi_0) - \frac{2(z_1 - z_0)}{R}\right] \dots \dots \dots 26)$$

und weiters auf Grund von Gleichung 17) die Maßzahlen des Luftdruckes selbst:

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= b_1 \cdot S_1 = b_1 \cdot S_0 \left[1 + \frac{b}{a} (\sin^2 \varphi_1 - \sin^2 \varphi_0) - \frac{2(z_1 - z_0)}{R}\right] = \\ &S_0 \left\{ b_1 + \left[\frac{b}{a} (\sin^2 \varphi_1 - \sin^2 \varphi_0) - \frac{2(z_1 - z_0)}{R}\right] b_1 \right\} \\ P_2 &= b_2 \cdot S_1 = b_2 \cdot S_0 \left[1 + \frac{b}{a} (\sin^2 \varphi_1 - \sin^2 \varphi_0) - \frac{2(z_1 - z_0)}{R}\right] = \\ &S_0 \left\{ b_2 + \left[\frac{b}{a} (\sin^2 \varphi_1 - \sin^2 \varphi_0) - \frac{2(z_1 - z_0)}{R}\right] b_2 \right\} \end{aligned} \right\} \dots \dots 27)$$

Die beiden Glieder

$$\left. \begin{aligned} \Delta b_1 &= \left[\frac{b}{a} (\sin^2 \varphi_1 - \sin^2 \varphi_0) - 2 \frac{z_1 - z_0}{R} \right] b_1 \\ \Delta b_2 &= \left[\frac{b}{a} (\sin^2 \varphi_2 - \sin^2 \varphi_0) - 2 \frac{z_2 - z_0}{R} \right] b_2 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{IX)}$$

stellen die Reduktionen auf gleiche Schwere vor; diese beiden Ausdrücke können berechnet werden, wenn für den Normalort φ_0 und z_0 bekannt sind.

Man sieht auch klar die Abhängigkeit dieser Korrektur von der geographischen Breite φ und der Höhe z des Beobachtungsortes.

Wird ein Normalort gewählt, z. B. Paris oder ein anderer, neutraler Ort mit $\varphi_0 = 45^\circ$ und $z_0 = 0$, so werden, da

$$b = 0.05145, a = 9.7806 m, R = 6,370.000 m \text{ ist,}$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta b_1 &= -0.002623 \cos 2 \varphi_1 \cdot b_1 - 2 \frac{z_1}{R} b_1 \\ \Delta b_2 &= -0.002623 \cos 2 \varphi_2 \cdot b_2 - 2 \frac{z_2}{R} b_2 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{28)}$$

wobei die Reduktionen wegen der geographischen Breite $-0.002623 \cos 2 \varphi_1 \cdot b_1$, $-0.002623 \cos 2 \varphi_2 \cdot b_2$ und die Reduktionen wegen der Höhe $-\frac{2}{R} z_1 \cdot b_1$, $-\frac{2}{R} z_2 \cdot b_2$ aus entsprechend angelegten Tafeln mit den Argumenten φ, b beziehungsweise z erhalten werden. In Ermangelung von Tabellen kann die Berechnung mit dem Rechenschieber vorgenommen werden.

In der kompletten Höhenformel:

$$H = 18.400.2 \left(1 + 0.00367 \frac{t_1 + t_2}{2} \right) (1 + 0.002623 \cos 2 \varphi) \left(1 + \frac{3}{8} \frac{a}{P} \right) \left(1 + \frac{2z + H}{R} \right) \log \frac{P_1}{P_2}$$

bedeutet dann

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{b_1 + \Delta b_1}{b_2 + \Delta b_2} = \frac{B_1 - \Delta B_1 + \delta_1 + \Delta b_1}{B_2 - \Delta B_2 + \delta_2 + \Delta b_2} \dots \dots \dots \text{X)}$$

Berechnung barometrisch bestimmter Höhen aus Beobachtungen mit Quecksilberbarometern.

Hat man mit Quecksilberbarometern Beobachtungen der Barometerstände B und der Temperaturen T und t in zwei oder mehreren Stationen gleichzeitig gemacht und hat man die Aufgabe, den Höhenunterschied der gemessenen Punkte zu bestimmen, so werden folgende Arbeiten auszuführen sein:

1. Reduktion der Barometerlesungen und
2. die eigentliche Höhenrechnung.

190. Reduktion der Barometerlesungen. Bei genauen Arbeiten erfordern die Barometerlesungen, wie in den vorhergehenden Nummern streng entwickelt

wurde, Korrekturen wegen Ausdehnung der Metallskala und des Quecksilbers und wegen der Kapillardepression; ferner müssen die Beobachtungen auf gleiche Schwere reduziert werden; in der Praxis des Ingenieurs wird meist nur die einfache Temperaturkorrektur in Rechnung gezogen, wobei die Ausdehnung des Quecksilbers und der Metallskala berücksichtigt werden. Man hat also die Reduktion der Barometerstände auf Null Grad zu machen.

Für diese Zwecke wird die Tafel auf Seite 243 benützt; sie gilt für Heber- und Fortinsche Gefäßbarometer.

Hat man z. B. abgelesen: $B = 740.0 \text{ mm}$ und $T = 20.5^{\circ}$, so nimmt man aus der Tafel $\Delta B = -2.45 \text{ „}$; daher ist der auf Null Grad reduzierte Barometerstand $B_0 = 737.55 \text{ mm}$.

191. Reduktion des Kappellerschen Stationsbarometers. Bei diesen Barometern ist ebenso wie bei Gefäßbarometern Fortinscher Konstruktion und Heberbarometern die Temperaturkorrektur wegen Ausdehnung des Quecksilbers in der Röhre und der Ausdehnung der Skala anzubringen; allein es tritt noch hinzu die Ausdehnung des Quecksilbers im Gefäße und die bereits in Nr. 183 besprochene Niveauekorrektur.

Nennt man T die gemeinschaftliche Temperatur des Quecksilbers, der Skala und des Glases, so läßt sich der wegen dieser Temperatur korrigierte Barometerstand finden nach der Formel:

$$B' = B + B.f(T) + f'(T), \dots\dots\dots 29$$

wobei $f(T)$ und $f'(T)$ aus Tabellen entnommen werden können; wird noch die Niveauekorrektur berücksichtigt, so folgt der auf Null Grad reduzierte Barometerstand aus:

$$B_0 = B' + c(B' - N) = B' + c(B' - 760), \dots\dots\dots XI$$

wenn c das besprochene Verhältnis der Querschnitte der Röhre und des Gefäßes bedeutet.

Das mechanische Institut oder die Zentralanstalt für Meteorologie in Wien, welche diese Instrumente an die Interessenten oder ihre Stationen versenden, entwerfen eine einfachere Korrekturtafel, die beide Korrekturen enthält und aus welcher mit dem Argumente T und dem abgelesenen Barometerstande B die Korrektur ΔB entnommen werden kann, so daß der auf Null Grad reduzierte Barometerstand einfach aus:

$$B_0 = B + \Delta B$$

gefunden wird.

Jedes Instrument als Individuum erfordert eine eigene Korrekturtafel.

Das Stationsbarometer von Kappeller Nr. 548 der Lehrkanzel für Geodäsie und Markscheidkunde an der k. k. montanistischen Hochschule in Leoben hat eine Korrekturtafel, von der nachstehend ein Teil abgedruckt ist.

Proportionalteile.

B		Millimeter					
		690	700	710	720	730	740
T	°C	mm	mm	mm	mm	mm	mm
0	0	-6.05	-5.19	-4.32	-3.46	-2.59	-1.73
1	1	-6.18	-5.32	-4.46	-3.60	-2.73	-1.87
2	2	-6.31	-5.45	-4.59	-3.73	-2.87	-2.01
.
.
.

B		Millimeter			
		0	1	2	3
T	°C	mm	mm	mm	mm
0.0	0.0	+0.00	+0.08	+0.16	+0.25
0.1	0.1	-0.01	+0.07	+0.15	+0.23
0.2	0.2	-0.03	+0.06	+0.14	+0.22
.
.
.

$$H = K \cdot \log \frac{\frac{762}{b_2}}{\frac{762}{b_1}} = K \left[\log \frac{762}{b_2} - \log \frac{762}{b_1} \right] = K \cdot \log \frac{762}{b_2} - K \cdot \log \frac{762}{b_1},$$

wobei

$$\left. \begin{aligned} K \cdot \log \frac{762}{b_2} &= 18.464 \left(1 + 0.00367 \frac{t_1 + t_2}{2} \right) \log \frac{762}{b_2} = H_2 \\ K \cdot \log \frac{762}{b_1} &= 18.464 \left(1 + 0.00367 \frac{t_1 + t_2}{2} \right) \log \frac{762}{b_1} = H_1 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 31)$$

die absoluten Höhen der Stationen über dem Meeresniveau, die sogenannten „Rohen oder genäherten Meeres- oder Seehöhen“ bedeuten.

Die gesuchte Höhe wird daher sein:

$$H = H_2 - H_1. \dots \dots \dots \text{XII)}$$

Für die „Rohen Meereshöhen“ wurden Tafeln berechnet, aus welchen mit dem Argumente $t = \frac{t_1 + t_2}{2}$ und b_1 , beziehungsweise b_2 die Werte H_1 und H_2 entnommen werden können.

Professor Jordan hat solche Tafeln zusammengestellt und wir geben nachfolgend eine Probe aus den äußerst praktisch eingerichteten Tafeln.

Jordan: „Barometrische Höhentafeln“, Seite 38.

17°

B	·0	·1	·2	·3	·4	·5	·6	·7	·8	·9	Differenz für 1 mm
685	907·4	906·2	905·0	903·7	902·5	901·2	900·0	898·7	897·5	896·3	12·44
·											·
700	722·9	721·7	720·5	719·3	718·1	716·8	715·6	714·4	713·2	712·0	12·17
·											·
·											·
713	566·2	565·0	563·8	562·6	561·4	560·2	559·0	557·8	556·6	555·4	11·95

Beispiel: Es sei gegeben:

$$\left. \begin{aligned} b_1 &= 713·8 \text{ mm}, t_1 = 17·9^\circ \text{ C} \\ b_2 &= 685·5 \text{ „ } t_2 = 16·7^\circ \text{ „} \end{aligned} \right\} \frac{t_1 + t_2}{2} = t = 17·3^\circ \doteq 17^\circ.$$

Aus vorstehender Tafel entnimmt man bei $t = 17^\circ$

$$\left. \begin{aligned} \text{für } 713·8 \dots H_1 &= 556·6 \text{ m} \\ \text{„ } 685·5 \dots H_2 &= 901·2 \text{ „} \end{aligned} \right\}$$

somit die gesuchte Höhe $H = H_2 - H_1 = 344·6 \text{ m}.$

194. Transformation nach Babinet. Babinet hat die abgekürzte Barometerformel in ein leicht berechenbares Produkt verwandelt.

Setzt man in der Gleichung:

$$H = 18.464 \left(1 + 0.00367 \frac{t_1 + t_2}{2} \right) \log \frac{b_1}{b_2} = K \cdot \log \frac{b_1}{b_2} \dots 32)$$

den Quotienten $\frac{b_1}{b_2} = \frac{1+x}{1-x}$, so wird $x = \frac{b_1 - b_2}{b_1 + b_2}$,

daher $\log \frac{b_1}{b_2} = \log \frac{1+x}{1-x} = \log(1+x) - \log(1-x)$.

Aus der Analysis sind die Reihenentwicklungen bekannt:

$$\left. \begin{aligned} \log(1+x) &= M \left(x - \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{3}x^3 - \frac{1}{4}x^4 + \dots \right) \\ \log(1-x) &= -M \left(x + \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{3}x^3 + \frac{1}{4}x^4 + \dots \right) \end{aligned} \right\}$$

daher $\log \frac{1+x}{1-x} = +M \left(2x + \frac{2}{3}x^3 + \dots \right) = \log \frac{b_1}{b_2}$.

Wird dieser Wert in die Gleichung 32) eingeführt, so folgt:

$$H = KM \left[\frac{b_1 - b_2}{b_1 + b_2} + \frac{1}{12} \left(\frac{b_1 - b_2}{b_1 + b_2} \right)^3 + \dots \right] \dots \dots \dots 33)$$

Nach Vernachlässigung des zweiten Gliedes in der eckigen Klammer geht die vorstehende Formel über in:

$$H = K \cdot M \frac{b_1 - b_2}{\frac{b_1 + b_2}{2}} = \frac{8019 \left(1 + 0.00367 \frac{t_1 + t_2}{2} \right)}{\frac{b_1 + b_2}{2}} (b_1 - b_2) = C(b_1 - b_2) \cdot \text{XIII}$$

Der Faktor $C = 8019 \frac{1 + 0.00367 \frac{t_1 + t_2}{2}}{\frac{b_1 + b_2}{2}}$ kann mit den Argumenten

$t = \frac{t_1 + t_2}{2}$ und $b = \frac{b_1 + b_2}{2}$ aus berechneten Tafeln entnommen werden; derselbe stellt eine Höhe vor, welche bei der mittleren Temperatur t und dem mittleren Barometerstande b einem Millimeter Druckunterschied entspricht, und heißt barometrische Höhenstufe; der Faktor $(b_1 - b_2)$ wird die barometrische Differenz genannt.

Der Fehler, welcher durch Vernachlässigung des zweiten Gliedes in der eckigen Klammer der Gleichung 33) begangen wird, ist:

$$\Delta H = \frac{1}{12} K \cdot M \left(\frac{b_1 - b_2}{b_1 + b_2} \right)^3; \dots \dots \dots 34)$$

wird hierin $\frac{b_1 - b_2}{\frac{b_1 + b_2}{2}} = \frac{H}{K \cdot M}$ aus Gleichung XIII) eingeführt, so erhalten

wir:
$$\Delta H = \frac{1}{12} K \cdot M \left(\frac{H}{K \cdot M} \right)^3 = \frac{1}{12} \frac{H^3}{K^2 \cdot M^2};$$

weil aber $K.M = 8019$ ist, so kann man auch schreiben:

$$\Delta H = \frac{1}{12} \frac{1000^3}{8019^2} \left(\frac{H}{1000}\right)^3 = 1.3 \left(\frac{H}{1000}\right)^3 \dots \dots \dots \text{XIV}$$

Aus dieser Gleichung sehen wir, daß erst bei einer Höhe von $H = 1000 \text{ m}$ der Fehler $\Delta H = 1.3 \text{ m}$ beträgt; wir können daher die einfache Formel XIII zur Höhenberechnung benützen.

Die in der vorhergehenden Nummer genannten Jordanschen „Barometrischen Tafeln“ enthalten gleichfalls die barometrischen Höhenstufen in der letzten Spalte und werden auch hier mit Vorteil verwendet.

Beispiel. Wir wählen dasselbe Beispiel wie bei der Berechnung nach Radau. Man hat:

$$\begin{array}{r} b_1 = 713.8 \text{ mm} \\ b_2 = 685.5 \text{ „} \\ \hline b_1 + b_2 = 1399.3 \text{ mm} \\ \hline \frac{b_1 + b_2}{2} = 700 \text{ „} \\ b_1 - b_2 = 28.3 \text{ „} \end{array} \qquad \begin{array}{r} t_1 = 17.9^\circ \text{ C} \\ t_2 = 16.7^\circ \text{ „} \\ \hline t_1 + t_2 = 34.6^\circ \text{ C} \\ \hline t = \frac{t_1 + t_2}{2} = 17^\circ \text{ „} \end{array}$$

Die Barometerstufe für 17° und 700 mm ergibt sich aus der Tafel auf Seite 241 mit $h = 12.17 \text{ m}$, somit wird die gewünschte Höhe $H = h(b_1 - b_2) = 12.17 \times 28.3 \text{ m} = 344.4 \text{ m}$, nahezu derselbe Wert wie bei der Bestimmung nach Radau.

195. Transformation nach Neumeyer. Die Höhenformel, welche nach der Transformation Babinets erhalten wurde:

$$H = 8019 \left(1 + 0.00367 \frac{t_1 + t_2}{2}\right) \frac{b_1 - b_2}{\frac{b_1 + b_2}{2}}$$

kann man in entwickelter Form schreiben:

$$\left. \begin{aligned} H &= \frac{8019'}{\frac{b_1 + b_2}{2}} (b_1 - b_2) + \left(\frac{8019}{\frac{b_1 + b_2}{2}} (b_1 - b_2) \right) \times 0.00367 \frac{t_1 + t_2}{2} \\ &= H_0 + H_0 \cdot 0.00367 \frac{t_1 + t_2}{2} \end{aligned} \right\} \text{, XV}$$

wobei das erste Glied $\frac{8019}{\frac{b_1 + b_2}{2}} (b_1 - b_2)$, die Nullhöhe H_0 , mit den Argumenten $\frac{b_1 + b_2}{2}$ und $(b_1 - b_2)$ aus einer Tafel entnommen wird; das zweite Glied ergibt sich aus einer zweiten Tafel, in welche mit H_0 und $(t_1 + t_2)$ eingegangen wird. Die gesuchte Höhe folgt dann durch Addition.

Für diesen Zweck sind von L. Neumeyer „Hilfstafeln für barometrische Höhenmessungen“, München 1877, berechnet worden, welchen jedoch eine von Laplace entwickelte, abgekürzte Formel mit der Barometerkonstanten 7992 (statt 8019) und dem Temperaturkoeffizienten 0.004 (statt 0.00367) zu grunde liegt.

Aneroide.

196. Die Aneroide oder Federbarometer setzen dem Luftdrucke die Elastizität einer Feder entgegen. Den Hauptbestandteil, den Motor des Instrumentes, bildet eine zylindrische, nahezu luftleere Metallbüchse M (Fig. 146);

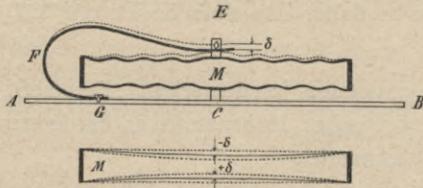


Fig. 146.

die zylindrische Mantelfläche ist starr und unbiegsam, hingegen sind die obere und untere Basisfläche aus einem dünnen, sehr elastischen Argantan- oder Stahlbleche hergestellt. Die Büchse ist mit dem massiven Boden AB des Instrumentes durch eine Metallsäule C verbunden und an dem oberen Deckel

derselben ist eine Säule E befestigt, in welche eine starke Blattfeder F eingeschoben werden kann, die durch die Schraube G mit dem Boden fest verbunden wird.

Die Luft im Innern der Büchse ist außerordentlich verdünnt, weshalb die Büchsenwände von der äußeren Luft einen starken Druck auszuhalten haben; sie würden von dem äußeren Luftdrucke zusammengedrückt werden, wenn nicht die breite und starke Metallfeder F dies verhindern und dem Luftdrucke das Gleichgewicht halten würde; es bildet daher neben der Büchse M die Feder F einen wesentlichen Bestandteil des Aneroides.

Nimmt z. B. der Luftdruck ab, so wird der obere Deckel und damit die Metallsäule E sich um eine kleine Größe δ heben, bei einer Luftdruckzunahme senken. Um sich eine Vorstellung von der Größe des Luftdruckes und der äußerst geringen Eigenbewegung der Büchse zu machen, führen wir an, daß bei einem Durchmesser der Büchse mittelgroßer Aneroide von 6 bis 8 cm die beiden Basisflächen einen Druck im Mittel von 55 bis 90 kg auszuhalten haben und die Höhenänderung des Deckels bei einer Luftdruckänderung von 1 mm rund $0.005\ mm = 5\ \mu$. ausmacht, was bei Schwankungen des Luftdruckes bis zu 30 mm nur 0.15 mm Höhenänderung der Büchse entspricht; bei 100 mm Luftdruckänderung hat man erst 0.5 mm Höhenänderung.

Die Aneroide sind nun mit Vorrichtungen versehen, welche diese äußerst kleinen Bewegungen des Deckels vervielfältigen und in einem sehr stark vergrößerten Verhältnisse mittels eines Zeigers auf einer Skala zu bestimmen gestatten, oder aber es werden die kleinen Bewegungen entsprechend multipliziert und dann mit Mikrometerschrauben gemessen.

Durch die Art der Übertragung der feinen Höhenänderung des elastischen Deckels und durch die Hilfsmittel zur Messung dieser kleinen Bewegungen werden die verschiedenen Aneroidkonstruktionen bedingt. Man kann die Aneroide in zwei Gruppen teilen:

1. Zeigeraneroide, bei welchen die Luftdruckänderung aus dem Stande eines Zeigers an einer Skala erhalten wird, und

2. Schraubenaneroide, bei welchen die Messung der kleinen linearen Höhenänderungen durch Mikrometerschrauben vorgenommen wird.

Da man mit Aneroiden geringe Luftdruckänderungen zu bestimmen in der Lage ist, so kann man sie als Differentialinstrumente bezeichnen.

Zeigeraneroide.

197. Das Metallbarometer. Aneroidbarometer, Baromètre holostérique.

Beschreibung. Dasselbe hat nach der von Naudet angegebenen Konstruktion die in Fig. 147 dargestellte Einrichtung.

Die von Naudet gegebene Benennung „Baromètre holostérique“ ist — dem Quecksilberbarometer gegenüber — die entsprechendste, indem sie die Beschaffenheit ausspricht, daß dieses Barometer ganz aus starrem Metall besteht (ἅλος ganz, durch und durch, στερεός starr).

Auf dem Boden des zylindrischen, mit einem Glasdeckel geschlossenen Gehäuses *GG* ist eine starke Metallplatte (Grundplatte) *p* aufgeschraubt,

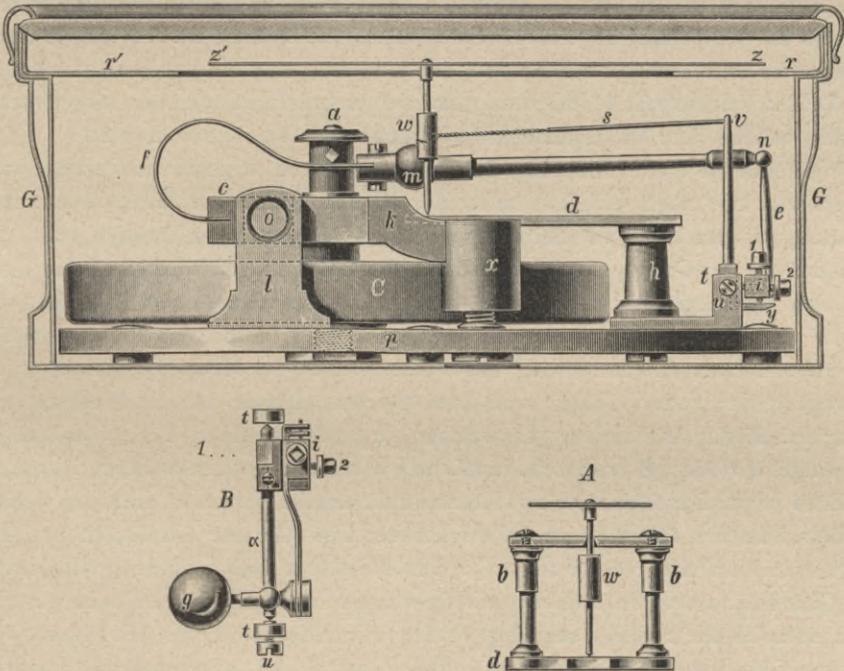


Fig. 147.

welche den eigentlichen Apparat trägt. Die Hauptteile desselben sind die auf *p* befestigte hohle, luftleere Dose *C* von Metall mit biegsamen, wellenförmigen Bodenflächen und die in dem festen Backen *c* eingeklemmte breite Stahlfeder *f*. Diese stemmt sich mit ihrem freien Ende gegen einen hervorragenden, vierkantigen Ansatz der Säule *a*, die mit der oberen Bodenfläche von *C* fest verbunden ist. Die Feder *f* wirkt sonach dem Luftdrucke auf die Bodenfläche entgegen und ist so adjustiert, daß ihre Spannung einem bestimmten Luftdrucke

das Gleichgewicht hält. Je nachdem der Luftdruck zu- oder abnimmt, wird die obere Bodenfläche mehr oder weniger nach innen gedrückt und es tritt hiedurch eine Änderung in der Gleichgewichtslage der Feder ein. Entsprechend dem physikalischen Gesetze, wonach die Biegung elastischer Körper dem auf dieselben wirkenden Drucke proportional ist, kann hier die Biegung der Bodenfläche und die dadurch eintretende Stellung der Feder f als Maß für die Größe des Luftdruckes dienen. Zu diesem Zwecke ist der Arm mn mit der Feder f fest verbunden und von dem Ende n reicht ein zweiter Arm e hinab bis in eine Verlängerung des prismatischen Stückes i ; dieses sitzt mittels des Schraubchens 1 an den um n drehbaren Hebel yuv und von v reicht der Arm s nahe bis zur Welle w , mit welcher er durch ein feines Kettchen, das über w gewunden ist, in Verbindung steht. Auf diese Weise wird eine Änderung in der Lage der Feder f auf die Welle w übertragen. Auf der Achse derselben ist der Zeiger zz' befestigt und dieser reicht über den horizontalen, eingeteilten Ring rr' , wonach jede Änderung in der Bodenfläche von C , respektive im Luftdrucke, mittels des Zeigers an der Teilung abgelesen werden kann. Die Teilung ist dem zugehörigen Luftdrucke entsprechend beziffert, so daß jede Ablesung an derselben die Länge der Quecksilbersäule (in Millimetern oder in einer anderen Maßeinheit ausgedrückt) angibt, welche dem stattfindenden Luftdrucke das Gleichgewicht hält.

Hiemit ist die Einrichtung des Instrumentes im wesentlichen erklärt und es erübrigt nur noch, einzelnes auszuführen. Die Achse der Welle w hat ihre Führung in dem Bügel bb (Seitenansicht A), welcher auf der Platte d ruht, die von der an der Grundplatte p befestigten Säule h getragen wird. Auf der horizontalen Drehungsachse α (Horizontalansicht B) des Hebels yuv befindet sich das in der Hauptfigur ausgelassene Gegengewicht g , damit das Ende y immer mit dem Backen i in Berührung bleibt und sonach der Hebel yuv einer jeden Bewegung der Feder f folgt; aus dem gleichen Grunde ist die Welle w mit einer Spiralfeder umwunden, von welcher ein Ende an dieser Welle, das andere am Bügel bb fest ist, wodurch das Kettchen stets in entsprechender Spannung erhalten wird. Das Stück ck ist um zwei zylindrische Zapfen o drehbar, welche in den Ansätzen l ihre Lager haben. (In der Figur ist nur ein Zapfen und ein Lager sichtbar.) Der Teil k reicht in den Zylinder x und in diesen greift durch die Grundplatte eine Schraube σ , mittels welcher x etwas gehoben oder gesenkt und dadurch die Feder f reguliert werden kann. Ebenso dienen die durch den Backen i reichenden Schraubchen 1 und 2 zur Rektifikation des Instrumentes. Endlich ist noch zu erwähnen, daß am Ringe rr' ein Thermometer angebracht ist, um die Temperatur des Instrumentes beobachten zu können.

Der Gebrauch des Metallbarometers besteht einfach darin, daß man am Beobachtungsorte den Stand des Zeigers an der Teilung (den Barometerstand) und die Temperatur des Instrumentes abliest und notiert. Am geeignetsten ist es, das Instrument in horizontaler Lage vor sich zu haben; ferner darf man nicht unterlassen, vor der Ablesung eine etwaige Hemmung in der freien Bewegung des Zeigers durch ein leichtes Klopfen am Gehäuse zu beseitigen. Zur Vermeidung einer Parallaxe beim Ablesen ist das Auge so zu halten, daß der auf die Spitze des Zeigers gerichtete Sehstrahl senkrecht zur Ringfläche steht; die

Ablesung erfolgt dann unmittelbar nach der Bezifferung der Teilung und, wenn der Zeiger zwischen zwei Teilstrichen zu stehen kommt, nach Zehnteln eines Intervalles durch Schätzung.

Während des Transportes zum Beobachtungsorte hat man Sorge zu tragen, daß das Instrument keine Stöße oder Erschütterungen erleidet und daß es den direkten Sonnenstrahlen nicht ausgesetzt und überhaupt nicht ungleich erwärmt wird. Dem Instrumente ist ein Futteral samt Tragriemen beigegeben. Es ist zweckmäßig, den Riemen so zu richten, daß das Instrument am Körper nicht zu tief hängt, und ebenso ist es angezeigt, dasselbe beim Beobachten, zur Erhaltung der gleichmäßigen Temperatur, im Futterale zu lassen, was dadurch ermöglicht wird, daß der Deckel des Futterales abgenommen werden kann.

198. Bestimmung des absoluten Luftdruckes mit Hilfe eines Aneroides.

Bei einem Aneroide wird jede kleinste Änderung der Motorbüchse durch den Mechanismus des Apparates sehr bedeutend vergrößert und auf den Zeiger übertragen, dessen Stellung an einer kreisförmigen Skala abgelesen wird und den Stand A des Aneroides liefert.

Die Stellung des Zeigers ist nicht bloß vom Luftdrucke, sondern auch von der Temperatur des Instrumentes abhängig; bei ein und demselben Luftdrucke ändert sich die Ablesung A mit der inneren Temperatur T . Dieser Temperatureinfluß unterliegt jedoch nicht einem so einfachen Gesetze wie die Ausdehnung der Quecksilbersäule bei verschiedenen Temperaturen; er kann daher nicht von vornherein berechnet werden, sondern ist für jedes Instrument besonders auszumitteln, da er von den Dimensionen und der inneren Beschaffenheit der einzelnen Teile abhängig ist.

Die Hauptveranlassung für die Änderung des Zeigerstandes zufolge der Temperatur liegt in der Ausdehnung und Zusammenziehung des wellenförmigen Deckels und Bodens der Büchse, welche gerade so wirkt, als wenn sich der Luftdruck geändert hätte.

Da das Aneroid einen Ersatz für das im Gebrauche etwas unbequeme Quecksilberbarometer abgeben soll, so wäre es wünschenswert, daß die Lesungen am Zeiger des Aneroides mit den Angaben des Quecksilberbarometers übereinstimmen. Durch Vergleichung eines Aneroides mit einem Quecksilberbarometer, wobei das Aneroid mit der unteren Kuppe des Quecksilberbarometers in gleicher Höhe sich befindet, könnten Fixpunkte auf einer kreisförmigen Skala bestimmt und nach diesen dann die weitere Teilung vorgenommen werden.

Diese auf empirischem Wege angefertigten Skalen gelten nur für die Temperatur, welche bei der Vergleichung geherrscht hat; es müßte daher die innere Temperatur bei den Ablesungen in Rechnung gebracht werden. Die Teilungen, die so bestimmt werden, besitzen ungleich lange Intervalle, sie sind dem Aneroide als Individuum angepaßt und heißen Spezial- oder Individualskalen. Was die Intervalle dieser Skalen betrifft, so nehmen sie mit der Luftdruckabnahme an Länge zu, weil durch die Abnahme des Luftdruckes sozusagen eine Entlastung des ganzen Mechanismus eintritt, der Zeiger in seiner Bewegungsfähigkeit freier wird und diese daher durch den größeren Weg zum Ausdrucke kommt. Da eine solche Skala nur für die bestimmte Temperatur gilt, bei welcher sie angefertigt wurde, so müssen die Lesungen A

Korrekturen wegen der Temperatur erhalten. Für jedes Aneroid müssen besondere Vergleichen gemacht werden, was sehr mühsam und kostspielig ist.

Die fabriksmäßig erzeugten Aneroide, deren Bestandteile gleiche Dimensionen haben, werden mit gleichen Skalen versehen; diese nennt man Schablonenskalen. Da zufolge der Erfahrung eine Änderung in der Stellung des Zeigers der damit zusammenhängenden Änderung im Luftdrucke annähernd proportional ist, wenigstens innerhalb jenes Umfanges, in welchem die Teilung in der Regel zur Anwendung kommt, so kann der Gang des Zeigers bis zu einem gewissen Grade mittels der Schraubchen 1 und 2 (Fig. 147) reguliert werden. In dem Falle, als die Teilung jenen Luftdruck, der dem jeweiligen Stande des Zeigers entspricht, nicht richtig angibt, wird diese Abweichung um so größer sein, je weiter der Zeiger aus der Stellung gerückt ist, bei welcher das Instrument adjustiert wurde.

Es handelt sich nun darum zu zeigen, wie aus der Lesung *A* und der inneren Temperatur *T* des Aneroides der absolute Luftdruck bestimmt werden kann.

199. Aneroidgleichung. Die Aneroidgleichung gestattet, aus den am Aneroide gemachten Beobachtungen: Stand des Zeigers *A* und innere Temperatur des Instrumentes *T*, den auf Null Grad reduzierten Barometerstand *B*₀ zu bestimmen. Dadurch sind wir im stande, nicht nur Luftdruckänderungen, welche in einer Änderung des Zeigerstandes zum Ausdrucke kommen, zu konstatieren, sondern auch den absoluten Luftdruck zur Angabe zu bringen.

Auf der Aneroidskala wird ein Punkt *N* als Normalpunkt angenommen. Denken wir uns das Aneroid bei 0° mit einem Quecksilberbarometer verglichen und es sei der auf Null Grad reduzierte Barometerstand *Q*, wenn der Zeiger auf *N* sich befindet; ändert der Zeiger seine Lage und lesen wir *A* ab, so hat derselbe einen Weg (*A*—*N*) zurückgelegt, welcher nicht nur eine Funktion der Luftdruckänderung, sondern auch der Änderung der inneren Temperatur *T* des Instrumentes ist. Ist der auf Null Grad reduzierte Barometerstand in diesem Falle *B*₀, so kommt diese Abhängigkeit durch die allgemeine Beziehung

$$A - N = F[(B_0 - Q), T]$$

oder
$$B_0 - Q = f[(A - N), T] \dots \dots \dots 35)$$

zum Ausdrucke. Die wahre Art der Funktion kann wohl niemals bestimmt werden, immerhin kann sie erfahrungsgemäß nach Taylor in eine Reihe entwickelt werden:

$$f[(A - N), T] = p(A - N) + q(A - N)^2 + \dots + \alpha T + \beta T^2 + \dots + k(A - N)T + \dots 36)$$

worin *p*, *q*, . . . *α*, *β*, . . . *k* Konstante bedeuten, die bekannt sein müssen, wenn aus den Aneroidablesungen *A* und *T* die Größe *B*₀, d. i.

$$B_0 = Q + f[(A - N), T] = Q + p(A - N) + q(A - N)^2 + \dots + \alpha T + \beta T^2 + \dots + k(A - N)T + \dots \dots \dots XVI)$$

bestimmt werden soll.

Die Gleichung XVI) stellt die Aneroidgleichung in allgemeinsten Form dar.

200. Bedeutung der Konstanten. Die Bedeutung der Konstanten p und q wird nachfolgend klar. Wird bei Null Grad Temperatur die Bewegung des Zeigers in der Nähe des Normalpunktes N beobachtet und ermittelt

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= N - \frac{1}{2} \\ A_2 &= N + \frac{1}{2} \end{aligned} \right\}$$

und sind die zugehörigen auf Null Grad reduzierten Barometerstände B_1 und B_2 , so hat man für diese nach Gleichung XVI), wenn $T=0$ gesetzt wird:

$$\left. \begin{aligned} B_1 &= Q - \frac{p}{2} + \frac{q}{4} \\ B_2 &= Q + \frac{p}{2} + \frac{q}{4} \end{aligned} \right\}$$

woraus folgt:

$$\left. \begin{aligned} p &= B_2 - B_1 \\ q &= 4 \left(\frac{B_1 + B_2}{2} - Q \right) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 37)$$

Wäre die Teilung derart, daß ein Teilintervall einem Luftdruckunterschiede von 1 mm entspräche, so wäre $p = 1$; da aber die Teilung eine „Schablontenteilung“ und nicht dem Aneroide als Individuum angepaßt ist, so wird allgemein:

$$p = 1 - a \dots \dots \dots 38)$$

sein, wobei a an und für sich ≥ 0 sein kann.

Die Konstante q ist unter allen Umständen eine sehr kleine Größe, und setzen wir für sie in der Folge b , so geht die Gleichung XVI) nach Einführung von 38) über in:

$$B_0 = A + (Q - N) + a(N - A) + b(N - A)^2 + \alpha T + \beta T^2 + \dots + (-b)(N - A) T + \dots 39)$$

Als Normalpunkt wird gewöhnlich der Teilstrich 760 angenommen, so daß die vorstehende Gleichung heißt:

$$\left. \begin{aligned} B_0 &= A + A A + a(760 - A) + b(760 - A)^2 + \alpha T + \beta T^2 + \dots \\ &\quad + c(760 - A) T + \dots \end{aligned} \right\} \dots \text{XVII)}$$

oder auch $B_0 = A + A A + K_1 + K_2 + K_3$

In dieser Gleichung bedeuten:

- $A A = Q - 760 \dots \dots \dots$ die Standkorrektur oder absolute Konstante,
- $K_1 = a(760 - A) + b(760 - A)^2 \dots \dots$ die Teilungskorrektur $\dots a, b$ Teilungskonstante,
- $K_2 = \alpha T + \beta T^2 \dots \dots \dots$ die Temperaturkorrektur $\dots \alpha, \beta$ Temperaturkonstante,
- $K_3 = c(760 - A) T \dots \dots \dots$ die Korrektur wegen Temperatur und Teilung $\dots c$ Temperaturteilungskonstante.

Man sieht, daß nur die Standkorrektion linear ist, hingegen die anderen vom zweiten Grade sind; für viele Instrumente genügt es, auch diese linear anzunehmen und außerdem $K_3 = 0$ zu setzen. Dann wird die Aneroidgleichung einfach und lautet:

$$B_0 = A + \Delta A + a(760 - A) + \alpha T. \dots\dots\dots \text{XVIII}$$

201. Bemerkungen zu den Konstanten und Koeffizienten. Standkorrektion. Diese wird aus Gleichung XVIII) erhalten, wenn man $T = 0$ und $A = 760$ setzt, also

$$\Delta A = B_0 - A \text{ oder } B_0 = A + \Delta A \dots\dots\dots 40)$$

d. h. die Standkorrektion ist jene Korrektion, welche an die Aneroidlesung A bei Null Grad innerer Temperatur und dem Normalstande $A = 760 \text{ mm}$ angebracht werden müßte, um den absoluten Wert des Luftdruckes, also den auf Null Grad reduzierten Barometerstand zu erhalten.

Diese Korrektion kann positiv oder negativ ausfallen und ist mit ihrem Vorzeichen dem A beizufügen.

Die Standkorrektion bleibt durchaus nicht konstant, sie ist Veränderungen unterworfen, welche notwendig dreifacher Art sind:

- a) eine langsame Änderung, unabhängig von den vorkommenden Druckschwankungen,
- b) eine infolge der Druckschwankungen als elastische Nachwirkung auftretende Veränderung und
- c) eine plötzliche infolge von Stößen oder Erschütterungen, die den ganzen Mechanismus verändern.

Die erste geht langsam mit der Zeit vor sich, ist eine Folge der Konstruktion und Zusammensetzung jedes Instrumentes und kann aus längeren Vergleichen mit Normalinstrumenten abgeleitet werden.

Die Änderung der Standkorrektion, bedingt durch elastische Nachwirkung, haftet dem Federsystem als elastischem Körper an und nimmt bei Instrumenten gleicher Bauart einen ähnlichen Verlauf.

Erschütterungen, wie sie beim Fahren auf Straßen und Eisenbahnen, beim Reiten und beim Gehen auf steinigem Fußsteigen unvermeidlich sind, verursachen manchmal plötzliche, einige Millimeter betragende Veränderungen der Standkorrektion. Diese treten auch ein, wenn das Aneroid rasch erfolgenden Luftdruckveränderungen ausgesetzt wird, wie bei Ballonfahrten, bei Untersuchungen unter der Luftpumpe, bei raschen und steilen Abstiegen.

Da das Gesetz, nach welchem die Gestaltsveränderung der Feder und des elastischen Deckels der Büchse einerseits durch den veränderlichen Elastizitätskoeffizienten, andererseits durch die Dauer der Einwirkung der äußeren Kraft des Druckes vor sich geht, unbekannt ist, so kann die Änderung zufolge der elastischen Nachwirkung nicht für jeden Fall berechnet werden; es bleibt nichts anderes übrig, als vor Beginn und nach Beendigung jeder barometrischen Höhenmessung eine Vergleichung mit dem Quecksilberbarometer zu machen; sollte ein solches nicht vorhanden sein, so wird die Vergleichung mit einem zweiten Aneroid gemacht, das in der Station bleibt und während der Beobachtungszeit vor jeder Erschütterung geschützt wurde.

Es ist vorgekommen, daß Änderungen in der Standkorrektion innerhalb einiger Tage 1—2 mm, in einem Jahre bis 5 mm betragen haben.

Temperaturkorrektion. Diese besteht aus zwei Gliedern, einem von der ersten und einem von der zweiten Ordnung mit den Temperaturkoeffizienten α und β .

Bei vielen Instrumenten wird $\beta = 0$, so daß die Korrektion eine einfache Form annimmt, unter allen Umständen aber ist $\beta < \alpha$. Beide Koeffizienten sind zumeist negativ; positive Koeffizienten α sind äußerst selten.

Die Größe des Koeffizienten α vieler untersuchten Aneroide bewegt sich zwischen -0.07 und -0.17 . Aneroide mit kleineren Temperaturkoeffizienten wären für barometrische Höhenmessungen vorteilhaft, weil eventuelle Fehler in der Bestimmung der inneren Temperatur T einen geringen Einfluß üben; doch hat sich herausgestellt, daß solche Instrumente wegen ihrer geringen Empfindlichkeit minder genaue Barometerstände geben als Aneroide mit größeren Koeffizienten.

Was die Änderung der Temperaturkoeffizienten mit der Zeit betrifft, so hat man gefunden, daß bei neuen Instrumenten die Temperaturkoeffizienten eine Änderung erfahren und die Aneroide Jahre brauchen, bis eine Konstanz der Temperaturkoeffizienten eintritt; dann aber bleiben sie fast vollständig erhalten.

Teilungskorrektion. Auch hier hat man im allgemeinen ein Glied der ersten und ein solches zweiter Ordnung. Eine spezielle Untersuchung muß zeigen, ob der Koeffizient b des zweiten Gliedes Null oder von der Null verschieden ist, ob also die Teilungskorrektion als linear aufgefaßt werden kann.

Die Teilungskoeffizienten können positiv oder negativ sein und erreichen niemals die Einheit.

Auch ihre zeitliche Änderung ist äußerst gering.

Was die Korrektion wegen Temperatur und Teilung betrifft, so ist zu bemerken, daß man bei manchen Instrumenten einen Betrag für die Temperaturteilungskonstante c gefunden hat, der für die feinsten Untersuchungen eventuell zu berücksichtigen wäre; zumeist ist er aber so klein, daß ein fühlbarer Einfluß bei gewöhnlichen Aneroidarbeiten nicht festzustellen ist, aus welchem Grunde die Korrektion zumeist wegfällt.

202. Bestimmung des auf Null Grad reduzierten Barometerstandes B_0 mittels der Aneroidgleichung. Die Bestimmung des auf Null Grad reduzierten Barometerstandes geschieht mit Zuhilfenahme der Aneroidgleichung:

$$B_0 = A + \lambda A + \alpha (760 - A) + \alpha T;$$

hat man z. B. die spezielle Aneroidgleichung:

$$B_0 = A - 3.8 + 0.051 (760 - A) - 0.1135 T,$$

so wird für

$$\left. \begin{array}{l} B = 724.8 \\ T = 18.3^\circ \text{C} \end{array} \right\} B_0 = \left. \begin{array}{l} + 724.8 \\ + 1.8 \\ + 726.6 \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} - 3.8 \\ - 2.0 \\ - 5.8 \end{array} \right\} = 720.8 \text{ mm},$$

wobei es genügt, die vorkommenden Produkte abgekürzt auf eine Dezimalstelle zu rechnen.

Man kann sich die Rechnung ersparen, wenn man sich für die Temperatur- und Teilungskorrektion Tabellen berechnet, aus welchen mit den Argumenten T und A die Korrekturen K_1 und K_2 entnommen werden (Seite 273).

Auch aus einem Diagramme lassen sich die Korrekturen K_1 und K_2 finden; setzt man nämlich in

$$K_1 = + \alpha T \text{ und } K_2 = + \alpha (760 - A)$$

K_1 und $K_2 = y$ sowie T , beziehungsweise $A = x$, so ergeben sich die Gleichungen zweier Geraden; die Abszissenachse ist mit T , respektive A beschrieben und an der zugehörigen Ordinate kann man die gesuchte Korrektion ablesen oder abgreifen.

203. Vergleichung eines Aneroides mit einem Quecksilberbarometer.

Eine solche Vergleichung wird zu verschiedenen Zwecken ausgeführt; vor allem, um auf Grund von Quecksilberbarometer-Vergleichungen die Koeffizienten der Aneroidgleichung zu berechnen und weiters, wenn diese Gleichung bekannt ist, die Standkorrektion von Fall zu Fall zu kontrollieren, was bei praktischer Ausführung von aneroidischen Höhenmessungen unbedingt notwendig ist.

Der Vorgang hiebei ist der folgende. Das Vergleichsinstrument kann ein Gefäß- oder Heberbarometer sein, welches nach den in Nr. 182 und 185 gegebenen Vorschriften behandelt und aufgehängt werden muß. Das Aneroid wird in die Ebene der unteren Kuppe des Quecksilberbarometers gebracht und A sowie T (Aneroidlesung und innere Temperatur) bestimmt. Am Quecksilberbarometer wird B und T' ermittelt.

Der auf Null Grad reduzierte Barometerstand als absolutes Maß des Luftdruckes ergibt sich aus der Angabe des Quecksilberbarometers; mit Hilfe der Tabelle in Nr. 187 erhält man ΔB und dann $B_0 = B - \Delta B$; der Zusammenhang zwischen B_0 und den Lesungen am Aneroid ist gegeben durch:

$$B_0 = A + \Delta A + a(760 - A) + \alpha T \dots \dots \dots 41)$$

Diese Gleichung kann als Bestimmungsgleichung für die Koeffizienten a und α sowie eventuell ΔA dienen, wie es bei der Bestimmung der Koeffizienten tatsächlich der Fall ist, oder aber sie wird zur Ermittlung von ΔA allein verwendet:

$$\Delta A = B_0 - [A + a(760 - A) + \alpha T], \dots \dots \dots \text{XIX)}$$

wenn a und α schon bekannt sind.

204. Neuere Konstruktionen von Zeigeraneroiden. In neuerer Zeit sind einige Abänderungen der Konstruktionen von Naudet entstanden, welche wohl verdienen, kurz behandelt zu werden.

1. Das mikroskopische Aneroid von Reitz-Deutschbein. Bei diesem Instrumente endet der Hebel mn (Fig. 147), welcher die Bewegungen der Dose mitmacht, in ein Glasplättchen, auf welchem eine (photographisch reproduzierte) feine Skala sich befindet, die durch ein Mikroskop mit Fadenkreuz beobachtet wird und mittels welches die geringste Hebung und Senkung des Hebels abgelesen werden kann.

2. Kompensationsaneroiden. Diese sollen die Zeigerlesungen unabhängig von der Temperatur geben, also den Einfluß der Temperatur auf den Stand des Zeigers paralisieren. Dies hat man dadurch zu erreichen versucht, daß man der Änderung des oberen Deckels und des Bodens der Büchse, welche diese zufolge der Temperatur erleiden und die genau so wirkt, als wenn eine Luftdruckänderung eingetreten wäre, einen Gegendruck entgegengesetzt hat, der durch ein gewisses Luftquantum verursacht wird, das in der Motorbüchse sich befindet.

Es ist klar, daß bei einer Temperaturzunahme auch die Expansivkraft der in der Büchse befindlichen Luft zunimmt und daß es für eine gewisse Temperatur

vielleicht gelingt, einen Ausgleich dieses Druckes mit der Änderung zufolge der Temperatur zu erzielen. Dies ist jedoch sehr schwierig und es läßt sich eine Kompensation auf diese Weise selbst genähert nur sehr schwer erreichen.

3. Das Federbarometer von Bohne in Berlin. Bei diesem Instrumente, welches der Hauptsache nach wie das Naudetsche Aneroid gebaut ist, wird der Einfluß der Temperatur innerhalb bestimmter Grenzen kompensiert. Ausgehend von der Anschauung, daß mit der durch die Erwärmung der Dose wachsenden Oberfläche derselben die Durchbiegung nach innen größer wird und der Zeiger daher einen höheren Stand zeigt, setzt Bohne den Hebelarm *mn* (Fig. 147) aus zwei verschiedenen Metallen zusammen, von denen das stärker sich ausdehnende das untere ist. Beim Steigen der Temperatur wird daher der Hebelarm sich nach oben zu krümmen und dem Steigen des Zeigers entgegenwirken.

Schraubenaneroide.

Nachfolgend sollen zwei Konstruktionen von Schraubenaneroiden behandelt werden:

1. das Schraubenaneroid von T. Goldschmid und
2. das Schraubenaneroid von G. Starke.

205. Das Schraubenaneroid von T. Goldschmid. Dieses Instrument beruht auf demselben Prinzipie wie jenes von Naudet; es unterscheidet sich von letzterem nur durch die Art der Übertragung des Bodendruckes von der luftleeren Dose auf dem Zeiger. In Fig. 148 ist das Instrument in $\frac{1}{2}$ der gewöhnlichen Größe, in Fig. 149 im Durchschnitte dargestellt. Ein zylindrisches Ge-

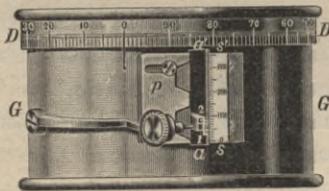


Fig. 148.

($\frac{1}{2}$ der natürl.ichen Größe.)

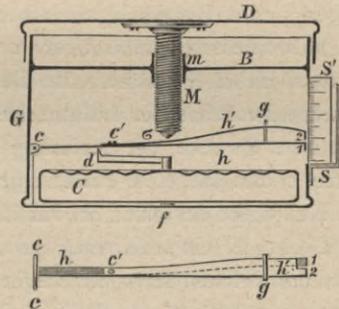


Fig. 149.

($\frac{1}{2}$ der natürl.ichen Größe.)

häuse *GG* umfaßt den Mechanismus, welcher der Hauptsache nach aus einer luftleeren Dose *C* mit biegsamen Bodenflächen, aus zwei Hebeln *h* und *h'* und einer Mikrometerschraube *M* besteht. Die Dose *C* ist mittels des Fußes *f* an dem Boden des Gehäuses befestigt, während der am Deckel der Dose befestigte Arm *d* die durch den Luftdruck bewirkten Höhenbewegungen des Deckels mitmacht und dieselben dem Hebel *h*, welcher in *c* seinen Drehungspunkt hat, mitteilt. Der

Hebel h ist an seinem dem Drehungspunkte entgegengesetzten Ende rechtwinklig umgebogen, trägt auf dem Umbug die Marke 1 und reicht durch eine am Gehäuse angebrachte Schlitzöffnung aa' (Fig. 148) hindurch, so daß die Marke 1 auf einer seitlich angebrachten Teilung SS' spielt. Bei großem Luftdrucke wird die Marke 1 tiefer, bei geringem Luftdrucke höher stehen. Die Teilung ist so eingerichtet, daß sie genähert den Luftdruck in Millimetern des Quecksilberbarometers angibt. Es sind 20 Teilstriche angebracht, und zwar ist der oberste Strich bei S' mit 600, der unterste bei S mit 800 beziffert, so daß ein Teilstrich 10 *mm* Luftdruck entspricht (die Fig. 148 zeigt eine andere Teilung, wie sie nämlich an älteren Instrumenten zu finden ist).

Da nun, obwohl durch Übersetzung des Hebels die Dosenbewegungen sich am Zeiger 1 fünfmal vergrößert äußern, die Ablesungen an der Skala zu roh ausfielen, hat Goldschmid einen sehr sinnreich konstruierten Mikrometerschrauben-Mechanismus angebracht, der eine äußerst feine Ablesung zuläßt. Im oberen Boden B des Gehäuses G (Fig. 149) befindet sich ein Zylinder m angeschraubt, welcher die Muttergewinde für eine Mikrometerschraube M enthält, welche letztere mit dem deckelartig gebildeten Kopfe D , der das Gehäuse G umgibt, verbunden ist. Der Deckel D ist in 100 Teile geteilt, an dem Gehäuse G links von der Schlitzöffnung aa' (Fig. 148) ist eine Marke angebracht, so daß man an dieser Hundertstel der Umdrehung ablesen und Tausendstel noch abschätzen, oder, da ein Teilstrich der Skala SS' 10 *mm* gibt, an dem drehbaren Deckel noch Hundertstel davon, das sind Zehntelmillimeter direkt ablesen, Hundertstelmillimeter noch abschätzen kann.

Denken wir uns nun vorerst die zur Ablesung des beweglichen Deckels (der Schraube M) dienende Marke am Gehäuse so angebracht, daß, wenn der Zeiger 1 des Hebels h mit einem Teilstriche der Skala koinzidiert und man die Mikrometerschraube M so weit hineinschraubt, bis ihre untere Stahlspitze σ an dem Hebel h ansteht, die Deckelteilung die Ablesung Null gibt. Hat dann vermöge Zunahme des Luftdruckes der Zeiger 1 sich etwas gesenkt und schraubt man zum Zwecke der Ablesung nun wieder die Schraube M hinein, bis ihre Spitze σ den Hebel h berührt (gerade so wie man beim Gebrauche des Nonius den Nullpunkt desselben an das Ende der zu messenden Linie anschiebt), so wird der Deckel D eine Ablesung geben, welche jenem Bruchteile von einem Skalenteile, um welchen sich der Zeiger gesenkt hat, entspricht, vorausgesetzt, daß, wie es am Instrumente der Fall ist, beim Anziehen der Schraube die Ablesung am Deckel wächst und die Höhe eines Schraubenganges der Weiterbewegung des Zeigers 1 um einen Teilstrich der Skala entspricht.

Da man aber nicht die feine Empfindung in der Hand hat, um zu erkennen, wann die Spitze der Mikrometerschraube an dem Hebel h ansteht, und man leicht zu viel drehen und dadurch den Hebel abwärts drücken könnte, so ist ein zweiter, federnder Hebel h' vorhanden, welcher in c' an h angeschraubt, am andern Ende ebenfalls umgebogen ist und auf dem Umbuge eine Marke 2 angebracht hat. Die beiden Hebel sind im unteren Teile der

Fig. 149 im Grundrisse dargestellt; der Hebel h ist dunkler schraffiert, woraus man sieht, wie h unter h' in einer Krümmung seitlich ausweicht, so daß die beiden Köpfe mit den Marken 1 und 2 über- und nebeneinander spielen können. Die Schraube M wirkt nun mittels σ auf den Hebel h' und das Instrument ist so adjustiert, daß, wenn der Zeiger 1 mit einem Teilstriche der Skala koinzidiert und man mit M den Hebel h' herabschraubt, bis der Index 2 mit 1 (also auch mit dem Teilstriche der Skala) übereinstimmt, der Deckel D die Ablesung Null gibt. Hat dann bei zunehmendem Luftdrucke der Zeiger 1 sich etwas gesenkt und zieht man die Mikrometerschraube M an, bis der Zeiger 2 mit 1 koinzidiert (welches Koinzidieren dem früher angenommenen genauen Aufstehen der Spitze σ auf dem Hebel h entspricht), so gibt wieder die Ablesung an dem Deckel die Bruchteile, um wie viel der Zeiger 1 unter dem vorhergehenden Striche der Skala SS' steht. Die Einstellung und Ablesung des Instrumentes geschieht also dadurch, daß man durch Drehen des Deckels D (der Mikrometerschraube) mit der Lupe den Zeiger 2 zur Koinzidenz mit 1 bringt, hierauf die Anzahl der Hunderter und Zehner Millimeter auf der Skala SS' , die Einer und Zehntel an der Marke des Deckels abliest und die Hundertstel abschätzt.

Bei der Ersteigung von Höhen hat man darauf Rücksicht zu nehmen, daß durch ein beträchtliches Heben des Dosenbeckels die Hebel nicht eine schädliche Pressung erleiden; man wird also vor dem Aufsteigen stets die Mikrometerschraube bedeutend lüften, weil sonst durch das Heben des Dosenbeckels die Hebel eingezwängt würden. Aus diesem Grunde ist es am besten, beim Transporte oder am Beginne der Bergtour die Schraube zu lüften und die Hebel abzustellen, was durch Verschiebung des Schiebers p vor die Schlitzöffnung aa' geschieht, wobei man das Hebelpaar bei kleinen Höhen in den unteren, bei größeren Höhen in den oberen Ausschnitt des Schiebers bringt. Es wird dann immer, wenn M hinreichend gelüftet ist, der Zeiger 2 vor dem Einstellen über 1 stehen und kann dann durch Anziehen der Schraube mit 1 zur Koinzidenz gebracht werden.

Bei den neuen Instrumenten ist auch stets ein in das Innere versenktes Thermometer beigegeben, welches die Temperatur des Instrumentes gibt.

Vergleich des Goldschmid'schen Schraubenaneroides mit dem Zeigeraneroiden von Naudet. Die Einstellungsmanipulation bei Goldschmid ist etwas kompliziert gegen die einfache Ablesung bei Naudet, und wenn man beim Aufwärtssteigen vergißt, die Mikrometerschraube zu lüften, so kann der Hebel eine bedeutende Klemmung erleiden, welche gewiß von schädlichem Einflusse ist.

Die Ablesung auf die zweite Dezimale von Millimetern bei Goldschmid gegen die eine Dezimale bei Naudet ist nach unserer Ansicht nur ein scheinbarer Vorzug; denn wenn man bei Goldschmid wiederholte Einstellungen macht, so differieren die Ablesungen häufig um mehrere Einheiten der ersten Stelle. Wir haben daher stets bei jeder Beobachtung nacheinander mehrere Ein-

stellungen und Ablesungen (auf 2 Dezimalstellen) gemacht, dann das Mittel genommen, dieses aber nur mit einer Dezimalstelle eingetragen, da die zweite Stelle illusorisch ist. Es wurde übrigens von verschiedenen Schriftstellern angegeben, daß bei großer Meereshöhe die Goldschmidtschen Instrumente sich besser bewähren sollen als die Naudetschen.

206. Neuere Schraubenaneroidkonstruktionen. 1. Das Standaneroidbarometer von Arzberger und Starke. Bei diesem auf drei Füßen solid aufgestellten Instrumente besteht der Motor aus zwei übereinander ruhenden, miteinander verbundenen Büchsen von elastischem Metall, aus welchen wie bei allen Aneroiden die Luft bis zu einer gewissen Verdünnung ausgepumpt ist. Der Deckel der oberen Büchse wirkt auf das Ende einer Libelle, welche sich um eine in ihrer Mitte angebrachte horizontale Achse dreht. Das andere Ende der Libelle ruht auf einer Mikrometerschraube, welche zugleich den dritten Fuß des Instrumentes bildet. Das Heben und Senken der vereinigten Dosen wird hier der Libelle mitgeteilt, deren Blase aus dem Spielpunkte kommt und durch die Mikrometerschraube wieder auf denselben zurückgeführt wird, so daß durch die letztere die Hebung und Senkung gemessen werden kann.

2. Das Schraubenaneroid von G. Starke ist in Fig. 150 in der Ansicht und in Fig. 151 im Schnitte dargestellt. Es hat als Motor zwei nahezu luftleere Metallbüchsen A_1 , A_2 , die untereinander und nach oben mit einem Säulchen B und nach unten mit einem Zylinder C verbunden sind; dieser paßt in einen zylindrischen mit der Bodenplatte D fest verbundenen Teil E . Die Schraube F gestattet, die Doppelbüchse zu verstellen, und das Schraubchen G dient zur Fixierung derselben.

Ändert sich der Luftdruck, so vollführt das Säulchen B eine Differentialbewegung, welche auf den Metallstift H übertragen wird und deren Größe ermittelt werden soll.

Zu dem Zwecke ist ein zusammengesetzter Fühlhebelapparat vorhanden, der die äußerst geringe Bewegung vervielfältigt, und eine Mikrometerschraube, welche die Größe der Bewegung mißt.

Die Deckplatte J ist mit einem konisch gestalteten, zentral durchbohrten Metallstücke K verbunden, welches eine sichere Führung für einen Zylinder L abgibt; dieser Zylinder ist mit der Spindel N der Mikrometerschraube fest und mit einem Bügel P , der den Fühlhebelapparat Q trägt, regulierbar verbunden. Der Schraubenkopf R hat die Muttergewinde für die Mikrometerschraube N ; er ist mit einer in 100 gleiche Teile geteilten, kreisförmigen Scheibe S versehen, die an einem Index T spielt; ferner ist ein Zählapparat U für ganze Umdrehungen vorhanden. An die Stahlplatte v , die mit der Deckplatte J fest verbunden ist, legt sich von oben der Schraubenkopf R an und von unten drückt eine Spiralfeder zur Beseitigung des toten Ganges.

Wird der Schraubenkopf bewegt, so hebt oder senkt sich der Zylinder L mit dem Bügel P samt der Fühlhebelvorrichtung und der Stand des Schraubenkopfes kann abgelesen werden, und zwar ganze Umdrehungen an U und Bruchteile derselben bei T .

Die Verbindung des Stiftes H mit dem Fühlhebel Q und der Mikrometerschraube erfolgt in nachstehender Weise.

Der Stift H wird von der Feder x , welche durch die im unteren Teile des Zylinders L vorhandene Durchbrechung reicht, stets sanft gegen das Säulchen B gedrückt, wodurch eine stete Berührung zwischen B und H erhalten

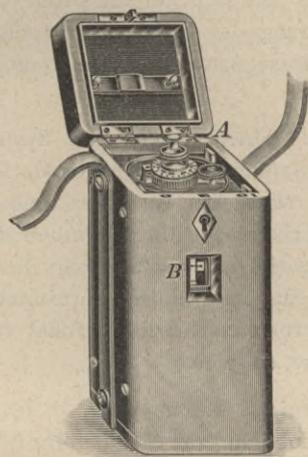


Fig. 150.

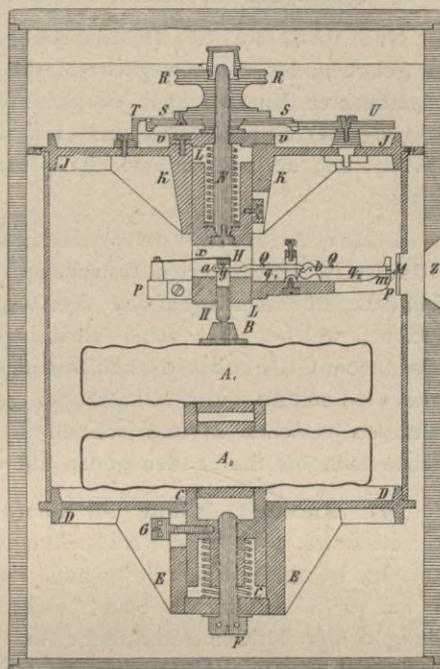
(Etwa $\frac{1}{3}$ der natürlichen Größe.)

Fig. 151.

($\frac{1}{2}$ der natürlichen Größe.)

bleibt. Der Stift H hat in seinem oberen Teile eine rechteckige Öffnung und eine in der Richtung der Achse nach unten reichende Spitze y , welche als Stützpunkt für den Fühlhebel q_1 dient; dieser überträgt die Bewegung auf den Fühlhebel q_2 , dessen Stirnseite eine Marke m trägt; durch Drehung des Schraubenkopfes R der Mikrometerschraube kann die an dem Arme P befindliche Marke M mit m zur Koinzidenz gebracht werden. Beide Marken können bei einer rechteckigen Öffnung Z des den ganzen Apparat umgebenden Kästchens beobachtet werden. Die Fühlhebel q_1 und q_2 haben bei a und b ihre Drehachsen.

Bei hergestellter Koinzidenz der Marken m und M ist ein bestimmter Druck der Spitze y auf den Hebel q_1 vorhanden. Wird durch eine Änderung des Luftdruckes eine Bewegung der Doppelbüchse veranlaßt, so hebt oder senkt

Hartner-Doležal, Geodäsie. II. Band. 10. Aufl.

ZARZĄD SZKOŁY GÓRNICZEJ
Dąbrowa (Śl. austr.)

sich das Säulchen B und der mit demselben in unmittelbarer Berührung stehende Stift H ; durch die Bewegung des letzteren wird der Druck desselben auf den Fühlhebelapparat in dem Punkte y geändert und dadurch eine Bewegung des letzteren veranlaßt. Bei abnehmendem Luftdrucke bewegt sich das Säulchen B nach oben, der Stift H wird gehoben und dadurch der Druck des letzteren auf den Fühlhebel q_1 beseitigt; der Fühlhebel q_2 und mit ihm die Marke m beginnt sich zu senken. Bei zunehmendem Luftdrucke hebt sich m .

Nun wird mit dem Schraubenkopfe R der Fühlhebelapparat Q gesenkt oder gehoben, bis die bewegliche Marke M mit m koinzidiert; aus der Anzahl der gemachten Umdrehungen des Schraubenkopfes läßt sich auf die Größe der Bewegung der Doppelbüchse und auf die Änderung des Luftdruckes zurückschließen; den nötigen Zusammenhang für den Barometerstand gibt die Aneroidgleichung.

3. Das Aneroid von Weilenmann. Bei diesem nach dem System Goldschmid konstruierten Instrumente sind fünf übereinander liegende, fest verbundene Büchsen vorhanden. Von der oberen reicht ein vertikaler Stab in die Höhe, welcher eine feine horizontale Linie als Marke trägt (ähnlich der Marke 1 vom Goldschmid'schen Instrumente). Die Hebung und Senkung dieser Marke wird mittels eines Mikroskopes gemessen, das mit einem horizontalen Visierfaden versehen ist und sich durch eine Mikrometerschraube vertikal verschieben läßt, bis der Faden genau auf die Marke einspielt.

207. Aneroidgleichung für Schraubenaneroide. Nennt man A jenen Barometerstand, welcher der Nullstellung der Schraube und der Temperatur $0^{\circ}C$ entspricht, ist B_0 der einem bestimmten Punkte der Erdoberfläche entsprechende und auf $0^{\circ}C$ reduzierte Stand eines Quecksilberbarometers, welcher die Stellung S der Mikrometerschraube bei einer inneren Temperatur $T^{\circ}C$ des Aneroides bedingt, so läßt sich die Größe der Luftdruckänderung darstellen durch die Gleichung:

$$B_0 - A = f(S, T); \dots \dots \dots \text{. 42)$$

die Funktion $f(S, T)$ ist wohl unbekannt, läßt sich aber im allgemeinen nach den Variablen S und T mittels der Taylorschen Reihe entwickeln, so daß man hat:

$$B_0 = A + a S + b S^2 + \dots \alpha T + \beta T^2 + \dots + k S T + \dots \dots \dots \text{. XX)$$

Hierin ist A die absolute Konstante, $a S + b S^2 = K_1$ stellt das Glied für den Stand der Schraube, $\alpha T + \beta T^2 = K_2$ die Temperaturkorrektur und $k S T = K_3$ die zufolge von S und T kombinierte Korrektur vor, so daß man auch schreiben kann:

$$B_0 = A + K_1 + K_2 + K_3 \dots \dots \dots \text{. XX')$$

Die Skalen von Schraubenaneroiden werden vielfach so ausgeführt, daß die Schraubenlesung unmittelbar Luftdruckmillimeter gibt und man die allgemeine Form der Aneroidgleichung für Zeigeraneroid:

$$B_0 = A + \lambda A + \alpha T + \beta T^2 + \dots + a(760 - A) + b(760 - A)^2. \dots \text{XXI}$$

auch für Schraubenaneroiden verwenden kann.

Die Überführung der Gleichung XX) auf die vorstehende Form XXI) bietet wohl keine Schwierigkeit.

Das besprochene Schraubenaneroid von Starke ist kompensiert, so daß sich die Aneroidgleichung XX), respektive XX') noch vereinfacht. Das Schraubenaneroid von Starke Nr. 11 der Lehrkanzel für praktische Geometrie an der k. k. Technischen Hochschule in Wien hat die Gleichung:

$$B_0 = 393.33 + 21.475 S - 0.0144 S^2;$$

es ist selbstverständlich, daß die absolute Konstante $A = 393.33$ Schwankungen unterliegt und von Fall zu Fall durch eine Vergleichung mit einem Quecksilberbarometer bestimmt werden muß.

208. Schwerekorrektion. Bei Aneroiden wird dem Luftdrucke die Spannkraft einer Feder entgegengesetzt und nicht wie bei Quecksilberbarometern ein mit der Schwereintensität veränderliches Gewicht; da die Spannkraft der Feder von der Veränderlichkeit der Intensität der Schwere unabhängig ist, so kommt bei Aneroiden die Schwerekorrektion, wie sie im II. Bande, Nr. 189, für Quecksilberbarometer behandelt wurde, gar nicht in Betracht. Von Wichtigkeit aber ist es, für eine Aneroidgleichung zu wissen, ob bei der Bestimmung der Stand- und Teilungskorrektion die auf Null Grad reduzierten Barometerstände des als Vergleichsinstrument benützten Quecksilberbarometers wegen der Schwere korrigiert wurden oder nicht.

Wurde hiebei die Schwerekorrektion nicht berücksichtigt, so gilt die Teilungskorrektionstabelle nur für den Ort der Vergleichung (φ_0, h_0); auf diesem Orte würden auch die Angaben der Aneroidgleichung mit dem auf Null Grad reduzierten Barometerstande des Quecksilberbarometers stimmen. Vor der Benützung zur barometrischen Höhenmessung müßten die Angaben der Aneroidgleichung wegen der Schwere korrigiert werden, genau so, wie es bei sehr genauen Arbeiten mit Quecksilberbarometern geschehen muß.

Würde man auf Orten von kleinerer geographischer Breite Aneroid und Quecksilberbarometer beobachten, so wäre der Barometerstand des Quecksilberbarometers ein höherer als die Angabe der Aneroidgleichung, in höheren Breiten würde das Entgegengesetzte eintreten; ähnliche Verhältnisse werden sich ergeben, wenn in Bezug auf den Vergleichsort die Höhe des Beobachtungsortes zu- oder abnimmt.

Hat man hingegen bei dem Vergleichungs-Quecksilberbarometer die Schwerekorrektion berücksichtigt, so sind die Angaben der Aneroidgleichung von der

Schwerekorrektion unabhängig. Es ist daher rätlich, bei der Bestimmung der Aneroidgleichung die Schwerekorrektion am Quecksilberbarometer anzubringen.

Im Falle jedoch, daß die Schwerekorrektion an das Resultat der Aneroidgleichung anzubringen ist, so wird sie nach der Gleichung berechnet:

$$\Delta S = \left[0.00265 (\cos 2 \varphi_1 - \cos 2 \varphi_0) + \frac{0.31417}{10^6} (h_1 - h_0) \right] A, \dots 43)$$

worin φ_0, h_0 für den Vergleichsort und φ_1 und h_1 für den Ort der Beobachtung gelten.

Bestimmung der Koeffizienten und Korrekturen der Aneroidgleichungen.

Summarische Bestimmung der Konstanten.

209. Die vollständigen Aneroidgleichungen:

$$\begin{aligned} B_0 &= A + \Delta A + a(760 - A) + b(760 - A)^2 + \alpha T + \beta T^2 \text{ für Zeigeraneroide} \\ B_0 &= A + \Delta S + bS^2 + \alpha T + \beta T^2 \text{ für Schraubenaneroide} \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} B_0 &= A + \Delta A + a(760 - A) + b(760 - A)^2 + \alpha T + \beta T^2 \text{ für Zeigeraneroide} \\ B_0 &= A + \Delta S + bS^2 + \alpha T + \beta T^2 \text{ für Schraubenaneroide} \end{aligned}} \right\} 44)$$

enthalten fünf Konstante, beziehungsweise Koeffizienten: $\Delta A, a, b, \alpha$ und β , respektive A, a, b, α und β . Vom rein mathematischen Standpunkte würden fünf Gleichungen genügen, um diese Unbekannten zu bestimmen.

Gleichzeitig und mit Sorgfalt ausgeführte Beobachtungen eines Quecksilberbarometers und des bezüglichen Aneroides, Barometervergleichen, welche bei verschiedenen Temperaturen und unter verschieden großem Luftdrucke ausgeführt sein müssen, werden die Aufstellung von Bestimmungsgleichungen gestatten, die nach Einführung der Symbole

$$\Delta A = x, a = y, b = z, \alpha = t \text{ und } \beta = u \text{ für die Unbekannten}$$

und $1 = a, 760 - A = b, (760 - A)^2 = c, T = d, T^2 = e$ und $B_0 - A = o$ für die bekannten Koeffizienten, beziehungsweise absoluten Glieder in die Gleichungen von der Form 44), lauten werden:

$$\left. \begin{aligned} a_1 x + b_1 y + c_1 z + d_1 t + e_1 u &= o_1 \\ a_2 x + b_2 y + c_2 z + d_2 t + e_2 u &= o_2 \\ \vdots & \vdots \\ a_n x + b_n y + c_n z + d_n t + e_n u &= o_n \end{aligned} \right\} \dots 45)$$

Durch Verwendung von mindestens fünf Bestimmungsgleichungen könnten die gesuchten Konstanten erhalten werden; benützt man hingegen sämtliche n Bestimmungsgleichungen, so liegen $(n - 5)$ überschüssige Gleichungen vor und man kann die wahrscheinlichsten Werte der Unbekannten erhalten. Die zur

Ermittlung dieser wahrscheinlichsten Werte der Konstanten notwendigen Normalgleichungen lauten :

$$\left. \begin{aligned} [a a] x + [a b] y + [a c] z + [a d] t + [a e] u &= [a o] \\ [b a] x + [b b] y + [b c] z + [b d] t + [b e] u &= [b o] \\ [c a] x + [c b] y + [c c] z + [c d] t + [c e] u &= [c o] \\ [d a] x + [d b] y + [d c] z + [d d] t + [d e] u &= [d o] \\ [e a] x + [e b] y + [e c] z + [e d] t + [e e] u &= [e o] \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 46)$$

Die vorstehenden Normalgleichungen gelten für Zeigeraneroide; sie können aber auch für Schraubenaneroide benützt werden, wenn für die Unbekannten und die Koeffizienten, respektive Absolutglieder die entsprechenden Werte nach der zweiten Gleichung 44) eingeführt werden.

In der Tat wird dieser Weg der Konstantenbestimmung in vielen Lehrbüchern der praktischen Geometrie auch eingehalten; derselbe ist jedoch aus folgenden Gründen nicht zu empfehlen.

Die Standkorrektion $\mathcal{A}A$ wird in der vorbesprochenen Konstantenbestimmung als unveränderlich angenommen, was durchaus nicht der Fall ist; denn zufolge der bedeutenden Luftdruckunterschiede, die bei Barometervergleichen vorhanden sein müssen, wird die durch die Druckänderungen bedingte elastische Nachwirkung sich in einer Veränderung der Standkorrektion äußern. Weiters ist die gleichzeitige Berechnung so vieler Unbekannten lästig und zeitraubend.

Um diese Übelstände zu beseitigen, wird in der Praxis so verfahren, daß die einzelnen Konstanten getrennt voneinander ermittelt werden, und zwar

- a) zuerst die Temperaturkoeffizienten und dann
- b) die Teilungskoeffizienten.

210. Bestimmung der Temperaturkoeffizienten. Eine solche Bestimmung wird am besten zur Winterszeit durchgeführt, wenn die Barometervergleichen bei gleichem Luftdrucke, aber verschiedenen Temperaturen in geheizten Räumen und im Freien bewerkstelligt werden können.

Vorerst aber empfiehlt es sich, einen genäherten Wert für den Teilungskoeffizienten a zu erhalten; b kann hier seiner Kleinheit wegen vernachlässigt werden.

Diese Bestimmung wird bei möglichst gleicher Temperatur T und möglichst verschiedenem Luftdrucke gemacht. Die Barometervergleichung liefert:

$$\left. \begin{aligned} B_1 &= A_1 + \mathcal{A}A + a(760 - A_1) + \alpha T + \beta T^2 \\ B_2 &= A_2 + \mathcal{A}A + a(760 - A_2) + \alpha T + \beta T^2 \end{aligned} \right\};$$

hieraus folgt:

$$B_1 - B_2 = (A_1 - A_2) - a(A_1 - A_2),$$

somit
$$a = 1 - \frac{B_1 - B_2}{A_1 - A_2} \dots \dots \dots 47)$$

Nun schreitet man an die Bestimmung der Temperaturkoeffizienten, welche auf Grund von Barometervergleichen bei verschiedenen Temperaturen am sichersten erhalten werden.

Setzt man in der Aneroidgleichung:

$$B_0 = A + \mathcal{A} A + a(760 - A) + \alpha T + \beta T^2. \dots\dots\dots 48)$$

die bekannte Größe

$$B_0 - A - a(760 - A) = o, \dots\dots\dots 49)$$

so nimmt die vorstehende Gleichung die Form an:

$$\mathcal{A} A + T \alpha + T^2 \beta = o. \dots\dots\dots 50)$$

Für die Ermittlung der Unbekannten können z. B. *n* Barometervergleichungen gemacht werden, welche die Bestimmungsgleichungen liefern:

$$\left. \begin{array}{l} \mathcal{A} A + T_1 \alpha + T_1^2 \beta = o_1 \\ \mathcal{A} A + T_2 \alpha + T_2^2 \beta = o_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \mathcal{A} A + T_n \alpha + T_n^2 \beta = o_n \end{array} \right\} \dots\dots\dots 51)$$

Die Bestimmung selbst kann rechnerisch oder auf graphischem Wege erfolgen.

a) Rechnerische Ermittlung der Koeffizienten. Drei der vorstehenden *n* Gleichungen 51), passend ausgewählt, würden die gesuchten Koeffizienten geben; wahrscheinlichere Werte derselben ergeben sich, wenn noch die (*n* - 3) überschüssigen Bestimmungsgleichungen zur Aufstellung der drei Normalgleichungen:

$$\left. \begin{array}{l} n \cdot \mathcal{A} A + [T] \alpha + [T^2] \beta = [o] \\ [T] \mathcal{A} A + [T^2] \alpha + [T^3] \beta = [T o] \\ [T^2] \mathcal{A} A + [T^3] \alpha + [T^4] \beta = [T^2 o] \end{array} \right\} \dots\dots\dots \text{XXII)}$$

verwendet werden; man ist auch in der Lage, nach Band I, Nr. 31, die mittleren Fehler der gefundenen Koeffizienten anzugeben.

Anmerkung. Da in den Bestimmungsgleichungen 51) die Größe *AA* durchwegs den Koeffizienten 1 besitzt, so läßt sich die Berechnung sehr vereinfachen, indem *AA* von vornherein eliminiert wird und so auf ähnliche Weise wie beim Rückwärtseinschneiden mit Richtungen (I. Band, Nr. 485) mit Hilfe von reduzierten Koeffizienten Gleichungen mit nur zwei Unbekannten gebildet werden.

Durch Addition des Systems der Bestimmungsgleichungen 51) wird nämlich erhalten:

$$n \cdot \mathcal{A} A + [T] \alpha + [T^2] \beta = [o],$$

woraus folgt:

$$\mathcal{A} A = \frac{[o]}{n} - \frac{[T]}{n} \alpha - \frac{[T^2]}{n} \beta; \dots\dots\dots 52)$$

wird dieser Wert in das Gleichungssystem 51) eingeführt, so hat man:

$$\left. \begin{aligned} \left(T_1 - \frac{[T]}{n}\right)\alpha + \left(T_1^2 - \frac{[T^2]}{n}\right)\beta &= \left(o_1 - \frac{[o]}{n}\right) \\ \left(T_2 - \frac{[T]}{n}\right)\alpha + \left(T_2^2 - \frac{[T^2]}{n}\right)\beta &= \left(o_2 - \frac{[o]}{n}\right) \\ &\dots \\ \left(T_n - \frac{[T]}{n}\right)\alpha + \left(T_n^2 - \frac{[T^2]}{n}\right)\beta &= \left(o_n - \frac{[o]}{n}\right) \end{aligned} \right\} \text{oder} \left. \begin{aligned} A_1 \alpha + B_1 \beta &= O_1 \\ A_2 \alpha + B_2 \beta &= O_2 \\ &\dots \\ A_n \alpha + B_n \beta &= O_n \end{aligned} \right\}, \quad .53)$$

wenn man für die neuen Koeffizienten der Unbekannten α, β und die Absolutglieder die Symbole A, B und O einführt.

Die Normalgleichungen:

$$\left. \begin{aligned} [AA] \alpha + [AB] \beta &= [AO] \\ [BA] \beta + [BB] \beta &= [BO] \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{XXIII)$$

geben dann die gesuchten wahrscheinlichsten Werte der Unbekannten.

Ein etwas abweichender Rechnungsgang, der zu demselben Ziele führt, kann dadurch gewonnen werden, daß man die Elimination von AA aus den Normalgleichungen XXII) vornimmt.

Die rechnerische Bestimmung der Koeffizienten wird wesentlich vereinfacht, wenn $\beta = 0$ gesetzt werden kann, wodurch die Temperaturkorrektion linear wird, nämlich

$$K_1 = \alpha T.$$

Man hat dann die Bestimmungsgleichungen:

$$\left. \begin{aligned} AA + T_1 \alpha &= o_1 \\ AA + T_2 \alpha &= o_2 \\ &\dots \\ AA + T_n \alpha &= o_n \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots .54)$$

aus welchen sich die folgenden zwei Normalgleichungen aufstellen lassen:

$$\left. \begin{aligned} n \cdot AA + [T] \alpha &= [o] \\ [T] AA + [T^2] \alpha &= [To] \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{XXIV)$$

die nach Auflösung für AA und α die wahrscheinlichsten Werte liefern, deren Genauigkeit gleichfalls bestimmt werden kann.

Auch hier kann eine Vereinfachung der Rechnung erzielt werden, indem durch Elimination der absoluten Unbekannten AA Gleichungen gebildet werden, die nur α enthalten. Wird nämlich aus den Bestimmungsgleichungen:

$$\left. \begin{aligned} AA + T_1 \alpha &= o_1 \\ AA + T_2 \alpha &= o_2 \\ &\dots \\ AA + T_n \alpha &= o_n \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots .55)$$

durch Addition $n \cdot AA + [T] \alpha = [o]$ gebildet und $AA = \frac{[o]}{n} - \frac{[T]}{n} \alpha$.56)

in die vorstehenden Gleichungen eingeführt, so wird erhalten:

$$\left. \begin{aligned} (T_1 - \frac{[T]}{n}) \alpha &= (o_1 - \frac{[o]}{n}) \\ (T_2 - \frac{[T]}{n}) \alpha &= (o_2 - \frac{[o]}{n}) \\ &\dots \\ (T_n - \frac{[T]}{n}) \alpha &= (o_n - \frac{[o]}{n}) \end{aligned} \right\} \text{oder} \left. \begin{aligned} a_1 \alpha &= c_1 \\ a_2 \alpha &= c_2 \\ &\dots \\ a_n \alpha &= c_n \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 57)$$

woraus die Normalgleichung

$$[a a] \alpha = [a c]$$

folgt, aus welcher

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \frac{[a c]}{[a a]} \\ A A &= \frac{[o]}{n} - \frac{[T]}{n} \alpha \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{XXV)}$$

berechnet wird; hiezu kommt

b) Graphische Bestimmung der Korrekturen. Setzt man in der Gleichung 50) $T = x$ und $o = y$, so nimmt sie die Form an:

$$y = A A + \alpha x + \beta x^2, \dots \dots \dots 58)$$

d. i. die Gleichung einer Kurve zweiter Ordnung. Jede Gleichung des Systems 51) gibt in der graphischen Darstellung einen Punkt; so liefern in Fig. 152:

$$\left. \begin{aligned} x_1 = T_1 \text{ und } y_1 = o_1 = B_1 - A_1 - a(760 - A_1) &\text{ den Punkt } P_1 \\ x_2 = T_2 \text{ ,, } y_2 = o_2 = B_2 - A_2 - a(760 - A_2) &\text{ ,, ,, } P_2 \\ &\dots \dots \dots \\ x_n = T_n \text{ ,, } y_n = o_n = B_n - A_n - a(760 - A_n) &\text{ ,, ,, } P_n \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 59)$$

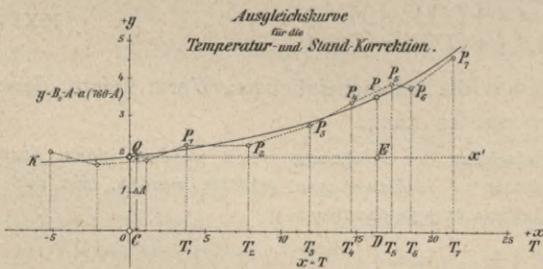


Fig. 152.

welche, miteinander verbunden, eine kontinuierliche Kurve repräsentieren, die Temperaturkurve. Nachdem für $T = x = 0$ die Ordinate $y = C Q = A A$ wird, so stellen die Ordinatestücke zwischen der zur x -Achse Parallelen $Q x'$ und der Temperaturkurve die Temperaturkorrekturen vor:

$$K_1 = y - A A = \alpha T + \beta T^2 \dots \dots \dots 60)$$

und man kann dieselbe unmittelbar aus der graphischen Tafel entnehmen.

In einem konkreten Falle werden die Punkte P_1, P_2, \dots, P_n keineswegs genau auf einer kontinuierlichen Kurve zweiter Ordnung sich befinden, sondern zufolge der unvermeidlichen Beobachtungsfehler werden sie von der idealen Kurve mehr oder weniger abweichen. Die Kurve, welche sich den auf Grund der Beobachtungen ergebenden Punkten am besten anpaßt, gibt die wahrscheinlichsten Werte für AA und für die Temperaturkorrektur $K_1 = \alpha T + \beta T^2$.

Anmerkung. Weitere nicht uninteressante graphische Bestimmungsweisen werden erhalten, wenn man die Gleichungen 53) berücksichtigt.

a) Bringt man die Gleichungen 53) auf die Form:

$$\frac{O_1}{A_1} = \frac{B_1}{A_1} \beta + \alpha \dots \dots \dots 61)$$

und setzt $\frac{B_1}{A_1} = x_1, \frac{O_1}{A_1} = y_1$, so liefern die Bestimmungsgleichungen 53)

in der Form:

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= \beta x_1 + \alpha \text{ den Punkt } P_1 \\ y_2 &= \beta x_2 + \alpha \text{ " " } P_2 \\ &\vdots \\ y_n &= \beta x_n + \alpha \text{ " " } P_n \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 62)$$

welche Punkte auf einer Geraden liegen sollen; statt dieser kann eine Ausgleichsgerade durch Schätzung zwischen P_1, P_2, \dots, P_n eingelegt werden oder aber sie kann nach Umformung der Normalgleichungen XXIII) auf:

$$\left. \begin{aligned} \frac{[AO]}{[AA]} &= \beta \frac{[AB]}{[AA]} + \alpha \\ \frac{[BO]}{[BA]} &= \beta \frac{[BB]}{[BA]} + \alpha \end{aligned} \right\} \text{ oder } \left. \begin{aligned} \tau_{11} &= \beta \xi_1 + \alpha \\ \tau_{12} &= \beta \xi_2 + \alpha \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 63)$$

gebracht und aus diesen durch zwei Punkte mit den Koordinaten ξ_1, τ_{11} und ξ_2, τ_{12} erhalten werden.

Aus dem Diagramme kann α unmittelbar abgelesen oder abgegriffen werden, während β nach einfacher Rechnung entweder aus den obigen Bestimmungsgleichungen mit

$$\left. \begin{aligned} \beta &= \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} = \frac{y_1 - y_3}{x_1 - x_3} = \dots \\ \text{oder aus der Normalgleichung} \\ \beta &= \frac{\tau_{11} - \tau_{12}}{\xi_1 - \xi_2} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 64)$$

bestimmt wird.

β) Die graphische Bestimmung der Koeffizienten wird sehr bequem, wenn die Temperaturkorrektur linear ist, also die Bestimmungsgleichung die Form hat:

$$AA + T\alpha = o; \dots \dots \dots 65)$$

es bestimmen dann, $T = x$, $o = y$ gesetzt, die einzelnen Bestimmungsgleichungen Punkte einer Geraden (Fig. 153);

$$\left. \begin{aligned} \text{für } x_1 = T_1 \text{ und } y_1 = o_1 = B_1 - A_1 - a(760 - A_1) \text{ hat man den Punkt } P_1 \\ x_2 = T_2 \text{ „ } y_2 = o_2 = B_2 - A_2 - a(760 - A_2) \text{ „ „ „ „ } P_2 \\ \vdots \\ x_n = T_n \text{ „ } y_n = o_n = B_n - A_n - a(760 - A_n) \text{ „ „ „ „ } P_n \end{aligned} \right\} \dots 66)$$

die theoretisch auf einer Geraden liegen sollten; in einem konkreten Falle wird dies nicht eintreten, die Punkte werden, miteinander verbunden, einen gebrochenen Linienzug geben.

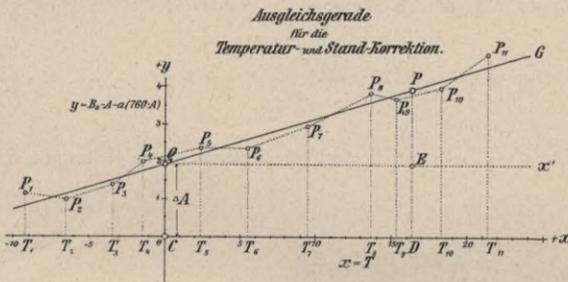


Fig. 153.

Eine Gerade, welche sich den bestimmten Punkten $P_1, P_2, \dots P_n$ am besten anpaßt, kann durch Darstellung der zwei Normalgleichungen XXIV) erhalten werden, indem die beiden Punkte derselben diese Ausgleichsgerade bestimmen, oder aber man zieht sie zwischen $P_1, P_2, \dots P_n$ nach dem Gefühle.

Die Stadtkorrektur ergibt sich als Abschnitt dieser Geraden auf der y -Achse; den Temperaturkoeffizienten α wird die Tangente des Neigungswinkels φ der Geraden darstellen.

Da nun

$$\operatorname{tg} \varphi = \alpha = \frac{o_1 - o_2}{T_1 - T_2} = \frac{o_1 - o_3}{T_1 - T_3} = \dots \dots \dots 67)$$

ist, so kann man aus den Abmessungen des Graphikons (Diagrammes) α nach einfacher Division erhalten.

211. Bestimmung der Teilungskorrektion. Sobald man die Temperaturkoeffizienten, beziehungsweise die Temperaturkorrektur bestimmt hat, so kann an die Ermittlung der Teilungskorrektion geschritten werden. Es werden hiebei Barometervergleichungen bei verschiedenem Luftdrucke zu machen sein und es bieten sich hiezu zwei Wege:

1. die Methode der Bergbesteigungen und
2. die Luftpumpenversuche oder Vergleichungen unter der Luftpumpe.

1. Methode der Bergbesteigungen. Werden in verschiedenen hochgelegenen Punkten A, B, C, \dots Barometervergleichungen durchgeführt, so wird in der Gleichung:

$$B_0 = A + \mathcal{A} A + a(760 - A) + b(760 - A)^2 + \alpha T + \beta T^2, \dots \dots \dots 68)$$

weil die Temperaturkorrektur $\alpha T + \beta T^2 = K_1$ bekannt ist,

$$B_0 - A - (\alpha T + \beta T^2) = o$$

einer bekannten Größe gleichzusetzen sein, wodurch die Gleichung 68) die Form annimmt:

$$\mathcal{A} A + (760 - A) a + (760 - A)^2 b = o \dots \dots \dots 69)$$

Für n Vergleichungspunkte hat man:

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{A}A + (760 - A_1) a + (760 - A_1)^2 b &= o_1 \\ \mathcal{A}A + (760 - A_2) a + (760 - A_2)^2 b &= o_2 \\ \vdots &\vdots \\ \mathcal{A}A + (760 - A_n) a + (760 - A_n)^2 b &= o_n \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 70)$$

woraus die Unbekannten $\mathcal{A}A$, a und b entweder auf rechnerischem oder $\mathcal{A}A$ und die Teilungskorrektur $K_2 = (760 - A) a + (760 - A)^2 b$ auf graphischem Wege ermittelt werden können.

a) Rechnerische Lösung. Die Bestimmungsgleichungen 70) führen auf die Normalgleichungen:

$$\left. \begin{aligned} n \cdot \mathcal{A}A + [(760 - A)] a + [(760 - A)^2] b &= [o] \\ [(760 - A)] \mathcal{A}A + [(760 - A)^2] a + [(760 - A)^3] b &= [o(760 - A)] \\ [(760 - A)^2] \mathcal{A}A + [(760 - A)^3] a + [(760 - A)^4] b &= [o(760 - A)^2] \end{aligned} \right\} \dots \text{XXVI}$$

aus welchen die wahrscheinlichsten Werte der gesuchten Größen $\mathcal{A}A$, a , b sich ergeben; auch kann man ihre mittleren Fehler bequem erhalten.

Bei der Auflösung der vorstehenden Normalgleichungen kann man analog verfahren, wie es bei der Temperaturkorrektur gezeigt wurde.

b) Die graphische Lösung wird ermöglicht, wenn man in dem Ausdrucke 69)

$$o = \mathcal{A}A + (760 - A) a + (760 - A)^2 b$$

$o = y$ und $(760 - A) = x$ setzt, wodurch diese Gleichung die Form annimmt:

$$y = \mathcal{A}A + a x + b x^2, \dots 71)$$

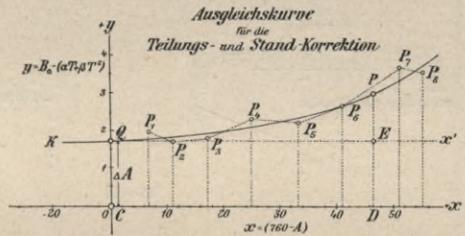


Fig. 154.

welcher Ausdruck eine Kurve zweiter Ordnung darstellt (Fig. 154).

Für verschiedene Werte von o und A erhält man:

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= \mathcal{A}A + a x_1 + b x_1^2 \text{ und damit den Punkt } P_1 \\ y_2 &= \mathcal{A}A + a x_2 + b x_2^2 \text{ " " " " } P_2 \\ \vdots &\vdots \\ y_n &= \mathcal{A}A + a x_n + b x_n^2 \text{ " " " " } P_n \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 72)$$

welche Punkte die sogenannte Teilungskurve bestimmen.

Für $760 - A = 0$ oder $A = 760$ wird $y = CQ = \mathcal{A}A$; für einen beliebigen anderen Punkt P mit der Aneroidablesung A wird man haben:

$$y = \mathcal{A}A + a x + b x^2 = \mathcal{A}A + K_2 = DE + EP \dots \dots \dots 73)$$

erhält also die Teilungskorrektur unmittelbar aus der Zeichnung.

Wie bei der Temperaturkorrektur kann man auch hier neben dem Graphikon eine Tafel berechnen, welche gestattet, mit dem Argumente A die Teilungskorrektur K_2 zu entnehmen (Seite 273); ferner können auch die anderen

dort angegebenen graphischen Verfahren verwendet werden, die sich in ähnlicher Weise entwickeln lassen.

2. Luftpumpenexperiment. Den natürlichsten Weg, um erwünschte Luftdruckänderungen zu erhalten, wie es bei Konstantenbestimmungen von Aneroiden notwendig ist, bieten nur Bergbesteigungen; werden lokale Beobachtungen gemacht, so müßten durch große Zeiträume hindurch Beobachtungen angestellt werden, welche selbst in den Maximaldifferenzen kaum befriedigen dürften. Man ist daher genötigt, den Luftdruck künstlich zu ändern und sich des Luftpumpenexperimentes zu bedienen, wobei darauf zu achten ist, daß die Luftdruckänderungen nicht rasch und stoßweise, sondern allmählich wie bei Bergbesteigungen eintreten. Dieser Methode hat man den Vorwurf gemacht, daß bei der Prüfung des Instrumentes Verhältnisse herrschen, die beim Gebrauche des Instrumentes nicht vorkommen; dies ist dann berechtigt, wenn die Änderung des Luftdruckes unter der Luftpumpe, die Verdünnung oder Verdichtung der Luft, nicht allmählich, sondern rasch und sprungweise vorgenommen wird. Kommen bei diesen Untersuchungen Apparate zur Verwendung, die mit aller Sicherheit kontinuierliche und gleichmäßige Änderungen des Luftdruckes bewirken,

so kann das Experiment mit der Luftpumpe anstandslos zur Bestimmung der Teilungskonstanten verwendet werden.

Die Vorrichtung für künstliche Luftdruckregulierungen kann folgende Einrichtung besitzen (Fig. 155).

Ein gußeisernes Gefäß, Rezipient R , besitzt einen sorgfältig abgeschliffenen Rand, auf dem

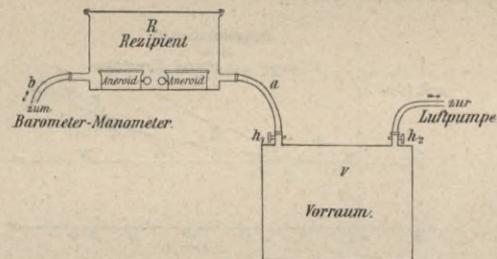


Fig. 155.

eine Spiegelglasplatte fleißig aufgepaßt ist und mittels Klemmen befestigt wird. Von den zwei Gummischläuchen a und b , welche an Rohransätzen befestigt werden, führt einer zum Vorraume V und der zweite zum Quecksilbermanometer.

Der Vorraum V dient zur Ausgleichung der Luftdruckänderungen zwischen der Luftpumpe und dem Rezipienten R ; denn wäre dieser Raum nicht vorhanden, so stünde R in direkter Verbindung mit der Luftpumpe; es würden zu rasche Luftdruckänderungen eintreten, welchen die elastische Molekularbewegung der Aneroidbestandteile nicht folgen könnte, und es müßte sich der schädliche Einfluß der elastischen Nachwirkung sehr merklich einstellen.

Der Vorraum V hat zwei Rohransätze mit regulierbaren Hähnen h_1 und h_2 ; die Anwendung ist die folgende: Wird der Hahn h_1 geschlossen, h_2 hingegen geöffnet und die Luftpumpe derart in Gang gebracht, daß die Luft im Vorraume verdünnt wird, so wird der Luftdruck in derselben verringert. Wird nun h_2 geschlossen und h_1 allmählich geöffnet, so tritt aus dem Rezipienten allmählich Luft aus und es findet eine Druckausgleichung im Rezipienten und im Vorraume statt.

Nun kann das Manometer (Barometer) und der Stand des untersuchten Aneroides im Rezipienten abgelesen werden.

In der Gleichung:

$$B = A + \mathcal{A} A + (760 - A) a + (760 - A)^2 b + \alpha T + \beta T^2$$

ist der Ausdruck

$$y = B - A - \alpha T - \beta T^2 = \mathcal{A} A + (760 - A) a + (760 - A)^2 b 75)$$

berechenbar; rechter Hand dieser Gleichung treten die gesuchten Konstanten $\mathcal{A} A$, a und b als Unbekannte auf, zu deren Bestimmung eine gewünschte Anzahl von Bestimmungsgleichungen aufgestellt werden kann; sind überschüssige Beobachtungen angestellt worden, so lassen sich mit Benützung der Sätze der Ausgleichsrechnung die wahrscheinlichsten Werte der Konstanten $\mathcal{A} A$, a und b bestimmen.

212. Beispiele zur numerischen Bestimmung der Koeffizienten der Aneroidgleichung. I. Beispiel. Zum Zwecke der Bestimmung der Koeffizienten des Naudetschen Aneroides Nr. 20.728 der Sammlung der Lehrkanzel für Geodäsie an der k. k. Technischen Hochschule in Graz wurden nachstehende Beobachtungen gemacht.

Beobachtungsdaten.

Nr.	Ort	Zeit	B_0	Aneroid		Anmerkung
				A	T	
			<i>mm</i>	<i>mm</i>	$^{\circ}\text{C}$	
1	Graz, Technische	19. 2. 1884 4 ^h p.	739.7	741.0	+ 3.9	Die Beobachtungen 1 bis 19 werden zur Bestimmung der Tem- peraturkoeffizienten verwendet.
2	Hochschule	20. 2. 1884 9	737.3	739.5	12.0	
3	Kabinett der	20. 2. 1884 10	737.4	738.5	- 0.3	
4	praktischen	20. 2. 1884 3 ¹ / ₂ p.	735.9	737.8	+ 6.9	
5	Geometrie im alten	20. 2. 1884 5 p.	736.4	737.5	2.0	
6	Gebäude	21. 2. 1884 9	735.8	738.2	12.0	
7	"	21. 2. 1884 10 ¹ / ₂	736.2	737.8	3.8	
8	"	21. 2. 1884 4 ¹ / ₂ p.	734.4	736.3	7.5	
9	"	22. 2. 1884 12	733.3	735.7	11.4	
10	"	24. 2. 1884 9 ¹ / ₂	729.0	730.6	6.6	
11	"	24. 2. 1884 3 ¹ / ₂ p.	726.6	729.5	18.6	
12	"	28. 2. 1884 9	730.3	731.2	1.8	
13	"	29. 2. 1884 6 p.	729.2	730.7	8.8	
14	"	7. 3. 1884 3 ¹ / ₂ p.	729.1	732.2	17.3	
15	"	13. 3. 1884 11	725.2	728.5	16.5	
16	"	1. 4. 1884 6 p.	730.0	732.5	14.0	
17	"	12. 4. 1884 12 ¹ / ₂	729.1	732.8	22.5	
18	"	13. 4. 1884 1 p.	728.9	732.0	19.9	
19	"	14. 4. 1884 1 p.	735.3	739.1	21.8	
20	Im Kaltenbachgraben bei Bruck a. d. M.	21. 4. 1884 4 ¹ / ₂ p.	720.2	724.5	23.8	Die Beobachtungen 20 bis 23 dienen zur Ermittlung des Teilungskoeffizienten.
21	Seppbauer	21. 4. 1884 5 ¹ / ₂ p.	713.8	717.8	21.8	
22	Am Wege zum Rennfelde	22. 4. 1884 7 ¹ / ₂	660.3	663.5	10.3	
23	Pyramide am Rennfelde	22. 4. 1884 9 ¹ / ₄	636.8	642.0	22.0	

1. Bestimmung der Temperaturkoeffizienten.

a) Zunächst bestimmt man einen genäherten Wert des Teilungskoeffizienten a ; aus

	B_0	A	T
Nr. 21	713·8	717·8	21·8
Nr. 23	636·8	642·0	22·0
	77·0	75·8	

folgt:

und daraus:
$$a = 1 - \frac{B_1 - B_2}{A_1 - A_2} = 1 - \frac{77·0}{75·8} = 1 - 1·0158 = -0·0158.$$

b) Nun wird an die Berechnung der Koeffizienten und des Absolutgliedes in den Bestimmungsgleichungen von der Form (Gleichung 50):

$$\begin{aligned} \mathcal{A} A + T a + T^2 \beta &= B_0 - A - a(760 - A) \\ a x + b y + c z &= 0 \end{aligned}$$

allgemein

geschritten; hierin ist nun

$$\left\{ \begin{array}{ll} a = 1 & x = \mathcal{A} A \\ b = T & y = a \\ c = \frac{1}{10} T^2 & z = 10 \beta \\ o = B_0 - A - a(760 - A) & \end{array} \right.$$

zu setzen, wobei für c nicht T^2 , sondern $\frac{T^2}{10}$ eingeführt wird, da sonst die betreffenden Koeffizienten unnötig groß werden; dafür ist dann auch $z = 10 \beta$ oder $\beta = \frac{z}{10}$ zu rechnen.

Die Koeffizienten und die Absolutglieder der Normalgleichungen werden am bequemsten auf Grund nebenstehender Tabelle bestimmt.

c) Die Normalgleichungen für die Unbekannten x , y und z lauten:

$$\left. \begin{aligned} + 19 x + 207·0 y + 3170 z &= - 34·70 \\ + 207·0 x + 3170 y + 5526 z &= - 489·85 \\ + 3170 x + 5526 y + 10·318 z &= - 836·64 \end{aligned} \right\},$$

aus welchen folgt:

$$\left\{ \begin{array}{ll} x = -0·60 & \mathcal{A} A = -0·60 \\ y = -0·0917 \text{ oder} & a = -0·0917 \\ z = -0·0134 & \frac{z}{10} = \beta = -0·00134 \end{array} \right\};$$

der mittlere Fehler beträgt:

$$m = \sqrt{\frac{[v v]}{n - k}} = \sqrt{\frac{1·06}{19 - 3}} = \pm 0·26 \text{ mm};$$

die gesuchten Temperaturkoeffizienten sind:

$$\left. \begin{aligned} a &= -0·0917 \\ \beta &= -0·00134 \end{aligned} \right\}$$

und die Temperaturkorrektur:

$$K_1 = -0·0917 T - 0·00134 T^2.$$

Nr.	<i>A</i>	$760 - A$	$\alpha(760 - A)$	$\frac{A}{\alpha(760 - A)}$	<i>R</i> ₀	$\frac{R_0 - [A + \alpha(760 - A)]}{\alpha(760 - A)}$	$\frac{a}{\alpha a}$	$\frac{b}{\alpha b}$	$\frac{c}{\alpha c}$	$\frac{e}{\alpha e}$	<i>ββ</i>	<i>βc</i>	<i>βo</i>	<i>cc</i>	<i>co</i>	<i>oo</i>	<i>v</i>	<i>vv</i>
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm								
1	741.0	19.0	-0.3	740.7	739.7	-1.0	1	3.9	1.5	-1.0	15	6	-3.90	2	-1.50	1.00	+0.02	0.00
2	739.5	20.5	-0.3	739.2	737.3	-1.9	1	12.0	14.4	-1.9	144	173	-22.80	207	-27.36	3.61	+0.01	0.00
3	738.5	21.5	-0.3	738.2	737.4	-0.8	1	-0.3	0.1	-0.8	1	0	+0.24	0	-0.08	0.64	+0.23	0.05
4	737.8	22.2	-0.4	737.4	735.9	-1.5	1	6.9	4.8	-1.5	48	33	-10.35	23	-7.20	2.25	+0.21	0.04
5	737.5	22.5	-0.4	737.1	736.4	-0.7	1	2.0	0.4	-0.7	4	1	-1.40	0	-0.28	0.49	-0.09	0.01
6	738.2	21.8	-0.3	737.9	735.8	-2.1	1	12.0	14.4	-2.1	144	173	-25.20	207	-30.24	4.41	+0.21	0.04
7	737.8	22.2	-0.4	737.4	736.2	-1.2	1	3.8	1.4	-1.2	14	5	-4.56	2	-1.68	1.44	+0.23	0.05
8	736.3	23.7	-0.4	735.9	734.4	-1.5	1	7.5	5.6	-1.5	56	42	-11.25	31	-8.40	2.25	+0.13	0.02
9	735.7	24.3	-0.4	735.3	733.3	-2.0	1	11.4	13.0	-2.0	130	118	-22.80	169	-26.00	4.00	+0.18	0.03
10	730.6	29.4	-0.5	730.1	729.0	-1.1	1	6.6	4.4	-1.1	44	29	-7.26	19	-4.84	1.21	-0.17	0.03
11	729.5	30.5	-0.5	729.0	726.6	-2.4	1	18.6	34.6	-2.4	346	643	-44.46	1197	-83.04	5.76	-0.38	0.14
12	731.2	28.8	-0.5	730.7	730.3	-0.4	1	1.8	0.3	-0.4	3	1	-0.72	0	-0.12	0.16	-0.37	0.14
13	730.7	29.3	-0.5	730.2	729.2	-1.0	1	8.8	7.7	-1.0	77	68	-8.80	59	-7.70	1.00	-0.51	0.26
14	732.2	27.8	-0.4	731.8	729.1	-2.7	1	17.3	29.9	-2.7	239	518	-46.71	894	-80.73	7.29	+0.11	0.01
15	728.5	31.5	-0.5	728.0	725.2	-2.8	1	16.5	27.2	-2.8	272	449	-46.20	740	-76.16	7.84	+0.32	0.10
16	732.5	27.5	-0.4	732.1	730.0	-2.1	1	14.0	19.6	-2.1	196	274	-29.40	384	-41.16	4.41	-0.05	0.00
17	732.8	27.2	-0.4	732.4	729.1	-3.3	1	22.5	50.6	-3.3	506	1139	-74.25	2560	-166.98	10.89	-0.05	0.00
18	732.0	28.0	-0.4	731.6	728.9	-2.7	1	19.9	39.6	-2.7	396	788	-53.73	1568	-106.92	7.29	-0.26	0.07
19	739.1	20.9	-0.3	738.8	735.3	-3.5	1	21.8	47.5	-3.5	475	1036	-76.30	2256	-166.25	12.25	+0.26	0.07
							19	207.0	317.0	-34.7	3170	5526	-489.85	10.318	-836.64	78.19	+0.03	1.06
																	$\stackrel{=}{=} 0$	$[vv]$

Anmerkung. Würde man $\beta = 0$ annehmen, so ergeben sich für die Bestimmung von A und α die Normalgleichungen:

$$\begin{cases} + 19 x + 207.0 y = - 34.70 \\ + 207.0 x + 3170 y = - 489.85 \end{cases}$$

und daraus:

$$\begin{cases} x = -0.50 \\ y = -0.1222 \end{cases} \text{ oder } \begin{cases} A = -0.50 \\ \alpha = -0.1222 \end{cases};$$

die Temperaturkorrektur erhält die Form:

$$K_1 = -0.1222 T.$$

Rechnet man auch noch den mittleren Fehler einer Vergleichung, so erhalten wir

$$m = \pm 0.26 \text{ mm.}$$

Da, wie man sieht, die verwendeten Beobachtungen mit derselben Genauigkeit ($m = \pm 0.26 \text{ mm}$) der linearen Form der Temperaturkorrektur sich anschmiegen, so kann innerhalb des Intervalles $0^\circ - 23^\circ$ die Temperaturkorrektur als proportional der Temperatur angenommen werden, ein Fall, der fast bei allen Naudetschen Instrumenten beobachtet wurde, so daß man gleich vom Anfange an die Rechnung danach anlegen kann.

Nun kann die Temperaturkorrekturstabelle für das Aneroid Naudet Nr. 20.728 angelegt werden; wir geben sie am Schlusse der folgenden Seite.

2. Bestimmung der Teilungskoeffizienten.

Auch für die Teilungskorrektur kann bei Naudetschen Aneroiden in der Regel eine lineare Funktion von der Form:

$$K_2 = a(760 - A_1)$$

benützt werden, wobei

$$A_1 = A + K_1 \text{ zu setzen ist und wir führen daher im}$$

vorliegenden Beispiele die Rechnung nach dieser Voraussetzung durch. Hiezu benützen wir nur die Beobachtungen 20–23, da eine Vermengung dieser mit den früheren aus dem Grunde nicht ratsam erscheint, weil dazwischen eine Eisenbahnfahrt (Graz—Bruck a. d. Mur) liegt, die erfahrungsmäßig meistens eine größere Änderung der Standkorrektur verursacht.

Daß im Faktor $(760 - A_1)$ die bereits mit der Temperaturkorrektur versehene Aneroidlesung A_1 eingeführt ist statt der unmittelbaren Lesung A , hat keine wesentliche Bedeutung, sondern nur den Zweck, sich nun von der Temperatur vollständig unabhängig zu machen.

a) Die Bestimmungsgleichung hat die Form:

$$\begin{cases} A A + a(760 - A_1) = B_0 - (A + a T + \beta T^2) = B_0 - A_1 \\ \alpha x + \beta y = 0 \end{cases},$$

worin

$$\begin{cases} \alpha = 1 & x = A A \\ \beta = 760 - A_1 & y = a \\ \gamma = B_0 - A_1 \end{cases}$$

bedeuten.

Nun werden die vorstehenden Koeffizienten und das Absolutglied der Bestimmungsgleichungen gerechnet und behufs Aufstellung der Normalgleichungen in einer Tabelle zusammengestellt.

Nr.	Aneroid				760 - A ₁ β	B ₀	B ₀ - A ₁ o
	A	T	K ₁	A ₁			
	mm	° C	mm	mm	mm	mm	mm
20	724.5	23.8	-2.9	721.6	38.4	720.2	-1.4
21	717.8	21.8	-2.7	715.1	44.9	713.8	-1.3
22	663.5	10.3	-1.2	662.3	97.7	660.3	-2.0
23	642.0	22.0	-2.7	639.3	120.7	636.8	-2.5

Nr.	α	β	o	ββ	βo	oo	αx	βy	αx	-o	v	vv
	αα	αβ	αo						βy			
20	1	38.4	-1.4	1.475	- 53.76	1.96	-0.77	-0.52	-1.29	+1.4	+0.11	0.0121
21	1	44.9	-1.3	2.016	- 58.37	1.69	-0.77	-0.61	-1.38	+1.3	-0.08	64
22	1	97.7	-2.0	9.545	-195.40	4.00	-0.77	-1.31	-2.13	+2.0	-0.13	169
23	1	120.7	-2.5	14.568	-301.75	6.25	-0.77	-1.65	-2.42	+2.5	+0.08	64
	4	301.7	-7.2	27.604	-609.28	13.90					-0.02	0.04
											=0	[vv]

b) Die Normalgleichungen lauten:

$$\left. \begin{aligned} 4x + 301.7y &= -7.20 \\ 301.7x + 27.604y &= -609.28 \end{aligned} \right\}$$

woraus sich ergeben:

$$\left. \begin{aligned} x &= -0.77 & \Delta A &= -0.77 \\ y &= -0.0136 & a &= -0.0136 \end{aligned} \right\}$$

und ein mittlerer Fehler

$$m = \sqrt{\frac{[vv]}{n-k}} = \sqrt{\frac{0.04}{4-2}} = \pm 1.4 \text{ mm}$$

Der Teilungskoeffizient ist also $a = -0.0136$

und die Teilungskorrektur

$$K_2 = -0.0136 (760 - A_1),$$

für welche eine Tabelle angelegt werden kann.

Die Aneroidgleichung, respektive die Reduktionsgleichung für das Aneroid von Naudet Nr. 20.728 lautet daher:

$$\left\{ \begin{aligned} A_0 &= A + \Delta A - 0.122 T - 0.0136 (760 - A_1) = A + \Delta A + K_1 + K_2 \\ A_1 &= A - 0.122 T. \end{aligned} \right.$$

Die Korrektortabellen sind die folgenden, und zwar:

Temperaturkorrektur.

T	K ₁								
°C	mm								
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	0.1	6	0.7	11	1.3	16	2.0	21	2.6
2	0.2	7	0.9	12	1.5	17	2.1	22	2.7
3	0.4	8	1.0	13	1.6	18	2.2	23	2.8
4	0.5	9	1.1	14	1.7	19	2.3	24	2.9
5	0.6	10	1.2	15	1.8	20	2.4	25	3.1

Teilungskorrektur.

A ₁	K ₂	A ₁	K ₂	A ₁	K ₂
mm	mm	mm	mm	mm	mm
—	—	—	—	—	—
750	0.1	700	0.8	650	1.5
740	0.3	690	1.0	640	1.6
730	0.4	680	1.1	630	1.8
720	0.5	670	1.2	620	1.9
710	0.7	660	1.4	610	2.0

2. Beispiel. Für das Goldschmidtsche Schraubenaneroid Nr. 3290 der Lehrkanzel für Geodäsie und Markscheidkunde an der k. k. montanistischen Hochschule in Leoben wurden zum Zwecke der Bestimmung der Temperaturkoeffizienten Vergleichen mit einem Quecksilberbarometer angestellt.

Nr.	B_0	Aneroid		760 - A	$a(760 - A)$	$\frac{A}{a(760 - A)}$	$B_0 - [A + a(760 - A)]$	Anmerkung
		A	T					
	mm	mm	°C	mm	mm	mm	mm	
1	724.0	720.0	- 9.0	40.0	- 2.0	718.0	+ 6.0	Die Skalen der neueren Goldschmidtschen Schraubenaneroide geben unmittelbar Luftdruckmillimeter, so daß sofort $S^r = A$ gesetzt werden kann. a genähert = - 0.05.
2	724.8	720.9	- 7.0	39.1	- 2.0	718.9	+ 5.9	
3	721.5	718.1	- 5.9	41.9	- 2.1	716.0	+ 5.5	
.	
.	
17	720.3	714.7	+ 23.4	45.3	- 2.3	712.4	+ 7.9	
18	724.3	717.4	+ 26.1	42.6	- 2.1	715.3	+ 9.0	
19	717.9	710.7	+ 29.0	49.3	- 2.5	708.2	+ 9.7	

a) Die allgemeine Form der Bestimmungsgleichungen für die Temperaturkoeffizienten ist Band II, Nr. 210):

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{A} A + \alpha T + \beta T^2 &= B_0 - [A + a(760 - A)] \text{ oder } \\ a x + b y + c z &= 0 \end{aligned} \right\}$$

so daß

$$\left. \begin{aligned} a &= 1 \dots x = \mathcal{A} A \\ b &= T \dots y = \alpha \\ c &= \frac{1}{10} T^2 \dots z = 10 \beta \\ o &= B_0 - [A + a(760 - A)] \end{aligned} \right\} \text{ ist.}$$

Man kann nun die reduzierte Form der Bestimmungsgleichungen benutzen, in welchen bloß zwei Unbekannte erscheinen, nämlich:

$$B y + C z = O,$$

worin

$$\left. \begin{aligned} B &= b - \frac{[b]}{n} \\ C &= c - \frac{[c]}{n} \\ O &= o - \frac{[o]}{n} \end{aligned} \right\} \text{ ist.}$$

und die Unbekannte x lautet:

$$x = \frac{[o]}{n} - \frac{[b]}{n} y - \frac{[c]}{n} z.$$

Für die Normalgleichungen ergeben sich die Koeffizienten und die Absolutglieder aus folgender Zusammenstellung.

Nr.	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>o</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>BB</i>	<i>BC</i>	<i>BO</i>	<i>CC</i>	<i>CO</i>	<i>OO</i>
1	— 9·0	+ 8·1	+ 6·0	— 18·6	— 14·7	— 0·58	346	273	10·79	216	8·53	0·34
2	— 7·0	+ 4·9	+ 5·9	— 16·6	— 17·9	— 0·68	276	297	11·29	320	12·17	0·46
3	— 5·9	+ 3·5	+ 5·5	— 15·5	— 19·3	— 1·08	240	299	16·74	372	20·84	1·17
.
.
17	+ 23·4	+ 54·8	+ 7·9	+ 13·8	+ 32·0	+ 1·32	190	442	18·22	1024	42·24	1·74
18	+ 26·1	+ 68·1	+ 9·0	+ 16·5	+ 45·3	+ 2·42	272	747	39·93	2052	109·63	5·86
19	+ 29·0	+ 84·1	+ 9·7	+ 19·4	+ 62·3	+ 3·12	376	1209	60·42	3881	194·38	9·73
:19	+ 182·6	+ 432·3	+ 125·0	+ 96·7	+ 205·9	+ 9·06	2568	4974	223·28	12.298	567·58	27 07
	+ 9·6	+ 22·8	+ 6·58	— 96·5	— 205·8	— 9·08						
	$\frac{[b]}{n}$	$\frac{[c]}{n}$	$\frac{[o]}{n}$	$\overline{=} 0$	$\overline{=} 0$	$\overline{=} 0$						

b) Die Normalgleichungen sind:

$$\left. \begin{aligned} 2568 y + 4974 z &= 223 \cdot 28 \\ 4974 y + 12.298 z &= 567 \cdot 58 \end{aligned} \right\};$$

aus ihnen rechnet sich:

$$\left. \begin{aligned} y &= -0 \cdot 0113 & \alpha &= -0 \cdot 0113 \\ z &= +0 \cdot 0507 & \beta &= +0 \cdot 00507 \end{aligned} \right\}, m = \pm 0 \cdot 22$$

und

$$x = +5 \cdot 55.$$

Die Temperaturkoeffizienten haben entgegengesetzte Zeichen; die Temperaturkorrektion ist:

$$K_1 = -0 \cdot 0113 T + 0 \cdot 00507 T^2.$$

Anmerkung. Würde man auch hier versuchen, für die Temperaturkorrektion die lineare Form zu nehmen, so ergäbe sich ein mittlerer Fehler der Reduktion von

$$m = \pm 0 \cdot 68,$$

ein Zeichen, daß diese Vereinfachung keineswegs erlaubt wäre. Dieser Umstand ist wieder kein Zufall bei dem vorliegenden Instrumente, sondern charakteristisch für die Goldschmidtschen Schraubenaneroide.

Ausführung von barometrischen Höhenmessungen.

213. Erst seit der Einführung der Metallbarometer (Aneroide) hat das barometrische Höhenmessen eine größere Anwendung bei den topographischen Arbeiten des Ingenieurwesens gefunden; heute, wo gute Aneroide von mehreren mechanischen Werkstätten in vorzüglicher Ausführung geliefert werden und unsere Ingenieure mit den theoretischen Grundlagen des barometrischen Höhenmessens vertraut sind, werden Generalnivelements für Trassenstudien sehr oft

aneroidisch durchgeführt. Bei der Trassierung einer Eisenbahn oder einer größeren Straßenanlage handelt es sich um rasche vorläufige Feststellung der Höhenunterschiede der Hauptpunkte, wobei Aneroide gute Dienste leisten werden.

Der billige Anschaffungspreis, die Leichtigkeit des Transportes, der einfache und bequeme Gebrauch und auch die geringere Gebrechlichkeit gegenüber den Quecksilberbarometern haben das Aneroid in weniger als drei Jahrzehnten zu einem beliebten Höhenmeßinstrumente für den Ingenieur gemacht.

Die gebräuchlichen Methoden der Höhenmessung mittels Aneroiden lassen sich in zwei Gruppen teilen:

1. Höhenmessung mit zwei Aneroiden, wozu im allgemeinen auch zwei Beobachter notwendig sind, und
2. Höhenmessung mit einem Aneroide.

Höhenmessung mit zwei Aneroiden.

Hiebei sind in der Praxis zwei Verfahren im Gebrauche:

- a) die Methode mittels eines Feld- und Stationsaneroides, beziehungsweise eines ambulanten und eines stationären Aneroides und
- b) die Staffelmethode.

214. Methode des Feld- und Stationsaneroides. Das eine Instrument bleibt in dem Standorte, der Station, und heißt Stationsaneroid (-barometer) oder auch stationäres Barometer; mit dem zweiten Instrumente, Feldaneroide oder ambulanten Barometer, werden die zu bestimmenden Punkte begangen.

Vor dem Beginne der Arbeit findet eine Vergleichung der beiden Aneroide untereinander statt; ist ein Quecksilberbarometer zur Verfügung, so wird eine Vergleichung beider Aneroide mit dem Quecksilberbarometer vorgenommen. Ist B_0 der auf Null Grad reduzierte Barometerstand und sind A_1, T_1 und A_2, T_2 die Lesungen an den Zeigeraneroiden, so müssen die Gleichungen bestehen:

$$\left. \begin{aligned}
 B_0 &= A_1 + \Delta A_1 + \alpha_1 T_1 + \dots + \alpha_1 (760 - A_1) = \\
 &\qquad\qquad\qquad A_1 + \Delta A_1 + K_1 + K_2 \text{ für das Stationsaneroid} \\
 B_0 &= A_2 + \Delta A_2 + \alpha_2 T_2 + \dots + \alpha_2 (760 - A_2) = \\
 &\qquad\qquad\qquad A_2 + \Delta A_2 + K_1' + K_2' \text{ für das Feldaneroid}
 \end{aligned} \right\}$$

woraus die Aneroidstände

$$\left. \begin{aligned}
 \Delta A_1 &= B_0 - (A_1 + K_1 + K_2) \\
 \Delta A_2 &= B_0 - (A_2 + K_1' + K_2')
 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 76)$$

berechnet werden. Nun ist auch die gegenseitige Differenz der Aneroidstände beider Instrumente, d. i.

$$\Delta A_1 - \Delta A_2 = (A_2 - A_1) + (K_1' - K_1) + (K_2' - K_2) = \Delta A \dots \dots \dots 77)$$

bekannt, welche gestattet, die Aneroide miteinander zu vergleichen, zu kontrollieren und festzustellen, ob sich nicht etwa der Stand bei einem von ihnen geändert hat.

Nach vollendeter Vergleichung kann an die barometrische Höhenmessung geschritten werden.

Das Stationsaneroid I wird in geschützte Lage gebracht, horizontal gelegt und von 10 zu 10 oder 15 zu 15 Minuten *A* und *T* abgelesen; die Lufttemperatur *t* kann in größeren Zeitintervallen ermittelt werden.

Die Beobachtungsdaten werden in ein Manuale eingetragen, welches nachstehende Einrichtung haben kann.

Manuale für das Standaneroid.

Instrument: Naudet Nr. 38.955.

Beobachter: N. N.

Ort und Datum: Göß, den 20. Juni 1904.

Station	Zeit	Aneroid		<i>t</i>	Korrek tionen				<i>B</i> ₀	Anmerkung
		<i>A</i>	<i>T</i>		einzel n			zusammen $\Delta A +$ $K_1 + K_2$		
					ΔA	<i>K</i> ₁	<i>K</i> ₂			
Göß	h m	mm	°C	°C	mm	mm	mm	mm	mm	Aneroid- vergleichung.
	8 35	724·8	18·3	15·7	- 3·8	- 2·1	+ 1·8	- 4·1	720·7	
Brauhaus- restauration	9 05	724·9	18·3	15·8	- 3·8	- 2·1	+ 1·8	- 4·1	720·8	Für dieses Aneroid wurde der Stand $\Delta A = - 3·8$ durch Ver- gleichung mit einem Queck- silberbarometer erhalten. Aneroid- vergleichung.
	9 35	725·1	18·4	16·3	- 3·8	- 2·1	+ 1·8	- 4·1	721·0	
	10 05	725·4	18·7	17·2	- 3·8	- 2·1	+ 1·8	- 4·1	721·3	
	10 35	725·4	19·0	17·9	- 3·8	- 2·2	+ 1·8	- 4·2	721·2	
	11 00	725·5	19·1	18·1	- 3·8	- 2·2	+ 1·8	- 4·2	721·3	

Das Feldaneroid II muß beim Transporte sorgfältig behandelt werden; es ist gegen Temperatureinflüsse zu schützen, daher stets im Etui zu belassen und darf nicht direkter Sonnenstrahlung ausgesetzt werden; beim Transporte sollen rasche und sprunghafte Bewegungen vermieden werden, damit das Aneroid keine schädigenden Stöße erleidet, was eine unbedingte Änderung der Standkorrektur zur Folge haben müßte.

In einem Punkte 1 angelangt, muß man einige Zeit mit dem Ablesen warten und vor dem Ablesen sanft auf den Deckel klopfen, um die Trägheit des Zeigers und des Mechanismus zu überwinden; beim Ablesen von *A* und *T* ist das Instrument in Brusthöhe horizontal zu halten.

Die Temperatur der äußeren Luft t wird mittels eines Schleuderthermometers bestimmt oder aber an einem im Schatten entsprechend aufgehängten Thermometer abgelesen.

Die Beobachtungsdaten werden in ein Protokoll eingetragen.

Manuale für das Feldaneroïd.

Instrument: Goldschmid Nr. 3289.

Beobachter: N. N.

Ort und Datum: Göß, den 20. Juni 1904.

Punkt	Zeit	Aneroïd			Korrekturen				B_0	Anmerkung
		A	T		einzeln			zusammen $\Delta A + K_1 + K_2$		
					ΔA	K_1	K_2			
Station Göß	h m 8 35	mm 715·5	$^{\circ}\text{C}$ 20·5	$^{\circ}\text{C}$ 15·7	mm ?	mm $+0\cdot7$ $+1\cdot4$	mm -1·1	mm $+1\cdot0$ $+ \Delta A'_2$	mm 720·7	Aneroid- vergleichung.
F	9 30	713·8	22·0	16·1	$+4\cdot3$	$+0\cdot7$ $+1\cdot6$	-1·2	$+5\cdot4$	719·2	Die bei Vergleichung verwendeten, auf Null Grad reduzierten Barometerstände in der Station sind von dem Stationsaneroïde herübergenommen. $\Delta A_2 =$ $\frac{\Delta A_2' + \Delta A_2''}{2} = 4\cdot3.$
B	9 46	708·1	22·2	15·7	$+4\cdot3$	$+0\cdot7$ $+1\cdot6$	-1·3	$+5\cdot4$	713·5	
O	10 00	705·3	23·5	17·4	$+4\cdot3$	$+0\cdot8$ $+1\cdot9$	-1·4	$+5\cdot6$	710·9	
B	10 10	707·9	23·8	17·9	$+4\cdot3$	$+0\cdot8$ $+1\cdot9$	-1·3	$+5\cdot7$	713·6	
F	10 23	713·1	25·2	18·9	$+4\cdot3$	$+0\cdot8$ $+2\cdot2$	-1·2	$+6\cdot1$	719·2	
Station Göß	11 00	715·2	24·0	18·1	mm ? (+4·4)	$+0\cdot8$ $+2\cdot0$	-1·1	mm $+1\cdot7$ $+ \Delta A''_2$	mm 721·3	Aneroid- vergleichung.

In beschriebener Weise wird in den anderen Feldpunkten 2, 3, 4, . . . verfahren und die Beobachtungsdaten im Manuale notiert.

Nach Rückkehr in die Station findet wieder eine Aneroidvergleichung statt, welche den Zweck hat, festzustellen, ob die Differenz der Aneroidstände sich geändert hat.

Verfügt man hinlänglich über Zeit und will man die gemachten Beobachtungen kontrollieren, so wird die Höhenmessung wiederholt, und zwar derart, daß die beiden Aneroïde ihre Rolle wechseln: Aneroid I wird Feldaneroïd und das Feldaneroïd II wird auf der Station verwendet.

Die Anlage und Ausführung des Nivellements ist die beschriebene.

Zufolge Erfahrung soll sich das Feldaneroïd nicht über 2 bis 3 km vom Stationsaneroïde entfernen, auch sollen keine Ungleichförmigkeiten der Bodenbedeckung, Wechsel von Feld und Wald vorhanden, kein Höhenrücken oder tiefes Tal zwischen beiden Instrumenten gelegen sein.

Anmerkung: Es sei ausdrücklich bemerkt, daß das Standaneroïd auch ein Quecksilberbarometer sein kann. Nicht selten kann auch ein selbstregistrierendes Instrument, ein Barograph, auf der Station aufgestellt werden. Solche Instrumente werden in tadelloser Ausführung von mehreren Firmen geliefert: Hottinger & Cie. in Zürich, Fueß in Steglitz bei Berlin und Richard Frères in Paris.

Beispiel. Bei den Vermessungsübungen zu Göß bei Leoben im Studienjahre 1903/04 wurden nach dem vorbeschriebenen Verfahren barometrisch Höhen ermittelt; es kamen zwei Aneroïde der geodätischen Sammlung an der k. k. montanistischen Hochschule in Leoben zur Verwendung, und zwar:

ein Zeigeraneroïd Naudet Nr. 38.955 mit der Gleichung

$$B_0 = A - 3.8 - 0.1135t + 0.051(760 - A) \text{ als Standaneroïd und}$$

ein Schraubenaneroïd Goldschmid Nr. 3289 mit der Gleichung

$$B_0 = A + \Delta A + 0.032t + 0.0034t^2 - 0.025(760 - A) \text{ als Feldaneroïd.}$$

Der Stand des Naudetschen Aneroïdes war schon früher mit einem Quecksilberbarometer $\Delta A_1 = -3.8 \text{ mm}$ ermittelt worden; dadurch war es nun möglich, die weiteren Arbeiten unabhängig vom Quecksilberbarometer auszuführen.

Der auf Null Grad reduzierte Barometerstand des Standaneroïdes rechnet sich unmittelbar nach der Aneroïdgleichung; für das Feldaneroïd wurden die Stände bei den Vergleichen in der Station mit Zugrundelegung des Stationsaneroïdes berechnet, und zwar:

Anfangs-:	$A \dots 715.5$ $K_1 + K_2 \dots + 1.0$ <hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> $(-) 716.5$ $B_0 \dots 720.7$ $\Delta A_2' = + 4.2 \text{ mm}$	Endvergleichung:	$A_1 \dots 715.2$ $K_1 + K_2 \dots + 1.7$ <hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> $(-) 716.9$ $B_0 \dots 721.3$ $\Delta A_2'' = + 4.4 \text{ mm}$	}
-----------	--	------------------	---	---

also im Mittel $\Delta A_2 = \frac{\Delta A_2' + \Delta A_2''}{2} = + 4.3 \text{ mm}$,

welcher Mittelwert $+ 4.3 \text{ mm}$ zur Berechnung von B_0 weiter verwertet wird.

Am praktischesten ist es wohl, wie in den vorstehenden Tabellen, die einzelnen Korrekturen sowie die Gesamtkorrektur für einen jeden Punkt einzutragen, wodurch erwünschte Übersicht geschaffen und eventuelle Kontrollen bequem ausgeführt werden können.

Hat man in dieser Weise alles vorbereitet, so kann an die Berechnung der Höhen selbst geschritten werden; hiebei wird die vereinfachte Höhenformel:

$$H = 18.464 \left(1 + 0.00367 \frac{t_1 + t_2}{2} \right) \log \frac{b_1}{b_2}$$

benützt und mit großem Vorteile die „Barometrischen Höhentafeln“ von Jordan verwendet, wobei die Berechnung entweder nach Radau oder Babinet (II. Band, Nr. 193 oder 194) gemacht werden kann. Um gleichzeitige Barometerstände zu erhalten, werden die Beobachtungen b_1 auf der Station durch einfache Interpolation auf die Zeit der Beobachtungen des Feldaneroïdes umgerechnet.

Nachstehend geben wir die Berechnung in tabellarischer Zusammenstellung.

Berechnung nach
Radau Babinet.

Punkt	Barometer		$\frac{b_1 + b_2}{2}$	$b_1 - b_2$	Temperatur		$\frac{t_1 + t_2}{2}$	Rohe Meereshöhe		ΔH $H_2 - H_1$	Barom. Höhen- stufe	Resultat	
	b_1	b_2			t_1	t_2		H_1	H_2			ΔH	Mittel
	mm	mm	mm	mm				m	m	m	m	m	m
F	721.0	719.2	720	+ 1.8	16.2	16.1	16	469.5	490.7	+ 21.2	11.79	+ 21.2	+ 22.5
B	721.1	713.5	717	+ 7.6	16.7	15.7	16	468.3	558.3	+ 90.0	11.84	+ 90.0	+ 90.9
Ö	721.2	710.9	716	+ 10.3	17.0	17.4	17	468.8	591.3	+ 122.5	11.90	+ 122.6	+ 122.6
B	721.3	713.6	717	+ 7.7	17.3	17.9	18	469.2	561.0	+ 91.8	11.92	+ 91.8	
F	721.2	719.2	720	+ 2.0	17.6	18.9	18	470.4	494.1	+ 23.7	11.87	+ 23.8	

215. **Staffelmethode.** Hat man charakteristische Punkte A, a, b, c, \dots im Zuge einer Trasse (Fig. 156) in Bezug auf ihre Höhe festzulegen, so kann



Fig. 156.

dies nach der Methode des Staffels mit zwei Aneroiden und zwei Beobachtern in nachstehender Weise geschehen.

Im Ausgangspunkte A wird eine Aneroidvergleichung vorgenommen und die Differenz $\Delta A_1 - \Delta A_2 = \Delta A$ bestimmt; ist ein Quecksilberbarometer vorhanden, so kann selbstverständlich auch eine Vergleichung mit diesem vorgenommen werden.

Nun begibt sich der Beobachter mit dem Aneroide II auf den Punkt a , jener mit dem Aneroide I bleibt in A ; beide Beobachter verständigen sich entweder durch ein hörbares oder sichtbares Zeichen; sollte dies nicht möglich sein, so wird die Zeit der Beobachtung vorher vereinbart und es finden programmäßig gleichzeitige Beobachtungen statt. Die Beobachtungsdaten werden in geeignete Protokolle eingetragen.

Nun geht der Beobachter II nach b , I nach a und es wird abermals gleichzeitig an beiden Orten beobachtet, die Daten notiert und so weiter verfahren.

Unter allen Umständen ist es geboten, nach einigen Stunden Feldarbeit eine Zusammenkunft zu vereinbaren und eine Vergleichung der Aneroide untereinander zu machen, um zu sehen, ob sich $\Delta A_1 - \Delta A_2 = \Delta A$ nicht bedeutend geändert habe. Wenn die Änderung innerhalb der zulässigen Grenzen liegt, so

kann man die Standkorrekturen der Aneroide als unverändert annehmen und die Arbeit fortsetzen; sollte sich aber eine größere Differenz ergeben, so wird es notwendig, eine Vergleichung mit dem Quecksilberbarometer zu machen, um zu konstatieren, welches von den beiden Aneroiden eine eventuelle Störung und dadurch bedingte plötzliche Änderung des Standes erlitten hat.

Beispiel. Mit zwei Aneroiden, deren Gleichungen lauten:

$$B_0 = A + A_1 - 0.1135 t + 0.051 (760 - A) \dots \text{Naudet Nr. 38.955}$$

$$B_0 = A + A_2 + 0.0292 t - 0.054 (760 - A) \dots \text{Casella Nr. 4685,}$$

wurden gelegentlich der Vermessungsübungen zu Göß mit den Hörern der k. k. montanistischen Hochschule in Leoben im Studienjahre 1903/04 aneroidische Staffelmessungen ausgeführt; die Beobachtungsdaten und die abgeleiteten Reduktionen sind in den zwei folgenden Protokollen enthalten (Seite 282 und 283).

Die Barometervergleichung in der Station Göß wurde mit einem Quecksilberbarometer vorgenommen und dann die Aneroidstände beider Aneroide berechnet. Die Vergleichung der Aneroide im verabredeten Zusammenkunftsorte „Titl-Hube“ zeigt, daß sich der Stand beider nicht wesentlich geändert hat.

Die auf Null Grad reduzierten Barometerstände sind mit dem jeweiligen Mittelwerte des Standes berechnet.

Höhenmessung mit einem Aneroide.

Nicht immer stehen zur Höhenmessung zwei Aneroide zur Verfügung; es ist nun die Frage, wann mit einem Aneroide brauchbare Resultate erzielt werden können.

Dies ist in zwei Fällen möglich, und zwar:

1. wenn der Luftdruck innerhalb der Beobachtungszeit unverändert bleibt oder sich nachweislich gleichförmig verändert hat und
2. wenn außerdem die aneroidische Höhenbestimmung sich auf einen bekannten Höhenunterschied zweier oder mehrerer Punkte stützen kann.

216. 1. Fall. Ist die horizontale Entfernung der zu bestimmenden Punkte 1, 2, 3, . . . zwischen M und N (Fig. 157) und ebenso ihr Höhenunterschied nicht groß, kann die Höhenmessung innerhalb von 2 bis 3 Stunden ausgeführt werden und läßt sich eventuell durch das barometrische Nivellement der Nachweis erbringen, daß der Luftdruck gar keine oder eine gleichmäßige Änderung erfahren hat, so können überraschend gute Resultate erhalten werden.



Fig. 157.

Vom Punkte M beginnend, ermittelt man in allen Punkten 1, 2, 3, . . . N den Zeigerstand A , die innere und äußere Temperatur T und t ; in der oberen Station N angelangt, hat man ein Nivellement bergauf ausgeführt. Nun schreitet man an die Ausführung eines Konter- oder Gegennivellements, dessen Zweck darin liegt, zu konstatieren, ob und in welcher Art eine Änderung des Luftdruckes innerhalb der Beobachtungszeit stattgefunden hat. (Fortsetzung Seite 284.)

Manuale für das Aneroid I.

Instrument: Naudet Nr. 38.955.

Beobachter: N. N.

Nivellement	Ort	Zeit		Aneroid		Korrektion				B_0	Anmerkung		
		h	m	mm	°C	einzel			zusammen				
						ΔA	K_1	K_2					
	Göß	8	28	722.2	17.5	16.9	?	-5.0	-2.0	+1.9	(-0.1)	717.1	Barometervergleichung: $B_0 = 717.1$ mit dem Quecksilberbarometer erhalten.
bergauf	Punkt G	8	45	721.4	19.6	18.2	-4.9	-2.2	+2.0	-5.1	716.3	Standberechnung $A \dots 722.2$ $K_1 + K_2 \dots -0.1$ $B_0 \dots 717.1$	
	Windischberg	9	10	716.7	22.8	18.7	-4.9	-2.6	+2.2	-5.3	711.4		
	Kalvarienberg	9	30	711.4	25.0	19.6	-4.9	-2.8	+2.5	-5.2	706.2		
	Baumgartner	9	50	718.6	26.5	20.6	-4.9	-3.0	+2.1	-5.6	713.0	$\Delta A = -5.0$	
	Titl-Hube	10	30	710.3	23.3	21.1	-4.9	-2.6	+2.5	-5.0	705.3	Aneroidvergleichung	
bergab	Titl-Hube	11	00	709.4	23.8	21.9	-4.9	-2.7	+2.8	-4.8	704.6	Standberechnung $A \dots 721.5$ $K_1 + K_2 \dots -1.2$ $B_0 \dots 715.5$ $\Delta A = -4.8$ Mittelwert = $\frac{-5.0 - 4.8}{2} = -4.9$	
	Baumgartner	11	30	718.6	25.4	22.7	-4.9	-2.9	+2.1	-5.7	712.9		
	Kalvarienberg	11	50	711.3	25.1	26.9	-4.9	-2.8	+2.5	-5.2	706.1		
	Windischberg	12	15	716.8	28.0	23.9	-4.9	-3.2	+2.2	-5.9	710.9		
	Göß	12	30	721.5	27.8	24.2	?	-4.8	-3.2	+2.0	(-1.2)	715.5	Barometervergleichung: $B_0 = 715.5$ mit dem Quecksilberbarometer erhalten.

Nachstehend geben wir die tabellarische

Nivellement	Höhe		Reduzierter Barometerstand		Lufttemperatur		
	von	nach	b_1	b_2	t_1	t_2	$\frac{t_1 + t_2}{2}$
			mm	mm	°C	°C	°C
bergauf	Punkt G	Windischberg	716.3	712.6	18.2	18.7	18
	Windischberg	Kalvarienberg	711.4	706.8	18.7	19.8	19
	Kalvarienberg	Baumgartner	706.2	713.3	19.6	19.1	19
	Baumgartner	Titl-Hube	713.0	704.8	20.6	19.2	20
bergab	Titl-Hube	Baumgartner	704.6	712.8	21.9	22.3	22
	Baumgartner	Kalvarienberg	712.9	705.8	22.7	26.7	25
	Kalvarienberg	Windischberg	706.1	710.5	26.9	27.0	27
	Windischberg	Punkt G	710.9	714.7	23.9	23.6	24

Manuale für das Aneroid II.

Instrument: Casella Nr. 4685.

Beobachter: N. N.

Nivellement	Ort	Zeit		Aneroid		Korrektion				B_0	Anmerkung		
		h	m	mm	°C	einzel			zusammen				
						ΔA	K_1	K_2					
	Göß	8	28	722.2	18.2	16.9	?	-3.5	+0.5	-2.1	(-1.6)	717.1	Barometervergleichung: $B_0 = 717.1$ mit dem Quecksilberbarometer erhalten.
bergauf	Windischberg	8	45	717.7	21.3	18.7	-3.4	+0.6	-2.3	-5.1	712.6	Standberechnung $A \dots 722.2$ $K_1 + K_2 \dots -1.6$ $B_0 \dots 717.1$	
	Kalvarienberg	9	10	712.1	23.1	19.8	-3.4	+0.7	-2.6	-5.3	706.8		
	Baumgartner	9	30	718.3	24.0	19.1	-3.4	+0.7	-2.3	-5.0	713.3		
	Titl-Hube	9	50	710.2	24.0	19.2	-3.4	+0.7	-2.7	-5.4	704.8	$\Delta A = -3.5$	
	Titl-Hube	10	30	710.5	22.5	21.1	-3.4	+0.7	-2.7	-5.4	705.1	Aneroidvergleichung	
bergab	Baumgartner	11	00	717.8	23.5	22.3	-3.4	+0.7	-2.3	-5.0	712.8	Standberechnung $A \dots 720.2$ $K_1 + K_2 \dots -1.4$ $B_0 \dots 715.5$ $\Delta A = -3.3$ Mittelwert = $\frac{3.5 - 3.3}{2} = -3.4$	
	Kalvarienberg	11	30	711.0	25.9	26.7	-3.4	+0.8	-2.6	-5.2	705.8		
	Windischberg	11	50	715.5	28.3	27.0	-3.4	+0.8	-2.4	-5.0	710.5		
	Punkt G	12	15	719.5	29.0	23.6	-3.4	+0.8	-2.2	-4.8	714.7		
	Göß	12	30	720.2	28.6	24.2	?	+0.8	-2.2	(-1.4)	715.5	Barometervergleichung; $B_0 = 715.5$ mit dem Quecksilberbarometer erhalten.	

Zusammenstellung für die Berechnung.

Rohe Meereshöhen		$H_2 - H_1$	Differenz	Mittel	Meereshöhen	
H_1	H_2				Punkt	Betrag
m	m	m	m	m		m
528.7	572.9	+ 44.2	2.3	+ 45.35	G	552.70
589.4	645.0	+ 55.6	0.9	+ 55.15	Windischberg	598.05
652.3	566.5	- 85.8	1.8	- 86.70	Kalvarienberg	653.20
572.0	671.6	+ 99.6	0.7	+ 99.95	Baumgartner	566.50
678.7	578.4	- 100.3			Titl-Hube	666.45
583.1	670.7	+ 87.6				
671.4	616.7	- 54.7				
605.6	559.1	- 46.5				

Man hat erhalten:

Nivellement					
Punkt,	bergauf	auf Null Grad reduzierter Barometerstand,	Zeit,	auf Null Grad reduzierter Barometerstand,	Zeit,
<i>M</i>	B_0	Z_0		B'_0	Z'_0
1	B_1	Z_1		B'_1	Z'_1
2	B_2	Z_2		B'_2	Z'_2
3	B_3	Z_3		B'_3	Z'_3
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮
<i>N</i>	B_n	Z_n		B'_n	Z'_n

Findet man beim Nivellement bergab in denselben Punkten dieselben Barometerstände wie beim Nivellement bergauf, so kann man sagen, daß der Luftdruck unverändert geblieben ist. Dieser Fall wird selten oder gar nie eintreten, weil der Luftdruck fortwährenden Änderungen unterworfen ist.

Es läßt sich aber auch auf Grund der Beobachtungsdaten eines Gegenivellements angeben, ob der Luftdruck sich gleichförmig geändert hat, oder aber, ob die Änderung eine ungleichmäßige war, und zwar dadurch, daß man die durchschnittlichen stündlichen Änderungen für dieselben Punkte aus dem Nivellement bergauf und bergab bestimmt.

Die stündliche Luftdruckänderung

$$\begin{array}{rcccl}
 \text{für den Punkt } M \text{ ist} & & \frac{B'_0 - B_0}{Z'_0 - Z_0} & & \\
 & & \frac{B'_1 - B_1}{Z'_1 - Z_1} & & \\
 \text{'' '' '' 1 ''} & & \frac{B'_2 - B_2}{Z'_2 - Z_2} & & \\
 & & \dots & & \\
 \text{'' '' '' 2 ''} & & \dots & & \\
 & & \dots & & \\
 & & \dots & & \\
 \text{'' '' '' } N \text{ ''} & & \frac{B'_n - B_n}{Z'_n - Z_n} & & \dots \dots \dots 78)
 \end{array}$$

Besteht strenge oder nahezu die Beziehung:

$$\frac{B'_0 - B_0}{Z'_0 - Z_0} = \frac{B'_1 - B_1}{Z'_1 - Z_1} = \frac{B'_2 - B_2}{Z'_2 - Z_2} = \dots = \frac{B'_n - B_n}{Z'_n - Z_n} = -b, \dots \dots 79)$$

so hat eine gleichförmige Luftdruckänderung stattgefunden; ergeben sich hingegen für die in Gleichung 78) angesetzten Quotienten verschiedene Werte $b_0, b_1, b_2, \dots, b_n$, so lassen diese den Schluß auf eine ungleichförmige Luftdruckänderung zu. Weichen diese Beträge nicht viel voneinander ab, so kann man einen mittleren Wert annehmen, mit dem die weitere Berechnung geführt wird.

Nehmen wir eine gleichmäßige stündliche Luftdruckänderung oder aber die mittlere stündliche Luftdruckänderung b an, so wird die Änderung des Luftdruckes für den Punkt k , vom Anfangspunkte an gerechnet,

$$\left. \begin{aligned} \text{beim Nivellement bergauf sein: } \Delta B_k &= b(Z_k - Z_0) \\ \text{beim Nivellement bergab sein: } \Delta B'_k &= b(Z'_0 - Z'_k) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 80)$$

Der Höhenunterschied lautet dann für das Nivellement bergauf:

$$\begin{aligned} H'_k &= 18.464 \left(1 + 0.00367 \right)^{\frac{t_1 + t_2}{2}} \log \frac{B_0}{B_k \pm \Delta B_k} = K \log \frac{B_0}{B_k \pm \Delta B_k} \\ &= K \log \frac{B_0}{B_k} \left(1 \pm \frac{\Delta B_k}{B_k} \right)^{-1} = K \left[\log \frac{B_0}{B_k} - \log \left(1 \pm \frac{\Delta B_k}{B_k} \right) \right] \\ &= K \log \frac{B_0}{B_k} - K \log \left(1 \pm \frac{\Delta B_k}{B_k} \right) \dots \dots \dots 81) \end{aligned}$$

Das erste Glied $K \log \frac{B_0}{B_k} = h'_k$ stellt den Höhenunterschied ohne Rücksicht auf die stattgehabte Luftdruckänderung vor; das zweite Glied läßt sich umformen.

Da $\log(1+x) = M \left(x - \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{3}x^3 - \dots \right)$ ist, so hat man für unseren Fall

$$K \log \left(1 \pm \frac{\Delta B_k}{B_k} \right) = \pm KM \frac{\Delta B_k}{B_k} - \frac{1}{2} KM \left(\frac{\Delta B_k}{B_k} \right)^2 \pm, \dots \dots \dots 82)$$

wodurch der Einfluß der Luftdruckänderung auf die Höhe des k -ten Punktes erhalten wird; berücksichtigt man hiebei bloß das erste Glied der Reihe, was für die meisten Fälle der Praxis ausreicht, so folgt nach Einführung dieses Wertes in die Gleichung 81) für das Nivellement bergauf:

$$H'_k = h'_k \mp KM \frac{\Delta B_k}{B_k} \dots \dots \dots 83)$$

Für das barometrische Nivellement bergab wird auf analoge Weise abgeleitet:

$$\begin{aligned} H''_k &= K \log \frac{B'_0}{B'_k \mp \Delta B'_k} = K \log B'_0 \left(1 \pm \frac{\Delta B'_k}{B'_k} \right) - K \log B'_k \\ H''_k &= K (\log B'_0 - \log B'_k) + K \log \left(1 \pm \frac{\Delta B'_k}{B'_k} \right) = h''_k \pm KM \frac{\Delta B'_k}{B'_k} \dots \dots 84) \end{aligned}$$

Vereinigt man die beiden Gleichungen 83) und 84), so folgt:

$$H_k = \frac{H'_k + H''_k}{2} = \frac{h'_k + h''_k}{2} \pm KM \left(\frac{\Delta B'_k}{B'_k} - \frac{\Delta B_k}{B_k} \right) \dots \dots \dots \text{XXVII)}$$

Das zweite Glied in diesem Ausdrucke wird dann Null und die gesuchte Höhe H_k wird durch

$$H_k = \frac{h'_k + h''_k}{2} \dots \dots \dots \text{XXVIII)}$$

erhalten, wenn

$$\frac{\Delta B'_k}{B'_k} - \frac{\Delta B_k}{B_k} = 0$$

ist, was in aller Strenge für

$$B'_k = B_k \dots \dots \dots .85)$$

eintritt, hingegen, da

$$\frac{\Delta B'_k}{B'_k} = \frac{b(Z'_0 - Z'_k)}{B'_k} \text{ und } \frac{\Delta B_k}{B_k} = \frac{b(Z_k - Z_0)}{B_k}$$

ist, näherungsweise, jedoch praktisch genau genug gilt, wenn nur

$$Z'_0 - Z'_k = Z_k - Z_0$$

ist.

217. 2. Fall. Interpolationsmethode. Ist der Höhenunterschied H zweier Punkte M und N bekannt und fällt dem Ingenieur die Aufgabe zu, zwischen den gegebenen Punkten M und N aneroidisch andere Punkte einzuschalten, so bieten sich zur Ausführung dieser Höhenmessung mehrere Wege:

- a) Es werden in jedem der zu bestimmenden Punkte der Stand des Aneroidzeigers A , die innere Temperatur T und die äußere Lufttemperatur t bestimmt und ferner ein Nivellement bergauf und bergab durchgeführt. Durch diese rationell angelegten Beobachtungen ist man im stande nachzuweisen, ob innerhalb der Beobachtungszeit der Luftdruck eine Änderung erfahren hat, ob diese gleichförmig oder ungleichförmig war; vermag ferner jenen Barometerkoeffizienten zu bestimmen und zu verwerthen, der den tatsächlichen Luftdrucks-, respektive Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen der Atmosphäre zur Zeit der Beobachtung entspricht. Ein so angelegter Vorgang liefert mit Zugrundelegung einer bekannten Höhe gute Resultate.
- b) Man ermittelt A , T , t und führt auch ein Konternivellement durch; bei der Berechnung aber werden die Höhen nach „den Tafeln der genäherten Seehöhen“ berechnet und die Differenz gegen die bekannte Höhe proportional den einzelnen Höhen aufgeteilt.
- c) Man ermittelt nur A und T und keine Lufttemperatur. Dieses Verfahren ist auf geringe Höhenunterschiede beschränkt; es bietet nach einfacher Rechnung die gesuchten Höhenunterschiede mit einer Genauigkeit, welche für viele Fälle der Praxis ausreicht.
- d) Man bestimmt nur A und vernachlässigt die Instrument- und Lufttemperatur; dieser Vorgang ist wohl der einfachste und kann in gewissen Fällen auch noch brauchbare Resultate liefern.

Hat man bei einem Nivellement bergauf und bergab in jedem Punkte A, T und t bestimmt, so können die auf Null Grad reduzierten Barometerstände berechnet werden. Für den Punkt k wird die Höhe erhalten

$$\left. \begin{aligned} \text{für das Nivellement bergauf } H'_k &= K \log \frac{B_0}{B_k} \\ \text{für das Nivellement bergab } H''_k &= K \log \frac{B'_0}{B'_k} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 86)$$

wobei $K = 18.464 \left(1 + 0.00367 \frac{t_1 + t_2}{2} \right)$ ist.

Man kann setzen:

$$H'_k = K \log \frac{B_0}{B_k} = -K \log \frac{B_k}{B_0} = -K \log \left(1 - \frac{B_0 - B_k}{B_0} \right) \dots \dots 87)$$

und mit Berücksichtigung, daß

$$\log (1 - x) = -M \left(x + \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{3}x^3 + \dots \right) \text{ ist, die Gleichung 87) auch}$$

schreiben:

$$H'_k = KM \left[\frac{B_0 - B_k}{B_0} + \frac{1}{2} \left(\frac{B_0 - B_k}{B_0} \right)^2 + \dots \right];$$

hierin ist $\frac{1}{2} \left(\frac{B_0 - B_k}{B_0} \right)^2$ eine kleine Größe, die bis zu Höhen von 300 m vernachlässigt werden kann; somit kann man für die Höhen erhalten, und zwar:

$$\left. \begin{aligned} \text{für bergauf } \dots \dots \dots H'_k &= KM \frac{B_0 - B_k}{B_0} \\ \text{für bergab } \dots \dots \dots H''_k &= KM \frac{B'_0 - B'_k}{B'_0} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 88)$$

Weiter ergibt sich für die einzelnen Punkte der Reihe nach:

$$\begin{array}{l} \text{für} \\ \text{bergauf } \dots \end{array} \left\{ \begin{array}{l} H'_1 = KM \frac{B_0 - B_1}{B_0} \\ H'_2 = KM \frac{B_0 - B_2}{B_0} \\ \vdots \\ H'_n = KM \frac{B_0 - B_n}{B_0} = H \end{array} \right. \quad \text{und für} \quad \left\{ \begin{array}{l} H''_1 = KM \frac{B'_0 - B'_1}{B'_0} \\ H''_2 = KM \frac{B'_0 - B'_2}{B'_0} \\ \vdots \\ H''_n = KM \frac{B'_0 - B'_n}{B'_0} = H \end{array} \right. \dots \dots 89)$$

Der Faktor *KM* kann aus den letzten Gleichungen doppelt bestimmt werden; es ist

$$\text{oder } \left. \begin{aligned} KM &= H \frac{B_0}{B_0 - B_n} = H \frac{B'_0}{B'_0 - B'_n} \\ &= \frac{H}{B_0 - B_n} B_0 = \frac{H}{B'_0 - B'_n} B'_0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 90)$$

Die Quotienten $\frac{H}{B_0 - B_n} = h'$ und $\frac{H}{B'_0 - B'_n} = h''$ stellen die Höhe einer Luftsäule dar, welche dem Barometerstande von 1 mm das Gleichgewicht hält, die barometrische Höhenstufe, und zwar *h'* beim Nivellement bergauf und *h''* beim Nivellement bergab.

Die Höhen der gemessenen Punkte werden sein:

$$\left. \begin{aligned} H'_1 &= h' (B_0 - B_1) & H''_1 &= h'' (B'_0 - B'_1) \\ H'_2 &= h' (B_0 - B_2) & H''_2 &= h'' (B'_0 - B'_2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ H'_n &= h' (B_0 - B_n) & H''_n &= h'' (B'_0 - B'_n) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 91)$$

Das arithmetische Mittel der so berechneten Höhen bei Nivellement bergauf und bergab

$$\left. \begin{aligned} H_1 &= \frac{H'_1 + H''_1}{2} \\ H_2 &= \frac{H'_2 + H''_2}{2} \\ \vdots & \vdots \\ H_n &= \frac{H'_n + H''_n}{2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots \text{XXIX)}$$

gibt die wahrscheinlichsten Werte für die Höhen der einzelnen Punkte.

Die Interpolationsmethode hat den großen Vorteil für sich, daß man die Barometerkonstante *K* gar nicht zu kennen braucht; sie kann wohl mit Hilfe der bekannten Höhe *H* bestimmt werden, und zwar wird sie für das Nivellement bergauf und bergab den tatsächlichen atmosphärischen Verhältnissen angepaßt.

Die vorstehend durchgeführte Untersuchung setzt voraus, daß der Luftdruck innerhalb der Beobachtungszeit keine Änderung erfahren hat.

Wurde eine gleichförmige Änderung des Luftdruckes durch die Beziehungen:

$$\frac{B'_0 - B_0}{Z'_0 - Z_0} = \frac{B'_1 - B_1}{Z'_1 - Z_1} = \dots = \frac{B'_k - B_k}{Z'_k - Z_k} = b \dots\dots\dots 92)$$

konstatiert, oder aber hat man gefunden, daß die stündliche Änderung eine ungleichförmige, jedoch sehr wenig sich ändernde ist, so zwar, daß \bar{b} als das arithmetische Mittel derselben aufgefaßt werden kann, so findet man die Höhe h , welche im Mittel 1 *mm* Luftdruckänderung entspricht, die Barometerstufe, aus:

$$h = \frac{H}{\frac{B_0 + B'_0}{2} - \frac{B_n + B'_n}{2}} \text{ oder wenn } B_n = B'_n \text{ ist, } h = \frac{H}{\frac{B_0 + B'_0}{2} - B_n} \dots 93)$$

Hat der Barometerstand im Punkte k den Wert B_k und beträgt die Zwischenzeit der Beobachtung von M nach k $Z_k - Z_0$, so ist die Änderung des Barometerstandes in dieser Zeitdifferenz

$$b(Z_k - Z_0) = \Delta B_0 \text{ und analog } b(Z'_0 - Z'_k) = \Delta B_k;$$

die Höhe wird:
$$\left. \begin{aligned} H'_k &= h[(B_0 + \Delta B_0) - B_k] \text{ für bergauf} \\ H''_k &= h[B'_0 - (B'_k + \Delta B'_k)] \text{ für bergab} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 94)$$

Addiert man die vorstehenden Gleichungen, so folgt:

$$H'_k + H''_k = h(B_0 - B_k) + h(B'_0 - B'_k) + h(\Delta B_0 - \Delta B_k)$$

oder
$$H_k = \frac{H'_k + H''_k}{2} = h \frac{B_0 - B_k}{2} + h \frac{B'_0 - B'_k}{2} + h \frac{\Delta B_0 - \Delta B_k}{2} \dots \dots \dots 95)$$

Das letzte Glied rechter Hand enthält die Korrektur in der Höhe wegen der Luftdruckänderung; diese Korrektur entfällt, wenn $\Delta B_0 - \Delta B_k = 0$ wird, was dann eintritt wenn $b(Z_k - Z_0) = b(Z'_0 - Z'_k)$ ist, d. h. wenn die Zeit für den Aufstieg von M nach k gleich ist der Zeit für den Abstieg von k nach M . Wenn also diese Zeiten gleich sind und die Luftdruckänderung eine gleichförmige war, so ist $\Delta B_0 = \Delta B_k$ und die gesuchte Höhe lautet dann:

$$H_k = \frac{H'_k + H''_k}{2} = h \left(\frac{B_0 + B'_0}{2} - \frac{B_k + B'_k}{2} \right), \dots \dots \dots \text{XXX)$$

das heißt, sie ist gleich dem arithmetischen Mittel der bestimmten Höhen beim Nivellement bergauf und bergab.

Wird für k der Punkt N genommen, so folgt:

$$H = h \left(\frac{B_0 + B'_0}{2} - \frac{B_n + B'_n}{2} \right) \text{ oder, wenn } B_n = B'_n \text{ ist, } H = h \left(\frac{B_0 + B'_0}{2} - B_n \right), \dots 96)$$

woraus

$$\bar{h} = \frac{H}{\frac{B_0 + B'_0}{2} - \frac{B_n + B'_n}{2}}, \text{ respektive } h = \frac{H}{\frac{B_0 + B'_0}{2} - B_n} \dots \dots \dots \text{XXXI)}$$

sich ergibt. Da in diesem Ausdrucke die auf Null Grad reduzierten Barometerstände beider Stationen enthalten sind, so entspricht die Barometerstufe h mit großer Wahrscheinlichkeit den wirklichen Feuchtigkeits- und Temperaturzuständen der Atmosphäre und die mit h bestimmten Höhen lassen gute Resultate gewärtigen.

Für die praktische Ausführung diene zur Beachtung: die zu interpolierenden Punkte sollen sich stets zwischen den gegebenen Punkten befinden, der gegebene Höhenunterschied soll nicht unter 30 *m* und nicht über 300 *m* betragen.

Beispiele. Bei den wiederholt angeführten Vermessungsübungen zu Göß bei Leoben im Studienjahre 1903/04 wurden auch aneroidische Höhenmessungen nach der Interpolationsmethode ausgeführt. Gegeben waren die Punkte I Lackenschweiger . . . 546·9 *m* und II Kalvarienberg . . . 668·9 *m*; zwischen diese Punkte wurde eine größere Anzahl von Zwischenpunkten eingeschaltet, von welchen nachfolgend nur vier Punkte angeführt sind.

Die interpolierten Punkte waren bezeichnet und ihr Höhenunterschied ist auch durch ein geometrisches Nivellement bestimmt und kontrolliert worden, vornehmlich zu dem Zwecke, um Genauigkeitsuntersuchungen ausführen zu können.

Protokoll.

Instrument.: Bohne Nr. 1216.

Beobachter: N. N.

Nivellement	Ort	Zeit	Aneroid		<i>t</i>	Korrekturen				<i>B</i> ₀	Anmerkung
			<i>A</i>	<i>T</i>		einzeln			zu- sammen		
						<i>AA</i>	<i>K</i> ₁	<i>K</i> ₂			
		h m	mm	°C	°C	mm	mm	mm	mm	mm	
bergauf	I	9 15	719·5	19·1	14·3	-2·3	-0·6	+0·9	-2·0	717·5	Gegebene Höhen: I . . . 546·9 <i>m</i> II . . . 668·9 „ Aneroidgleichung: $B_0 = A - 2·3 - 0·031 T$ $+ 0·022 (760 - A)$.
	1	9 45	717·8	20·5	16·7	-2·3	-0·6	+0·9	-2·0	715·8	
	2	10 00	716·6	22·1	18·2	-2·3	-0·7	+0·9	-2·1	714·5	
	3	10 37	713·5	25·0	19·0	-2·3	-0·8	+1·0	-2·1	711·4	
4	10 48	712·0	26·2	17·3	-2·3	-0·8	+1·1	-2·0	710·0		
II	11 12	708·9	27·4	22·3	-2·3	-0·8	+1·1	-2·0	706·9		
bergab	4	11 42	711·7	28·0	20·0	-2·3	-0·9	+1·1	-2·1	709·6	
	3	11 56	713·0	29·0	20·8	-2·3	-0·9	+1·0	-2·2	710·8	
	2	12 27	715·9	31·1	21·7	-2·3	-1·0	+1·0	-2·3	713·6	
	1	12 35	717·2	31·4	24·1	-2·3	-1·0	+0·9	-2·4	714·8	
	I	12 51	718·7	31·7	21·3	-2·3	-1·0	+0·9	-2·4	716·3	

Die Berechnung der Höhen wird nach verschiedenen Verfahren vorgeführt; da die aneroidisch gemessenen Punkte in Bezug auf ihre Höhe nivellistisch bestimmt worden sind, so war es möglich, auch Genauigkeitsbetrachtungen anzustellen.

1. Anbei folgt die tabellarische Zusammenstellung der Berechnung unter Berücksichtigung der Lufttemperatur und bei Verwertung der auf Null Grad reduzierten Barometerstände.

Nivellement	Ort	Barom. Elemente			Rohe Meereshöhe	Höhenunterschiede						Anmerkung											
		E_0	t	$\frac{t_1 + t_2}{2}$		barometrisch			nivellirtisch	v	$v v$												
			bergauf	bergab	Diff.	Mittel	Korrektion	korrig. Mittel															
		mm	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	m	m	m	m	m	m	m												
	I	717.5	14.3	16	510.8	+ 20.2	18.2	+ 2.0	+ 19.2	+ 0.2	+ 19.4	+ 20.1	+ 0.7	0.49	Gegebene Meereshöhe: I . . . 546.9 m II . . . 668.9 m Höhen- } unter- } schied } I II . . . 122.0 m								
	1	715.8	16.7	17	531.0	+ 15.5	14.6	+ 0.9	+ 15.0	+ 0.1	+ 15.1	+ 15.6	+ 0.5	0.25									
	2	714.5	18.2	18	550.2	+ 37.1	34.0	+ 3.1	+ 35.6	+ 0.3	+ 35.9	+ 35.4	- 0.5	0.25									
	3	711.4	19.0	18	587.3	+ 16.9	14.6	+ 2.3	+ 15.8	+ 0.2	+ 16.0	+ 16.8	+ 0.8	0.64									
	4	710.0	17.3	20	608.3	+ 37.7	32.9	+ 4.8	+ 35.3	+ 0.3	+ 35.6	+ 34.1	- 1.5	0.25									
	II	706.9	22.3	21	646.0	- 32.9			120.9	+ 1.1	122.0	122.0	0	3.88									
	4	709.6	20.0	20	613.2	- 14.6								[$v v$]									
	3	710.8	20.8	21	598.6	- 34.0									Gegebene Höhe I - II . . . 122.0 m (Soll) Ermittelte Höhe I - II . . . 120.9 m (Ist), Korrektion + 1.1 m								
	2	713.6	21.7	23	570.6	- 14.6									Korrektion für I m : + $\frac{1.1}{120.9}$ = + 0.0091 m .								
	1	714.8	24.1	23	556.0	- 18.2																	
	I	716.3	21.3		537.8																		

Der mittlere Fehler der barometrischen Höhenmessung nach der Interpolation beträgt:

$$m = \sqrt{\frac{[v v]}{n}} = \sqrt{\frac{3.88}{5}} = \pm 0.88 \text{ m.}$$

Nivellement	Ort	A	Höhenunterschiede					nivellirtisch	v	vv	Anmerkung
			barometrisch								
			berg-auf	berg-ab	Dif-ferenz	Mittel					
		mm	mm	m	m	m	m	m			Gegebene Höhen:
bergauf	I	719·5	1·7	19·6	18·7	+ 0·9	19·1	20·1	+ 1·0	1·00	I . . 546·9 m
	1	717·8	1·2	13·8	16·2	- 2·4	15·0	15·6	+ 0·6	36	Höhen- unter- schied } I-II . . 122·0 m.
	2	716·6	3·1	35·7	36·1	- 0·4	35·9	35·4	- 0·5	25	Berechnung der Luftdruck- differenzen:
	3	713·5	1·5	17·3	16·2	+ 1·1	16·7	16·8	+ 0·1	01	
	4	712·0	3·1	35·7	34·9	+ 0·8	35·3	34·1	- 1·2	1·44	bergauf bergab
	II	708·9	10·6	$\frac{122·1}{=122·0}$	$\frac{122·1}{=122·0}$	0·0	122·0	122·0	0	3·06 [vv]	719·5 mm 718·7 mm
bergab	II	708·9	2·8	34·9							708·9 „ 708·9 „
	4	711·7	1·3	16·2							10·6 mm 9·8 mm
	3	713·0	2·9	36·1							Höhenstufe für bergauf $\frac{122·0 m}{10·6} = 11·51 m$
	2	715·9	1·3	16·2							„ „ bergab $\frac{122·0 m}{9·8} = 12·45 m.$
	1	717·2	1·5	18·7							
	I	718·7									
			9·8	122·1							Der mittlere Fehler der barometrischen Höhenmessung ist
											$m = \sqrt{\frac{[vv]}{n}} = \sqrt{\frac{3·06}{5}} = \pm 0·78 m.$

2. Berechnung ohne Berücksichtigung der inneren Temperatur des Instrumentes und der Lufttemperatur.

Erste Berechnungsweise, wobei die einzelnen Höhenunterschiede aus den Luftdruckdifferenzen in Verbindung mit den zugehörigen Barometerstufen bestimmt werden.

Zweite Berechnungsweise. Die „Barometrischen Tafeln“ von Jordan gestatten mit Zuhilfenahme der Barometerstufe sehr bequem die Höhen interpolierter Punkte zu finden.

Man rechnet das arithmetische Mittel der Barometerstände auf den beiden gegebenen Punkten bei Nivellement bergauf und bergab und ermittelt die zugehörigen Barometerstufen; nun sucht man jene Stellen der Tafel, an welchen die berechneten Barometerstufen zu den arithmetischen Mitteln der Barometerstände am besten passen; im allgemeinen werden für das Nivellement bergauf und bergab zwei verschiedene Seiten der Tafeln erhalten. Auf den betreffenden Seiten werden dann mit den beobachteten Aneroidlesungen die „Rohen Meereshöhen“ entnommen und zur gegenseitigen Berechnung der Punkte benützt.

Nivellement	Ort	A	Rohe Meereshöhe	Höhenunterschiede				nivelliertisch	v	vv	Anmerkung
				barometrisch							
				berg-auf	berg-ab	Dif-ferenz	Mittel				
bergauf	I	719·5	472·0								
		mm	m	m	m	m	m	m	m		
	1	717·8	491·5	19·5	18·5	+ 1·0	19·0	20·1	+ 1·1	1·21	Gegebene Höhen: I... 546·9 m II... 668·9 ,, Höhen- unter- schied } I-II... 122·0 m.
	2	716·6	505·2	13·7	16·1	- 2·4	14·9	15·6	+ 0·7	49	
	3	713·5	540·9	35·7	36·0	- 0·3	35·8	35·4	- 0·4	16	
	4	712·0	558·2	17·3	16·2	+ 1·1	16·8	16·8	0·0	00	
II	708·9	594·1	35·9	35·0	+ 0·9	35·4	34·1	- 1·1	1·21		
				$\frac{122·1}{\pm 122·0}$	$\frac{121·8}{\pm 122·0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{121·9}{= 122·0}$	122·0	$\frac{0}{0}$	3·07 [vv]	Jordans „Barometrische Tafeln“.
bergab	II	708·9	640·8	35·0				$B_1 - B_2$			10·6... Höhenstufe $\frac{122·0}{10·6} = 11·51 m$, Seite 8 9·8... Höhenstufe $\frac{122·0}{9·8} = 12·45 m$, Seite 74
	4	711·7	605·8	16·2	Bergauf	$\left. \begin{matrix} B_1 \dots 719·5 \\ B_2 \dots 708·9 \end{matrix} \right\}$	$\frac{1428·4}{2} = 714·2$				
	3	713·0	589·6	36·0							
	2	715·9	553·6	16·1	Bergab	$\left. \begin{matrix} B_1 \dots 708·9 \\ B_2 \dots 718·7 \end{matrix} \right\}$	$\frac{1427·6}{2} = 713·8$				
	1	717·2	537·5	18·5							
	I	718·7	519·0								

Der mittlere Fehler der barometrischen Höhenmessung ist

$$m = \sqrt{\frac{[vv]}{n}} = \sqrt{\frac{3·07}{5}} = \pm 0·78 m.$$

218. Anwendung der Aneroide in der technischen Praxis. Die in den vorhergehenden Nummern theoretisch erörtert und durch Beispiele belegten Methoden der aneroidischen Höhenmessung dürften zeigen, daß Aneroide bei generellen technischen Studien ein nützliches Anwendungsgebiet besitzen.

Denken wir uns einen Terrainstreifen *MNPQ* (Fig. 158), der in der Breitenausdehnung von 500 bis 600 m studiert werden soll; Katasterpläne oder eine Horizontalaufnahme von einer vorhergegangenen geodätischen Arbeit liegen vor, ebenso sind in dem Gebiete Punkte *G, H, J, ...* in Bezug auf ihre Höhe bekannt oder ihre Höhenkoten können aus Karten-

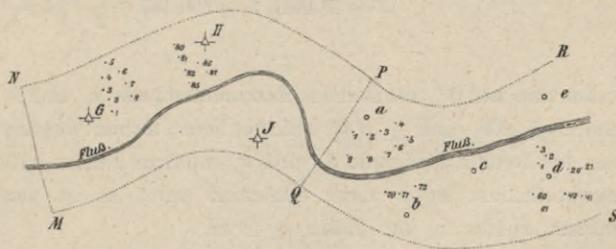


Fig. 158.

werken (1:25.000 oder 1:75.000) entnommen werden. Punkte nun, welche zwischen zwei der Höhe nach bekannten Punkten sich befinden, können nach

der Interpolationsmethode bestimmt werden; stehen zwei Aneroide zur Verfügung, so wird das Verfahren des Stand- und Feldaneroides gute Dienste leisten.

Wären in dem Terrainstreifen *QPRS* keine Punkte in Bezug auf ihre Höhe bekannt, so kann man sich solche Punkte: *a, b, c, ...* auf Höhen- und Tallinien liegend verschaffen, indem diese Punkte durch korrespondierende Beobachtungen und auch nach der Staffelmethode bestimmt werden können. Dadurch hat man der Höhe nach bekannte Punkte, zwischen welchen mit einem Aneroide nach der Methode der Interpolation weitere Punkte ermittelt werden können; auch kann das Verfahren des Stand- und Feldaneroides benützt werden, um im Umkreise der Punkte *a, b, c, ...* Detailpunkte zu erhalten.

Werden nun auf diese Art die Höhen von Parzelleneckpunkten, Weg- und Uferlinien sowie charakteristische Brechpunkte im Terrain bestimmt und die Koten in den vorliegenden Plan (Katastermappe u. s. w.) eingetragen, so liegt eine kotierte Projektion vor, in welche für eine gegebene Schichtenhöhe der Verlauf von Schichtenlinien an der Hand einer Leitkurvenskizze ermittelt werden kann.

Anmerkung. In den vorstehenden Nummern 213—218 wurde die Ausführung der barometrischen Höhenmessung mit Aneroiden besprochen; es können aber auch dieselben Methoden Verwendung finden, wenn die Luftdrücke mit Quecksilberbarometern allein oder in Verbindung mit Aneroiden oder selbstregistrierenden Barometern (Barographen) ermittelt werden. Die Quecksilberbarometer gewähren wohl eine größere Genauigkeit, verlangen aber auch größere Sorgfalt in der Behandlung; der Gebrauch der Aneroide ist weit bequemer; da aber die vielen Konstanten schon an und für sich nicht ganz zuverlässig sein können und außerdem noch oft plötzlichen Änderungen unterliegen, so ist die Genauigkeit der mit den Aneroiden erzielten Resultate eine geringere.

Genauigkeit der barometrischen Höhenmessung.

219. In der vereinfachten und in der technischen Praxis in Verwendung stehenden Formel für das barometrische Höhenmessen:

$$H = 18.464 \left(1 + 0.00367 \frac{t_1 + t_2}{2} \right) \log \frac{b_1}{b_2} \dots \dots \dots 97)$$

werden die auf 0⁰ reduzierten Barometerstände *b*₁ und *b*₂ mit gewissen mittleren Fehlern ± *A* *b*₁ und ± *A* *b*₂ behaftet sein; ferner werden auch die Lufttemperaturen der beiden Stationen *t*₁ und *t*₂ mittlere Fehler haben und auch der Barometerkoeffizient kann nicht fehlerfrei sein; es ist nun die Frage nach dem mittleren Fehler in der Höhe ± *A* *H*.

Schreibt man die Gleichung 97) in der Form:

$$H = K \left(1 + \alpha \frac{t_1 + t_2}{2} \right) \log \frac{b_1}{b_2}, \dots \dots \dots 98)$$

und nimmt als mittlere Fehler von t_1 und t_2 , beziehungsweise b_1 und b_2 ,

$$\Delta t_1 = \Delta t_2 \quad \left(\frac{t_1 + t_2}{2} = t, \text{ also } \Delta t = \frac{\Delta t_1}{\sqrt{2}} \right)$$

$$\Delta b_1 = \Delta b_2 = \Delta b \quad \text{und} \quad \Delta K$$

an, so wird der zu befürchtende mittlere Fehler in der Höhe:

$$\Delta H = \sqrt{\left(\frac{\partial H}{\partial K} \Delta K\right)^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial t} \Delta t\right)^2 + \left[\left(\frac{\partial H}{\partial b_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial b_2}\right)^2\right] \Delta b^2 \dots \dots \dots 99)}$$

Rechnet man die partiellen Differentialquotienten:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial H}{\partial K} &= (1 + \alpha t) \log \frac{b_1}{b_2} = \frac{H}{K} \\ \frac{\partial H}{\partial t} &= \alpha K \log \frac{b_1}{b_2} = \frac{H}{1 + \alpha t} \quad \alpha = H \alpha (1 - \alpha t) \\ \frac{\partial H}{\partial b_1} &= K(1 + \alpha t) \frac{M}{b_1} = \frac{H}{\log \frac{b_1}{b_2}} \frac{M}{b_1} \\ \frac{\partial H}{\partial b_2} &= -K(1 + \alpha t) \frac{M}{b_2} = -\frac{H}{\log \frac{b_1}{b_2}} \frac{M}{b_2} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 100)}$$

und führt sie in Gleichung 99) ein, so hat man:

$$\Delta H = H \sqrt{\left(\frac{\Delta K}{K}\right)^2 + \left(\frac{\alpha \Delta t}{1 + \alpha t}\right)^2 + \left(\frac{M}{\log \frac{b_1}{b_2}}\right)^2 \left[\frac{1}{b_1^2} + \frac{1}{b_2^2}\right] \Delta b^2 \dots \dots \dots \text{XXXII)}$$

Dieser Ausdruck gestattet, die theoretischen Fehlergesetze für die barometrische Höhenmessung zu studieren, indem aus demselben die Einflüsse der einzelnen in der Höhenformel auftretenden Größen unmittelbar abgeleitet werden können.

Der Einfluß der fehlerhaften Barometerkonstanten K wird sein:

$$\Delta H = \frac{H}{K} \Delta K \dots \dots \dots 101)$$

Vergleicht man im Bande II, Nr. 177 die Extreme der angeführten Barometerkoeffizienten, so findet man, daß für den mittleren Wert von $K=18.400$ die Differenz gegen die anderen Werte im Maximum etwa 20 m beträgt; es kann daher dieser Betrag als die maximale Unsicherheit im Barometerkoeffizienten angesehen werden und es resultiert somit:

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta K}{K} = \frac{20 \text{ m}}{18.400 \text{ m}} = \frac{1}{920}, \text{ also } \Delta H = \frac{H}{920} = 0.001087 H \dots \dots \dots 102)$$

Der von der fehlerhaften Lufttemperatur herrührende Fehler in der Höhe lautet:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\Delta H}{H} &= \frac{\alpha}{1 + \alpha t} \Delta t \doteq (1 - \alpha t) \alpha \cdot \Delta t \doteq \alpha \cdot \Delta t \\ \Delta H &= \alpha H \cdot \Delta t \end{aligned} \right\}$$

Nehmen wir $\Delta t = 1^\circ$, so folgt, da $\alpha = 0.00367$ ist,

$$\Delta H = 0.00367 H \text{ oder } \frac{\Delta H}{H} = \frac{367}{100.000} = \frac{1}{273}; \dots \dots \dots 103)$$

der Einfluß einer fehlerhaft bestimmten Lufttemperatur ist daher ein großer. Aus dem Grunde ist es notwendig, die Lufttemperatur mit großer Sorgfalt zu messen. Wenn barometrische Höhenmessungen nicht befriedigend stimmen, so ist meist mit großer Wahrscheinlichkeit die Unsicherheit in der Bestimmung der Lufttemperatur schuld.

Der Einfluß eines fehlerhaft bestimmten Barometerstandes in einer Station gibt

$$\left. \begin{aligned} \text{in der unteren Station } \Delta H &= KM \frac{(1 + \alpha t)}{b_1} \Delta b \text{ und } \\ \text{in der oberen Station } \Delta H &= -KM \frac{(1 + \alpha t)}{b_2} \Delta b \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 104)$$

Setzt man $\Delta b = 0.1 \text{ mm}$, so läßt sich die nachstehende Tabelle berechnen, welche einen klaren Überblick über die Fehler bei verschiedenen Temperaturen und Barometerständen gewährt.

$t \backslash B$	Millimeter							
	760	730	700	650	600	550	500	450
	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>
0°	1.06	1.10	1.15	1.23	1.34	1.4	1.6	1.7
10°	1.09	1.14	1.19	1.28	1.38	1.5	1.6	1.8
20°	1.13	1.18	1.23	1.32	1.44	1.6	1.7	1.9
30°	1.17	1.22	1.27	1.37	1.48	1.6	1.8	2.0

Für mittlere Höhen (Barometerstand von 760 bis 700 mm) liegen die Fehler in der Höhe zwischen 1.0 und 1.3 m und können als konstant angenommen werden mit dem Betrage 1.2 m.

Statt der allgemeinen Formel XXXII) kann man auch die folgende benützen, welche mit Hilfe der Gleichungen 102) und 103), ferner dem vorstehend angenommenen mittleren Fehler 1.20 m erhalten wird, wobei dieser Betrag wegen der beiden Stationen zweimal zu nehmen ist; es ist

$$\Delta H = \sqrt{2 \cdot (1.20)^2 + (0.001087 H)^2 + (0.00367 H)^2} = \sqrt{2.88 + (0.004752 H)^2}; \dots \dots \dots \text{XXXIII}$$

eine mit Zugrundelegung dieses Ausdruckes berechnete Tabelle geben wir nachstehend.

<i>H</i>	ΔH	<i>H</i>	ΔH	<i>H</i>	ΔH
<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>
0	1·7	500	2·9	1000	5·0
100	1·8	600	3·3	2000	9·7
200	2·0	700	3·7	3000	14·4
300	2·2	800	4·2	4000	19·1
400	2·5	900	4·6	5000	23·9
500	2·9	1000	5·0	6000	28·6

Die Fehler in der Höhe sind für 0 bis 400 *m* nahezu konstant, etwa 2 *m*, und nehmen dann rasch zu.

Für große Höhenunterschiede muß die strenge Fehlerformel XXXII) benützt werden.

Unter den gemachten Annahmen für die Unsicherheit im Barometerkoeffizienten 20 *m*, den mittleren Fehler in der Bestimmung der Temperatur 1°, den Fehler im Barometerstande 0·1 *mm* kann der mittlere Fehler in der bestimmten Höhe bei sorgfältiger Arbeit und Höhen bis etwa 300 *m* mit 1 *m* bis 2 *m* angenommen werden.

Höhen, welche nach der Interpolationsmethode barometrisch bestimmt werden (II. Band, Nr. 217), ergeben sich gewöhnlich genauer.

Von Interesse ist weiters die Frage, welcher Fehler in der Höhe entsteht, wenn *b*₁ und *b*₂ um den gleichen Betrag Δb im selben Sinne verschieden sind. Man erhält mit Hilfe der abgeleiteten Differentialquotienten in Gleichung 100):

$$\Delta H = H \frac{M}{\log \frac{b_1}{b_2}} \left(\frac{1}{b_1} - \frac{1}{b_2} \right) \Delta b = -H \frac{\frac{b_1 + b_2}{2}}{b_1 b_2} \Delta b;$$

führt man einen mittleren Barometerstand $b_0 = \frac{b_1 + b_2}{2}$ und die Differenz $b_1 - b_2 = d$ ein, so folgt:

$$\Delta H = -H \frac{b_0}{b_0^2 - \frac{d^2}{4}} \Delta b = -H \frac{\Delta b}{b_0} \dots \dots \dots 105)$$

Dieser Fall kommt bei allen Luftdruckmessern vor, wenn die konstanten Standkorrekturen nicht berücksichtigt werden. Würde man z. B. bei Höhenmessungen mit zwei Aneroiden diese wohl ganz richtig aufeinander beziehen, indem der relative Stand des einen im Vergleiche zum andern in Rechnung gebracht, aber die absolute Standkorrektion gegen ein richtig zeigendes Quecksilberbarometer nicht in Rechnung gezogen wird, so könnten ziemlich beträchtliche Fehler entstehen.

Ist z. B. $b_0 = 700 \text{ mm}$, $\Delta b = 10 \text{ mm}$, so wird

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{1}{70}$$

Eine Vernachlässigung der Kapillardepression δ bei einem Quecksilberbarometer wird auch in dem Falle, daß sie in beiden Stationen den gleichen Betrag hat, den Fehler

$$\Delta H = -H \frac{\delta}{b_0} \dots \dots \dots 106)$$

hervorrufen.

Ist z. B. $H = 2000 \text{ m}$, $\delta = 1 \text{ mm}$ und $b_0 = 620 \text{ mm}$, so wird

$$\Delta H = -\frac{2000 \text{ m} \cdot 1 \text{ mm}}{620 \text{ mm}} = -3.2 \text{ m}.$$

Literatur zu „Barometrische Höhenmessung“.

1. **Bauernfeind**: Beobachtungen und Untersuchungen über die Genauigkeit barometrischer Höhenmessungen, München 1862.
2. **Crug**: Die Anfertigung forstlicher Terrainkarten auf Grund barometrischer Höhenmessungen und die Wegnetzprojektierung, Berlin 1878.
3. **Elschnig**: Kurzgefaßte Anleitung zu barometrischen Nivellierungen mit Quecksilber- und Metallbarometern, Straßburg 1869.
4. **Gintl**: Höhenmessen mit dem Thermometer, Wien 1835.
5. **Goldschmid**: Neues Aneroidbarometer, bestimmt zu barometrischen Höhenmessungen nebst Anleitung zu dessen Gebrauch, Zürich 1869.
6. **Grassi**: „Untersuchungen über sprungweise Änderungen von Federbarometern“ in Meteorologia Italiana 1874.
7. **Hartl**: Die Höhenmessungen des Mappers, Wien 1884.
8. **Hartl**: „Über die Temperaturkoeffizienten Naudetscher Aneroide“ in den Mitteilungen des k. u. k. Militärgeographischen Institutes in Wien, 1881.
9. **Helmert**: Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie, Berlin 1884.
10. **Herzog**: Praktische Anleitung zum Höhenmessen mittels Dosenbarometer, Leipzig 1873.
11. **Höltschl**: Das Höhenmessen mit Metallbarometern, Wien 1870.
12. **Höltschl**: Die Aneroide von Naudet und Goldschmid und ihre Leistungsfähigkeit beim Höhenmessen, Wien 1872.
13. **Koppe**: Die Aneroidbarometer von J. Goldschmid und das barometrische Höhenmessen, Zürich 1877.
14. **Liznar**: Die barometrische Höhenmessung, Wien 1904.
15. **Löwenherz**: Bericht über die wissenschaftlichen Instrumente auf der Berliner Gewerbeausstellung 1879, Berlin 1880.
16. **Nowak**: Das barometrische Höhenmessen mit dem Aneroide, Wien 1869.
17. **Reinhertz**: „Elastische Nachwirkung beim Federbarometer“ in der Zeitschrift für Instrumentenkunde 1887.

18. **Rühlmann**: Die barometrischen Höhenmessungen, Leipzig 1870.
19. **Schell**: „Das Stand-Aneroidbarometer“ in den Sitzungsberichten der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Wien 1877.
20. **Schenkl**: Das Barometer und seine Benützung vorzüglich als Instrument zum Höhenmessen, Brünn 1856.
21. **Schreiber**: Handbuch der barometrischen Höhenmessungen, Weimar 1877.
22. **Suckow**: Die barometrische Hypsometrie, Darmstadt 1843.
23. **Suppan**: Die Hypsometrie mittels physikalischer Beobachtungen, Innsbruck 1834.
24. **Theile**: Anleitung zu barometrischen Höhenmessungen mittels Quecksilberbarometer und Aneroid nebst Hilfstafeln, Dresden 1882.

Tafeln zum barometrischen Höhenmessen.

1. **Biot**: Tafeln zur Berechnung barometrischer Höhenmessungen, Tiflis 1878.
2. **Hierl**: Tafeln zu Höhenmessungen mit dem Barometer, Aschaffenburg 1829.
3. **Jahn**: Hypsometrische Tafeln nebst Reduktionstabellen für Barometerbeobachtungen, Leipzig 1832.
4. **Jellinek**: Anleitung zur Ausführung meteorologischer Beobachtungen nebst einer Sammlung von Hilfstafeln, Wien 1884.
5. **Jordan**: Barometrische Höhentafeln, Stuttgart 1886.
6. **Jordan**: Barometrische Höhentafeln für Tiefland und für große Höhen, Hannover 1896.
7. **Klein**: Tabellen zur Berechnung der Höhenunterschiede aus gleichzeitig beobachteten Barometerständen, München 1831.
8. **Neumeyer**: Hilfstafeln für barometrische Höhenmessungen, München 1877.
9. **Schoder**: Hilfstafeln zur barometrischen Höhenmessung, Stuttgart 1874.
10. **Vogler**: Anleitung zum Entwerfen graphischer Tafeln und zu deren Gebrauch beim Schnellrechnen, Berlin 1877.

III. Teil.

Graphische Darstellung der Aufnahmen.

Erster Abschnitt.

Darstellung der Horizontalaufnahme.

220. Eine vollendete Aufnahme ist eine geometrische Zeichnung, welche der horizontalen Projektion des aufgenommenen Teiles im ganzen und in den einzelnen Teilen ähnlich ist. In der Regel führt man diese Zeichnung weiter aus, und zwar derart, daß man unmittelbar aus derselben die Beschaffenheit der einzelnen Parzellen — ob Wiese, Feld, Wald, Gebäude, Straße, Fluß u. s. w. — ersieht, d. h. man fertigt die Aufnahme zu einem vollständigen Plane aus; wird bei der graphischen Darstellung die Gestalt der Bodenfläche berücksichtigt und zur Darstellung gebracht, so wird ein topographischer Plan hergestellt; aus diesem kann man auch über die Neigungs- und Höhenverhältnisse der abgebildeten Terrainteile ein klares Bild erhalten.

Wir unterscheiden:

1. Das Situationszeichnen, welches die konventionelle Darstellung des Grundrisses der Terrainteile und Terraingegenstände lehrt, also die graphische Darstellung der Horizontalaufnahme in sich schließt, während
2. das Terrainzeichnen sich mit der graphischen Darstellung der Terrain- und Bodenformen befaßt, also die Vertikalaufnahme einbezieht.

§ 17. Das Situationszeichnen.

Das Situationszeichnen beruht auf einer allgemein angenommenen Bezeichnungsweise, auf konventionellen Zeichen, die nach dem Grundsatz gewählt wurden, daß man aus der Zeichnung stets den dargestellten Gegenstand leicht erkennen soll, was am sichersten dadurch erreicht werden wird, wenn man in der Zeichnung die darzustellenden Gegenstände der Natur möglichst nachahmt.

Die Situations- oder Grundrißzeichnung hat zu sorgen für die zeichnerische Darstellung alles dessen, was auf der Erdoberfläche vorkommt:

chorographische Gegenstände: Äcker, Wiese, Wald, kurz Kulturen,
hydrographische Objekte: Bäche, Flüsse, Kanäle, Teiche, Seen u. s. w.

und endlich

topographische Gegenstände: Wohnplätze, Hofräume, Straßen, Kommunikationen u. s. w.

Die Ausfertigung eines Planes kann entweder bloß in schwarzer Tusche oder in Tusche und Farbe (Kolorit) erfolgen und man unterscheidet daher:

- a) Darstellung der Pläne in schwarzer Manier und
- b) Darstellung der Pläne in kolorierter Manier.

221. Darstellung der Pläne in schwarzer Manier. Wenn uns eine auf irgend eine Weise graphisch oder numerisch hergestellte Horizontalaufnahme vorliegt, so müssen alle Terraingegenstände eingetragen werden, um die Benützung und die Beschaffenheit der einzelnen Parzellen aus der Zeichnung zu ersehen.

Man ahmt daher in der Darstellung, dort wo es angeht, die natürliche Gestalt der Objekte nach, hält sich jedoch hiebei an eine allgemein übliche Bezeichnungsart sowie in speziellen Fällen an besonders gegebene Vorschriften.

Auf der Tafel I sind die am häufigsten vorkommenden Kulturarten und Objekte, wie man sie gewöhnlich auf schwarzen Plänen darstellt, angegeben. Man überhäuft jedoch die bezüglichen Parzellen nicht mit Bäumen, Rebenstöcken u. s. w., da es genügt, diese Bezeichnungen in mäßigen Abständen anzubringen. Das Licht wird von der linken Seite einfallend angenommen, beiläufig unter 45° , wodurch erhöhte und vertiefte Gegenstände Schattenlinien bekommen, u. zw. werden diese Linien bei den erhöhten Gegenständen rechts und unten, bei den vertieften links und oben gezogen.

Die Tafeln II, III und IV bringen die konventionellen Zeichen, die offiziell auf Plänen des österreichischen Katasters, auf Mappen und Indikations-skizzen verwendet werden.

Auf Tafel VI, VII, VIII und IX sind die konventionellen Zeichen zusammengestellt, wie sie bei topographischen Aufnahmen des k. u. k. Militärgeographischen Institutes in Wien vorgeschrieben sind, und zwar für die Originalmilitäraufnahme im Maße 1 : 25.000 und für die Spezialkarte 1 : 75.000.

Es finden sich da die konventionellen Zeichen von den verschiedenartigsten choro, hydro- und topographischen Details.

222. Darstellung von kolorierten Plänen. Die auf Tafel III und IV angegebene Bezeichnungsweise gilt mit geringer Ausnahme auch für die kolorierten Pläne. Auf diesen werden nämlich die Felder, Gebäude, Flüsse und Seen nicht schraffiert; ferner bleibt bei den Lehmgruben, Steinbrüchen und Felsen die Einzeichnung mit Tusche weg und ebenso die Punktierung in den Blumenbeeten der Ziergärten; die schmalen, im Plane nur in einfachen Linien erscheinenden Bäche werden mit blauer Farbe ausgezogen, die Schraffierung der Sümpfe und nassen Wiesen wird gleichfalls blau gehalten. Außerdem legt man jede Parzelle mit einem farbigen Tone an; die Farben können hiezu verschieden gewählt werden, wenn nur der Ton dem üblichen Hauptcharakter entspricht, welcher wieder größtenteils der Natur entnommen ist. Die nachstehenden Farbmischungen entsprechen diesem Zwecke.

Wege: Sepia mit Terra di Siena. Bei Feldwegen und Fußwegen Sepia vorherrschend; bei Landstraßen und Gemeindewegen dieselbe Mischung verdünnt

und Terra di Siena vorherrschend; bei Gassen, Plätzen, Hofräumen und Gartenwegen reine Terra di Siena.

Poststraßen: sehr verdünnter Karmin.

Lehmgruben: Terra di Siena in zwei bis drei bestimmten Tönen und stärkere Risse mit Sepia.

Sand: wie Gartenwege, aber verdünnt.

Felsen: Sepia mit Neutraltinte in zwei bis vier bestimmten Tönen, scharf und kantig aufgetragen.

Hutweiden: flüssiger Grünspan (in Flaschen) mit sehr wenig Zusatz von Gummigutti, sehr blaß (fahl) gehalten.

Wiesen: dieselbe Mischung mit etwas mehr Gummigutti und weniger verdünnt, so daß ein maigrüner Ton sich ergibt.

Obstgärten: wie Wiesen, nur noch etwas frischer (stärker) gehalten.

Gemüsegärten: Grünspan, etwas Gummigutti oder bloß Grünspan.

Waldungen: vorerst ein mitteldunkler Ton mit Tusche, dann eine zweite Anlage mit verdünnter Wiesenfarbe.

Damit die Tuschanlage nicht fleckig ausfalle, ist es gut, mit blasser Tusche zwei- bis dreimal anzulegen.

Felder: Tabaksaft, blaßgelb gehalten, mit Karmin gemischt.

Weingärten: flüssiger Karmin (in Flaschen) mit Tabaksaft gemischt; Karmin recht dünn.

Wasser: Berlinerblau. Bei schmalen Gewässern wird die ganze Parzelle mit einem mittelstarken Ton angelegt, bei breiteren dagegen von den Ufern gegen die Mitte zu laviert (verwaschen), oder mit bestimmten Tönen, die gegen das Ufer zu an Stärke allmählich zunehmen und schmaler gehalten werden.

Bäume, Reben- und Hopfenstöcke, lebendige Zäune und dergleichen werden mit stark grüner Farbe (Mitisgrün) übertupft; die Blumenbeetchen der Ziergärten bekommen vorerst eine Anlage mit der Wiesenfarbe und werden dann verschiedenfarbig punktiert.

Hölzerne Gebäude: Gummigutti mit Terra di Siena überlegt.

Steinerne Gebäude und andere steinerne Objekte, als breite Mauern, Martersäulen und dergleichen: flüssiger Karmin (in Flaschen) mittelstark; bei öffentlichen Gebäuden stärker.

Brücken: von Holz mit Terra di Siena; von Stein mit Karmin, mittelstark.

Grenzen von einzelnen Distrikten, Gemeinden und Länderteilen werden häufig nach ihrer ganzen Ausdehnung mit einem schmalen farbigen Streifen angelegt.

Die genannten Farben erhält man in den Zeichenmaterialien-Handlungen; den Tabaksaft bereitet man sich selbst, indem man gewöhnlichen Rauchtobak (mittlere Sorte) in ein Glas gibt, dann so viel Wasser darauf gießt, daß der Tabak vom Wasser etwas überragt wird, und nach einigen Stunden die Flüssigkeit abseiht und filtriert.

223. Ausfertigung kolorierter Pläne. Die Arbeit zerfällt:

1. in die Ausfertigung in Tusche,
2. in das Kolorieren und
3. in das Beschreiben.

Die erste Arbeit ist nach Nr. 221 unter Berücksichtigung der in der vorangehenden Nummer für kolorierte Pläne angegebenen Änderungen auszuführen; sobald der Plan im Schwarzen fertig ist, reinigt man denselben nochmals sorgfältig mit Brot oder Dolage und spannt ihn auf, wenn dieses nicht schon früher geschehen ist.

Die zweite Arbeit, das Kolorieren, besteht darin, daß man die einzelnen Parzellen mit den in Nr. 222 angegebenen Farbtönen gleichmäßig anlegt. Da manche Zeichentusche nicht von der besten Qualität ist und Farbe läßt, wenn man mit dem nassen Pinsel über die Zeichnung fährt (was übrigens auch bei guter Tusche der Fall ist, wenn man sie nicht für den jedesmaligen Gebrauch frisch anreibt), so übergießt man vor dem Kolorieren den geneigt gehaltenen Plan mit Wasser, streift mit einem breiten, weichen Pinsel oder mit dem Schwamme leicht über denselben und schwemmt das sich hierbei Auflösende der Tusche durch einen darauf geleiteten Wasserstrahl weg. Das Kolorieren kann nun ungehindert vorgenommen werden, sobald der Plan trocken ist; dabei hat man auf Farberbereitung, auf reine Pinsel, dann beim Anlegen selbst auf Einhaltung der einzelnen Begrenzungen und auf gleichmäßiges Auftragen der Farbe besonders zu achten.

Die Farben, welche in Stücken (Zeltchen oder Knöpfen) gekauft werden, soll man nie in der Muschel anreiben (weil sich da leicht kleine Stückchen ablösen, welche dann Flecken verursachen, wenn sie beim Anlegen zufällig in den Pinsel kommen), sondern man nimmt bei der Bereitung die erforderliche Quantität Farbe mit einem reinen Pinsel von dem Stücke ab, wobei man nur die schmale Seite des letzteren benetzt und nach dem Gebrauche wieder leicht abtrocknet. Von den Farben, die man schon im aufgelösten Zustande kauft (wie Grünspan und Karmin), gießt man nach Erfordernis in eine Muschel oder in ein Gläschen und verdünnt diese Farbe mit Wasser, bis sie den rechten Ton hat; man soll nie die Farbe mit dem Pinsel aus dem Fläschchen heraustunken. Um stets den richtigen Farbenton zu erhalten, versucht man auf einem Stück Zeichenpapier durch ein Paar Pinselstriche die zubereitete Farbe und läßt sie trocknen; Grünspan und Tabaksaft werden im Trocknen stärker; Terra di Siena, Sepia und Tusche werden dagegen schwächer. Die Pinsel sind nach jedesmaligem Farbenwechsel sorgfältig zu reinigen.

Das genaue Einhalten der einzelnen Begrenzungen sowie das gleichmäßige Auftragen der Farbe hängt von einiger Übung ab, welche man sich jedoch leicht erwirbt. Man mache längs der Begrenzung nie viele und kurze Pinselstriche, sondern setze den Pinsel an dieselbe und fahre mit der mäßig umgebogenen Spitze des Pinsels längs derselben 3 bis 5 *cm* lang fort; gewöhnlich fängt man hiemit oben links an (nach beiden Seiten der Begrenzung hin), füllt hierauf den anliegenden Teil der Fläche aus, setzt oben ein weiteres Stück der Begrenzung an, füllt wieder den daran liegenden Teil der Fläche aus und fährt so fort, bis die ganze Anlage beendet ist. Der Pinsel soll immer mäßig voll sein, damit die Benetzung des Papiers in allen Teilen gleich stark ausfällt; besonders hat man darauf zu sehen, daß ein Teil nicht eher trocknet, als daran weiter angesetzt wird. Sammelt sich gegen den Schluß einer Figur die Farbe an, so saugt man sie mit dem Pinsel auf, nachdem derselbe durch Abstreifen auf einem Nebenpapier etwas trocken gemacht wurde.

Sind mit derselben Farbe Flächen von verschiedenen Größen anzulegen, dann beginnt man mit den kleineren und verdünnt dann für die größeren die Farbe etwas, da man größere Flächen beim Anlegen unwillkürlich nasser hält. Kommen trotz der angegebenen Vorsichten Flecken in eine Anlage, so füllt man den Pinsel mit sehr verdünnter Farbe, streift ihn auf ein Nebenpapier ab, daß er spitzig und beinahe trocken wird, und übergeht die lichter gebliebenen Stellen mit kurzen feinen Strichen, bis der richtige Ton hergestellt ist (Auspinseln).

Auch die Reihenfolge, nach welcher man anlegt, ist nicht ganz willkürlich, da sich namentlich Grünspan leicht löst und sich in eine nebenliegende Parzelle hinüberzieht, wenn dieselbe angelegt wird, bevor die mit Grünspan angelegte Parzelle vollkommen getrocknet ist. Es ist daher passend, vorerst die Wege und Gewässer, dann die Felder, Weingärten, Waldungen, Hutweiden, Wiesen, Gemüsegärten, Gebäude u. s. w. anzulegen. Zuletzt folgt das Übertupfen der Bäume, der Reben- und Hopfenstöcke.

Nachdem der Plan in Farben vollständig fertig ist, wird er beschrieben und der Maßstab unten angesetzt oder gezeichnet.

Auf Tafel V wird ein Teil aus einer Katastermappe in üblicher Darstellung vorgeführt, und zwar in schwarzer und in kolorierter Manier.

§ 18. Kopieren und Vervielfältigen der Pläne.

224. Der Geometer kommt häufig in die Lage, von einer Aufnahme oder von einem Teile derselben eine Kopie anfertigen zu müssen, und zwar entweder in gleichem Maße wie das Original oder in einem anderen Maße.

Zum Anfertigen von Kopien waren bisher drei Methoden üblich, nämlich

1. das Durchzeichnen und Durchpausen,
2. das Abzeichnen durch Quadratnetze und
3. das Kopieren mittels des Pantographen (das Pantographieren).

Nach der ersten Methode wird die Kopie in derselben Größe erhalten wie das Original; nach der zweiten und dritten dagegen kann die Kopie in gleichem Maße wie das Original und verkleinert oder vergrößert erhalten werden.

In der neuesten Zeit wird auch die Photographie zum Kopieren von geometrischen Plänen und Landkarten angewendet.

225. Das Durchzeichnen und Durchpausen der Pläne.

α) Man legt ein transparentes Papier (sogenanntes Strohpapier) auf den zu kopierenden Plan, heftet dasselbe mittels Wachs oder kleiner Kluppen oder mit Schwerstücken leicht an den Plan und fährt nun mit Blei oder auch mit Tusche allen Konturen genau nach, wobei man zu den geradlinigen Begrenzungen ein kleines Lineal oder Dreieck benützt. Die so erhaltene Kopie wird nun entweder gleich beibehalten oder nochmals übertragen. Im ersteren Falle klebt man sie auf gewöhnliches Zeichenpapier auf und führt sie, gewöhnlich unter Beschränkung auf das Wesentlichste, meistens bloß schwarz aus; im zweiten Falle geschieht die Übertragung mittels Durchpausen. Man bestreicht hiezu die erhaltene Kopie auf der Rückseite gleichmäßig mit Bleistift, legt sie mit dieser Seite auf reines glattes Zeichenpapier und fährt den Konturen mit einem Bleistift — oder einem anderen spitzigen, jedoch nicht scharfen Griffel — nach; dann erscheinen sämtliche Konturen auf dem Zeichenpapiere in Bleistift übertragen. Die so erhaltene (zweite) Kopie führt man dann vollständig aus.

Das beschriebene Verfahren wird heute durch Verwendung des Graphitpapieres fast vollständig beseitigt. Das Graphitpapier legt man auf das Zeichenpapier, die präparierte Seite nach unten gekehrt; darüber wird die auf Pauspapier

erhaltene Kopie ausgebreitet und an den Rändern befestigt. Nun werden mit einem harten, spitzigen Bleistifte die Konturen sorgfältig befahren, ohne einen besonderen Druck auszuüben; denn der geringste übertragene Druck auf das Graphitpapier reicht aus, um einen deutlich sichtbaren Abdruck zu erhalten. Da das Graphitpapier bei kräftigem Kopieren nur zu gern fettartige Spuren zurückläßt, so wird vor zu rohem Kopieren, besonders wenn später die Zeichnung koloriert werden soll, gewarnt.

β) Um die Kopie unmittelbar auf gewöhnlichem Zeichenpapiere zu erhalten, bedient man sich des sogenannten Kopierpultes. Dieses besteht aus einem Holzrahmen von der gewöhnlichen Größe der Pläne, in welchem eine ebene, reine Glastafel liegt, die samt dem Rahmen pultförmig geneigt und durch rückwärts angebrachte Spreizen in jeder beliebigen Stellung erhalten werden kann. Man heftet das Zeichenpapier auf den Plan, legt beides auf die gegen das Licht gerichtete, entsprechend geneigte und festgestellte Glastafel und fährt nun mit Blei den durchscheinenden Linien des Planes nach; um das Papier während der Arbeit in einer bestimmten Lage zu erhalten, befestigt man dasselbe durch ein Paar Heftstifte am Rahmen.

Das Durchscheinen der Linien gewinnt an Deutlichkeit, wenn man das direkt in das Auge fallende Licht durch das Herablassen eines Rouleaus bis zum oberen Rande des Rahmens schwächt.

γ) Das Durchpikieren eines Planes ist eine Art des Durchpausens und besteht darin, daß man einen Bogen Zeichenpapier unter den Plan legt, daran befestigt und nun die Ecken und Krümmungspunkte der einzelnen Begrenzungen der Reihe nach mit einer Pikiernadel durchsticht; die so erhaltenen Punkte werden dann nach Angabe des Originales miteinander verbunden. Dieser Vorgang kann jedoch nur dann zur Anwendung kommen, wenn das Original nicht weiter mehr gebraucht wird, da es offenbar dadurch leidet und verunstaltet wird.

δ) Soll die Kopie mit sehr großer Genauigkeit ausgeführt werden, so daß die Abmessungen der Kopie keine mit dem Zirkel konstaterbare Abweichung vom Originalen zeigen, so reicht keine dieser drei Methoden aus. In diesem Falle kann man folgende etwas mühsamere, aber sehr genaue Methode anwenden. Man legt das Pauspapier auf den Plan, befestigt es durch Schwersteine oder aufgelegte Messingliniale und markiert jeden Punkt des Originalen mittels eines sehr fein gespitzten harten Bleistiftes am Pauspapier und ringelt jeden Punkt ein. Hierauf legt man die Pause auf das reine Zeichenpapier und pikiert die Punkte mit einer feinen Nadel durch. Die Stiche werden dann auf dem Papiere aufgesucht und eingeringelt. Sind einige Stiche nicht deutlich sichtbar, so hebt man das Papier gegen das Licht in die Höhe, wodurch die Punkte erkennbar werden. Zum Schlusse werden die kopierten Punkte in der Reihenfolge des Originalen verbunden. Ist eine ganze Sektion zu kopieren, so teilt man dieselbe, da das Pauspapier nie in großen Flächen verwendet werden soll, weil es sonst Falten bildet und Anlaß zu Ungenauigkeiten gibt, durch Gerade, die mit den Sektionsseiten parallel laufen, in vier oder sechs rechteckige Unterabteilungen ab, wovon jede auf die angegebene Weise kopiert wird. Diese Methode gehört zu den genauesten aller Kopiermethoden.

226. Das Abzeichnen durch Quadratnetze gestattet die Herstellung einer Kopie in gleichem oder aber eine bildliche Darstellung in verkleinertem oder

vergrößertem Maßstabe; die auf diese Weise erhaltenen Darstellungen genügen für viele Zwecke, sind jedoch zur Abnahme genauer Maße nicht verwertbar.

Das Verfahren selbst besteht im folgenden. Über den zu vervielfältigenden Plan wird ein Quadratnetz konstruiert; obwohl die Länge der Quadratseite beliebig ist, so wählt man sie nicht zu groß; 1 bis 2 *cm* Seitenlänge der Maschen des Netzes ermöglicht ein ziemlich sicheres Nachzeichnen. Sollte es nicht erlaubt sein, auf dem Plane ein Quadratnetz zu konstruieren, so verwendet man einen Metall- oder Holzrahmen, in welchem durch Drähte, Haare, Seiden- oder Roßhaarfäden ein Quadratnetz gebildet wird, oder man bedient sich eines scharf gezeichneten Quadratnetzes auf Pauspapier oder Pausleinwand.

Der beschriebene Rahmen oder das mit einem Netze versehene Pauspapier wird auf den Plan aufgelegt, wodurch gleichfalls über dem Originale ein Quadratnetz gebreitet wird.

Nun wird auf dem Zeichenpapiere, auf welchem die Kopie, die Verkleinerung oder Vergrößerung, gezeichnet werden soll, gleichfalls ein Quadratnetz, und zwar durch scharfe Konstruktion hergestellt; soll die Vervielfältigung in demselben Maßstabe erfolgen, so besitzen die Seitenlängen dieses Netzes dieselbe Länge wie jene auf dem Originale; bei einer Verkleinerung werden sie entsprechend kürzer, bei einer Vergrößerung naturgemäß größer genommen. Die Linien des Quadratnetzes sind sehr fein mit hartem Bleistifte zu ziehen.

Die Herstellung einer Vervielfältigung erfolgt derart, daß man in jedes Quadrat all das Detail zeichnet, das in dem korrespondierenden Quadrate des Originale enthalten ist, und hiebei die Abstände von Punkten und Linien von den Seiten des Quadrates abschätzt. Man kann das Nachzeichnen mit freier Hand bewirken, oder man bedient sich eines Stechzirkels, bei der Reduktion und Vergrößerung auch eines Proportionalzirkels.

227. Das Kopieren mittels des Pantographen wurde im Band I, Nr. 376, behandelt und die Herstellung von Reduktionen mit Hilfe der Reduktionsapparate, des Reduktionszirkels, des Reduktionslineales, des Pantometers nach Lukowsky wird nach den im Band I, Nr. 373—375, gegebenen Ausführungen keine Schwierigkeiten bieten.

228. Vervielfältigung von Plänen. Soll ein Plan oder eine kотиerte Darstellung in einer größeren Anzahl vervielfältigt werden, so reichen hiezu die in Nr. 225, 226 und 227 besprochenen Methoden nicht aus; sie wären zu zeitraubend und kostspielig.

Die Vervielfältigung von Zeichnungen kann durch Pressendruck oder auf rein photographischem Wege erfolgen. Im ersteren Falle wird die zu vervielfältigende Zeichnung auf einer Stein- oder Metallplatte angefertigt oder auf eine solche auf chemischem Wege übertragen und durch Aufpressen von Papier werden Abklatsche in großer Zahl hergestellt.

Diese Kopien des Originale heißen Abdrucke, der Vorgang bei der Herstellung das Drucken und die verwendeten Maschinen Pressen; die Vervielfältigung erfolgt durch Pressendruck.

Die Druckformen sind von dreierlei Art:

1. Steinplatten mit fetter Zeichnung, wobei vom Original mit Hilfe des Pantographen eine umgekehrte Kopie im gleichen, vergrößerten oder verkleinerten Maßstabe auf dem lithographischen Steine mit fetter Tusche oder Tinte gezeichnet, beziehungsweise eingraviert wird; benetzt man nun den Stein mit einer dünnen Gummilösung, so haftet die Lösung nur an den fett- und zeichnungsfreien Stellen, es bildet sich eine gummierte Steinschicht. Wenn nun der so benetzte Stein mit Druckfarbe überwältzt wird, so bleibt die Farbe an der fetten Zeichnung haften, die nassen Partien stoßen sie ab; wird dann ein Blatt Papier auf die Oberfläche des Steines gepreßt, so erhält man einen Abdruck der Zeichnung. Es ist klar, daß die Benützung von Maschinen Vorteile bietet; dieses Verfahren heißt dann Steindruck oder lithographischer Druck.

2. Metallplatten, auf welchen eine vertiefte Zeichnung hergestellt wird, so daß sogenannte Tiefplatten erhalten werden. Überzieht man mittels einer Walze die Druckform mit fetter Farbe und reinigt die Oberfläche durch Abwaschen, so bleibt in den Vertiefungen Farbe, welche nach Aufpressen eines Blattes Papier einen farbigen Druck liefert.

3. Platten, auf welchen die Zeichnung erhaben ist, heißen Klischees. Durch Überziehen einer solchen Form mit Druckfarbe und geeignetes Aufpressen eines Blattes Papier liefern die erhabenen Stellen der Platte einen Abdruck.

Die vorstehenden Druckformen können auf manuellem und auf mechanischem Wege mit Hilfe der Photographie erzeugt werden. Es wird vom Original eine photographische Kopie gemacht, entweder in gleichem oder reduziertem Maßstabe, diese wird durch geeignete Verfahren auf Metallplatten übertragen, so daß

1. Metallplatten mit vertiefter Zeichnung entstehen, Heliographie,
2. Metallplatten mit erhabener Zeichnung durch Hochätzung, Zinkographie, und
3. Steine mit photographischer Fettkopie, Photolithographie.

Ob nun die Platten manuell oder photomechanisch hergestellt werden, sie gestatten immer die Vervielfältigung durch Pressendruck, so zwar, daß eine Anzahl von Exemplaren in verhältnismäßig kurzer Zeit hergestellt werden kann.

Die Abdrucke, welche durch Pressendruck erhalten werden, sind mit der Druckform nicht linien- und flächentreu, sondern ausgeführte Messungen lehren, daß Dimensionsänderungen eintreten, die gegebenen Falles konstatiert und berücksichtigt werden müssen.

Aus der vorstehenden Darstellung entnimmt man, daß die Photographie für Vervielfältigungen sehr wichtig ist. Die heutigen winkeltreu zeichnenden photographischen Objektive garantieren eine mathematisch genaue Reproduktion; auch die photographischen Vergrößerungen sind ganz vorzüglich, so zwar, daß alle früheren Hilfsmittel, Pantograph u. s. w., gegen die Photographie zurücktreten müssen.

Ohne Pressendruck können Vervielfältigungen auch auf rein photographischem Wege erhalten werden. Der Prozeß basiert auf der Verwendung des lichtempfindlichen Papieres, wobei durch Kopieren einzelne Drucke erhalten

werden. Das Verfahren führt auch den Namen Lichtpausverfahren, die Drucke heißen Lichtpausen.

Die Behelfe für die Ausführung von Lichtpausen sind:

1. ein Koperahmen; dies ist ein entsprechend dimensionierter Holzrahmen mit einer Spiegelglasplatte, die gut aufliegt; ferner gehört dazu eine Filzeinlage und ein mit der Glastafel gleich großes Brett, welches mit dem Rahmen fest verbunden und mittels kräftiger Federn an die Spiegelglasplatte angepreßt werden kann;
2. das Lichtpauspapier; dies ist ein entsprechend starkes Papier, welches mit einer lichtempfindlichen Schicht gleichmäßig präpariert ist;
3. ein größeres Waschgefäß zum Waschen der Kopien und schließlich
4. eine scharfe Pause, auf weißem, durchsichtigem Pauspapier hergestellt; sie muß mit guter Tusche, welche einen Beisatz von etwas Ocker oder Gummigutti besitzt, ausgeführt sein.

Die Herstellung der Lichtpausen ist äußerst einfach. Das Original wird in den geöffneten Koperahmen so auf die Spiegelglastafel gelegt, daß die Zeichnung nach oben zu liegen kommt, also vom Glase abgewendet ist; darauf wird das lichtempfindliche Papier so gelegt, daß die Zeichnung des Originales in unmittelbaren Kontakt mit der präparierten Schicht des Papiere gelangt; hierauf wird die Einlage (meist eine Filzeinlage) gleichmäßig auf das Papier gebreitet, das Brett behutsam daraufgelegt und mittels der Bandfedern fest an die Glastafel angepreßt. Dadurch wird ein inniges Anliegen der Zeichnung an das Papier erzielt. Nun wird der Rahmen umgekehrt, die Glastafel kommt nach oben und die Zeichnung wird exponiert. Nach entsprechender Belichtung legt man den Rahmen um, löst die Federn des Druckblattes und nimmt das präparierte Papier heraus, welches entweder in reines Wasser oder eine andere Flüssigkeit getaucht wird, wodurch das Bild hervorgerufen und entwickelt wird. Die Kopie, Lichtpause, wird im reinen Wasser gut gewaschen und dann getrocknet.

Nach der Art des verwendeten Kopierpapiere unterscheidet man:

1. Die Cyanotypie, wobei Blaudrucke erhalten werden, und zwar
 - a) das Negativ-Cyanotypverfahren, wobei weiße Linien auf dunkelblauem Untergrunde erhalten werden,
 - b) das Positiv-Cyanotypverfahren, wobei blaue Linien auf weißem Grunde sich ergeben.
2. Die Negrographie, wobei tiefschwarze Linien auf weißem Grunde gewonnen werden.

Die durch das photographische Kopierverfahren erhaltenen Kopien sind nicht flächentreu; denn bei der Herstellung der Pause werden Fehler begangen, die mehrfachen Waschungen der Kopien bedingen Zerrungen, die bei eventueller Verwendung der Kopien zu Flächenbestimmungen vorerst in Länge und Breite ermittelt und dann entsprechend in Rechnung gezogen werden müßten.

Lichtpausen können daher nur für untergeordnete Zwecke Verwendung finden.

Zweiter Abschnitt.

Darstellung der Vertikalaufnahme.

§ 19. Das Terrainzeichnen.

Darstellung des orographischen Details in Plänen und Karten.

Die Darstellung eines Teiles der Erdoberfläche, ob Plan oder Karte, hat den Zweck, neben der Angabe alles topographischen Details auch die Bodenformen derart darzustellen, daß man sich eine klare Vorstellung von dem abgebildeten Teile der Erdoberfläche, von den Neigungsverhältnissen ihrer Flächen, den Höhenverhältnissen der einzelnen Partien gegeneinander etc. machen kann.

Dies wird dadurch ermöglicht, daß gewisse Elemente, welche für die Bodenformen charakteristisch sind und über Lageverhältnisse Aufschluß geben, eine einfache und sichere Darstellung erfahren, aus welcher die auf die Terrainbeschaffenheit Bezug habenden Daten abgeleitet werden können.

229. Horizontale und Fallinie. Die Erdoberfläche wird als topographische Fläche bezeichnet. Durch jeden Punkt P derselben lassen sich zwei charakteristische Linien legen, eine, welche erhalten wird, wenn man die Fläche mit einer horizontalen Ebene zum Schnitte bringt; sie ist der geometrische Ort gleich hoch gelegener Punkte über einer beliebig angenommenen Horizontalebene, Vergleichungsebene, meist eine krumme Linie und heißt Horizontal- oder Niveaulinie; sie erscheint in der horizontalen Projektion, dem Plane, in wahrer Größe. Die zweite Linie wird als Spur des vom Punkte P unter dem Einflusse der Schwere abfließenden Wassers erhalten und heißt Fallinie. Denkt man sich eine größere Anzahl von Horizontallinien, so stellt die durch einen Punkt gedachte Fallinie die kürzeste Verbindung zwischen denselben her; die Theorie fordert, daß sie zu den Horizontallinien sowohl im Raume als in der horizontalen Projektion senkrecht steht und desto kürzer erscheint, je größer ihr Neigungswinkel mit der Horizontalebene ist.

230. Schichtenlinien, Isohypsen oder äquidistante Horizontal- oder Niveaulinien. Wird eine Terrain- oder Bodenform, beziehungsweise die topographische Fläche durch horizontale Ebenen in gleich großen Abständen, also mit äquidistant geführten Niveaubenen geschnitten, so werden auf der Oberfläche sich Schichtenkurven ergeben, welche die Gestalt des Umfanges an der Stelle des Schnittes kennzeichnen und zufolge der Mannigfaltigkeit der Terrain-

konfiguration einen vielfach gekrümmten Verlauf nehmen werden; sie heißen Schichtenlinien, Isohypsen oder äquidistante Horizontal- oder Niveaulinien. Die horizontale Projektion aller Schichtenlinien gibt einen Schichtenplan.

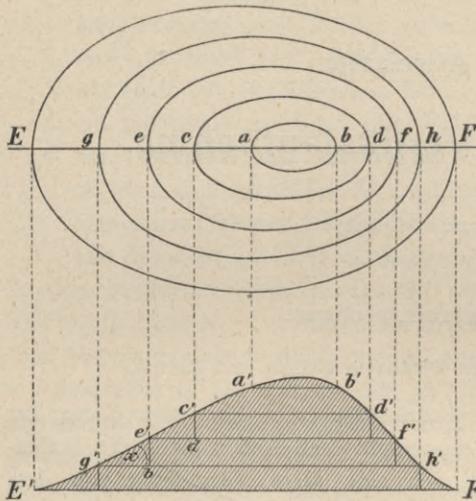


Fig. 159.

Jeden zwischen zwei Schichtenebenen liegenden Teil der topographischen Fläche nennt man Schicht (Fig. 159*), ihren vertikalen Abstand die Schichtenhöhe h , den Teil der topographischen Fläche zwischen zwei Schichtenebenen Schichtenmantel oder F' -böschung, die horizontale Projektion desselben den Schichtengürtel oder die Anlage der

Schichtenböschung und den Körper, der von zwei Schichtenebenen begrenzt wird, den Schichtenkörper.

Für eine richtige Wiedergabe der topographischen Fläche durch einen Schichtenplan ist es unbedingt notwendig, daß die Schichtenebenen in geringen Vertikalabständen geführt werden und daß die Verbindungslinien zweier benachbarten Schichtenlinien in der Richtung der Falllinien als gerade Linien betrachtet werden können; dann geht kein Terrainedetail im Schichtenmantel verloren.

Werden die Schichtenhöhen größer gewählt, so muß für die Wiedergabe der Terrain Einzelheiten am Schichtenmantel gesorgt werden, z. B. durch Schraffierung der Formen wie bei Karten.

Für technische Zwecke empfehlen sich im Hügellande:

bei einem Maßstabe 1 : 1000	$h = 1$ bis 2 m
„ „ „ 1 : 5000	$h = 2.5$ „ 5 m
„ „ „ 1 : 10.000	$h = 5$ „ 10 m;

*) Die Figuren 159, 167, 168, 172 bis 197 sowie Tafel X sind mit Bewilligung des k. u. k. Obersten v. Reitzner aus seinem Lehrbuche der Terrainlehre, Wien 1898, entnommen.

für militärische Zwecke:

bei einem Maßstabe	1 : 12.500	$h = 5, 10$ und $50 m$
„ „ „	1 : 25.000	$h = 10, 20$ und $100 m$
„ „ „	1 : 75.000	$h = 50$ bis $100 m$.

231. Fallinie, Böschungs- und Profildreieck. Ist E eine geneigte und H eine horizontale Ebene (Fig. 160) und zieht man von einem beliebigen Punkte P der ersteren die Gerade $PC \perp AB$, dann $PF \perp H$, so ist $\sphericalangle PCF = \alpha$ der Neigungswinkel der Ebene E gegen den Horizont und CF die horizontale Projektion von PC . Da nun jede andere durch P gezogene Gerade PD mit der Horizontalebene einen Winkel β bildet, der kleiner als α ist, so nennt man PC die Richtung des stärksten Falles oder des Wasserablaufes, die Fallinie der Ebene E ; α heißt der Böschungs- und β der Profilwinkel. Das Dreieck PCF heißt Böschungsdreieck und das Dreieck PDF führt den Namen Profildreieck.

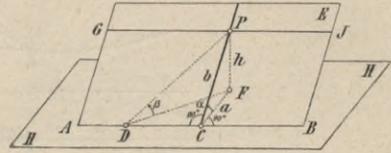


Fig. 160.

In dem Böschungsdreiecke heißen:

$CP = b$ die Böschungslinie oder Böschung,

$CF = a$ die Horizontalprojektion der Böschungs- oder Fallinie, die Anlage,

$PF = h$ die Höhe der Böschung, Schichtenhöhe;

im Profildreiecke PDF heißen:

PD das Profil und $\sphericalangle PDF = \beta$ der Profilwinkel, wobei $\beta < \alpha$ ist, und DF wieder die Anlage.

Betrachtet man die Ebene E als einen kleinen Teil eines Schichtenmantels, ein Flächenelement desselben, und ist PF die Schichtenhöhe, so stellen AB und GJ Elemente der Schichtenlinien vor, und da E in der horizontalen Projektion dargestellt wird, so erhält man für PC die Projektion CF , welche gleichfalls senkrecht auf AB steht. Da ferner die Schichtenlinien im allgemeinen krummlinig sind, so ist jeder Strich CF nur auf einem Elemente derselben senkrecht; die Fallinie ändert daher ihre Richtung von Punkt zu Punkt, sie ist eine Kurve.

Die Fallinien können im Schichtenplane in beliebiger Zahl gezogen werden, sie sind aber immer so zu führen, daß sie auf allen von ihnen durchschnittenen Schichtenlinien senkrecht stehen.

Anlage. Die Anlage gibt uns ein Mittel an die Hand, die Neigung des Terrains, respektive von Linien des Schichtenmantels, anzugeben, und zwar rechnerisch und graphisch.

Sind S_1 und S_2 zwei benachbarte Schichtenlinien mit der Schichtenhöhe h (Fig. 161), so lassen sich bei bekanntem Maßstabe, in welchem die

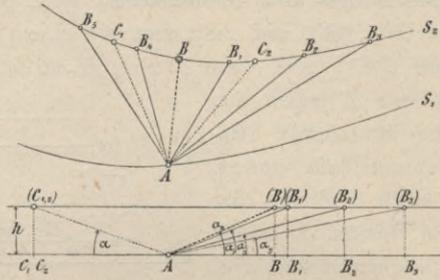


Fig. 161.

Horizontalprojektion der Schichtenlinien gezeichnet vorliegt, vom Punkte A die Neigungsverhältnisse genau angeben.

Durch Rechnung erhält man für die Neigung der geraden Linien $AB, AB_1, AB_2, \dots, AB_n$, wenn die Anlagen gemessen wurden: $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, und zwar für die Tangenten der Winkel:

$$tg \alpha_0 = \frac{h}{a_0}, \quad tg \alpha_1 = \frac{h}{a_1}, \quad tg \alpha_2 = \frac{h}{a_2}, \quad \dots \quad tg \alpha_n = \frac{h}{a_n}, \quad \dots \dots \dots 1)$$

wobei, da $\alpha_0 < \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ ist, α_0 die größte Neigung vorstellt, während alle andern Winkel als Profiwinkel kleiner sind. Vom Punkte A kann man daher zur nächsten Schichtenlinie auf verschieden geneigten Linien, respektive Wegen gelangen; jener in der Fallinie ist der kürzeste. Will man unter einem bestimmten Winkel α von A nach S_2 kommen, so muß man zuerst die zugehörige Anlage aus:

$$tg \alpha = \frac{h}{a} \quad \text{mit} \quad a = h \cdot cotg \alpha$$

rechnen.

Bedient man sich der Konstruktion, um den Zusammenhang von h, a, b und α zu studieren, so ist es nur notwendig, die Profildreiecke, welche als rechtwinklige Dreiecke durch die Anlage und Schichtenhöhe bestimmt sind, zu zeichnen.

In der Fig. 161 ist die Konstruktion für alle Punkte, da h gemeinsam ist, vereinigt und kann man unmittelbar aus der Figur die Größe der Winkel $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_n$ beurteilen, beziehungsweise durch Messung ermitteln.

Um in einem Schichtenplane mit konstanter Schichtenhöhe die Neigungen von Linien rasch bestimmen zu können, dienen die Anlagemaßstäbe oder Anlageskalen, die nach Fig. 162 konstruiert werden. Auf der horizontalen Linie werden nacheinander die Anlagen für die Winkel von 5, 10, 20, ... 90° erhalten, die auf dem darunter gezeichneten Anlagemaßstabe *AK* übersichtlich beschrieben sind.

Auf einer solchen Anlageskala kann man unmittelbar die Neigung der Geraden *AB* in Fig. 161 ablesen; man nimmt *AB* in den Zirkel, setzt in *A* (Fig. 162) ein und liest bei der zweiten Zirkelspitze bei *B* die Neigung mit rund 14° ab.

Da die Anlage $a = h \cdot \cotg \alpha$ ist, so kann man bei Kenntnis der natürlichen trigonometrischen Zahlen, für die Kotangenten der Winkel

$\alpha^\circ = 5$	10	20	30	40	50	60	70	80	90,	}	... 2)
$\cotg \alpha = 11.4$	5.7	2.7	1.7	1.2	0.8	0.6	0.4	0.2	0.0		

setzend, die Neigung leicht finden. Man entnimmt die Anlage der Zeichnung, mißt sie auf einem Maßstabe ab und, indem man nach $\cotg \alpha = \frac{a}{h}$ die Anlage durch die Schichtenhöhe *h* dividiert, ergibt sich die Kotangente des Neigungswinkels α , welche in 2) aufzusuchen ist; über den Werten der Kotangente kann der Neigungswinkel α meist durch Interpolation gefunden werden.

Für die umgekehrte Aufgabe, wenn z. B. der Neigungswinkel $\alpha = 10^\circ$ gegeben ist, die Anlage für $h = 5$ zu rechnen, hat man:

$$a = h \cdot \cotg \alpha = 5 \times 5.7 = 28.5 \text{ Einheiten.}$$

Aus der vorstehenden Betrachtung über die Anlage kann man die Sätze aufstellen: Anlagen geben ein Maß für die Beurteilung der Böschungswinkel; sind sie gleich, so werden auch die Böschungswinkel gleich, sind sie hingegen ungleich, so müssen auch die Böschungswinkel verschieden sein, und zwar je kleiner die Anlage, desto steiler ist die Böschung, und je größer die Anlage, desto sanfter ist dieselbe.

Liegt ein Schichtenplan vor, so kann man durch bloßen Anblick sagen: eine Schichtenenge weist auf einen steilen Böschungsmantel, während Schichtenweite einen sanften Verlauf des Terrains kennzeichnet; gleichweit abstehende Schichtenlinien stellen ein gleichmäßiges Ansteigen des Geländes dar.

232. Konstruktion eines Terrainprofils. Unter einem Terrainprofile versteht man den Schnitt einer vertikalen Ebene mit dem Terrain, der topogra-

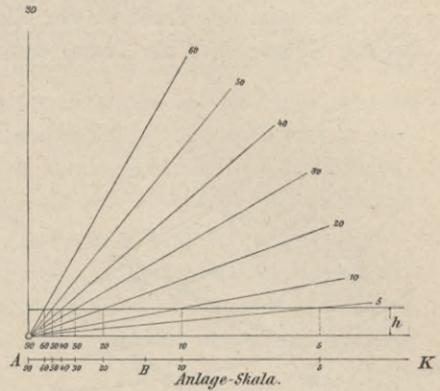


Fig. 162.

phischen Fläche. Die Terrainoberfläche wird im allgemeinen nach einer Kurve geschnitten, die, in ihre Elemente zerlegt, auch in einem gebrochenen Linienzuge dargestellt werden kann.

Hat man das Profil in der Richtung MN (Fig. 163) zu bestimmen, wobei die Gerade MN als Trasse des Terrainprofils zu betrachten ist, so kann dies einfach durch Umlegung geschehen; es werden in den einzelnen Schnittpunkten der Trasse MN mit den Schichtenlinien 60, 70, 80 und 90 Senkrechte zu MN errichtet und auf diesen die den Höhenwerten der Schichtenlinien entsprechenden Höhen im Maßverhältnisse der horizontalen Projektion des Terrains (Situation) oder, wenn es notwendig sein sollte, auch bei Einhaltung einer bestimmten Überhöhung, Verzerrung, aufgetragen, wobei, um nicht bedeutende Längen auftragen zu müssen, die Höhenzahl der tiefsten Schichtenlinie von allen anderen Schichtenhöhen subtrahiert wird; die so durch Umlegen erhaltenen Punkte werden, wenn die Schichtenhöhe nicht bedeutend ist, geradlinig, bei großen Schichtenhöhen durch eine kontinuierliche Kurve verbunden.

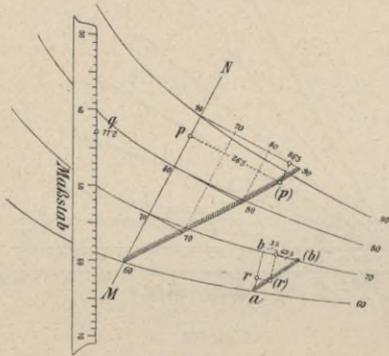


Fig. 163.

Sind die Schichtenhöhen bedeutend, so kommen die Höhenunterschiede, im Maßstabe der Situation aufgetragen, zum deutlichen Ausdruck; wenn aber die einzelnen Punkte des Profils keine großen Höhenunterschiede aufweisen, so muß man für die Höhen einen anderen Maßstab wählen; gewöhnlich wird die Überhöhung oder Verzerrung 10, 20 u. s. w. je nach Bedürfnis benützt.

Auf der Tafel XI kommt ein größeres Profil, auf Grund eines Schichtenplanes hergestellt, zur graphischen Darstellung; die Höhen haben keine Verzerrung erfahren.

Auf Grund der Kartenproben auf Tafel XII wurden zwei Profile konstruiert und in Anlage und Ausführung so gehalten, wie dies bei diversen technischen Studien üblich ist.

In der Original-Militäraufnahme 1:25.000 wurde ein Terrainprofil bestimmt, wobei die zwischen den Schichtenlinien durch Schraffen dargestellten Terrainformen volle Berücksichtigung gefunden haben. Die Verzerrung beträgt 10 und für die Längen und Höhen ist ein besonderer Maßstab angegeben.

Das Profil der Straße Krieglach—Lenzbauer wurde nach der Spezialkartenprobe 1:75.000 konstruiert; bei Verfolgung der Straße vom Orte Krieglach kann man wahrnehmen, wie die vielfach gekrümmt verlaufende Straße in geradlinige Teile zerlegt wird, die Höhen der Brechpunkte bestimmt, dann von der Haupthorizontalen aus auf Grund der Überhöhung 10 aufgetragen und die so erhaltenen Punkte geradlinig verbunden wurden. Für jedes Element ist die

Neigung pro mille angegeben; kommen im Zuge der Straße Objekte vor, so werden sie hervorgehoben.

233. Bestimmung der Höhenlage eines Punktes in einem Schichtenplane (Fig. 163). Die Höhenlage des Punktes p wird dadurch erhalten, daß man den Schnitt der durch p gelegten beliebigen Vertikalebene MN mit der topographischen Fläche, also das Profil, bestimmt, dieses in der Zeichnung in der Umlegung darstellt, worauf der Vertikalabstand p (p) bestimmt und zu der Kote der Trasse MN , um welche die Umlegung vorgenommen wird, addiert wird; in unserem Falle ist nach der Figur die Höhenkote von $p = 60 + 26.5 = 86.5 m$.

Man kann auch so vorgehen, daß man das Terrain zwischen zwei Schichtenlinien als geradlinig annimmt und dann die Höhe, z. B. des Punktes r , über der Schichtenebene 60 durch Zeichnen eines rechtwinkligen Dreiecks ab (b) in der Umlegung durch die Strecke r (r) = $3.5 m$ erhält, woraus dann die gesamte Höhe von r ($60 + 3.5 = 63.5$) sich ergibt.

In vielen Fällen kann die Konstruktion entfallen; eine einfache Schätzung der Lage der Punkte p, r zwischen den benachbarten Schichtenlinien läßt auf ihre Höhe einen guten Rückschluß zu.

Als mechanisches Hilfsmittel kann ein Papier- oder Prismenmaßstab benützt werden; man legt diesen an den zu bestimmenden Punkt q an und dreht und verschiebt ihn um diesen Punkt so lange, bis zwei markante Teilstriche, z. B. 40 und 50 auf die benachbarten Schichtenlinien des Punktes fallen; dann kann man unmittelbar die Anzahl Einheiten ablesen, welche zu der niederen Schichtenlinie zu addieren sind, um die Kote des Punktes q zu erhalten, z. B. $70 + 7.2 = 77.2 m$.

Denken wir uns einen geteilten Kautschukstreifen, wie er im Band II, Nr. 132, zur Konstruktion der Schichtenlinien vorgeführt wurde, so kann man diesen analog benützen wie dort und erhält hier die Höhenkote des betreffenden Punktes.

Zwischenschichtenlinien werden sehr oft bei verschiedenen Konstruktionen, die in Schichtenplänen und auf Karten mit Schichtenlinien auszuführen sind, notwendig.

Hat man z. B. zwischen die Isohypsen 0, 20 und 40 von 5 zu 5 m Schichtenlinien zu interpolieren (Fig. 164), so wird man bei a, b, c, \dots Falllinien ziehen, diese in vier gleiche Teile teilen und

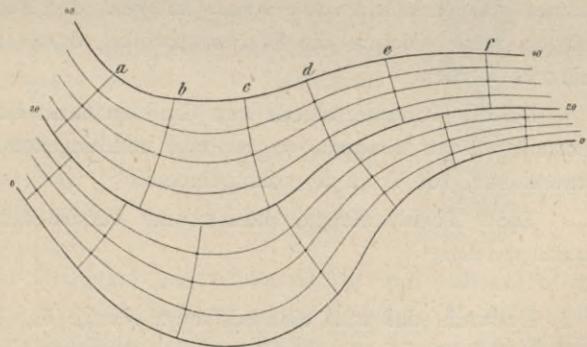


Fig. 164.

erhält dadurch bereits die gesuchten Isohypsenpunkte, welche dann miteinander durch eine kontinuierliche, den gegebenen Schichtenlinien angepaßte Kurve zu verbinden und seitwärts entsprechend zu beschreiben sind.

234. Beleuchtung der Flächen. Nehmen wir die Lichtstrahlenrichtung vertikal an, setzen also geometrische Beleuchtung voraus, so werden horizontale Ebenen die meisten und vertikale Ebenen gar keine Lichtstrahlen empfangen; Ebenen, deren Neigung zur Horizontalebene zwischen 0° und 90° liegt, werden je nach ihrer Lage durch eine entsprechende Lichtmenge beleuchtet erscheinen.

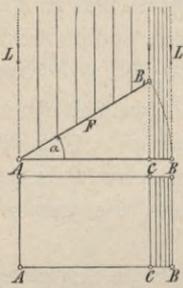


Fig. 165.

Das Rechteck AB von der Fläche F (Fig. 165) empfängt eine bestimmte Lichtmenge: da seine Ebene senkrecht zur Lichtstrahlenrichtung steht, so ist die Intensität der Beleuchtung die größte und das Rechteck wird in der Zeichnung weiß angenommen als Zeichen für die maximale Beleuchtungsstärke. Wird die Ebene des Rechteckes um den Winkel α gehoben, so fallen nicht mehr so viele Lichtstrahlen auf das Rechteck AB_1 auf, es

wird weniger intensiv beleuchtet sein wegen des Lichtverlustes, den das Rechteck erlitten hat.

Das Verhältnis des verlorenen Lichtes zum empfangenen Lichte kann durch die Strecken \overline{CB} und \overline{AC} ausgedrückt werden; wird der Lichtverlust mit Schwarz = s , die Beleuchtung mit Weiß = w ausgedrückt, so besteht das Verhältnis bei dem Böschungswinkel α :

$$s : w = \overline{CB} : \overline{AC} = F(1 - \cos \alpha) : F \cdot \cos \alpha = (1 - \cos \alpha) : \cos \alpha \dots \dots \dots 3)$$

Gestützt auf diese Tatsache, kann man für beliebige Neigungswinkel von Ebenen das Verhältnis von Schwarz zu Weiß, den Ton, angeben und Tonskalen anlegen, nach welchen die Böschungswinkel durch Tonierung zum Ausdrucke gebracht werden.

Da die Tonunterschiede von Grad zu Grad durch das Auge nicht sicher beurteilt werden könnten, so ist man übereingekommen, die Tonabstufungen, Gradationen, von 5 zu 5° vorzunehmen.

Diese Tonabstufungen können mit verschiedenen Mitteln ersichtlich gemacht werden:

1. Dadurch, daß man eine bestimmte Menge Ton, Farbenton, auf eine gleichmäßig beleuchtete, beziehungsweise geneigte Ebene aufsetzt, oder
2. daß man Striche nebeneinandersetzt, wobei die Dicke des Striches dem Lichtverluste und der weiße Zwischenraum zwischen zwei Strichen dem Lichte entspricht.

Im ersteren Falle entstehen Tonskalen (Fig. 166), nach welchen die verschieden geneigten Flächen mit flüssigem Farbentone laviert oder mit Bleistift, Kreide und Wischer geschummert werden; im zweiten Falle, wo die Gradation durch schwarze Striche, Schraffen, und weiße Zwischenräume zum Ausdrucke kommt, werden die Flächen schraffiert.

Während die Lavierung und Schummerung nur daran gebunden ist, daß Flächen gleicher Neigung auch gleichmäßig mit demselben Tone belegt werden, ist es bei Schraffen von Wichtigkeit, ihre Richtung genau zu präzisieren. Es lag nun nahe, die Schraffenrichtung mit der Richtung des größten Abfalles zu identifizieren; und in der Tat war dieser Gedanke, den der sächsische Major Lehmann zur Tat machte, der glücklichste für die Terraindarstellung durch Schraffen. Der Zusammenhang zwischen Horizontalen und Schraffen war gegeben: die Schraffen stehen senkrecht zu den Horizontalen.

Bei der Terraindarstellung für technische Zwecke findet die Lavierung, Schummerung und ebenso das Schraffieren keine Anwendung; das Militär benützt vornehmlich schraffierte Karten. Da aber das Studium von generellen Projekten in vielen Fällen sich auf Militärkarten stützt, die schraffiert sind, so wird es wohl notwendig, über die Darstellung der Terrainformen mittels Schraffen im klaren zu sein.

235. Darstellung des Terrains durch Schraffen. Das erste durchdachte und wissenschaftlich begründete System der Terraindarstellung durch Schraffen dankt man dem sächsischen Major Lehmann; er geht von der Beleuchtungsstärke und dem Grundsatz aus, daß geneigte Flächen durch eine mit der Neigung an Stärke zunehmende Schraffierung kenntlich gemacht werden. Die Schraffen, Bergstriche, werden in der Richtung des größten Falles gelegt, wodurch nicht nur der Grad der Böschung, sondern auch die Form der geneigten Flächen in allen ihren Krümmungen zum Ausdrucke kommt, da sich die Schraffen dem Detail der Formen anpassen.

Lehmann nahm die Gradation von 5° zu 5° vor und betrachtete die Neigung von 45° als Grenze der Gangbarkeit; in der Gleichung 3), welche die Menge des Schwarzen, d. i. die Stärke des Bergstriches zur Menge des Weißen, d. h. zum Zwischenraume bis zum nächsten Striche, ausdrückt, führte Lehmann statt des Kosinus direkt den Böschungswinkel und den Ergänzungswinkel zu 45° ein, so daß die Gleichung 3) übergeht in:

$$s : w = \alpha : (45^\circ - \alpha) \dots \dots \dots 4)$$

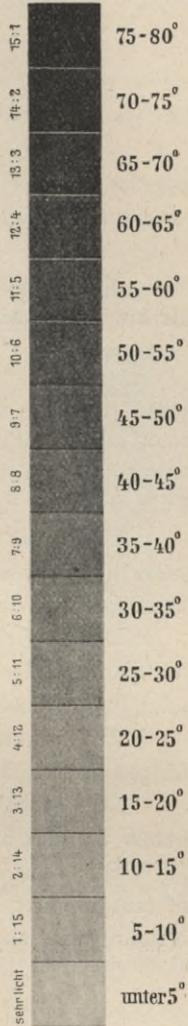


Fig. 166.

Es ergeben sich dann die Verhältnisse:

bei	0°	Neigung	$s:w = 0:45 = 0:9$
„	5°	„	„
„	10°	„	5:40 = 1:8
„	15°	„	10:35 = 2:7
„	20°	„	15:30 = 3:6
„	25°	„	20:25 = 4:5
„	30°	„	25:20 = 5:4
„	35°	„	30:15 = 6:3
„	40°	„	35:10 = 7:2
„	45°	„	40:5 = 8:1
„	45°	„	45:0 = 9:0

Nach diesen Verhältnissen ergibt sich das Intervall zwischen zwei Schraffen als konstant, nämlich:

$$0 + 9 = 1 + 8 = 2 + 7 = \dots = 9 + 0 = 9 \dots \dots \dots 5)$$

und es werden Strich- und Zwischenraumstärke durch Teilung des konstanten Intervalles in 9 gleiche Teile erhalten, wovon bei gegebener Neigung nach der vorstehenden Tabelle die entsprechende Anzahl Teile für die Schraffe und den Zwischenraum zu nehmen ist.

Unter der Voraussetzung, daß auf eine gleiche Fläche einer Zeichnung stets dieselbe Anzahl von Schraffen kommt, läßt sich aus vorstehenden Verhältnissen die Schraffenstärke bestimmen.

Da die Schraffen auf den Horizontalen senkrecht stehen, so haben sich die Horizontalen von selbst als die wichtigsten Hilfslinien für die Schraffenzeichnung ergeben.

Zu Lehmanns Zeiten waren die Höhenmessungen noch nicht so weit fortgeschritten, daß man im stande gewesen wäre, gute Schichtenkarten zu liefern.

Die Militärkarten des k. u. k. Militärgeographischen Institutes in Wien haben die Schraffierung betreffend folgende Vorschriften:

Die Ton- und Gradationsunterschiede werden bei Böschungen von 5° zu 5° ausgedrückt und unter der Voraussetzung, daß alle Flächen über 45° Neigung wie jene mit 45° schraffiert werden, gelten hiefür folgende Verhältnisse:

bei	5°	Neigung	$s:w = 8:72 = 1:9$	}
„	10°	„	13:67	
„	15°	„	18:62	
„	20°	„	23:57	
„	25°	„	28:52	
„	30°	„	33:47	
„	35°	„	38:42	
„	40°	„	43:37	
„	45°	„	48:32 = 3:2	

so daß die Summe der Verhältniszahlen stets 80 ist.

Die Schraffenstärke wächst nach einer arithmetrischen Progression mit der Differenz 5, der Zwischenraum nimmt nach derselben Differenz ab.

Nach den vorstehenden Verhältnissen entfallen auf jede Schraffe samt dem zugehörigen Zwischenraume 80 Teile und zur Durchführung der Schraffierung bestehen zwei Schraffenskalen:

Die Maximal- und Minimalschraffenskala (Fig 167); für die erstere kommen 13 und für die letztere 20 Schraffen auf 1 *cm* Schichtenlinienlänge, welche Grenzen genau einzuhalten sind.

Die Maximalschraffenskala wird bei ausgedehnten, wenig gegliederten Bodenformen verwendet, die wenig Detailformen aufweisen, hingegen kommt

die Minimalschraffenskala bei reich-detaillierten, daher kleinen Formen zur Anwendung.

Böschungen unter 5° werden mit strichlierten Schraffen dargestellt und Flächen unter 1° weiß gelassen; Böschungen über 45° werden gleichmäßig dargestellt wie Neigungen von 45° , da wegen der zu großen Breite der Schraffen eine Unklarheit in der Zeichnung zu befürchten ist.

Der Übergang von einer Schraffenskala zur andern erfolgt allmählich.

Der Böschungswinkel darf nie aus der Schraffenstärke allein bestimmt, sondern es muß stets noch der Zwischenraum herangezogen und das gegenseitige Verhältnis aufgesucht werden.

Für die Schraffendarstellung ist von Wichtigkeit:

1. Die Schraffenrichtung fällt mit jener der Falllinien zusammen und die Schraffen durchsetzen die Schichtenlinien senkrecht, und zwar sollen sie womöglich von ihnen halbiert werden;
2. die Form der Schraffen oder Bergstriche ist vornehmlich rechteckig, trapezförmig oder auch dreieckig, keilförmig;
3. die Länge der Schraffen beträgt je nach den Terrainformen 2 bis 3 *mm*, darf im sanften Terrain nicht über 4 *mm* gehen und wird bei reich differenziertem Terrain mit reichem Detail derart verkürzt, daß weder die geometrische Anordnung noch die Plastik gestört wird;
4. die Legung der Schraffen unter-, beziehungsweise übereinander hat so zu erfolgen, daß jede der unteren nahezu unter dem Zwischenraume je zweier Schraffen der oberen Reihe sich befindet; sie stehen daher voll auf Fug.

Maximal- und Minimalschraffenskala.

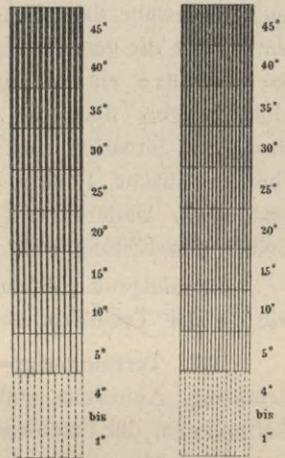


Fig. 167.

§ 20. Technische Terrainlehre.

236. Bei Projektierungen von Straßen und Eisenbahnen, beim Baue von Kanälen u. s. w. braucht der Techniker die genaue Darstellung des Terrains, auf welches er seine Studien stützt.

Soll der Vermessungsingenieur eine naturtreue Darstellung eines größeren Terraintheiles, wie es bei Trassenstudien ein Terrainstreifen in einer Breite von 400 — 600 *m* um die mutmaßliche Trasse ist, liefern, so muß er die Befähigung haben, die aufzunehmenden Formen richtig zu erfassen, ihren Hauptcharakter zu erkennen, alles beirrende Detail aus dem Auge zu lassen und nur jene für die betreffende Terrainform maßgebenden Faktoren in der Natur aufzufinden, die festgelegt werden müssen, um die betreffende Terrainform auch naturwahr darstellen zu können. Die Analyse der Terrainformen in der Natur setzt die genaue Kenntnis der Einzelformen voraus, weshalb die Terrainformenlehre ein wichtiges Kapitel im Studium der Terrainaufnahme bildet; nicht beliebig über die einzelnen Terrainformen zerstreute Punkte sollen in Bezug auf Situation und Höhe festgelegt werden, sondern nur für die Form charakteristische Punkte, die den Verlauf der Schichtenlinien unzweideutig bestimmen. Dadurch tritt eine Ökonomie in der Feldarbeit ein, die auf eine zielbewußte Leitung weist.

Nachfolgend soll nun eine Darstellung der Terrainlehre gegeben werden, wie sie der Techniker bei seinen Arbeiten braucht.

237. **Terraingeripp-, Fall-, Horizontal- und Formenlinien.** Für die Erfassung, Aufnahme und Darstellung der Bodenformen ist das Erkennen der Geripplinien, der Falllinien und der Formenlinien in der topographischen Fläche von allergrößter Bedeutung. Für die vorstehende Einteilung der Terrainlinien ist der Abfluß des Wassers von der Bodenform maßgebend.

Linien der topographischen Fläche, welchen das abfließende Wasser zueilt, heißen Tiefenlinien oder Wassersammler; es sind Rinnen-, Mulden- und Tallinien; hingegen führen Linien, von welchen das Wasser abfließt, den Namen Höhenlinien, Wasserscheider; sie sind Kamm- und Rückenlinien. Wassersammler und Wasserscheider stellen die Terraingeripplinien dar.

Eine notwendige Ergänzung der Geripplinien bilden die Falllinien, Kurven, längs welcher das Wasser, den Gesetzen der Schwere folgend, abfließt; sie stellen den kürzesten Abfall vor.

Linien nun, welche die Falllinien unter rechten Winkeln schneiden, geben Horizontale oder Niveaulinien. An Wasserläufen geringerer Ausdehnung, Rinnsalen, Bächen etc. haben die Horizontalen Spitzen, respektive Rückkehrpunkte, an Stellen, wo Höhen- und Tiefenlinien die Horizontalen schneiden, besitzen die Niveaulinien Maxima der Konvexität, beziehungsweise Konkavität.

Zwei benachbarte Flächenteile der topographischen Fläche, die verschiedene Richtung und Neigung im Raume haben, schneiden sich in Kurven, welche für die Bodenform charakteristisch sind und Formenlinien heißen. Die Formenlinien sind Terrainlinien, in welchen Böschungswechsel eintritt, sie können mit den Geripplinien und auch Fallinien zusammenfallen, oder sie verlaufen so, daß das Wasser über sie hinweggeht.

Beim Anblicke des Terrains im Freien wird man durch richtige Überlegung und Betrachtung der Formen der topographischen Fläche die vorstehend erklärten Linien nach einiger Übung rasch finden können; einige Schwierigkeit bietet wohl das Aufsuchen der Formenlinien, deren Erkennen für die richtige Terrainaufnahme von größter Wichtigkeit ist.

Bei der Aufnahme der Situation sind alle Punkte gegeben, die festgelegt werden sollen; bei der Bestimmung der Terrainformen ist es aber notwendig, nach sorgfältigem Studium der Bodenformen und ihrer charakteristischen Linien die Punkte anzugeben, die auf Bruch-, End- und Schnittpunkten der Geripplinien sowie Fall- und Formenlinien sich befinden.

238. Konvexe und konkave Flächenelemente. Nur selten wird es in der Natur vorkommen, daß selbst ein kleiner Teil der topographischen Fläche gleichmäßige Neigung hat; es findet zumeist Neigungswechsel in der Richtung der Fallinien statt, und zwar unterscheidet man:

- a) konvexe Flächenelemente und Flächenformen, bei welchen der Neigungswinkel von der Höhe nach der Tiefe zunimmt, und
- b) konkave Flächenelemente und Flächenformen, bei welchen der Neigungswinkel nach der Tiefe zu abnimmt.

Orographie.

239. Die Orographie beschäftigt sich mit dem Studium der äußeren Form des Terrainreliefs. Das Terrain kann eben, d. h. ohne Erhebungen und bedeutende relative Höhen, oder aber uneben sein, d. h. abwechselnd mit Erhebungen und Vertiefungen versehen.

Was die Unebenheiten betrifft, so gliedert man sie nach ihrer Gestalt und ihrer relativen Höhe:

1. in unbedeutende Ansteigungen und Senkungen, die nur geringe relative Höhendifferenzen zeigen und keinen ausgeprägten Formencharakter besitzen;
2. in Terrainwellen und Bodenwellen, Terrainfalten, welche unbedeutende, sanft geböschte Erhebungen darstellen, die zumeist eine größere Längenausdehnung haben; die Teile zwischen zwei Wellen heißen Falten.

Fast in jeder Ebene, auf jedem Plateau kommen Terrainwellen vor; der Übergang bei solchen Formen erfolgt allmählich, die Verschneidungen, Formenlinien, lassen sich nicht genau bestimmen;

3. in Hügeln, das sind einzeln stehende oder zusammenhängende Erhebungen, die relativ nicht über 200 *m* ansteigen;

4. in Bergen, die sich über 200 *m* relativ in Bezug auf ihre Umgebung erheben; sie besitzen eine größere Längenausdehnung und ihr Körper weist auch eine reiche Formengliederung auf.

240. Erhebungen und ihre Teile. An jeder Erhebung kann man folgende Hauptteile unterscheiden (Fig. 168):

- a) den Obertheil, d. i. den höchsten Teil der Erhebung,
- b) den Mittelteil, Abhang oder Rumpf und
- c) den Untertheil oder Fuß, jenen Teil der Erhebung, mit welchem sie auf der Basis aufruft.

Anmerkung: Die Terrainformen, welche nachfolgend besprochen werden, finden sich auf Tafel X, beziehungsweise XI in Verbindung mit andern dargestellt und können dort, sowohl in Schraffen als in Schichtenlinien dargestellt, studiert werden.

241. Formen des Obertheiles. 1. Der Scheitel. Der höchste Teil des Obertheiles heißt Scheitel, die Grenzlinie zwischen Ober- und Mittelteil der Saum.

Der Obertheil nimmt die verschiedenartigsten Formen an, die ihren Namen nach der Ausdehnung des Scheitels führen:

- a) Kuppe (Fig. 169), wenn der Scheitel eine kugelartige, mehr oder weniger flache Wölbung zeigt,

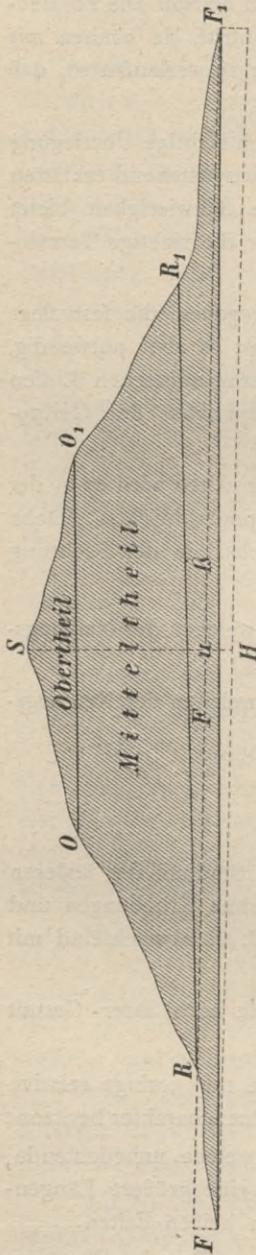


Fig. 168.

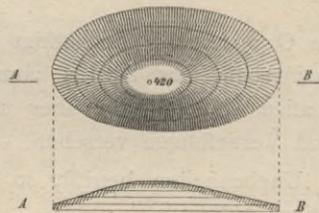


Fig. 169.

die nach allen Seiten einen Abfall besitzt. Je nach ihrer Form werden die Kuppen Kegel, Spitze, Horn etc. genannt. Die Formenlinie ist eine Horizontale, deren Höhenwert jener des Scheitelpunktes gleichkommt. Kommen in den Schichtenlinien Ein- und Ausbuchtung vor, so gehen von der Kuppe Tiefen- und Höhenlinien längs des Bergabhanges.

Der höchste Punkt der Kuppe, ebenso die Formenlinie muß festgelegt werden.

- b) Rücken, wenn der Scheitel sich in die Länge erstreckt, wobei die Bezeichnungen: Buckel, Bergfirst, Schneide, Rückenschneide, Rückengrat, Grat, ... vorkommen. Als höchste Teile von Erhebungen sind die Rücken fast ausnahmslos als horizontal aufzufassen.
- c) Platten, Plateau (Fig. 170), wenn der Scheitel sich in eine Ebene ausweitert, was sowohl bei runden als in die Länge gestreckten Formen vorkommen kann; man unterscheidet daher: Platte, Bergplatte, Kuppenplatte, Rückenplateau, Tafel etc.

Die Formenlinie ist die Begrenzungslinie der Plattenfläche.

Die Schichtenlinien des Oberteiles einer Erhebung erscheinen immer als geschlossene Kurven, die Schraffen laufen radienartig auseinander.

Von einem Plateau gehen gewöhnlich mehrere Höhen-, beziehungsweise Tiefenlinien H_1, H_2, H_3 und T_1, T_2, T_3 nach der Tiefe.

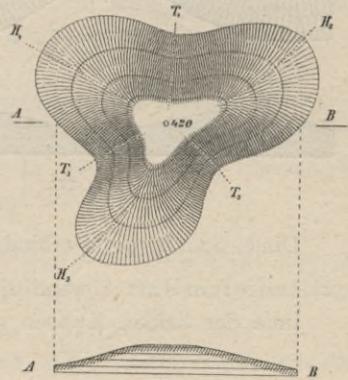


Fig. 170.

Aufzunehmen sind: Die Spitze des Oberteiles, die Höhenlage des Saumes, der die Formenlinie darstellt.

2. Der Sattel. Berge und Bergkuppen kommen selten isoliert vor; sie sind zumeist in Verbindung miteinander anzutreffen und sind dann gruppen- oder reihenweise angeordnet. Die tiefste Stelle in der Verbindung zweier Kuppen heißt Sattel.

Die Sättel sind vom technischen Standpunkte von größter Bedeutung, weil sie in einer Bergkette die bequemsten Übergänge für Straßen etc. bieten.

Der Sattelpunkt s (Fig. 171) stellt den tiefsten Punkt der Höhenlinie SH , beziehungsweise den höchsten Punkt der Tiefenlinie $T_1 S T_2$ vor; der Sattelpunkt liegt stets näher der steileren Kuppe. Die Tiefenlinien gehen vom Sattelpunkte aus und verlaufen in Mulden, die im Sattel ihren Ursprung haben.

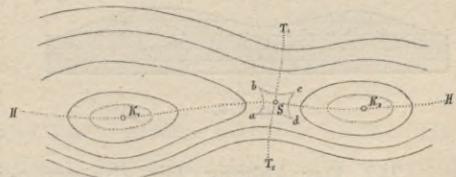


Fig. 171.

Jeder Sattel hat zwei charakteristische Profile: eines in der Richtung der Höhenlinie (Kuppen) und das zweite in der Richtung der Tiefenlinie (Mulden).

Die Formenlinie besteht aus vier gegen den Sattelpunkt konvexen Kurven $abcd$. Ein Sattel ist bestimmt durch den Sattelpunkt, die vier Eckpunkte $abcd$ des Sattelveckes und andere Punkte der Formenlinie.

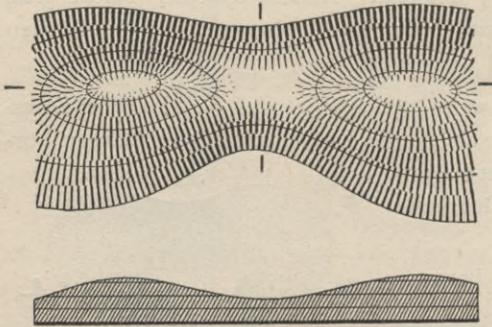


Fig. 172.

Man unterscheidet zwischen:

a) Längensattel (Fig. 172), wenn die längere Dimension des Sattels in die Verbindungslinie der beiden Kuppen fällt.

b) Quersattel (Fig. 173), wenn die kürzere

Dimension in die Verbindung der beiden Kuppen fällt, und

c) schiebem Sattel, wenn die längere Dimension des Sattels die Verbindungslinie der beiden Kuppen schief schneidet.

Bezüglich der Ausführung der Schraffen ersieht man das Notwendige aus den angeführten Figuren.

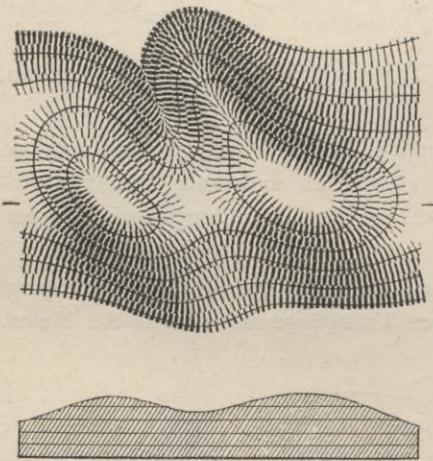


Fig. 173.

3. Der Saum wird durch die Grenzlinie zwischen dem Oberteile und dem Abhänge eines Berges gebildet; er ist nur bei ausgeprägten, markierten Bergformen deutlich kenntlich, was besonders dann der Fall ist, wenn eine auffallende Neigungsverschiedenheit zwischen dem Oberteile und dem Rumpfe besteht. Bei flächem Oberteile und steilen Abdachungen kommt der Saum zum klaren Ausdrucke. Bei Bergformen, deren Abdachungen kontinuierlich konvex oder konkav verlaufen, ist der Saum unbestimmbar.

242. Der Abhang. Die Abhänge zeigen die mannigfaltigsten Formen, sind selten flach, meist vielfach ein- und ausgebogen; mit mehr oder weniger reicher Gliederung und führen daher die verschiedenartigsten Namen. Denkt man sich vom Scheitel bis zum Fuße eine Linie gezogen, so charakterisiert ihre Neigung, ihr Abdachungswinkel, den allgemeinen Abhang. Es sind in Bezug auf die Böschungswinkel der Abhänge die Bezeichnungen gebräuchlich:

Bei durchschnittlicher Neigung der Abdachung von $10^0 \dots$ Lehne: sehrsanft, sanft;

"	"	"	"	"	"	$20^0 \dots$ Hang: mäßig steil;
"	"	"	"	"	"	$40^0 \dots$ Abfall: steil, sehr steil;
"	"	"	"	"	"	$60^0 \dots$ Wand: schroff, und
"	"	"	"	"	"	$90^0 \dots$ Überhang,

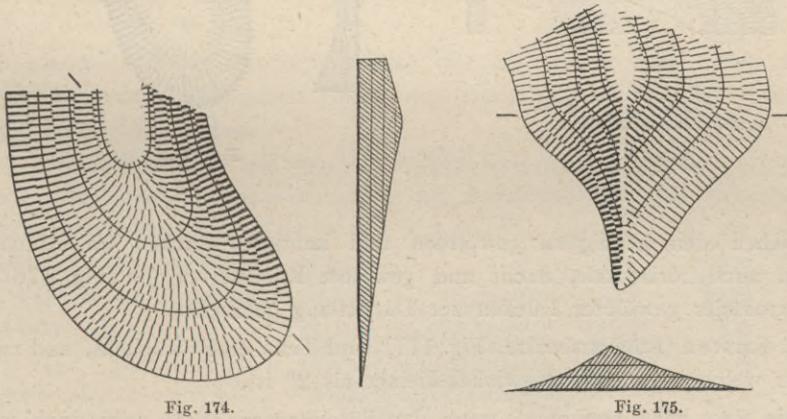
und kann bei den weniger steilen Formen der Hauptcharakter des Abhanges stetig, konvex, konkav, konvex-konkav, absatzförmig und terrassenförmig sein.

Formen des Abhanges. Der Abhang zeigt gewöhnlich einen großen Formenreichtum und es kommen in ihm zwei leicht auffindbare Linien vor, welche die Terrainformen als konvexe oder konkave Formen kennzeichnen; es sind dies:

- a) Die Höhen-, Wasserscheide- oder Rückenlinien, welche über die erhabenen, konvexen Formen verlaufen, und
- b) die Tiefenlinien, Wassersammler, welche in den vertieften Formen des Hanges als Konkavformen anzutreffen sind.

243. Konvexe Formen des Abhanges. Zu diesen zählt man: den Abhangsrücken, die Rasten, die Rückfallkuppe, die Rippen, die Nasen, die Absätze, die Terrainstufen und die schiefe Steile.

1. Der Abhangsrücken (Fig. 174 und 175) kommt zwischen zwei Tiefenlinien des Hanges vor; er enthält eine Höhen- oder Wasserscheidelinie.



An einem Abhangsrücken hat man die Rückenfläche und die beiden Seitenflächen zu unterscheiden. Die Schnittlinien der beiden Seitenflächen mit der Rückenfläche geben die beiden seitlichen Formenlinien des Rückens. Die Seitenflächen sind zumeist steiler als die Rückenfläche. Die Rückenlinie ist eine Falllinie, die Formenlinien sind es nicht.

Für die richtige Darstellung des Abhangsrückens ist erforderlich: die Rückenlinie, die seitlichen Formenlinien durch eine entsprechende Anzahl von

Punkten sowie charakteristische Punkte der Seitenflächen und Punkte der begrenzenden Tiefenlinien.

Nach der Art der Rückenfläche unterscheidet man kantige (Fig. 175) schmale, sehr schmale, normale (Fig. 174) und sehr breite Abhangsrücken.

Die Schichtenlinien zeigen einen kontinuierlichen Verlauf, die Anlagen sind in der Rückenlinie am größten, die Seitenflächen zeigen kleinere Anlagen, wie es nach dem Vorhergesagten sein muß.

Die Rückenlinie kann kontinuierlich verlaufen, sie kann aber auch konvex oder konkav sein oder auch eine Unterbrechung in ihrem Verlaufe zeigen.

Konvexe Rückenlinien zeigen häufig eine Teilung, so daß zwischen ihnen eine Tiefenlinie (Mulde) verläuft; bei konkaven Rückenlinien entstehen beim Beginne der flachen Böschungen Tiefenlinien (Mulden).

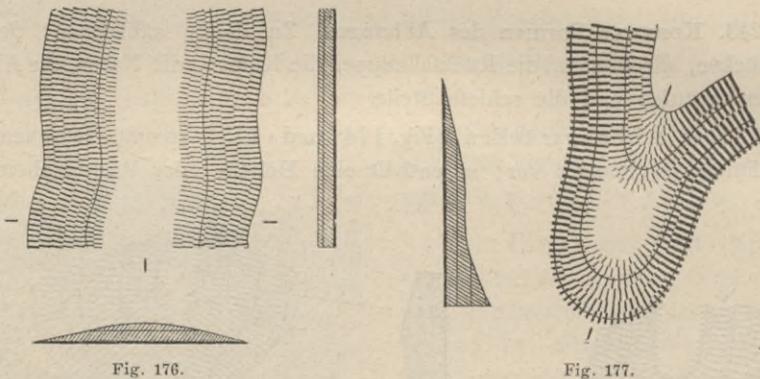


Fig. 176.

Fig. 177.

Neben den geneigten, gewölbten und kantigen Rücken im Abhange kommen auch horizontale, flache und gewölbte Rücken vor; in Fig. 176 ist ein horizontaler gewölbter Rücken zur Darstellung gebracht.

2. Rasten (Rückenabsätze, Fig. 177) sind Teile eines Rückens, und zwar jene, für welche der Neigungswinkel kleiner als 2^0 ist.

Die Rast heißt horizontal, wenn der Böschungswinkel 0 oder doch weit kleiner als 2^0 ist; oder aber die Rast heißt geneigt, wenn der Böschungswinkel etwa 2^0 beträgt.

Die Formenlinie ist bei der horizontalen Rast die horizontale Begrenzungslinie der Rastfläche; für geneigte Rasten ist ein Teil horizontal, während der andere mehr oder minder geneigt ist; im ersteren Falle genügt es, einen Punkt in Bezug auf die Höhe zu bestimmen, im zweiten Falle hingegen müssen wenigstens zwei Punkte ermittelt werden.

3. Rückfallkuppe (Fig. 178). Wenn die Rückenlinie eines Hanges dadurch eine Unterbrechung ihres kontinuierlichen Falles erfährt, daß ein vorübergehendes Ansteigen stattfindet, so ergibt sich eine Rückfallkuppe im Zuge des Abhangsrückens. Vor der Kuppe befindet sich ein Sattel mit einem ausgeprägten Sattelformvierecke, dem Sattelpunkte und den von diesem ausgehenden zwei Tiefenlinien.

Eine gute Aufnahme der Rückfallkuppe erfordert eine sichere Festlegung jener Elemente, welche den vorgelagerten Sattel und die Kuppe selbst unzweideutig bestimmen.

4. Rippen (Fig. 179) sind rückenähnliche Erhebungen im allgemeinen Hange; die Seitenflächen sind zumeist steil, die Rückenlinie schmal oder kantig.

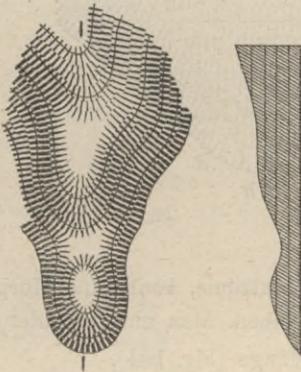


Fig. 178.

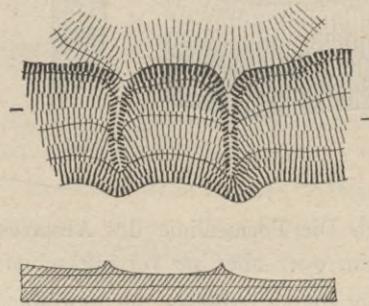


Fig. 179.

Am oberen Teile ist die Rippe durch eine horizontale oder wenig geneigte Fläche mit dem allgemeinen Hange verbunden; am unteren Ende derselben findet steiler Abfall statt.

Die unteren Formenlinien der Rippen sind weder Fall- noch Horizontal-linien; die oberen Formenlinien an der Anschlußfläche der Rippe an den allgemeinen Hang sind neben der scharf markierten Rückenlinie nicht deutlich wahrnehmbar.

Die Schichtenlinien brechen sich unter Winkeln ähnlich wie bei kantigen Rücken.

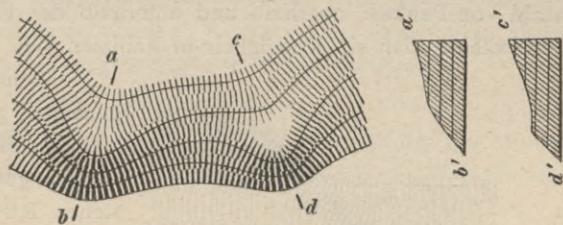


Fig. 180.

Die Rückenlinie der Rippe, die Punkte der oberen und unteren Formenlinie sind aufzunehmen.

5. Nasen (Fig. 180) treten als Vorsprünge im allgemeinen Hange auf, ähnlich wie Rasten den Abhangsrücken unterbrechen. Sie sind im oberen Teile flach oder horizontal, gegen die Seiten und nach unten steil gebösch; man unterscheidet daher horizontal und geneigte Nasen.

Die Formenlinien an der oberen Nasenfläche sind gewöhnlich nicht scharf definiert; zu beiden Seiten der Nase, wo die Verflachung beginnt, gehen abwärts zwei Tiefenlinien, welche Formenlinien darstellen.

In Schichtenplänen werden Nasen daran erkannt, daß eine Schichtenlinie vorspringt, wonach ihr dann andere mit geringer Anlage folgen.

6. Absätze (Fig. 181 und 182) entstehen im allgemeinen Abhänge durch Böschungswechsel; im Schichtenplane sind sie durch den Wechsel der Anlage

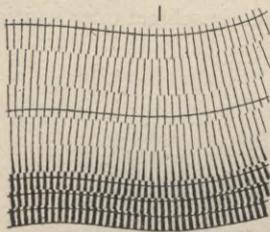


Fig. 181.

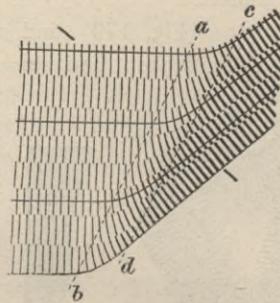


Fig. 182.



markiert. Die Formenlinie des Absatzes, die Absatzlinie, kann eine Horizontal-
linie sein, oder aber sie verläuft schief zu derselben. Man unterscheidet daher:

- α) horizontale Absätze mit gewölbtem Übergange (Fig. 181),
- β) schiefe Absätze mit gewölbtem Übergange (Fig. 182) und
- γ) schiefe Absätze mit kantigem Übergange,

je nachdem die Formenlinie horizontal oder schief ist, wobei im letzteren Falle dieselbe bei kantigem Übergange als eine scharf begrenzte Linie zum Ausdrucke kommt.

Für eine sichere Feststellung des Absatzes ist es notwendig, eine größere Anzahl von Punkten oberhalb und unterhalb der Formenlinien festzulegen und so zu wählen, daß sie womöglich in Falllinien sich befinden.

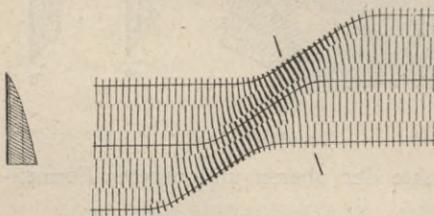


Fig. 183.

Wenn ein horizontaler oder ein geneigter gewölbter Rücken von horizontalen Flächen oder wenig geneigten Böschungen unterbrochen wird, so entstehen Rückenabsätze, die wir als Rasten bereits kennen gelernt haben.

7. Schiefe Steile (Fig. 183) entsteht durch Verbindung eines eingebogenen und eines ausgebogenen schiefen Absatzes; in Schichtenplänen sind sie daran zu erkennen, daß ein- und ausgebogene Schichtenlinien unmittelbar aufeinander folgen; die Übergangsstelle ist eine schiefe Steile.

Die Formenlinien begrenzen die Übergangspartien, an ihnen biegen sich die Schichtenlinien, respektive Falllinien um so schärfer, je größer die Neigung der steilen Flächen zu den benachbarten ist.

Für die Aufnahme ist es von Wichtigkeit, die Formenlinien festzulegen und die Neigung der anschließenden Flächen mit Sicherheit zu bestimmen.

8. Terrainstufen (Fig. 184) sind geböschte stetige Flächen am Hange von geringer relativer Höhe; die Begrenzungslinien der steilen Flächen stellen die Formenlinien vor.

Man unterscheidet horizontale und geneigte Terrainstufen, die nach der Neigung der oberen Formenlinien bezeichnet werden.

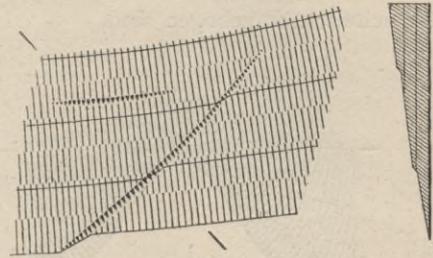


Fig. 184.

Die Darstellung der Terrainstufen selbst erfolgt in Schichtenplänen mittels Schraffen.

Bei Aufnahme der Terrainstufe handelt es sich um die Festlegung der oberen Formenlinie und um die Bestimmung der relativen Höhe der Stufe.

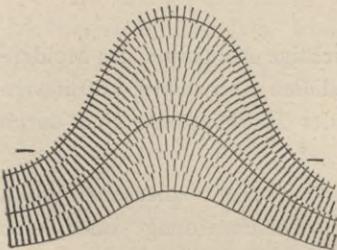


Fig. 185.

244. Konkave Formen des Abhanges.

Zu den vertieften Formen des allgemeinen Abhanges, in welchen Tiefenlinien verlaufen, die als Wassersammler bei Anlage von technischen Objekten eine große Rolle spielen, werden gerechnet: die Mulde, die Verschneidungen und Rinnen, die Wasserrisse, die Racheln, Gruben und Löcher.

1. Die Mulde (Fig. 185, 186 und 187) ist eine Hohlform; sie stellt eine muschelförmige Einbiegung des Hanges vor; die Schichtenlinien bilden Kurven, die gegen die Höhe ausgebogen sind; die Falllinien konvergieren gegen die Tiefenlinie.

Bei einer jeden Mulde hat man zu unterscheiden:

Die Muldensohle, das ist der tiefste Teil in der Längsrichtung der Mulde; sie fällt mit der Tiefenlinie zusammen und in ihr findet der Wasserabfluß statt.

Der Muldenrand, jene Linie, in welcher die obere konkave Muldenfläche mit der konvexen Abhangsform sich schneidet.

Die Muldenwände sind die flachen oder steilen seitlichen Abdachungen der Mulde, während ihre Verbindungsfläche als Muldenstirne bezeichnet wird.

Formenlinien sind der Muldenrand, die Tiefenlinie oder Sohle und die zwei seitlichen Formenlinien als Schnittkurven der Muldenstirn mit den seitlichen Muldenwänden.

Nach der Art der Stirnseite der Mulde hat man:

Flachmulden (Fig. 185), wenn die Stirnfläche flach ist, hingegen Steilmulden (Fig. 186), wenn sie steil ist.

Sehr oft, besonders auf Abhängen mit geringer Gliederung, findet man schwach ausgeprägte Mulden (Fig. 187), bei welchen die Schichtenlinien nur sehr schwach eingebogen sind.

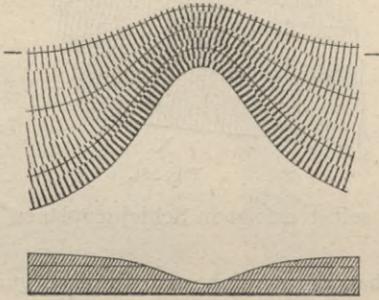


Fig. 186.

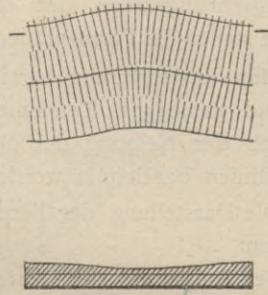


Fig. 187.

Bei der Festlegung von Mulden ist auf die richtige Aufnahme des Muldenrandes und der Tiefenlinien zu achten, die Formenlinien sind richtig aufzufassen und die zumeist ungleichen Neigungsverhältnisse der Muldenwände sind durch entsprechende Messungen festzulegen.

Da die Mulden als wasserzusammenführende Formen anzusehen sind, so geht zumeist der Muldenausgang in eine Verschneidung oder eine Rinne über.

2. Verschneidungen (Fig. 188). Durch den Schnitt zweier Flächen entsteht eine Verschneidung, wenn sie gleichzeitig auch eine Tiefenlinie ist. Die in den Tiefenlinien sich schneidenden Flächen sind selten Ebenen, sondern gegen die Tiefenlinie zu steilere Flächen, die ein- und ausgebogen sein können und auf deren Aufnahme und Darstellung zu achten ist.

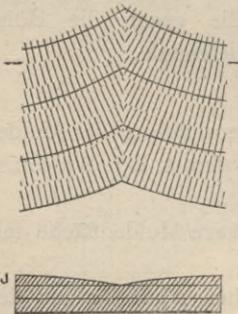


Fig. 188.

Wenn der Neigungswinkel der die Verschneidung bildenden Flächen ein geringer ist, so ist die Schnittlinie (Tiefenlinie) im Terrain kaum erkenntlich.

Die Tiefenlinien sind in der Natur zumeist konkave Linien, Gerade oder Kurven. Die Schichtenlinien schneiden sich unter spitzen Winkeln, sie besitzen an diesen Stellen Spitzen. Die Verschneidungslinie wird in der Zeichnung nicht ausgezogen.

3. Die Rinne (Fig. 189 und 190). Wenn die Seitenflächen zweier sich schneidenden Flächen in der Nähe der Tiefenlinien plötzlich steiler werden, so entsteht eine Rinne. Neben der Tiefenlinie treten noch die Begrenzungs-

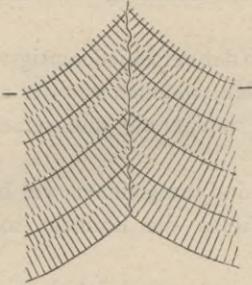


Fig. 189.

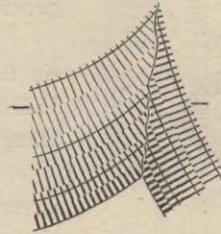


Fig. 190.

linien des raschen Überganges als Formenlinien auf und sind genau festzulegen. Das Rinnsal wird durch eine gewellte Linie dargestellt.

Bei Rinnen schneiden sich die Schichtenlinien unter spitzen Winkeln an der Verschneidungslinie, wobei die Spitze gegen die Höhe gerichtet ist, die Rinnen mögen durch stetige, konvexe oder konkave Flächen gebildet sein.

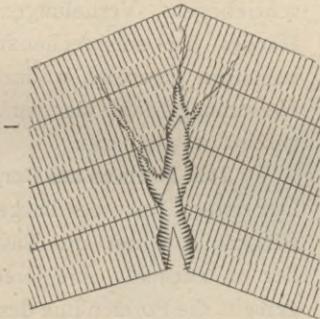


Fig. 191.

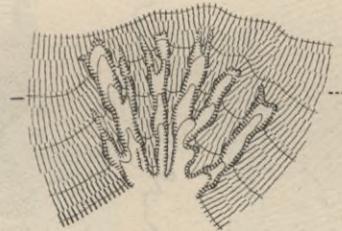
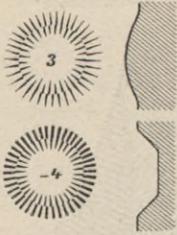


Fig. 192

4. Ein Wasserriß (Fig. 191) ist eine Rinnenform mit steilen Wänden, welche den benachbarten allgemeinen Hang in vielfach gekrümmten Linien schneiden. Die Formenlinien sind dieselben wie bei der Rinne. Die Schichtenlinien zeigen drei Bruchstellen: zwei an der Grenze des allgemeinen Hanges und des Wasserrisses und die dritte in der Verschneidung.

In Schichtenplänen werden Wasserrisse durch Keilschraffen, deren Spitzen nach unten gerichtet sind, dargestellt.

5. Racheln (Fig. 192) sind Wasserrisse am Hange, welche keine Verschnidung zeigen. Die Schichtenlinien sind nicht gebrochen, sondern gebogen, weil die Racheln zumeist eine ausgesprochene Sohle besitzen, welche für die Darstellung der Racheln maßgebend ist.



Die Racheln zeigen den verschiedenartigsten Verlauf; sie führen in Horizontalen, weichen von der allgemeinen Fallrichtung mehr oder weniger ab und setzen sich am Hange oder Fuße fort.

Die Formenlinien sind die gleichen wie bei Wasserrißen. Die relativen Tiefen der Racheln sollen durch Koten markiert sein.

6. Gruben, Trichter und Löcher (Fig. 193); erstere sind langgestreckte, letztere mehr runde Vertiefungen des Hanges; der Rand der Vertiefung stellt die obere Formenlinie vor, während die Sohle die untere Formenlinie begrenzt.

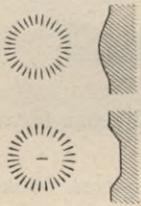


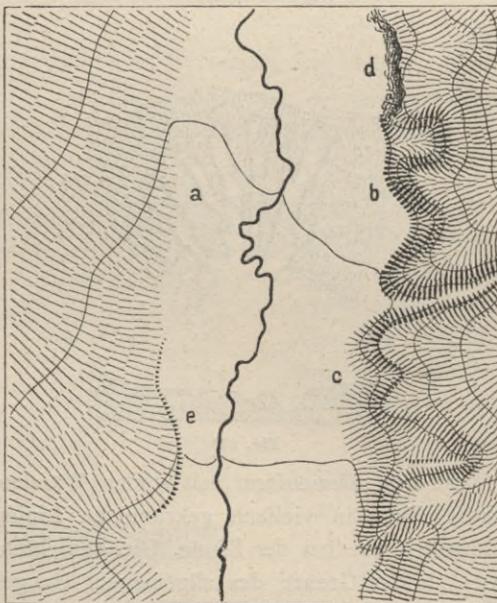
Fig. 193.

Die Aufnahme erfolgt durch die Festlegung der Formenlinien und durch die Angabe der mittleren relativen Tiefe, welche mit dem Zeichen „—“ an der Sohle angesetzt wird.

In Fig. 193 sind den beschriebenen Vertiefungen des Hanges die entsprechenden Erhebungen angereiht, wodurch die Darstellung beider klar vor Augen geführt werden soll.

245. Formen am Bergfuß.

Der untere Teil eines Berges, der Bergfuß, hat mit der Basis, auf der er aufsteht, eine Grenzlinie gemein, die Formenlinie des Fußes oder die Fußlinie. Der Fuß kann mit sanfter und steiler Böschung enden, er verflacht sich oder er sitzt auf; im ersteren Falle kommt die Formenlinie nicht deutlich zum Ausdrucke, im zweiten Falle hingegen ist sie klar ausgeprägt; außerdem spricht man von einem rideauartigen, felsigen Bergfuß oder auch einem solchen mit Uferterrassen (Fig. 194).



Bergfuß

a verflachend, b aufsteigend, c rideauartig, d felsig und e mit Uferterrasse.

Fig. 194.

1. Rideaus (Vorhänge, Fig. 195) treten auf, wenn auf sanft geböschte Terraintteile plötzlich steiler Abfall kommt, wobei die entstandene Terrainform von der Terrainstufe wohl zu unterscheiden ist. Man begegnet ihnen in der Ebene und am allgemeinen Hange.

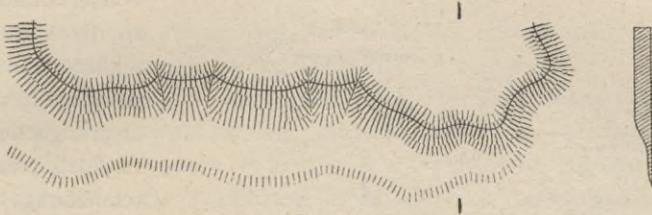


Fig. 195.

Bei Rideaus folgen auf Schichten mit breiter plötzlich solche mit sehr geringer Anlage.

Es können zwei Formenlinien aufgefunden werden, die etwas vor Beginn und nach dem Schlusse des steilen Abfalles mit den Schichtenlinien nahezu parallel verlaufen.

Bei Aufnahme von Rideaus müssen neben den genannten Formenlinien auch noch die Neigungsverhältnisse der Böschungen durch entsprechende Messungen festgelegt sein.

2. Muren (Fig. 196), Schwemm- oder Schuttkegel, entstehen am Bergfuße, an den Ausmündungen von Rinnen, Rissen, Schluchten oder Talgräben und selbst Tälern, die ein starkes Gefälle haben.

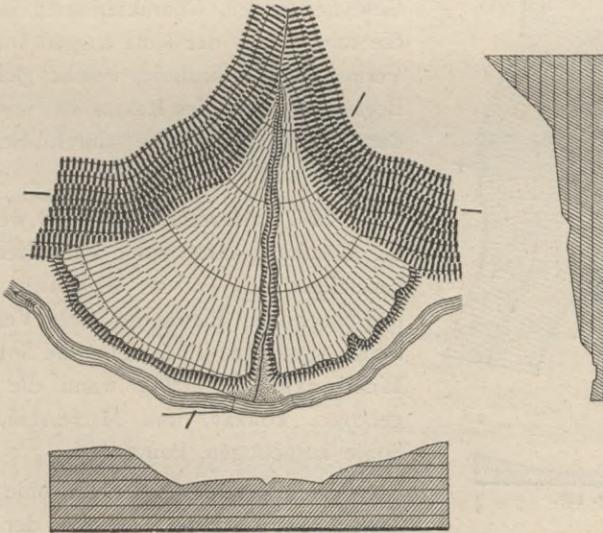
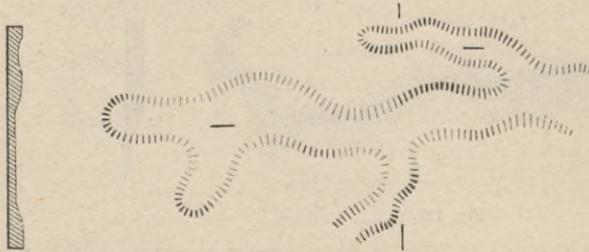


Fig. 196.

Die Mure hat, abgesehen vom Detail, die Gestalt einer Kegelfläche; bei ihr kommen immer zwei Hauptteile zur Darstellung: ein Tiefenraum (Talgraben,

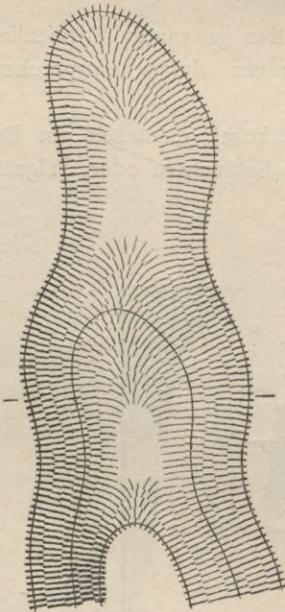
Schlucht, Rinne u. s. w.) und eine Kegelform, die dem Tiefenraume vorgelagert ist.

Die Tiefenlinie teilt sich in zwei Teile, die als Formenlinien die seitliche Begrenzung der Murenfläche bilden; diese Formenlinien sind zumeist als



Wassersammler für die an die Murenfläche anschließenden Bergfußteile aufzufassen, während die ursprüngliche Tiefenlinie als Fortsetzung der Verschneldung, des Tales u. s. w. in einem Graben über die Murenfläche abwärts führt.

Der Graben in der Mitte der Mure kann eine Rinne oder ein Wasserriß sein. Für die Aufnahme ist wichtig: die Festlegung der seitlichen Formenlinien, ihres obersten Schnittpunktes als des Beginnes der Mure, ferner einer entsprechenden Zahl von Höhenangaben auf der Murenfläche selbst sowie des unteren Murenrandes, der oft Rideaus oder Abstürze besitzt.



3. Ravins (Fig. 197) sind Vertiefungen mit mäßig steilen Böschungen; es sind meist trockene Gräben, die früher Betten fließender Gewässer waren. Charakteristisch ist die Tiefe, die mit — und der Kote ausgedrückt wird, der Verlauf der Formenlinie, welche gleichzeitig die Begrenzungslinie des Ravins ist, und die Größe der Böschung, welche durch Schraffen bezeichnet wird.

246. Talformen. Die Täler werden durch die Böschung ihrer Sohle charakterisiert. Man bezeichnet das Tal als Schlucht, wenn die begrenzenden Talwände eine Verschneldung bilden, gerades Tal, wenn die Sohle eben ist, Muldental (Fig 198), wenn die Sohle eingebogen, konkav, und Murental, wenn die Sohle ausgebogen, konvex ist.

Die Begrenzung der Talsohle gegen die Seitenhänge sind die Fußlinien der Berge, die Formenlinien. Die Tiefenlinie des Tales wird durch die Wasserlinie gebildet.

Die Form des Bergfußes hängt mit der Beschaffenheit der Talsohle innig zusammen. Bei geraden Talsohlen und Murentälern kommen aufsitzende Berg-

füße vor, wobei die Schichtenlinien gebrochen oder scharf gebogen sind, bei Muldentälern kommen die Fußlinien, die Formenlinien des Bergfußes, gar nicht zum Ausdrucke.

Der Fall der Talsohle muß durch entsprechende Höhen angegeben und bestimmt sein.

Talverengungen führen den Namen Défilés; die Neigung der Talsohle wird größer, hingegen nimmt sie bei Talerweiterungen ab.

247. Terrainformen im Zusammenhange. Die behandelten Terrainformen kommen in der Natur wohl in den allerseltensten Fällen vereinzelt vor, so z. B. als Loch, Grube, isolierte Erhebung u. s. w., sondern fast immer in Verbindung. Es ist daher die Vorführung einer größeren Terrainpartie mit allen besprochenen Terrainformen und eine sich daran knüpfende Betrachtung von Interesse.

Die Tafel X, welche die Darstellung eines größeren Terrainteiles im Maße 1:25.000 mit den Schichtenhöhen $h=20\text{ m}$ und Hervorhebung der Hunderterschichtenlinien bringt, ist in mehrfacher Beziehung lehrreich, besonders wenn sie in Parallele gezogen wird mit der Tafel XI, welche denselben Terrainteil in Schichtenlinien ohne Schraffen darstellt.

Das Studium der Terrainformen im Zusammenhange führt in erster Linie auf die Feststellung der Höhen- und Tiefenlinien, wodurch man von der Konfiguration der betreffenden Terrainpartie im großen ein orientierendes Bild bekommt.

Die Tiefenlinien, deren Aufsuchen durch das Verfolgen des Wasser-netzes besonders einfach ist, geben ein Bild des allgemeinen Abfalles des Terrains; sie führen durch verschieden gestaltete Täler zu den relativ höchsten Stellen derselben, sie enden in Rinnen, Verschneidungen, Wasserrissen, beziehungsweise Mulden.

Die Höhenlinien, welche über die relativ höchsten Punkte des Terrains, Kuppen und Sättel verlaufen, weiter in zahlreichen Abzweigungen sich auf den Rückenformen des Abhanges verästeln, stellen das Wasserscheidenetz der topographischen Fläche dar. Je nach der Höhenlage und Bedeutung der Wasserscheide für ein Wasserliniennetz spricht man von Wasserscheiden I. und II. Ordnung, Haupt- und sekundären Wasserscheiden u. s. w. Ihre Kenntnis ist für verschiedene Fragen des Technikers von großer Wichtigkeit.

Wenn ein Terrainkomplex eine dominierende Rückenlinie hat, so verläuft sie als Höhenlinie über Rücken und Sättel; von ihr können im allgemeinen Abhänge Nebenrückenlinien verfolgt werden, in welchen Absätze oder Rasten, Nebensättel und Rückfallkuppen sich befinden.

Zwischen je zwei Tiefenlinien, ob sie nun Rinnen oder ausgebildete Täler, groß oder klein sind, läßt sich eine Höhenlinie finden.

Teilt sich eine Rückenlinie in zwei Teile, so liegt zwischen diesen Teilen eine Mulde. Aus einer Mulde, welche zu beiden Seiten eines Sattels oder im allgemeinen Abhange vorkommt, entwickelt sich zumeist eine Verschneidung

oder Rinne, an welche sich oft ein Wasserriß anschließt; nicht selten bildet eine Mure den Abschluß gegen die Talsohle. Ausnahmsweise folgt umgekehrt auf eine Rinne oder einen Wasserriß eine Mulde.

Die Abhänge besitzen zumeist sehr viel Terrainformendetail, das in einem ursächlichen Zusammenhange steht; wir finden Mulden, Rinnen, Wasserrisse, Muren, Rücken, Sättel, Absätze u. s. w.

Aus der übersichtlichen Zusammenstellung aller im Detail besprochenen Terrainformen, welche sich auf der vom k. u. k. Oberst v. Reitzner zusammengestellten Tafel X, respektive XI vorfinden, kann man auch die vorstehend allgemein gehaltene Betrachtung der Terrainformen im Zusammenhange bestätigt finden; ferner bietet auch die Tafel XII mit ihren Proben zu der Original-Militäraufnahme 1:25.000 und zu der Spezialkarte 1:75.000 Gelegenheit, Terrainformen im Zusammenhange zu studieren.

248. Darstellungsarten der topographischen Fläche. Die topographische Fläche kann graphisch zur Darstellung gelangen:

1. durch Schichtenlinien und Höhenkoten, Schichtenplan,
2. durch Schichtenlinien, Höhenkoten und Schraffen,
3. durch Schichtenlinien, Höhenkoten und Schummerung (Lavierung) und
4. durch Schichtenlinien, Höhenkoten, Schraffen und Schummerung (kombinierte Manier).

Ad 1. Diese Terrairdarstellungsart wird fast für alle technischen Arbeiten angewendet; sie hat den großen Vorteil, daß man die Höhenunterschiede beliebiger Punkte leicht finden, respektive konstruktiv bestimmen kann; ferner lassen sich die Neigungsverhältnisse von Geraden und Kurven auf der durch die Schichtenlinien dargestellten topographischen Fläche leicht angeben.

Sind die äquidistanten Schichtenlinien in geringen Schichtenhöhen geführt, so können die einzelnen Terrainformen aus dem Verlaufe der Schichtenlinien erkannt werden, ihr Zusammenhang geht nicht verloren, besonders dann, wenn man in den Schichtenplänen die Wasserscheiden (Rückenlinien) und Wassersammler unterschiedlich hervorheben würde.

Bei großen Schichtenhöhen geht in Schichtenplänen das Terrainformendetail auf dem großen Schichtenmantel verloren, die Differenzierung des Terrains kommt nicht zum Ausdruck.

Ad 2. Diese Darstellungsart hat gegenüber den Schichtenplänen den Vorteil, daß die Terrainoberfläche auch in jenen Teilen, welche zwischen den Schichtenlinien liegen, also auf dem Schichtenmantel sich befinden, wiedergegeben werden kann; diese Art der Darstellung durch Schraffen erleichtert die Vorstellung der Terraingestaltung, doch erfordert sie viel Zeit und ein nicht unbedeutendes Geschick im Zeichnen.

Diese Darstellungsweise ist für Militärkarten gerechtfertigt und ist da lange im Gebrauche, doch wird die Lesbarkeit des Gerippes durch die reiche konventionelle Detailzeichnung und Beschreibung an manchen Stellen sehr stark beeinträchtigt.

Ad 3. Bei dieser Darstellungsart werden die Terrainformen nicht schraffiert, sondern geschummert oder laviert, wobei die Schummerung mit Bleistift und Wischer, die Lavierung mit Tusche und Pinsel ausgeführt wird.

Diese Darstellungsart wirkt plastisch und läßt sich rasch in Bleistift ausführen; doch ist die Terrainwiedergabe schwierig und auch die zeichnerische Ausführung begegnet Schwierigkeiten.

Ad 4. Diese kombinierte Darstellungsmanier vereinigt die Vorteile der erwähnten Darstellungsarten. Die Schichtenlinien und Höhenkoten kommen zur allgemeinen Anwendung; die Schraffierung wird bei Terrainteilen aus Erde, die Schummerung, respektive Lavierung bei Felsen und Gletschern verwendet.

Die österreichische Spezialkarte 1 : 75.000 und die Militär-Originalaufnahme im Maße 1 : 25.000 sind in dieser Manier ausgeführt.

Von großem Vorteile sind Koten, welche auf charakteristischen Punkten der topographischen Fläche: Kuppen, Sätteln u. s. w. vorkommen.

Literatur zu „Graphische Darstellung der Horizontal- und Vertikalnahmen“.

1. Bestimmungen über die Anwendung gleichmäßiger Signaturen für topographische Pläne und geometrische Karten, Berlin 1880.
2. **Cybulz**: Anwendung der Plastik beim Unterricht im Terrainzeichnen, Wien 1861.
3. **Cybulz**: Handbuch der Terrainformenlehre, Wien 1862.
4. **Doll**: Anleitung zum Zeichnen und Ausarbeiten geometrischer Pläne und topographischer Karten, Karlsruhe 1867.
5. **Doll**: Übungsblätter zum Plan- und Terrainzeichnen, Stuttgart 1888.
6. **Hegemann**: Topographisches Zeichnen, Berlin 1901.
7. **Kahle**: Die Aufzeichnung des Geländes beim Krokieren, Berlin 1896.
8. **Lehmann**: Lehre vom Situationszeichnen, Dresden 1820.
9. **Liebhart**: Lehrbuch der Terrainlehre, Terraindarstellung, Wien 1902.
10. Musterblätter zum topographischen Zeichnen nach den Bestimmungen des königl. preuß. Generalstabes, Berlin 1863.
11. **Muszynski und Přihoda**: Die Terrainlehre vom militärischen Standpunkte, Wien 1872.
12. **Penker**: Schattenplastik und Farbenplastik, Wien 1898.
13. **Reitzner**: Die Terrainlehre, Wien 1898.
14. **Roskiewicz**: Terraindarstellung mit Rücksicht auf zu erzielende Einheitskarten, Wien 1875.
15. **Scheda**: Leitfaden zum Gebrauche der Situationszeichenschule, Wien 1854.
16. **Streffleur**: Allgemeine Terrainlehre, Wien 1876.
17. **Streffleur**: Anleitung zur Ausführung der Bergzeichnung, Leipzig 1868.
18. **Waldstätten**: Terrainlehre, Wien 1874.
19. **Wanka**: Gemeinfaßliche Theorie der Terraindarstellung, Wien 1862.
20. **Winckler**: Theoretisch-praktische Anleitung zur Bergsituationszeichnung, Wien 1823.
21. **Zaffauk**: Elemente der angewandten Terrainlehre, Znaim 1869.
22. **Zaffauk**: Populäre Anleitung zum Plan- und Kartenlesen samt Terrainlehre, Wien 1872.
23. **Zaffauk**: Kompendium kartographischer Signaturen, Wien 1878.

Dritte Abteilung.

Tachymetrie. Abstecken von Geraden und Kurvenbogen. Tunnelabsteckungen. Photogrammetrie. Militäraufnahme und Militärkarten. Anwendung der kotierten Projektion auf Trassierungsaufgaben.

Erster Abschnitt.

Die Tachymetrie.

249. Die Tachymetrie oder Tacheometrie (Schnellmeßkunst) ist jenes Verfahren der Festlegung von Raumpunkten, bei welchem von einem Standpunkte aus mit einem und demselben Instrumente die Lage der Raumpunkte gegen die Station vollständig bestimmt werden kann. Sie stützt sich auf die Polarmethode, wobei der Standpunkt O als Pol angenommen wird (Fig. 199) und der Raumpunkt P durch die Länge des Leitstrahles $OP=r$, durch den Horizontalwinkel α und den Vertikalwinkel φ in der Vertikalebene OPP' fixiert wird; die Polarkoordinaten sind α , φ und r .

Die Richtung Ox , auf welche sich der Horizontalwinkel α bezieht, kann eine durch einen in ihr gegebenen Punkt bestimmt sein oder sie ist eine absolute Richtung (magnetischer oder astronomischer Meridian); im letzteren Falle wird der Horizontalwinkel α das magnetische, beziehungsweise astronomische Azimuth sein.

Wie man aus der Figur sieht, stehen die Größen D und H mit r und φ in einem einfachen Zusammenhange, so daß die Lage des Punktes P auch durch seine Horizontalprojektion P' mittels α und D und durch seine Höhenkote H in unzweideutiger Weise bestimmt erscheint.

Die Größen α , D und H heißen die tachymetrischen Elemente zur Bestimmung von Punkten im Raume, D und H die linearen tachymetrischen Elemente.

Instrumente, welche nun dazu dienen, diese Größen α , D und H (α , φ , r) von einem Standpunkte aus zu ermitteln, führen den Namen Tachymeter.

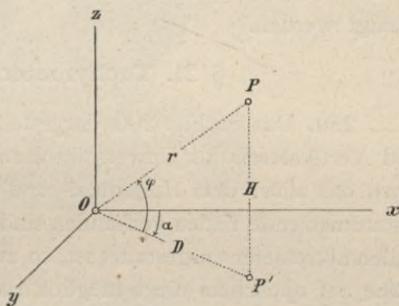


Fig. 199.

Es sind dies Universalinstrumente, welche die Bestimmung der Winkel α und φ unmittelbar gestatten und deren Fernrohre zum optischen Distanzmessen eingerichtet sind, so daß r , beziehungsweise D und H in einfacher Weise und mit geringem Zeitaufwande abgeleitet werden können.

Wir wollen die tachymetrischen Instrumente in folgende fünf Gruppen teilen:

1. Tachymeter älterer Konstruktion, bei welchen in der Ebene des Fadenkreuzes außer dem horizontalen Querfaden, dem Mittelfaden, noch zwei distanzmessende Fäden in gleichem Abstände angebracht sind;
2. Tachymeter neuerer Konstruktion, welche in der Ebene des Fadenkreuzes außer einem fixen Horizontalfaden nur noch einen, und zwar beweglichen Faden besitzen, dessen Abstand vom fixen Faden scharf gemessen werden kann, welche also ein Okular-Filarschraubenmikrometer besitzen;
3. Tachymeter mit einer Sehnen- oder Tangentenschraube;
4. automatische und Reduktions- oder Schiebetachymeter und
5. Tachygraphometer (Meßtischtachymeter).

Die distanzmessenden Fernrohre sind zumeist astronomisch konstruiert und sollen womöglich mit einer anallatischen Linse versehen sein (Band I, Nr. 224).

Nachfolgend sollen die verschiedenen Arten von Tachymetern zuerst in Kürze beschrieben, ihre Prüfung und Berichtigung behandelt und ihr Gebrauch gezeigt werden.

§ 21. Tachymeter älterer Konstruktion.

250. Das in Fig. 200 dargestellte Instrument wird durch den Horizontal- und Vertikalkreis als Universalinstrument charakterisiert; ein Blick ins Fernrohr lehrt, daß außer dem Horizontal- und Vertikalfaden des Fadenkreuzes noch zwei distanzmessende Fäden vorhanden sind, also das Fernrohr mit einem sogenannten Fadenmikrometer ausgestattet ist, so zwar, daß eine Bestimmung der Distanz und Höhe auf optischem Wege möglich ist. Es liegt somit ein Tachymeter älterer Konstruktion vor.

Beschreibung. Der Unterbau des Instrumentes weist einen Dreifuß auf, der eine rasche Zentrierung auf einem Scheibenstative zuläßt; der Horizontalkreis ist zum Repetieren eingerichtet und besitzt einen konischen Limbus von 15 *cm* Durchmesser; der Vertikalkreis hat 14 *cm* im Durchmesser und beide Kreise haben diametrale Nonien mit 20'' Angabe. Kreuzlibellen sind zur Horizontierung des Instrumentes mit der Alhidade in justierbarer Verbindung.

Das Fernrohr ist anallatisch, am Objektiv durchschlagbar, mit 34 *mm* Öffnung und 27maliger Vergrößerung; zur Ausbalancierung ist beim Objektiv eine Metallplatte in passender Weise angebracht, welche zugleich als Stütze für eine Doppellibelle dient, die als Nivellierlibelle Verwendung findet. Das Objektiv ist zum Zwecke der Justierung der Visierlinie zur Fernrohrdrehachse verstellbar; das Okularrohr zeigt auf dem oberen Teile eine einfache Vorrichtung

zur Verdrehung der Fadenkreuzplatte (Band I, Fig. 253), während diametral gegenüber, auf dem unteren Teile der Röhre, eine Fixierschraube vorhanden ist.

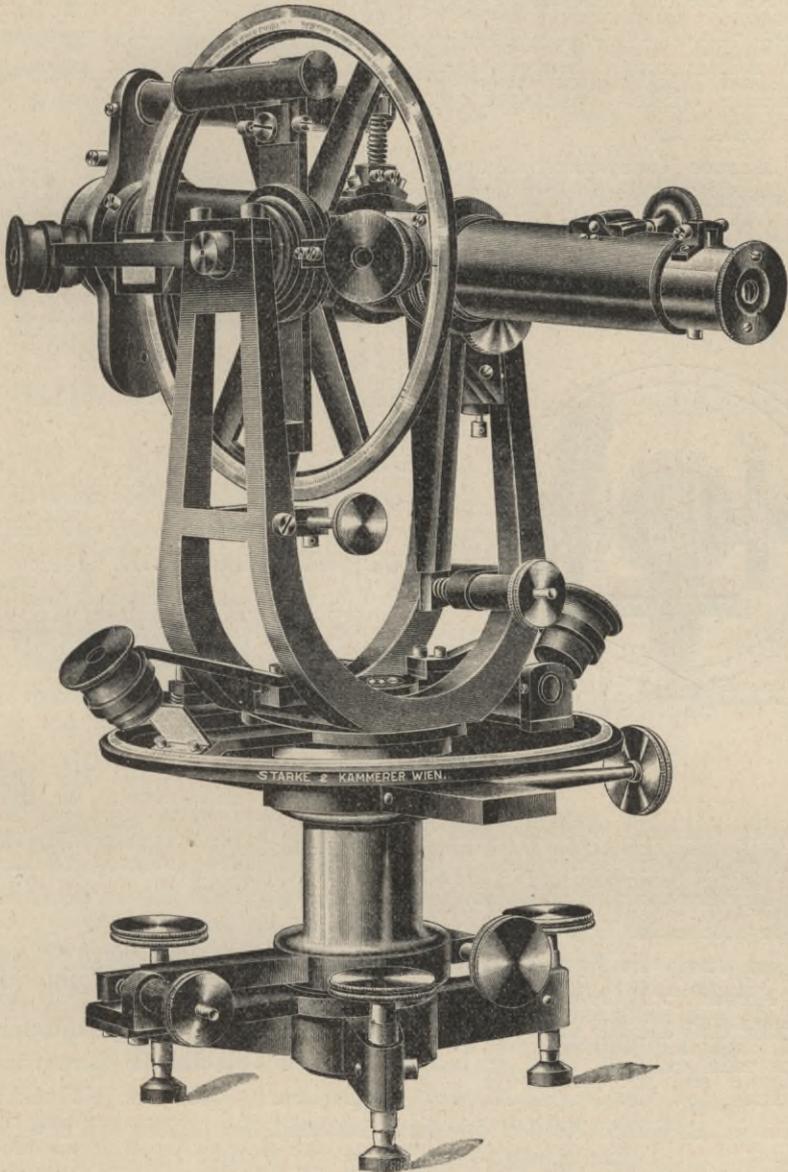


Fig. 200.

($\frac{2}{3}$ der natürlichen Größe.)

Am Vertikalkreise ist eine Libelle, Vertikalkreislibelle, an einem Arme befestigt, die außer einer Feineinstellschraube noch eine eigene Rektifikationschraube besitzt (Band I, Nr. 347).

Zur Überprüfung der Fernrohrdrehachse ist eine Achsenlibelle dem Instrumente beigegeben, die nur bei der Rektifikation zur Verwendung gelangt.

Auf die eine Seitenfläche des vertikalen Fernrohrträgers (Alhidadenträgers) läßt sich eine Orientierungsbusssole in Rohrform (Band I, Nr. 331) aufschrauben, deren Achse mittels KorrekTIONSSchrauben sich parallel oder unter einem bestimmten Winkel (Deklination) zur Visierlinie, respektive vertikalen Visierebene stellen läßt.

Manche Tachymeter, besonders solche aus der ersten Zeit, besitzen auf der Alhidadenplatte P (Fig. 201) neben den Noniusarmen a und b für die Nonien N_1 und N_2 , den Kreuzlibellen l_1 und l_2 und dem Arme c , der mit der Feineinstellschraube F in Verbindung steht, noch eine Bussole B , welche keinen Vollkreis, sondern nur bei 0° und 180° ein einige Grade umfassendes Stück Gradteilung enthält, da sie nur zur Orientierung des Limbusnullpunktes nach Norden dient.

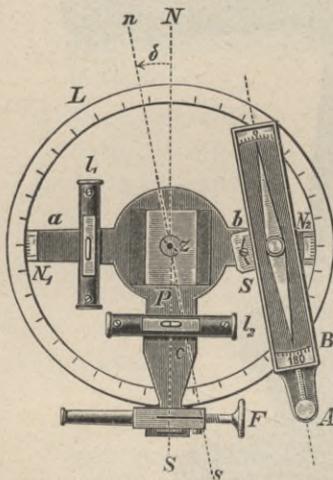


Fig. 201.

Die Bussole ist nämlich so angebracht, daß wenn die Nadel derselben auf Null zeigt, das Fernrohr, dessen Visierlinie in der Zeichnung durch die punktierte Linie SN angedeutet ist, in der Richtung des astronomischen Meridianes sich befindet. Die durch z parallel zu 0° — 180° der Bussole gezogene Gerade ns muß daher mit der Visierlinie des Fernrohres die magnetische Deklination δ einschließen. Damit nun das Instrument für einen bestimmten Ort adjustiert und mit anderen Instrumenten in Übereinstimmung gebracht werden kann, ist das Bussolengehäuse um eine in den Arm b eingelassene Achse drehbar, gestattet mittels des bogenförmigen Schlitzes S einen kleinen Spielraum und wird, wenn es richtig gestellt ist, mit der in diesem Schlitz steckenden Schraube festgeklemmt.

Ist somit die Bussole adjustiert und dreht man die Alhidade, bis der eine Nonius, z. B. Nonius N_1 , am Limbus die Ablesung Null gibt, klemmt Alhidade und Limbus und dreht den letzteren so lange, bis die Nordspitze der Magnetnadel auf Null zeigt, so befindet sich das Fernrohr im astronomischen Meridiane und der Nonius N_1 gibt die Ablesung Null; der Nullpunkt des Limbus ist also nach Norden orientiert. Läßt man den Limbus nun unverändert stehen und stellt die Visur der Reihe nach auf einzelne Objekte ein, so gibt die jedesmalige Ablesung das astronomische Azimut der betreffenden Punkte, und zwar von der Nordseite des Meridianes über Osten gezählt, wenn die Bezifferung der Limbusteilung wie gewöhnlich von links nach rechts fortschreitet. In Betreff der Bussole ist noch zu erwähnen, daß die Nadel durch die Arretiervorrichtung A außer Spiel gesetzt werden kann, was natürlich dann

ist, wenn die Bussole adjustiert und dreht man die Alhidade, bis der eine Nonius, z. B. Nonius N_1 , am Limbus die Ablesung Null gibt, klemmt Alhidade und Limbus und dreht den letzteren so lange, bis die Nordspitze der Magnetnadel auf Null zeigt, so befindet sich das Fernrohr im astronomischen Meridiane und der Nonius N_1 gibt die Ablesung Null; der Nullpunkt des Limbus ist also nach Norden orientiert. Läßt man den Limbus nun unverändert stehen und stellt die Visur der Reihe nach auf einzelne Objekte ein, so gibt die jedesmalige Ablesung das astronomische Azimut der betreffenden Punkte, und zwar von der Nordseite des Meridianes über Osten gezählt, wenn die Bezifferung der Limbusteilung wie gewöhnlich von links nach rechts fortschreitet. In Betreff der Bussole ist noch zu erwähnen, daß die Nadel durch die Arretiervorrichtung A außer Spiel gesetzt werden kann, was natürlich dann

zu geschehen hat, wenn der Limbus orientiert ist und die Winkelmessung beginnt.

In neuerer Zeit ist man von der vorstehend beschriebenen Konstruktion der Orientierungsbussolen abgegangen und verwendet solche in Rohrform, die an der einen vertikalen Ebene des Fernrohrträgers angeschraubt werden; sie lassen eine bequeme Adjustierung zur vertikalen Visierebene des Fernrohres zu (Band I, Nr. 331).

251. Prüfung und Berichtigung. Die vollständige Rektifikation des beschriebenen Instrumentes erfordert:

1. Vorbereitende Rektifikationen von Hilfslibellen, und zwar:
 - a) der Alhidadenlibellen, Kreuzlibellen, nach Band I, Nr. 269,
 - b) der Achsenlibelle des Fernrohres (einer Reiterlibelle) nach Band I, Nr. 271.
2. Die Überprüfung des Instrumentes als Horizontalwinkel-Meßinstrument, und zwar:
 - a) der Fernrohrdrehachse nach Band I, Nr. 281,
 - b) der Visierebene, d. i.
 - α) des Vertikalfadens des Fadenkreuzes und
 - β) der Visierlinie nach Band I, Nr. 282.
3. Die Überprüfung des Instrumentes als Vertikalwinkelmesser und Nivellierinstrument, bestehend aus
 - a) der Berichtigung der Doppellibelle und
 - b) der Justierung der Vertikalkreislibelle nach Band II, Nr. 71. 4.
4. Die Überprüfung der Konstanten der Distanzgleichung nach Band I, Nr. 220, 224.

Anmerkung. Wenn auch auf Grund der angegebenen Hinweise die Rektifikation vollständig durchgeführt werden könnte, so geben wir dennoch nachfolgend im Zusammenhange eine vollständige Darstellung der Prüfung und Berichtigung in allen Punkten.

Ad 1. a) Prüfung und Berichtigung der Alhidadenlibellen. Man stellt die eine der Kreuzlibellen in die Richtung zweier Stellschrauben, wodurch die zweite in die Richtung der dritten zu stehen kommt, und bringt die Blasen durch die Stellschrauben des Dreifußes scharf zum Einspielen; nun dreht man die Alhidade um 180° im Horizonte und korrigiert die sich ergebenden Ausschläge der Libellenblasen zur Hälfte mit den Korrektionsschraubchen der Kreuzlibellen und zur Hälfte durch die Dreifußstellschrauben. Hierauf wird die Alhidade in die ursprüngliche Lage zurückgedreht und eventuelle Ausschläge werden wie früher beseitigt; hat man durch wiederholte Versuche einen konstanten Blasenstand der Libellen erreicht, so sind letztere justiert und die vertikale Umdrehungsachse des Instrumentes steht bei einspielenden Blasen der Kreuzlibellen vertikal.

b) Prüfung und Berichtigung der Achsenlibelle (des Fernrohres). Man bringt die Blasen der nach dem Vorhergehenden rektifizierten Kreuzlibellen durch die Dreifußstellschrauben zum Einspielen und setzt die Achsenlibelle auf die Stahlzapfen der horizontalen Drehungsachse des Fernrohres. Nun bringt man durch Drehung der Alhidade im Horizonte die Achsenlibelle in die Richtung eines Fußes und durch dessen Stellschraube die Blase genau zum Einspielen, hebt die Libelle ab und bringt sie in entgegengesetzter Lage wieder auf die Zapfen der Drehungsachse. Steht hiernach die Blase der Libelle nicht

wieder genau im Spielpunkte, so ist die Abweichung zur Hälfte durch die an der Libelle befindliche, im vertikalen Sinne wirkende Korrektionschraube mit Kreuzlöchern, zur andern Hälfte durch die Dreifußstellschraube zu beseitigen.

Dieses Verfahren wird so lange wiederholt, bis die Libelle nach dem Umsetzen in beiden Lagen einspielt.

Um die Libelle auch in Bezug auf ihre horizontale Richtigkeit (Libellenkreuzung) zu prüfen, muß sie, ohne daß die Füße des Libellengestelles den Kontakt mit den Stahlzapfen verlieren, aus der Mittellage nach beiden Seiten hin- und her- (vor- und rückwärts) geneigt werden. Um dies bewerkstelligen zu können, muß der Stift, welcher den Arm der Libelle hält, herausgeschraubt werden. Ist dies geschehen, so kann die Libelle in der angegebenen Weise hin- und hergeneigt werden. Tritt hiebei eine Verstellung der Blase ein, so muß man durch die im horizontalen Sinne wirkenden Korrektionschraubchen jene Lage des Libellenrohres zu erreichen suchen, bei welcher während des Hin- und Herneigens die Blase ihren Ort nicht mehr verändert. Es ist zu bemerken, daß gerade diese Korrektion, wenn einmal durchgeführt, eine der stabilsten ist, und so dürfte bei guter Behandlung des Instrumentes die Notwendigkeit einer Wiederholung dieser Justierung nur äußerst selten eintreten.

Sollte eine Korrektion der Libelle im horizontalen Sinne erfolgt sein, so muß jedenfalls nachher durch Umsetzen der Libelle nachgesehen werden, ob nicht eine Änderung in der Vertikalkorrektion eingetreten ist.

Ad 2. a) Überprüfung der Fernrohrdrehachse. Die Achsenlibelle muß bereits rektifiziert sein. Die Kreuzlibellen werden durch die Stellschrauben des Dreifußes

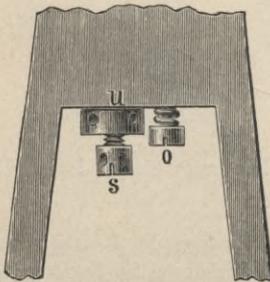


Fig. 202.

scharf zum Einspielen gebracht und die Achsenlibelle auf die Stahlzapfen der Fernrohrdrehachse aufgestellt. Man bringt nun ohne Rücksicht auf die Kreuzlibellen die Blase der in die Richtung eines Fußes gestellten Achsenlibelle durch die Stellschraube dieses Fußes genau zum Einspielen und dreht die Alhidade des Horizontalkreises samt der aufgesetzten Achsenlibelle um 180° ; ist die horizontale Drehungsachse des Fernrohres senkrecht zur vertikalen Drehachse des Instrumentes, so muß die Blase der Achsenlibelle wieder genau einspielen, sonst hat man die Abweichung der Blase zur Hälfte an dem einen Lager der horizontalen Drehungsachse des Fernrohres zu korrigieren (Fig. 202). Dies geschieht durch die mit Kreuzlöchern versehene Stellschraube *s*, und

zwar hebt sich das Lager durch Anziehen und senkt sich durch Lüften dieser Schraube. Die Versicherungsmutter *u* wird hiebei früher gelüftet, während an *o* nichts gerührt wird.

Sind die ad 1. a), b) und ad 2. a) behandelten Adjustierungen gehörig durchgeführt, so wird bei einspielenden Blasen der Kreuzlibellen die vertikale Umdrehungsachse des Instrumentes (Alhidadenachse) vertikal stehen und die Fernrohrdrehachse senkrecht zur ersteren, also horizontal sein.

b) Die Rektifikation der Visierebene umfaßt:

a) die Prüfung des Vertikalfadens. Bei einspielenden Blasen der Kreuzlibellen bringt man den Vertikalfaden beiläufig in der Mitte des Gesichtsfeldes genau zur Koinzidenz mit dem Bilde eines gut pointierbaren Objektes nahe im Horizonte. Wird nun bei fest angezogenen Klemmen des Horizontalkreises das Fernrohr ab- und aufwärts bewegt, so daß das anvisierte Objekt das ganze Gesichtsfeld durchläuft, so soll bei dieser Bewegung der Vertikalfaden das Bild stets vollkommen decken. Zeigt sich am oberen und unteren Rande des Gesichtsfeldes eine Abweichung gegen die Stellung in der Mitte, so muß die Fadenplatte gegen das Okularrohr entsprechend gedreht werden. Zu dem Ende ist das Schraubchen *s*, durch welches

das Diaphragma mit dem Okularrohre in feste Verbindung gebracht ist (Fig. 203), etwas zu lüften, worauf die notwendige Drehung des Diaphragmas durch die Schraubchen s_1 und s_2 bewirkt wird. Hierauf wird die das Diaphragma mit dem Okularrohre verbindende Kopfschraube s wieder gehörig fest angezogen.

Es ist nunmehr bei horizontal aufgestelltem Instrumente und horizontaler Visur die durch den Vertikalfaden und die Visierlinie gebildete Visierebene eine vertikale Ebene; damit diese auch bei geneigten Lagen der Visierlinie vertikal stehe, muß

β) die Prüfung der Visierlinie vorgenommen werden. Die Untersuchung wird am sichersten durch Feststellung des vierfachen Kollimationsfehlers (Band I, Nr. 282. *b*) III. Methode) geführt.

Man stellt das Instrument auf möglichst horizontalem Terrain auf und bringt die Blasen der Kreuzlibellen zum Einspielen. In einer Entfernung von mindestens 100 *m* wird bei *A* ein Absteckstab vertikal fixiert und der Vertikalfaden genau auf das Bild desselben eingestellt. Man schlägt das Fernrohr durch

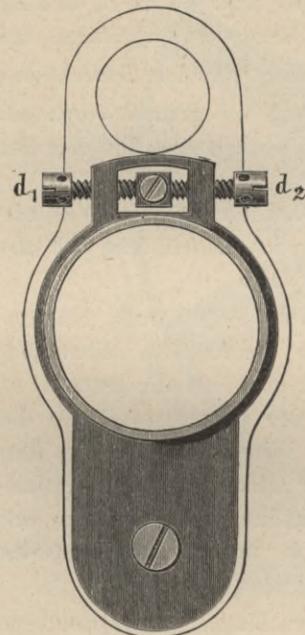


Fig. 204.

(2/3 der natürlichen Größe.)

und läßt wieder in etwa 100 *m* Entfernung bei *B* einen zweiten Absteckstab genau in der Visur des vertikalen Fadens anbringen, dreht das Instrument um seine vertikale Achse, bis die Visur über den vertikalen Faden wieder den ersten Absteckstab bei *A* trifft. Wird hierauf das Fernrohr abermals durchgeschlagen, so muß, wenn die Visierlinie mit der Fernrohrdrehachse einen Richtungsunterschied von 90° besitzt, der Vertikalfaden den zweiten Absteckstab treffen. Eine etwaige Abweichung zeigt den vierfachen Fehler und es ist daher der vierte Teil derselben durch Verstellung der Visierlinie zu korrigieren. Im I. Bande, Nr. 282. *b*), wurde der Kreuzungspunkt des Fadenkreuzes als ein

Endpunkt der Visierlinie verschoben; bei Tachymetern ist es aber praktischer, wenn der Objektivmittelpunkt eine Verstellung erfährt, was mit den Korrektionschraubchen d_1 und d_2 (Fig. 204) bewerkstelligt werden kann. Diese zwei Schraubchen sind jedesmal fest anzuziehen. Der beschriebene Vorgang ist so lange zu wiederholen, bis nach dem zweiten Durchschlagen der vertikale Faden genau den zweiten Absteckstab trifft.

Statt des ersten Absteckstabes wird sich beinahe immer ein nahezu im Horizonte des Instrumentes liegendes, gut pointierbares Objekt auffinden lassen, das verwendet werden kann.

Das genaue Einrichten des zweiten Stabes kann man in vorteilhafter Weise umgehen, indem man (Fig. 205) auf dem Absteckstabe ein Kartontäfelchen mit einer Zentimeterteilung etwa in Instrumenthöhe anbringt und den Stand des vertikalen Fadens an dieser Teilung einschätzt. Man weist dann den zweiten Absteckstab nur so genau ein, daß die Visur beiläufig die Mitte des Täfelchens trifft.

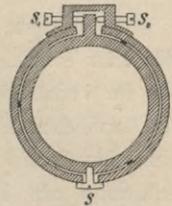


Fig. 203.

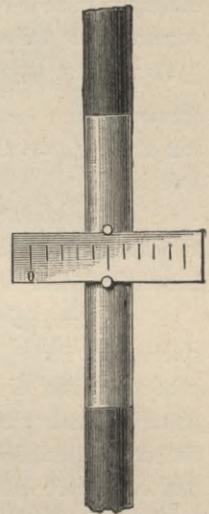


Fig. 205.

Ad 3. a) Justierung der Doppellibelle. Die Visierebene, welche durch den horizontalen Mittelfaden und den Objektivmittelpunkt bestimmt ist, soll bei einspielender Doppellibelle am Fernrohre eine horizontale Lage haben.

Mit dem Fernrohre des horizontal gestellten Instrumentes visiert man auf eine etwa 100 *m* entfernte, in Zentimeter geteilte Distanzlatte, bringt durch die im vertikalen Sinne wirkende Feineinstellschraube des Fernrohres die Blase der auf dem Fernrohre befindlichen Doppellibelle scharf zum Einspielen und liest den Stand L_1 des horizontalen Mittelfadens an der Latte ab, dreht die Alhidade um 180° im Horizonte um die vertikale Umdrehungsachse, schlägt das Fernrohr durch, visiert neuerdings nach der Latte, bringt die Blase der Doppellibelle wieder genau zum Einspielen und liest abermals den Stand L_2 des Mittelfadens an der Latte ab. Ist $L_1 = L_2$, so ist bei einspielender Blase der Doppellibelle die durch den horizontalen Mittelfaden und den Objektivmittelpunkt bestimmte Visierebene im Raume horizontal. Sind jedoch L_1 und L_2 voneinander verschieden, so stellt man die Visur über den Mittelfaden auf $L = \frac{L_1 + L_2}{2}$ ein und bringt die Blase der Doppellibelle durch ihre Korrektschraube zum scharfen Einspielen. Eine Wiederholung des ganzen Vorganges soll dann $L_1 = L_2$ ergeben; die Probe wird so lange wiederholt, bis dies der Fall ist.

b) Justierung der Vertikalkreislibelle. Bei einspielender Vertikalkreislibelle und horizontaler Lage der Visierebene des Mittelfadens soll die Lesung an den Nonien des Vertikalkreises 0° — 180° sein.

Da bereits nach der unter 3. a) durchgeführten Adjustierung bei einspielender Blase der Fernrohrlibelle die über den horizontalen Mittelfaden gehende Visur eine horizontale Lage erhält, so hat man, um die unter 3. b) gestellte Bedingung zu erfüllen, bei dieser Lage des Fernrohres durch die auf den Alhidadenarm des Vertikalkreises wirkende Feinschraube *M* (Fig. 206) den Nullstrich des Nonius I auf den Nullstrich der Gradteilung des Vertikalkreises zu stellen und hierauf die Blase der Vertikalkreislibelle *L* durch entsprechende Verstellung der Korrektschraubchen c_1 und c_2 zum Einspielen zu bringen.

Jedesmal wird nun bei gleichzeitig einspielenden Blasen der Doppellibelle des Fernrohres und der Vertikalkreislibelle die Lesung am Nonius I Null Grad sein. Der Nonius II ist schon an und für sich so angeordnet, daß in der normalen Lage des Fernrohres (Doppellibelle oben) bei eingestelltem Nullstriche des Nonius I auf Null der Gradeinteilung auch der Nullstrich des Nonius II genau auf 180° dieser Teilung einsteht.

Ist eine Fernrohrlibelle nicht vorhanden, so kann man sich die nötige horizontale Visur entweder mit Hilfe des bekannten Höhenunterschiedes zweier Punkte (mit Benützung der Instrumenthöhe und der leicht berechenbaren Lattenhöhe) oder auch durch Messung eines Vertikalwinkels in beiden Fernrohrlagen verschaffen (Band I, Nr. 345).

Ad 4. Überprüfung der Konstanten der Distanz-, respektive der Höhengleichung. In der Distanz- und Höhengleichung erscheint die Multiplikationskonstante $C = \frac{f}{B}$, worin B eine unveränderliche Größe ist, weil die distanzmessenden Fäden in einem konstanten Abstände fixiert sind; soll nun C einen bestimmten Wert erhalten, z. B. $C = 100, 200$, so läßt sich dies nur durch Änderung der Äquivalentbrennweite des Objectives und der anallatischen

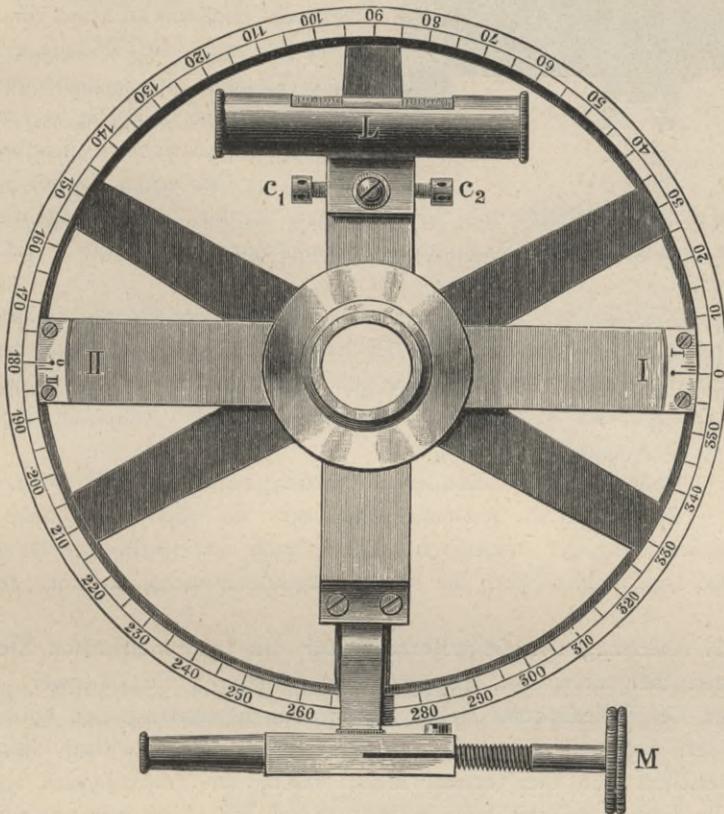


Fig. 206.

($\frac{1}{2}$ der natürlichen Größe.)

Linse erreichen, was durch eine kleine Verschiebung der letzteren bewerkstelligt werden kann.

Man bestimmt nach der in Band I, Nr. 220 und 224 angegebenen Weise die Konstante C der Distanzgleichung; wird für die Konstante ein Betrag gefunden, der von dem gewünschten, z. B. $C = 100$, abweicht, so wird eine Justierung der anallatischen Linse vorzunehmen sein.

Diese Linse kann von außen in der Richtung der optischen Achse des Fernrohres durch folgende Einrichtung verschoben und fixiert werden. Auf der

Okularseite des Fernrohres, näher an der Fernrohrdrehachse, treten durch zwei Schlitze im Rohre die Kopschrauben 1 und 2 (Fig. 207) hervor, mit welchen der Träger der anallatischen Linse im Fernrohre fixiert ist. Werden diese

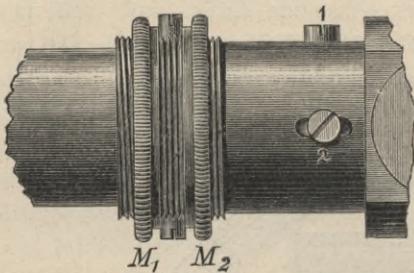


Fig. 207.

Schrauben etwas gelüftet, so kann die anallatische Linse durch die zwei auf dem Rohrgewinde gehenden Muttern M_1 und M_2 verschoben werden. Wird M_1 gelüftet und M_2 angezogen, so entfernt sich die anallatische Linse vom Objektiv. Da nun die Konstante C von dem Abstände der anallatischen Linse vom Objektiv abhängig ist, so bietet die eben beschriebene Einrichtung ein Mittel zur Justierung von C . Ist C zu

klein, so muß M_1 gelüftet und M_2 angezogen werden und umgekehrt. Nach beendeter Justierung von C sind die Fixierungsschrauben 1 und 2 wieder fest anzuziehen.

Da durch die Verschiebung und neuerliche Fixierung der anallatischen Linse eine kleine Veränderung in der Lage der optischen Achse des Fernrohres eintreten kann, so soll, strenge genommen, die Adjustierung von C bei der Rektifikation des Instrumentes unmittelbar vor der Justierung der Visierlinie [2. b) β] eingeschaltet werden.

Es unterliegt keiner besonderen Schwierigkeit, den Wert von $C = 100$ bis auf ± 0.1 genau zu bestimmen und auf die oben angegebene Weise durch Verschiebung der anallatischen Linse auch am Instrumente zu fixieren. Ein solche Genauigkeit wird für alle gewöhnlichen tachymetrischen Arbeiten genügen.

252. Ableitung der Grundformeln für die tachymetrischen Elemente.

Die älteren tachymetrischen Instrumente sind dadurch charakterisiert, daß in der Ebene des Fadenkreuzes neben den beiden distanzmessenden horizontalen Parallelfäden noch ein Mittelfaden vorhanden ist; auf die Visur des Mittelfadens beziehen sich die Vertikalwinkel, welche am Vertikalkreise abgelesen werden. Ist die Vertikalkreislibelle justiert, so muß beim Einspielen derselben und bei der Lesung Null auf dem Vertikalkreise die Visur des Mittelfadens im Raume eine horizontale Lage annehmen, wenn der Vertikalkreis nach Horizontdistanzen, hingegen eine vertikale, wenn er nach Zenithdistanzen beschrieben ist.

Denken wir uns ein tachymetrisches Instrument mit Porroschem Fernrohre, dessen Vertikalkreis eine Bezifferung nach Horizontdistanzen trägt und das in allen Punkten rektifiziert ist, über dem Punkte A (Fig. 208) zentrisch und horizontal aufgestellt und ferner im Punkte B eine Distanzlatte vertikal gehalten; richtet man nun das distanzmessende Fernrohr derart auf die Latte, daß der Stand des oberen, mittleren und unteren Fadens bei O , M und U an der Latte abgelesen werden kann, wird ferner bei einspielender Vertikalkreislibelle aus

den Noniuslesungen des Vertikalkreises der Vertikalwinkel φ bestimmt und die Instrumenthöhe J direkt gemessen, so folgen aus den Lattenlesungen O, M, U zuerst die Lattenstücke:

$$\begin{aligned} L_1 &= O - M \text{ und } L = O - U, \\ L_2 &= M - U \end{aligned}$$

ferner aus den Dreiecken:

$$\left. \begin{aligned} \triangle C O M . . . L_1 : s &= \sin \alpha : \cos (\varphi + \alpha) \\ \triangle C U M . . . L_2 : s &= \sin \alpha : \cos (\varphi - \alpha) \end{aligned} \right\}$$

woraus sich die schiefe Distanz

$$\begin{aligned} s &= L_1 \frac{\cos (\varphi + \alpha)}{\sin \alpha} = L_1 \left(\frac{\cos \varphi}{\operatorname{tg} \alpha} - \sin \varphi \right) = \frac{L_1}{\operatorname{tg} \alpha} \left(\cos \varphi - \sin \varphi \operatorname{tg} \alpha \right) \\ s &= L_2 \frac{\cos (\varphi - \alpha)}{\sin \alpha} = L_2 \left(\frac{\cos \varphi}{\operatorname{tg} \alpha} + \sin \varphi \right) = \frac{L_2}{\operatorname{tg} \alpha} \left(\cos \varphi + \sin \varphi \operatorname{tg} \alpha \right) \end{aligned} \quad \dots \dots 1)$$

ergibt.

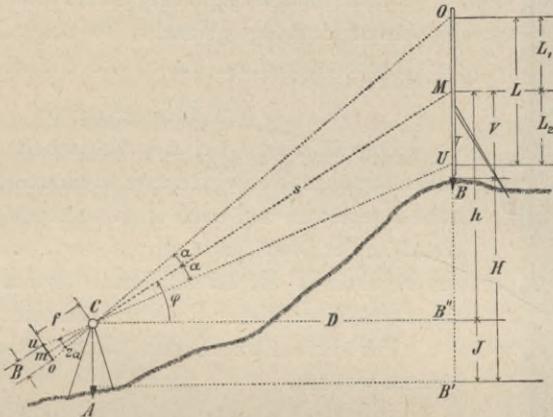


Fig. 208.

Für den distanzmessenden Winkel α rechnet sich aus dem Dreiecke $C u m$, wenn B den Abstand der parallelen Distanzfäden und $m C = f$ die Äquivalentbrennweite des Objektivsystems bedeuten:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{B}{2f} = \frac{1}{2\left(\frac{f}{B}\right)} = \frac{1}{2C} \quad \dots \dots 2)$$

Nach Einführung dieses Wertes in die Gleichungen 1) hat man:

$$\begin{aligned} s &= 2 C L_1 \left(\cos \varphi - \frac{\sin \varphi}{2 C} \right) \\ s &= 2 C L_2 \left(\cos \varphi + \frac{\sin \varphi}{2 C} \right) \end{aligned}$$

und durch Addition:

$$2 s = 2 C (L_1 + L_2) \cos \varphi - (L_1 - L_2) \sin \varphi \quad \dots \dots 3)$$

Da bei nicht zu großem Vertikalwinkel φ $L_1 = L_2$ und unter allen Umständen $L_1 + L_2 = L$ gesetzt werden kann, so folgt:

$$s = C L \cos \varphi \quad \dots \dots 4)$$

Aus dem rechtwinkligen Dreiecke MCB' rechnet sich nun:

$$\left. \begin{aligned} D &= s \cos \varphi = CL \cos^2 \varphi \\ h &= s \sin \varphi = CL \sin \varphi \cos \varphi = \frac{C}{2} L \sin 2 \varphi \\ H &= h + (J - V) \end{aligned} \right\} ; \dots \dots \dots \text{I)}$$

somit werden, da zumeist $C=100$ gewählt wird, die linearen tachymetrischen Elemente:

$$\left. \begin{aligned} D &= 100 L \cos^2 \varphi \\ H &= 100 L \sin \varphi \cos \varphi + (J - V) \end{aligned} \right\} ; \dots \dots \dots \text{II)}$$

wozu noch α , d. h. das am Horizontalkreise des Instrumentes bestimmte Azimut der vertikalen Visierebene nach dem signalisierten und eingestellten Punkte B hinzukommt.

Wird in der Gleichung für H die Zielhöhe gleich der Instrumenthöhe gemacht, so folgt $J - V = 0$ und der Höhenunterschied nimmt die einfache Form an:

$$H = 100 L \sin \varphi \cos \varphi.$$

Dieß läßt sich bei der Feldarbeit in den meisten Fällen ausführen; es wird zuerst wie immer die Instrumenthöhe J gemessen und nach eingestelltem Vertikalfaden auf die Mitte der Distanzlatte mittels der Feineinstellschraube des Fernrohres der Mittelfaden in vertikaler Richtung so lange geändert, bis er auf die Instrumenthöhe zeigt.

Für diese Zwecke sind auch eigene Latten konstruiert worden.

Die Latte von Hilscher (Fig. 209), bei Starke & Kammerer in Wien ausgeführt, ist eine zusammenklappbare Nivellierlatte, deren Teilung so geändert wurde, daß der Nullpunkt nicht mit dem Fußpunkte der Latte zusammenfällt, sondern 1.20 m über demselben liegt; vom Nullpunkte geht nach dem Fußpunkte eine mit $+$ und nach oben eine mit $-$ bezeichnete Teilung. An der Rückseite der Latte ist eine Ausziehvorrichtung mit einer Teilung und mit einer Klemmung vorhanden, durch welche der Abstand des Nullpunktes der Latte vom Bodenpunkte geregelt werden kann.

Indem man nun den Nullpunkt der Latte auf J einstellt, wird, da $V=J$ ist, das Glied $J - V = 0$ und die Höhe einfach $H = 100 L \sin \varphi \cos \varphi$.

Falls die Meereshöhe der Station vorliegt, so läßt sich mit der Hilscherschen Latte auch die Reduktion aller gemessenen Höhendifferenzen auf eine runde Meereshöhe erleichtern. Ist H_0 die Meereshöhe der Station, z. B. 526.684 m , so wäre die absolute Höhe eines bestimmten Punktes

$$\begin{aligned} H_0 &= 100 L \sin \varphi \cos \varphi + (J - V) + 526.684 = \\ &100 L \sin \varphi \cos \varphi + 526.000 + (J - V + 0.684); \end{aligned}$$

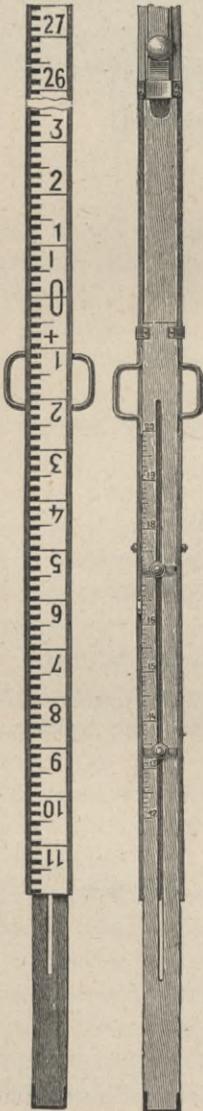


Fig. 209.
($1/15$ der natürlichen Größe.)

indem man den Nullpunkt der Latte auf $J + 0.684 m = J +$ Dezimalbruch einstellt, erhält man die Höhendifferenz reduziert auf 526'000.

Sollte im bedeckten Terrain der Nullpunkt der Latte verdeckt sein, so gibt die Lesung des Mittelfadens am sichtbaren Teile der Latte den Ausdruck ($J - V +$ Dezimalbruch) direkt mit dem Vorzeichen, welches an der Latte abgelesen wird.

Die Latte leistet auch bei Flächennivellements gute Dienste, indem sie die Höhenunterschiede (Gefälle) der einzelnen anvisierten Punkte vom Instrumentstandpunkte direkt ohne jede Rechnung und mit richtigem Vorzeichen liefert.

Wenn das Fernrohr des Tachymeters keine anallatische Linse besitzt, so erfahren die abgeleiteten Formeln für D und h insoferne eine geringe Modifikation, als zu denselben noch additionelle Glieder c_1 und c_2 , welche die exzentrische Lage des anallatischen Punktes des gewöhnlichen Fernrohres berücksichtigen, hinzutreten; wir erhalten (Band I, Nr. 223):

$$\left. \begin{aligned} D &= 100 L \cos^2 \varphi + c_1 = 100 L \cos^2 \varphi + c \cos \varphi = 100 L \cos^2 \varphi + (e+f) \cos \varphi \\ h &= 100 L \sin \varphi \cos \varphi + c_2 = 100 L \sin \varphi \cos \varphi + c \sin \varphi = 100 L \sin \varphi \cos \varphi + (e+f) \sin \varphi \\ H &= h + (J - V) \end{aligned} \right\} \text{ . III}$$

Die Universal-Nivellierinstrumente Band II, Nr. 61 u. s. w.), welche gleichfalls für die tachymetrische Festlegung benützt werden können, besitzen zum großen Teile gewöhnliche astronomische Fernrohre, bei welchen die vorstehenden Formeln anzuwenden sind.

253. Vorgang bei der Festlegung von Detailpunkten. Das Instrument ist zentrisch und horizontal über der Station aufgestellt. Nun wird die Instrumenthöhe J ermittelt, zu welchem Zwecke dem Instrumente ein Meßband beigegeben ist; es wird mit seinem Endringe in den Haken an der Zentralschraube eingehängt, nach unten gespannt und die dem Kopfe des Pflockes entsprechende Ablesung am Bande gemacht und notiert. Diese ist J , da die Bandteilung so angeordnet ist, daß der Nullpunkt der Fernrohrdrehachse entspricht.

Hierauf muß die Anschlußvisur nach einem Stand- oder Fixpunkte gemacht werden, auf welchen die Polarachse festgelegt erscheint, oder aber es wird, falls eine Orientierungsbussolle vorhanden ist, bei eingestellter Bussolle auf $0^0 - 180^0$ die Lesung am Horizontalkreise ermittelt. In diesem Falle können für die einzelnen Detailpunkte die magnetischen Azimute aus den Horizontalkreislesungen erhalten werden.

Ist der Limbus verstellbar, so kann bei Einstellung der Bussolle auf $0^0 - 180^0$ die Lesung am Limbus $0^0 0'$ gemacht werden, so daß die folgenden Lesungen am Horizontalkreise für die einzelnen Detailpunkte unmittelbar die magnetischen Azimute geben.

Die Distanzlatte ist in dem zu bestimmenden Punkte mit der vertikal stehenden Ebene dem Instrumente zugekehrt.

Der Beobachter stellt den Vertikalfaden in die Richtung der Latte, klemmt die Alhidade und stellt mittels der Feineinstellschraube der Alhidade den Vertikal-

faden auf die geometrische Längachse der Latte ein; das Fernrohr wird nun im vertikalen Sinne mit freier Hand so lange bewegt, bis der Mittelfaden in die Nähe eines passenden Teilstriches der Latte kommt, worauf das Fernrohr geklemmt wird; mit Hilfe der Feineinstellschraube wird der Mittelfaden auf einen Meterstrich oder auf die Instrumenthöhe J oder aber beliebig gestellt, wobei der obere und untere distanzmessende Faden die Latte noch treffen müssen. Nun werden die Lesungen an der Latte gemacht m , o und u . Wenn die Kontrolle, nämlich $m = \frac{o+u}{2}$, stimmt und die kontrollierten Lesungen im Manuale eingetragen sind, so kann der Figurant abgedankt werden.

Nun wird der Nonius I des Horizontalkreises abgelesen, hierauf die Vertikalkeislibelle durch die am Noniusarme wirkende Feineinstellschraube zum Einspielen gebracht, der Vertikalwinkel φ abgelesen und beide Kreislesungen ins Manuale eingetragen.

Dadurch ist der Punkt 1 erledigt und es kann die Festlegung des folgenden Punktes 2 vorgenommen werden.

In vielen Fällen, besonders wenn die Aufnahme sehr rasch ausgeführt werden soll, werden zwei oder mehrere Figuranten mit Latten die festzulegenden Punkte nach Anordnung eines leitenden Ingenieurs signalisieren, so daß in der Tat in rascher Aufeinanderfolge die Festlegung der Detailpunkte vor sich gehen kann.

Der Ingenieur, der die Figuranten außer auf Parzellengrenzpunkte, Weglinien u. s. w. an charakteristische Punkte des Terrains dirigiert, braucht eine gute Handskizze, in welche die gewählten Punkte eingetragen und fortlaufend numeriert werden.

Beim Instrumente werden die aufgenommenen Punkte vom Protokollführer fortlaufend numeriert, wobei zur Kontrolle Fünfer- und Zehnerzeichen vereinbart werden.

Bei Detailpunkten ist von Wichtigkeit zu merken, daß am Horizontal- und Vertikalkeise nur ein Nonius abgelesen wird. Bei Anschlußpunkten ist es gut, beide Nonien abzulesen.

Instrument Nr. 2406.

Manuale der

Station			Anvisierter		Kreis				Latte		
Name	Höhe	J	An-	Detail-	horizontal		vertikal		$m = V$	o	u
			schluß-	Punkt							
	m	m			0	1	0	1	m	m	m
II	616·87	1·25	G		197	05					
				54	266	37	— 10	42	1·250	1·615	0·884
				55	257	29	— 1	42	1·361	2·271	0·452
				56	272	45	+ 2	44	1·250	1·971	0·530

§ 22. Tachymeter neuerer Konstruktion.

254. Bei neueren Tachymeterkonstruktionen gibt es keinen Mittelfaden, sondern nur zwei Parallelfäden, den oberen und den unteren Distanzfaden; die Vertikalwinkel beziehen sich zumeist auf die Visur des unteren Fadens; allerdings ist hiedurch eine Exzentrizität der Visierebene des fixen Fadens bedingt, welche aber ohne merklichen Einfluß ist. (Siehe Prof. Schell, Die Tachymetrie, Wien 1880.) Wenn die justierte Vertikalkreislibelle einspielt und die Lesungen an den Nullpunkten der Nonien des Vertikalkreises Null geben, so ist bei Beschreibung des Vertikalkreises nach Horizontdistanzen die Visierebene des unteren Fadens horizontal.

Der untere Parallelfaden ist unbeweglich, während der obere mit einer Mikrometerschraube bewegt und die Größe der Bewegung scharf gemessen werden kann; es ist also in der Ebene des Fadenkreuzes ein Schraubenmikrometer angebracht. Die Bildgröße B wird durch die Ganghöhe g und die Anzahl der Umdrehungen des Schraubenkopfes S^r bestimmt, nämlich:

$$B = g \cdot S^r \dots \dots \dots 5)$$

Von den Tachymetern neuerer Konstruktion, die also durch ein Okular-Filarschraubenmikrometer charakterisiert sind, sollen näher behandelt werden:

1. das logarithmische Universaltachymeter nach Patent Tichý & Starke sowie
2. das Tachymeter nach Patent Tichý & Starke.

255. Das logarithmische Universaltachymeter nach Patent Tichý & Starke ist in Fig. 210 abgebildet. Dieses Instrument besitzt gegenüber dem Tachymeter älterer Konstruktion (Fig. 200) einige Unterschiede:

1. Das Fernrohr ist mit einem Okular-Filarschraubenmikrometer versehen, welches die Einrichtung besitzt, daß

Detailpunkte.

Beobachter: N. N.

L	$J-V$	h	Tachymetrische Elemente				Anmerkung
			α	D	H	Meeres- höhe	
m	m	m	$^{\circ}$ $'$	m	m	m	
						616.87	
0.731	0.0	- 13.3	69 32	70.6	- 13.3	603.6	
1.819	- 0.1	- 5.4	60 24	181.7	- 5.5	611.4	
1.441	0.0	+ 6.9	75 40	143.8	+ 6.9	623.8	

a) der Fadenabstand bei einer beliebigen Schraubenstellung fixiert werden kann (trigonometrische Methoden), also auch für den Fall,

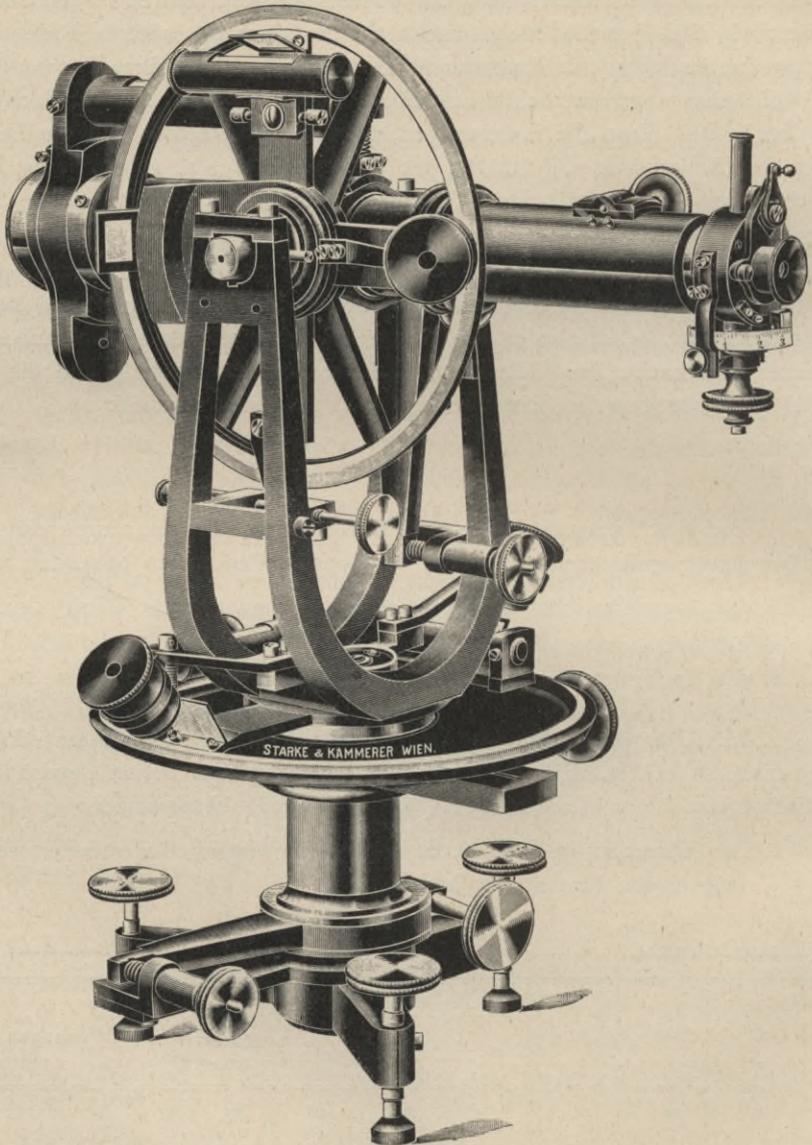


Fig. 210.

($\frac{2}{3}$ der natürlichen Größe.)

wenn die Konstante der Distanzgleichung $C = 100$ wird, wobei $S' = 5$ ist (Reichenbachsche Methode);

- b) dem beweglichen Faden eine beschränkte Bewegung erteilt werden kann, die an einem Bogen, dem logarithmischen Segmente, abgelesen wird, so daß das Mikrometer nach Band I, Nr. 227, bei Benützung der logarithmischen Latte die Bestimmung von $\log 100 L$ gestattet (logarithmische Methode).
2. Das Fernrohr ist mit zwei orthoskopischen Okularen von 27 und 35 maliger Vergrößerung ausgestattet.

Versuche haben ergeben, daß die Beobachtungen mit gegen die distanzmessenden Fäden zentrischen Okularen bessere Resultate liefern, und es wurde deshalb am Instrumente eine Einrichtung getroffen, welche es möglich macht, das Okular schnell und ohne Erschütterung des Fernrohres zentrisch zu dem in Benützung stehenden Distanzfaden einstellen zu können. Mittels eines Exzenters, welches durch ein Knöpfchen dirigiert wird, läßt sich nämlich eine sanfte Bewegung des Okulares auf- und abwärts bewirken.

3. Der Horizontal- und Vertikalkreis sind sexagesimal geteilt und die Grade dezimal unterteilt; die Nonien geben 0.01 Grad.
4. Der Vertikalkreis besitzt neben der erwähnten Teilung, die an den diametralen Nonien I und II abgelesen werden kann und den Vertikalkreiswinkel φ gibt, eine zweite Teilung, die am Alhidadenarme der Vertikalkreislibelle an einem Indexe abgelesen wird; sie gibt die logarithmische Reduktion a der schiefen Distanz auf den Horizont (Nr. 262).

256. Die Prüfung und Berichtigung des Instrumentes erfordert:

1. vorbereitende Arbeiten:
 - a) Rektifikation der Kreuzlibellen (Band I, Nr. 269);
 - b) Rektifikation der Achsenlibelle (Band I, Nr. 271).
2. Rektifikation des Instrumentes als Theodolit:
 - a) Überprüfung der Fernrohrdrehachse nach Band I, Nr. 281,
 - b) Überprüfung der Visierebene, d. i.
 - α) des Vertikalfadens des Fadenkreuzes und
 - β) der Visierlinie nach Band I, Nr. 282.
3. Rektifikation des Instrumentes als Vertikalwinkelmesser und Nivellierinstrument:
 - a) Berichtigung der Doppellibelle,
 - b) Justierung der Vertikalkreislibelle nach Band II, Nr. 71. 4.
4. Adjustierung des Okular-Filarschraubenmikrometers, umfassend:
 - a) Justierung des Stellungsfehlers der Trommel und
 - b) Verifikation der Konstanten der Distanzgleichung.

Die Rektifikation der ersten drei Punkte wird genau nach Band II, Nr. 251, vorgenommen; es bleibt daher nur mehr die Überprüfung des Okular-Filarschraubenmikrometers zu besprechen.

Ad 4. Das Mikrometer soll folgenden Bedingungen genügen:

- a) Bei jeder beliebigen Stellung des beweglichen Fadens sollen zwischen diesem und dem fixen Faden genau die abgelesene Zahl S^r Schraubengänge enthalten sein, oder wenn der fixe und bewegliche Faden übereinander, d. h. zur Koinzidenz gebracht werden, so soll die Lesung 0·000 sein.
- b) Für die Einstellung des beweglichen Fadens auf $5\cdot000^r$ soll der distanzmessende Winkel $\alpha = 2062\cdot65''$ betragen, beziehungsweise die Konstante der Distanzgleichung $C = 100$ sein.

Da das Mikrometer bei der Montierung des Instrumentes von Seite des mechanischen Institutes mit größter Sorgfalt justiert wird und die gegenseitige Verbindung der einzelnen Teile eine sichere und dauernde ist, so kann wohl angenommen werden, daß die Richtigkeit des Mikrometers lange Zeit erhalten bleibt oder aber der Stellungsfehler ein ganz minimaler sein wird.

Was die unter *b*) aufgestellte Bedingung betrifft, so wird diese aus vorstehenden Gründen auch sehr nahe erfüllt sein; eine eventuelle Prüfung und Berichtigung kann nach Band II, Nr. 251, 4., durchgeführt werden.

257. Tachymeter nach Patent Tichý & Starke. (Fig. 211.) Dieses Instrument zeigt in seinem Baue gegenüber den früher besprochenen Tachymetern einige Abweichungen; diese sind:

1. Das Fernrohr ist mit einem Okular-Filarschraubenmikrometer versehen, in welchem ein Zählrechen und neben dem unteren fixen Faden noch ein beweglicher vorhanden ist; die Bildgröße kann in bekannter Weise gemessen, beziehungsweise der Schraubenkopf kann auf eine beliebige Bildgröße eingestellt werden.

Sehr oft werden statt der Fäden, bei welchen die Möglichkeit der Deformation oder des Reißens vorhanden ist, Metallspitzen im Mikrometer angebracht, in welchem Falle aber wegen sicherer Pointierung die Lattenteilung mit roter Farbe ausgeführt werden muß.

2. Der Vertikalkreis (Fig. 212) enthält neben einer Gradteilung zwei tachymetrische Teilungen, die *D*- und *H*-Teilung, durch welche es mit dem Okular-Filarschraubenmikrometer möglich wird, die Horizontaldistanz *D* und die Höhe *h* ohne Rechnung, ohne Tafeln oder Rechenschieber direkt an der Latte abzulesen. Der Alhidadenarm mit der Vertikalkreislibelle trägt einen Nonius, an dessen Nullpunkt der Vertikalwinkel abgelesen wird.
3. Die Teilung des Horizontalkreises und auch eines Teiles des Vertikalkreises ist nach sexagesimalem Systeme ausgeführt, doch ist der Grad dezimal untergeteilt und der Nonius hat als Angabe $0\cdot01^0$.

258. Die Prüfung und Berichtigung des Instrumentes umfaßt:

1. Vorbereitende Arbeiten:

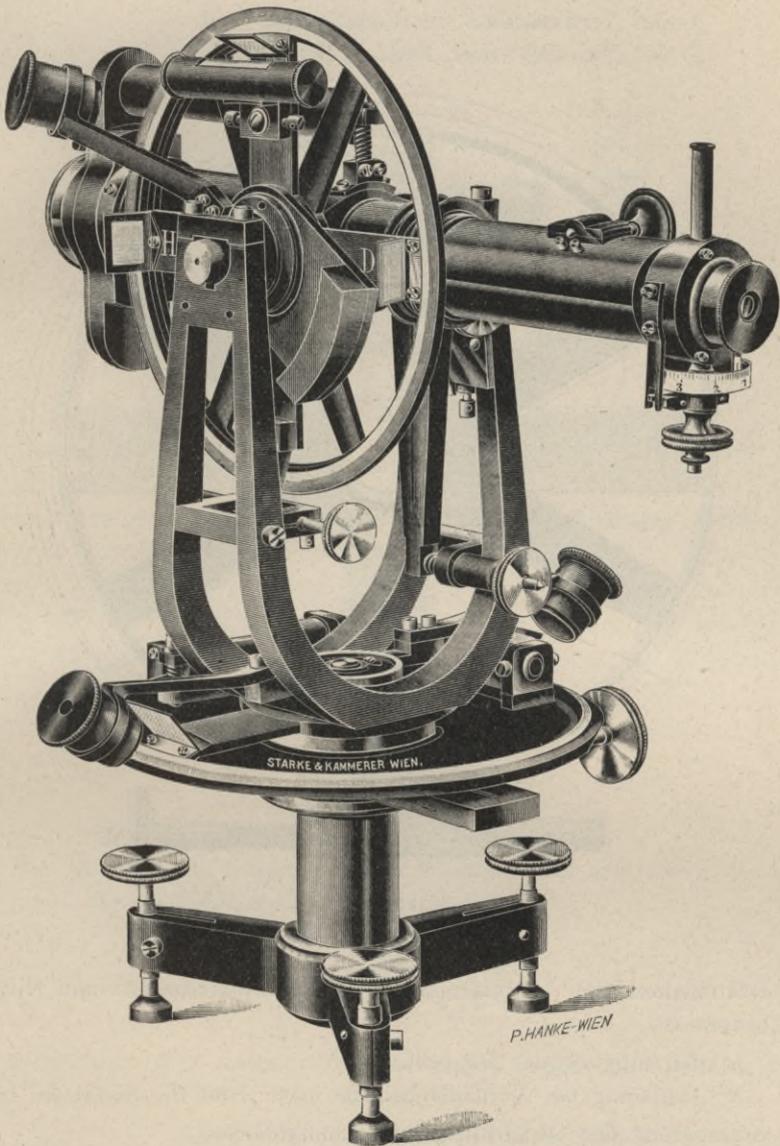


Fig. 211.

($\frac{2}{3}$ der natürlichen GröÙe.)

- a) Rektifikation der Kreuzlibellen Band I, Nr. 269),
 b) Rektifikation der Achsenlibelle Band I, Nr. 271).

2. Rektifikation des Instrumentes als Theodolit, bestehend aus der

- a) Überprüfung der Fernrohrdrehachse nach Band I, Nr. 281,
- b) Überprüfung der Visierebene, d. i.
 - α) des Vertikalfadens des Fadenkreuzes und
 - β) der Visierlinie nach Band I, Nr. 282.

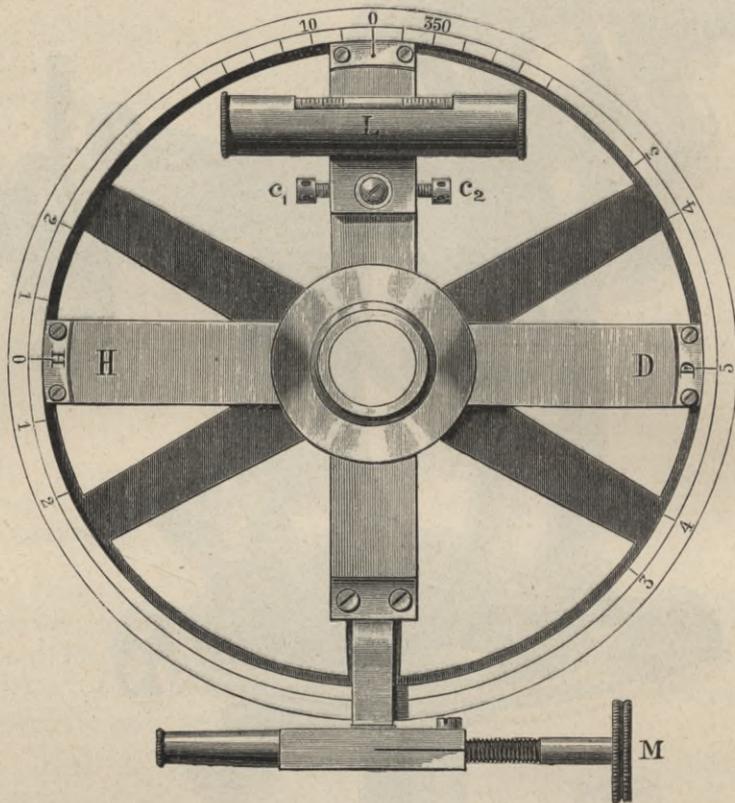


Fig. 212.

($\frac{1}{3}$ der natürlichen Größe.)

3. Rektifikation des Instrumentes als Vertikalwinkelmesser und Nivellierinstrument:

- a) Berichtigung der Doppellibelle,
 - b) Justierung der Vertikalkreislibelle nach Band II, Nr. 71. 4.
4. Adjustierung des Okular-Filarschraubenmikrometers:
- a) Justierung des Stellungsfehler der Trommel und
 - b) Verifikation der Konstanten der Distanzgleichung.

Die Prüfung und Berichtigung der ersten drei Punkte wird genau nach Band II, Nr. 251, ausgeführt; bezüglich des Punktes 4. gilt das in Band II, Nr. 256, Gesagte.

259. **Ableitung der Grundformeln für die tachymetrischen Elemente.**
 Befindet sich in *A* zentrisch und horizontal aufgestellt das Tachymeter, in *B* die Latte (Fig. 213), ist φ der Vertikalwinkel, *L* der Lattenabschnitt, *J* die

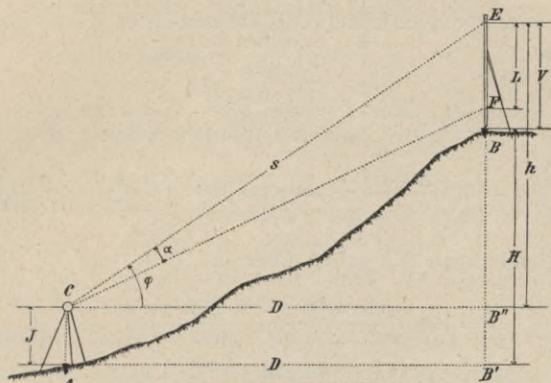


Fig. 213.

Instrumentenhöhe, α der distanzmessende Winkel, *V* die Zielhöhe, *s* die schiefe Distanz, so folgt aus dem Dreiecke *ECB'*:

$$\left. \begin{aligned} D &= s \cos \varphi \\ h &= s \sin \varphi \\ H &= h + (J - V) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 6)$$

In dem Dreiecke *ECF* hat man:

$$L : s = \sin \alpha : \cos (\varphi - \alpha)$$

oder

$$s = L \frac{\cos (\varphi - \alpha)}{\sin \alpha} = L \left(\frac{\cos \varphi}{\operatorname{tg} \alpha} + \sin \varphi \right) \dots \dots \dots 7)$$

Die Tangente des mikrometrischen Winkels α läßt sich durch die Brennweite *f* und die Bildgröße *B* ausdrücken, nämlich:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{B}{f} = \frac{g \cdot S^r}{f} = \frac{S^r}{\left(\frac{f}{g}\right)} = \frac{S^r}{C} \dots \dots \dots 8)$$

Wird dieser Wert zuerst in die Gleichungen 7) und diese dann in 6) eingeführt, so folgt:

$$s = L \left(C \frac{\cos \varphi}{S^r} + \sin \varphi \right) = CL \left(\frac{\cos \varphi}{S^r} + \frac{\sin \varphi}{C} \right) \dots \dots \dots 9)$$

und

$$\left. \begin{aligned} D &= CL \left(\frac{\cos^2 \varphi}{S^r} + \frac{\sin \varphi \cos \varphi}{C} \right) \\ h &= CL \left(\frac{\sin \varphi \cos \varphi}{S^r} + \frac{\sin^2 \varphi}{C} \right) \\ H &= h + (J - V) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 1V)$$

welche Gleichungen die Grundformeln für die Bestimmung der linearen tachymetrischen Elemente bei Benützung von Tachymetern neuerer Konstruktion darstellen.

Die Konstante C wird bei Instrumenten, welche aus dem mathematisch-mechanischen Institute von Starke & Kammerer in Wien hervorgehen, gleich 500 gesetzt; also

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{S^r}{500}, \text{ oder } \alpha'' = \frac{206.265''}{500} S^r = 412.5'' S^r;$$

daher wird
$$s = L \left(\frac{500 \cos \varphi}{S^r} + \sin \varphi \right) = 100 L \left(\frac{5 \cos \varphi}{S^r} + \frac{\sin \varphi}{100} \right)$$

und die Grundgleichungen IV) gehen über in:

$$\left. \begin{aligned} D &= 100 L \left(\frac{5 \cos^2 \varphi}{S^r} + \frac{\sin \varphi \cos \varphi}{100} \right) \\ H &= 100 L \left(\frac{5 \sin \varphi \cos \varphi}{S^r} + \frac{\sin^2 \varphi}{100} \right) + (J - V) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{ V)}$$

In diesen Gleichungen kann in einem gegebenen Falle nunmehr über die Größen L und S und ihre Bestimmung verfügt werden, so zwar, daß wir

1. bei S^r konstant und L variabel die Reichenbachsche und logarithmische Methode der Tachymetrie,
2. bei S^r veränderlich und L konstant, und
3. bei S^r und L veränderlich die trigonometrischen Methoden der Tachymetrie und die Methode von Tichý erhalten.

Methoden der Tachymetrie.

Reichenbachsche und logarithmische Methode.

260. Reichenbachsche Methode. Die konstante Bildgröße umfaßt fünf Schraubengänge des Schraubenmikrometers, somit ist $S^r = 5$ und die Gleichungen für die linearen tachymetrischen Elemente sind:

$$\left. \begin{aligned} D &= 100 L \left(\cos^2 \varphi + \frac{\sin \varphi \cos \varphi}{100} \right) = 100 L \cos^2 \varphi \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \varphi}{100} \right) \\ &= 100 L \cos^2 \varphi (1 + 0.01 \operatorname{tg} \varphi) \\ h &= 100 L \left(\sin \varphi \cos \varphi + \frac{\sin^2 \varphi}{100} \right) = 100 L \sin \varphi \cos \varphi \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \varphi}{100} \right) \\ &= 100 L \sin \varphi \cos \varphi (1 + 0.01 \operatorname{tg} \varphi) \end{aligned} \right\} \dots \dots \text{ VI)}$$

Die Berechnung dieser Formeln kann mit den vierstelligen, logarithmisch-tachymetrischen Tafeln von G. Starke bequem ausgeführt werden. Werden nämlich in den vorstehenden Gleichungen die Logarithmen der Klammeraus-

drücke von der ersten Form, welche bloß Funktionen von φ sind, berechnet und in Tafeln gebracht und wird

$$\left. \begin{aligned} \log \left(\cos^2 \varphi + \frac{\sin \varphi \cos \varphi}{100} \right) &= A \\ \log \left(\sin \varphi \cos \varphi + \frac{\sin^2 \varphi}{100} \right) &= B \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 10)$$

gesetzt, so folgt nach Logarithmierung der Gleichungen VI):

$$\left. \begin{aligned} \log D &= \log 100 L + A \\ \log h &= \log 100 L + B \\ H &= h + (J - V) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots VII)$$

Es können für die Auswertung der Gleichungen VI) auch mechanische und graphische Hilfsmittel, Rechenschieber und Diagramme, angewendet werden.

Auch die zweckmäßig eingerichteten tachymetrischen Hilfstafeln von Jordan können verwendet werden, doch hat man vor der Benützung die Vertikalwinkel φ auf die Mittelvisur zu reduzieren.

Die Vertikalwinkel φ neuerer Instrumente beziehen sich auf die Visur des fixen Fadens, der fast immer der untere ist, die Tafeln von Jordan sind jedoch für den der Mittelvisur zugehörigen Vertikalwinkel φ_0 berechnet; man muß daher den halben distanzmessenden Winkel $\frac{\alpha}{2} = \frac{412 \cdot 5''}{2} \cdot S'' = \frac{412 \cdot 5'' \cdot 5}{2} = 1031 \cdot 3'' = 17' 11 \cdot 3'' = 0 \cdot 29^0$ vom abgelesenen Vertikalwinkel φ subtrahieren, also

$$\varphi_0 = \varphi - \frac{\alpha}{2};$$

Tiefenwinkel sind negativ einzuführen und $\frac{\alpha}{2}$ ist absolut zu addieren.

Diese Subtraktion kann man ersparen, wenn man dem Nullpunkte des Nonius am Vertikalkreise eine solche Stellung gibt, daß derselbe bei horizontaler Lage der Visierebene des fixen Fadens und einspielender Vertikalkreislibelle die Lesung $-\frac{\alpha}{2}$ gibt.

Wenn nun in dieser Weise die Vertikalwinkel auf die Mittelvisur bezogen erscheinen, so hat man zur Bestimmung der linearen tachymetrischen Elemente die Gleichungen:

$$\left. \begin{aligned} D &= 100 L \cdot \cos^2 \varphi_0 \\ h &= 100 L \cdot \sin \varphi_0 \cos \varphi_0, \quad H = h + (J - V_0) \end{aligned} \right\}$$

wobei auch die Zielhöhe V , welche sich auf den unteren fixen Faden bezieht, um $\frac{L}{2}$ zu vermindern, also

$$V_0 = V - \frac{L}{2} \text{ zu setzen ist.}$$

Die vorstehenden Gleichungen für D und h können mit den in § 26 besprochenen Hilfsmitteln, Rechenschiebern und Diagrammen bestimmt werden.

261. **Vorgang bei der Festlegung der Detailpunkte.** Das Instrument wird zentrisch und horizontal über der Station aufgestellt und das Fernrohr mit der Feineinstellschraube der Alhidade so gestellt, daß der Vertikalfaden mit der Lattenmitte sich deckt; mit der Feineinstellschraube des Fernrohres wird nun der untere Faden auf den Nullpunkt der Latte scharf eingestellt, der sich auf dem oberen Ende derselben befinden wird; sollte der Nullpunkt verdeckt sein, so wird man den unteren Faden auf eine solche Stelle der Latte bringen, daß noch der obere Faden die Lattenteilung trifft, damit an demselben eine Lattenlesung gemacht werden kann. Nun wird die komplette Ablesung bewirkt: die Lesung am unteren Faden, die die Zielhöhe zu ermitteln gestattet, und die Lesung am oberen Faden; hiedurch ist L bestimmbar und beide Größen werden in das Manuale eingetragen. Nun wird am Horizontalkreise der Nonius I abgelesen, hierauf die Vertikalkreislibelle zum Einspielen gebracht und nun am Nonius I des Vertikalkreises die Lesung gemacht.

Damit sind die Beobachtungsdaten für den Detailpunkt bestimmt und es kann zum nächsten Detailpunkte geschritten werden.

Instrument Nr. 1452.

Manuale der

Station			Anvisierter		Kreis		Latte	
Name	Absolute Höhe	J	Anschluß-	Detail-	horizontal	vertikal	V	L
			Punkt					
	m	m			0	0	m	m
I	540.00	1.32	N		43.43			
				1	47.65	4.32	3.00	1.238
				2	64.06	352.14	3.00	0.898

262. **Logarithmische Methode.** Dieser wird wie beim Reichenbachschen Verfahren eine konstante Bildgröße zu grunde gelegt; sie entspricht fünf Schraubenumdrehungen, also $S=5''$; als Grundformeln dienen die Gleichungen VII), nämlich:

$$\left. \begin{aligned} \log D &= \log 100 L + A = \lambda + A \\ \log h &= \log 100 L + B = \lambda + B, H = h + (J - V) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 11)$$

Hierin wird der Logarithmus des 100fachen Lattenabschnittes $\log 100 L = \lambda$ an einer ungleichförmigen Teilung der logarithmischen Latte bestimmt, und zwar sind Einrichtungen vorhanden, welche die Bestimmung desselben bis auf vier Dezimalstellen ermöglichen, Band I, Nr. 227).

Die Größen A und B werden, wie in der vorhergehenden Nummer angegeben wurde, aus Tafeln erhalten.

1. **Anmerkung.** Bei dem logarithmischen Universaltachymeter nach Patent Tichý & Starke (Fig. 210) trägt der Alhidadenarm des Vertikalkreises mit der Vertikalkreislibelle einen Index, der zur Ablesung einer nach der Formel

$$a = \log \frac{1}{\cos^2 \varphi (1 + 0.01 \operatorname{tg} \varphi)}$$

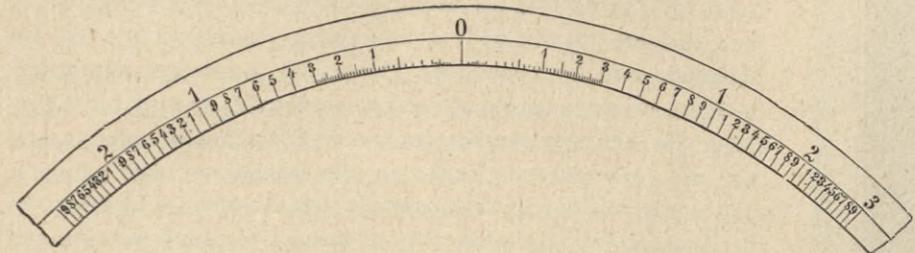


Fig. 214.

vom Nullpunkte beiderseits aufgetragenen Teilung dient (Fig. 214). Da $\frac{\cos^2 \varphi (1 + 0.01 \operatorname{tg} \varphi)}{\cos^2 \varphi (1 + 0.01 \operatorname{tg} \varphi)} = 1$, somit $\log \cos^2 \varphi (1 + 0.01 \operatorname{tg} \varphi) + \log \frac{1}{\cos^2 \varphi (1 + 0.01 \operatorname{tg} \varphi)} = 0$, also $A + a = 0$ ist, so kann

Detailpunkte.

Beobachter: N. N.

$J-V$	h	Tachymetrische Elemente				Anmerkung
		α	D	H	Absolute Höhe	
m	m	0	m	m	m	
					540.00	
-1.68	+ 9.31	4.22	123.2	+ 7.63	547.63	
-1.68	- 12.15	20.63	88.0	- 13.83	526.17	

die am Index abgelesene Größe a in mehrfacher Weise benützt werden, und zwar:

1. bei Ermittlung von D ; es ist $\log D = \log 100 L + A = \log 100 L - a$, so daß, wenn nur die Distanz D ermittelt werden soll, es nicht nötig ist, den Vertikalwinkel φ abzulesen, da a unmittelbar am Libellenarme des Vertikalkreises abgelesen und mit $\log 100 L$ subtraktiv verbunden werden kann;
2. zur Kontrolle; denn der Tafelwert A steht mit dem abgelesenen a in dem Zusammenhang, daß $A + a = 0$ ist.

2. **Anmerkung.** Die logarithmischen Tafeln von G. Starke sind unter der Voraussetzung berechnet, daß der mikrometrische Winkel $\alpha = 2062.65''$ beträgt; ist dieser jedoch α_0 , so daß die Differenz

$$A a'' = \alpha_0'' - 2062.65''$$

beträgt, so wird es notwendig, sämtliche Tafelwerte A und B um $0.00021 A a''$ zu korrigieren, wonach dann folgt:

$$\left. \begin{aligned} \log D &= \lambda + (A - 0.00021 A a'') \\ \log h &= \lambda + (B - 0.00021 A a''), H = h + (J - V) \end{aligned} \right\}$$

263. Festlegung der Detailpunkte. Das Instrument steht zentrisch und horizontal über der Station; der Vertikalfaden ist auf die vertikal stehende Längsachse der Latte scharf eingestellt und der untere, fixe Faden ist mittels der Feineinstellschraube des Fernrohres auf den Nullpunkt 0 der Latte gebracht und dadurch die Zielhöhe V angegeben (Fig. 215). Der zweite im Abstände von $5''$ befindliche Faden des Schraubenmikrometers befindet sich in einem logarithmischen Intervalle; er wird durch Drehung des Schraubenkopfes des Okular-Filarschraubenmikrometers auf die vorhergehende Zacke in die punktierte Lage gebracht und scharf auf die Spitze eingestellt. Die Ablesung gibt direkt an der Latte $2\cdot03$ und am Indexbogen ganze Teile direkt und Zehntel dieser Teile durch Schätzung, z. B. 52 , so daß $\log 100 L = \lambda$ bis auf Einheiten der vierten Dezimale $2\cdot0352$ erhalten wird.

Nun wird der Horizontalkreis abgelesen, die Vertikalkreislibelle zum Einspielen gebracht und am Nonius I der Vertikalwinkel φ sowie am Libellenarme die Größe a abgelesen. Die Beobachtungsdaten werden in ein übersichtliches Manuale eingetragen, worauf zur Bestimmung des nächsten Punktes geschritten wird.

Instrument Nr. . . .

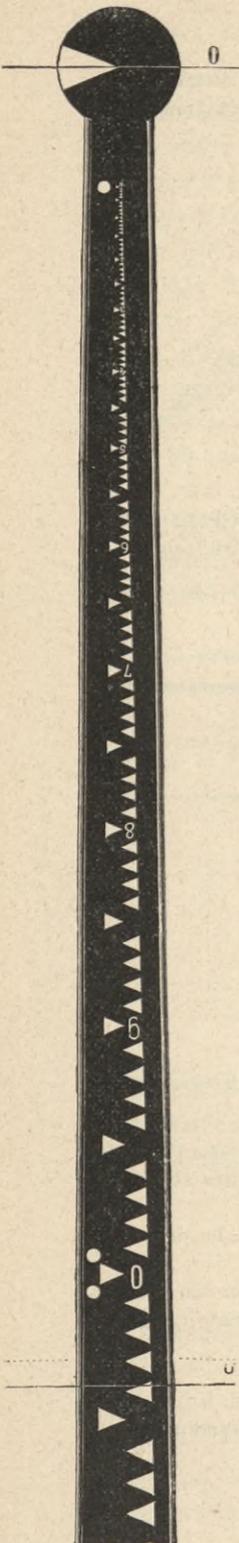
Manuale der

Station			Anvisierter		Kreis			Latte	
Name	Ab-solute Höhe	J	An-schluß-Punkt	Detail-Punkt	hori-zontal	vertikal		V	λ
	m	m			0	0		m	
S	563·81	1·35	I		121·15				
				1	136·43	4·46	0·0023	3·00	1·3626
				2	151·18	2·265	0·0005	3·00	1·7140

264. Einfachere Instrumente für die Anwendung der logarithmischen Methode. Da bei dem logarithmischen Verfahren eine konstante Bildgröße bei der Bestimmung von $\log 100 L$ in Anwendung kommt, so ist es naheliegend, daß auch Tachymeter älterer Konstruktion mit fixen Parallelfäden zu Arbeiten nach der logarithmischen Methode verwendet werden können.

Da ein Okular-Filarschraubenmikrometer nicht vorhanden ist, so wird die bei der logarithmischen Methode übliche Bestimmung der dritten Dezimalstelle durch eine scharfe Messung entfallen

Fig. 215.
(Etwa $\frac{1}{2}$ der natürl. Größe.)



müssen und man wird sich begnügen, die ersten zwei Dezimalstellen von $\log 100 L$ an der Latte direkt und die dritte Dezimalstelle durch Schätzung in das logarithmische Intervall zu bestimmen.

Eine Latte, die für diesen Zweck gute Dienste leisten wird, ist in Fig. 216 dargestellt; sie hat eine Doppelkastenteilung, deren Intervalle nach dem im Band I, Nr. 227, besprochenen Gesetze zunehmen. Es liegt also eine logarithmische Latte vor, welche ein gutes Schätzen in das Intervall zuläßt. Der Nullpunkt befindet sich am oberen Ende derselben.

Will man die logarithmisch-tachymetrischen Tafeln von Starke zur Bestimmung von A und B in den Gleichungen:

$$\left. \begin{aligned} \log D &= \lambda + A \\ \log h &= \lambda + B, H = h + (J - V) \end{aligned} \right\}$$

benützen, so muß man den Vertikalwinkel φ auf den unteren der drei vorhandenen Horizontalfäden beziehen. Zu dem Zwecke muß das Instrument so justiert sein, daß bei horizontaler Lage der Visierebene des unteren distanzmessenden Fadens am Ver-

Detailpunkte.

Beobachter N. N.

A	$\log D$	$J - V$	h	Tachymetrische Elemente				Anmerkung
				α	D	H	Ab-solute Höhe	
B	h			0	m	m	m	
		m	m	0	m	m	m	
9·9977	1·3603							
8·8898	0·2524	-1·65	+1·79	15·28	22·92	+0·14	563·95	
9·9995	1·7135							
8·5967	0·3107	-1·65	+2·05	30·03	51·70	+0·40	564·21	

tikalkreise die Lesung $0^0 0'$ gemacht wird. Die Justierung wird nach Band II, Nr. 260 durchgeführt.

Man kann entweder so verfahren, daß man zu dem auf den Mittelfaden bezogenen Vertikalwinkel φ_0 noch den halben distanzmessenden Winkel $\frac{\alpha}{2}$ addiert, weil die Vertikalwinkel des unteren Fadens größer sind als jene des Mittelfadens, also

$$\varphi = \varphi_0 + \frac{\alpha}{2};$$

oder aber man kann die Visierebene des Mittelfadens horizontal stellen, wobei die Lesung $0^0 0'$ wird; da aber die Lesungen am

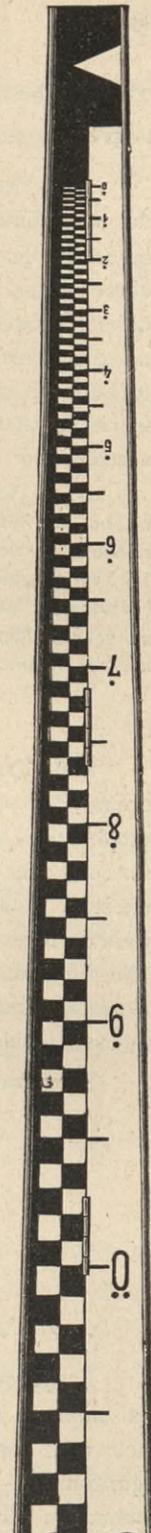


Fig. 216.
(Etwa $\frac{1}{2}$ der natürl. Größe.)

Vertikalkreise die Winkel des unteren Fadens geben sollen, so wird man bei festgeklemmtem Fernrohre den Nonius verschieben und auf $+\frac{\alpha}{2}$ einstellen.

265. Festlegung der Detailpunkte. Nachdem das Instrument zentrisch und horizontal aufgestellt und der Vertikalfaden auf die Längsachse der Latte eingestellt ist, wird der untere Parallelfaden auf den Nullpunkt der Latte gebracht und die Lage des zweiten Horizontalfadens an der Latte bestimmt. Die ersten zwei Dezimalstellen von $\log 100 L = \lambda$ werden unmittelbar abgelesen und die dritte Dezimale durch Zehntelschätzung an der Latte erhalten; obwohl die Zehntel in einem logarithmischen Intervalle nicht untereinander gleichen logarithmischen Wert haben, so genügt es vollständig, sie untereinander gleichzusetzen und von diesem Standpunkte aus die Schätzung vorzunehmen.

Anmerkung. Der Autor hat für Unterrichts- und Studienzwecke schon vor längerer Zeit bei der Firma Starke & Kammerer in Wien eine Doppellatte anfertigen lassen, versehen mit der gebräuchlichen Zentimeterteilung auf der einen Hälfte und einer nach Fig. 216 ausgeführten logarithmischen Doppelkastenteilung auf der anderen Hälfte. Die Schätzung in das kleinste Lattenintervall beider Teilungen, die nebeneinander liegen, ist im höchsten Maße instruktiv und demonstriert in bester Weise die Vorteile einer Distanzlatte mit ungleichmäßiger Teilung.

Trigonometrische Methoden.

266. Trigonometrische Methode. Die vorbesprochenen Methoden setzen voraus, daß der untere Faden auf den Nullpunkt der Distanzlatte sicher eingestellt und am oberen Faden ungestört die Ablesung besorgt werden kann; sehr oft aber wird es insbesondere im bedeckten und stark bebauten Terrain eintreten, daß der Nullpunkt der Latte verdeckt oder die Stelle, wo am zweiten Faden die Lattenlesung gemacht werden sollte, unsichtbar ist. In diesem Falle wird man der Distanz- und Höhenmessung nur das wahrnehmbare Lattenstück L zugrunde legen können, dessen zugehöriger mikrometrischer Winkel α mit dem Okular-Filarschraubenmikrometer gemessen wird.

Die Grundgleichungen für die linearen, tachymetrischen Elemente sind:

$$\left. \begin{aligned} D &= 100 L \left(\frac{5 \cos^2 \varphi}{S} + \frac{\sin \varphi \cos \varphi}{100} \right) \\ h &= 100 L \left(\frac{5 \sin \varphi \cos \varphi}{S^r} + \frac{\sin^2 \varphi}{100} \right) \dots \dots \dots 12) \\ H &= h + (J - V) \end{aligned} \right\}$$

Im gegebenen Falle können die vorstehenden Gleichungen nach Einführung der mittleren Werte L , φ und S ausgewertet werden; doch ist die Berechnung nach den vorstehenden Formeln etwas umständlich, sie wird aber durch die logarithmisch-trigonometrischen Hilfstafeln von G. Starke in nicht unbedeutendem Maße vereinfacht.

Die Benützung der Tafeln wird durch das Resultat der folgenden Entwicklung klar.

Die Gleichungen 12) können geschrieben werden:

$$\left. \begin{aligned} D &= 100 L \cdot \frac{5}{S} \cos^2 \varphi \left(1 + \frac{S}{500} tg \varphi\right) \\ h &= 100 L \cdot \frac{5}{S} \sin \varphi \cos \varphi \left(1 + \frac{S}{500} tg \varphi\right) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 13)$$

Das Glied $\left(1 + \frac{S}{500} tg \varphi\right)$ kann als ein Produkt zweier Faktoren dargestellt werden, von denen der eine $\left(1 + \frac{tg \varphi}{100}\right)$ ist, also:

$$\left(1 + \frac{S}{500} tg \varphi\right) = \left(1 + \frac{tg \varphi}{100}\right) \left(1 - \frac{5-S}{500} tg \varphi\right),$$

so daß die Gleichungen 13) übergeht in

$$\left. \begin{aligned} D &= 100 L \cdot \frac{5}{S} \left(1 - \frac{5-S}{500} tg \varphi\right) \cos^2 \varphi \left(1 + \frac{tg \varphi}{100}\right) \\ h &= 100 L \cdot \frac{5}{S} \left(1 - \frac{5-S}{500} tg \varphi\right) \sin \varphi \cos \varphi \left(1 + \frac{tg \varphi}{100}\right) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 14)$$

Da die Berechnung nach diesen Gleichungen auf logarithmischem Wege erfolgen soll, so empfiehlt es sich, den einzelnen Faktoren eine solche Form zu geben, daß sie in allen Fällen > 1 werden, damit bei der Rechnung keine negativen Logarithmen erscheinen. Der Ausdruck $\left(1 - \frac{5-S}{500} tg \varphi\right)$ wird für alle Höhenwinkel < 1 und es muß daher demselben noch ein Faktor x beigegeben werden, welcher bewirkt, daß selbst für den kleinsten Wert von $\left(1 - \frac{5-S}{500} tg \varphi\right)$ das Produkt $x \left(1 - \frac{5-S}{500} tg \varphi\right) = 1$ wird.

Dieser kleinste Wert ergibt sich für $S = 1$ und $\varphi = 45^\circ$ mit $1 - \frac{4}{500} = \frac{496}{500}$; es muß daher der Faktor $x = \frac{1}{1 - \frac{5-S}{500} tg \varphi} = \frac{500}{496}$ werden.

Um die Gleichung 13) durch Hinzufügen des Faktors x nicht zu ändern, muß der reziproke Wert $\frac{496}{500}$ desselben mit einem andern Faktor verbunden werden; hiezu eignet sich der Faktor $100 L$, so daß man $100 L \cdot \frac{496}{500} = 99.2 L$ erhält, und die Gleichungen 14) nehmen so die Form an:

$$\left. \begin{aligned} D &= 99.2 L \cdot \frac{5}{S} \cdot \left[\frac{500}{496} \left(1 - \frac{5-S}{500} tg \varphi\right)\right] \left[\cos^2 \varphi \left(1 + \frac{tg \varphi}{100}\right)\right] \\ h &= 99.2 L \cdot \frac{5}{S} \cdot \left[\frac{500}{496} \left(1 - \frac{5-S}{500} tg \varphi\right)\right] \left[\sin \varphi \cos \varphi \left(1 + \frac{tg \varphi}{100}\right)\right] \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{VIII}$$

oder die Logarithmen genommen:

$$\left. \begin{aligned} \log D &= \log 99.2 L + \log \frac{5}{S} + \log \left[\frac{500}{496} \left(1 - \frac{5-S}{500} \operatorname{tg} \varphi \right) \right] + \log \left[\cos^2 \varphi \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \varphi}{100} \right) \right] \\ \log h &= \log 99.2 L + \log \frac{5}{S} + \log \left[\frac{500}{496} \left(1 - \frac{5-S}{500} \operatorname{tg} \varphi \right) \right] + \log \left[\sin \varphi \cos \varphi \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \varphi}{100} \right) \right] \end{aligned} \right\} \text{VIII'}$$

Die Werte der Glieder vorstehender Gleichungen werden aus Tafeln erhalten, und zwar:

$$\log 99.2 L = \lambda \text{ mit dem Argumente } L$$

$$\log \frac{5}{S} = \sigma \quad \text{ " " " } S$$

$$\log \left[\frac{500}{496} \left(1 - \frac{5-S}{500} \operatorname{tg} \varphi \right) \right] = \delta \quad \text{ " " " } \varphi \text{ und } S$$

$$\log \left[\cos^2 \varphi \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \varphi}{100} \right) \right] = A \quad \text{ " " " } \varphi$$

$$\log \left[\sin \varphi \cos \varphi \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \varphi}{100} \right) \right] = B \quad \text{ " " " } \varphi,$$

so daß sich ergibt:

$$\left. \begin{aligned} \log D &= \lambda + \sigma + \delta + A \\ \log h &= \lambda + \sigma + \delta + B \end{aligned} \right\}$$

Beispiel. Wir haben:

$$\left. \begin{aligned} L &= 0.7 \text{ m} \\ S &= 4.315 \\ \varphi &= 10.32^\circ \\ J &= 1.345 \text{ m} \\ V &= 2.30 \text{ m} \\ J - V &= -0.955 \text{ m} \end{aligned} \right\}, \text{daher}$$

Instrument Nr. . . .

Manuale der

Station			Anvisierter		Kreis		Latte		S ^r	
Name	Höhe	J	Anschluß-Punkt	Detail-Punkt	horizontal	vertikal	V	L		
I	537.05	1.35	II		0	0	m	m	r	
					0.00					
				1	21.18	1.12	2.5	0.6	4.842	
			2	35.97	1.09	2.5	0.8	4.760		

aus der Tafel mit dem Argumente $L = 0.7 \dots \lambda = 1.8416$

" " " " " " " " $S = 4.315 \dots \sigma = 0.0640$

" " " " " " " " $\left\{ \begin{aligned} \varphi &= 10.32^\circ \\ S &= 4.315 \end{aligned} \dots \delta = 0.0034 \right.$

" " " " " " " " $\varphi = 10.32^\circ \dots A = 9.9866$

$$B = 9.2469$$

$$\log D = 1.8956 \quad D = 78.63 \text{ m}$$

$$\log h = 1.1559 \quad \left. \begin{aligned} h &= +14.32 \\ J - V &= -0.96 \end{aligned} \right\}$$

$$H = +13.36 \text{ m}$$

$$\text{Resultat: } \left\{ \begin{aligned} D &= 78.63 \text{ m} \\ H &= +13.36 \text{ m} \end{aligned} \right.$$

267. Vorgang bei der Festlegung der Punkte. Nach entsprechender Aufstellung des Instrumentes und Einstellung des Vertikalfadens auf die Lattenlängsachse wird der fixe Horizontalfaden auf die oberste Dezimeterzacke des noch sichtbaren Lattenstückes scharf mit der Feinschraube des Fernrohres eingestellt, hierauf der bewegliche Faden durch Drehen der Mikrometerschraube auf die unterste sichtbare Zacke, welche in den Bereich des Zählrechens, also der fünf Schraubenumdrehungen sich befindet, gebracht, die Zielhöhe V , d. i. die Lattenhöhe der eingestellten Zacke des fixen Fadens, und das von den distanzmessenden Fäden gefaßte Lattenstück L angegeben, ferner der Stand der Mikrometerschraube abgelesen und ins Manuale eingetragen. Damit sind die Einstellungen und Ablesungen im Fernrohre beendet. Nun wird am Horizontalkreise und dann, nachdem die Vertikalkreislibelle zum Einspielen gebracht wurde, auch am Vertikalkreise die Ablesung gemacht.

Diese Daten werden neben den Angaben, die sich auf die Station: Name, Höhe, Instrumenthöhe, den anvisierten Punkt beziehen, ins Manuale eingetragen.

Detailpunkte.

Beobachter: N. N.

J-V	h	Tachymetrische Elemente				Anmerkung
		α	D	H	Absolute Höhe	
m	m	0	m	m	m	
-1.15	+1.21	21.18	61.94	+0.06	537.11	
-1.15	+1.60	35.97	84.02	+0.45	537.50	

268. Tichýsche Methode. Bei diesem Verfahren zur Bestimmung von D und H ist L und S variabel. Tichý ging von dem Gedanken aus, D und H als ein Vielfaches des Lattenabschnittes darzustellen.

In den Grundgleichungen der trigonometrischen Methoden der Tachymetrie, nämlich:

$$\left. \begin{aligned} D &= 100 L \left(\frac{5 \cos^2 \varphi}{S^r} + \frac{\sin \varphi \cos \varphi}{100} \right) \\ h &= 100 L \left(\frac{5 \sin \varphi \cos \varphi}{S^r} + \frac{\sin^2 \varphi}{100} \right) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 15)$$

können die eingeklammerten Binome der Einheit gleichgesetzt werden, wodurch den entsprechenden Vertikalwinkeln auch gewisse Schraubenlesungen S_1^r und S_2^r und Lattenstücke L_1 und L_2 entsprechen werden, so daß man haben wird:

$$\left. \begin{aligned} \frac{5 \cos^2 \varphi}{S_1^r} + \frac{\sin \varphi \cos \varphi}{100} &= 1 \\ \frac{5 \sin \varphi \cos \varphi}{S_2^r} + \frac{\sin^2 \varphi}{100} &= 1 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 16)$$

woraus folgt:

$$\left. \begin{aligned} S_1^r &= \frac{5 \cos^2 \varphi}{1 - \frac{\sin \varphi \cos \varphi}{100}} \\ S_2^r &= \frac{5 \sin \varphi \cos \varphi}{1 - \frac{\sin^2 \varphi}{100}} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 17)$$

Die Schraubenlesungen S_1 und S_2 , welche den Lattenstücken L_1 und L_2 zugehören, sind einzig und allein Funktionen des Vertikalwinkels φ ; es können daher Tafeln berechnet werden, aus welchen mit dem Argumente φ die Schraubeneinstellungen S_1 und S_2 entnommen werden. Solche Tafeln sind von Professor Dr. A. Schell berechnet und finden sich in seiner Arbeit: Die Terrainaufnahme mit der tachymetrischen Kippregel von Tichý & Starke, L. W. Seidel & Sohn, Wien 1881.

Man kann aber auch, da S_1 und S_2 bloß von φ abhängen, die direkte Bestimmung der Schraubeneinstellungen in die Doppelteilung des Vertikalkreises verlegen, wie es das mathematisch-mechanische Institut Starke & Kammerer in Wien getan hat. Der Vertikalkreis enthält eine diametral angebrachte Doppelteilung (Fig. 212); wenn nämlich das Fernrohr unter dem Vertikalwinkel φ geneigt ist, so kann an einem Index der Alhidade des Vertikalkreises S_1 auf der D -Teilung und an der diametralen H -Teilung S_2 abgelesen werden.

Am Nullpunkte eines Nonius, der mit einer Vertikalkreislibelle in Verbindung steht, kann bei Einspielen derselben der Vertikalwinkel φ abgelesen und dann aus einer Tafel, wie früher schon gesagt, S_1 und S_2 entnommen werden; dadurch können die Ablesungen von S_1 und S_2 des Vertikalkreises kontrolliert werden.

Wenn S_1 und S_2 bekannt sind, so wird die Mikrometerschraube zuvörderst auf S_1 eingestellt und der Lattenabschnitt L_1 direkt abgelesen, weil der fixe Faden auf den Nullpunkt der Teilung eingestellt ist; hierauf wird das Schrauben-

mikrometer auf S_2 gebracht und am beweglichen Faden L_2 abgelesen. Es folgt dann unmittelbar

$$\left. \begin{aligned} D &= 100 L_1 \\ h &= 100 L_2 \text{ und } H = h + (J - V) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{IX)}$$

Die Latte, die hiebei verwendet wird, ist gleichmäßig geteilt wie bei der Reichenbachschen Methode.

Anmerkung. Bei kleineren Höhen ist die Schraubeneinstellung S_2 und damit auch der Abstand der beiden parallelen Fäden im Mikrometer klein; um den Einfluß eines Fehlers in der Bestimmung des Lattenabschnittes auf die zu bestimmende Höhe zu vermindern, kann man so verfahren, daß man der Höhenbestimmung ein Vielfaches von S_2 zu grunde legt, z. B. $k \cdot S_2$, welcher Betrag sich von 5 nur wenig unterscheiden soll; der diesem Fadenintervalle entsprechende Lattenabschnitt l_2 wird abgelesen. Die Höhe h kann dann stets aus der Gleichung:

$$h = \frac{100 l_2}{k} \dots \dots \dots \text{X)}$$

bestimmt werden. Den Faktor k wird man selbstredend stets so wählen, daß die Division von $100 l_2$ durch k sich stets einfach und rasch ausführen läßt.

Es wird z. B., falls

$$\left. \begin{aligned} S_2 \text{ zwischen } 0\cdot001 \text{ und } 0\cdot005 \\ S_2 \text{ „ } 0\cdot006 \text{ „ } 0\cdot050 \\ S_2 \text{ „ } 0\cdot051 \text{ „ } 0\cdot500 \end{aligned} \right\} \text{ liegt, gewählt } \left\{ \begin{aligned} k &= 1000 \\ &= 100 \\ &= 10 \end{aligned} \right\}, \text{ so daß } \left\{ \begin{aligned} h &= \frac{l_2}{10} \\ &= l_2 \\ &= 10 l_2 \end{aligned} \right.$$

wird; liegt die Lesung S_2 zwischen 0·500 und 2·500, so wird $k = 1$ und das Okular-Filarschraubenmikrometer kann unmittelbar auf S_2 eingestellt und L_2 abgelesen werden.

Kontrollgleichungen für richtig bestimmte Schraubenlesungen S_1 und S_2 sowie gut ermittelte Werte für D und h ergeben sich aus den Gleichungen 15) und 17); denn annähernd kann man setzen:

$$\left. \begin{aligned} D &= 100 L \frac{5 \cos^2 \varphi}{S^r} \\ h &= 100 L \frac{5 \sin \varphi \cos \varphi}{S^r} \end{aligned} \right\}, \text{ daher } \frac{h}{D} = \operatorname{tg} \varphi \left. \begin{aligned} S_1^r &= 5 \cos^2 \varphi \\ S_2^r &= 5 \sin \varphi \cos \varphi \end{aligned} \right\}, \text{ somit } \frac{S_2^r}{S_1^r} = \operatorname{tg} \varphi \dots \dots \dots \text{18)}$$

und weiters resultiert aus Gleichung IX): $\frac{h}{D} = \frac{L_2}{L_1}$;

somit ergeben sich die interessanten Relationen:

$$\frac{S_2^r}{S_1^r} = \frac{h}{D} = \frac{L_2}{L_1} \text{ oder } D \cdot S_2^r = h \cdot S_1^r \dots \dots \dots \text{XI)}$$

$$D \cdot L_2 = h \cdot L_1, \dots \dots \dots \text{XII)}$$

ferner $S_1^2 - 5 S_1 + S_2^2 = 0. \dots \dots \dots \text{XIII)}$

Durch die Gleichungen XI) und XIII) werden die am Vertikalkreise gemachten Ablesungen kontrolliert, während die Gleichungen XII) eine Kontrolle für die Ablesungen an der Latte bieten.

269. Vorgang bei der Festlegung der Punkte. Das Instrument wird in bekannter Weise über der Station aufgestellt; der Vertikalfaden des Fadenskreuzes wird auf die Längsachse der Latte und der fixe Horizontalfaden auf den Nullpunkt der Lattenskala, die Zielhöhe V , gebracht und V ins Protokoll eingetragen. Hierauf bringt man die Blase der Vertikalkreislibelle durch die auf den Noniusarm des Vertikalkreises wirkende Feinschraube M zum Einspielen, liest den Stand S_1 und S_2 der mit D und H bezeichneten Indexstriche am Vertikalkreise ab und notiert sie im Manuale; die Richtigkeit kann sofort kontrolliert werden, wenn am Alhidadenarme der Vertikalkreislibelle der Nonius abgelesen wird, der den Vertikalwinkel φ gibt, mit dem als Argument S_1 und S_2 aus Tafeln entnommen und mit den abgelesenen verglichen werden können.

Nun wird S_1 am Okular-Schraubenmikrometer eingestellt und der Lattenabschnitt L_1 abgelesen; die Horizontaldistanz ist dann $D = 100 L_1$. Die Schraubeneinstellung S_2 wird zumeist klein; ist sie kleiner als 0.5 Umdrehungen, so geht man so vor, daß,

$$\text{falls } \left\{ \begin{array}{l} S_2 \text{ zwischen } 0.001 \text{ und } 0.005 \\ S_2 \text{ „ } 0.006 \text{ „ } 0.050 \\ S_2 \text{ „ } 0.051 \text{ „ } 0.500 \end{array} \right\} \text{ liegt, } S_2 \text{ multipliziert wird mit } \left\{ \begin{array}{l} 1000 \\ 100 \\ 10; \end{array} \right.$$

auf dieses Vielfache von S_2 wird das Schraubenmikrometer eingestellt und am beweglichen Faden L_2 abgelesen; hierauf hat man $h = 100 L_2 = \frac{L_2}{10}$, beziehungsweise $h = L_2$, respektive $10 L_2$.

Wenn die Lesung S_2 zwischen 0.500 und 2.500 liegt, so wird sie direkt am Schraubenmikrometer eingestellt, der Lattenabschnitt L_2 abgelesen und $h = 100 L_2$ bestimmt.

Die Zielhöhe V , welche als Lesung am fixen Horizontalfaden erhalten wird, ist eine beliebige; doch wird man, wenn der am oberen Ende der Latte befindliche Nullpunkt gesehen wird, diesen benutzen, sonst aber V z. B. 1.5 oder 1.0 m wählen.

Instrument Nr. . . .

Manuale der

Station			Anvisierter		Kreis				k	Latte		
Name	Höhe	J	Anschluß-	Detail-	hori- zontal	vertikal				V	L_1	L_2
						φ	S_1	S_2				
	m	m			0	0				m	m	
II	460.00	1.34	B		14.32							
				1	67.38	4.88	4.959	4.234	10	2.50	0.163	0.139
				2	70.10	5.73	4.945	4.967	10	2.50	0.123	0.140

§ 23. Tachymeter mit einer Sehnen- oder Tangentenschraube.

270. Neben der besprochenen trigonometrischen Methode der Bestimmung der tachymetrischen Elemente, wobei das Okular-Filarschraubenmikrometer Verwendung findet, gibt es noch Verfahren, die nach Messung von Vertikalwinkeln die Bestimmung der Horizontaldistanz und der Höhe ermöglichen. Die diesbezügliche Theorie ist beim trigonometrischen Nivellieren im Bande II, Nr. 134, beziehungsweise Höhenmessen Nr. 169 entwickelt; dort wurde gefunden:

$$\left. \begin{array}{l} D = \frac{\cos \alpha \cos \beta}{\sin(\alpha - \beta)} d \\ h = \frac{\sin \beta \cos \alpha}{\sin(\alpha - \beta)} d, \quad H = h + (J - V) \end{array} \right\} \dots \dots \dots 1)$$

Die Vertikalwinkel können mit einem Vertikalkreise direkt gemessen werden, oder aber man benützt Meßschrauben hiezu, in welchem Falle nicht unbedeutende Vereinfachungen der vorstehenden Formeln gewonnen werden, so zwar, daß auch die Auswertung der vereinfachten Formeln bequem und rasch erfolgen kann.

271. Tachymeter mit Stampferscher Meßschraube. Instrumente mit Stampferscher Meßschraube, die mit einem Horizontalkreise versehen sind, stellen Tachymeter vor.

Das Instrument wird zentrisch und horizontal über der Station aufgestellt; der zu bestimmende Punkt wird mit einer Latte signalisiert, auf welcher eine Basis scharf und sicher ins Auge gefaßt werden kann; solche Latten sind Latten mit Zielscheiben oder mit einer Zackenteilung, im Notfalle können auch gewöhnliche Latten mit der Zentimeterteilung verwendet werden.

Die Formeln, welche hiebei verwendet werden, sind:

$$\left. \begin{array}{l} D = \frac{\cos \alpha \cos \beta}{\sin(\alpha - \beta)} d \\ h = \frac{\sin \beta \cos \alpha}{\sin(\alpha - \beta)} d \\ H = h + (J - V) \end{array} \right\}$$

Detailpunkte.

Beobachter: N. N.

$J - V$	h	Tachymetrische Elemente				Anmerkung
		α	D	H	Absolute Höhe	
m	m	0	m	m	m	
- 1.16	+ 1.39	53.06	16.3	+ 0.23	460.23	
- 1.16	+ 1.40	55.78	12.3	+ 0.24	460.24	

wobei die Winkel α und β nach der Winkelgleichung:

$$\begin{aligned} \alpha'' &= a''(o-h) - b''(o^2-h^2) \\ \beta'' &= a''(u-h) - b''(u^2-h^2) \end{aligned}$$

bestimmt werden.

Statt dieser Gleichungen können auch jene im Bande II, Nr. 139, aufgestellten benützt werden, in welchen unmittelbar die Lesungen am Schrauben- kopfe erscheinen:

$$\left. \begin{aligned} D &= d \left[\frac{1}{a(o-u)} + \frac{b}{a} \frac{o+u}{o-u} - a \frac{(u-h)^2}{o-u} \right] \\ h &= d \left[\frac{u-h}{o-u} - \frac{b}{a} \frac{(u-h)^2}{o-u} - \frac{2}{3} a^2 \frac{(u-h)^3}{o-u} \right] \\ H &= h + (J - V) \end{aligned} \right\} ; \dots \dots \dots \text{I)}$$

hiebei können, wie in Nr. 139 angedeutet wurde, die Starkeschen Tafeln für Nivellierinstrumente mit Stampfer scher Meßschraube nützliche Anwendung finden.

Am bequemsten sind die Näherungsformeln:

$$\left. \begin{aligned} D &= K \frac{d}{o-u} \\ h &= \frac{u-h}{o-u} d \\ H &= h + (J - V) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{II)}$$

Diese einfachen Formeln reichen für die Festlegung der Detailpunkte vollends aus; bei der Festlegung der Stationen untereinander, besonders dann, wenn sie durch einen polygonalen Zug verbunden werden, wird man die vorstehenden strengen Formeln 1) oder I) verwenden, die eine bedeutende Genauigkeit bieten.

272. Tachymeter mit Tangentenschraube. Auch diese lassen, wie es im Bande II, Nr. 140, gezeigt wurde, eine einfache Bestimmung der linearen tachymetrischen Elemente D und H zu, so daß sie, wenn ein Horizontalkreis an dem Instrumente vorhanden ist, als Tachymeter benützt werden können. Als Distanzlatten können Latten mit Zielscheiben, mit einer Zacken- und eventuell auch Zentimeterteilung benützt werden.

Die Gleichungen für die tachymetrischen Elemente lauten:

$$\left. \begin{aligned} D &= K \frac{d}{o-u} \\ h &= \frac{u-h}{o-u} d \\ H &= h + (J - V) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{III)}$$

273. Genauigkeit in der Bestimmung der tachymetrischen Elemente D und H . Die allgemeinen Ausdrücke für die absoluten und relativen Fehler der Distanz für optische Distanzmesser wurden im Bande I, § 35, abgeleitet; was

die Genauigkeit der Höhe betrifft, so wurde für den zumeist gültigen Fall, daß in der Gleichung

$$H = D \operatorname{tg} \varphi + (J - V)$$

die Größen J und V fehlerfrei angenommen werden können, der mittlere Fehler für H im Bande I, Nr. 26, Gleichung XV), bestimmt.

Die bezüglichen Gleichungen für die Fehler lauten:

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{\Delta L}{L} \dots \Delta D = \frac{\Delta L}{L} D \dots \dots \dots \text{IV)}$$

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{\Delta S}{S} \dots \Delta D = \frac{\Delta S}{S} D \dots \dots \dots \text{V)}$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta h &= h \sqrt{\left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \varphi}{\frac{\sin 2\varphi}{2}}\right)^2} \text{ und für } \Delta \varphi = 0 \dots \Delta h = h \cdot \frac{\Delta D}{D} = \operatorname{tg} \varphi \cdot \Delta D \\ \frac{\Delta h}{D} &= \operatorname{tg} \varphi \sqrt{\left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \varphi}{\frac{\sin 2\varphi}{2}}\right)^2} \text{ " " } \Delta \varphi = 0 \dots \frac{\Delta h}{D} = \operatorname{tg} \varphi \left(\frac{\Delta D}{D}\right) \end{aligned} \right\} \text{VI)}$$

$$\Delta H = \Delta h$$

Die Reichenbachsche Methode liefert für die theoretische Genauigkeit bei $L = 1 \text{ m} = 1000 \text{ mm}$ den Wert $\Delta L = \pm 2 \text{ mm}$; daher wird

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{2}{1000} = \frac{1}{500}, \text{ also } \Delta D = \pm \frac{D}{500}$$

Werden die Lattengrößen mit dem Okular-Filarschraubenmikrometer ausgemessen, also bei der trigonometrischen Methode, so hat man z. B. für $S = 5''$ $\Delta S = \pm 0.005''$:

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{0.005}{5} = 0.001 = \frac{1}{1000} \text{ und } \Delta D = \frac{\Delta S}{S} D = \frac{D}{1000}$$

Kennt man den mittleren Fehler in D , so resultiert jener für H nach Gleichung VI).

Untersuchungen, welche über die praktische Genauigkeit der verschiedenen Methoden der optischen Distanzmessung angestellt worden sind, liegen von mehreren Praktikern vor, und zwar:

1. Ingenieur Demarteau prüfte die logarithmische Methode und fand bei Distanzen von 70 bis 160 m ein Fehlerverhältnis $\frac{\Delta D}{D} = \frac{1}{3700}$ oder 0.027% der Länge.
2. Der damalige Forstrat, nunmehr Hofrat J. Friedrich beschäftigte sich mit der Genauigkeit der Reichenbachschen und der trigonometrischen Methode und fand:

Reichenbachs Distanzmesser für D bis 50 m ...	$\frac{\Delta D}{D} = \frac{1}{900}$ oder	0·111‰ der Länge,		
Reichenbachs Distanzmesser für D über 50 m ...	$\frac{\Delta D}{D} = \frac{1}{460}$ oder	0·216‰ der Länge,		
Trigonometrische Methode mit Okular- Filarschrauben- mikrometer.	Distanz	bis 100 m ...	$\frac{\Delta D}{D} = \frac{1}{2400}$ oder	0·041‰ der Länge,
		„ 100 bis 150 m ...	$\frac{\Delta D}{D} = \frac{1}{1900}$ oder	0·052‰ der Länge,
		„ 150 bis 200 m ...	$\frac{\Delta D}{D} = \frac{1}{2800}$ oder	0·035‰ der Länge.

Der Bearbeiter dieses Werkes hat vor Jahren eingehende Untersuchungen über die verschiedenen Methoden der optischen Distanzmessung angestellt, doch konnte er anderweitiger dringender Arbeiten wegen das umfangreiche Beobachtungsmaterial nicht auswerten und die Resultate veröffentlichen; doch zeigen auch seine vorläufigen wie die vorstehenden Resultate, daß der logarithmischen Methode ein geradezu hervorragender Platz unter den andern Verfahren eingeräumt werden muß.

§ 24. Automatische und Reduktions- oder Schiebetachymeter.

274. Bei gewöhnlichen einfachen Tachymetern werden auf Grund numerischer Felddaten später die linearen tachymetrischen Elemente D und H bestimmt; es sind aber auch Instrumente angegeben worden, bei welchen unmittelbar auf dem Felde ohne weitere Rechnung durch einfache Manipulationen die gewünschten tachymetrischen Elemente erhalten werden. Dieses Bestreben ist durchaus nicht neu, denn bereits im Jahre 1865 hat der Geometer Kilfer in Köln bei dem bekannten mathematisch-mechanischen Institute von Breithaupt in Kassel ein Instrument ausführen lassen, bei welchem an zwei Maßstäben die Distanz und Höhe ermittelt werden konnten; der Gedanke, die Distanz und Höhe in bequemer Weise mittels einiger Handgriffe oder gar automatisch zu erhalten, war sehr verlockend und veranlaßte Geodäten, Ingenieure und Mechaniker, sich mit dieser Frage zu befassen.

Die Instrumente dieser Tendenz kann man in zwei Gruppen teilen:

1. solche, welche D und H unmittelbar durch Ablesung an der Latte geben, und
2. solche, welche D und H an eigenen, am Instrumente vorhandenen Hilfsapparaten, Schiebe- oder Projektionsvorrichtungen, zu bestimmen gestatten.

Zu den Instrumenten der ersten Gruppe zählen wir:

- a) das Tachymeter Patent Tichý & Starke und
- b) den Hammer-Fennelschen Theodolit, ein automatisches Tachymeter.

Das Tachymeter Patent Tichý & Starke ist in seiner Theorie und Anwendung im Bande II, Nr. 268, ausführlich behandelt worden.

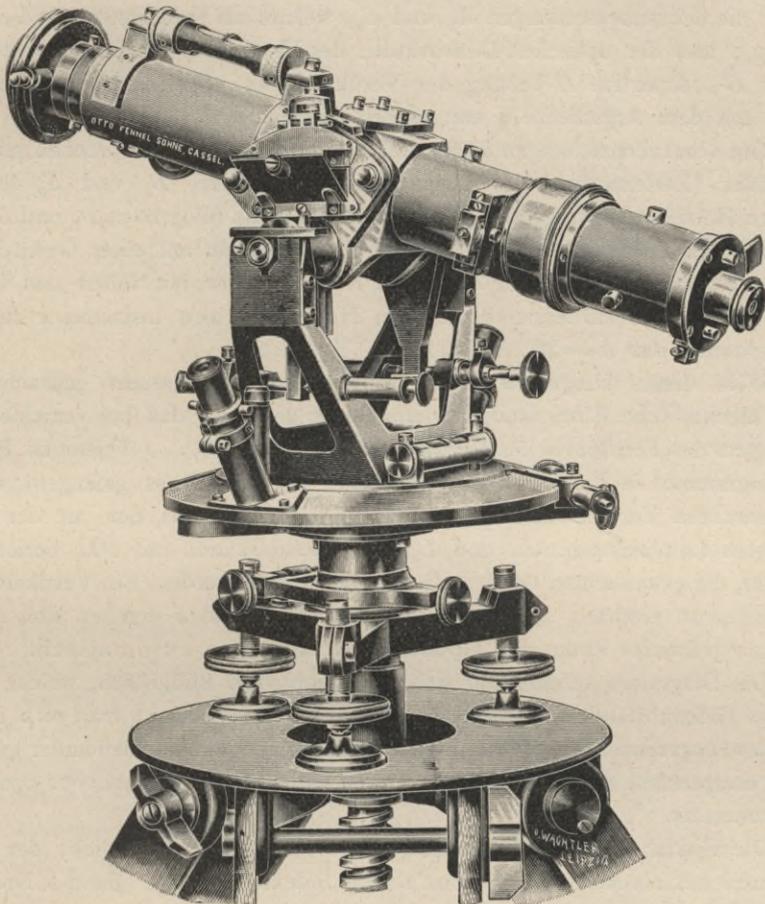


Fig. 217.

(Etwa $\frac{2}{3}$ der natürlichen Größe.)

275. Der Hammer-Fennelsche Theodolit ist in Fig. 217 zur Darstellung gebracht. Dieses Instrument ist wohl das einfachste und beste der bis jetzt angegebenen selbsttätig reduzierenden oder automatischen Tachymeterkonstruktionen, dessen Theorie und Einrichtung Professor Dr. E. Hammer in Stuttgart angegeben und Mechaniker Fennel in Kassel sehr geschickt mechanisch ausgeführt hat.

Da wir uns auf eine weitere theoretische Entwicklung nicht einlassen können, knüpfen wir unmittelbar an das Prinzip des Tachymeters Patent Tichý & Starke (Fig. 211) an.

Um an der Latte die Horizontalabstand D und Höhe h direkt ablesen zu können:

$$D = 100 L_1, h = 100 L_2, \dots \dots \dots 1)$$

mußten die Schraubenstellungen S_1 und S_2 , welche als Funktionen des Vertikalwinkels φ und der optischen Dimensionen des Fernrohres erscheinen, entweder an der D -, respektive H -Teilung des Vertikalkreises abgelesen oder aber aus Tafeln mit dem Argumente φ entnommen werden.

Die Schraubenstellungen S_1 für die Horizontalabstände entsprechen gewissen Bildgrößen (Entfernungen der distanzmessenden Fäden) B_1 und S_2 für die relativen Höhen den Bildgrößen B_2 ; rechnet man die Bildgrößen B_1 und B_2 und trägt sie graphisch auf, so erhält man ein Diagramm mit einer Grund- und Distanzkurve und den zwei Ästen der Höhenkurve, für Höhen- und Tiefenwinkel gültig. Die Höhenkurve ist beim Hammerschen Instrumente für den Fall bestimmt, daß $h = 20 \cdot L_2$ ist.

Wird dieses Diagramm in die Ebene des Fadenkreuzes gebracht und durch mechanische Einrichtungen dafür Sorge getragen, daß bei verschiedenen Neigungen des Fernrohres für Vertikalwinkel $0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, \dots$ diejenigen Partien des Diagrammes in die vertikale Visierebene des Fernrohres gelangen, welche den genannten Vertikalwinkeln entsprechen, so können aus den an der Latte gemachten Lattenlesungen L_1 und L_2 nach Multiplikation mit 100, beziehungsweise 20, die gewünschten Größen D und h erhalten werden. Ein Vertikalwinkel braucht nicht ermittelt zu werden, die Größen D und h ergeben sich in der Tat ohne jedwedes Zutun des Operierenden, sozusagen automatisch.

Das Diagramm vereinigt in sich unendlich viele Bildgrößen, welche ebensoviele Fadenabständen entsprechen. Die Tangenten, welche man sich in der Mitte des Diagramms an die Grund- und Distanzkurve parallel zueinander gezogen denkt, entsprechen dem oberen und unteren Faden eines gewöhnlichen optischen Distanzmessers.

Die Einrichtung des Instrumentes ist aus Fig. 217 ersichtlich; der Horizontalkreis hat als Ablesemittel Fennelsche Indexmikroskopie (Band I, Nr. 275), ein Vertikalkreis ist nicht vorhanden. Das besprochene Diagramm ist an der horizontalen Drehungsachse des Fernrohres befestigt und macht alle Bewegungen desselben mit; sein Bild wird durch ein optisches System, bestehend aus Prismen und Linsen, in die Ebene des Fadenkreuzes gebracht; hiebei gelangen je nach der Größe des Vertikalwinkels verschiedene Stellen des Diagrammes in die Visierebene des Fernrohres, so daß zwischen den Diagrammkurven die entsprechenden Lattenabschnitte bestimmt werden können.

Die Distanzlatte, welche Verwendung findet, trägt eine gleichmäßige Zentimeterteilung; der Lattennullpunkt, auf welchen die Grundkurve einzustellen

ist, ist besonders markiert und befindet sich 1.40 m über dem Fußpunkte der Latte, was der mittleren Instrumenthöhe entspricht.

Bei horizontaler Lage des Fernrohres bietet sich das in Fig. 218 abgebildete Gesichtsfeld: die Grund- oder Nullkurve ist auf den markierten Nullpunkt der Latte eingestellt, bei der unteren Distanzkurve liest man 0.247 ab und die Höhenkurve zeigt Null. Der Horizontalabstand ist dann $D = 0.247 \times 100 = 24.7\text{ m}$.

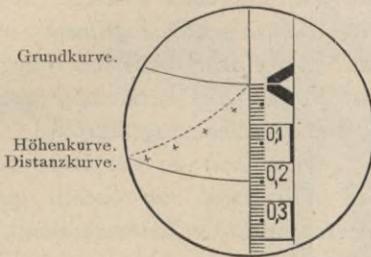


Fig. 218.

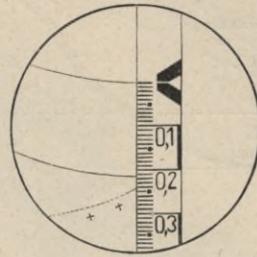


Fig. 219.

In Fig. 219 ist das Gesichtsfeld zur Ansicht gebracht, wenn die Distanzlatte höher als der Instrumenthorizont ist; man liest an der Distanzkurve 0.215 und an der Höhenkurve 0.241 ab. Die gesuchten linearen tachymetrischen Elemente sind dann:

$$D = 100 \times 0.215 = 21.5\text{ m}$$

$$h = 20 \times 0.241 = + 4.82\text{ m}.$$

Die Genauigkeit dieses Instrumentes beträgt etwa $\frac{1}{300}$ für Horizontalabstände und wenige Dezimeter für die Höhe.

Andere automatische Tachymeter sind von mehreren Seiten angegeben worden; doch geschehen die selbsttätigen Reduktionen durch mechanische Einrichtungen, die das Auftreten von systematischen Fehlern bedingen und daher stets auf Kosten der Genauigkeit erfolgen. Solche Konstruktionen stammen von den Italienern Porro, Baggi, Roncagli-Urbani, Reina, Nasso und führen bei diesen den Namen „Tacheometro riduttore“; die Franzosen Goulier, Sanguet u. s. w. sind gleichfalls mit Tachymetern dieser Tendenz hervorgetreten.

Die zweite Gruppe von Tachymetern, die unter dem Namen Schiebetachymeter, Reduktions- oder auch Projektionstachymeter bekannt sind, erfordern entweder eine schiefe oder vertikale Lattenstellung. Zu den ersteren rechnet man das Schiebetachymeter von Kreuter und Wagner-Fennel, während der Puller-Breithaupt'sche Schnellmesser zu den letzteren Tachymeterkonstruktionen gehört.

276. Schiebetachymeter mit schiefer Lattenstellung. Im Punkte A (Fig. 220) ist ein Schiebetachymeter zentrisch und horizontal und über B eine Distanzlatte derart aufgestellt, daß der Punkt M derselben vertikal über B sich befindet und die Distanzlatte senkrecht zur Mittelvisur CM des Fernrohres steht.

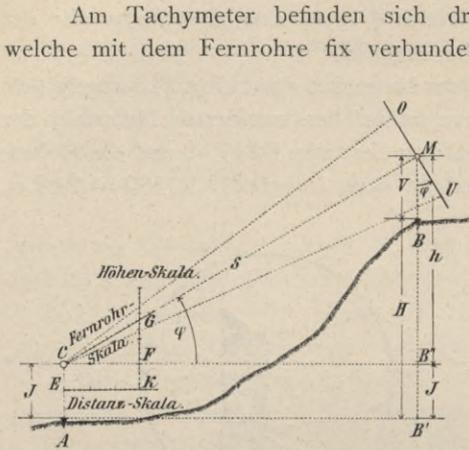


Fig. 220.

Am Tachymeter befinden sich drei gleichmäßige Skalen: eine Skala, welche mit dem Fernrohre fix verbunden ist und deren Nullpunkt in C sich befindet, die Fernrohrskala, eine fix bleibende Skala, Distanzskala, deren Nullpunkt in E liegt, und eine dritte Skala, Höhenskala, die senkrecht zur Distanzskala gestellt und auf einem Schiebe- oder Projektionsdreiecke angebracht ist und deren Anfangspunkt bei F liegt, von wo aus die Bezifferung nach oben und unten ausgeführt ist.

Wird nun an der Latte aus den Ablesungen am oberen und unteren Faden der Lattenabschnitt L bestimmt, so rechnet man eventuell

im Kopfe die schiefe Distanz nach der Gleichung $s = CL + c$, worin zumeist $C = 100$ sein wird. Stellt man dann die Höhenskala auf die schiefe Distanz s der Fernrohrskala ein, so ist

$$\overline{CF} = CG \cdot \cos \varphi, \text{ respektive } D = s \cos \varphi \text{ und man kann, da } \overline{EK} = \overline{CF} = D \quad .2)$$

ist, an der Distanzskala unmittelbar die Horizontalabstand ablesen.

An der Höhenskala kann bei G eine Ablesung gemacht werden und sie entspricht, da

$$\overline{FG} = \overline{CG} \sin \varphi, \text{ respektive } h = s \sin \varphi \text{ ist, } \dots \dots \dots 3)$$

der relativen Höhe h. Die gesuchte Höhe H des Punktes B lautet:

$$H = h + (J - V) \dots \dots \dots 4)$$

Fast gleichzeitig sind zwei Instrumente angegeben worden, welche, die vorstehend entwickelte Beziehung ausnützend, mit den entsprechenden Vorrichtungen versehen sind, um nach Einstellung des Mittelfadens auf den Zielpunkt M der Latte und nach Bestimmung des Lattenabschnittes L die mit einem Schiebendreiecke verbundene Fernrohrtheilung auf die schiefe Distanz $s = CL + c$ zu stellen und dann bei K und G auf der Distanz-, respektive Höhenskala unmittelbar D und h abzulesen.

Diese Instrumente sind:

1. das Kotierinstrument von Professor Kreuter (Fig. 221), ausgeführt in der mathematisch-mechanischen Werkstätte von Ertel & Sohn in München, und

2. das Tachymeter von Wagner-Fennel (Fig. 222), ursprünglich gefertigt vom mathematisch-mechanischen Institute Fennel Söhne in Kassel.

Eine nähere Beschreibung der beiden Instrumente ist wohl überflüssig; bei beiden ist der Vertikalkreis weggelassen und an dessen Stelle ist eben die Projektionsvorrichtung, der Projektor, angebracht.

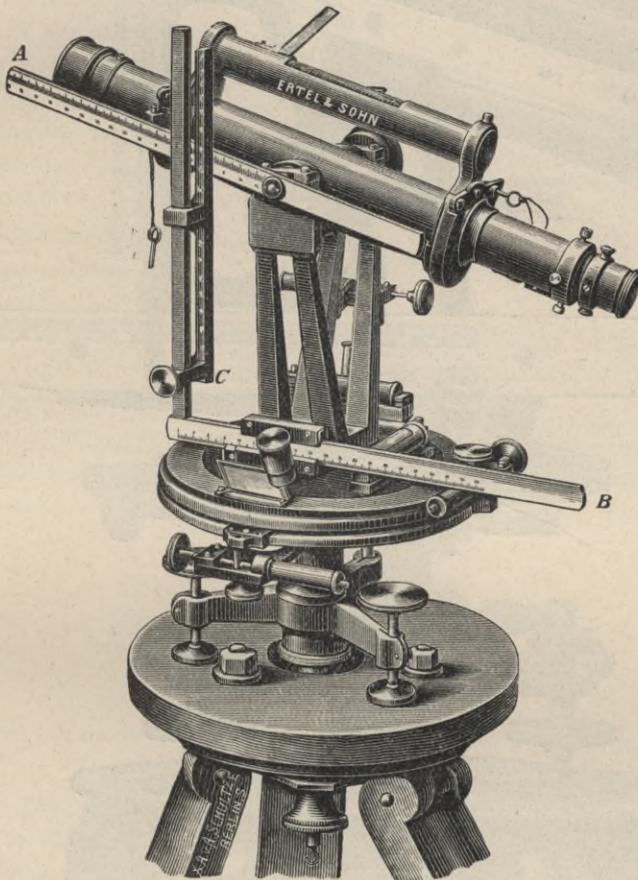


Fig. 221.

(Etwa $\frac{1}{5}$ der natürlichen Größe.)

Diese Tachymeter haben folgende Nachteile:

1. Die schiefe Lattenstellung erfordert komplizierte Einrichtungen, um einen bestimmten Punkt derselben vertikal über den Standpunkt zu bringen und die Latte senkrecht zur Mittelvisur zu stellen; es ist für den Gehilfen nicht nur schwierig, die Latte in diese Stellung zu bringen, sondern auch un bequem, sie in dieser Stellung zu erhalten.

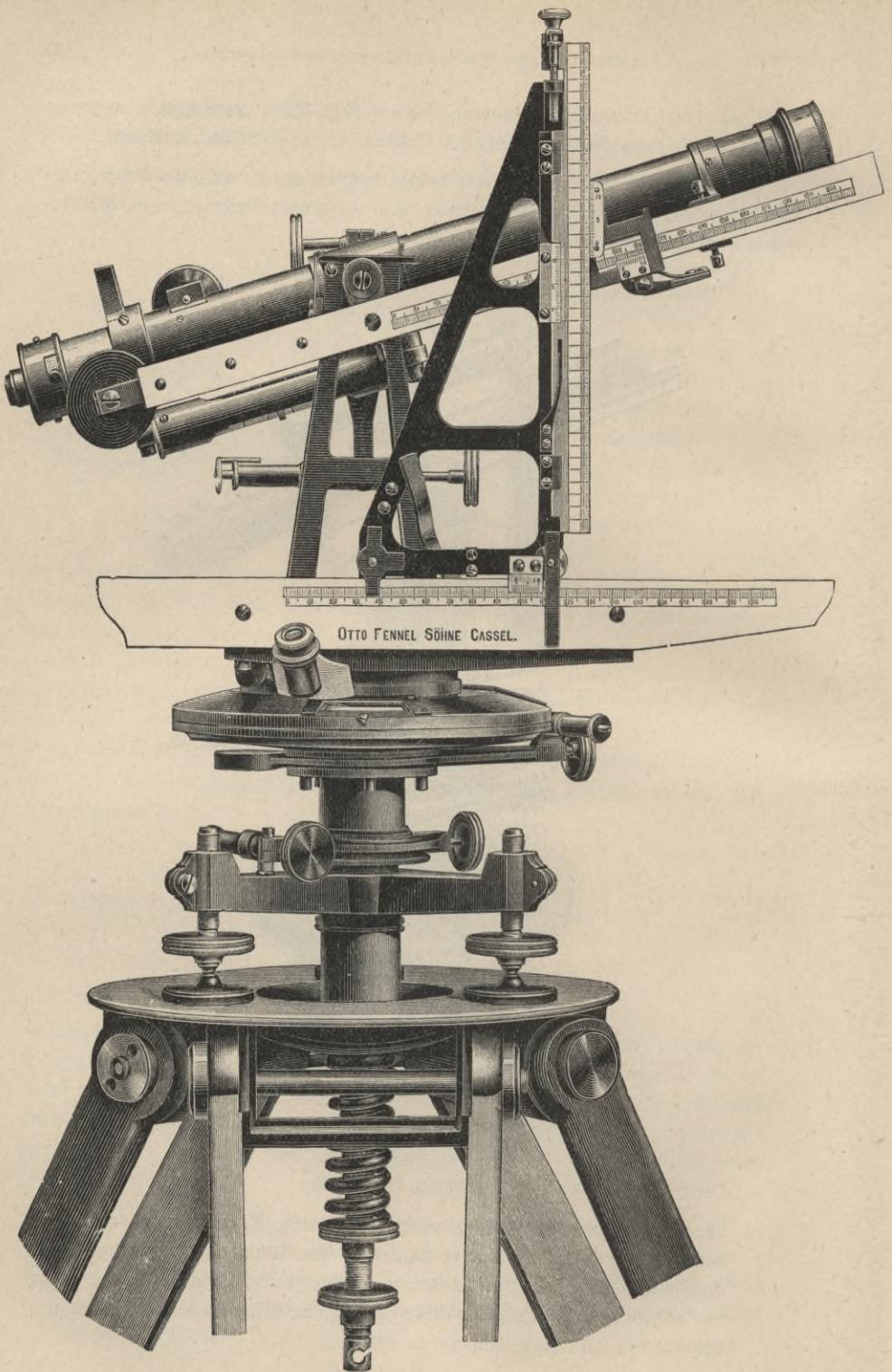


Fig. 229.

(Etwa $\frac{1}{2}$ der natürlichen Größe.)

2. Die Schiebe- und Projektionsvorrichtungen, die zur Kenntnis von D und h führen, können kaum mit jener Präzision ausgeführt werden, daß konstante Fehler ausgeschlossen sind.
3. Das Nichtvorhandensein des Vertikalkreises schließt schärfere Höhenbestimmungen, die meist notwendig werden, aus.

Mitteilungen von erfahrenen Praktikern zeigen jedoch, daß bei Verwendung gut geschulten Personales die zu Vorarbeiten für Straßen- und Eisenbahnprojekte nötigen Aufnahmen mit diesen Apparaten zumeist in kurzer Zeit und mit hinreichender Genauigkeit ausgeführt werden können.

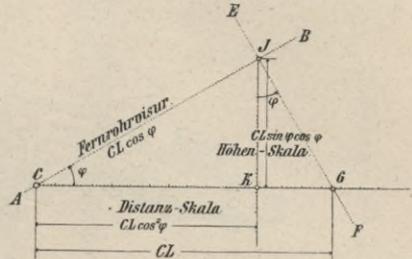


Fig. 223.

277. Schiebetachymeter mit vertikaler Lattenstellung. Um die Nachteile der schiefen Latte zu beseitigen, hat Ingenieur Puller eine Anordnung angegeben, welche bei vertikaler Lattenstellung das Projektionsprinzip anzuwenden gestattet. Im Wesen ist die folgende Einrichtung getroffen:

Wenn CB (Fig. 223) die unter dem Vertikalwinkel φ geneigte Fernrohrvisur, EF einen zu CB senkrecht stehenden stellbaren Schieber darstellt, so wird nach Bestimmung des Lattenabschnittes L der Schieber auf $\overline{CG} = C \cdot L$ eingestellt; dann ist

$$\left. \begin{aligned} \overline{CJ} &= C \cdot L \cos \varphi \\ \overline{CK} &= \overline{CJ} \cos \varphi = C \cdot L \cos^2 \varphi = D \\ \overline{JK} &= \overline{CJ} \sin \varphi = C \cdot L \sin \varphi \cos \varphi = h \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 5)$$

so daß D und h unmittelbar an der Distanz- und Höhenskala abgelesen werden können.

In Fig. 224 ist das von dem mathematisch-mechanischen Institute von Breithaupt in Kassel in bekannter Präzision ausgeführte Instrument dargestellt, welches mit dem Namen Schnellmesser belegt wurde.

Das Instrument läßt eine doppelte Anwendung zu, und zwar

- a) als numerisches Tachymeter, bei welchem die Lesungen am Horizontalkreise gemacht und die Größen D und h mit der Projektionsvorrichtung in Zahlen bestimmt werden, und
- b) als Tachygraphometer, wobei die Lesung am Horizontalkreise nicht erforderlich ist, da auf dem auf der Limbusebene aufgespannten Papiere durch eine Pikiervorrichtung im Horizontalabstande D der festgelegte Punkt pikiert und demselben die bestimmte Höhe H beigesetzt wird.

In neuerer Zeit hat die Firma Breithaupt eine andere Type des Puller-Breithaupt'schen Schnellmessers bekanntgemacht, bei welchem eine einfachere Anordnung der Projektionsvorrichtung vorhanden ist (Fig. 225); diese gestattet, unter Benützung von konzentrischen Kreisen nach Einstellung des an der Latte

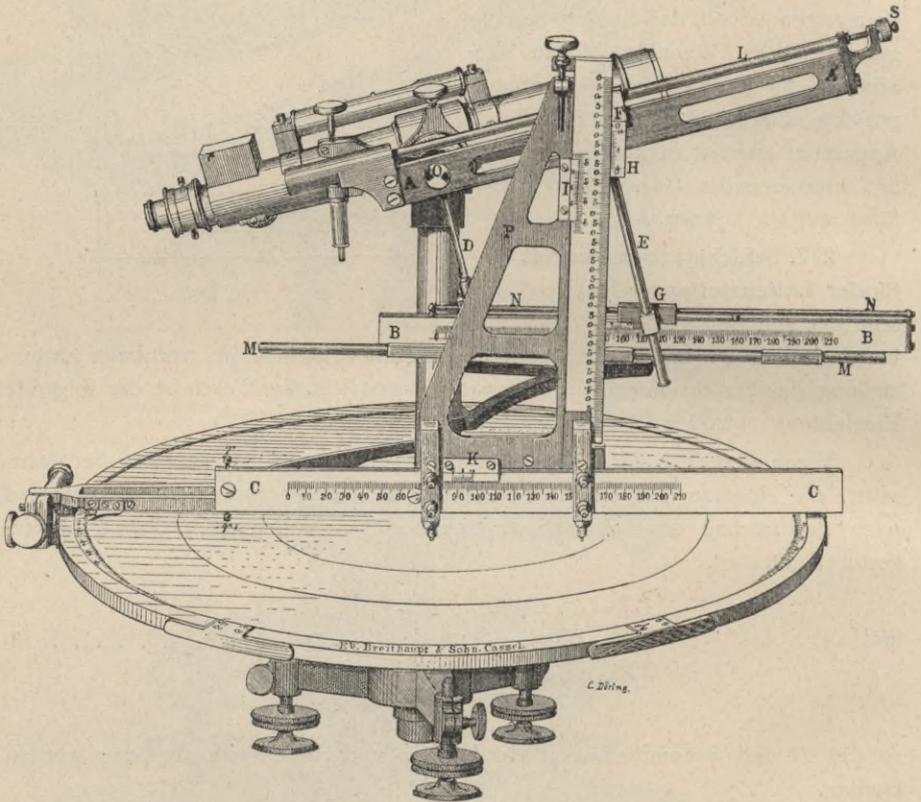


Fig. 224.

($\frac{1}{3}$ der natürlichen Größe.)

abgelesenen Abschnittes *L* die verlangten Größen *D* und *H* ohne weiteres auf der Projektionsvorrichtung abzulesen und die Situation des Punktes mit einem Pikierbleistifte auf dem aufgelegten Pauspapiere zu zeichnen.

Wenn das Auftragen der Punkte auf dem Felde auf Pauspapier wegen ungünstiger Witterung oder wegen anderer Gründe nicht empfehlenswert erscheint, so können die Detailpunkte nach Richtung, Distanz und Höhe auch numerisch festgelegt werden.

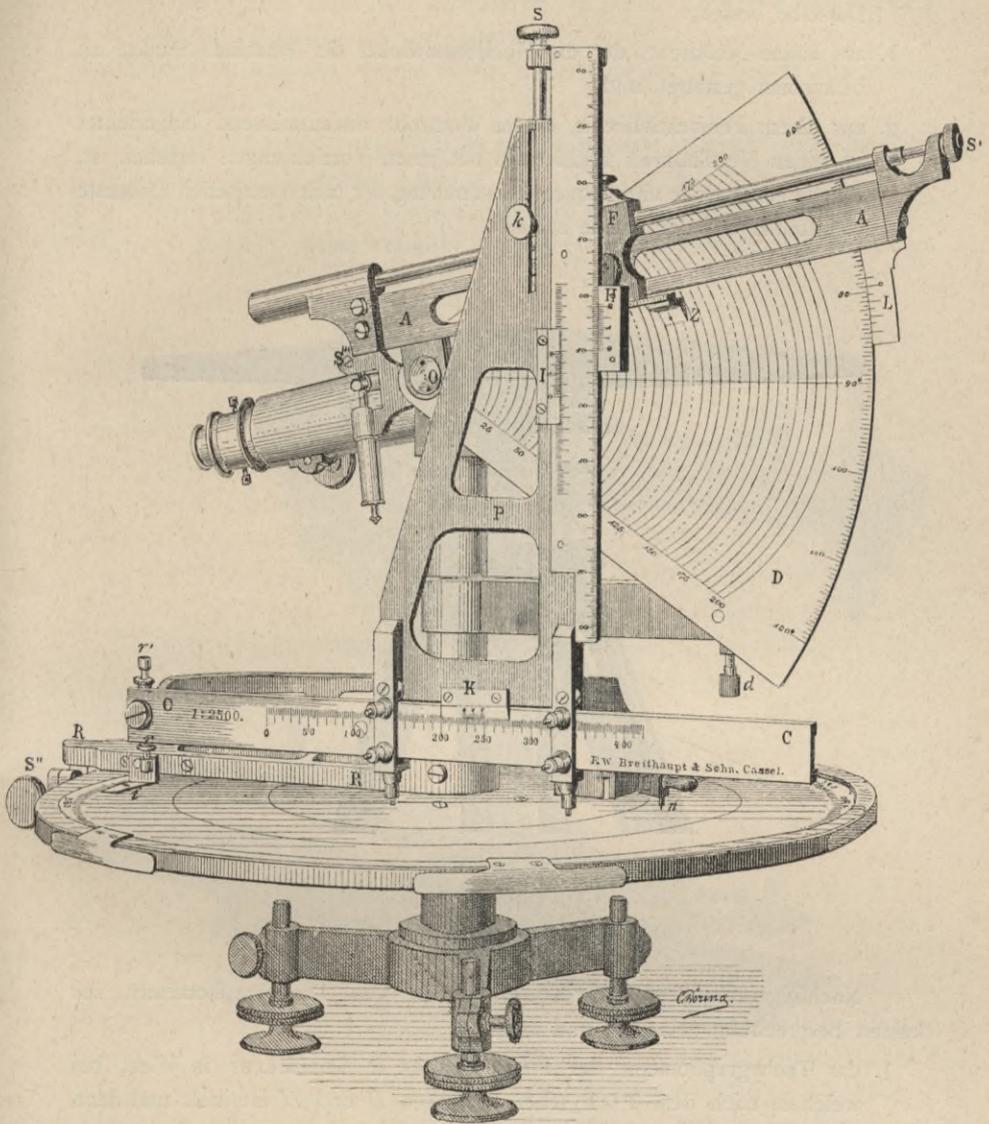


Fig. 225.

($\frac{1}{3}$ der natürlichen Größe.)

§ 25. Tachygraphometer.

278. Das Tachygraphometer hat die Aufgabe, die auf dem Felde ermittelten tachymetrischen Elemente α , D und H unmittelbar graphisch zur Darstellung zu bringen.

Dasselbe besteht:

1. aus einem Meßtische, der die Horizontalwinkel der einzelnen Punkte zu bestimmen gestattet, und
2. aus einem Perspektivlineale, dessen Fernrohr distanzmessend eingerichtet ist, einen Vertikalkreis besitzt und mit jenen Vorrichtungen versehen ist, welche eine rasche und bequeme Bestimmung der tachymetrischen Elemente unmittelbar auf dem Felde zulassen.

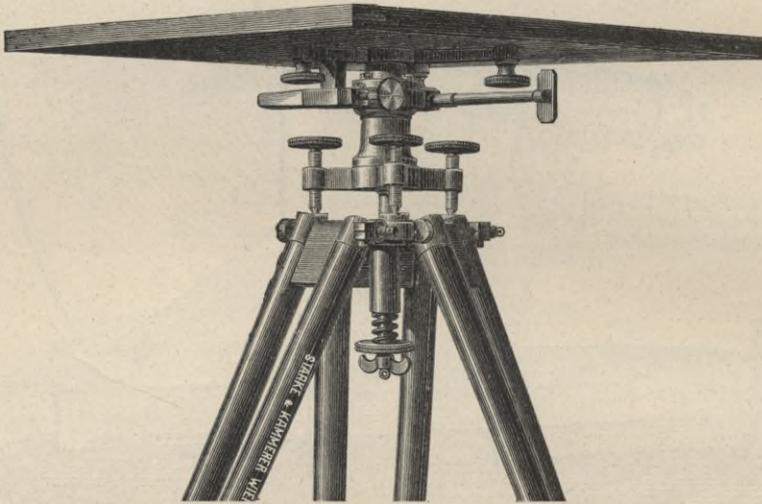


Fig. 226.

($\frac{1}{6}$ der natürlichen Größe.)

Nachfolgend sollen zwei Konstruktionen von Tachygraphometern zur kurzen Besprechung gelangen, und zwar:

1. das Tachygraphometer der Firma Starke & Kammerer in Wien, bei welchem nach dem Tichýschen Verfahren D und H ermittelt und dann verwertet werden;
2. das Tachygraphometer von Wagner-Fennel, welches nach Bestimmung des Lattenabschnittes zwischen den distanzmessenden Fäden an einer mechanischen Schiebevorrichtung D und H liefert.

In Fig. 226 und 227 ist das Tachygraphometer von Starke & Kammerer abgebildet. Der erste Hauptbestandteil, der Meßtisch, hat drei Teile:

- a) das Stativ mit der Zentral- oder Herzschaube;
- b) das Mittelstück, wovon der untere Teil mittels der Zentralschaube mit dem Stative fest verbunden wird und der obere Teil zur Aufnahme der

Meßtischplatte dient und drehbar ist, zu welchem Zwecke eine Klemme und eine Feinschraube vorhanden sind;

- c) die Meßtischplatte, welche mittels dreier Schrauben mit dem Mittelstücke verbunden wird.

Hieraus sieht man, daß ein jeder gut konstruierte Meßtisch zur graphischen Tachymetrie benützt werden kann.

Der zweite Teil des Tachygraphometers wird von einem Perspektivlineale (Fig. 227) gebildet, dessen Fernrohr distanzmessend eingerichtet und mit einem

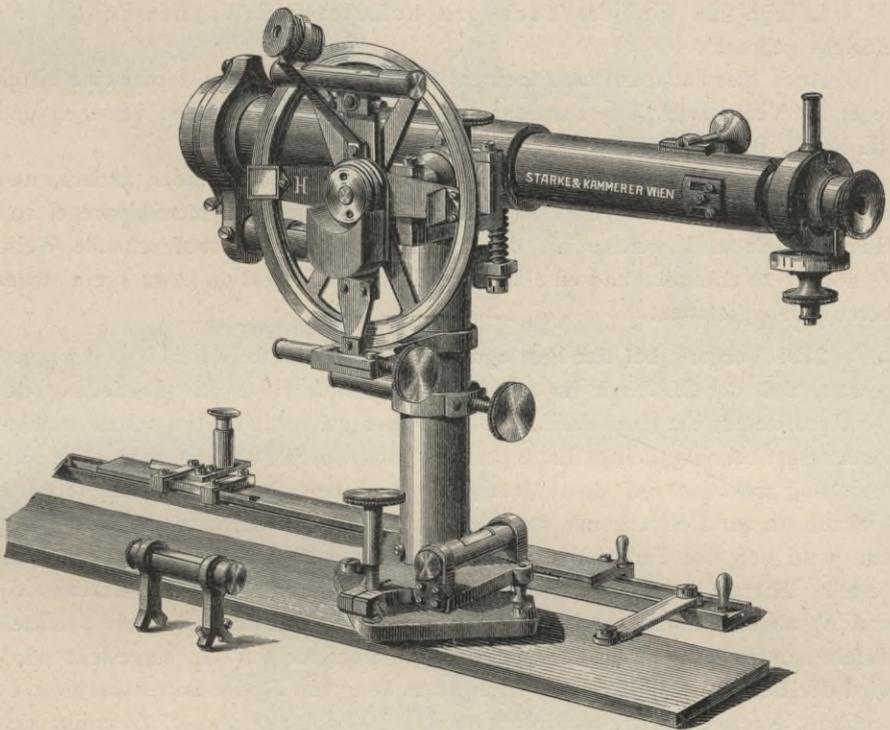


Fig. 227.

($\frac{1}{3}$ der natürlichen Größe.)

Okular-Filarschraubenmikrometer versehen ist. Dadurch ist man in der Lage, verschiedene Methoden der Tachymetrie zur Anwendung zu bringen, von denen insbesondere die Tichýsche Methode im vorliegenden Falle die praktischste ist. Hierbei werden S_1 und S_2 an der D - und H -Teilung des Vertikalkreises oder mit Hilfe des abgelesenen Vertikalwinkels φ aus Tabellen ermittelt (Nr. 268), wodurch nach Einstellung des Okular-Filarschraubenmikrometers auf diese Schraubenstände die Lattenabschnitte L_1 und L_2 und aus diesen

$$\left. \begin{aligned} D &= 100 L_1 \\ h &= 100 L_2, \quad H = h + (J - V) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots$$

nach einfacher Multiplikation erhalten und dann vom Standpunkte aus auf dem Rayon die Distanz D im verjüngten Maßstabe aufgetragen werden kann. Hiedurch erhält man die Situation der aufgenommenen Punkte; werden den so erhaltenen Horizontalprojektionen der Punkte auch die erhaltenen Knoten hinzugefügt, so wird sofort ein kotierter Plan der aufgenommenen Terrainpartie erhalten.

Hiebei ist es rätlich, wenn es die Umstände zulassen, noch außerdem ein Protokoll in der für das Tichýsche Verfahren im II. Bande, Nr. 269 angegebenen Weise zu führen. Diese Mehrarbeit wird in vielen Fällen große Vorteile gewähren.

In Fig. 228 wird das Tachygraphometer von Wagner-Fennel zur Ansicht gebracht.

Auch hier hat man einen kleinen Meßtisch als Unterbau, ferner eine Kippregel als Visiermittel, das Fernrohr mit distanzmessenden Fäden versehen und die im II. Bande, Nr. 276 geschilderte Projektionsvorrichtung.

Neben den vorstehenden Tachygraphometern gibt es noch andere, und zwar: den Schnellmesser von Puller-Breithaupt, die Tachymeterkippregel von Hammer-Fennel, welche mit den besprochenen Mitteln auf schnelle Weise D und H zu ermitteln und eine kotierte Horizontalprojektion eines Terrainteiles herzustellen gestatten.

279. Vorgang bei der Festlegung der Detailpunkte. Hiebei wird vorausgesetzt, daß der Meßtisch im Standpunkte orientiert ist. Die Festlegung der Detailpunkte besteht dann darin, daß die Kippregel nach der im festzulegenden Punkte vertikal aufgestellten Latte gerichtet und durch Drehung, respektive Verschiebung um den auf dem Meßtische gegebenen Standpunkt die vertikale Visierebene zur Deckung mit der Längsnachse der Distanzlatte gebracht wird; nun wird der fixe Faden des Schraubenmikrometers auf die Zielhöhe V eingestellt. Hierauf werden auf der D - und H -Teilung des Vertikalkreises S_1 und S_2 abgelesen und eventuell durch Ablesung des Vertikalwinkels φ mittels Tafeln kontrolliert. Indem das Schraubenmikrometer auf S_1 eingestellt wird, wird der Lattenabschnitt L_1 und nach Einstellung von S_2 der Lattenabschnitt L_2 ermittelt. Nach einfacher Multiplikation mit 100 folgt D und h ; H ergibt sich bei Berücksichtigung von $(J - V)$ aus $H = h + (J - V)$.

Bei geringen Höhenunterschieden wird man so verfahren, wie im Band II Nr. 268 und 269 angegeben wurde; es wird statt des kleinen Wertes von S_2 ein Vielfaches $k \cdot S_2$ genommen und dann der ermittelte Lattenabschnitt mit $\frac{100}{k}$ multipliziert, wodurch sich h ergibt.

Hat man D und h bestimmt, so soll niemals die Kontrolle unterlassen werden, welche in der Verwertung der Gleichungen:

$$D \cdot S_2 = h \cdot S_1, \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{S_2}{S_1} \quad \text{und} \quad S_1^2 - 5 S_1 + S_2^2 = 0$$

besteht.

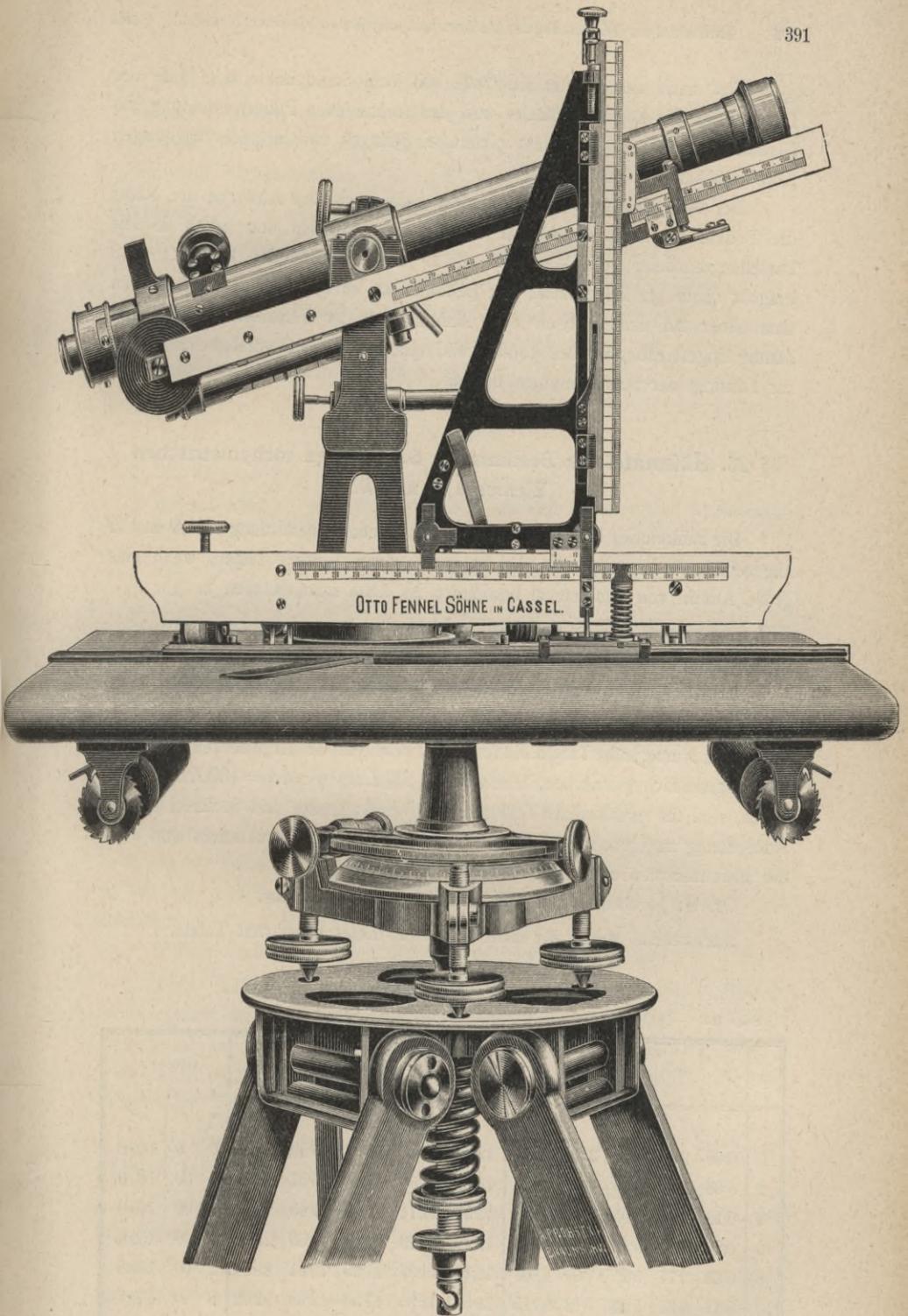


Fig. 228.

(Etwa $\frac{1}{3}$ der natürlichen Größe.)

Erst nach ausgeführter Kontrolle soll vom Standpunkte mit Hilfe der Distanzskala des Kippregellineales und der vorhandenen Pikiervorrichtung die Distanz abgeschoben, der Punkt pikiert, eingeringelt und mit der zugehörigen Kote versehen werden.

Der beim Meßtische tätige Ingenieur kann nach dem Anblicke der Natur die Punkte im Plane unmittelbar miteinander verbinden und erhält so die Parzellengrenzlinien, die Weglinien, Bach- und Flußuferlinien u. s. w.; man braucht daher gar keine Skizze mit Leitlinien zu entwerfen, weil die Leitlinien unmittelbar auf den Meßtisch nach Abschätzung der Terrainverhältnisse freihändig eingezeichnet werden können und später einen ganz vorzüglichen Behelf zur Führung der Schichtenlinien bieten.

§ 26. Hilfsmittel zur Bestimmung der linearen tachymetrischen Elemente D und h .

Die zahlreichen Hilfsmittel, welche zur bequemen Ermittlung von D und H angegeben worden sind und die besonders dann Vorteile bieten, wenn eine große Anzahl von Punkten zu bestimmen ist, kann man einteilen in

1. numerische Tafeln (Tachymetertafeln),
2. graphische Hilfsmittel, Diagramme und Schichtentafeln, und
3. mechanische Hilfsmittel, Tachymeterschieber und logarithmische Tachymeter-Rechenschieber.

280. Numerische Tafeln. Zahlentafeln, welche mit den Argumenten $100 L$ und φ die linearen tachymetrischen Elemente $D = 100 L \cos^2 \varphi$ und $h = 100 L \sin \varphi \cos \varphi$ geben, sind für verschiedene Teilungen des Vertikalkreises und in verschiedener Ausdehnung angegeben worden. Für ältere Tachymeterkonstruktionen sind wohl die ausführlichsten und praktischsten:

Dr. W. Jordan: Hilfstafeln für Tachymetrie, Stuttgart.

Nachstehend geben wir einen Probeteil dieser bewährten Tafeln.

$$140 \left(\frac{1}{2} \sin 2 \varphi \right).$$

Seite 132.

φ	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	140 $\cos^2 \varphi$		
φ											0	φ	
0	0·00	2·44	4·88	7·32	9·74	12·16	14·55	16·93	19·29	21·63	0	0	140·0
2	0·08	2·52	4·96	7·40	9·82	12·24	14·63	17·01	19·37	21·71	0	30	140·0
4	0·16	2·61	5·05	7·48	9·90	12·32	14·71	17·09	19·45	21·79	1	00	140·0
6	0·24	2·69	5·13	7·56	9·98	12·40	14·79	17·17	19·53	21·86	1	30	139·9
8	0·33	2·77	5·21	7·64	10·06	12·48	14·87	17·25	19·61	21·94	2	00	139·8
10	0·41	2·85	5·29	7·72	10·15	12·56	14·95	17·33	19·69	22·02	2	30	139·7

Die Tafeln sind, was die Höhe betrifft,

für die Distanzen von	10 bis 100 m	100 bis 175 m	175 bis 250 m
und die Vertikalwinkel von	0° bis 30°	0° bis 20°	0° bis 10°
mit dem Winkelintervalle	3'	2'	1'

berechnet.

Die Entnahme der Größen D und h kann erfolgen:

- entweder unmittelbar mit dem Argumente $100L$ und dem Vertikalwinkel φ ; dann ist die Genauigkeit der Entnahme eine absolute, z. B.

für $L = 1:400$, $\varphi = 2^{\circ} 00'$ bestimmt man mit $100L = 140$, wie aus dem vorstehenden Probeteile ersichtlich ist,

$$D = 139.8 \text{ m}$$

$$h = 4.88 \text{ m.}$$

- Mit abgerundeten Argumenten $100L$ und φ , z. B.

für $L = 1:403$, $\varphi = 2^{\circ} 04' 20''$ erhält man mit den abgerundeten Argumenten $100L = 140$, $\varphi = 2^{\circ} 04'$, $D = 139.8 \text{ m}$ und $h = 5.05 \text{ m}$.

Die mittleren Fehler der Entnahme ergeben sich im Durchschnitte: $\Delta D = \pm 0.26 \text{ m}$, $\Delta h = \pm 0.04 \text{ m}$.

- Durch Interpolation, wobei die Genauigkeit gegen die Bestimmung mit abgerundeten Argumenten gesteigert wird; es gelten als mittlere Fehler der Entnahme: $\Delta D = \pm 0.1 \text{ m}$ und $\Delta h = \pm 0.01 \text{ m}$.

Ganz einfach ist die Interpolation bezüglich $100L$ für die Distanzen, indem für jedes Millimeter Lattenlesung 1 dm Distanz genommen wird.

Die Jordanschen Tafeln sind zunächst für $C = 100$ und $c = 0$ berechnet, können aber auch für andere Konstanten zurechtgerichtet werden.

Da die Jordanschen Tafeln auch bei neueren Tachymeterkonstruktionen nach der im Band II, Nr. 260 angegebenen Weise benützt werden können, so ist ihre praktische Verwendbarkeit und ihr ausgedehnter Gebrauch wohl erklärlich.

Weitere numerische Tafeln für tachymetrische Zwecke sind:

- Heil: Hilfstafeln zur trigonometrischen und tachymetrischen Höhenmessung für Zentesimalteilung des Kreises, Darmstadt 1893.
- Jadanza: Tavole tacheometriche centesimali, Torino 1893.
- Jadanza: Tavole tacheometriche sessagesimali, Torino 1893.
- Pons: Tables tachéométriques, Paris 1891.

Für neuere Tachymeterkonstruktionen stehen vor allem die bereits erwähnten Tafeln:

G. Starke: Logarithmisch-tachymetrische Tafeln für den Gebrauch der logarithmischen Tachymeter nach Patent Tichý & Starke, Wien 1885, die vierstellig angelegt sind und auch Antilogarithmen enthalten, in Verwendung; sie geben D und h nach einfacher logarithmischer Rechnung. Eine Probe ist auf der folgenden Seite abgedruckt.

29°					30°						
	A	B		A	B		A	B		A	B
00	9·88 60	9·62 98	50	9·88 18	9·63 45	00	9·87 76	9·63 90	50	9·87 32	9·64 33
01	9·88 60	9·62 99	51	9·88 18	9·63 46	01	9·87 75	9·63 91	51	9·87 31	9·64 34
02	9·88 59	9·63 00	52	9·88 17	9·63 47	02	9·87 74	9·63 92	52	9·87 30	9·64 35
03	9·88 58	9·63 01	53	9·88 16	9·63 48	03	9·87 73	9·63 93	53	9·87 29	9·64 36
04	9·88 57	9·63 02	54	9·88 15	9·63 49	04	9·87 72	9·63 94	54	9·87 28	9·64 37
05	9·88 56	9·63 03	55	9·88 14	9·63 49	05	9·87 71	9·63 94	55	9·87 27	9·64 38
06	9·88 55	9·63 04	56	9·88 13	9·63 50	06	9·87 70	9·63 95	56	9·87 27	9·64 38

Beispiel. Gegeben: $L = 1·359 \text{ m}$ $\varphi = 29·05°$
 $J = 1·342 \text{ „}$ $J - V = - 1·658 \text{ m.}$
 $V = 3·00 \text{ „}$

Mittels der Tafeln rechnet man:

$\log 100 L = 2·13 \ 32$
 $A = 9·88 \ 56$
 $B = 9·63 \ 03$

$\log D = 2·01 \ 88$ $D = 104·4 \text{ m}$
 $\log h = 1·76 \ 35$ $h = 58·01 \dots \dots \dots \left. \begin{array}{l} h = +58·01 \text{ m} \\ J - V = - 1·658 \text{ m} \end{array} \right\}, H = +56·352 \text{ m,}$

eine Berechnungsweise, die bei einer großen Anzahl von Punkten, tabellarisch angelegt, an Einfachheit und Übersichtlichkeit wohl nichts zu wünschen übrig läßt.

281. Graphische Hilfstafeln. Zu diesen gehören Strahlendiagramme, Schichtentafeln u. s. w., die in einer großen Anzahl angegeben worden sind; hierbei kommt es vornehmlich darauf an, in den Ausdrücken:

$$\left. \begin{array}{l} D = CL \cos^2 \varphi \\ h = CL \sin \varphi \cos \varphi = \frac{1}{2} CL \sin 2 \varphi \end{array} \right\} \dots \dots \dots 1)$$

die zwei Funktionen $\cos^2 \varphi$ und $\sin 2 \varphi$, respektive $\sin \varphi \cos \varphi$ zu ermitteln.

Strahlendiagramme für die Funktionen $\cos^2 \varphi$ und $\frac{1}{2} \sin 2 \varphi$. Denkt man sich einem Strahle OS , der unter dem Winkel α zur Geraden Ox gezogen ist (Fig. 229), den Winkel φ beigelegt, für den die Beziehung besteht:

$$\cos \alpha = \cos^2 \varphi, \dots \dots \dots 2)$$

so ist einleuchtend, daß, wenn $\overline{OA} = 100 L$ angenommen wird, man

$$D = OB = 100 L \cos \alpha = 100 L \cos^2 \varphi \dots \dots \dots 3)$$

erhält.

In der einfachsten Form läßt sich zur Auswertung der besprochenen Beziehung ein Strahlendiagramm zeichnen, das nach den Winkeln φ beschrieben ist; nun wird $OA = 100 L$ an einer Längenskala abgegriffen, in A die Zirkelspitze festgehalten und mit der anderen Zirkelspitze ein Bogen beschrieben, der in C

den Strahl Oy berührt; AC , an einer Längenskala abgelesen, gibt die gesuchte Distanz $D = CL \cos^2 \varphi$.

Das Diagramm läßt sich dadurch vorteilhaft ausgestalten, daß man schwache konzentrische Kreise zeichnet, die mit CL beschrieben werden; ferner legt man eine Distanzskala an, die an der Abszissenachse ihre Beschreibung besitzt.

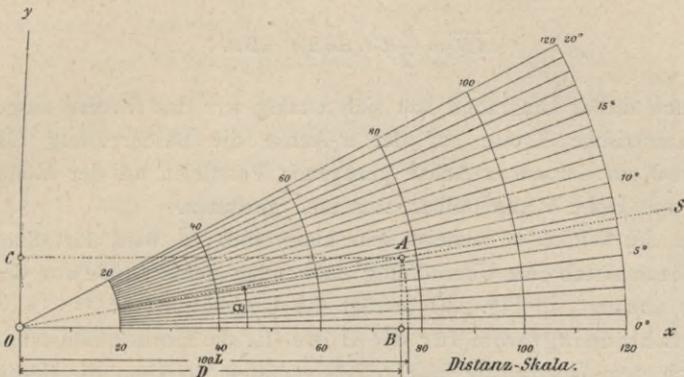


Fig. 229.

Die Bestimmung von D erfordert dann gar kein Einstechen und Bogenbeschreiben mit einem Zirkel, sondern man kann unmittelbar CL auf einem Strahle φ aufsuchen und auf der Distanzskala den zugehörigen Wert D finden; ferner ist die Interpolation auf einem im größeren Maßstabe angelegten Diagramme sehr bequem.

In analoger Weise läßt sich ein Diagramm für $\frac{1}{2} \sin 2 \varphi$ angeben; in Fig. 230 ist
angenommen. $\sin \beta = \frac{5}{2} \sin 2 \varphi \dots \dots \dots 4)$

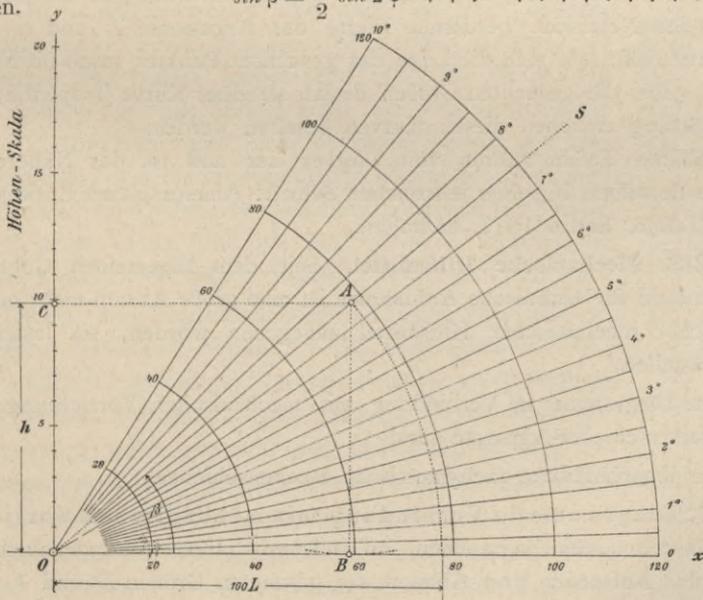


Fig. 230.

Die Strahlen sind unter dem Winkel β gezogen und nach φ beschrieben; in der Figur ist

$$AB = \overline{OA} \sin \beta = \frac{5}{2} \overline{OA} \sin 2\varphi; \dots\dots\dots 5)$$

wenn also $\overline{OA} = CL$ gesetzt wird, so folgt:

$$\overline{AB} = \frac{5}{2} CL \sin 2\varphi = 5h. \dots\dots\dots 6)$$

Auch dieses Diagramm läßt sich analog wie das frühere ausgestalten, so daß konzentrische Kreise auf der x -Achse die Beschreibung $CL = 100 L$ tragen und auf der zur x -Achse gezogenen Parallelen an der Höhenskala der y -Achse die Höhe h unmittelbar abzulesen gestatten.

Da die Winkel φ zumeist sehr klein sind, so wird für den Ordinaten- oder Höhenmaßstab eine Überhöhung notwendig, deren Größe von dem Vertikalwinkel φ abhängt; in Fig. 230 beträgt die Überhöhung 5.

Strahlendiagramm für die Höhe. Ist die Horizontalabstand D bekannt oder nach dem Diagramme in Fig. 229 ermittelt, so kann die Bestimmung der Höhe auch mittels eines Diagrammes, das sich auf die Gleichung

$$h = D \operatorname{tg} \varphi \dots\dots\dots 7)$$

stützt, durchgeführt werden.

Näheres über die Anlage und Anwendung eines solchen Diagrammes ist im Bande I, Nr. 48 gegeben worden.

282. Die Schichtentafeln, welche sich zur Anwendung in der Tachymetrie vornehmlich empfehlen, bestehen aus einem rechtwinkligen Koordinatennetze, wobei den Netzlinien bestimmte Werte der Argumente L und φ zukommen; mit ihrer Hilfe läßt sich die Lage des gesuchten Punktes rasch im Netze finden, worauf dann die gesuchten Größen direkt an einer Kurve (Isoplethe) oder nach Einschätzung zwischen diesen Kurven erhalten werden.

Solche Tafeln rühren von Vogler her und ist das Nähere über die Anlage derselben in seiner lehrreichen Schrift: Anleitung zum Entwerfen graphischer Tafeln, Berlin 1877, enthalten.

283. Mechanische Hilfsmittel. Seit dem allgemeinen Gebrauche der Tachymetrie für technische Aufnahmen ist eine große Anzahl mehr oder weniger praktischer mechanischer Hilfsmittel angegeben worden; sie lassen sich zusammenstellen:

1. in Diagramme in Verbindung mit mechanischen Vorrichtungen (Tachymeterschieber-Apparate) und
2. in logarithmische tachymetrische Rechenschieber.

1. Diagramme in Verbindung mit mechanischen Vorrichtungen. Diese bestehen aus Diagrammen, auf welchen drehbare und verschiebbare Hilfsmittel das Aufsuchen und Ablesen der gesuchten Größen D und h erleichtern. Hieher kann man rechnen:

- a) den Tachymeterquadranten von Puller,
- b) den Tachymeterschieber von Puller,
- c) das Schiebebrett von Teischinger u. s. w.

2. Logarithmische Tachymeterschieber. Nachfolgend sollen zwei Konstruktionen besprochen werden; der geradlinige und der kreisförmige Tachymeterschieber.

284. Der lineare Tachymeterschieber, welcher in Fig. 231 dargestellt ist, wird von der Firma Starke & Kammerer in Wien in folgender Einrichtung, und zwar in erster Linie für optische Distanzmesser mit anallatischem Fernrohre angefertigt.

Das Lineal trägt zwei idente logarithmische Skalen, die in der Figur mit D und H bezeichneten Teilungen, welche sich nur durch die Art der Bezifferung unterscheiden; die D -Skala ist von 10 bis 1000, die H -Skala von 1 bis 100 beziffert. In einer Rinne des Lineales ist ein Schieber leicht beweglich, welcher zwei Teilungen trägt, und zwar der D -Skala gegenüber die \cos^2 -Skala und der H -Skala gegenüber die $\sin \cos$ -Skala. Die \cos^2 - und $\sin \cos$ -Skala enthalten die logarithmischen Werte von $\cos^2 \varphi$ und $\sin \varphi \cos \varphi$ und es dient die D -Skala in Verbindung mit der \cos^2 -Skala zur Bestimmung der Horizontalabstand $D = CL \cos^2 \varphi$, während die Höhe $h = CL \sin \varphi \cos \varphi$ durch Verbindung der H -Skala mit der $\sin \cos$ -Skala erhalten wird.

Die Skalen für die Logarithmen der beiden trigonometrischen Funktionen $\cos^2 \varphi$ und $\sin \varphi \cos \varphi$ sind noch mit einer zweiten, im entgegengesetzten Sinne laufenden Bezifferung versehen, so daß die Summe der beiden Zahlen 360 gibt. Die Bezifferung 0° bis 45° kommt zur Anwendung, wenn am Vertikalkreise die Höhen- und Tiefenwinkel unmittelbar abgelesen werden, was eine doppelte Bezifferung desselben voraussetzt; ist hingegen der Vertikalkreis durchlaufend von 0° bis 360° beziffert, so werden für Tiefenwinkel die Lesungen unter 360° bis 315° betragen, während die Höhenwinkel zwischen 0° und 45° fallen.

Ein Läufer oder Einstellschieber mit einer auf Glas gezogenen feinen Indexlinie gestattet, einen eingeschätzten Wert zu fixieren und den zugehörigen Wert auf der Nebenskala bequem ablesen zu können. Um parallaktische Ablesungen an der Indexlinie zu vermeiden, ist es geboten, daß die Indexlinie auf der unteren Ebene des planen Glases sich befinde und die Glasebene auf den Teilungen aufliege.

Der Gebrauch des Apparates ist ein sehr einfacher. Hat man für ein gegebenes L und φ die tachymetrischen Elemente D und h zu ermitteln, so wird der Nullpunkt der \cos^2 -Skala



Fig. 231.
(Etwa $\frac{1}{4}$ der natürlichen Größe.)

auf den Wert $100 L$ der D -Skala scharf eingestellt; diejenige Stelle der \cos^2 -Skala, welche dem Vertikalwinkel φ entspricht und mit der Indexlinie des Läufers eingestellt wird, wird nun an der D -Skala abgelesen und gibt $D = CL \cos^2 \varphi$; wird bei unveränderter Lage des Schiebers die Indexlinie des Läufers auf den Vertikalwinkel φ der $\sin \cos$ -Skala eingestellt, so kann an der H -Skala der Wert $h = 100 L \sin \varphi \cos \varphi$ erhalten werden.

Die Fig. 231 zeigt die Einstellung für $100 L = 128.3$ und $\varphi = 7^\circ 55'$. Am Indexstriche wird an der D -Skala bei $8^0 0'$ erhalten $D = 125.9 m$; die punktierte Lage des Läufers gibt bei $7^\circ 55'$ an der H -Skala $h = 17.50 m$.

In vielen Fällen sind der gemessene Vertikalwinkel φ oder die beobachtete Lattenlänge L oder beide derart, daß nach Einstellung des Nullstriches der \cos^2 -Skala auf $100 L$ die Ablesung an der D - oder H -Skala unmöglich ist; dann wählt man ein Vielfaches eines oder beider Beobachtungselemente L und φ , so daß die Ablesung bei φ an beiden Skalen möglich wird.

Hat man statt L den Wert $p L$, wobei $p = 0.1, 10$ oder 100 ist, ferner statt φ den Wert $q \varphi$, wobei $q = 2$ oder 10 ist, in Anwendung gebracht, so werden an der D -, respektive H -Skala die Lesungen D_1 und h_1 erhalten, woraus die gesuchten tachymetrischen Elemente sich ergeben mit:

$$D = \frac{D_1}{p}, \quad h = \frac{h_1}{p q} \dots \dots \dots 8)$$

Eine Vervielfältigung von φ ist nur bei der $\sin \cos$ -Skala und nur für kleine Winkel erlaubt, nicht aber bei der \cos^2 -Skala.

Die Einrichtung des logarithmischen Tachymeterschiebers ist eine solche, daß zur Ermittlung von D stets $p = 10$ ausreicht und mit $p = 0.1, 10$ oder 100 auch die Ablesung von h für alle Werte von φ , welche auf der $\sin \cos$ -Skala vorhanden sind, möglich ist; nur dann, wenn $\varphi < 0^\circ 17'$ oder $> 359^\circ 43'$ ist, muß φ , respektive $(360^\circ - \varphi)$ vervielfältigt werden.

Um für Winkel $\varphi > 17'$ eine Vervielfältigung zu vermeiden, ist im Abstände der logarithmischen Einheit links vom Nullpunkt der \cos^2 -Skala ein Hilfsindex angebracht; dieser wird mit Vorteil angewendet, wenn $\varphi < 1^\circ$ oder $> 359^\circ$ ist.

Nach Einstellung des Indexstriches auf den Wert $100 L_1$ wird an der $\sin \cos$ -Skala h_1 abgelesen, woraus dann $h = \frac{h_1}{10}$ bestimmt wird.

285. Tachymetrischer Kreisrechenschieber (Fig. 232). Dieser vom k. k.

Forstrate F. Riebel angegebene und von dem mechanischen Institute der Gebrüder Fromme in Wien ausgeführte Kreisrechenschieber eignet sich ganz vorzüglich für die Ermittlung der linearen tachymetrischen Elemente.

Auf der Peripherie einer beweglichen Kreisscheibe sind die Logarithmen von 10 bis 100 , beziehungsweise 100 bis 1000 aufgetragen; ein Kreissegment, längs welchem die Scheibe rotiert, enthält die Logarithmen von $\cos^2 \varphi$ der Winkel von 1° bis 45° , welche eine doppelte Bezifferung tragen; die vom Nullpunkte nach links fortschreitende Bezifferung ist schwarz und die von links nach rechts gehende ist rot ausgeführt.

Die Horizontaldistanz $D = 100 L \cos^2 \varphi$ wird erhalten, wenn der Nullpunkt der \cos^2 -Skala (schwarz) auf $100 L$ eingestellt und bei dem Teilstrich φ die Distanz D abgelesen wird

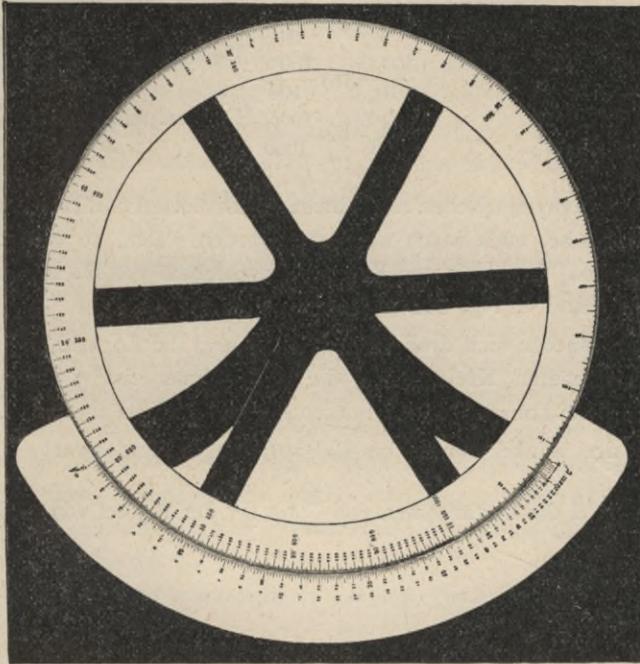


Fig. 232.
(Etwa $\frac{1}{4}$ der natürlichen Größe.)

Da

$$h = 100 L \sin \varphi \cos \varphi = 100 L \cos^2 (45^\circ - \varphi) - \frac{100 L}{2}$$

ist, so ergibt sich die relative Höhe h als eine Differenz, und zwar jener Lesungen, die auf der roten Teilung bei φ und am Nullpunkte dieser Teilung erhalten werden.

Beispiel. Für $L = 1'048$, $\varphi = 12^\circ 30'$ wird nach Einstellung des rechtsseitigen Nullpunktes der \cos^2 -Skala auf $100 L = 104.8$ bei $12^\circ 30'$ abgelesen $D = 99.42$;

die Ablesung bei φ der $\cos^2 (45^\circ - \varphi)$ -Skala gibt 74.17 }
 " " " 0 " " " " 52.12 } , daher
 gibt die Differenz dieser zwei Zahlen $22.05 m$ die gesuchte relative Höhe.

Die Anwendung des Kreisrechenschiebers ist im Prinzipie gleich jener des linearen Rechenschiebers.

Bezüglich der Setzung des Dezimalpunktes bei den Ablesungen ist zu beachten, daß die Distanzen stets zwischen den Grenzen $100 L$ und $\frac{100 L}{2}$ sich bewegen, so daß da kein Zweifel herrschen kann; die Höhenunterschiede bei Vertikalwinkeln

von 45^0	bis $5^0 50'$	betragen $\frac{100 L}{2}$	bis $\frac{100 L}{10}$	
„ $5^0 50'$	„ $0^0 35'$	„ $\frac{100 L}{10}$	bis $\frac{100 L}{100}$	Dezimalpunkt um eine Stelle links zu setzen,
„ $0^0 35'$	„ $0^0 04'$	„ $\frac{100 L}{100}$	bis $\frac{100 L}{1000}$	Dezimalpunkt um zwei Stellen links zu setzen.

Wenn bei tachymetrischen Aufnahmen die Distanzen und Höhenunterschiede genau und nebenbei auch rasch abgeleitet werden sollen, so eignet sich hiezu eine Modifikation des Universal-Kreisrechenschiebers von F. Riebel, dessen Abbildung im Band I, Fig. 442 gebracht wurde.

Auf der inneren sich drehenden Scheibe sind die Logarithmen der Zahlen, auf der fixen äußeren Kreisscheibe die Logarithmen $\cos^2 \varphi$ der Winkel von 0^0 bis 45^0 , auf drei konzentrischen inneren Kreisen I, II, III sind die Logarithmen von $\frac{1}{2} \sin 2 \varphi$ der Winkel von 0^0 bis 45^0 aufgetragen, und zwar:

auf dem Kreise	I	die Logarithmen von	$\frac{1}{2} \sin 2 \varphi$	der Winkel von	45^0	bis	$5^0 50'$			
„	„	„	II	„	„	„	„	$5^0 50'$	bis	$0^0 35'$
„	„	„	III	„	„	„	„	$0^0 35'$	bis	$0^0 04'$

Mittels der Klemme und Feineinstellschraube können die beweglichen Kreise fixiert und fein gegeneinander verstellt werden; um die Achse ist ein drehbarer und scharf einstellbarer Arm angebracht, der einen Rahmen mit einem Indexstriche trägt, an welchem die Ablesungen gemacht werden.

Anmerkung. Ist die Konstante C nicht genau 100, so ist auf der Segmentteilung ein Hilfsindex anzugeben, der um $\log C - \log 100$ vom Nullstriche entfernt ist und innerhalb oder außerhalb der Segmentteilung liegt, je nachdem C größer oder kleiner als 100 ist.

§ 27. Ausführung von tachymetrischen Aufnahmen.

Bei einer tachymetrischen Aufnahme gliedern sich die Arbeiten ebenfalls in Feldarbeiten und Hausarbeiten.

Die Feldarbeiten.

Die tachymetrische Aufnahme stützt sich auf eine größere Anzahl von Punkten, Stations- oder Operationspunkten, welche die Grundlage für die Aufnahme abgeben und daher mit aller Schärfe bestimmt werden müssen; sie dienen als Standpunkte für das Tachymeter und von ihnen aus wird die Aufnahme der Detailpunkte vorgenommen.

Die Feldarbeiten umfassen folgende Operationen:

1. die Wahl und Bezeichnung der Stationen,
2. die Bestimmung der gegenseitigen Lage derselben in Bezug auf Situation und Höhe und
3. die Festlegung der Detailpunkte.

286. Wahl und Bezeichnung der Stationspunkte. Die Wahl der Stationspunkte hängt in erster Linie von der Ausdehnung des aufzunehmenden Gebietes ab; dieses kann sich gleichmäßig nach allen Richtungen erstrecken, wie dies zumeist bei ökonomischen Vermessungen der Fall ist, oder aber es handelt sich um die Aufnahme eines Terrainstreifens von geringer Breite, etwa 400 bis 600 *m*, wie dies bei Trassenstudien von Straßen, Eisenbahnen und im Wasserbaue bei Anlage von Kanälen vorkommt.

Im ersteren Falle hat man die Stationspunkte möglichst gleichförmig über das aufzunehmende Gebiet so zu verteilen, daß sie eine sichere Aufstellung des Instrumentes gestatten, gute Übersicht gewähren, eine gegenseitige Entfernung von 300 bis 400 *m* haben und, miteinander verbunden, ein geschlossenes Polygon geben; im zweiten Falle werden die Stationen so auszuwählen sein, daß sie im Zuge der mutmaßlichen Trasse des projektierten technischen Objektes liegen und, miteinander verbunden, einen gestreckten polygonalen Zug darstellen.

Die Stationen werden durch starke zylindrische, etwa 1 *dm* über den Boden hervorragende Pflöcke aus hartem Holze bezeichnet und mit römischen Ziffern fortlaufend numeriert.

Reichen die gewählten Stationen bei der Detailaufnahme nicht aus, so werden Hilfsstationen herangezogen und mit Buchstaben des lateinischen Alphabetes bezeichnet.

287. Bestimmung der Lage der Stationen, Stationieren. Die Methoden zur Festlegung der Stationen richten sich nach der Verteilung und Anordnung der Stationspunkte und darnach, ob die Aufnahme sich auf eine vorhergehende geodätische Aufnahme stützt oder aber selbständig und unabhängig von solchen Arbeiten ausgeführt wird.

1. Fall. Die Aufnahme stützt sich auf eine vorhergehende geodätische Arbeit. In einem solchen Falle sind die rechtwinkligen Koordinaten einer Reihe von triangulierten Punkten, Stand- und Fixpunkten, gegeben; diese Punkte sind schon durch Pyramiden oder andere dauernd angebrachte Zeichen kenntlich gemacht oder aber sie werden auf dem Felde zu signalisieren sein.

Hiebei werden die Stationen durch trigonometrische oder polygonometrische Punktbestimmung festzulegen sein (Band I, § 61 und 66) und die trigonometrische Punktbestimmung wird sich ganz besonders eignen, wenn die Aufnahme nach allen Seiten ausgedehnt ist; sie gewährleistet eine große Genauigkeit in der Bestimmung und große Ökonomie in der Feldarbeit, weil die Punkte durch Rückwärtseinschneiden in der Situation bestimmt werden können. Was die Höhenbestimmung betrifft, so wird auf trigonometrischem Wege mit Zugrundelegung der berechneten Horizontalabstände, den gemessenen Vertikalwinkeln φ ,

den bekannten Signal- und Instrumenthöhen V und J die relative Höhe aus

$$H = D \operatorname{tg} \varphi + (J - V)$$

bestimmt; bedenkt man, daß man die Höhen an mehrere der Lage nach gegebene Punkte anbinden kann, so kann die Höhenbestimmung auch kontrolliert werden.

Die polygonometrische Punktbestimmung wird dann zu empfehlen sein, wenn die Stationspunkte einen geeigneten Polygonzug bilden, der zwischen zwei triangulierte Punkte bequem eingeschaltet werden kann.

2. Fall. Die tachymetrische Aufnahme erfolgt selbständig.

a) Falls die Stationspunkte nach allen Richtungen sich ausdehnen, so kann ihre gegenseitige Lage auf Grund einer kleinen trigonometrischen Triangulierung mit einer eigenen Basis (Band I, § 57) oder durch einen geschlossenen polygonalen Zug bestimmt werden.

Die Bestimmung der Höhe der einzelnen Stationspunkte kann je nach dem Zwecke der Aufgabe und dem Grade der zu erreichenden Genauigkeit auf dreifache Weise erfolgen: nivellitisch, trigonometrisch oder tachymetrisch.

Bei der Verbindung der Stationspunkte durch ein geometrisches Nivellement wird man natürliche Fixpunkte, Kilometersteine u. s. w., in das Nivellement einbeziehen, die Punkte mit roter Farbe bezeichnen und mit einer Nummer versehen.

Wenn die Festlegung der Höhe auf trigonometrischem Wege oder nach der tachymetrischen Methode vorgenommen wird, so soll die Höhenkote mindestens aus zwei guten Bestimmungen abgeleitet werden, um eine Kontrolle zu haben.

b) Das Stationieren wird in der Praxis zumeist auf die Festlegung von Polygonzügen zurückzuführen sein; hiebei können vorkommen:

1. Polygonzüge mit direkter Seitenmessung. Die Streckenmessung wird mit Latten oder Stahlband je doppelt ausgeführt, die Polygonwinkel werden mit dem Theodolite in beiden Kreislagen gemessen.

Da nun in engen Tälern und vielfach gewundenen Wasserläufen das direkte Messen der Polygonseiten mißlich wird, können auch

2. Polygonzüge mit indirekter Seitenmessung, sogenannte optische Polygonzüge in Anwendung kommen.

Die Polygonseiten werden auf optischem Wege erhalten und sollen auch hier stets Kontrollmessungen durch gegenseitige Bestimmung der Distanz gemacht werden. Mit der indirekten Distanzmessung wird auch die Höhenbestimmung erledigt und kontrolliert.



Fig. 233.

Kurze Polygonseiten werden unmittelbar optisch erhalten, bei längeren Polygonseiten empfiehlt es sich, eigene Polygonpunkte oder auch Wechselpunkte a und b in der Geraden einzuschalten (Fig. 233); man mißt indirekt: Aa , Ab , Ba , Bb und leitet aus den Teildistanzen die gesuchte Polygonseite

$$\overline{AB} = \overline{Aa} + \overline{aB} = \overline{Ab} + \overline{bB} \text{ ab.}$$

Anmerkung. Wird die Strecke ab kurz gewählt, so daß sie eventuell mit einer Meßplatte oder dem Stahlmeßbande genau gemessen werden kann, so bieten die gemachten Beobachtungsdaten von ungleicher Genauigkeit Gelegenheit, eine interessante Ausgleichung nach bedingten Beobachtungen vorzunehmen und die wahrscheinlichste Länge von AB abzuleiten; gewöhnlich wird man sich mit dem arithmetischen Mittel aus den entsprechend kombinierten Distanzmessungen begnügen.

3. Kompaß- oder Bussolenzüge (Polygonzüge mit Springständen). Nach der im Band I, Nr. 541—544 behandelten Theorie geben Bussolenzüge bei kurzen Polygonseiten gute Resultate.

Wenn beim Stationieren der Ingenieur durch die Örtlichkeit genötigt wird, kurze Polygonseiten zu wählen, so kann eine Zeitersparnis in der Feldarbeit dadurch eintreten, daß der Polygonzug nach der Methode der Springstände festgelegt wird.

In der Praxis des Forstingenieurs werden solche Kompaßzüge mit optischer Seitenmessung bei Waldaufnahmen seit langer Zeit und mit Erfolg benützt.

288. Festlegung der Detailpunkte. Vor der Detailaufnahme muß von der aufzunehmenden Terrainpartie eine nach dem Augen- und Schrittmaße angefertigte Skizze vorliegen, in welcher die Parzellengrenzlinien, Weg- und Gewässerbreiten, alle Bauten mit ihren Hauptdimensionen u. s. w. verzeichnet, ferner Terrainstufen, Böschungen sowie auffällige Terrainwechsel angedeutet und außerdem nach dem Augenmaße gezeichnete Niveaulinien enthalten sind (Fig. 234); die letzteren sind unbedingt notwendig, weil sie als Leitlinien bei der Konstruktion der Schichtenlinien verwendet werden.

Auf dem freibleibenden Rande der Skizze können Bemerkungen, die für das Studium und die Ausführung des Projektes von Nutzen sind, angebracht werden.

Liegen Katastermappen oder anderweitige Horizontalaufnahmen vor, so können diese unmittelbar als Handriß benützt werden, oder man kann sich nach denselben die nötigen Skizzen zur Detailaufnahme rasch und bequem anfertigen und wird sie eventuell ergänzen.

Für die Detailaufnahme ist folgendes Personal notwendig: ein Ingenieur, dem die Leitung und Kontrolle der Aufnahme, namentlich aber die Angabe der aufzunehmenden Punkte obliegt, ferner zwei Assistenten, denen die Beobachtungen am Instrumente sowie die Führung der Protokolle zukommen, und schließlich zwei Handlanger, welche den Latten- und Instrumenttransport besorgen.

Die Arbeitsverteilung ist die folgende: der leitende Ingenieur, auch Abteilungschef genannt, dirigiert die verfügbaren Lattenträger zu den einzelnen Detailpunkten, führt die Skizze und trägt die figurierten Punkte ein; ein Assistent führt alle Beobachtungen am Instrumente aus, während der zweite Assistent die beobachteten und diktierten Zahlen in das Manuale einträgt, also die Protokolle führt.

Der Arbeitsvorgang beim Eröffnen der Station ist der nachstehende: der mit den Beobachtungen betraute Assistent stellt das Instrument z. B. über die Station II (Fig. 234) zentrisch und horizontal auf und mißt sofort die In-

strumenthöhe, welche in das „Manuale der Detailpunkte“ eingetragen wird (Manuale siehe „Methoden der Tachymetrie“, Seite 354, 355 u. s. w.); auch werden alle dort angegebenen Daten, als: Name der Station, ihre Höhe über einer bestimmten oder angenommenen Vergleichungsebene (Meereshöhe), notiert. Hierauf wird die Anschlußvisur gemacht; diese kann auf einen Fixpunkt als Richtobjekt oder z. B. auf ein Signal *P* bezogen werden, in den meisten Fällen aber wählt man den vorhergehenden Stationspunkt, hier *I*, als Anschlußpunkt. Diese Station wird durch eine Meßfahne für längere Zeit signalisiert; vom Ingenieurassistenten wird

*Handriß für eine tachym. Aufnahme
mit à la vue eingezeichneten Leitkurven.*

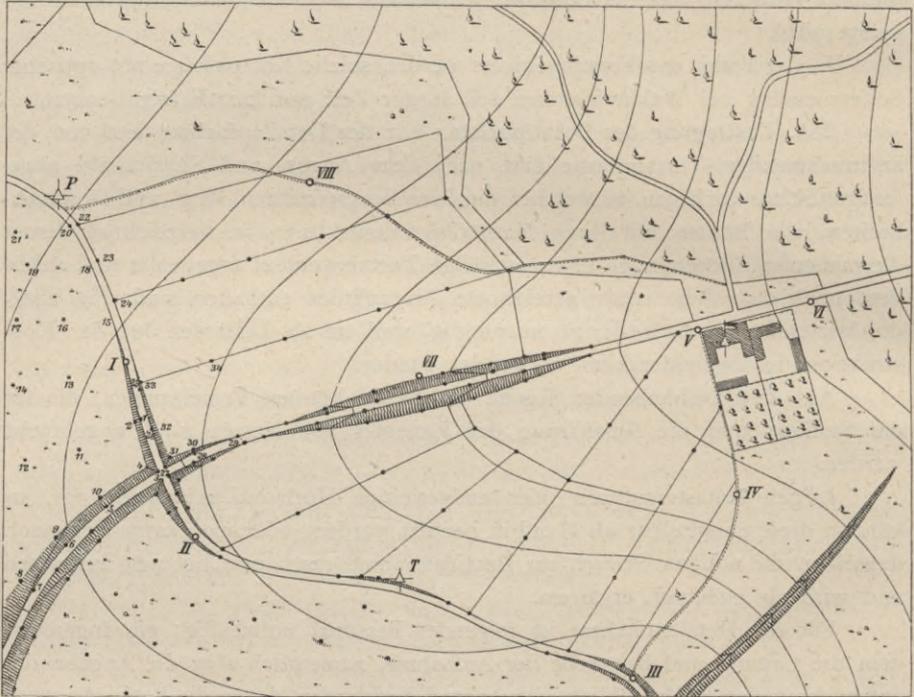


Fig. 284.

der Vertikalfaden scharf auf die Achse der Meßfahne eingestellt und nun beide Nonien des Horizontalkreises abgelesen, diktiert und vom Protokollführer in die entsprechende Rubrik des Manuales eingetragen. Im Manuale soll stets eine eigene Vertikalreihe für den Anschlußpunkt vorhanden sein. Eine besondere Bezeichnung der Detailpunkte, z. B. durch Pflöcke, findet niemals statt.

Hierauf kann mit der Festlegung der Detailpunkte selbst begonnen werden. Der eine Figurant hat die Latte, mit der Teilung zur Station gekehrt, auf der vom Leiter bezeichneten Stelle vertikal aufgestellt, was er durch ein sichtbares (optisches) oder hörbares (akustisches) Zeichen dem Assistenten beim Instrumente

bekanntgibt; dieser macht die entsprechende Einstellung auf die Distanzlatte, worauf die komplette Ablesung dieser Lattenstellung erfolgt. Der spezielle Vorgang bei Benützung der verschiedenen Methoden der Tachymetrie ist in den entsprechenden Nummern des II. Bandes genau erörtert.

Gleich nach Ausführung der erforderlichen Lattenlesungen kann der Figurant abgedankt werden; denn bei der fixierten Alhidade und dem geklemmten Fernrohre des Instrumentes ändern sich die Lesungen am Horizontal- und Vertikalkreise nicht, wenn auch der Figurant den Detailpunkt verläßt, und werden jetzt diktiert, während der Figurant nach Anweisung des Leiters bereits in einem weiteren Punkte die Latte placiert.

Bei der Bestimmung der Kreislesungen genügt es, wenn bei Detailpunkten nur ein, aber stets derselbe Nonius sowohl am Horizontal- als Vertikalkreise abgelesen wird.

Genau wie beim Detailpunkte 1 wird nun in dem zweiten, vom andern Lattenträger figurierten Punkte vorgegangen.

Der Abteilungschef dirigiert die Lattenträger auf die von ihm ausgewählten Punkte und trägt sie ins Kroké ein.

Die richtige Auswahl der Detailpunkte gehört zu den wichtigsten und schwierigsten Arbeiten bei der Terrainaufnahme, weshalb sie nur erfahrenen Ingenieuren übertragen werden kann. Der leitende Ingenieur muß einen scharfen Blick für das Terrain besitzen und muß rasch die Analyse der Terrainformen vorzunehmen verstehen, so daß er hier die Mulde, die Verschneidung, dort den Rücken, einen Absatz u. s. w. erkennt und nach einigem Überlegen über die Wahl der aufzunehmenden, beziehungsweise zu figurierenden Punkte bald ins klare kommt. Man sieht wohl ein, daß für eine gute Terrainaufnahme eine genaue Kenntnis der Terrainformenlehre und Praxis in der Terrainanalyse vorausgesetzt werden muß.

Auf die beschriebene Weise werden nun die Detailpunkte in einer Ausdehnung von 200 bis 300 *m* rechts und links von der Hauptrichtung der im allgemeinen fixierten Trasse festgelegt.

Damit Irrtümer vermieden werden, sollten niemals beide Latten gleichzeitig aufgestellt und dem Instrumente zugekehrt werden; ferner ist es unerläßlich, daß durch Angabe von Fünfer- und Zehnerpunkten mittels eigener Zeichen, Fünfer- und Zehnerzeichen, die figurierten und in der Skizze eingetragenen Punkte mit jenen im Manuale verzeichneten kontrolliert werden.

Zum Zwecke nötiger gegenseitiger Verständigung sollen einfache sichtbare oder hörbare Signale vereinbart werden; im freien und ebenen Terrain sind sichtbare Zeichen mittels Fahnen anwendbar, im bedeckten Terrain wird eine kräftige Signalpfeife oder auch ein Horn zu benützen sein.

Bei einer längeren Arbeit in einer Station ist es notwendig, sich von der unveränderten Lage des Horizontalkreises zu überzeugen; dies geschieht dadurch, daß man von Zeit zu Zeit ein und dasselbe Objekt: Richtobjekt, Fix-

punkt, Signal u. s. w., anvisiert und die Lesung am Horizontalkreise mit der früheren vergleicht, wodurch eine Änderung leicht konstatiert werden kann.

Bei genauer Berücksichtigung und Ausführung der angeführten Vorschriften kann nach Beendigung der kompletten Ablesungen für die vom Standpunkte erreichbaren Detailpunkte die Station geschlossen werden.

Nun wird das Instrument nach der nächsten Station *III* transportiert, dort ordnungsmäßig aufgestellt und bei gleicher Verteilung der Arbeiten an die Arbeit geschritten.

Erst wenn der Anschluß an die vorhergehende Station oder einen andern Fixpunkt durchgeführt ist, können die Detailpunkte festgelegt werden, wobei die Arbeit genau denselben Verlauf nimmt wie in der Station *II*.

Sehr oft reichen die gewählten und eventuell schon bestimmten Stationen, wie es sich bei der Detailaufnahme zeigt, nicht aus, um alle Einzelheiten aufzunehmen. Aus dem Grunde werden Hilfs- oder Ergänzungsstationen passend gewählt und von der Hauptstation entweder tachymetrisch oder trigonometrisch festgelegt; zum Unterschiede von den Hauptstationen pflegt man sie, wie bereits erwähnt, mit den Buchstaben des lateinischen Alphabetes zu bezeichnen.

Kommen einzelne Terrainobjekte vor, wie Häuser, Hofräume mit Nebengebäuden, Gärten u. s. w., die praktisch auf tachymetrischem Wege nicht aufgenommen werden können, so wählt man eine passende Achse (Abszissenachse), deren Endpunkte in Bezug auf die Stationen unzweideutig festgelegt werden, und bewirkt die Aufnahme nach rechtwinkligen Koordinaten. Oft wird man genötigt, zu den Stationen besonders ungünstig gelegene Punkte durch Einbinden mittels des Meßbandes zu fixieren.

Was die Zahl der von einer Station aufzunehmenden Detailpunkte betrifft, so ist diese sehr verschieden und variiert zwischen 20 und 50 pro Hektar; vor allem hängt sie von dem Zwecke der Arbeit und der Terrainbeschaffenheit ab. Hat man das Terrain in Schichtenlinien zu legen, wobei die Schichtenhöhe $h = 2\text{ m}$ sein soll, so sieht man ein, daß die aufzunehmenden Punkte ziemlich dicht gewählt werden müssen, besonders dann, wenn das Terrain recht differenziert ist; es wird wahrscheinlich zur sicheren Bestimmung des Verlaufes der Schichtenlinien die Festlegung der Umfänge der einzelnen Parzelleneckpunkte, Wege, Wasserläufe u. s. w. nicht genügen, man wird noch eine größere Anzahl von charakteristischen Punkten einschalten müssen, welche die jeweiligen Terrainformen bestimmen. Ferner wird reich differenziertes Terrain stets eine größere Anzahl von Punkten erfordern als gleichmäßig geneigtes Gelände.

Was die Bezeichnung der Detailpunkte betrifft, so soll man, um Irrungen vorzubeugen, mit Ziffern und Buchstaben abwechseln, also die von der Station *I* festgelegten Punkte fortlaufend mit 1, 2, 3, . . . , die vom Standpunkte *II* mit *a, b, c, . . .*, die von der Station *III* wieder mit Ziffern und so fort bezeichnen und im Handrisse die Gebiete der einzelnen Stationen durch punktierte Linien abgrenzen.

Zum Schlusse sei noch erwähnt, daß in vielen Fällen auch nur ein Geometer und ein Lattenträger tachymetrische Aufnahmen auszuführen haben; hiebei wird vorausgesetzt, daß der Lattenträger ein unter Leitung eines Ingenieurs herangebildeter und erfahrener Mann ist, der eine solche Übung besitzt, daß er selbständig in der Lage ist, die festzulegenden Punkte zweckmäßig auszuwählen.

Die Hausarbeiten.

Die Hausarbeiten umfassen:

a) Berechnungen.

1. Die Berechnung der Bestimmungsstücke der Situation der Stationspunkte,
2. die Berechnung der Höhen der Stationspunkte,
3. die Berechnung und Zusammenstellung der tachymetrischen Elemente für die Detailpunkte.

b) Auftragungen (Kartieren).

1. Das Auftragen der Stationspunkte,
2. das Auftragen der Detailpunkte und
3. die Konstruktion und das Einzeichnen der Schichtenlinien.

Berechnungen.

289. Berechnung der Bestimmungsstücke der Situation der Stationen.

Hat man die Stationen bestimmt:

- a)* durch trigonometrische Punktbestimmung, so erfolgt die Berechnung nach Band I, § 61,
- b)* durch polygonometrische Punktbestimmung, so erfolgt die Berechnung nach Band I, § 66,
- c)* durch trigonometrische Triangulierung, so erfolgt die Berechnung nach Band I, § 57.

Man ist nach den Berechnungen im stande, ein Koordinatenverzeichnis der Stationspunkte zusammenzustellen.

290. Berechnung der Höhen der Stationen. Je nachdem die Höhenermittlung nivellitisch, trigonometrisch oder tachymetrisch erfolgte, wird die Höhenberechnung natürlich auf verschiedene Weise vorgenommen.

Wurden die Stationspunkte durch ein geometrisches Nivellement miteinander verbunden, so können die Höhen aller nivellierten Punkte aus den Daten des Nivellementsprotokolles auf den Horizont eines bestimmten Punktes bezogen und berechnet werden; liegt ferner die Höhe eines Punktes über

einer Vergleichungsebene oder seine absolute Höhe vor, so können die Koten sämtlicher anderen Punkte hieraus abgeleitet werden.

Hat man sich bei der Höhenmessung der trigonometrischen Methode bedient, wobei der Vertikalwinkel der nach einer Metermarke des Signales (Band I, Fig. 145) gerichteten Visur entspricht, V und J gemessen wurden und die Horizontalabstand D als bekannt vorausgesetzt wird, so hat man:

$$H = \pm D \operatorname{tg} \varphi + (J - V),$$

ja nachdem φ einen Höhen- oder einen Tiefenwinkel darstellt.

Hat man eine größere Anzahl von Höhenmessungen auszuführen und die Höhen zu rechnen, so empfiehlt es sich, die Beobachtungs- und Rechnungsdaten tabellarisch zusammenzustellen.

Visur		J	V	φ	D	Logarithmen			$h = D \operatorname{tg} \varphi$	$h + (J - V)$	Meereshöhe	Anmerkung
von	nach					D	$\operatorname{tg} \varphi$	$D \operatorname{tg} \varphi$				
		<i>m</i>	<i>m</i>	⁰ ¹ ¹¹	<i>m</i>				<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	
III	G	1.346	3.00	— 5.2630	475.02	2.67671	8.97892	1.65563	— 45.25	— 46.91	505.78	Meereshöhe von G . . . 552.69 <i>m</i> .

291. Berechnung der Detailpunkte. Was diese Arbeiten betrifft, so sei auf Band II, § 26 verwiesen, wo alle Hilfsmittel besprochen sind, die bei Bestimmung der linearen tachymetrischen Elemente in Verwendung stehen. Die Resultate werden am besten in den letzten Vertikalreihen der Manuale eingetragen, so daß an der Hand der Manuale beim Auftragen die nötigen Elemente für Lage und Höhe der Punkte übersichtlich nebeneinander zusammengestellt sind.

Auftragungen, das Kartieren.

292. Ehe mit dem Auftragen der Aufnahme begonnen wird, ist es empfehlenswert, sich ein Übersichtsblatt der ganzen tachymetrischen Aufnahme in kleinem Maßstabe 1 : 10.000 bis 1 : 40.000 zu entwerfen, um eine entsprechende Wahl für die vorteilhafteste Anordnung der aufeinanderfolgenden Zeichenblätter treffen zu können. Man benützt zu dem Zwecke Millimeterpapier, auf dem die Stationen der Operationsbasis mittels rechtwinkliger Koordinaten aufgetragen und miteinander verbunden werden (Fig. 235).

Nun zeichnet man sich auf Pauspapier zwei parallele Linien, deren Abstand im Verjüngungsmaßstabe des Übersichtsblattes der Breite der Detailblätter entspricht, und bestimmt durch Auflegen dieses Pauspapiers auf den auf-

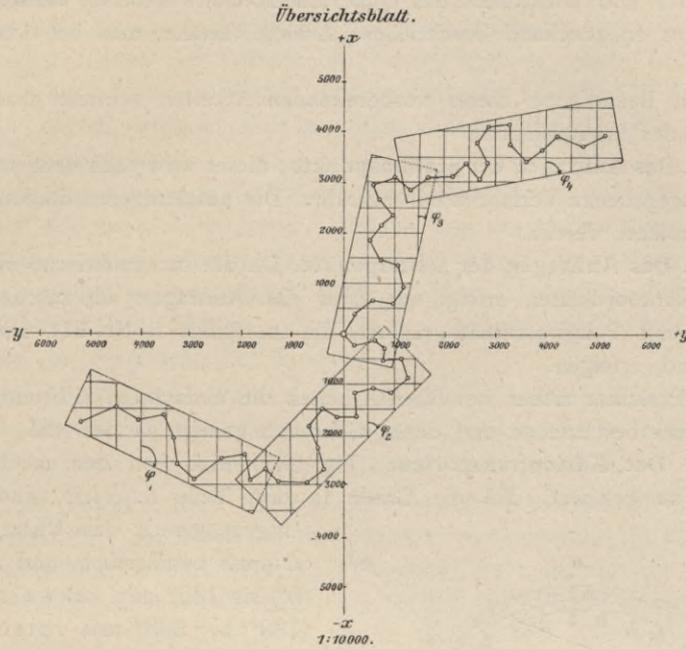


Fig. 235.

genommenen Zug, wie das erste Blatt zu liegen hat, damit die Aufnahme eine übersichtliche Lage erhält, oder mit anderen Worten: man bestimmt die Winkel $\varphi_1, \varphi_2, \dots$, den die Richtung der Abszissenachse mit den Längenseiten der Blätter bildet. Dadurch ist die Lage der Detailblätter gegen die Abszissenachse gegeben.

In mancher Beziehung ist es von Vorteil, anschließende Blätter so anzuordnen, daß sie mindestens zwei Stationspunkte gemein haben und sich auf etwa 10 bis 20 cm der ganzen Ausdehnung nach übergreifen.

Damit man schon vor Ausführung des Netzes auf den Detailblättern die Anzahl und Lage der Netzlinien kennt, wird man das Übersichtsblatt mit einem Quadratnetze versehen, dessen Seiten 500 bis 1000 m entsprechen.

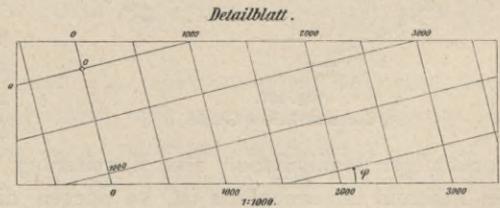


Fig. 236.

Erst jetzt konstruiert man das Netz auf die einzelnen Detailblätter, und zwar in folgender Weise. Man nimmt den Ursprung des Koordinatensystemes O (Fig. 236) auf dem Detailblatte nach dem Übersichtsblatte an, legt durch diesen

Gebrauch. Der Transporteur wird in dem Stationspunkte, z. B. II , mit seinem Zentrum durch eine Nadel befestigt, läßt sich also um diesen Punkt frei herumdrehen.

Hat man z. B. in der Station II den Stationspunkt I als Anschlußpunkt benützt, so wird die Transporteurkante ab an die gezogene Verbindungsgerade $II-I$ angelegt und an der Teilung jene Lesung gesucht, welche bei der Visur nach dem Punkte I gemacht wurde; angenommen, sie sei $42^{\circ} 30'$, so wird an dieser Stelle bei M entweder eine feine Bleistiftmarke gemacht oder eine feine Pikiernadel eingestochen.

Es ist nun klar, daß Punkte mit den Kreislesungen: $60^{\circ} 12'$, $90^{\circ} 13'$, $137^{\circ} 4'$, ... erhalten werden, wenn die Einstellung der angegebenen Lesungen auf die Marke erfolgt; werden dann an der schwarz beschriebenen Teilung der Kante ab die Distanzen: 142.2 , 106.4 , $147.5 m$, ... markiert und dazu die Koten: 516.45 , 510.06 , 508.15 , ... notiert, so erhält man die kотиerte Situation einer Reihe von aufgenommenen Punkten.

In der beschriebenen Weise werden alle Punkte bestimmt, deren Lesungen am Horizontalkreise sich zwischen 0° bis 180° bewegen; hierbei kommen konsequent die schwarz beschriebenen Teilungen zur Verwendung.

Für alle Punkte, deren Horizontalkreislesungen zwischen 180° bis 360° liegen, werden die rot beschriebenen Teilungen verwendet und die Bestimmung analog durchgeführt, wie früher angegeben wurde; so z. B. wird ein Punkt mit $187^{\circ} 47'$ Lesung am Horizontalkreise, $D=104.2$, $H=506.02$ erhalten, indem die rote Zahl $187^{\circ} 47'$ auf M eingestellt und an der Kante ac in roter Bezifferung die Distanz $104.2 m$ pikiert und zu dem eingeringelten Punkte die Höhenkote 506.02 hinzugefügt wird.

Die Verbindungsgerade $a-M$ gibt die Nullrichtung des Instrumentes für die betreffende Station, von welcher aus die Ablesungen für die Detailpunkte zu zählen sind.

Wenn das Auftragen der Detailpunkte beendet ist, so werden die erhaltenen Punkte nach dem Handrisse miteinander verbunden, wodurch Parzellengrenzlinien, Uferlinien von Wasserläufen u. s. w. erhalten werden; es können eventuell auch die verschiedenen im Handrisse genau eingetragenen Kulturgattungen eingezeichnet werden.

Zumeist wird man, da der Zweck der tachymetrischen Aufnahme vornehmlich darin besteht, einen Schichtenplan des aufgenommenen Terrains zu erhalten, Punkte von Schichtenlinien in gewünschten Abständen durch Konstruktion bestimmen und dieselben nach den Leitkurven des Handrisses miteinander verbinden.

296. Kartontransporteur mit Alhidade. In Fig. 238 ist ein Papiertransporteur dargestellt, der nach unseren Angaben von der Firma Starke & Kammerer in Wien ausgeführt wurde und bei welchem der Gebrauch der zentrischen Nadel entfällt.

Trotz größter Vorsicht ist es unvermeidlich, daß der Transporteur (Fig. 237) und die Zeichnung Schaden erleiden; denn durch die Nadel werden der Transporteur im Zentrum und die Zeichnung am Stationspunkte zufolge der um die Nadel stattfindenden Drehung zu einem größeren Loche ausgeweitet und arg mitgenommen.

Zur Vermeidung dieses Umstandes wurde ein Alhidadenarm mit dem Transporteur verbunden, der ein durchsichtiges Zentrierplättchen mit zwei sich schneidenden Geraden trägt, deren Schnittpunkt genau über die Station gebracht werden kann; ist dies geschehen, so werden zwei Schraubchen mit Nadeln bei S_1 und S_2 eingesteckt, welche den Alhidadenarm auf der Unterlage fixieren.

Der kreisförmige Teil des Alhidadenarmes mit dem Zentrierplättchen ist in einen Metallring eingepaßt, der mit dem Kartontransporteur fest verbunden ist; hat man den Alhidadenarm fixiert, so läßt sich der Transporteur bequem um den Mittelpunkt bewegen. Das andere Ende des Alhidadenarmes trägt

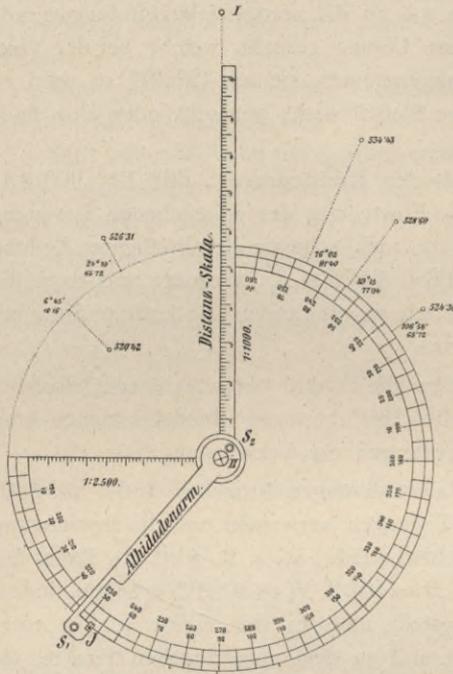


Fig. 238.

(Etwa $\frac{1}{6}$ der natürlichen Größe.)

einen Index J , auf welchem die Einstellungen auf die Kreislesungen gemacht werden.

Der Transporteur umfaßt 270° , trägt eine Doppelteilung und auf den zugehörigen Kanten zwei Distanzteile für die Maßverhältnisse $1:1000$ und $1:2500$, wobei die erstere auf den verlängerten Radius bis auf 300 m Distanz ausgeführt ist.

Der Gebrauch ist ein analoger wie bei dem vorhergehend beschriebenen Transporteur, doch hat die Verwendung bei Auftragungen gezeigt, daß durch die Schonung des Zentrums des Transporteurs und der Zeichnung, durch den größeren Kreisumfang, die beiden Distanzteile, durch den bequem verstellbaren Arm namhafte Vorteile beim Auftragen erzielt werden.

297. Rolltransporteur. Neben dem einfachen im Band I, Nr. 371, Fig. 366 beschriebenen Auftragsapparate mit Rolltransporteur und Distanzskala hat sich das folgende Instrument für Auftragungen tachymetrischer Elemente der Detailpunkte ganz vorzüglich bewährt und wird von Praktikern viel benützt.

Die Fig. 239 zeigt den Rolltransporteur in $\frac{1}{4}$ der natürlichen Größe; bei C ist der Pol für die Drehung des Lineales AB , welches das Auftragen der Distanzen von 2 bis 300 mm Länge gestattet. Es sind zwei Distanzskalen für verschiedene Maßstäbe 1:1000 und 1:2880 oder ein anderes Maßverhältnis vorhanden. Auf dem Lineale gleitet ein Schlitten DE mit den zwei Nonien N und N_1 ; mit dem Schlitten fest verbunden ist der Index J , welcher bis auf die Papierfläche hinabreicht. Der Schlitten enthält bei P eine Pikiervorrichtung, deren Nadelspitze mittels der Nonien auf gegebene Distanzen eingestellt werden kann, worauf der Punkt fixiert und durch einen feinen Nadelstich pikiert erscheint. Der Rahmen TT' enthält den Winkelmeßapparat (Rolltransporteur) mit der auf der Papierfläche aufliegenden Rolle, welche die durchlaufenen Winkel abwälzt und an einem Zählmechanismus eine bequeme Ablesung gestattet.

Bekanntlich hängt die Bogenlänge eines Winkelgrades lediglich von der Entfernung des Berührungspunktes der Rolle vom Punkte C des Instrumentes ab;

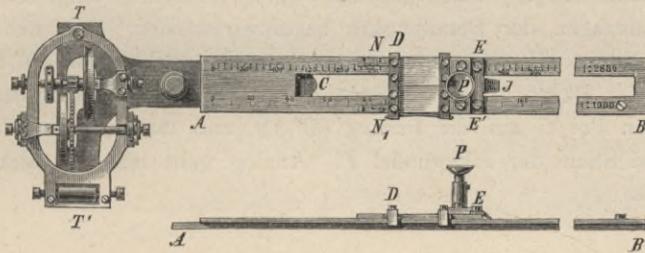


Fig. 239.

(1/4 der natürlichen Größe.)

diese beträgt 120 mm , somit entsprechen einem Grade sehr nahe 2 mm . Da die Rolle 60° umfaßt, so hat sie einen Durchmesser von 40 mm . Die Ablesetrommel der Rolle ist in 60 Teile geteilt, die zwischen je 10 Graden nur die Bezifferung 0, 2, 4, 6, 8, 0 enthält; der Index teilt ferner den Grad in sechs Teile, gibt also 10 Minuten und durch Schätzung eine Minute. Eine zweite Trommel, Zähltrommel, gibt an ihrem Indexstriche die Winkel von 0° bis 360° von 10° zu 10° und durchlaufender Bezifferung von 30° zu 30° .

Die Ablesung und ebenso die Winkeleinstellung ist sehr einfach und bequem. Bei der Ablesung werden am Indexstriche der Zähltrommel die Zehnergrade, am Indexstriche der Ablesetrommel der Rolle die Einheiten der Grade und Zehner der Minuten direkt und einzelne Minuten durch Schätzung erhalten.

Die Einstellung, z. B. von $215^\circ 16'$, erfolgt derart, daß Zehnergrade, also 210° , auf den Index der Zähltrommel freihändig durch Drehung eines Zahnradchens gebracht werden; dadurch erscheint am Index der Zähltrommel der Rolle nahezu ein Nullstrich; nun dreht man weiter, bis der Index der Zähltrommel der Rolle $5^\circ 10'$ direkt gibt; $6'$ werden nach sanfter Verdrehung

durch Schätzung erreicht. Zur scharfen Einstellung bedient man sich eines Stahlstiftes, welcher mit nötiger Feinheit die Verstellung der Rolle bewirken läßt.

Anwendung des Instrumentes. Der Apparat wird mit dem Pole C über die Station, z. B. II , gebracht. Zu dem Zwecke wird eine feine Nadelspitze mittels eines handlichen, dem Instrumente beigegebenen kleinen Apparates in die Papier-, respektive Holzunterlage sorgfältig eingedrückt und das Instrument so aufgesetzt, daß die Nadel in die Polöffnung gelangt; hierauf kann das ganze Auftragsinstrument um die Nadel als Pol rotieren.

Die Horizontalwinkel der Detailpunkte beziehen sich entweder auf eine gegebene Richtung, z. B. $II-I$ mit der Lesung $0^0 0'$, oder aber es entspricht, wie im gegebenen Falle, der Richtung $II-I$ die Lesung $42^0 30'$. Man stellt daher das Zählwerk des Rolltransporteurs in beschriebener Weise auf $42^0 30'$, worauf der Index J des recht weit vom Pole verschobenen Schlittens auf den sehr fein mit hartem Bleistifte gezogenen Strahl $II-I$ gebracht und die Lesung $42^0 30'$ am Zählwerke kontrolliert wird.

Nachdem das Instrument so im Punkte II richtig aufgestellt ist, kann mit dem Auftragen der Detailpunkte begonnen werden. Man stellt den Nullpunkt des Nonius N_1 der unteren Distanzskala 1:1000 auf die Distanz des Punktes 1, d. i. 142·2, bringt den Rolltransporteur durch Drehung des Apparates um den fixen Pol C auf die Lesung $60^0 12'$ und markiert den Punkt durch einen feinen Stich der Pikiernadel P . Analog geht man bei den folgenden Punkten vor.

Literatur zu „Tachymetrie“.

1. Croy: Die Tachymetrie und ihre Anwendung bei der Aufnahme von Waldungen, Wien 1893.
2. Doležal: „Festlegung eines polygonalen Zuges bei Verwendung neuer Instrumente für optische Distanzmessung“ in der Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur- und Architektenvereines, Wien 1901.
3. Doležal: „Der Hammer-Fennelsche Tachymetertheodolit“, ebenda 1902.
4. Fennel: Die Wagner-Fennelschen Tachymeter, Kassel 1903.
5. Friedrich: Das optische Distanzmessen, Wien 1881.
6. Goulier: Études sur les levers topométriques et en particulier sur la tachéométrie, Paris 1892.
7. Günther: Tachymeter, Tachymetrie und Tachygraphie, Linz 1862.
8. Hammer: Der Hammer-Fennelsche Tachymetertheodolit und die Tachymeterkipregel zur unmittelbaren Latenablesung von Horizontaldistanz und Höhenunterschied.
9. Hammer: „Beiträge zur Praxis der Höhenaufnahmen“ in der Zeitschrift für Vermessungswesen 1890, 1891, 1893, 1895 und 1896.
10. Jordan: „Die Methoden der Tachymetrie“ in der Zeitschrift des Hannoverischen Ingenieur- und Architektenvereines, 1884.

11. **Kreuter**: Das neue Tacheometer aus dem Reichenbachschen Institute Ertel & Sohn in München, ein Universalinstrument des Ingenieurs, Brünn 1878.
12. **Lorber**: „Über die Verwendung der Tangentialschraube in der Tachymetrie“ in der Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur- und Architektenvereines, 1881.
13. **Moinot**: Lever de plans à la stadia, Notes pratiques pour études de tracés, Périgueux 1865.
14. **Müller**: Kurze Anleitung für tacheometrische Aufnahmen, Wien.
15. **Porro**: Applicazione della celerimensura alla misura generale parcellaria e altimetrica dell'Italia, Firenze 1862.
16. **Porro**: La Tachéométrie, Paris 1858.
17. **Puller**: „Schnellmesser, ein Schiebetachymeter für lotrechte Lattenstellung“ in der Zeitschrift für Vermessungswesen 1901.
18. **Salmoiraghi**: Aperçu sur les nouveaux tachéomètres dits les cleps, Milan 1884.
19. **Schell**: Die Tachymetrie mit besonderer Berücksichtigung des Tachymeters von Tichý und Starke, Wien 1880.
20. **Schell**: Die Terrainaufnahme mit der tachymetrischen Kippregel von Tichý und Starke, Wien 1881.
21. **Schell**: Die Methoden der Tachymetrie bei Anwendung eines Okular-Filarschraubenmikrometers, Wien 1883.
22. **Szczepaniak**: Universal-Nivellierinstrument als Tacheometer, Wien 1878.
23. **Tichý**: „Die Präzisionstachymetrie und ihre neuesten instrumentalen Mittel“ in der Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur- und Architektenvereines in Wien, 1892.
24. **Tichý**: „Das Schlußergebnis der Betrachtungen auf dem Gebiete der graphischen Tachymetrie“, Wien 1894.
25. **Tinter**: „G. Starkes Tachymeter“ in der Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur- und Architektenvereines, Wien 1873.
26. **Tinter**: „Wagners Tachygraphometer“, ebenda 1876.
27. **Werner**: Die Tacheometrie, Wien 1883.

Zahlreiche kleinere Aufsätze über Tachymetrie finden sich zerstreut in verschiedenen technischen Zeitschriften: Zeitschrift für Vermessungswesen. Zeitschrift für Instrumentenkunde, Zeitschriften der verschiedenen Ingenieurvereine u. s. w.

Ferner enthalten die forstlichen Zeitschriften: Zentralblatt für das gesamte Forstwesen u. s. w. lehrreiche Beiträge zur Schnellmeßkunst.

Zweiter Abschnitt.

Abstecken von Geraden und Kurvenbogen.

Die Absteckungsaufgaben des praktischen Ingenieurs umfassen:

1. das Abstecken von geraden Linien und
2. das Abstecken von Kurvenbogen, vornehmlich Kreisbogen.

§ 28. Abstecken von geraden Linien.

Wie gerade Linien mit den einfachsten Mitteln abgesteckt werden, wurde im Bande I, § 50 gezeigt; handelt es sich aber darum, gerade Linien bei Trassierungen von Straßen, Eisenbahnen, Kanälen, von Stollen im Bergbaue u. s. w. sehr genau abzustecken, so wird es erforderlich, präzisere Methoden anzuwenden. Da nun hier kürzere und längere gerade Linien vorkommen werden, treten bei der Absteckung verschiedene Schwierigkeitsverhältnisse auf, von denen das anzuwendende Verfahren abhängt.

298. 1. Fall. Die Endpunkte der Geraden A und B sind zugänglich und die Visur zwischen beiden Punkten ist frei.

In diesem Falle wird man einen Theodolit im Punkte A zentrisch und horizontal aufstellen und den Vertikalfaden des Fadenkreuzes auf den entsprechend signalisierten Endpunkt scharf einstellen; dadurch kommt die Visierebene mit der Flucht von AB zur Deckung. Nun wird zwischen A und B ein stärkerer zylindrischer Pflock roh einvisiert und ins Erdreich eingetrieben. Die genaue Bezeichnung des Punktes 1 , der in der Trasse AB sich befindet, erfolgt durch einen Nagelpunkt, der in nachfolgender Weise bestimmt wird. Der Figurant stellt einen Absteckstab mit dem zugespitzten Metallschuh oder bei geringen Distanzen den einzuschlagenden Nagel selbst auf den Kopf des Pflockes und läßt vom Ingenieur in A die Spitze des Absteckstabes genau in die Flucht AB auf den Vertikalfaden des Theodolites einweisen; auf der sanft eingedrückten Stelle des Pflockes wird ein Nagel eingeschlagen, dessen richtige Lage in der Flucht AB kontrolliert wird.

Kommen bei der Absteckung stärker geneigte Visuren vor, so wird man gut tun, den Vorgang in den beiden Kreislagen auszuführen.

In ähnlicher Weise können alle weiteren Punkte der Geraden AB durch Nagelpunkte bezeichnet werden.

Ist die Gerade AB kurz, so daß die Verständigung zwischen dem Ingenieur und dem Figuranten optisch oder akustisch bequem und sicher erfolgen kann, so läßt dieses Verfahren nichts zu wünschen übrig; anders aber werden die Verhältnisse, wenn die Gerade AB eine größere Länge besitzt, z. B. 2 bis 3 km .

Während bei kürzeren Entfernungen bis auf 1 km rot und weiß bemalte Absteckstäbe am Zielpunkte B stabilisiert und bei der Absteckung benützt werden, ist man bei einer Distanz von 2 und mehr Kilometern außer stande, sie hinlänglich scharf wahrzunehmen; man wählt als Zielobjekt eine an einem Stabe befestigte kreisrunde, weiß angestrichene Scheibe von etwa 20 cm Durchmesser, welche auf diese Distanz deutlich gesehen und daher scharf eingestellt werden kann.

Besondere Korrespondenzmittel. Da wegen der großen Entfernung der Endpunkte A und B die Verständigung eine sehr schwierige ist, so pflegt man eine lange Gerade zur Nachtzeit abzustecken unter Benützung von Lichtsignalen behufs erforderlicher Verständigung und mit Zugrundelegung eines ganz bestimmten Programmes.

Als Lichtsignale werden große Laternen verwendet, die auf langen Stangen befestigt werden und auch farbig sein können. Um die Endpunkte sichtbar zu machen, werden bei B Teertonnen angezündet.

Statt der Laternen können auch Raketen gebraucht werden, mittels welcher durch die größere oder geringere Neigung zum Horizonte, durch Aufsteigen in verschiedenen Himmelsrichtungen eine Korrespondenz zwischen Ingenieur und Gehilfen vereinbart werden kann.

Das Instrument wird im Punkte A aufgestellt und die Visierebene mit aller Schärfe nach B gerichtet und das Instrument in dieser Lage fixiert.

Programmäßig wird mit der Absteckung begonnen und der Gehilfe zwischen 8 und 9 Uhr abends im Punkte I vom Ingenieur invisiiert; gelingt es, den Punkt der Flucht im Punkte I zu finden, so erfolgt seine verabredete Bezeichnung; wenn nicht, so wird nach Verabredung um 9 Uhr abgebrochen und der letzt abgesteckte Punkt I' fixiert, an welchen sich dann am nächsten Tage die Absteckung anschließt.

Nun kommt der Gehilfe im Punkte II um 9 Uhr an die Reihe und wird mit dessen Einweisung genau so vorgegangen wie im Punkte I .

Ähnlich geht man im Punkte III vor u. s. w.

Lassen es die Verhältnisse zu, so kann in analoger Weise die Absteckung von B aus gegen A vorgenommen werden.

Sollte es bei der nächtlichen Absteckung nicht gelungen sein, I' in die Flucht von AB zu bringen, so wird man eventuell bei Tag den Winkel α

(Fig. 240) messen und, gestützt auf die bekannte oder aber bestimmte Entfernung $AI = D$, aus dem rechtwinkligen Dreiecke $AI'I'$ die Querverschiebung

$$II' = q = D \operatorname{tg} \alpha = D \frac{\alpha''}{\rho''} \dots \dots \dots \text{I)}$$

berechnen und den abgesteckten Punkt I' nach I bringen.

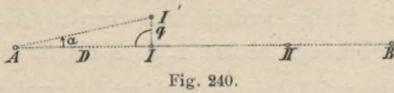


Fig. 240.

Unter allen Umständen sind die folgenden Methoden leichter und bequemer ausführbar, und zwar:

- a) das stückweise oder allmähliche Einvisieren und
- b) das Einrichten von Zwischenpunkten.

Ad a) Das sukzessive Einvisieren. Dieses Verfahren setzt voraus,

daß das Instrument in Bezug auf den Kollimationsfehler genau untersucht und berichtigt ist. Der Vorgang ist dann der folgende (Fig. 241). Es wird ein naher Punkt C von A aus anvisiert und bezeichnet; nun wird der Theodolit nach C über-

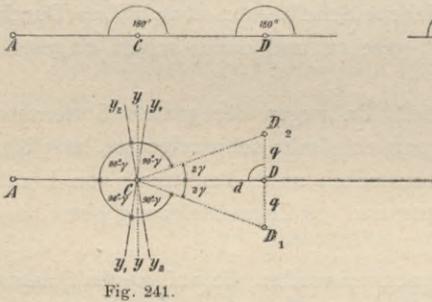


Fig. 241.

tragen, dort aufgestellt und die Visur nach A gerichtet, das Fernrohr durchgeschlagen und in einer geringen Entfernung, zumeist $CD = AC$, der Punkt D bestimmt.

Wenn die Visierebene zur Fernrohrdrehachse yy senkrecht steht, so wird nach dem Durchschlagen die Visierebene von CA nach CD kommen; wäre ein Kollimationsfehler γ vorhanden, dann wäre die Fernrohrdrehachse in der Lage y_1y_1 und die Visierlinie käme nach dem Durchschlagen nach CD_1 , so zwar, daß der Punkt D_1 erhalten würde, der um

$$q = d \operatorname{tg} 2\gamma = d \frac{2\gamma''}{\rho''} \dots \dots \dots \text{II)}$$

von der Verbindungsgeraden AD quer verschoben ist.

Von dieser Querverschiebung, dem Fehler in der Absteckung, macht man sich unabhängig, wenn man das Fernrohr umlegt, wodurch die horizontale Fernrohrdrehachse nach y_2y_2 gelangt; nun visiert man nach A , schlägt das Fernrohr durch und läßt den Punkt D_2 einsetzen, der um $q = d \operatorname{tg} 2\gamma = d \frac{2\gamma''}{\rho''}$ nach der entgegengesetzten Richtung zu AD eine Querverschiebung erfahren hat. Wird D_1D_2 halbiert, so erhält man den gewünschten Punkt D der Verbindungsgeraden AC .

Anmerkung. Viele Instrumente, deren sich Ingenieure in der Praxis bedienen, sind nicht zum Umlegen eingerichtet; in diesem Falle muß bei der Absteckung ein anderes

Verfahren herangezogen werden. Hiebei wird ein zweifaches Durchschlagen des Fernrohres und eine Drehung um die Alhidadenachse durchgeführt, wobei der vierfache Kollimationsfehler auftritt (siehe Band I, Nr. 282) und der richtige Punkt ebenfalls in der Mitte zwischen den erhaltenen beiden Punkten liegt.

Das allmähliche Einweisen ist in der Praxis sehr beliebt, weil es eine verhältnismäßig rasche Ausführung der Absteckung gestattet; macht sich der Ingenieur in beschriebener Weise vom Kollimationsfehler unabhängig, so werden auch gute Resultate erzielt, vornehmlich, wenn es möglich ist, vom abgesteckten Punkte Kontrollvisuren auch nach dem zweiten Endpunkte *B* der Geraden zu machen.

Es muß da mit peinlicher Sorgfalt vorgegangen werden, besonders dann, wenn der zweite Endpunkt *B* nicht sichtbar ist und man stets an den Punkt *A* anbinden muß, wie es bei Absteckungen von Stollen, Tunnelachsen in der Tat der Fall ist.

Ad *b*) Das Einrichten eines Zwischenpunktes. Denkt man sich in der Nähe der Geraden *AB* den Punkt *C* bestimmt (Fig. 242) und in *C* den Winkel $180^0 - \gamma$ gemessen und nennen wir α und β die Winkel in *A* und *B*, so ergibt sich, wenn $AC = D_1$, $BC = D_2$, welche Distanzen direkt gemessen oder aber aus einer Karte entnommen werden können, die Querverschiebung $CC' = q$ mit

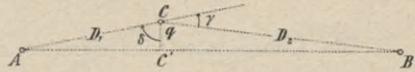


Fig. 242.

$$q = D_1 \sin \alpha = D_2 \sin \beta, \dots \dots \dots \text{III}$$

woraus folgt:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{\alpha''}{\beta''} = n. \dots \dots \dots \text{1)}$$

Da nun

$$\left. \begin{aligned} \gamma'' &= \alpha'' + \beta'' \\ \alpha'' &= n \cdot \beta'' \end{aligned} \right\} \text{ sind, } \dots \dots \dots \text{2)}$$

so folgt:

$$\left. \begin{aligned} \beta'' &= \frac{\gamma''}{1+n} \\ \alpha'' &= \frac{n}{1+n} \gamma'' \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{3)}$$

Man kann nun *q* berechnen, und indem man diese Strecke von *C* aus unter dem Winkel $\delta = 90^0 - \alpha$ zur Seite *CA* aufträgt, erhält man den Punkt *C'*, welcher der Geraden *AB* angehört.

299. 2. Fall. Die Endpunkte *A* und *B* der abzusteckenden Geraden sind zugänglich, die Visur zwischen beiden Punkten jedoch ist nicht frei.

Dieser Fall tritt ein, wenn man einen Durchschlag in einem Walde, eine Schneise, eine Tunnelachse, einen Querschlag in einem Bergbaubetriebe entweder von einem oder von beiden Endpunkten in Angriff zu nehmen hat.

1. Lösung. Ist die Entfernung AB (Fig. 243) nicht über 2 bis 3 *km* und ist die Aussicht von A und B durch Hindernisse (Bäume, Gebüsch, Häuser u. s. w.) gehemmt, so kann man auf folgende Weise verfahren. Man stellt in A einen Theodolit auf, visiert möglichst nahe an dem Hindernisse vorbei und richtet in der Nähe von B ein Zielobjekt C in die Visur. Hierauf visiert man einige Zwischenpunkte der Geraden AC ein und mißt die Länge dieser Linie, wobei man beliebige Punkte a_1, a_2, a_3, \dots der Geraden, von denen in der auf AC senkrechten

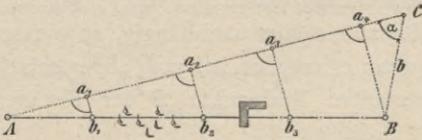


Fig. 243.

Richtung eine Durchsicht gegen AB möglich ist, durch Pflöcke markiert. Man mißt dann auch die Gerade BC und mit dem Theodolite den Winkel $BCA = \alpha$. Ist $AC = a, BC = b$, so ist, wenn man sich von B eine Senkrechte auf AC gefällt denkt,

$$\overline{Ca_4} = b \cos \alpha \text{ und } \overline{Ba_4} = b \sin \alpha.$$

Die Koordinaten des Punktes B sind dann (A als Ursprung gedacht):

$$\overline{Aa_4} = x = a - b \cos \alpha \text{ und } \overline{Ba_4} = y = b \sin \alpha \dots \dots \dots 4)$$

Man kann nun für die Zwischenpunkte a_1, a_2, a_3, \dots die Ordinaten $a_1 b_1 = y_1, a_2 b_2 = y_2, a_3 b_3 = y_3, \dots$ der Zwischenpunkte b_1, b_2, b_3 der Geraden AB berechnen, wofür man hat:

$$y_1 = \frac{y}{x} x_1, y_2 = \frac{y}{x} x_2, y_3 = \frac{y}{x} x_3 \dots \dots \dots \text{IV}$$

Man errichtet dann in den Punkten a_1, a_2, a_3 Senkrechte auf AC , und zwar entweder mit dem Theodolite oder, wenn die Ordinaten nicht über 40 *m* betragen, mit dem Winkelspiegel und trägt darauf die gerechneten Ordinaten auf, wodurch man die Punkte b_1, b_2, b_3 der Geraden AB erhält. Wenn man von A nach C nicht gut visieren kann, so stellt man sich mit dem Theodolite statt in A ungefähr in der Mitte der Entfernung AC , z. B. in a_2 , auf, stellt die Visur auf A ein, schlägt das Fernrohr durch und bestimmt dann den Punkt C . Auf diese Weise kann die Distanz AC bis zu 6 *km* betragen.

2. Lösung. Man denkt sich die beiden Punkte durch einen polygonalen Zug $A123 \dots B$ verbunden (Fig. 244), in welchem alle Seiten und Winkel direkt gemessen werden können. Dadurch sind wir in der Lage, die Anschlußwinkel α und β durch Rechnung zu bestimmen, und sind diese bekannt, so kann von beiden Endpunkten die Absteckung erfolgen.



Fig. 244.

Der Theodolit wird wieder in A oder B gehörig aufgestellt, die Visuren nach 1, beziehungsweise n gerichtet und dann um die Winkel α oder β im Sinne des Uhrzeigers geändert; hiedurch gelangen die Visierebenen des Theodolites in die Flucht von AB . Die Absteckung kann dann direkt oder sukzessive vorgenommen werden.

3. Lösung. Nicht immer ist es möglich, zwischen A und B einen polygonalen Zug zu legen, entweder wegen der Terrainverhältnisse oder weil wegen des zu großen Abstandes der Punkte A und B der Polygonzug zu viel Seiten hätte, wodurch in den Anschlußwinkeln α und β nicht der gewünschte Grad von Genauigkeit erzielt werden könnte.

Dieser Fall wird sich vornehmlich bei sehr langen Geraden, bei Absteckungen von Tunnelachsen u. s. w. ereignen.

Die gegebenen Punkte A und B werden daher durch ein Dreiecksnetz $AI II III \dots B$ verbunden (Fig. 245). Die Festlegung des Netzes erfolgt entweder

- a) auf Grund einer selbständig gemessenen Basis ab (siehe Band I, § 57) oder
- b) im Anschlusse an gegebene Punkte P, Q der Landestriangulierung (siehe Band I, § 60).

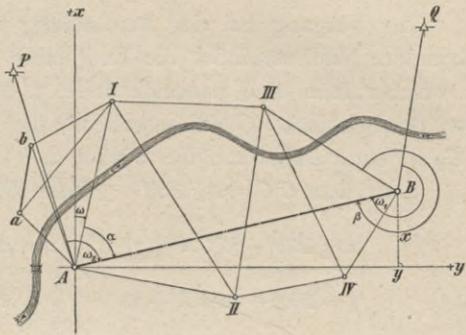


Fig. 245.

Den Koordinatenanfangspunkt wird man nach A verlegen und das Azimut ω einer Dreiecksseite, z. B. AI , auf astronomischem Wege ermitteln oder den Richtungswinkel dieser Seite beliebig wählen. Hierauf werden die Koordinaten der Dreieckspunkte $x_1 y_1, x_2 y_2, \dots x_4 y_4$ und auch des Punktes $B:xy$ berechnet. Die Anschlußwinkel α und β erscheinen in beiden Fällen als Differenzen zweier Richtungswinkel; es ist:

$$\alpha = \omega_{A,B} - \omega_{A,I} \quad \text{und} \quad \beta = 360^\circ - (\omega_{B,III} - \omega_{B,A}) = \omega_{B,A} - \omega_{B,III} \quad \text{VI}$$

wobei

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \omega_{A,B} &= \frac{y}{x} \\ \operatorname{tg} \omega_{A,I} &= \frac{y_1}{x_1} \\ \operatorname{tg} \omega_{B,III} &= \frac{y_3 - y}{x_3 - x} \\ \operatorname{tg} \omega_{B,A} &= \omega_{A,B} \pm 180^\circ \\ \overline{AB} = D &= \sqrt{x^2 + y^2} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{VI}$$

leicht berechenbar sind.

Kennt man die Anschlußwinkel α und β , so kann die Absteckung von A und B nach den erörterten Methoden in Angriff genommen werden.

4. Lösung. Ist die Distanz AB (Fig. 246) nahe oder über ein Myriameter, so wird man, selbst wenn keine Hindernisse die Aussicht sperren, der in den Niederungen gelegenen Dünste wegen den direkten Weg der Absteckung, beziehungsweise die früher besprochenen einfacheren Methoden verlassen müssen.

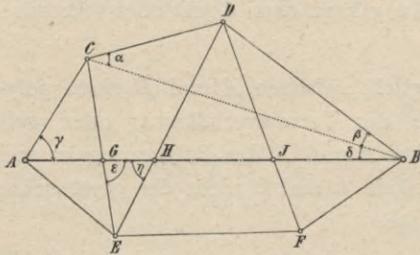


Fig. 246.

In diesem Falle wird man sich eine Reihe von Zwischenpunkten G, H, J auf Grund von sehr genauen Messungen verschaffen, von welchen aus dann die Absteckung der Partialstrecken AG, GH, HJ und JB nach den früheren Methoden vorgenommen werden kann.

Der Vorgang bei der Bestimmung der Zwischenpunkte G, H und J ist folgender. Man verbindet die Endpunkte A und B durch eine Dreieckskette, in welcher man eine passende Seite, z. B. CD , und alle Dreieckswinkel mißt. Von dem Dreiecke CDE ausgehend, rechnet man die Seiten CE, DE , weiters AC, DF und DB , dann die Winkel α, β und γ, δ .

Setzt man $CG=x, EH=y$ und $DJ=z$, so ergeben sich

$$\left. \begin{aligned} \epsilon &= 180^\circ - (GCA + \gamma) & x &= AC \frac{\sin \gamma}{\sin \epsilon} \\ \text{und} & & y &= EG \frac{\sin \epsilon}{\sin \eta} \\ \eta &= 180^\circ - (GEH + \epsilon) & z &= DH \frac{\sin \eta}{\sin (JDH + \eta)} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{VII}$$

Man hat nun in der Natur auf den Seiten CE, ED und DF von den Punkten C, E und D aus die Strecken x, y und z aufzutragen und erhält die verlangten Punkte G, H und J der Geraden AB .

Die Detailabsteckung in den Strecken AG, GH, HJ und JB erfolgt nach den früher angegebenen Verfahren.

§ 29. Abstecken von Kurvenbogen.

300. Auf einem Plane, der zwecks Trassenstudien tachymetrisch oder nach einem andern geeigneten Verfahren aufgenommen wurde, wird der günstigste Verlauf der Mittellinie einer Straße, einer Bahnachse u. s. w. eingezeichnet und die Bestimmungsstücke der Kurven ermittelt. Die Absteckung hat den Zweck, die auf dem Plane gezeichnete Mittellinie des Verkehrsweges, der Wasserstraße u. s. w. in das Terrain zu übertragen.

Die Aufgabe, zwei geradlinige Trassen von verschiedener Richtung miteinander durch Kurvenbogen zu verbinden, wobei der Kreis und die Parabel die Hauptrolle spielen, ist eine im Straßen- und Eisenbahnbaue immer wiederkehrende und sehr wichtige Aufgabe.

Der Übergang von einer geradlinigen Trasse in eine Gerade von anderer Richtung findet in der Regel durch einen Kreisbogen statt, welcher die beiden Geraden zu Tangenten hat. Beim Abstecken der Bahnachse, welche der Mittellinie der Straße, Eisenbahn u. s. w. entspricht, kommt dann die Aufgabe zu lösen, neben den Hauptpunkten noch eine beliebige Anzahl von Detailpunkten des Bogens in der Natur unter den verschiedensten Terrainverhältnissen abzustecken, wenn die beiden Tangenten, die Berührungspunkte und der Radius des Kreises oder auch andere Bestimmungsstücke gegeben sind.

Festlegung und Absteckung der Hauptpunkte.

301. Es sind gegeben die geradlinigen Trassen G_1 und G_2 (Fig. 247) und der Radius r des die beiden Geraden verbindenden Kreisbogens.

Zu den Hauptpunkten des Bogens zählt man die Übergangspunkte A und B , Bogenanfang und Bogenende, und den Scheitel S des Bogens oder die Bogenmitte.

Bei der Lösung dieser Aufgabe können sich zwei Fälle ereignen: der Winkelpunkt oder der Tangentenschnittpunkt W ist 1. zugänglich oder aber er ist 2. unzugänglich.

1. Fall. Durch Verlängerung der Tangenten (Mittellinien der Trassen) und Ermittlung ihres Schnittpunktes wird der Winkelpunkt W erhalten, in welchem der Winkel α gemessen wird.

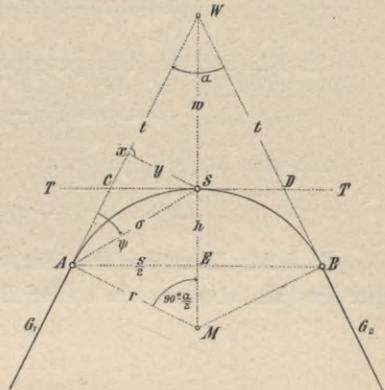


Fig. 247.

Die Übergangspunkte A und B ergeben sich durch die Tangentlänge t aus dem rechtwinkligen Dreiecke AMW :

$$t = r \cotg \frac{\alpha}{2} \dots \dots \dots 1)$$

Der Scheitel des Bogens kann in verschiedenster Art festgelegt werden:

a) durch rechtwinklige Koordinaten, bezogen auf die Tangenten und die Übergangspunkte:

$$\left. \begin{aligned} x &= r \cos \frac{\alpha}{2} \\ y &= r \left(1 - \sin \frac{\alpha}{2} \right) \end{aligned} \right\}; \dots \dots \dots 2)$$

b) durch Polarkoordinaten σ und ψ mit einem der Übergangspunkte als Pol, nämlich:

$$\left. \begin{aligned} \psi &= 45^\circ - \frac{\alpha}{4} \\ \sigma &= 2r \sin \left(45^\circ - \frac{\alpha}{4} \right) \end{aligned} \right\}, \dots \dots \dots 3)$$

wobei ψ als Peripheriewinkel zu dem Zentriwinkel $90^\circ - \frac{\alpha}{2}$ erscheint;

c) oder bezogen auf den Winkelpunkt W als Pol durch $w = WS$, und zwar:

$$\text{Polarwinkel} = \frac{\alpha}{2}$$

$$w = WM - SM = \frac{r}{\sin \frac{\alpha}{2}} - r = \frac{1 - \sin \frac{\alpha}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}} r; \dots \dots \dots 4)$$

d) durch seine Tangente TT , welche die verlängerten geradlinigen Trassen in den Punkten C und D schneidet, die bestimmt sind durch die Stücke

$$AC = BD = \xi = r \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\alpha}{4} \right) \dots \dots \dots 5)$$

Für die Pfeilhöhe $ES = h$ wird erhalten:

$$h = MS - ME = r - r \sin \frac{\alpha}{2} = \left(1 - \sin \frac{\alpha}{2} \right) r, \dots \dots \dots 6)$$

der Abstand der Übergangspunkte $\overline{AB} = s$, die Sehne des Kreisbogens, ist

$$s = 2r \sin \left(90^\circ - \frac{\alpha}{2} \right) = 2r \cos \frac{\alpha}{2} \dots \dots \dots 7)$$

und die Bogenlänge wird

$$\widehat{AB} = l = r (\pi - \alpha) = r \frac{180^\circ - \alpha^\circ}{\rho^\circ} \dots \dots \dots 8)$$

2. Fall. Der Winkelpunkt wird unzugänglich, wenn auf der konvexen Seite des Kreisbogens ein steiler Berghang oder dichter Wald liegt, wenn der Winkelpunkt in einen Sumpf oder ein Gewässer fällt, wenn andere Hindernisse das Arbeiten im Winkelpunkte unmöglich machen, oder aber der Winkelpunkt zu weit entfernt ist, wodurch die Meßarbeiten zu sehr verzögert würden (Fig. 248).

In diesem Falle wählt man eine günstig gelegene Gerade xx , welche die Tangenten in P und Q schneidet, und mißt die Horizontalwinkel μ und ν . Der Winkel α im Tangentenschnittpunkte W wird dann aus

$$\alpha = (\mu + \nu) - 180^\circ \dots \dots \dots 9)$$

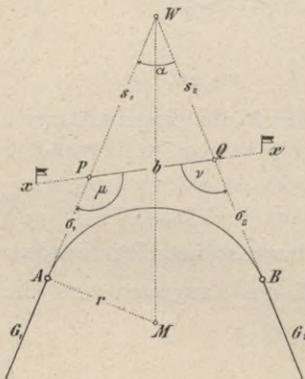


Fig. 248.

berechenbar und nun können die im 1. Falle abgeleiteten Formeln benutzt werden.

Die Übergangspunkte A und B können auch in nachstehender Weise erhalten werden. Man mißt die Strecken $PQ = b$ und rechnet aus dem Dreiecke PQW nach dem Sinussatze die Seiten $PW = s_1$ und $QW = s_2$ mit

$$\left. \begin{aligned} s_1 &= b \frac{\sin \nu}{\sin [(\mu + \nu) - 180^\circ]} \\ s_2 &= b \frac{\sin \mu}{\sin [(\mu + \nu) - 180^\circ]} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 10)$$

Setzen wir $AP = \sigma_1$ und $BQ = \sigma_2$, so erhalten wir unmittelbar:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= t_1 - s_1 = r \cot g \frac{\alpha}{2} - s_1 \\ \sigma_2 &= t_2 - s_2 = r \cot g \frac{\alpha}{2} - s_2 \end{aligned} \right\}, \dots \dots \dots 11)$$

wodurch die Übergangspunkte bequem nach Abmessung der Längen σ_1 und σ_2 von P und Q aus sich ergeben.

Absteckung von Detailpunkten des Kurvenbogens.

Von den Hauptpunkten des Kurvenbogens ausgehend, lassen sich Detailpunkte desselben je nach den Terrainverhältnissen, den verfügbaren Mitteln und dem geforderten Genauigkeitsgrade in verschiedener Weise ermitteln.

Die gebräuchlichsten Methoden sind:

1. Abstecken durch rechtwinklige Koordinaten von der Tangente aus,
2. Abstecken durch rechtwinklige Koordinaten von der Sehne aus,
3. Abstecken durch Polarkoordinaten,
4. Einrückungsmethoden und
5. Näherungsmethoden.

302. Absteckung von der Tangente aus. Die über den Übergangspunkt A verlängerte geradlinige Trasse AT ist Tangente des Kreisbogens (Fig. 249) und wird als Abzissenachse auf dem Felde bezeichnet.

a) Die Absteckung von der Tangente aus mit gleichen Abzissenunterschieden.

Ein beliebiger Bogenpunkt P hat die rechtwinkligen Koordinaten x und y ; hat man x gewählt, so ist, da r gegeben ist, y bestimmbar aus dem rechtwinkligen Dreieck MPQ :

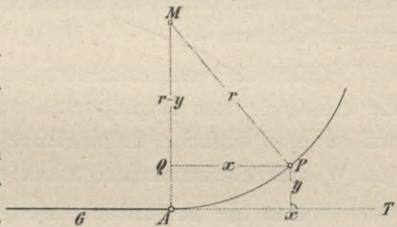


Fig. 249.

$$(r - y)^2 = r^2 - x^2,$$

woraus

$$r - y = (r^2 - x^2)^{\frac{1}{2}} = r \left(1 - \frac{x^2}{r^2} \right)^{\frac{1}{2}} = r \left(1 - \frac{1}{2} \frac{x^2}{r^2} - \frac{1}{8} \frac{x^4}{r^4} - \dots \right)$$

oder

$$y = \frac{1}{2} \frac{x^2}{r} + \frac{1}{8} \frac{x^4}{r^3} + \dots \dots \dots 12)$$

folgt.

Bei stumpfen Tangentenschnittwinkeln genügt es, für die Ordinate das erste Glied in Gleichung 12) zu nehmen, so daß die Koordinaten des Punktes P nun lauten:

$$\left. \begin{aligned} x &= x \dots \text{beliebig gewählt} \\ y &= \frac{1}{2} \frac{x^2}{r} \dots \text{(eigentlich die Gleichung einer Parabel)} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 1)$$

Der Fehler f , der bei der Ordinate durch Vernachlässigung des zweiten Gliedes der Reihe begangen wird, ist

$$= \frac{1}{8} \frac{x^4}{r^3}$$

das heißt, es muß

$$x \leq \sqrt[4]{8 f r^3} \text{ sein, damit der Fehler } f \text{ nicht}$$

erreicht wird; für $f = 1 \text{ cm}$ folgt $x \leq \sqrt[4]{0.08 r^3}$.

In der Praxis geht man so vor, daß die aufeinanderfolgenden Abszissen als Vielfache der ersten gewählten Abszisse x gesetzt werden, so also, daß resultiert:

$$\left. \begin{array}{l} x_1 = 1 x_1 \\ x_2 = 2 x_1 \\ x_3 = 3 x_1 \\ \vdots \\ x_n = n x_1 \end{array} \right\} \text{ , woraus sich rechnet } \left. \begin{array}{l} y_1 = \frac{x_1^2}{2 r} = 1^2 \cdot y_1 \\ y_2 = \frac{x_2^2}{2 r} = \frac{(2 x_1)^2}{2 r} = 2^2 \cdot y_1 \\ y_3 = \frac{x_3^2}{2 r} = \frac{(3 x_1)^2}{2 r} = 3^2 \cdot y_1 \\ \vdots \\ y_n = \frac{x_n^2}{2 r} = \frac{(n x_1)^2}{2 r} = n^2 \cdot y_1 \end{array} \right\} \text{ , . . . II}$$

wonach die Ordinaten in äußerst einfacher Weise aus dem ersten y_1 abgeleitet werden können.

Unter der gemachten Annahme der gleichen Abszissendifferenzen werden die Abstände der Bogenpunkte voneinander eine verschiedene Länge haben und so eine einfache, unmittelbare Kontrolle auf dem Felde ohne Zuhilfenahme von Winkelmeßinstrumenten nicht ermöglichen.

Wären die Bogenstücke zwischen den abgesteckten Bogenpunkten gleich,

so ließe sich eine einfache und rasche Kontrolle durch Vergleichung der Pfeilhöhen für je drei aufeinanderfolgende Bogenpunkte bewerkstelligen.

b) Die Absteckung von der Tangente aus mit gleichen Bogenlängen.

Denkt man sich z. B. den abzusteckenden Bogen in $2 n$ gleiche Teile geteilt (Fig. 250) und entspricht ein solcher

Teil dem Winkel $\beta = \frac{180^\circ - \alpha}{2 n}$, so hat man:

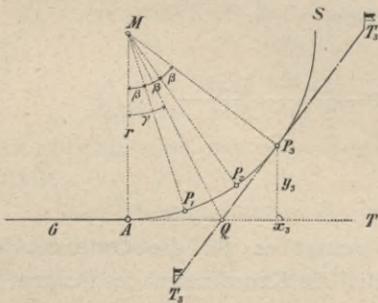


Fig. 250.

$$\sphericalangle A M P_1 = \frac{180^\circ - \alpha}{2 n} = \beta, \sphericalangle A M P_2 = 2 \frac{180^\circ - \alpha}{2 n} = 2 \beta \dots; \dots \dots \dots 13)$$

die rechtwinkligen Koordinaten der Punkte P_1, P_2, \dots sind dann leicht bestimmt:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= r \sin 1 \beta & y_1 &= r - r \cos 1 \beta = r(1 - \cos 1 \beta) = 2r \sin^2 1 \cdot \frac{\beta}{2} \\ x_2 &= r \sin 2 \beta & y_2 &= r - r \cos 2 \beta = r(1 - \cos 2 \beta) = 2r \sin^2 2 \cdot \frac{\beta}{2} \\ & \vdots & & \vdots \\ & \vdots & & \vdots \\ x_n &= r \sin n \beta & y_n &= r - r \cos n \beta = r(1 - \cos n \beta) = 2r \sin^2 n \cdot \frac{\beta}{2} \end{aligned} \right\} \dots \text{III)}$$

Trägt man von A aus die Längen x_1, x_2, x_3, \dots in der Richtung AT auf, errichtet in den erhaltenen Punkten mit dem Winkelspiegel Senkrechte und trägt auf diesen der Reihe nach die Werte y_1, y_2, y_3, \dots auf, so erhält man die Punkte P_1, P_2, P_3, \dots des Kreisbogens.

Auf dieselbe Weise kann man im Übergangspunkte B verfahren.

Die Zahl n wählt man derart, daß die Länge eines einzelnen Bogenstückes $\widehat{AP_1} = \widehat{P_1 P_2} = \widehat{P_2 P_3} = \dots = \lambda$ etwa 10 bis 20 m beträgt, wozu die Gleichung dient

$$\lambda = \frac{r(180^\circ - \alpha^0)}{2n\rho^0}, \text{ beziehungsweise } n = \frac{r(180^\circ - \alpha^0)}{2\lambda\rho^0} \dots \dots \dots \text{IV)}$$

Absteckung der Hilfstangente. Die Ordinate der zu bestimmenden Bogenpunkte soll nicht über 40 m lang sein; das hat zur Folge, daß von der Tangente des Übergangspunktes A aus nur eine verhältnismäßig geringe Anzahl von Bogenpunkten abgesteckt werden kann. Dasselbe gilt für die Bogenpunkte, die sich auf die Tangente im Übergangspunkte B beziehen. Ist die Bogenlänge l bedeutend, so werden noch Bogenpunkte übrig bleiben, deren Bestimmung von Zwischentangenten aus erfolgen muß, die in bereits festgelegten Bogenpunkten als Abszissenachsen gewählt werden.

Hätte man z. B. im Punkte P_3 eine Zwischentangente $T_3 T_3$ zu bestimmen (Fig. 250), so genügt die sichere Festlegung des Punktes Q und $P_3 Q$ gibt die gesuchte Zwischentangente.

Da nun der Winkel γ bestimmt ist durch

$$\text{tg } \gamma = \frac{y_3}{x_3}, \dots \dots \dots \text{IV)}$$

so ergibt sich

$$AQ = \xi = r \text{tg } \gamma. \dots \dots \dots \text{V)}$$

und die Zwischentangente im Punkte P_3 ist bestimmt.

Die Absteckung von der Tangente aus setzt voraus, daß das Terrain auf der konvexen Seite des Kreisbogens keine Hindernisse bietet und direkte Längenmessungen gestattet; diese Methode hat den namhaften Vorteil, daß jeder Punkt selbständig bestimmt wird und daher eine schädliche Fehlerfortpflanzung von einem Punkte zum andern nicht stattfindet. Es ist einleuchtend, daß diese Methode für präzise Bogenabsteckungen ausgedehnte Anwendung findet.

wobei ein Fehler f entsteht:

$$f = \frac{1}{8r^3}(s^4 - x^4), \dots \dots \dots 19)$$

der im gegebenen Falle bestimmt werden kann.

In der Praxis geht man zumeist so vor, daß von einer Sehne n Bogenpunkte derart abgesteckt werden, daß die Abszissenunterschiede gleich werden.

Unter dieser Voraussetzung hat man:

$$\left. \begin{array}{l} x_1 = 1 x_1 = 1 \cdot \frac{s}{n} \\ x_2 = 2 x_1 = 2 \cdot \frac{s}{n} \\ x_3 = 3 x_1 = 3 \cdot \frac{s}{n} \\ \vdots \\ x_n = n x_1 = n \cdot \frac{s}{n} \end{array} \right\} \text{für die Abszissen} \quad \text{und für die Ordinaten} \quad \left. \begin{array}{l} y_1 = \frac{s^2}{2r} \left(1 - 1^2 \frac{1}{n^2}\right) \\ y_2 = \frac{s^2}{2r} \left(1 - 2^2 \frac{1}{n^2}\right) \\ y_3 = \frac{s^2}{2r} \left(1 - 3^2 \frac{1}{n^2}\right) \\ \vdots \\ y_n = \frac{s^2}{2r} \left(1 - n^2 \frac{1}{n^2}\right) \end{array} \right\} \text{VII}$$

Diese Methode hat ähnlich wie die Absteckung von der Tangente aus den großen Vorteil, daß jeder Punkt unabhängig vom andern bestimmt wird; sie findet Anwendung, wenn auf der konvexen Seite des Kurvenbogens die Messungen behindert sind, hingegen im Innern des Bogens frei operiert werden kann.

304. Polarmethode. Betrachtet man den Übergangspunkt A (Fig. 252) als Pol, so werden die einzelnen Detailpunkte

$$P_1, P_2, P_3, \dots$$

durch ihre Polarkoordinaten, d. i.

die Polarwinkel: $TAP_1 = \alpha_1, TAP_2 = \alpha_2, TAP_3 = \alpha_3, \dots$ und die Leitstrahlen: r_1, r_2, r_3, \dots bestimmt sein.

Wird der Winkel α_n angenommen, so ergeben sich die Radienvektoren allgemein aus der Gleichung:

$$r_n = 2r \sin \alpha_n \dots \dots \dots \text{VIII)}$$

Stellt man das Winkelmeßinstrument über den Übergangspunkt A zentrisch und horizontal auf, stellt die Visur auf G ein und schlägt das Fernrohr durch, so hat die Visur die Richtung der Tangente AT . Liest man hierauf den Stand der Alhidade am Nonius ab, subtrahiert oder addiert, je nachdem es die herrschenden Umstände fordern, zu dieser Lesung α_1 , stellt den Nonius auf diese Lesung ein, so steht die Visur in der Sehne AP_1 . Steckt man diese

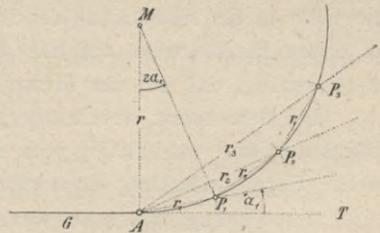


Fig. 252.

Richtung in der Natur aus und trägt darauf r_1 , nach Gleichung VIII) berechnet, auf, so erhält man den Punkt P_1 . Dreht man die Alhidade um den Winkel α_2 gegenüber der Tangente, rechnet nach Gleichung VIII) den Leitstrahl r_2 und trägt diesen auf der ausgesteckten Richtung AP_2 auf, so erhält man den zweiten Bogenpunkt P_2 und analog lassen sich weitere Detailpunkte finden.

Bei dem vorstehend beschriebenen Vorgange stehen die Winkel $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots$ zueinander in keinem bestimmten Zusammenhange und so kommt es, daß die Bogenpunkte P_1, P_2, P_3, \dots verschiedene Bogenabstände haben.

Es ist gewiß von Vorteil, wenn die Bogenpunkte gleiche Abstände haben, weil da der bloße Anblick des abgesteckten Bogens und eine einfache Vergleichung die Fehler in der Absteckung aufzufinden gestatten. Dies wird erreicht, wenn die Polarwinkel

$$\alpha_1 = 1 \alpha_1, \alpha_2 = 2 \alpha_1, \alpha_3 = 3 \alpha_1, \dots \alpha_n = n \alpha_1 \dots \dots \dots 20)$$

gesetzt und auf Grund dieser Winkel die Leitstrahlen aus Gleichung VIII) berechnet werden.

Werden die Radienvektoren r_1, r_2, r_3, \dots vom Übergangspunkte A aus aufgetragen, so ergeben sich die Bogenpunkte voneinander vollständig unabhängig und alle mit demselben Grade von Genauigkeit.

Man kann aber, wenn die Bogenpunkte in gleichem Abstände

$$r_1 = 2 r \sin \alpha \dots \dots \dots 21)$$

gewählt werden, auch so verfahren, daß nach Bestimmung des Punktes P_1 der Punkt P_2 an diesen dadurch angeschlossen wird, daß von P_1 mit der Sehne r_1 der unter dem Winkel 2α abgesteckte Leitstrahl in P_2 geschnitten wird. Analog wird P_3 aus P_2 abgeleitet.

Bei diesem Verfahren wird das Auftragen der langen Strecken r_2, r_3, \dots wohl erspart, hingegen wird jeder folgende Bogenpunkt von der Güte des vorhergehenden abhängig gemacht. Immerhin wird sich diese Methode oft empfehlen, da sie sich gegebenen Falles rasch und bequem durchführen läßt.

Das letzt besprochene Verfahren der Absteckung hat den Nachteil, daß die Güte in der Absteckung der Bogenpunkte keine gleichmäßige ist; ein Fehler im ersten Punkte wird auf alle folgenden übertragen. Diese Tatsache macht es notwendig, daß bei der Messung mit besonderer Sorgfalt vorgegangen wird.

Bei dem zuerst auseinandergesetzten Verfahren hingegen ist jeder Punkt selbständig und unabhängig vom andern, daher ist auch eine gleichmäßige Güte in der Bogenabsteckung zu erwarten.

Anmerkung. Alle in den vorhergehenden Nummern auftretenden Ausdrücke werden gegebenen Falles nicht berechnet, sondern aus Bogenabsteckungstafeln mit den entsprechenden Argumenten entnommen (siehe Literatur zu „Abstecken von Geraden und Kurvenbogen“).

Einrückungsmethoden.

Bei diesen Methoden stützt sich der Vorgang auf die Eigenschaften des dem Kreise umschriebenen und eingeschriebenen Polygones.

305. a) **Absteckung mit Hilfe eines umschriebenen Polygones** (Fig. 253).

Denkt man sich die beiden Punkte P_1 und P_2 von der Tangente AT aus:

$$\text{und zwar } \left. \begin{array}{l} P_1 \text{ mit den Koordinaten } x_1 = 1 x_1 \dots y_1 = \frac{1}{2} \frac{x_1^2}{r} \\ P_2 \text{ " " " " } x_2 = 2 x_1 \dots y_2 = 4 y_1 \end{array} \right\} \dots \dots 22)$$

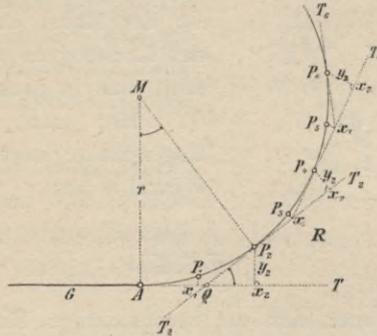


Fig. 253.

abgesteckt und im Punkte P_2 die Tangente $T_2 T_2$ gezogen, welche AT im Punkte Q schneidet, so hat man, da $AQ = QP_2 = t$ ist:

$$y_2^2 + (x_2 - t)^2 = t^2,$$

und daraus

$$t = \frac{x_2^2 + y_2^2}{2 x_2} = \frac{1}{2} x_2 + \frac{y_2^2}{2 x_2}.$$

Setzt man hierin:

$$\left. \begin{array}{l} x_2 = 2 x_1 \\ y_2 = 4 y_1 = 2 \frac{x_1^2}{r} \end{array} \right\} \dots \dots \dots 23)$$

so ergibt sich nach einfacher Reduktion:

$$t = x_1 + \frac{x_1^3}{r^2};$$

wird das zweite Glied vernachlässigt, wobei der Fehler $f = \frac{x_1^3}{r^2}$ begangen wird, so ergibt sich der Näherungswert

$$t \doteq x_1, \dots \dots \dots IX)$$

d. h. der Schnittpunkt Q der Tangente mit der Abszissenachse fällt mit dem Fußpunkte der Ordinate des Punktes P_1 zusammen, oder die Tangente in P_2 geht durch den Ordinatenfußpunkt des Punktes P_1 hindurch.

Diese Tatsache gestattet, unmittelbar in Bezug auf die Tangente des Punktes P_2 , d. i. QP_2 , die Bogenpunkte P_3 und P_4 zu bestimmen, weiters RP_4 als eine weitere Tangente des Bogens aufzufassen und auf die angegebene Weise weitere Bogenpunkte zu ermitteln.

Auf diese Art wird dem Kreisbogen ein Polygon $AQR\dots$ umschrieben und auf dieses die Bogenpunkte bezogen.

Das Absteckungsverfahren ist wohl ein sehr einfaches, geht rasch vor sich, stellt aber nur eine Näherungsmethode der Kreisbogenabsteckung vor.

306. b) Absteckung mittels eines eingeschriebenen Polygones (Fig. 254).

Ist der Raum auf der konvexen Seite des Kreisbogens sehr beschränkt, so verfährt man in nachstehender Weise.

Hat man den Abstand s der Bogenpunkte angenommen, wodurch der Winkel α aus

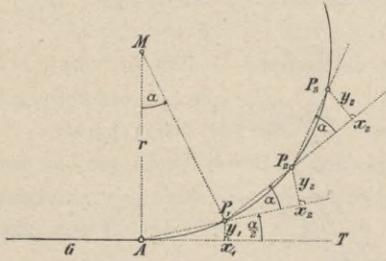


Fig. 254.

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{s}{2r} \dots \dots \dots 24)$$

bestimmbar ist, so rechnet man die rechtwinkligen Koordinaten des Punktes P_1 nach

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= s \cos \frac{\alpha}{2} \\ y_1 &= s \sin \frac{\alpha}{2} \end{aligned} \right\} \text{ oder } \left. \begin{aligned} x_1 &= 2r \sin \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\alpha}{2} = r \sin \alpha \\ y_1 &= 2r \sin^2 \frac{\alpha}{2} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots X)$$

Denkt man sich die Sehne AP_1 über P_1 hinaus verlängert und bezieht man den nächsten Punkt P_2 durch rechtwinklige Koordinaten mit P_1 als Anfangspunkt auf diese Sehne, so hat man:

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= s \cos \alpha = 2r \cos \alpha \sin \frac{\alpha}{2} \\ y_2 &= s \sin \alpha = 2r \sin \alpha \sin \frac{\alpha}{2} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots XI)$$

Diese Koordinaten gelten nun für alle folgenden Punkte P_3, P_4, \dots , wenn jeder derselben immer auf die Sehne des vorhergehenden Punktes bezogen wird.

Man wird bei praktischer Ausführung zuerst nach Gleichung X) die Koordinaten des Punktes P_1 rechnen und den Punkt abstecken; hierauf rechnet man die Koordinaten von P_2 aus Gleichung XI), trägt auf der verlängerten Sehne AP_1 von P_1 aus die Abszisse x_2 auf, errichtet eine Senkrechte darauf und trägt die Ordinate y_2 auf, wodurch sich der Punkt P_2 ergibt.

Hierauf wird die Richtung P_1P_2 über P_2 verlängert und mittels x_3, y_3 der dritte Punkt P_3 gewonnen u. s. w.

Vorstehende zwei Verfahren heißen Einrückungsmethoden deshalb, weil nach jeder Abweichung vom Bogen sofort wieder ein Näherrücken (Einrücken) stattfindet; die Absteckungsarbeiten beschränken sich auf die unmittelbare Nähe des Bogens selbst.

307. Näherungsmethoden. Das unter den Einrückungsmethoden mit Zuhilfenahme eines umschriebenen Polygones besprochene Verfahren der Absteckung

von Detailpunkten eines Kreisbogens stellt einen beliebigen und viel gebrauchten Vorgang dar. Ein anderes Verfahren, welches bei Absteckung von Kommunikationen untergeordneter Bedeutung sehr verbreitet ist und mit den einfachsten Mitteln durchgeführt werden kann, ist die Viertelsmethode.

Gegeben sind die zwei geradlinigen Trassen G_1 und G_2 mit ihren Übergangspunkten A und B , über welchen ein Kreisbogen durch Näherung abgesteckt werden soll (Fig. 255).

Die Tangenten- und Sehnenlängen t und s werden gemessen; die Strecke $WC = w$ kann als ein Vielfaches der Pfeilhöhe $SC = h$ aufgefaßt werden, nämlich

$$w = n h.$$

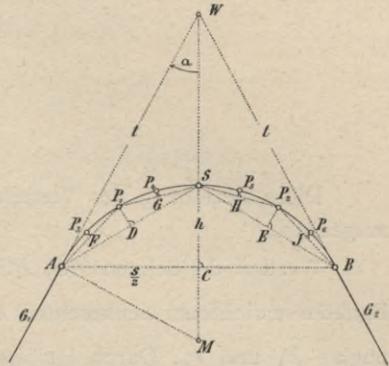


Fig. 255.

Da nach Einführung des Winkels 2α am Tangentschnittpunkte W

$$\left. \begin{aligned} w &= t \cos \alpha = r \frac{\cos^2 \alpha}{\sin \alpha} \\ h &= r (1 - \sin \alpha) \\ \sin \alpha &= \frac{s}{2t} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 25)$$

ist, so ergibt sich nach einfacher Rechnung

$$n = \frac{w}{h} = 1 + \frac{1}{\sin \alpha} = 1 + \frac{2t}{s} \dots \dots \dots \text{XII)}$$

als jene Zahl, welche sagt, in wieviel Teile das gemessene Stück $WC = w$ zu teilen ist, um durch die Pfeilhöhe $h = CS = \frac{w}{n}$ den Scheitel des Kreisbogens zu erhalten.

Bei flachen Bogen hat n nahezu den Wert 2; ist der Winkel am Tangentschnitte $2\alpha = 60^\circ$, so ist $n = 3$.

Zwischen h , s und r besteht die Beziehung:

$$\left(\frac{s}{2}\right)^2 = (2r - h)h = 2rh,$$

woraus näherungsweise sich:

$$h = \frac{s^2}{8r}; \dots \dots \dots 26)$$

ergibt; setzt man ebenfalls näherungsweise $AS = \frac{s}{2}$, $AP_1 = \frac{s}{4}$, ..., so wird für die zugehörigen Pfeilhöhen erhalten:

$$\left. \begin{aligned} DP_1 = h_1 &= \frac{(AS)^2}{8r} = \frac{\left(\frac{s}{2}\right)^2}{8r} = \frac{h}{4} \\ FP_3 = h_2 &= \frac{(AP_1)^2}{8r} = \frac{\left(\frac{s}{4}\right)^2}{8r} = \frac{h_1}{4} = \frac{h}{16} \\ &\vdots \\ &\vdots \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{XIII}$$

Diese Beziehung des Viertels der Pfeilhöhe h wird nun zur Absteckung ausgenützt.

Werden die Sehnen AS , BS in D und E halbiert und auf den in diesen Punkten errichteten Senkrechten $h_1 = \frac{h}{4}$ aufgetragen, so ergeben sich die Bogenpunkte P_1 und P_2 . Durch Halbierung der Sehnen $AP_1 = P_1S = SP_2 = P_2B$ und Errichtung der Normalen von der Länge $h_2 = \frac{h_1}{4}$ ergeben sich die Bogenpunkte P_3, P_4, P_5 und P_6 .

Die abgesteckte Kurve stellt mit großer Näherung einen Kreisbogen dar, besonders dann, wenn n nach der obigen Gleichung XII) berechnet wird.

308. Absteckung von beliebig kontinuierlichen Kurven. Bisher wurde die abzusteckende Kurve als Kreisbogen betrachtet; lokale und andere Verhältnisse können es notwendig machen, daß eine vom Kreise verschiedene, jedoch kontinuierliche Kurve für den Kreis zu substituieren ist.

Für die Absteckung von Feldwegen wäre es sehr oft zu umständlich, erst den Winkel α am Tangentenschnittpunkte zu messen, dann die Tangenten zu berechnen u. s. w.; manchmal ist es sogar zweckmäßig, den Tangenten ungleiche Längen zu geben.

Denken wir uns zwei geradlinige Trassen G_1 und G_2 , bei welchen die Übergangspunkte A und B ungleiche Entfernungen vom Winkelpunkte W haben, so sieht man ein, daß sich durch A und B unmöglich ein Kreis legen läßt, der G_1 und G_2 zu Tangenten hat; oder wird verlangt, daß die abzusteckende Kurve die geradlinigen Trassen G_1 und G_2 mit den Übergangspunkten A und B verbinden und außerdem durch einen, zwei oder mehrere gegebene Punkte gehen soll, so ist wohl klar, daß man da mit einem Kreise sein Auskommen nicht finden wird. In diesem Falle wird man eventuell Parabeln oder eine aus Kreisbogen zusammengesetzte Kurve, einen Korbbogen, verwenden.

Bei untergeordneten Absteckungen, bei Reitwegen u. s. w. und bei Straßen, wo es nicht darauf ankommt, unbedingt einen Kreisbogen zwischen zwei geradlinige Trassen zu legen, wird man von folgender Konstruktion Gebrauch machen.

Es wird nach Fig. 256 der Winkelpunkt W abgesteckt und die Tangentlängen $AW = t_1$ und $BW = t_2$ ermittelt; teilt man jede dieser Längen in n gleiche Teile, in der Figur $n = 5$, so ergeben sich in den Schnitten der korrespondierenden Strahlen $A-1, B-1, \dots$ u. s. w. die

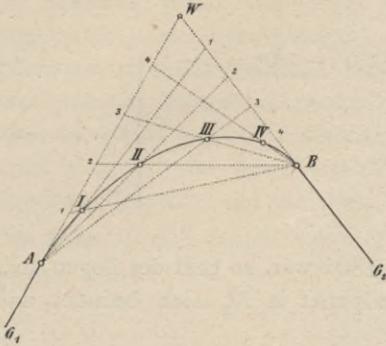


Fig. 256.

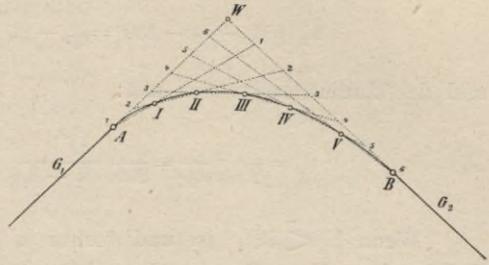


Fig. 257.

Bogenpunkte I, II, III, \dots , welche auf Grund der benützten Konstruktion einer Ellipse angehören.

Eine analoge Absteckung zeigt die Fig. 257. Die Strecken AW und BW werden in die gleiche Anzahl gleicher Teile geteilt; die Zahl richtet sich nach der Zahl der Punkte, welche man abstecken will. Verbindet man nun, wie in der Fig. 257 angegeben ist, die mit den gleichen Zahlen bezeichneten Punkte, so liefern die Durchschnittspunkte der Verbindungslinien einzelne Kurvenpunkte.

309. Absteckung einer Korblinie. Eine Kurve, die sich aus verschiedenen Kreisbogen zusammensetzt, heißt Korblinie. Zwei Kreisbogen, deren gemeinsamer Punkt eine Art Wendepunkt darstellt, wobei die Mittelpunkte der Bogen zu verschiedenen Seiten der gemeinsamen Tangente liegen, heißen Kontrabogen.

Die geradlinige Trasse G soll vom Übergangspunkte A an mit einer Korblinie, welche von A über B, C, \dots geht, verbunden werden (Fig. 258).

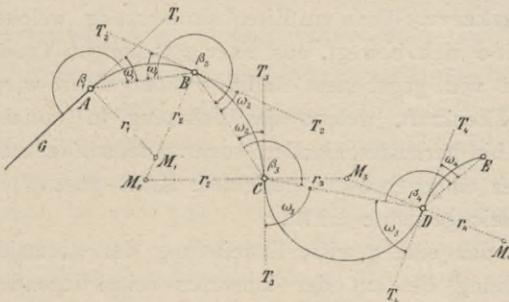


Fig. 258.

Es handelt sich vorerst um die Bestimmung der Radien der Korblinie. Man denkt sich A mit B, C, D, \dots zu einem polygonalen Zuge verbunden und bestimmt dessen Seiten: s_1, s_2, s_3, \dots und Winkel: $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots$

Betrachtet man $AB = s_1$ als Sehne eines Kreises, so wird der Kreismittelpunkt M_1 konstruktiv leicht gefunden; durch Rechnung ergibt sich der Radius aus:

wobei
ist.

$$\left. \begin{aligned} r_1 &= \frac{s_1}{2 \sin \omega_1}, \\ \omega_1 &= \beta_1 - 180^\circ \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 27)$$

Da nun T_2 auf BM_1 senkrecht steht, so besteht zwischen den Winkeln bei B die Relation:

$$\omega_2 = \beta_2 - \omega_1 - 180^\circ = \beta_2 - (\beta_1 - 180^\circ) - 180^\circ = \beta_2 - \beta_1$$

und der Radius ergibt sich mit:

$$r_2 = \frac{s_2}{2 \sin \omega_2} = \frac{s_2}{2 \sin (\beta_2 - \beta_1)} \dots \dots \dots 28)$$

Wenn $\beta_3 < 180^\circ$ ist und vorher $\beta_2 > 180^\circ$ war, so geht der Bogen über BC in einen Kontrabogen über, dessen Mittelpunkt in M_3 sich befindet und dessen Radius sich aus

$$r_3 = \frac{s_3}{2 \sin \omega_3} = \frac{s_3}{2 \sin (\beta_3 - \omega_2)} \dots \dots \dots 29)$$

ergibt.

Analog kann man weiter in der Bestimmung der Mittelpunkte und der Radien der zu bestimmenden Kreisbogen verfahren.

Auf dem Felde wird sich die Absteckung der einzelnen Bogen nach den früher erörterten Methoden durchführen lassen; denn die Strecken AB, BC, \dots stellen Sehnen dar von Kreisen mit bestimmten Radien r_1, r_2, \dots , die Tangenten sind bestimmbar durch die Winkel $\omega_1, \omega_2, \dots$, somit ist die Ermittlung der Detailpunkte der Bogen einfach.

§ 30. Übergangskurve und ihre Absteckung.

310. Theorie der Übergangskurve. Wenn ein Eisenbahnfahrzeug, welches mit einer gewissen Geschwindigkeit v sich bewegt, aus einer geradlinigen Trasse mit $r = \infty$ in einen Kreisbogen von gegebenem Radius r übergeführt wird, so entwickelt sich eine Kraft, Fliehkraft, welche das Fahrzeug in radialer Richtung, und zwar nach außen hin herauszuschleudern sucht. Dieser Fliehkraft muß eine an Größe gleiche, aber entgegengesetzt gerichtete Kraft gegenübergestellt werden, welche sie im Gleichgewichte erhält.

Dies wird dadurch erzielt, daß eine gewisse Erweiterung der normalen Geleisweite, ferner eine Überhöhung des auf der konvexen Seite liegenden Schienenstranges vorgenommen wird und der Übergang von der geraden Strecke in einen Bogen und umgekehrt nicht unmittelbar erfolgt, sondern durch eine Kurve, die Übergangskurve, vermittelt wird.

Es handelt sich nun um die Gestalt und die Länge der Übergangskurve und um ihre Absteckung.

Denken wir uns in O (Fig. 259) den Schwerpunkt des Fahrzeuges, in welchem das gesamte Gewicht Q desselben wirkt; es sei $OA = Q$. Indem wir Q in zwei Komponenten OB und $AB = K$ zerlegen, wovon OB den Normaldruck auf die Schienen ausübt, $AB = OC = K$ hingegen der nach außen (konvex) wirkenden Fliehkraft F entgegengesetzt wirkt, so ist klar, daß nur dann das Fahrzeug im Gleichgewichte bleibt, wenn $F = K$ wird. Die Fliehkraft F hängt von der Masse M , von der Geschwindigkeit v und von dem Radius r der Bahn ab und lautet, wenn $M = \frac{Q}{g}$ eingeführt wird:

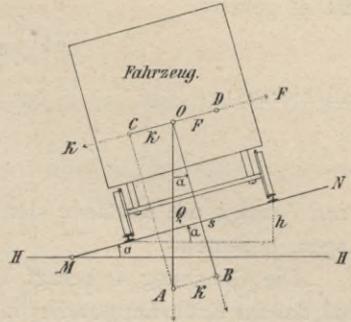


Fig. 259.

$$F = K = \frac{M v^2}{r} = \frac{Q}{g} \frac{v^2}{r} \dots \dots \dots 1)$$

Aus der Fig. 259 ergibt sich unmittelbar der Winkel α , nämlich:

$$\sin \alpha = \frac{K}{Q} = \frac{v^2}{g r} = \frac{h}{s}, \dots \dots \dots 2)$$

wobei s den Radstand des Fahrzeuges und h die Überhöhung des äußeren Schienenstranges bedeuten.

Aus Gleichung 2) kann die Überhöhung h bestimmt werden:

$$h = \frac{s v^2}{g r} = \frac{C}{r}, \dots \dots \dots 3)$$

Zur vollständigen Aufhebung der Fliehkraft wird für v ein Maximalwert genommen; dann ist nach vorstehender Gleichung $\frac{s v^2}{g} = C$ konstant und die Schienenüberhöhung wird umgekehrt proportional dem Radius der Kreisbahn.

Die Schienenüberhöhung h kann in ihrem vollen Betrage nicht unmittelbar im Übergangspunkte A vorgenommen werden, sondern sie muß von A mit $h=0$ beginnend sukzessive zunehmen, bis sie in B (Fig. 260) den Wert h erreicht. Es wird daher vom Punkte A zum Punkte B eine Kurve gelegt werden müssen, deren Krümmungsradius an verschiedenen Stellen ein verschiedener ist und allmählich abnimmt. Einem Punkte M zwischen A und B wird ein Krümmungsradius ρ zukommen, der sich nach Gleichung 3) bestimmt mit:

$$\rho = \frac{C}{z},$$

worin z die zugehörige Überhöhung bedeutet.

Um ein gleichmäßiges Wachsen der Überhöhung zu erzielen, wird offenbar die Proportion für die Schienenüberhöhung h und z der beiden Punkte B und M gelten:

$$h : z = l : s = \frac{1}{r} : \frac{1}{\rho}$$

und hieraus

$$\rho = \frac{l}{s} r, \dots \dots \dots 4)$$

wenn l und s die Abstände der Punkte B und M vom Punkte A , die Kurvenlängen, bedeuten.

Die Gleichung 4) besagt, daß die Übergangskurve die Eigenschaft besitzen muß, daß ihr Krümmungsradius in einem beliebigen Punkte umgekehrt proportional dem Abstände vom Übergangspunkte A ist; für $s = 0$ wird $\rho = \infty$ und für $s = l$ wird $\rho = r$, wie es sein soll.

Zur Gleichung der Übergangskurve kann man in nachstehender Weise gelangen.

Sind M und M_1 (Fig. 260) zwei benachbarte und um das Bogenstück ds entfernte Punkte und ist α der Neigungswinkel der Tangente des Punktes M mit der x -Achse, so schließen ihre Tangenten, respektive ihre Krümmungsradien den Winkel $d\alpha$ miteinander ein.

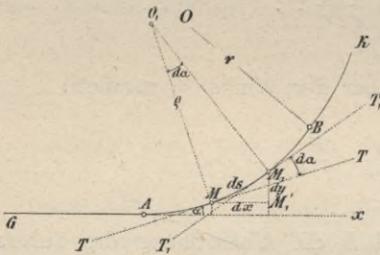


Fig. 260.

Aus dem rechtwinkligen Dreiecke MM_1M_1' folgt:

$$\left. \begin{aligned} dx &= ds \cdot \cos \alpha \\ dy &= ds \cdot \sin \alpha \end{aligned} \right\}; \dots \dots \dots 5)$$

da nun $ds = \rho \cdot d\alpha$ ist, so wird $d\alpha = \frac{ds}{\rho}$ oder mit Berücksichtigung von Gleichung 4):

$$d\alpha = \frac{s}{l} \frac{ds}{r}$$

Wird diese Gleichung integriert und berücksichtigt, daß die Integrationskonstante Null wird, so folgt:

$$\alpha = \frac{s^2}{2lr} \dots \dots \dots 6)$$

Nun können die Gleichungen 5) geschrieben werden:

$$\left. \begin{aligned} dx &= ds \cdot \cos \frac{s^2}{2lr} \\ dy &= ds \cdot \sin \frac{s^2}{2lr} \end{aligned} \right\},$$

und da die trigonometrischen Funktionen in bekannte Reihen entwickelt werden können, so folgt:

$$\left. \begin{aligned} dx &= ds \left(1 - \frac{1}{8} \frac{s^4}{l^2 r^2} \right) \\ dy &= ds \left(\frac{s^2}{2lr} - \frac{1}{48} \frac{s^6}{l^3 r^3} \right) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 7)$$

wobei, da r im Verhältnisse zu s und l sehr groß ist, die Glieder höherer Ordnung vernachlässigt werden können.

Nach ausgeführter Integration und Berücksichtigung, daß die Integrationskonstanten Null werden, ergibt sich:

$$\left. \begin{aligned} x &= s - \frac{s^5}{40 l^2 r^2} \\ y &= \frac{s^3}{6lr} - \frac{s^7}{336 l^3 r^3} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 8)$$

Aus diesen Gleichungen kann man für gegebene Werte von s die rechtwinkligen Koordinaten der zugehörigen Punkte der Übergangskurve bestimmen; in allen Fällen muß l und r bekannt sein.

Die Länge l der Übergangskurve ist eine beschränkte und durch Erfahrung bestimmte; man wählt für

$$\left. \begin{aligned} r &= 1000 \text{ m} & l &= 20 \text{ m} \\ &= 500 \text{ „} & &= 45 \text{ „} \\ &= 300 \text{ „} & &= 50 \text{ „} \end{aligned} \right\};$$

die Länge der Übergangskurve schwankt somit zwischen 20 und 50 m.

Dies vorausgesetzt, läßt sich zeigen, daß in den Gleichungen 8) die zweiten Glieder ohne Einfluß auf die Koordinaten bleiben; für die Abszisse ist der durch die Vernachlässigung des zweiten Gliedes begangene Fehler:

$$f = \frac{s^5}{40 l^2 r^2}$$

und wenn hieraus $\frac{f}{s} = \frac{s^4}{40 l^2 r^2}$ berechnet und $\geq \frac{1}{1000}$

angenommen wird, folgt

$$s^4 \geq 0.04 l^2 r^2 \text{ oder } s \geq \sqrt{0.2} l r,$$

woraus man immer für ein gegebenes l und r die Bogenlänge s finden kann.

Setzt man z. B. $l=45 \text{ m}$ und $r=500 \text{ m}$, so wird $s \geq \sqrt{4500} \geq 67 \text{ m}$, d. h. wenn die Entfernung des abzusteckenden Punktes 67 m von A beträgt, so kann das zweite Glied weggelassen werden. Die Länge der Übergangskurve kann aber erfahrungsmäßig nicht über 45 m reichen, somit kann in jedem Falle das zweite Glied in der Abszisse der Gleichung 8) wegfallen. Eine analog geführte Untersuchung liefert ein ähnliches Resultat für die Ordinate.

Die Koordinaten der Übergangskurve können daher vereinfacht geschrieben werden:

$$\left. \begin{aligned} x &= s \\ y &= \frac{s^3}{6lr} = \frac{x^3}{6lr} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 1)$$

und für den Neigungswinkel α der Tangente in diesem Punkte der Übergangskurve:

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg} \alpha_n = \frac{3x_n^2}{6lr} = \frac{l}{2r} \dots \dots \dots 10)$$

Bezeichnet Q (Fig. 261) den Schnittpunkt der Tangente TT im Punkte B mit der x -Achse, so folgt nach der Figur:

$$\left. \begin{aligned} QC &= \frac{BC}{\operatorname{tg} \alpha_n} = \frac{y_n}{\operatorname{tg} \alpha_n} = \frac{l}{3} \\ AQ &= x_n - QC = \frac{2}{3} l \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 11)$$

Hat man den Punkt Q in Bezug auf A oder C festgelegt, so ist die Tangente in B , d. i. QB , fixiert und die Ermittlung der einzelnen Kreisbogenpunkte kann von B aus nach den besprochenen Methoden erfolgen.

Interessieren die Koordinaten des Kreismittelpunktes O , so ergibt sich nach der Figur:

$$\left. \begin{aligned} AD &= x_0 = l - \xi \\ DO &= y_0 = y_n + \gamma_1 \end{aligned} \right\};$$

nun ist

$$\xi = r \sin \alpha_n$$

oder, da der Winkel α_n klein ist und so $\operatorname{tg} \alpha_n = \sin \alpha_n$ gesetzt werden kann,

$$\xi = r \operatorname{tg} \alpha_n = r \cdot \frac{l}{2r} = \frac{l}{2}.$$

Weiters hat man:

$$\gamma_1 = \sqrt{r^2 - \xi^2} = (r^2 - \frac{l^2}{4})^{\frac{1}{2}} = r - \frac{1}{2} \frac{l^2}{4r} = r - \frac{1}{8} \frac{l^2}{r},$$

somit als Mittelpunktkoordinaten:

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= \frac{l}{2} \\ y_0 &= r + \frac{1}{24} \frac{l^2}{r} = r + m \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{III)}$$

Denkt man sich durch den Punkt B einen Kreisbogen mit dem Halbmesser r , so erhält man im Schnitte mit OD den Punkt S ; man hat

$$DS = y_0 - r = \frac{1}{24} \frac{l^2}{r} = m.$$

Die Ordinate γ_{10} für den Punkt M wird sein:

$$\gamma_{10} = \frac{1}{6} \frac{l^3}{lr} = \frac{1}{48} \frac{l^3}{r} = \frac{1}{2} m \dots \dots \dots \text{IV)}$$

und die Ordinate des letzten Punktes B der Übergangskurve:

$$y_n = \frac{l^3}{6r} = 4 \cdot \frac{l^3}{24r} = 4m \dots \dots \dots \text{V)}$$

§ 31. Tunnelabsteckungen.

Die Tunnels werden in Geraden, Kreisbogen oder auch in mehrfachen Bogen, Korblinien, angelegt; geht die Achse des Tunnels in eine zurückkehrende Schleife über, so heißt ein solcher Tunnel Kehrtunnel. Bei der Absteckung von Tunnelachsen hat man daher bekannte Aufgaben der Absteckung zu lösen mit dem einzigen Unterschiede, daß hier, nachdem die Absteckung zum größten Teile unter Tag auszuführen ist, schwierige Verhältnisse auftreten.

Es ist nun erklärlich, daß für die genaue Absteckung besonders langer gerader Tunnelachsen eigene Instrumente gebaut worden sind, deren Beschreibung, Prüfung und Berichtigung nachfolgend gegeben wird.

312. Instrumente zu Tunnelabsteckungen der Firma Starke & Kammerer in Wien. Bei den Absteckungen des Mont-Cenis-, Gotthard- und des Arlbergtunnels kamen Instrumente zur Anwendung, nach welchen, gestützt auf die Erfahrungen beim Arlberge, von der österreichischen Eisenbahnbaudirektion für die Alpenbahnen bei der Firma Starke & Kammerer in Wien Instrumente zur Konstruktion angegeben und bestellt wurden, die bei den großen Tunnels der in letzter Zeit in Betrieb gesetzten Alpenbahnen verwendet wurden.

Eine komplette Absteckgarnitur besteht aus nachstehenden Teilen:

1. dem eigentlichen Absteckinstrumente,
2. drei Stativen,
3. drei Zentrierapparaten und
4. zwei Signallampen.

Das eigentliche Absteckinstrument (Fig. 262) ist ein theodolitartiges Instrument, bei welchem Kreuzlibellen *K* zur Horizontierung dienen, wozu jedoch auch die vorhandene feine Achsenlibelle *A* benützt werden kann. Der Durchmesser des Teilkreises ist 15 *cm*, die Noniusangabe beträgt eine Minute.

Das Fernrohr muß sehr leistungsfähig, aber nicht zu lang sein, um das Instrument nicht groß und schwer zu gestalten; aus dem Grunde wurde ein dreifaches Objektiv von 38 *mm* Öffnung mit einer achromatischen Negativlinse und einem orthoskopischen Okulare zu einem verkürzten Fernrohre verbunden, dessen Gesamtlänge bei 30facher Vergrößerung nur 23 *cm* beträgt. Die gewöhnliche Fernrohrkonstruktion müßte bei Benützung des gleichdimensionierten Objektivs 32 *cm* lang sein. Um das Fadenkreuz beleuchten zu können, ist die Fernrohrdrehachse durchbohrt und ein vor dieser Bohrung im Innern des Fernrohres montierter Spiegel bringt durch Reflexion das Licht der vor der Bohrung an einem Ständer angebrachten Lampe *L* auf die Fäden.

Die Justierung der Fernrohrdrehachse wird in üblicher Weise durch eine Zug- und eine Druckschraube bewerkstelligt, welche in den Lagerstützen eines ganz besonders stabilen Alhidadenträgers angebracht sind.

Die Achsenlibelle *A* ist fein geschliffen, ihr Parswert beträgt 20 Sekunden und sie ist zur besseren Isolierung gegen plötzliche Wärmeeinflüsse mit einem Glasrohre gedeckt.

Das Stativ ist ein solides Scheibenstativ; die massive Stativkopfplatte *SS* enthält eine größere Zentrieröffnung und drei aufgeschraubte Metallplättchen mit Nuten, in welche die Stellschraubenenden des Zentrierapparates eingesetzt werden.

Der Zentrierapparat besteht aus einem gußeisernen Körper, der Führungsplatte *FF*, welche drei Ansätze mit Stellschrauben trägt; in diesem Körper läßt sich eine Bronzeplatte (Schlitten) *BB*, welche den Untersatz für das Instrument, beziehungsweise die Signallampe bildet, an einer Handhabe *H* fassen

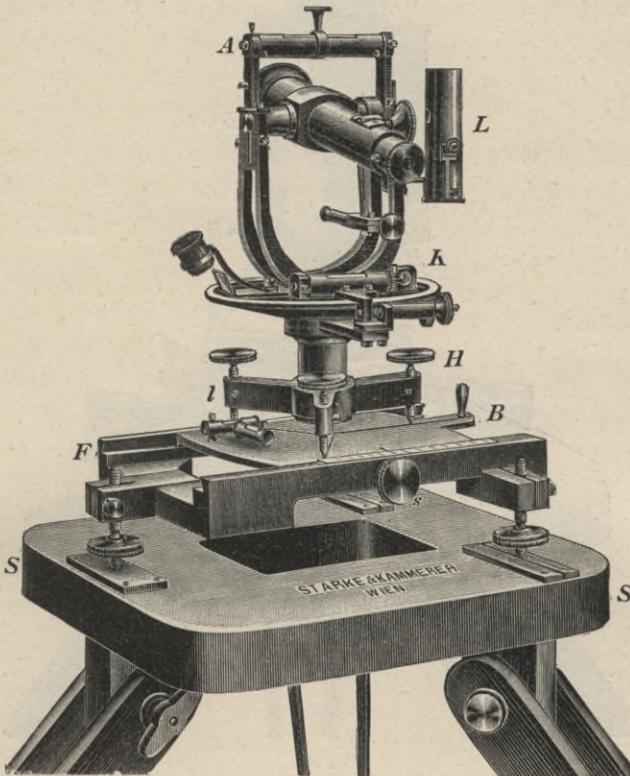


Fig. 262.

(1/6 der natürlichen Größe.)

und wie ein Schlitten freihändig verstellen und mittels einer Bremsschraube *s* fixieren. Der Schlitten ist in seiner Mitte durchbohrt, um die Vorrichtung einsenkeln zu können. In dieser Bohrung stoßen auch die drei eingehobelten Nuten zusammen, in welche bei der Aufstellung des Absteckinstrumentes oder der Signallampe die Dreifußschrauben eingreifen. Da sowohl der Dreifußunterbau als auch die Nuten mit großer Sorgfalt dimensioniert sind, so kann jede Aufstellung als zentrisch gelten.

Zwei geradlinige Bewegungen: die des ganzen Zentrierapparates auf der Stativkopfplatte und jene des Schlittens in der Führungsplatte ermöglichen eine rasche und gute Zentrierung.

Justierbare Kreuzlibellen *l*, welche mit dem Schlitten verbunden sind, gestatten, die Schlittenebene horizontal, respektive die geometrische Achse der kleinen Bohrung vertikal zu stellen.

Da die Kenntnis der Verschiebung des Schlittens bei Absteckungen von Wichtigkeit ist, so ist an der Führungsplatte in der Nähe der Klemmschraube

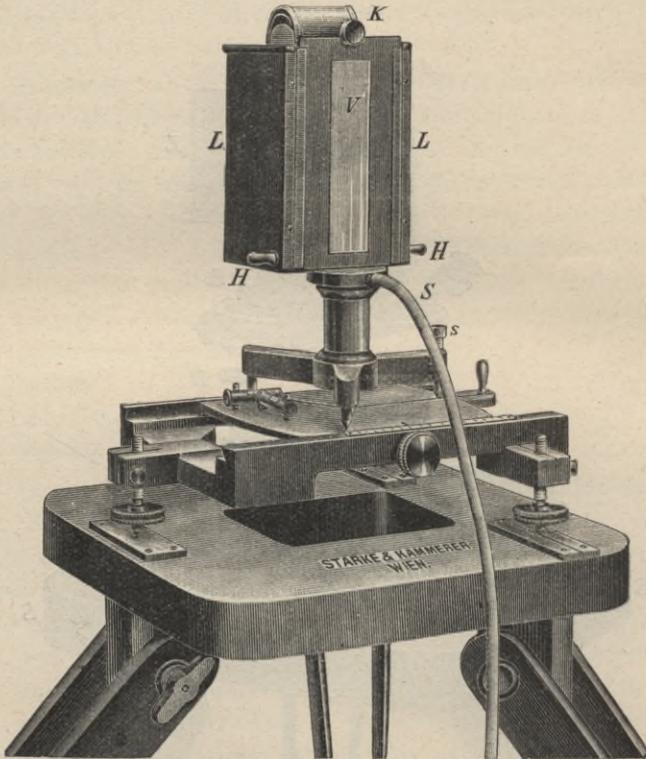


Fig. 263.

($\frac{1}{6}$ der natürlichen Größe.)

eine in Millimeter geteilte Lamelle angebracht, an welcher der jedesmalige Stand des Schlittenindexes abgelesen werden kann.

Die Signallampe *L* ist auf dem Zentralkörper eines Dreifußunterbaues befestigt (Fig. 263) und wird mit Azetylen, das mittels eines Schlauches *S* von einem Generator zugeführt wird, versorgt; ein Reflektor dient zur Verstärkung der Azetylenflamme. Vor der Flamme ist eine Visierspalte *V* zentrisch zur vertikalen Umdrehungsachse der Lampe montiert. Die Visierspalte ist auswechselbar, so daß solche von verschiedenen Breiten bei längeren und kürzeren Visuren verwendet werden können.

Wie aus der Figur ersichtlich ist, kann durch Verwendung der einen justierbaren Stellschraube s des Dreifußunterbaues der Lampe die Umdrehungsachse derselben senkrecht zur Schlittenebene gestellt werden.

Bei HH sind Handhaben, welche eine bequeme Bewegung der Lampe um ihre vertikale Drehachse ermöglichen.

Der Knopf K ist aus Holz hergestellt und dient dazu, den durch die Flamme stark erhitzten Schieber bequem fassen und wechseln zu können.

313. Prüfung und Berichtigung der Absteckinstrumente. Für den Zentrierapparat sind nur die Kreuzlibellen in bekannter Weise zu rektifizieren.

Was das Absteckinstrument selbst betrifft, so sind vorerst dessen Alhidadenlibellen (Kreuzlibellen) zu überprüfen und eventuell richtigzustellen und ferner die feine Achsenlibelle sehr genau zu rektifizieren.

Die weitere Untersuchung erstreckt sich auf die Prüfung der Eigenschaft, ob

1. die Fernrohdrehachse parallel zum Limbus ist, respektive senkrecht zur vertikalen Umdrehungsachse des Instrumentes steht und
2. die Visierebene senkrecht zur Fernrohdrehachse ist, was dann eintritt, wenn

- a)* der Vertikalfaden des Fadenkreuzes und
- b)* die Visierlinie mit der Fernrohdrehachse einen Richtungsunterschied von 90° haben.

Diesbezügliche Untersuchungen werden nach Nr. 281 und 282 des I. Bandes auszuführen sein; hierauf wird die Visierebene beim Kippen und nach dem Durchschlagen des Fernrohres stets eine und dieselbe Vertikalebene beschreiben, wie es für Absteckungen und Verlängerungen von Geraden notwendig ist.

Bei der Signallampe wird zu untersuchen sein, ob die dritte justierbare Stellschraube s des Dreifußes die richtige Lage habe. Dies wird dadurch geprüft, daß die Signallampe auf den genau horizontalen Zentrierapparat aufgestellt und von einem zweiten, weit entfernten Punkte mit dem Absteckinstrumente nachgesehen wird, ob die Kanten des regulierbaren Lichtspaltes V zum Vertikalfaden parallel sind, beziehungsweise denselben decken; ist dies nicht der Fall, so muß das Korrektions-schraubchen entsprechend verstellt werden.

Ausführung von Tunnelachsenabsteckungen.

Hiebei ist es zu unterscheiden, ob der Tunnel in einer Geraden oder in einer Kurve geführt wird. Nachfolgend soll der Fall behandelt werden, wenn eine lange, geradlinige Tunnelachse abzustecken ist.

Eine solche Absteckung umfaßt zwei Arbeiten:

1. die Absteckung über Tage und
2. die Absteckung unter Tage.

314. Absteckung über Tage. Auf Grund einer scharfen trigonometrischen Triangulierung werden die Anschlußwinkel α und β der Tunnelachse in den

Endpunkten A und B nach Nr. 299 berechnet, wodurch es möglich wird, im Zuge der Tunnelachse über Tage Punkte der Erdoberfläche, Höhen- und Tiefenpunkte, welche in der Vertikalebene der Tunnelachse liegen, zu signalisieren und entsprechend zu stabilisieren (Fig. 264 und 265).

In der Nähe der Tunnelmündlöcher (-portale) A und B in sicherer und geschützter Lage werden in den Verlängerungen der Tunnelachse AB zwei

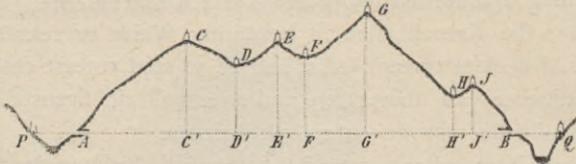


Fig. 264.

Pfeiler errichtet, auf welchen die Richtung der Tunnelachse markiert wird und die als Observationspunkte P und Q für die Absteckung der Tunnelrichtung dienen.

Die Observationspunkte können entweder in die Triangulierung zur Fixierung der Tunnelachse einbezogen werden, oder aber ihre Bestimmung wird von A und B aus vorgenommen.

Nach Absteckung der Punkte C, D, E, \dots, J über Tage müssen auch die Höhenverhältnisse dieser Punkte in Bezug auf eine Vergleichungsebene durch ein genaues, kontrolliertes geometrisches Nivellement festgelegt werden; auch wird man dafür Sorge tragen, daß die Horizontalabstände der Punkte AC, CD, DE, \dots, JB genau bekannt sind.

Die Absteckung über Tage wird einfacher, wenn sich zwischen den Tunnelportalen A und B ein Punkt C finden läßt (Fig. 265), von dem die Observations-

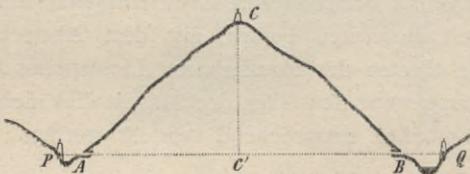


Fig. 265.

pfeiler in P und Q sichtbar sind, wie dies z. B. bei der Absteckung des Mont-Cenis-Tunnels vom Grand Wallon möglich war; schwieriger gestalten sich die Verhältnisse, wenn eine Richtungsübertragung notwendig wird, wie es beim St.-Gotthard-, dem Arlberg- und dem Simplon-

tunnel der Fall war, in welchen Fällen naturgemäß die peinlichste Sorgfalt bei den mehrmaligen Überstellungen des Instrumentes beobachtet werden mußte. Die erstere, einfachere Richtungsabsteckung sowohl über Tage als dann später im Tunnel kann man eine direkte nennen, während die zweite Richtungsgebung, welche eine Übertragung der Richtung bedingt, als eine indirekte bezeichnet werden kann.

315. Absteckung unter Tage, die eigentliche Achsenabsteckung. Als Anbindepunkte für die Übertragung der Richtung vom Tage in den Tunnel

dienen Marken auf den Observationspfeilern P und Q und Fixpunkte, welche die Anschlußwinkel der Tunnelachse bestimmen; diese sind Null, wenn die Fixpunkte in der Vertikalebene der Tunnelachse sich befinden, was meistens der Fall ist.

Die Absteckungsarbeiten werden von beiden Observationspfeilern P und Q in Angriff genommen und unabhängig voneinander bis zum Tunneldurchschlage geführt.

Einzelne Punkte der Tunnelachse, welche als Standpunkte für die Absteckinstrumente verwendet werden, heißen Überstellungspunkte und sind auf einer in einen Steinpfeiler eingelassenen Messingplatte markiert. Die Wahl und der Abstand der Überstellungspunkte richtet sich in erster Linie nach der freien und sicheren Sicht von einem Punkte zum andern und nach dem Stande des Baues zur Zeit der Absteckung; sie haben zumeist einen gegenseitigen Abstand von 800 bis 1000 m .

Die Stationierung der Tunnelachse beginnt mit dem Tunnelleingangspunkte als Nullpunkt und alle abgesteckten Punkte werden in die Stationierung genau einbezogen.

Präzise Absteckungen werden fast ausschließlich bei Nacht ausgeführt. Die Richtungen für die Punkte der Tunnelachse, welche nahe am Eingange des Tunnels liegen, werden vom Observationspunkte oder Tunnelleingangspunkte gegeben.

Das Absteckungspersonal besteht aus zwei Partien: die eine besorgt die Arbeiten am Absteckinstrumente und die zweite ist bei der Signallampe beschäftigt; zur Verständigung werden entweder Hornsignale vereinbart oder, was entschieden besser ist, es wird eine telephonische Verbindung der beiden Stationen hergestellt.

Aufstellung der Instrumente. Auf dem Observationspfeiler wird der Zentrierapparat derart aufgestellt, daß die Bewegungsrichtung des Schlittens beiläufig rechtwinklig zur Tunnelachse zu stehen kommt; nun wird der Schlitten mittels der Kreuzlibellen horizontal gestellt. Nach Absenkung des Schlittenmittelpunktes wird man sehen, in welcher Richtung eine Verschiebung der Messingplatte (des Schlittens) notwendig wird, wobei es bald gelingt, den Schlittenmittelpunkt zentrisch über die Marke des Steinpfeilers zu stellen.

Hierauf wird das eigentliche Absteckinstrument mit seinen Stellschrauben in die Rinnen der Schlittenplatte gebracht und nach Horizontalstellung desselben wird die vertikale Umdrehungsachse des Instrumentes genau durch die Marke des Steinpfeilers hindurchgehen.

Ehe mit der Absteckung selbst begonnen wird, ist es notwendig, sich von der genauen Justierung des Instrumentes zu überzeugen; erst dann wird der Vertikalfaden des Fadenkreuzes scharf auf den Fixpunkt eingestellt, was gegebenen Falles schon am Tage geschehen kann.

Die Fixpunkte (Pyramiden) werden gewöhnlich durch Lichtzeichen signalisiert, um das Absteckinstrument auf den Fixpunkt einzustellen oder um die bei Tage eingestellte Visur zu kontrollieren.

Da erfahrungsmäßig im Gebirge sehr oft starker Nebel einfällt, so daß entferntere Fixpunkte durch längere Zeit unsichtbar bleiben können, so ist es zweckmäßig, in geeigneter Entfernung vom Observationspfeiler eine Mire auf einer zu diesem Zwecke eingelassenen Steinplatte zu bestimmen, wodurch man von den Witterungsverhältnissen teilweise unabhängig wird.

Angenommen, der Anfangspunkt des Tunnels sei nicht genau markiert, so wird er ähnlich wie der Punkt am Observationspfeiler zu bezeichnen sein und in nachfolgender Weise von der zweiten Absteckungspartie mit der Signallampe bestimmt.

Der Zentrierapparat der einen Signallampe wird auf den Steinpfeiler aufgestellt und die Kreuzlibellen des Schlittens mit den Stellschrauben zum Einspielen gebracht; nun wird die Signallampe mit den Stellschrauben des Dreifußes in die Rinnen des Schlittens gestellt. Der Visierspalte wird eine der Entfernung vom Absteckinstrumente entsprechende Breite gegeben und die Lampe angezündet. Die intensive Azetylenbeleuchtung läßt den Spalt als einen hell beleuchteten Streifen erscheinen, auf den sich der Vertikalfaden bei guter Einstellung scharf projizieren wird.

Absteckung. Wenn beide Aufstellungen vollendet sind, so wird nach gegenseitig gegebenem Signale „bereit“ mit dem „Geben“ der Visur begonnen.

Der Ingenieur bei der Signallampe bringt nach gegenseitiger Verständigung mit dem leitenden Ingenieur beim Absteckinstrumente durch Verschiebung des Schlittens den Visierspalt genau in die vertikale Visierebene des Absteckinstrumentes, wonach der Schlitten mit der Klemmschraube fixiert und der Stand des Index an der Teilung abgelesen wird.

Um sich vor etwaigen Instrumentalfehlern frei zu machen, werden vier Schlitteneinstellungen gemacht, in vier charakteristischen Lagen des Fernrohres und der Achsenlibelle ausgeführt, und der Stand des Index in diesen Stellungen ermittelt. Es sind dies:

	Lesung am Index
das Fernrohr in der Normallage und die Achsenlibelle in normaler Stellung	a_1
das Fernrohr in der Normallage und die Achsenlibelle in umgesetzter Stellung	a_2
das Fernrohr in der umgelegten Lage und die Achsenlibelle in umgesetzter Stellung	a_3
das Fernrohr in der umgelegten Lage und die Achsenlibelle in normaler Stellung	a_4

Eine solche Einstellungsreihe heißt Serie. Das arithmetische Mittel der vier Einstellungen $a = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4}{4}$ gestattet, der Signallampe jene Stellung zu geben, welche möglichst vom Einflusse der Instrumentalfehler frei ist.

Nach Einstellung der Signallampe auf das Mittel wird der Schlittenmittelpunkt abgesehen und auf dem eingelassenen Messingplättchen des Steinpfeilers markiert.

Bei wichtigen Punkten, wie es der Tunnelanfangspunkt und die Überstellungspunkte der Tunnelachse sind, begnügt man sich nicht mit einer Serie, sondern man führt immer mehrere aus, an welchen sich zur Sicherheit der Absteckung mehrere geübte Beobachter beteiligen.

Wurde der Zentrierapparat nicht auf einen eigenen Stein- oder gemauerten Pfeiler, sondern auf dem beschriebenen massiven Tischstative aufgestellt, so wird der Schlittenmittelpunkt auf die Sohle herabgesenkt und entsprechend bezeichnet.

Hat man einen Punkt der Achse im Innern des Tunnels zu bestimmen, so ist der Vorgang bei der Festlegung derselbe, wie er vorher beschrieben wurde.

Die Absteckung der Tunnelachse erfolgt stets im Sohlstollen des Tunnels; Punkte im Firststollen werden durch Senklung übertragen.

Liegt also der so bestimmte Punkt im Tunnel, so wird es notwendig, den Punkt in beide Stollen des Tunnels, Sohl- und Firststollen, zu übertragen und zu markieren. Die Übertragung erfolgt durch Absenkung, wobei der Senkel auf einer Achsenklammer befestigt und so lange verschoben wird, bis die Senkelspitze zentriert ist; hierauf wird die Stelle in der Achsenklammer durch einen Feilstrich bezeichnet. Solche Punkte heißen Klammerrichtungsmarken (Fig. 266).

Nun kann, falls der abgesteckte Punkt der Tunnelachse einen wichtigen Überstellungspunkt abgeben soll, ein Pfeiler aufgemauert werden, auf welchem dann auf einem eingelassenen Messingplättchen der markierte Punkt von der First des Sohlstollens abgesenkt und bezeichnet wird.

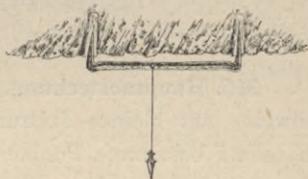


Fig. 266.

Die Übertragung vom Sohl- in den Firststollen wird durch Firststollenaufbrüche und durch Senklung ausgeführt und die Punkte auf Firstklammern wie angegeben bezeichnet.

Verlängerung und Detailabsteckung. Hat man den Tunnelanfangspunkt oder einen Überstellungspunkt im Innern des Tunnels bestimmt, markiert und stabilisiert, so werden die folgenden Punkte der Tunnelachse bis auf eine Entfernung von 80 bis 100 *m* durch Teilabsteckung mit einfacheren Instrumenten, nämlich mit einem gewöhnlichen Theodolite, einem Universal-Nivellierinstrumente oder einem Tachymeter bestimmt. Diese Instrumente müssen in Bezug auf den Kollimationsfehler sehr genau geprüft und berichtigt sein.

Die Bestimmung erfolgt durch Verlängerung der Geraden *PA* (Fig. 264 und 265), Observationspunkt oder Tunnelanfangspunkt, beziehungsweise Überstellungspunkt über *A* hinaus nach Band II, Nr. 298. Hierbei werden von 10 zu 10 *m* Punkte der Tunnelachse angegeben und in der First des Sohlstollens fixiert.

Hat man die Achse über einen Punkt im Innern zu verlängern, wo Dunkelheit herrscht, so wird man sich bei Benützung gewöhnlicher Instrumente eines Illuminators zur Beleuchtung des Fadenkreuzes bedienen.

Bussoleninstrumente zu Achsenverlängerungen zu benützen, ist nicht ratsam, weil im Stollen stets viel Eisenteile vorhanden sind, deren gänzliche Entfernung im Stollenbetriebe Störungen bedingen würde.

Länge und Höhenlage der Tunnelachse. Neben den Absteckungen sind noch zur genauen Kenntnis der Länge und der Höhenverhältnisse der

Tunnelachse die entsprechenden Strecken- und nivellitischen Messungen auszuführen, wobei man zu den Streckenmessungen die Meßplatten verwendet.

Als Höhenfixpunkte dienen eigene in die Seitenwände des First- und Sohlstollens eingetriebene Metallbolzen (Fig. 267) und Achsenfirstklammern; außerdem werden in den Steinen der Widerlager an fertig gemauerten Ringen Fixpunkte entsprechend bezeichnet. Im Firststollen pflegt man die durchlaufende Höhenmarkierung durch Fixierung der Gewölbeseitelhöhe von 10 zu 10 *m* mittels Pflöckchen vorzunehmen.

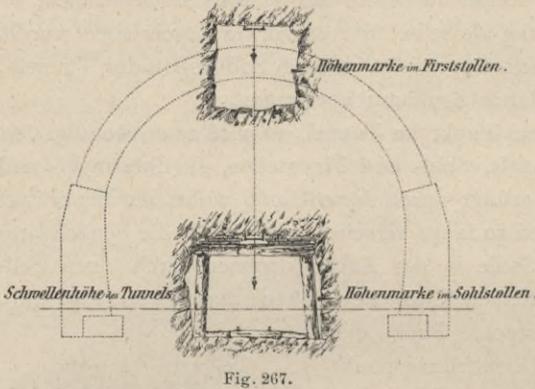


Fig. 267.

Bei Achsenverlängerungen erfahren die Tunnelarbeiten keine Unterbrechung.

316. Hauptabsteckung. Die vorstehend geschilderten Detailarbeiten, welche teilweise mit kleinen Instrumenten durchgeführt werden und deren Anschluß an scharf bestimmte Punkte der Achse erfolgt, müssen kontrolliert werden. Zu diesem Behufe werden zeitweise Hauptabsteckungen veranlaßt.

Beim Baue der Ostseite des Arlbergtunnels, dessen Teilachse eine Länge von über 5 *km* hatte, wurden sieben Hauptabsteckungen ausgeführt, wobei Verifizierungen auf Achsenteillängen von je rund 700 bis 800 *m* erfolgten, so daß diese Teillängen auf gewöhnliche Weise durch Verlängerung vom letzten festgelegten Punkte der Tunnelachse zur Durchführung gelangten.

Um größere Querfehler in der Richtung der Tunnelachse zu vermeiden, ist es empfehlenswert, den Abstand der Überstellungsstationen zwischen 1000 und 2000 *m* zu nehmen, wie es bei den Absteckungen der Albula- und Simplonbahn der Fall war.

Die Hauptabsteckung bezieht sich auf eine genaue Kontrolle der Richtung, der Länge und der Höhenlage des ganzen aufgeschlossenen Tunnels und wird vom Observationspfeiler im Anschlusse an den Fixpunkt begonnen und im Innern des Tunnels über wichtige Übertragungspunkte bis zum Ende des aufgeschlossenen Tunnels fortgesetzt.

Da bei den vorzunehmenden Arbeiten der Tunnel von Rauch und Dunst freizuhalten ist, so müssen sämtliche Arbeiten im Tunnel eingestellt und möglichst viel Luft durch Kompressoren und Gebläse in den Tunnel eingeführt werden.

Das Absteckpersonal teilt sich in zwei Gruppen: die eine besorgt die Arbeiten beim Absteckinstrumente und die zweite ist bei den Signallampen beschäftigt; die Verständigung wird am besten telephonisch besorgt.

Hätte man durch die Hauptabsteckung einen 5000 *m* langen Tunnel zu kontrollieren, so wird man von den früheren Umstellungspunkten mehrere, die ziemlich

gleichmäßig auf die Länge verteilt sind, kontrollieren; man beginnt z. B. mit 1200 und nimmt dann 1800, 2400, 3000 u. s. w.

Der Vorgang hiebei ist der folgende.

Der Zentrierapparat und das Absteckinstrument werden in bekannter Weise über die Richtungsmarke des Observationspfeilers bei P gebracht, das Instrument überprüft und die vertikale Visierebene des Fernrohres auf den Fixpunkt scharf eingestellt.

In gleicher Weise wird der Zentrierapparat auf den Steinpfeiler z. B. des Punktes 1200 mit der Signallampe aufgestellt.

Nachdem die Aufstellungen beendet sind, kann mit der Richtunggebung vom Observatorium begonnen werden. Es werden gewöhnlich mehrere Einstellungsreihen ausgeführt, die Einstellungen A_1, A_2, \dots, A_5 ermittelt und der Mittelwert $A = \frac{[A]}{5}$ berechnet, der Schlitten fixiert, wodurch die Absteckung des Punktes bis auf dessen Fixierung vollendet ist.

Nachdem der Punkt 1200 gegeben wurde, wird das Absteckinstrument vom Observationspfeiler abgehoben und an dessen Stelle die Signallampe über die Marke zentrisch aufgestellt; am Pfeiler im Punkte 1200 wird die Signallampe abgehoben und das Absteckinstrument placiert.

Die bei der Signallampe des Punktes 1200 tätig gewesenene Ingenieure begeben sich mit der Signallampe auf den nächsten zu gebenden Punkt, z. B. 1800, wo die Signallampe in beschriebener Weise aufgestellt wird.

Der Ingenieur beim Absteckinstrumente stellt das Fernrohr auf die Signallampe am Observationspfeiler in P ein, schlägt das Fernrohr durch und nun wird der Punkt 1800 in mehreren Serien genau so bestimmt wie früher der Punkt 1200.

Hierauf wird das Absteckinstrument auf 1800, die erste Signallampe vom Observatorium auf den Punkt 1200 und die zweite Signallampe auf den zu gebenden Punkt 2400 gestellt. Die Bestimmung des Punktes 2400 erfolgt analog jener der Punkte 1200 und 1800.

Vor Abnahme des Zentrierapparates wird jedesmal der Achsenpunkt auf einer in den Pfeiler eingelegten Messingplatte durch Senklung des Schlittenmittelpunktes ermittelt und markiert. Sehr oft werden die Überstellungspunkte nur auf dem Tischstative bestimmt, ohne besonders markiert zu werden. Falls eine Bezeichnung vorgenommen wird, so wird sie auf einer Achsenklammer in der First des Sohlstollens durch einen Feilstrich bewerkstelligt, manchmal auch auch auf Sohlenklammern versichert.

Zugleich mit der Ausführung der Hauptkontrolle für die Tunnelrichtung wird auch die Länge des Tunnels und seine Höhenlage einer gewissenhaften Kontrolle unterzogen.

Die Längenmessungen werden mit direkten Längenmessern ausgeführt und die Höhenlage der einzelnen Höhenmarken wird durch ein scharfes geometrisches Nivellement (Präzisionsnivellement) überprüft.

Bei größeren Tunnels werden diese Kontrollarbeiten von drei selbständigen Arbeitspartien besorgt, welche voneinander unabhängig ihre Messungen ausführen.

317. Absteckung von Kurvenbogen in Tunnels. Die Kurvenbogen schließen sich an die Tangenten der Übergangspunkte an. Zur Absteckung von Detailpunkten des Bogens kommen jene Methoden zur Anwendung, bei welchen die Messungen zur Festlegung der Bogenpunkte auf einen kleinen Raum um den Bogen herum sich beschränken; auch soll jeder Punkt unabhängig vom vorhergehenden bestimmt werden. Hierbei kommt die Sehnenmethode mit möglichst langen Seiten und die Polarmethode zur Anwendung; bei mittleren Radien kommen Sehnenlängen von 40 bis 60 *m* vor.

Es liegt auf der Hand, daß auf diese Arbeiten besondere Sorgfalt zu verwenden ist und insbesondere die Sehnen- und die Polpunkte mit aller Schärfe bestimmt werden müssen.

Bei längeren Tunnels, die in zusammengesetzten Bogen führen, Kehrtunnels, empfiehlt es sich, einen Polygonzug mit möglichst langen Seiten, gestützt auf die Dimensionen der Kreisbogen, zu rechnen, diesen in den Tunnel zu übertragen, die Achsenpunkte durch Koordinaten auf die Polygonseiten zu beziehen und diese Koordinaten scharf zu rechnen.

Tunnels in einfachen Bogen kommen wohl beim Eisenbahnbaue oft vor; große Kehrtunnels sind beim Baue der Gotthard-, der Albulabahn u. s. w. zur Absteckung gekommen, über deren Durchschlagsergebnisse nachfolgend einige Daten mitgeteilt werden.

318. Genauigkeit der Absteckung. Da die Absteckung der Tunnelachse von den Endpunkten vorgenommen wird, so kommt die Genauigkeit der Absteckungsarbeiten durch die Fehler zum Ausdruck, die sich beim Durchschlage des Tunnels sowohl in der Richtung als auch in der Länge und in der Höhe ergeben.

Nr.	Tunnel der	Geradliniger Tunnel				
		Länge	Absteckung	Widerspruch in der		
				Richtung	Länge	Höhe
		<i>m</i>		<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>
1	Gotthardbahn	nahezu 15.000	indirekt	0.49 erste Messung 0.33 zweite „	— 7.6	0.05
2	Albulabahn	5900	direkt	0.05	— 1.150	0.048

Literatur zu „Abstecken von Geraden und Kurvenbogen“.

1. **Becker:** Die Absteckung von Straßen- und Eisenbahnkurven, Wien 1876.
2. **Borletti:** Formole e tavole per il calcolo delle risvolte ad arco circolare, Milano 1902.
3. **Elb:** Taschenbuch zum Abstecken von Kreisbogen und Übergangskurven, Wilhelmshaven 1879.
4. **Gysin:** Peripheriewinkel-Tafeln in alter Teilung zum Abstecken von Eisenbahn- und Straßenkurven, Liestal 1885.
5. **Gysin:** Tafeln zum Abstecken von Eisenbahn- und Straßenkurven in neuer Teilung, Liestal 1885.
6. **Hanhard & Waldner:** Trassierungshandbuch für Ingenieurarbeiten im Felde, Berlin 1874.
7. **Hecht:** Hilfsbuch zum Abstecken von Kreisbogen mit Rücksicht auf parabolische Übergangskurven, Dresden 1893.
8. **Hecht:** Hand- und Hilfsbuch zum Abstecken von Eisenbahn- und Straßenkurven mit Rücksicht auf die Verwertung der Kegelschnitte, Dresden 1893.
9. **Helmert:** Die Übergangskurven für Eisenbahngeleise, Aachen 1872.
10. **Jordan:** Kreiskoordinaten für 200 Radien, Leipzig 1881.
11. **Knoll-Weitbrecht:** Taschenbuch zum Abstecken der Kurven an Eisenbahnen und Straßen, Stuttgart 1902.
12. **Kröhnke:** Handbuch zum Abstecken von Kurven auf Eisenbahnen und Weglinien, Leipzig 1896.
13. **Morawitz:** Die Straßen- und Eisenbahnkurve, Wien 1858.
14. **Pernt:** Tafeln zum Abstecken von Kreis- und Übergangsbogen durch Polarkoordinaten, Wien 1903.
15. **Sarrazin und Oberbeck:** Taschenbuch zum Abstecken von Kreisbogen und Übergangskurven, Berlin 1899.
16. **Winckel:** Handbuch zum Abstecken von Kurven, Berlin 1873.

Name	Länge	Radien	Widerspruch in der			
			Richtung	Länge	Höhe	
						<i>cm</i>
	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	
Legginstein	1095	300 bis 500	2.8	5.0	2.8	
Wattinger	1084		1.2	7.0	0.6	
Travi	1547		5.0	4.0	1.0	
Freggio	1564		10.6	2.3	2.6	
Prato	1557		1.4	1.6	0.5	
Pfaffensprung	1476		12.6	14.0	1.5	
Greifenstein	693	120 und 150	8	+ 7	zwischen 0 und 3	
God	485		2	+ 3		
Rugnux	661		10	— 30		
Unterer Toua	676		120, 300, 120	3		+ 2
Oberer Toua	535		120	5		+ 5

Tunnelabsteckungen.*a) Gotthardbahn.*

1. **Doležalek:** „Hilfsmittel für die Richtungsangaben im Gotthardtunnel“ in der Zeitschrift des Architekten- und Ingenieurvereines in Hannover, 1878.
2. **Doležalek:** „Der Durchschlag und die Richtungsgebung des Gotthardtunnels“, ebendasselbst 1880.
3. **Dörflinger:** „Absteckung der Kehrtunnels bei Wasen“ in der Zeitschrift für Vermessungswesen 1877.
4. **Gelpke:** „Bericht über die St.-Gotthard-Tunnelachse“ in „Zivilingenieur“ 1870.
5. **Gelpke:** „Die letzte Richtungsverifikation und Durchschlag am großen St.-Gotthard-Tunnel“ in der Zeitschrift für Vermessungswesen 1880.
6. **Koppe:** „Bestimmung der Achsen des Gotthardtunnels“, ebendasselbst 1875 und 1876.
7. **Koppe:** „Trigonometrische Höhenmessung zur Tunneltriangulation“, ebenda 1876.
8. **Koppe:** „Absteckung der Achsen des Gotthardtunnels“, in „Eisenbahn“ 1880.
9. **Koppe:** „Bestimmung der Absteckungselemente für die sieben Kehrtunnels der Gotthardbahn“ in „Eisenbahn“ 1880.
10. **Pestalozzi:** „Über die Absteckung des Gotthardtunnels“ in „Eisenbahn“ 1877.

b) Simplonbahn.

11. **Gast:** „Über Luftspiegelungen im Simplontunnel“ in der Zeitschrift für Vermessungswesen 1904.
12. **Rosenmund:** Spezialberichte der Direktion der Jura-Simplon-Bahn und des schweizerischen Eisenbahndepartement über den Bau des Simplontunnels.
I. Teil. Die Bestimmung der Richtung, der Länge und der Höhenverhältnisse, Bern 1901.
Ferner in der Schweizerischen Bauzeitung 1901 und der Zeitschrift für Vermessungswesen 1902.
13. **Rosenmund:** „Über die Wahrnehmungen bei den Richtungskontrollen am Simplontunnel“ in der Schweizerischen Bauzeitung 1902.

c) Albulabahn.

14. **Graf:** „Einiges über die Absteckungen auf der Albulabahn“ in der Schweizerischen Bauzeitung 1902.
Zahlreiche Aufsätze über Absteckungen von Kurvenbogen und Tunnelachsen finden sich in verschiedenen Jahrgängen der folgenden technischen Zeitschriften:
Zeitschrift für Vermessungswesen.
Österreichische Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst der Zivilingenieure.
Zeitschrift des Architekten- und Ingenieurvereines in Hannover.
Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur- und Architektenvereines.

Papierpositiv stellt die Bildebene für das photographische Bild dar, welches man zur Konstruktion benützt.

Neben dem Zentrum der Perspektive C sind noch die Schnitte der durch den Objektivmittelpunkt gehenden Horizontal- und Vertikalebene mit der Bildebene von Bedeutung; es sind dies die Horizontal- und Vertikallinie HH und VV , die sich im Hauptpunkte Ω der Perspektive schneiden; dieser Punkt hat vom Zentrum der Perspektive den Abstand $\Omega C = f$, den man Bild-
distanz nennt.

Der Horizont HH , die Vertikallinie VV , der Hauptpunkt Ω und die Bilddistanz f heißen perspektivische Konstanten. Die drei charakteristischen Linien: die optische Achse oder Bilddistanz, die Vertikal- und Horizontlinie bilden in ihrer gegenseitigen Verbindung drei in dem Hauptpunkte aufeinander senkrecht stehende Fundamentebenen: die Horizontal-, die Vertikal- und die Bildebene. Die Lage der Bildebene sowie der Ort des perspektivischen Zentrums sind durch die Horizontallinie, durch die Lage des Hauptpunktes und durch die Größe der Bilddistanz gegeben. Sind drei der perspektivischen Konstanten, worunter aber immer die Bildweite f sein muß, bekannt, so läßt sich aus der bekannten Lage eines Objektes im Raume das perspektivische Bild dieses Gegenstandes stets ermitteln.

320. Orientierung der Bildebene. Die Lage der Bildebene muß im Raume fixiert werden können. Dies geschieht dadurch, daß man die Lage der Bilddistanz durch ihren Horizontal- und Vertikalwinkel bestimmt; da nämlich die Bildebene senkrecht zur Bilddistanz steht, so ist durch die Festlegung der Bilddistanz auch die Bildebene fixiert oder die Orientierung der Bildebene erzielt (Fig. 269).

Denken wir uns der Einfachheit halber die Bildebene im Raume vertikal, daher die

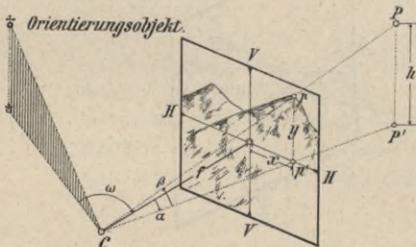


Fig. 269.

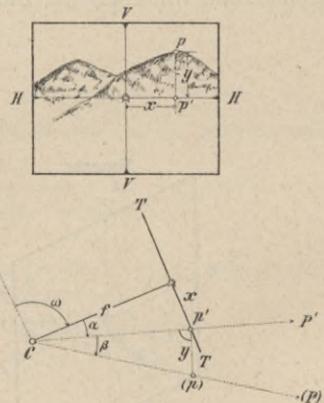


Fig. 270.

Bilddistanz horizontal, so wird die Lage der Bildebene festgelegt sein, wenn man den Winkel ω kennt, den die Bilddistanz f mit einer bekannten Richtung, dem astronomischen oder magnetischen Meridiane, respektive einer andern im Raume bestimmten Richtung bildet; dieser Winkel ω heißt der Orientierungswinkel. Die Schnittgerade TT' der Bildebene mit der horizontalen Ebene heißt Bildtrasse.

Kennt man den Orientierungswinkel ω und das Orientierungsobjekt \odot , so läßt sich unmittelbar in der Situation die Bildtrasse TT , die im Abstände f vom Zentrum C senkrecht zur Bilddistanz f steht, zeichnen (Fig. 270).

321. Photographische Winkelmessung. Die perspektivischen Bilder von Raumpunkten, die Bildpunkte, sowohl auf dem Negative als Positive orientierter Photographien können festgelegt werden, und zwar durch Bildkoordinaten, die sich auf die Horizontlinie als Abszissen- und die Vertikallinie als Ordinatenachse beziehen.

Ist die Lage der Horizont- und Vertikallinie auf dem Negative oder dem Positive durch Horizont- und Vertikalmarken bezeichnet, ist ferner die Bilddistanz f bekannt und hat man die Bildkoordinaten des Bildpunktes p vom Originalpunkte P mit x und y ausgemessen, was am Negative oder am Positive geschehen kann, so bestehen die Beziehungen (Fig. 269):

$$\left. \begin{aligned} tg \alpha &= \frac{x}{f} \\ tg \beta &= \frac{y}{\sqrt{x^2 + f^2}} = \frac{y}{f} \cos \alpha = \frac{y}{x} \sin \alpha \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{I)}$$

woraus der Horizontalwinkel α , der das Azimut der Projektion des Visierstrahles in Bezug auf die Bilddistanz darstellt, und der Vertikalwinkel β rechnerisch bestimmt werden können.

Beide Winkel können aber auch graphisch erhalten werden (Fig. 270); stellt im Grundrisse C den Objektivmittelpunkt, f die lineare Größe der Bilddistanz, Ω den Hauptpunkt und TT die Trasse der vertikalen Bildebene, des Positives, dar, so wird von Ω die Abszisse x in entsprechender Richtung aufgetragen (was von dem Vorzeichen abhängt) und der Punkt p' erhalten, der, mit C verbunden, die horizontale Projektion des Raumstrahles nach dem Punkte P darstellt, wobei dieser Strahl mit der Bilddistanz den Horizontalwinkel α des Raumpunktes P gibt.

Wird in p' auf Cp' eine Senkrechte errichtet und auf dieser $p'(p) = y$ aufgetragen, so gibt $C(p)$ den umgelegten Visierstrahl $C(P)$ und in der Umlegung ergibt sich der Vertikalwinkel β von P , der nach dem Vorzeichen der Ordinate ein Höhen- oder Tiefenwinkel sein kann.

Bei einer ausgeführten Photographie kann nun für eine beliebige Anzahl von Bildpunkten die Ausmessung der Bildkoordinaten x und y auf dem Negative oder Positive vorgenommen werden, so daß man für beliebig viele Punkte die Winkel α und β rechnerisch und graphisch bestimmen kann. Dadurch werden die photographierten Punkte von einem Standpunkte, der photogrammetrischen Station, durch ihre Visierstrahlen festgelegt, graphisch rayoniert.

Die rechnerische und graphische Bestimmung der Winkel α und β , welche die Lage des Visierstrahles gegen die Station festlegen, kann aus der Photographie durchgeführt werden und stellt die photographische Winkelmessung vor.

322. Festlegung eines Raumobjektes von zwei Standpunkten, einer Grundlinie, aus. Hat man ein Raumobjekt photogrammetrisch festzulegen, so werden zwei Standpunkte S_1 und S_2 , Stationen, gewählt, so daß von diesen aus das Objekt in seiner ganzen Ausdehnung übersehen und photographiert werden

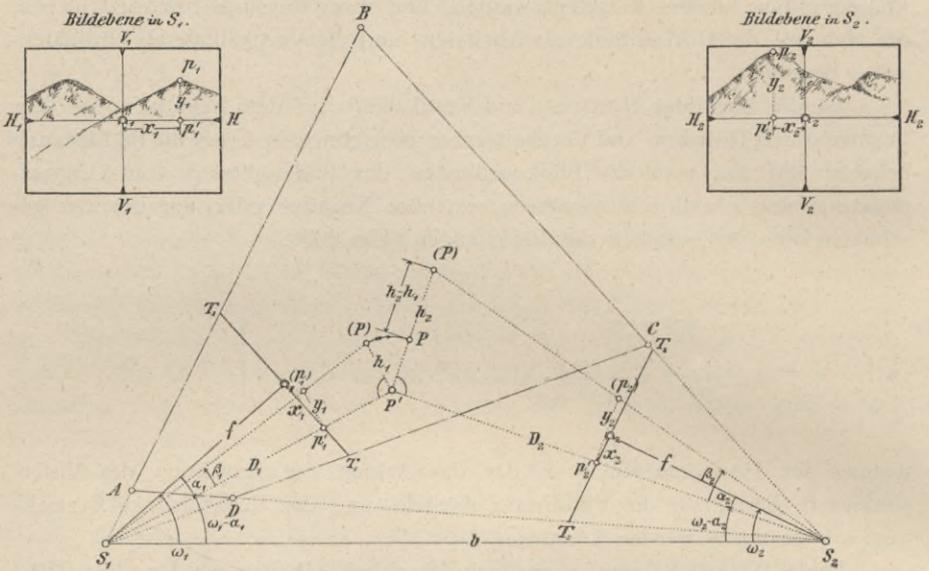


Fig. 271.

kann (Fig. 271). Es wird die Basis $S_1 S_2 = b$ gemessen und der Höhenunterschied H der Endpunkte ermittelt, wenn diese Größen nicht aus einer vorhergehenden Arbeit bekannt sind.

1. Rechnerische Lösung. Es sind die Größen b , ω_1 , ω_2 und die Bild-distanz f gegeben und die Bildkoordinaten auf den Bildebenen in S_1 und S_2 mit x_1, y_1 und x_2, y_2 ausgemessen; dann hat man nach Gleichung I):

$$\left. \begin{aligned}
 \operatorname{tg} \alpha_1 &= \frac{x_1}{f} \\
 \operatorname{tg} \rho_1 &= \frac{y_1}{\sqrt{x_1^2 + f^2}} = \frac{y_1}{f} \cos \alpha_1 = \frac{y_1}{x_1} \sin \alpha_1
 \end{aligned} \right\} \text{in der Station } S_1$$

und

$$\left. \begin{aligned}
 \operatorname{tg} \alpha_2 &= \frac{x_2}{f} \\
 \operatorname{tg} \rho_2 &= \frac{y_2}{\sqrt{x_2^2 + f^2}} = \frac{y_2}{f} \cos \alpha_2 = \frac{y_2}{x_2} \sin \alpha_2
 \end{aligned} \right\} \text{in der Station } S_2$$

. . . 1)

Aus dem Dreiecke $S_1 P' S_2$ folgt dann bei Kenntnis der Horizontalwinkel α_1 und α_2 nach dem Sinussatz:

$$\begin{aligned}
 D_1 : b &= \sin (\omega_2 - \alpha_2) : \sin [(\omega_1 + \omega_2) - (\alpha_1 + \alpha_2)] \\
 D_2 : b &= \sin (\omega_1 - \alpha_1) : \sin [(\omega_1 + \omega_2) - (\alpha_1 + \alpha_2)]
 \end{aligned}$$

und
$$\left. \begin{aligned} D_1 &= b \frac{\sin(\omega_2 - \alpha_2)}{\sin[(\omega_1 + \omega_2) - (\alpha_1 + \alpha_2)]} \\ D_2 &= b \frac{\sin(\omega_1 - \alpha_1)}{\sin[(\omega_1 + \omega_2) - (\alpha_1 + \alpha_2)]} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{II}$$

Denkt man sich die rechtwinkligen Dreiecke PS_1P' und PS_2P' um die Katheten S_1P' und S_2P' mittels der Ordinaten y_1 und y_2 umgelegt, so kommen durch die zweiten Katheten h_1 und h_2 die relativen Höhen des Punktes P über den Horizonten der Standpunkte zum Ausdruck; sie lauten:

$$h_1 = D_1 \operatorname{tg} \beta_1 \quad h_2 = D_2 \operatorname{tg} \beta_2 \dots \text{III}$$

Bezeichnen J_1 und J_2 die Instrumenthöhen in den Stationen S_1 und S_2 , H_1 und H_2 deren absolute Höhen, so bestehen nach Fig. 272 für die Höhe des Punktes P , bezogen auf die Vergleichungsebene, die Relationen:

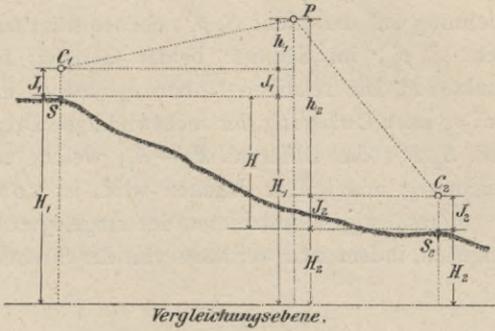


Fig. 272.

$$\left. \begin{aligned} H' &= H_1 + J_1 + h_1 \text{ aus } S_1 \\ H'' &= H_2 + J_2 + h_2 \text{ aus } S_2 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{IV}$$

und da $H' = H''$ und $H_1 - H_2 = H$ sein muß, auch:

$$H = H_1 - H_2 = (h_2 - h_1) + (J_2 - J_1)$$

oder
$$h_2 - h_1 = H - (J_1 - J_2) = k, \dots \dots \dots \text{V}$$

d. h. die Differenz aus den relativen Höhen eines Raumpunktes in Bezug auf beide Stationen ist konstant. Diese Gleichung gibt die Höhenkontrolle und besteht für jeden Punkt.

Wenn also auf den Bildern der beiden Stationen S_1 und S_2 idente Punkte bestimmt wurden, so muß diese Kontrolle bestehen; trifft sie nicht zu, so sind auf den beiden Photographien ungleiche Punkte durch die Bildkoordinaten ausgemessen worden.

Die Höhenrelation gilt nur für idente oder korrespondierende Punkte und gibt eine ganz vorzügliche Kontrolle ab.

2. Graphische Lösung. Diese kommt unmittelbar in der Fig. 271 zum Ausdruck. Das Gerippe der Konstruktion, welches die Unterlage für die Bestimmung aller Detailpunkte bildet, ist durch die Basis $S_1 S_2 = b$ und die orientierte Lage der Bildabstände f in den Stationen S_1 und S_2 , beziehungsweise durch die orientierten Bildtrassen $T_1 T_1$ und $T_2 T_2$ mittels der Orientierungswinkel ω_1

und ω_2 bestimmt; b wird in der Verjüngung $1:n$, hingegen f in wahrer Größe aufgetragen und so das Gerippe für die Konstruktion erhalten.

Die Bildkoordinaten x_1, y_1 und x_2, y_2 werden entweder direkt auf den Platten ausgemessen, oder aber sie werden auf den Papierpositiven mit einem Stechzirkel abgegriffen, wobei sich bei der Arbeit manche praktische Vorteile von selbst ergeben werden.

Man trägt nun vom Hauptpunkte Ω_1 die Abszisse x_1 in entsprechender Richtung auf und zieht $S_1 p'_1$; ebenso trägt man x_2 von Ω_2 entsprechend auf und zieht $S_2 p'_2$; im Schnitte beider Geraden liegt die Situation P' des Raumpunktes P . Die relativen Höhen h_1 und h_2 ergeben sich mit Benützung von y_1 und y_2 nach Umlegung der rechtwinkligen Dreiecke $S_1 P P'$ und $S_2 P P'$ um $S_1 P'$ und $S_2 P'$; die Differenz $h_2 - h_1$, welche nach Ziehung eines Bogens in der Zeichnung unmittelbar erhalten wird, ist konstant.

Das lästige Konstruieren der umgelegten rechtwinkligen Dreiecke kann man umgehen, indem man seitwärts von der Situation auf einem Millimeterpapiere das

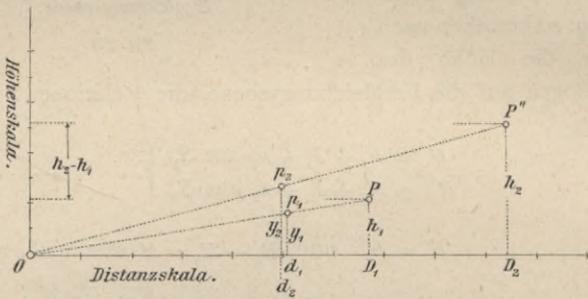


Fig. 273.

Zeichnen der umzulegenden Dreiecke ausführt und die relativen Höhen h_1 und h_2 unmittelbar an einer entsprechend beschriebenen Höhenskala abliest (Fig. 273), was in der Praxis weit bequemer ist. Die absolute Höhe wird mit Zuhilfenahme der Gleichungen IV) ermittelt.

3. Kombinierte Lösung. Diese besteht darin, daß man die Situation P des Raumpunktes P graphisch und die Höhe rechnerisch bestimmt. Man mißt nämlich für die relative Höhe h_1 die Größen $S_1 p'_1 = d_1$ und $S_1 P' = D_1$, und da y_1 bekannt ist, so folgt:

$$\left. \begin{aligned} h_1 &= y_1 \frac{D_1}{d_1} \\ h_2 &= y_2 \frac{D_2}{d_2} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 2)$$

und analog für die zweite Station:

welche Werte bequem mit dem Rechenschieber berechnet werden können. Die Differenz $h_2 - h_1 = k$ gibt die Höhenkontrolle und die Festlegung ist beendet.

Wie man sieht, entspricht diese Art der Festlegung der bekannten Basis- oder Standlinienmethode (Band I, Nr. 426), dem Vorwärtseinschneiden von zwei Standpunkten, beziehungsweise dem Rayonieren und Schneiden mit dem Meßtische.

323. Genauigkeit der photographischen Winkelmessung. Die beiden Winkel α und β , welche auf photographischem Wege bestimmt werden, sind durch die Gleichungen:

$$tg \alpha = \frac{x}{f} \quad \text{und} \quad tg \beta = \frac{y}{\sqrt{x^2 + f^2}} = \frac{y}{f} \cos \alpha = \frac{y}{x} \sin \alpha \dots \dots \dots 3)$$

gegeben und erscheinen als Funktionen der perspektivischen Konstanten f und der beiden gemessenen Bildkoordinaten x und y .

Nennen wir die mittleren Fehler dieser Größen Δf , Δx und Δy , so werden aus den Gleichungen 3) die partiellen Differentialquotienten bestimmt:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial tg \alpha}{\partial x} &= \frac{1}{f} \\ \frac{\partial tg \alpha}{\partial f} &= -\frac{x}{f^2} \\ \frac{\partial tg \alpha}{\partial \alpha} &= \frac{1}{\cos^2 \alpha} \end{aligned} \right\} \text{ und } \left. \begin{aligned} \frac{\partial tg \beta}{\partial y} &= \frac{1}{f} \cos \alpha \\ \frac{\partial tg \beta}{\partial f} &= -\frac{y}{f^2} \cos \alpha \\ \frac{\partial tg \beta}{\partial \alpha} &= -\frac{y}{f} \sin \alpha \\ \frac{\partial tg \beta}{\partial \beta} &= \frac{1}{\cos^2 \beta} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 4)$$

so daß nach Einführung dieser Werte in die allgemeinen Ausdrücke für die absoluten Fehler der Winkel α und β , d. i.:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\Delta \alpha}{\cos^2 \alpha} &= \sqrt{\left(\frac{\partial tg \alpha}{\partial x} \Delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial tg \alpha}{\partial f} \Delta f\right)^2} \\ \frac{\Delta \beta}{\cos^2 \beta} &= \sqrt{\left(\frac{\partial tg \beta}{\partial y} \Delta y\right)^2 + \left(\frac{\partial tg \beta}{\partial f} \Delta f\right)^2 + \left(\frac{\partial tg \beta}{\partial \alpha} \Delta \alpha\right)^2} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 5)$$

erhalten wird:

$$\left. \begin{aligned} \Delta \alpha &= \cos^2 \alpha \sqrt{\frac{1}{f^2} \Delta x^2 + \frac{x^2}{f^4} \Delta f^2} \\ \Delta \beta &= \cos^2 \beta \sqrt{\frac{\cos^2 \alpha}{f^2} \Delta y^2 + \frac{y^2 \cos^2 \alpha}{f^4} \Delta f^2 + \frac{y^2 \sin^2 \alpha}{f^2} \Delta \alpha^2} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots VI)$$

Diese Gleichungen gestatten, in aller Strenge und bei Berücksichtigung sämtlicher Fehlerursachen den mittleren Fehler im Horizontal- und Vertikalwinkel zu bestimmen.

Da nun bei einem photogrammetrischem Instrumente die genaue Kenntnis von f vorausgesetzt werden muß, so kann man f als fehlerfrei annehmen,

wodurch sich die Formeln VI) nicht unbedeutend vereinfachen; ist nämlich $\Delta f = 0$, so gehen die Gleichungen VI) über in:

$$\left. \begin{aligned} \Delta \alpha &= \frac{\cos^2 \alpha}{f} \Delta x \\ \Delta \beta &= \cos^2 \beta \sqrt{\frac{\cos^2 \alpha}{f^2} \Delta y^2 + \frac{y^2 \sin^2 \alpha}{f^2} \Delta \alpha^2} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{VII)}$$

Der Fehler im Horizontalwinkel kann, da $\cos \alpha = \frac{f}{\sqrt{x^2 + f^2}}$, also $\cos^2 \alpha = \frac{f^2}{x^2 + f^2}$ ist, auch geschrieben werden:

$$\Delta \alpha = \frac{f}{f^2 + x^2} \Delta x \text{ oder } \Delta \alpha' = 3438' \frac{f}{f^2 + x^2} \Delta x, \dots \dots \dots \text{VIII)}$$

woraus man sieht, daß der Fehler im Horizontalwinkel um so kleiner wird, je größer x wird; er erreicht sein Maximum, wenn $x = 0$ wird, also

$$\Delta \alpha'_{max} = 3438' \frac{\Delta x}{f} \dots \dots \dots \text{6)}$$

Nimmt man $\Delta x = 0.1 \text{ mm}$ und $f = 240 \text{ mm}$, so wird erhalten:

$$\Delta \alpha' = \frac{3438'}{240 \text{ mm}} \cdot 0.1 \text{ mm} = 1.43' = 1' 26''.$$

Auf photographischem Wege können daher unter vorstehenden Bedingungen die Horizontalwinkel auf $1' 26'' \doteq 1.5'$ genau erhalten werden, während die graphische Bestimmung der Horizontalwinkel mit dem Meßtische rund auf $2'$ genau ist. Man sieht hieraus, daß die photogrammetrische Methode der Winkelbestimmung mit dem graphischen Verfahren konkurrieren kann.

Umgekehrt läßt die Gleichung 6) die Beantwortung der Frage zu, welche Bildweite f ein photogrammetrischer Apparat haben müßte, um eine bestimmte Genauigkeit zu erzielen; wollte man $\Delta \alpha = 1'$ haben, so würde sich aus Gleichung 6) die Brennweite f ergeben mit:

$$f = 3438' \frac{\Delta x}{\Delta \alpha_{max}} = \frac{3438'}{1'} \cdot 0.1 \text{ mm} = 343.8 \text{ mm}.$$

Was die Genauigkeit des Vertikalwinkels β betrifft, so geht nach Einführung des mittleren Fehlers $\Delta \alpha$ in Gleichung VII) diese über in:

$$\Delta \beta = \cos^2 \beta \sqrt{\frac{\cos^2 \alpha}{f^2} \Delta y^2 + \frac{y^2 \sin^2 \alpha \cos^4 \alpha}{f^2} \Delta \alpha^2} \dots \dots \dots \text{IX)}$$

und, da $\Delta x = \Delta y$ gesetzt werden kann,

$$\Delta \beta = \frac{\cos^2 \beta \cos \alpha}{f} \sqrt{\left(1 + \frac{y^2}{f^2} \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha\right) \Delta x} \dots \dots \dots \text{X)}$$

Dieser Fehler wächst mit Δx und nimmt mit β und f ab; seine Größe kann im gegebenen Falle nach IX), respektive X) berechnet werden. Der Fehler im Vertikalwinkel wird naturgemäß größer ausfallen als im Horizontalwinkel.

Handelt es sich um die Genauigkeit der photogrammetrischen Punktbestimmung, also um den Fehler in der Distanz D und Höhe h , so hat man die Gleichungen:

$$\left. \begin{aligned} D_1 &= b \frac{\sin(\omega_2 - \alpha_2)}{\sin[(\omega_1 + \omega_2) - (\alpha_1 + \alpha_2)]} \\ h_1 &= D_1 \operatorname{tg} \beta_1, H' = h_1 + J_1 + H_1 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 7)$$

nach den Sätzen der Ausgleichsrechnung (Band I, Nr. 24) auf die bezüglichen Fehler zu untersuchen.

§ 33. Photogrammetrische Instrumente.

Photogrammetrische Instrumente sind kombinierte Apparate; sie bestehen aus einem geodätischen Instrumente zur Messung von Horizontal-, respektive Vertikalwinkeln und aus einer photographischen Kamera, welche photographische Aufnahmen mit photogrammetrischer Adjustierung auszuführen gestattet. Mit einem solchen Instrumente kann in jedem Augenblicke über die Lage der Bildebene im Raume: ihre Richtung und Neigung zum Horizonte, die Orientierung, genauer Aufschluß gegeben werden.

Es ist eine große Zahl von photogrammetrischen Instrumenten gebaut worden; wir besprechen zwei derselben:

1. den Phototheodolit von Starke & Kammerer mit vertikaler Bildebene und
2. den Universal-Phototheodolit von Professor Schell, der Aufnahmen bei beliebiger Lage der Bildebene auszuführen gestattet.

324. Der Phototheodolit von Starke & Kammerer (Fig. 274); sein geodätischer Teil besteht aus einem Dreifußunterbaue mit drei Stellschrauben; eine Herzschaube besorgt eine sichere Verbindung mit einem soliden Stative. Der verdeckte Limbus trägt die Teilung auf der vertikalen Mantelfläche eines Zylinders und ein Nonius gestattet, die Ablesung auf Minuten auszuführen.

Die bewegliche Alhidade hat drei Arme, welche zur Aufnahme der Kamera-stellschrauben Rinnen besitzen; ein vierter Arm der Alhidade trägt den Nonius zur Bestimmung der Horizontalwinkel und auf einer mit der Alhidade verbundenen Platte sind Kreuzlibellen justierbar angebracht, die zur Horizontierung des Limbus, respektive zur Vertikalstellung der Umdrehungsachse des Instrumentes verwendet werden. Ferner sind auch eine Alhidadenklemme und eine dazugehörige Fein-einstellvorrichtung vorhanden.

Den zweiten wesentlichen Teil des Instrumentes bildet die photographische Kamera, welche mittels dreier Stellschrauben auf die Alhidadenarme aufgesetzt werden kann; eine Schraube, welche ihre Muttergewinde in dem zentralen Teile

der Alhidade hat, ermöglicht eine sichere Verbindung der Kamera mit der Alhidade.

Das photographische Objektiv, ein Zeißscher Anastigmat mit der Brennweite von rund $f = 212 \text{ mm}$ ist im vertikalen Sinne verschiebbar und so gelagert, daß

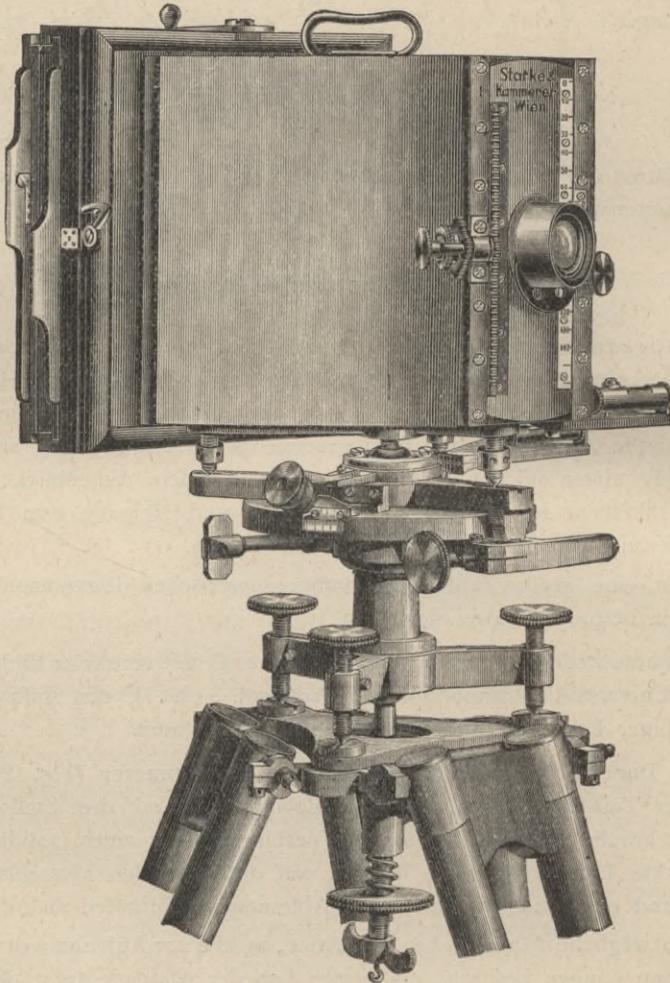


Fig. 274.

($\frac{1}{4}$ der natürlichen Größe.)

parallel auf dasselbe auffallende Strahlen sich in der Ebene des Meßrahmens vereinigen, in einer Ebene, in welcher beim Gebrauche des Apparates die lichtempfindliche Schicht der Platte, sonst die matte Fläche der Visierscheibe und das Fadenkreuz des an letzterer befindlichen Okulares liegen. Die normale Lage des Objektivs ist durch die Ablesung 70.00 mm an der Stirnseite des

Objektivrahmens gekennzeichnet, die vertikale Verschiebung desselben kann bis auf 0.05 mm bestimmt werden.

Der Umstand, daß die mit dem Phototheodolite aufzunehmenden Terrainobjekte sich stets in ziemlich großen Entfernungen vom Objektiv befinden, hat zur Folge, daß die Entfernung des zweiten Hauptpunktes des Objektivs von der Ebene des Meßrahmens konstant und gleich der Brennweite des Objektivs angenommen werden kann; denn für die Entfernungen von 500, 400, 300, 200 und 100 m beträgt der Unterschied zwischen der wahren Bildweite und der Brennweite von 212 mm rund 0.09 , 0.11 , 0.15 , 0.22 und 0.45 mm . Diese Differenz wird durch die Wirkung der Blende auf die Bildschärfe ausgeglichen. Bei ungewöhnlich kurzen Distanzen, wo ein Auszug des Objektivs nötig wird, kann auch das Objektiv gegen die normale Bildweite (Brennweite) von der Ebene des Meßrahmens bis zu 2 mm verändert werden.

Der Meßrahmen, welcher auf der offenen Seite der Kamera angebracht ist, besteht aus Metallamellen, welche von Zentimeter zu Zentimeter Spitzmarken eingeschritten enthalten; zwei größere horizontale und zwei vertikale Mittelmarken bezeichnen den Horizont und die Vertikallinie. Dieser Meßrahmen dient zur fixen Anlage für die Visierscheibe und für die Glasplatten der einzelnen Kassetten. Sowohl auf dem Negative als auf dem Positive bilden sich die Zentimetermarken ab und durch die größeren derselben ist der Horizont und die Vertikallinie der Photographie ersichtlich gemacht.

Die Visierscheibe läßt sich durch zwei Haken mit der Kamera verbinden; ferner sind Korrektionschraubchen vorhanden, welche die Visierscheibe im vertikalen Sinne so verstellen lassen, daß der horizontale Faden des Fadenskreuzes des in die Mattscheibe eingelassenen Okulares mit der Horizontallinie des Meßrahmens zusammenfällt.

In der Mattscheibe ist ein Ramsdensches Okular um eine horizontale Achse drehbar und derart justierbar angebracht, daß bei der normalen Lage des Objektivs 70.00 das Okular mit ihm zentriert ist. Die Ebene des Fadenskreuzes fällt bei angelegter Visierscheibe mit der Rahmenebene zusammen.

Die Kamera enthält Kreuzlibellen, wovon die eine parallel zur optischen Achse des Objektivs oder der Bilddistanz und die zweite parallel zur Horizontlinie des Meßrahmens sein soll.

Die Kassette, welche die lichtempfindliche Platte aufnimmt, läßt sich nach Entfernung der Mattscheibe so an die Kamera anbringen, daß das Negativ, respektive die präparierte Schicht nach dem Anziehen zweier Haken sich genau an den Meßrahmen anlegt. Das Plattenformat ist $21 \times 27 \text{ cm}$.

Das Kameraobjektiv wird über Vorschlag Professor Schells auch als Fernrohrobjektiv ausgenützt und gibt mit dem zugehörigen Okulare der Mattscheibe ein Fernrohr; mit diesem Fernrohre können nicht nur die bei der Aufnahme notwendigen Visuren behufs Messung von Horizontalwinkeln gemacht werden, sondern man kann auch mit demselben ohne Zugabe eines Vertikalbogens indirekt die Messung von Vertikalwinkeln vornehmen.

325. Eigenschaften des Phototheodolites. Diese lassen sich in zwei Gruppen teilen:

1. Eigenschaften, die dem Instrumente als Winkelmeßinstrument zukommen und
2. solche, die von einem für photogrammetrische Zwecke dienenden Apparate gefordert werden müssen.

Ad 1. *a*) Die Limbusebene muß senkrecht zur vertikalen Umdrehungsachse des Instrumentes liegen,

b) die Visierebene muß senkrecht auf der Limbusebene stehen und

c) die Visierebene muß durch die vertikale Umdrehungsachse hindurchgehen.

Ad 2. *a*) Wenn die Kameralibellen einspielen, so soll

α) die Bildebene, die Ebene des Zentimeterrahmens, eine vertikale Lage haben;

β) die Verbindungslinie der Horizontalmarken horizontal, daher die der Vertikalmarken vertikal sein.

b) ist der Objektivschlitten genau auf 70·00 mm eingestellt, so muß

γ) die Bilddistanz (optische Achse des Objektivs) durch den Schnittpunkt der Horizontal- und Vertikallinie, den Hauptpunkt Ω der Bildebene, hindurchgehen.

c) Das um eine horizontale Drehachse bewegliche Okular hat folgenden Bedingungen zu entsprechen:

δ) es muß bei der Normalstellung des Objektivs die Visur über dem horizontalen Faden des Okulares horizontal sein,

ϵ) der Horizontal- und Vertikalfaden des Okulares müssen mit der Verbindungslinie der Horizont- und Vertikalmarken koinzidieren und

ζ) der horizontale Faden muß in der horizontalen Drehungsachse des Okulares liegen.

d) Die Auf- und Abwärtsbewegung des Objektivs durch den Objektivschlitten soll eine solche sein, daß hiebei der zweite Hauptpunkt des Objektivs in einer Geraden sich bewegt, die parallel zur Vertikallinie verläuft.

Wenn die vorstehenden Bedingungen erfüllt sind, so wird bei einspielenden Alhidadenkreuzlibellen, also vertikaler Umdrehungsachse des Instrumentes, und bei einspielenden Kameralibellen und Einstellung des Objektivs auf 70·00 mm die Bildebene vertikal sein und der Horizont des Objektivmittelpunktes durch die Horizontmarken hindurchgehen.

326. Prüfung und Berichtigung.

Als Vorbereitung zur Rektifikation werden die Alhidadenkreuzlibellen nach Band I, Nr. 269, untersucht und eventuell berichtigt.

Nun schreitet man an die Rektifikation des Instrumentes selbst.

Ad 1. Was die Untersuchung als geodätisches Instrument betrifft, so wird ad *a*) die vertikale Umdrehungsachse des Instrumentes vom Mechaniker senkrecht zur Limbusebene gestellt; der zweite Punkt *b*) ist in der zweiten Gruppe von Eigenschaften enthalten und

entfällt daher hier und *c*) die Exzentrizität der vertikalen Visierebene wird vom Mechaniker nach Möglichkeit beseitigt.

Ad 2. *α*) und *β*) Prüfung der Kameralibellen. Die vertikale Umdrehungsachse des Instrumentes ist mittels der Alhidadenkreuzlibellen vertikal gestellt und das Objektiv befindet sich in der Normalstellung auf 70·00 *mm* eingestellt.

Ad *α*). Die Vertikalstellung der Ebene des Meßrahmens kann genügend genau durch einen nicht zu leichten Senkel mit gleichmäßig dünner Schnur (Haar) bewerkstelligt werden. Man befestigt die Schnur an einem der oberen Haken der Kamera, wodurch dieselbe an die obere Kante des Meßrahmens fest angepreßt wird. Durch entsprechende Verstellung der in der Richtung der optischen Achse der Kamera gelegenen Kamerafußschraube bringt man die anfangs freischwebende Senkelschnur zum Kontakte mit der unteren Lamelle des Meßrahmens. In dieser Lage wird die Blase der Kamerakreuzlibelle, die in der Richtung der Kameraachse liegt, durch ihre Korrektionsschraube zum Einspielen gebracht.

Ad *β*) Betrachtet man die Verbindungslinie von der Spitze je einer der beiden horizontalen Mittelmarken, Horizontmarken, des Meßrahmens zum zweiten Hauptpunkte des Objektivs als optische Achse eines Fernrohres und verwendet als in freier Hand zu haltendes Okular die beigegebene Rohrlupe, so wird es nach einigen Proben gelingen, das Bild eines genügend weit entfernten Objektes zu sehen und am Pointierungspunkte, d. i. an der Spitze der Horizontmarke, festzuhalten. Die Entfernung des Objektes soll so groß sein, daß der Objektivauszug auf seiner Normalstellung stehen bleibt. Da man bei der Justierung keine aufgestellte Latte, sondern nur ein passendes Objekt näherungsweise im Horizonte der Kamera braucht, so hat die Forderung, daß das Objekt 400 bis 500 *m* entfernt sein soll, nichts besonders Lästiges an sich. Die genaue Einstellung des Bildes auf die linke Spitze der Horizontmarke bewirkt man im vertikalen Sinne durch die Trieb-schraube des Objektivschlittens. Man dreht nun den Phototheodolit um seine vertikale Umdrehungsachse, bis das Bild des Objektes an der rechten Horizontmarke erscheint; koinzidiert in dieser Position die Spitze der rechten Horizontmarke mit dem Bilde, so ist die Verbindungsgerade der Horizontmarken horizontal, andernfalls muß die Koinzidenz durch die unter der rechten Horizontmarke liegende Kamerastellschraube hergestellt werden.

Nach einigen Wiederholungen des Vorganges wird man die horizontale Lage der Horizontlinie konstatieren können und stellt sodann die Blase der mit der Ebene des Meßrahmens parallel liegenden Kreuzlibelle durch ihre Korrektionsschraube zwischen die Marken (auf den Spielpunkt) ein.

Es ist klar, daß in der Folge dem Einspielen der durch die Kamerafußschrauben eingestellten Blasen der Kamerakreuzlibellen die vertikale Stellung der Ebene des Meßrahmens und die horizontale Lage der Horizontlinie entsprechen werden, solange an der Korrektion der Kamerakreuzlibellen und an der Verbindung der Libellenplatte mit der Kamera keine Veränderungen vor sich gegangen sind.

Ad *γ*) Ob die Bilddistanz mit der Horizontallinie sich in einer Ebene befindet, zeigt die Untersuchung *δ*), und ob die Bilddistanz durch den Schnittpunkt der Horizontal- und Vertikallinie, den Hauptpunkt, hindurchgeht, zeigt sich bei der Bestimmung der Bildweite *f*, wobei durch die Größe *x*₀ die Lage des Hauptpunktes in der Horizontallinie vom Schnittpunkte der Horizontal- und Vertikallinie im Photogramme fixiert wird (II. Band, Nr. 329).

Ad *δ*) Um nun zu untersuchen, ob bei der Normalstellung des Objektivs auf 70·00 *mm* und bei Einstellung der Blasen der Alhidaden- und Kamerakreuzlibellen die Visierebene des Horizontalfadens des Okulares eine horizontale Lage hat, wird der Phototheodolit wie ein Nivellierinstrument mit fixem Fernrohre untersucht, wobei die in der Richtung der optischen Achse des Objektivs gelegene Libelle der Kamerakreuzlibellen als Nivellierlibelle betrachtet wird. Die Rektifikation erfolgt nach Band II, Nr. 23 u. f., aus zwei Standpunkten. Der sich ergebende Fehler

$$x = \frac{L_1 + L_2}{2} - \frac{J_1 + J_2}{2}$$

wird durch Verstellung des Objektivschlittens beseitigt und entweder die von 70·00 mm etwas abweichende Lesung als Normalstellung des Objektivs notiert oder nach Lüftung der zwei Schraubchen, welche den Nonius fixieren, dieser selbst um so viel im vertikalen Sinne verschoben, daß sein Nullstrich mit 70 der Teilung genau koinzidiert, in welchem Falle dann 70·00 mm als Normalstellung des Objektivs gilt.

Ad ε) Man hängt die Visierscheibe ein und bringt durch die entsprechenden Haken die matte Fläche des Glases in Kontakt mit der Ebene des Meßrahmens. In der Glasfläche sind vier Löcher angebracht, welche gestatten, bei eingehängter Visierscheibe in der unter ζ) angegebenen Weise über die Horizont- und Vertikalmarken Visuren mit Hilfe der Lupe als Okular vorzunehmen.

Man bringt wie unter β) das Bild eines entfernten Objektes durch Verstellung des Objektivschlittens zur Koinzidenz mit den Horizontmarken und dreht das Instrument um seine Vertikalachse, bis man im Okulare der Visierscheibe das Bild desselben Objektes erhält; liegt dasselbe genau am Horizontalfaden des Okulares, so fällt derselbe mit den Horizontmarken zusammen, liegt der Horizontalfaden jedoch höher oder tiefer, so muß die Visierscheibe um den ganzen Betrag der Abweichung gesenkt oder gehoben werden. Dies geschieht durch entsprechende Verstellung zweier Korrektionschrauben der Visierscheibe. Soll also der Faden abwärtsgehen, so sind beide Schrauben zu lüften, im andern Falle beide Schrauben anzuziehen. Man wird nach einigen Versuchen zu dem Resultate gelangen, daß der Horizontalfaden und die Verbindungsgerade der Horizontmarken zusammenfallen.

Die Prüfung, ob der Vertikalfaden und die Verbindungslinie der Vertikalmarken koinzidieren, erfolgt in nachstehender Weise etwas abweichend von dem vorstehend geschilderten Vorgange, indem man nicht wie früher die Einstellung der Bilder im vertikalen Sinne an den Spitzen der Vertikallinienmarken, sondern durch feine Bewegung im Horizonte am inneren Rande des Meßrahmens unmittelbar unter oder über der linken Horizontmarke bewerkstelligt. Nach Ablesung am Horizontalkreise bringt man durch Drehung und feine Einstellung im Horizonte das Bild des Objektes zur Koinzidenz mit der inneren Rahmenkante über oder unter der rechten Horizontmarke und liest den Stand des Nonius am Horizontalkreise wieder ab. Stellt man nun den Nonius des Kreises auf das Mittel beider Ablesungen, so muß der Vertikalfaden des Okulares das zur Pointierung verwendete Objekt schneiden, wenn derselbe mit der Verbindungsgeraden der Vertikallinienmarken zusammenfällt. Eine sich zeigende Abweichung ist durch Verschiebung des Okulares zu erreichen.

Es ist zu empfehlen, nach geschehener Richtigstellung nochmals nachzusehen, ob durch die letztgedachte Verstellung der Schrauben der Visierscheibe die zuerst durchgeführte Korrektion (Zusammenfallen der Verbindungslinie der Horizontmarken mit dem Horizontalfaden des Okulares) nicht eine kleine Störung erlitten hat, um nötigenfalls die erforderliche Korrektur vorzunehmen. Ferner ist die Untersuchung δ) zu wiederholen.

Ad ζ) Diese Eigenschaft bleibt dem Instrumente lange bewahrt und kann gegebenen Falles nur vom Mechaniker richtiggestellt werden, weshalb wir sie übergehen.

Ad η) Auch für die Justierung dieses Punktes, die sich unschwer prüfen läßt, wurde keine Korrektionsvorrichtung angebracht, da man mit Grund annehmen kann, daß die einmal erfolgte Richtigstellung keiner nennenswerten Änderung unterworfen sein dürfte.

Vorstehend wurde die Rektifikation mit den einfachsten Hilfsmitteln ohne Benützung eines anderen Instrumentes behandelt; hat man ein rektifiziertes Nivellierinstrument zur Verfügung, so vereinfachen sich die Untersuchungen α) und β) sowie δ) wesentlich.

327. Universal-Phototheodolit nach Professor Dr. A. Schell. Das in den vorhergehenden Nummern geschilderte photogrammetrische Instrument läßt nur eine Verwendung bei vertikaler Lage der Bildebene zu. Nun kommt es vor, daß für hochgelegene Terrainpartien bei tiefen Standpunkten oder für tiefgelegenes Gelände bei Benützung hoher Standpunkte die Verschiebung des

Objektives im vertikalen Sinne nicht ausreicht und das Bild nicht auf die Visierscheibe zu bringen ist. Bei Architekturaufnahmen, wenn die Standpunkte nahe dem hohen Objekte sich befinden, ferner in der Meteorologie bei Wolkenaufnahmen u. s. w. wird es notwendig, die Bildebene zu neigen und in dieser Lage die photogrammetrische Aufnahme zu bewerkstelligen.

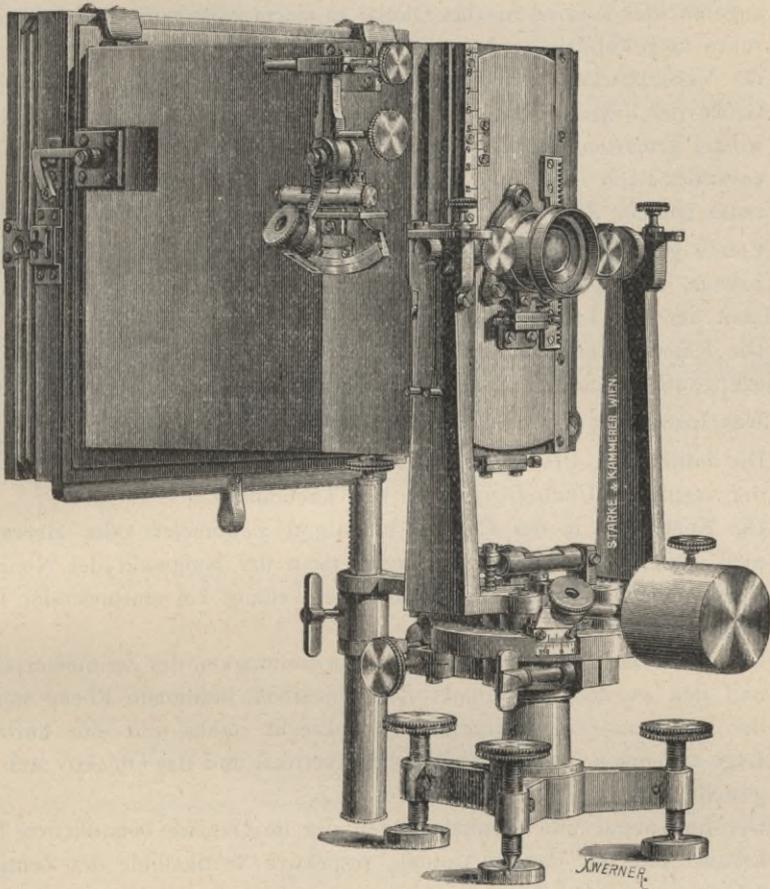


Fig. 275.

($\frac{1}{4}$ der natürlichen Größe.)

Als Vertreter der Instrumente, welche auch bei geneigter Lage der Bildebene photogrammetrische Aufnahmen auszuführen gestatten, führen wir in Fig. 275 Professor Schells Universal-Phototheodolit vor, ausgeführt im mathematisch-mechanischen Institute von Starke & Kammerer in Wien.

Die wesentlichsten Merkmale, welche dieses Instrument von andern derselben Art unterscheiden, sind:

1. die zentrische Lage des ersten Hauptpunktes des photographischen Objectives der Kamera über der vertikalen Umdrehungsachse des Instrumentes, beziehungsweise dem Mittelpunkte des Horizontalkreises, wodurch

sowohl die Horizontal- als Vertikalwinkel der Bilddistanz als auch die Elemente jedes Bild-, beziehungsweise Raumpunktes auf diesen Punkt, welcher genau über der Station, also zentrisch liegt, bezogen werden;

2. die Ausnützung des photographischen Objectives der Kamera als Fernrohr-objectiv, da das Instrument durch ein in der Visierscheibe entsprechend angebrachtes Ramsdensches Okular zu einem kompletten zentrischen Fernrohre umgewandelt wird;
3. die Verstellbarkeit des Objectives in vertikaler Richtung, wobei aus der Größe der Verschiebung und der bekannten Bilddistanz indirekt Vertikalwinkel gemessen und der Horizont der photographischen Bilder beliebig entweder nach oben oder unten verstellt und so (ein gewünschter) Spielraum bei der Aufnahme erzielt wird.

Ferner gewahrt man auf der Kamera einen beweglichen Vertikalbogen mit einer Libelle, welche Einrichtung die Bestimmung der Neigung der Bilddistanz und damit der Bildebene ermöglicht.

Die Kamera findet an einem verstellbaren Triebe die nötige Stütze und ein Gegengewicht beseitigt den beim Überhängen einseitig wirkenden Druck.

Das Instrument hat nachstehende Eigenschaften zu erfüllen:

1. Die horizontale Umdrehungsachse der Kamera muß senkrecht stehen auf der vertikalen Umdrehungsachse des Theodolites.
2. Die Ebene des in der Kamera befestigten Zentimeter- oder Meßrahmens muß eine vertikale Lage annehmen, wenn der Nullpunkt des Nonius am Vertikalbogen mit dem Nullpunkte der Teilung bei einspielender Libelle zusammenfällt.
3. Die durch die Verbindungslinie der Horizontmarken des Zentimeterrahmens und den zweiten Hauptpunkt des Objectives bestimmte Ebene muß auf der Bildebene (Zentimeterrahmen) senkrecht stehen und eine horizontale Lage annehmen, sobald die Bildebene vertikal und das Objectiv auf 70·00 gestellt ist.
4. Der horizontale und vertikale Faden des im Okulare befindlichen Fadekreuzes soll mit der Horizontal-, respektive Vertikallinie des Zentimeterrahmens zusammenfallen.
5. Die optische Achse der Kamera soll auf der horizontalen Umdrehungsachse derselben senkrecht stehen.

Obwohl die Rektifikation äußerst einfach vorgenommen werden kann, können wir aus Rummangel nicht auf dieselbe eingehen und verweisen diesbezüglich auf Professor Schells Originalmitteilung in Dr. Eders: Ausführliches Handbuch der Photographie 1892, Band I.

Doležal: Die Anwendung der Photographie in der praktischen Meßkunst, Halle a. S. 1896.

328. Indirekte Messung von Vertikalwinkeln und Höhenunterschieden mit dem Phototheodolite. Mit dem in Fig. 274 dargestellten Phototheodolite

von Starke können direkt nur Horizontalwinkel gemessen werden, die einerseits zur trigonometrischen Festlegung der Station und andererseits zur Orientierung der Bildebene notwendig sind; falls die Höhenkote des Standpunktes nicht bekannt ist, so muß dieselbe bestimmt werden. Da das Instrument weder einen Vertikalkreis noch einen Sektor zum Messen von Vertikalwinkeln besitzt, also die Höhe in üblicher Weise auf trigonometrischem Wege nicht ermittelt werden kann, so wird die meßbare Verschiebung des Objektivs ausgenützt.

Durch Verdrehung des Okulares und Hebung des Objektivs wird es möglich, das Bild von P auf den Horizontalfaden des Okulares zu bringen (Fig. 276); die Größe der Verschiebung v kann man am Nonius ablesen. Wie der Vertikalwinkel und der Höhenunterschied ermittelt wird, soll nachfolgend gezeigt werden.

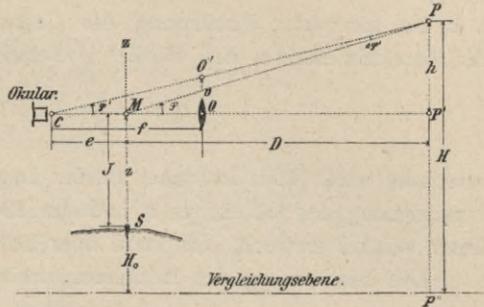


Fig. 276.

Durch Verdrehung des Okulares und Hebung des Objektivs wird es möglich, das Bild von P auf den Horizontalfaden des Okulares zu bringen (Fig. 276); die Größe der Verschiebung v kann man am Nonius ablesen. Wie der Vertikalwinkel und der Höhenunterschied ermittelt wird, soll nachfolgend gezeigt werden.

Bezeichnet man die Vertikalwinkel

$$PMP' = \varphi, PCP' = \varphi' \text{ und } CPM = \Delta \varphi', \text{ ferner}$$

$$\overline{CO} = f, \overline{CM} = e, \overline{MP'} = D \text{ und } \overline{PP'} = h,$$

so besteht in dem Dreiecke CPM die Beziehung:

$$\varphi = \varphi' + \Delta \varphi' \dots \dots \dots 1)$$

Da nun

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi &= \operatorname{tg}(\varphi' + \Delta \varphi') = \operatorname{tg} \varphi' + \frac{\Delta \varphi'}{\cos^2 \varphi'} = \frac{h}{D} \\ \operatorname{tg} \varphi' &= \frac{v}{f} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 2)$$

ist und aus den ähnlichen Dreiecken $PP'C$ und $O'OC$ folgt:

$$\left. \begin{aligned} \frac{h}{D+e} &= \frac{v}{f} \\ \frac{h}{D} &= \frac{v}{f} + \frac{ve}{fD} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 3)$$

oder

so ergibt sich nach Gleichsetzung der Gleichungen 2) und 3) die Relation:

$$\frac{[\Delta \varphi']}{\cos^2 \varphi'} = \frac{v}{f} \quad \frac{e}{D} = \frac{e}{D} \operatorname{tg} \varphi' \dots \dots \dots 4)$$

Setzt man:

$$\left. \begin{aligned} e &= 0.1 \text{ m} \\ v_{\max} &= 70 \text{ mm} \\ f &= 212 \text{ mm} \end{aligned} \right\} \frac{v_{\max} e}{f} = 0.033 \text{ m},$$

so folgt:

$$\operatorname{tg} \varphi'_{\max} = \frac{v_{\max}}{f} = \frac{70 \text{ mm}}{212 \text{ mm}} = 0.33 \text{ oder } \varphi'_{\max} = 18^\circ 16';$$

beträgt der geduldete Fehler im Vertikalwinkel $\Delta \varphi' = 1'$, so rechnet sich aus Gleichung 4)

$$D = \frac{v e \cos^2 \varphi'}{f \Delta \varphi'} = 0.033 \cdot \frac{3438'}{1'} \cdot 0.9496^2 = 103 \text{ m,}$$

d. h. bei minimaler Entfernung des Gegenstandes von 103 m kann man statt des Vertikalwinkels φ den Winkel φ' setzen, der einfach aus der Formel

$$\text{tg } \varphi' = \frac{v}{f} \dots \dots \dots \text{I)}$$

berechnet wird. Man ist daher in der Lage, Vertikalwinkel aus der meßbaren Verschiebung des Objektivs v und der Brennweite f zu ermitteln; die Größe dieser Winkel erstreckt sich rund über 18° Elevation und Depression.

Die Bestimmung des Höhenunterschiedes h ergibt sich aus Gleichung 3):

$$h = \frac{v(D + e)}{f} = \frac{v}{f} D + \frac{v}{f} e \dots \dots \dots \text{5)}$$

Der Einfluß des zweiten Gliedes $\frac{v}{f} e$ ist gering; sein größter Wert beträgt nach Beibehaltung der obigen Werte für v, f und e :

$$\frac{v_{max}}{f} e = 0.033 \text{ m}$$

und kann vernachlässigt werden, so daß für die Höhe des Raumpunktes über dem Instrumenthorizonte erhalten wird:

$$h = \frac{v}{f} D \dots \dots \dots \text{II)}$$

Denken wir uns D und f als fehlerfrei und v mit einer Unsicherheit Δv behaftet, so ist der Fehler in der Höhe:

$$\Delta h = \frac{D}{f} \Delta v, \dots \dots \dots \text{6)}$$

woraus für

$$\left. \begin{aligned} f &= 212 \text{ mm} \\ \Delta v &= \pm 0.025 \text{ mm} \end{aligned} \right\} \Delta h = \pm 0.000 118 D,$$

also für

$$D = 1000 \text{ m} \quad \Delta h = \pm 0.12 \text{ m,}$$

erhalten wird.

329. Bestimmung der Bildweite und der Lage des Hauptpunktes der Photographie. Die Prüfung und Berichtigung des photogrammetrischen Apparates verschafft uns die Kenntnis der gegenseitigen Lage der perspektivischen Konstanten; nun wird aber auch eine perspektivische Konstante ihrer Länge nach verlangt, weil diese Linie sozusagen die Basis des Apparates bildet; es ist dies die Bildweite, deren genaue Kenntnis von allergrößter Wichtigkeit ist und somit eine scharfe Methode für ihre Bestimmung erfordert.

Es gibt viele Methoden der Bildweitenbestimmung, doch zeichnet sich das nachfolgende Verfahren von Professor A. Schell durch besondere Einfachheit

aus und bietet, da bequem überschüssige Bestimmungsgleichungen aufgestellt werden können, auch einen hohen Grad von Genauigkeit.

Die Methode von Professor Schell ist noch deshalb von großem Vorteile, weil sie neben der Bildweite auch über die Lage des Hauptpunktes Ω der Perspektive Aufschluß gibt.

Es werden in der Station C die Horizontalwinkel $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, bezogen auf die Visur CP_0 mit einem Theodolite (Mikroskoptheodolite) scharf gemessen; hierauf wird die photographische Aufnahme gemacht und auf dem Negative oder Positive, am besten auf dem ungetonten Papierbilde, die Abstände d_1, d_2, \dots, d_n der Bilder p_1, p_2, \dots, p_n von p_0 in der Richtung der x -Achse, das ist des Horizontes gemessen (Fig. 277).

Führen wir s und φ als Rechnungsgrößen ein, so folgt aus dem rechtwinkligen Dreiecke $CP_0\Omega$:

$$\left. \begin{aligned} C\Omega = f &= s \sin \varphi \\ p_0\Omega = x_0 &= s \cos \varphi \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 7)$$

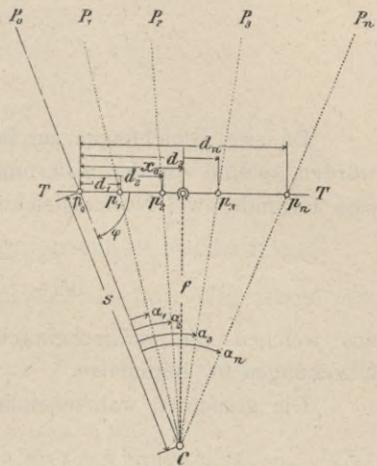


Fig. 277.

welche Ausdrücke die Bildweite f und x_0 für die Lage des Hauptpunktes bestimmen

Aus dem Dreiecke CP_0p_n ergibt sich nach dem Sinussatze:

$$\left. \begin{aligned} d_n : s &= \sin \alpha_n : \sin (\varphi + \alpha_n) \\ d_n \sin (\varphi + \alpha_n) &= s \sin \alpha_n \\ d_n \sin \varphi \cos \alpha_n + d_n \cos \varphi \sin \alpha_n &= s \sin \alpha_n; \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 8)$$

wird durch $\sin \varphi \sin \alpha_n$ dividiert, so wird erhalten:

$$\frac{s}{\sin \varphi} - d_n \cotg \varphi = d_n \cotg \alpha_n \dots \dots \dots 9)$$

Führt man als neue Unbekannte

$$\left. \begin{aligned} \frac{s}{\sin \varphi} &= x \\ \cotg \varphi &= y \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 10)$$

ein, so nimmt die Gleichung 9) die Form an:

$$x - d_n y = d_n \cotg \alpha_n \dots \dots \dots 11)$$

Nach dieser Gleichung erhält man:

$$\left. \begin{array}{l} \text{für den Punkt } p_1 \quad x - d_1 y = d_1 \cotg \alpha_1 \\ \text{'' '' '' } p_2 \quad x - d_2 y = d_2 \cotg \alpha_2 \\ \cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \\ \cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \\ \text{'' '' '' } p_n \quad x - d_n y = d_n \cotg \alpha_n \end{array} \right\} \dots \dots \dots 12)$$

Da zwei Gleichungen zur Bestimmung der Unbekannten x und y genügen würden, so sind von den n Bestimmungsgleichungen $(n-2)$ überschüssig, weshalb sich folgende zwei Normalgleichungen ergeben:

$$\left. \begin{array}{l} n \cdot x - [d]y = [d \cotg \alpha] \\ [d]x - [dd]y = [dd \cotg \alpha] \end{array} \right\} \dots \dots \dots 13)$$

aus welchen die wahrscheinlichsten Werte von x und y sich nach den Gleichungen 10) bestimmen.

Die gesuchten wahrscheinlichsten Werte für f und x_0 sind dann:

$$\left. \begin{array}{l} f = s \sin \varphi = x \sin^2 \varphi \\ x_0 = s \cos \varphi = x \sin \varphi \cos \varphi = \frac{1}{2} x \sin 2 \varphi \end{array} \right\} \dots \dots \dots \text{III)}$$

Beispiel: Gelegentlich der Vermessungsübungen der Hörer an der k. k. montanistischen Hochschule in Leoben zu St. Peter-Freienstein im Studienjahre 1899/1900 wurde zum Zwecke der Bildweitenbestimmung des Phototheodolites der Lehrkanzel für Geodäsie und Markscheidekunde von einem Standpunkte P des triangulierten Netzes eine photographische Aufnahme gemacht, auf welcher die Punkte P_0, P_1, P_2, P_3 und P_4 abgebildet worden sind; die Horizontalwinkel $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$, auf die Richtung PP_0 bezogen, sind mit einem Mikroskoptheodolite und auf einem ungetonten Papierpositive die Abstände d_1, d_2, d_3, d_4 mit aller Schärfe gemessen worden.

Nachstehend ist die tabellarische Berechnung zusammengestellt.

Punkt	α	d	a	$\frac{-d}{b}$	$\frac{d \cotg \alpha}{o}$	aa	ab	ao	bb	bo	oo
	0 00 00	mm									
P_0	0 00 00	0·00									
P_1	12 17 35	53·09	1	— 53·09	243·63	1	— 53·09	243·63	2.818	— 12.935	59.357
P_2	22 15 44	91·45	1	— 91·45	223·40	1	— 91·45	223·40	8.363	— 20.429	49.905
P_3	42 43 03	169·18	1	— 169·18	183·23	1	— 169·18	183·23	28.622	— 30.999	33.572
P_4	50 00 42	199·52	1	— 199·52	167·34	1	— 199·52	167·34	39.808	— 33.388	28.003
						4	— 513·24	+817·60	79.611	— 97.751	170.837

Die Normalgleichungen für die neuen Variablen sind:

$$\left. \begin{aligned} 4x - 513.24y &= + 817.60 \\ + 513.24x - 79.611y &= + 97.751 \end{aligned} \right\}$$

aus welchen sich ergibt:

$$\left. \begin{aligned} x &= 271.13 \text{ mm} = \frac{s}{\sin \varphi} \\ y &= 0.52010 = \cotg \varphi \end{aligned} \right\}$$

Mit Rücksicht auf die Gleichung III) ist demnach:

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= 110.99 \text{ mm} \\ f &= 213.41 \text{ mm.} \end{aligned} \right\}$$

§ 34. Ausführung einer photogrammetrischen Aufnahme.

Hat man eine Terrainpartie auf photogrammetrischem Weg festzulegen, so sind folgende Arbeiten durchzuführen:

- Feldarbeiten: 1. eine gute Rekognoszierung zum Zwecke der Bestimmung von photogrammetrischen Standpunkten,
2. die eigentliche photogrammetrische Aufnahme.
- Hausarbeiten: 3. Technische Ausführung der photographischen Aufnahme, Herstellung der photographischen Bilder,
4. die Rekonstruktion und
5. die zeichnerische Ausführung der Aufnahme.

Die Feldarbeiten.

330. Die Rekognoszierung bildet wie bei vielen geodätischen Arbeiten auch hier ein sehr wichtiges Geschäft. Das aufzunehmende Terrain muß genau besichtigt und jene Punkte ausfindig gemacht werden, von welchen die Terrainpartie so eingesehen werden kann, daß aus je zwei Bildern eine große Anzahl von korrespondierenden oder identen Punkten aufgesucht werden und die Bestimmung der Situation womöglich unter günstigen Schnitten erfolgen kann. Auf die Auswahl der photogrammetrischen Standpunkte oder Stationen ist wohl die größte Sorgfalt zu verwenden, weil von ihrer günstigen Lage die Güte der photogrammetrischen Punktbestimmung in erster Linie abhängt.

Sollten von zwei Standpunkten nicht alle erwünschten Punkte eingesehen werden, so wird es notwendig, eine dritte Station auszusuchen, von der aus die fehlenden Punkte ermittelt werden können. Diese Station wird auch Mittel zur Kontrolle bieten, weil viele Punkte von sämtlichen drei Standpunkten aus gesehen werden, daher in der Situation ein Kontrollschnitt erhalten wird und auch die Höhe mehrfach überprüft werden kann.

331. Die eigentliche photogrammetrische Aufnahme umfaßt:

- a) die Festlegung der Stationen und
- b) die Ausführung der photographischen Aufnahme selbst.

Die Festlegung der Stationen muß sowohl in Situation als Höhe mit aller Strenge ausgeführt werden. Schließt sich die Aufnahme an eine vorhergegangene geodätische Arbeit an, so werden die Stationen nach der Methode der trigonometrischen Punktbestimmung festgelegt und außerdem auch noch die Höhen trigonometrisch oder nivellitisch bestimmt.

Erfolgt die photogrammetrische Aufnahme unabhängig von geodätischen Arbeiten, also selbständig, so wird es notwendig, den Horizontalabstand beider Stationen direkt mit Meßplatten oder dem Stahlmeßbände oder indirekt und auch ihren Höhenunterschied in geeigneter Weise zu bestimmen.

Die photogrammetrische Aufnahme wird mit dem photogrammetrischen Instrumente ausgeführt. Das Instrument wird mit seiner vertikalen Umdrehungsachse vertikal über der Station aufgestellt, der Limbus horizontalisiert, der Orientierungswinkel ω gemessen und durch Drehung der Kamera das Instrument so gestellt, daß das aufzunehmende Objekt auf die gewünschte Stelle der Visierscheibe, respektive Platte zu liegen kommt, wobei auch eine eventuelle Verschiebung des Objectives im vertikalen Sinne notwendig wird. Hierauf wird die Kassette eingelegt und bei Einhaltung aller Vorsichten die Exposition bewirkt. Hiebei ist es notwendig, ein genaues Protokoll zu führen.

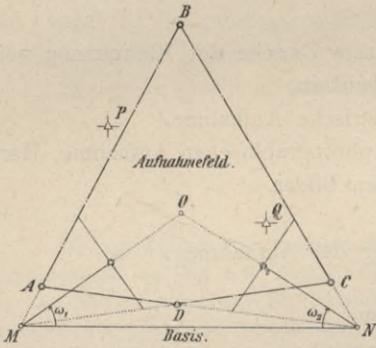


Fig. 278.

Hat man z. B. in einem Netze triangulierter Punkte P, Q, M, N, \dots (Fig. 278) von den Punkten M und N die photogrammetrische Aufnahme ausgeführt, so bestimmen

die Aufnahmefelder beider Stationen in dem Grundrißvierecke $ABCD$ jene Terrainpartie, in welcher korrespondierende Punkte liegen und bestimmt werden können.

Photogrammetrisches Aufnahmeprotokoll.

Instrument :

Ort und Datum :

Beobachter N. N.

Station		Orientierung		Horizontal- kreis	Objektiv- stand	Photogr. Daten			Anmerkung
Name	Höhe	J	anvisierter Punkt			Bleenden- öffnung	Kassette	Exposi- tions- zeit	
	<i>m</i>	<i>m</i>		<i>o</i>	<i>l</i>	<i>mm</i>			
<i>G</i>	552·69	1·32	<i>H</i> Aufnahme	87 16 340 00	83·25 70·00	kleinste Blende	1	2	Sonnenschein, klare Luft.
<i>H</i>	580·80	1·25	<i>G</i> Aufnahme	334 19 19 08	59·275 60·00	kleinste Blende	2	2	

Die Hausarbeiten.

332. Die technische Ausführung der Aufnahme umfaßt die Entwicklung der Platten, das Kopieren und Adjustieren der Papierpositive entweder auf aufgespanntem Zeichenpapiere oder auf Kartonpapier.

Die Kopien sollen auf einem Papiere ausgeführt sein, auf welchem alles Detail in erwünschter Schärfe wiedergegeben wird.

333. Die Rekonstruktion der Aufnahme umfaßt eine Reihe von Arbeiten:

- a) die Ausmessung der Papierpositive, um den Papiereingang konstatieren und später in Rechnung bringen zu können,
- b) die Herstellung des Rekonstruktionsgerippes,
- c) das Identifizieren der Punkte auf den zusammengehörigen Photographien und Bezeichnen derselben,
- d) das Ausmessen der Bildkoordinaten und
- e) die Bestimmung der Situation und Höhe der identifizierten Punkte mit den notwendigen Kontrollen.

Der Papiereingang wird konstatiert, wenn auf dem Positive bekannte Längen, z. B. die bekannten Abstände der Marken des Zentimeterrahmens, scharf gemessen und mit den wahren Längen verglichen werden. Ein Einschrumpfen des positiven Bildes entspricht einer Verkleinerung der Bilddistanz, welche sich dann rechnerisch bestimmen läßt.

Das Rekonstruktionsgerippe wird auf Grund des Protokolles angelegt; es sind z. B. für einen speziellen Fall hiezu folgende Daten notwendig:

$$\left. \begin{aligned} b &= 502.14 \text{ m}, & \omega_1 &= 107^\circ 16' \\ f &= 213.14 \text{ mm}, & \omega_2 &= 44^\circ 49' \end{aligned} \right\}$$

welche nach dem obigen Protokolle zusammengestellt sind. Das Auftragen dieser Größen erfolgt mit dem Auftragapparate und einem guten Transporteur.

Das Identifizieren der Punkte muß sehr sorgfältig ausgeführt werden. Man legt zwei oder mehrere zusammengehörige Photogramme nebeneinander und geht von einem markanten Punkte aus, der sich sicher auf den Photogrammen finden läßt (Baum, Felsvorsprung u. s. w.), und kann um diesen als Orientierungspunkt leicht idente Punkte finden, pikieren und bezeichnen (einringeln und numerieren). Indem man weitere Orientierungspunkte benützt, lassen sich gewöhnlich meist hinlänglich viele korrespondierende Punkte nach sorgfältiger Vergleichung der Umgebung finden.

Das Ausmessen der Bildkoordinaten wird am besten für mehrere Punkte auf einmal vorgenommen und die Messungsdaten in einem Protokolle eingetragen; die Ausmessung kann scharf mit einem Auftragapparate auf dem Negative oder dem Positive erfolgen; bequemer ist die Arbeit auf gespanntem oder kaschiertem Positive. Für Terrainaufnahmen genügt es, mit einem Prismaßstabe und einem Dreiecke die Ausmessung zu machen.

Punkt	Bildkoordinaten der Station				Station			
	M		N		M			
	x	y	x	y	d ₁	D ₁	h ₁	H'
	mm	mm	mm	mm	mm	m	m	m
1	+ 48·5	+ 19·6	- 15·3	+ 4·2	217·2	462·5	+ 41·7	595·7
2	- 29·6	+ 10·0	- 59·5	- 2·4	213·6	415·6	+ 19·4	573·4
3	- 16·2	+ 31·2	- 37·1	+ 12·4	212·0	517·0	+ 76·2	630·2

Die numerische Bestimmung der Bildkoordinaten wird nicht vorgenommen, wenn diese mit einem Stechzirkel aus dem Bilde entnommen und unmittelbar zur Konstruktion verwendet werden.

Die Bestimmung der Situation und der Höhe. Die Situation des Punktes 1 z. B. wird erhalten, wenn auf der Bildtrasse der Station M die Abszisse $x = 48·5$ in entsprechendem Sinne, also nach rechts vom Hauptpunkte aufgetragen wird (p'_1); ebenso in der Station N $15·3$ mm, jedoch hier nach links (p'_2); diese Punkte, mit S_1 und S_2 verbunden, geben im Schnitte die Situation P' . Nun werden die Strecken $S_1 P' = D_1$, $S_1 p'_1 = d_1$ und $S_2 P' = D_2$ und $S_2 p'_2 = d_2$ ausgemessen und in das vorstehende Manuale eingetragen; hierauf kann entweder mittels des Rechenschiebers die relative Höhe über der betreffenden Station nach der Gleichung $h = y \frac{D}{d}$ bestimmt werden, oder aber man benützt ein Diagramm hiezu.

$$\begin{aligned} \text{Nun kann man} \quad H' &= H_1 + J_1 + h_1 \\ H'' &= H_2 + J_2 + h_2 \end{aligned}$$

rechnen und die Höhenkontrolle ausführen. Diese zeigt uns unmittelbar, ob die in den Photogrammen ausgemessenen Punkte in der Tat ident sind oder nicht, und führt uns darauf, eventuelle Messungsfehler aufzudecken.

Die Höhenkontrolle wird natürlich in theoretischer Strenge nicht erfüllt; bei guter Arbeit und nicht zu großer Entfernung werden die Differenzen um 2 bis 3 dm variieren und sollen 0·5 m nicht übersteigen.

Wurden die Koordinaten nicht in der angegebenen Weise ausgemessen und im Manuale zusammengestellt, sondern aus den Photogrammen mit dem Stechzirkel entnommen, so ist der Vorgang fast derselbe. Selbst wenn das Diagramm zur Höhenbestimmung benützt wird, empfiehlt es sich stets der nötigen Übersicht wegen, die relativen Höhen und H' und H'' zum Zwecke der Höhenkontrolle zusammenzustellen.

334. Die zeichnerische Ausführung der Aufnahme kann vorgenommen werden, wenn eine entsprechende Anzahl von Punkten des photogrammetrisch aufgenommenen Gebietes in der Situation und Höhe festgelegt vorliegt, wonach die Parzellengrenzen, Kommunikationen, Gebäude u. s. w. an der Hand der Photogramme in den Plan eingezeichnet werden.

Da nun eine kotierte Projektion vorliegt, so kann die Konstruktion der Schichtenlinien vorgenommen und der Plan vollständig ausgefertigt werden.

Station				Höhenkontrolle	Höhe des Punktes	Anmerkung
N		M				
d ₂	D ₂	h ₂	H''			
mm	m	m	m	m	m	
212·4	707·3	+ 14·0	596·0	+ 0·3	595·8	$f = 211·9$ mm.
219·6	775·8	- 8·5	573·5	+ 0·1	573·4	Instrumenthorizonte:
214·8	843·0	+ 48·6	630·6	+ 0·4	630·4	$H_1 + J_1 = 554·0$ m, $H_2 + J_2 = 582·0$ m.

§ 35. Phototopographie.

335. Die Phototopographie beschäftigt sich mit der photogrammetrischen Festlegung von Terrainobjekten, welche für die kartographische Darstellung verwendet werden; hiezu eignet sich in erster Linie das Hochgebirge mit seinen scharf markierten Formen, den unzugänglichen Felswänden, den ausgedehnten Schutthalden sowie Gletschergebieten u. s. w.

Die Erfahrungen, welche im k. u. k. Militärgeographischen Institute zu Wien sowie bei den Militäraufnahmen in Italien gemacht worden sind, lehren, daß das photogrammetrische Verfahren dann Vorteile bietet, wenn Standpunkte gefunden werden können, die eine weite Fernsicht gewähren, wenn das vorliegende Terrain eine zur Festlegung seiner Formen genügende Anzahl in den Bildern des nächsten Standpunktes wieder sicher erkennbarer Punkte aufweist und eine klare Atmosphäre die photographische Aufnahme auf weite Entfernungen möglich macht.

Die Photogrammetrie bildet einen ergänzenden Teil der Mappierung; sie liefert in Verbindung mit den sonstigen Vermessungsmethoden ein geschlossenes Ganzes und ermöglicht eine richtige, auf tatsächlichen Messungen basierende Wiedergabe des schwer oder gar nicht zugänglichen Fels- und Gletschergebietes.

Die Photogramme bilden für den Mappeden eine ganz vorzügliche Stütze beim Auszeichnen der Terrainformen, weil er stets unter dem das Gedächtnis vortrefflich unterstützenden Eindrucke der photographischen Bilder steht und die Detailformen bequem studieren kann.

Im k. u. k. Militärgeographischen Institute zu Wien ist die Phototopographie hoch ausgebildet, österreichische phototopographische Arbeiten gehören zu den Musterarbeiten auf diesem Gebiete, auf dem sich der k. u. k. General Baron Hübl ganz besondere Verdienste erworben hat.

Baron Hübl hat neben einem photogrammetrischen Apparate auch andere Behelfe für die Ausführung der Rekonstruktionsarbeiten angegeben.

336. Photogrammometer für Panoramenaufnahmen nach Hübl. Dieses Instrument wurde im mathematisch-mechanischen Institute der Gebrüder Rudolf & August Rost in Wien ausgeführt und ist in Fig. 279 abgebildet.

Er hat nachstehende Hauptbestandteile: die photographische Kamera, die Orientierungsvorrichtung und den Unterbau samt Stativ.

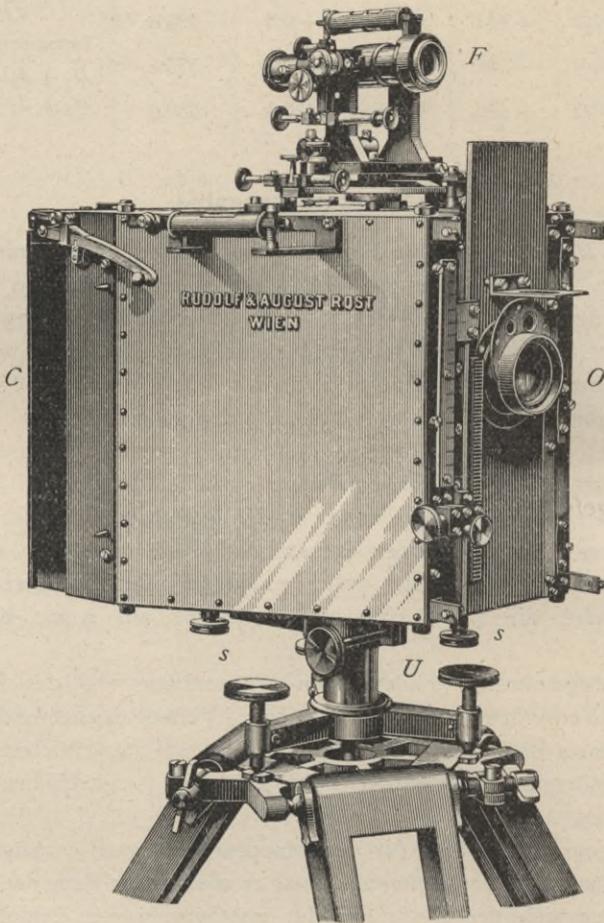


Fig. 279.

(Etwa $\frac{1}{4}$ der natürlichen Größe.)

Die photographische Kamera hat ein Metallgerippe, welches mit Aluminiumblech verkleidet ist. Das Objektiv ist ein Zeißscher Anastigmat mit der Brennweite 24 *cm* und einer Rotationsblende; es ist in vertikaler Richtung verschiebbar, wobei die Größe der Verschiebung bis auf 0.05 *mm* ermittelt wird.

und kann mit einem pneumatisch auslösbaren Momentverschlusse in Verbindung gebracht werden.

Dem Objektiv gegenüber befindet sich, auf der Kamera befestigt, ein Metallrahmen mit sichtbaren Marken für die Horizont- und Vertikallinie. An diesen Metallrahmen wird bei der Aufnahme die lichtempfindliche Schicht der Platte angepreßt. Das Plattenformat beträgt 18×24 cm.

Zur Richtigstellung des Horizontes und der optischen Achse des Objectives sind zwei Röhrenlibellen auf der oberen Begrenzungsebene der Kamera justierbar befestigt und außerdem ist eine Hängelibelle beigegeben, mittels welcher die direkte Prüfung der Horizontmarken des Rahmens vorgenommen werden kann.

Die Orientierungsvorrichtung ist auf die Kamera aufsetzbar; sie besteht aus einem Horizontalkreise, der mit den Strichmarken $A, B, \dots H$ versehen ist, und einem durchschlagbaren Fernrohre mit einer Doppellibelle; außerdem ist eine Achsenlibelle beigegeben und eine kleine Libelle parallel zur Fernrohrdrehachse auf der Alhidade angebracht, um die Achsenlibelle zu ersetzen.

Durch die Orientierungsvorrichtung und die erwähnte Hängelibelle wird es möglich, den ganzen Apparat von einem Standpunkte aus ohne Hilfsinstrumente in der kürzesten Zeit zu prüfen und zu berichtigen.

Der Unterbau U besitzt die gewöhnliche Einrichtung. Das Stativ ist solid gebaut und so eingerichtet, daß nach Entfernung der photogrammetrischen Kamera ein Winkelmeßinstrument, ein Theodolit, auf das Stativ aufgestellt werden kann. Die Stativfüße können von der Kopfplatte entfernt und als kräftige Bergstöcke zur Stütze benützt werden.

Die Orientierung der Platte ist einfach. Wird der Index der Alhidade der Orientierungsvorrichtung auf die Marke A des mit der Kamera fest verbundenen Kreises gebracht, so läuft bei einspielender Doppellibelle des Fernrohres die Visierlinie parallel zur optischen Achse des Objectives der Kamera und die Bildebene steht zu dieser Linie senkrecht. Wird nun bei fix stehendem Fernrohre, welches auf einen Fixpunkt eingestellt werden kann, der Alhidadenindex auf die Marke B gebracht, so hat man die optische Achse der Kamera um $\frac{360^\circ}{8} = 45^\circ$ im Horizonte gedreht, weil die Marken $A, B, \dots H$ um den achten Teil der Peripherie voneinander abstehen. Durch sukzessive Drehung der Kamera und Einstellung des Alhidadenindex auf die Buchstaben $C, \dots H$ wird eine volle Umdrehung im Kreise vollzogen und die Bildebene repräsentiert durch ihre aufeinander folgenden Lagen ein Panorama von acht Bildern.

Bei phototopographischen Aufnahmen werden gewöhnlich von photogrammetrischen Standpunkten Panoramenaufnahmen ausgeführt; damit man die aneinander stoßenden Bilder rascher erkennt, wird bei der Aufnahme vor die lichtempfindliche Platte eine Schablone mit einer Nummer vorgeschoben, die sich bei der Exposition abbildet.

Die Prüfung und Berichtigung des Instrumentes bietet keine Schwierigkeit, doch kann hier darauf wegen Raumangel nicht eingegangen werden.

337. Die Genauigkeit bei phototopographischen Aufnahmen hängt von den Fehlern ab, die man beim Abnehmen und Übertragen der Bildkoordinaten begeht; ferner ist auch die Größe des Schnittwinkels der beiden Rayons maßgebend.

Die Erfahrung zeigt, daß die Situation auf $\pm 7 m$ und die Höhenmessung bei wohldefinierten Punkten auf $\pm 2 m$, bei unsicheren Punkten mit $\pm 5 m$ genau angenommen werden kann.

338. Die Resultate der phototopographischen Aufnahmen des k. u. k. Militärgeographischen Institutes in Wien sind ganz hervorragende. Ein Vergleich der auf Grund der photogrammetrischen Aufnahmen ausgeführten Sektionsblätter der Tatra, des Mangart-Triglav-Gebietes und der Dolomiten mit den älteren Kartenwerken zeigt, welcher gewaltiger Unterschied in der Darstellung der Felsenpartien besteht und welche Bedeutung da der Photogrammetrie zufällt.

Auch in Italien hat Paganini für militärtopographische Aufnahmen schon frühzeitig, bereits in den Achtzigerjahren, die Photogrammetrie mit großem Erfolge verwertet und durch seine verdienstvollen Arbeiten andere Staaten auf die Bedeutung der Phototopographie aufmerksam gemacht.

§ 36. Stereophotogrammetrie.

339. Ein besonderer Fall der Photogrammetrie ist der, wenn die Orientierungswinkel in den beiden Stationen $\omega_1 = \omega_2 = 90^\circ$ gemacht werden, wodurch die beiden Bildebenen in eine und dieselbe Ebene zu liegen kommen (Fig. 280).

Dieser spezielle Fall der Photogrammetrie, bei dem durch die stereoskopische Wirkung der gewonnenen Photogramme eine ausgiebige Verwendung des Stereoskopes unschätzbare Vorteile bietet, wird als Stereophotogrammetrie bezeichnet.

In diesem Falle lassen sich die räumlichen Koordinaten X, Y, Z , wobei X und Y die Lage des Punktes in der Situation bestimmen und $Z = H$ die Höhenkote darstellt, einfach ermitteln.

Wenn x_1, y_1 die Bildkoordinaten des linken Bildes sind, x_2 die Abszisse des rechten Bildpunktes darstellt, ferner f die Bilddistanz des photogrammetrischen Apparates und b den Abstand der photogrammetrischen Stationen $C_1 C_2 = b$ bedeuten, so ergeben sich aus den ähnlichen Dreiecken:

$C_1 P' A \sim C_1 p_1 \Omega_1$, sowie $C_2 P' A \sim C_2 p_2 \Omega_2$ die Proportionen:

$$\left. \begin{aligned} X: Y &= x_1 : f. \\ (X - b): Y &= x_2 : f. \end{aligned} \right\}$$

oder

$$\left. \begin{aligned} fX - x_1 Y &= 0. \\ fX - x_2 Y &= bf. \end{aligned} \right\}$$

In Fig. 280 ist das Qualitätszeichen von x_1 und x_2 positiv; die algebraische Differenz der Abszissen, d. i.

$$x_1 - (+x_2) = p. \dots\dots\dots 3)$$

wird die stereoskopische Horizontalparallaxe oder kurz stereoskopische Parallaxe genannt, welche konsequent in vorstehender Weise angesetzt wird, so daß beide Abszissen mit dem ihnen zukommenden Qualitätszeichen einzuführen sind.

Die Gleichungen 1) und 2) gehen nach Berücksichtigung des Symboles für die Parallaxe über in:

$$\left. \begin{aligned} X &= \frac{b}{p} x_1 \\ Y &= \frac{b}{p} f \\ H = Z &= \frac{b}{p} y_1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 1)$$

wobei $Z=H$ die relative Höhe des Punktes P über dem Horizonte der Station C_1 darstellt.

Wenn die Bildkoordinaten des linken Bildes x_1, y_1 und die stereoskopische Parallaxe $p = x_1 - x_2$ bekannt sind, so können die Raumkoordinaten nach Gleichung 1) berechnet werden; die Bestimmung der Lage, der Situation und der Höhe des Raumpunktes läßt sich aber auch durch Konstruktion durchführen.

Man zeichnet sehr genau das Gerippe für die Rekonstruktion in Fig. 281; trägt von Ω_2 die stereoskopische Parallaxe $p = x_1 - x_2$ auf und verbindet diesen Punkt mit C_2 , so gibt er im Schnitte mit der verlängerten Bild-

distanz $C_1 \Omega_1$ den Punkt P'_0 . Die durch P'_0 gezogene Parallele EE zur Basis stellt jene Ebene dar, deren sämtliche Punkte dieselbe stereoskopische Parallaxe p haben; sie

ist somit der geometrische Ort für die Situation P' des Raumpunktes P ; diese selbst wird erhalten, wenn von Ω_1 die Abszisse x_1 auf der Bildtrasse aufgetragen und der erhaltene Punkt p_1 mit C_1 verbunden wird, wodurch sich im Schnitte dieser verlängerten Geraden mit EE die gesuchte Situation P' des Punktes ergibt.

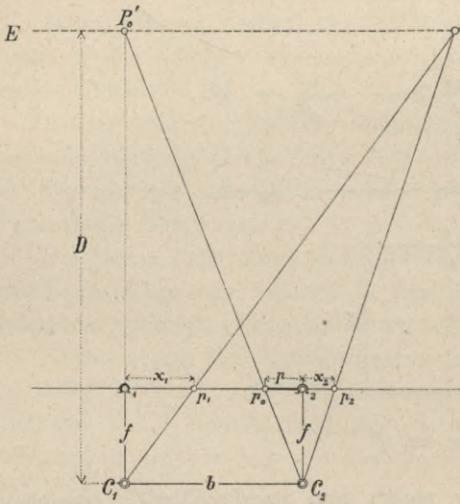


Fig. 281.

Nachdem die Situation des Raumpunktes bestimmt ist, so kann durch Verwertung der Ordinate des linken Bildpunktes y_1 und der Raumordinate Y die relative Höhe $H=Z$ einfach erhalten werden, indem man an der Hand des rechten Teiles der Fig. 280 die Dreiecke $C\Omega(p)$ und $CP'(P)$ mittels der Ordinate y_1 bestimmt; $P'(P)=H=Z$ gibt die gesuchte relative Höhe.

Die vorgeführte geometrisch-konstruktive Behandlung dieses speziellen Falles der Photogrammetrie setzt voraus, daß die Punktidentifizierung auf beiden Photogrammen ausgeführt wurde, jene lästige und zeitraubende Arbeit, welche bei Terrainaufnahmen namhaften Schwierigkeiten begegnet. Nun stellen aber die beiden Basisbilder, weil die lichtempfindlichen Platten, beziehungsweise die Papierpositive in derselben Ebene sich befinden, stereoskopische Halbbilder mit der Basis b vor, die ausgenützt werden können und eine bequeme Betrachtung des plastischen Bildes in einem Telestereoskope zulassen.

Legt man zwei solche Aufnahmen in ein Stereoskop, das für den Augenabstand a konstruiert ist, so erscheint wohl die aufgenommene Terrainpartie plastisch, die Aufnahmen, stereoskopischen Halbbildern gleich, verschmelzen zu einem Kombinationsbilde, das vom Stereoskope auf die Augendistanz a reduziert wird. Der Anblick des räumlichen Terrainteiles im Stereoskope macht denselben Eindruck, als würde man ein im Maßstabe $\frac{a}{b}$ hergestelltes Relief des betreffenden Geländes betrachten.

Wenn man die Aufnahme im Stereoskope betrachtet, so entfällt das Aufsuchen identer Punkte vollständig; man kann aber in äußerst einfacher Weise, gestützt auf das stereoskopische Sehen zu einem gewählten Punkte, den korrespondierenden Punkt auf der zweiten Aufnahme finden. Markiert man einen Punkt auf dem linken Photogramme z. B. durch einen weißen Punkt, weißen Kreis, legt die beiden Aufnahmen in ein Stereoskop, so kann sehr bequem und sicher mit einem Stifte, einer Bleistiftspitze, der Punkt auf dem rechten Bilde angegeben werden, der dem angenommenen Punkte auf dem linken Bilde entspricht; derselbe kann dann gleichfalls mit einem weißen Punkte oder Kreise ersichtlich gemacht werden.

Nun könnte die Ausmessung der Bildkoordinaten x_1, y_1 sowie x_2, y_2 erfolgen, so daß auch die stereoskopische Parallaxe $p = x_1 - x_2$ bekannt wäre; die Ermittlung der Raumkoordinaten, respektive die konstruktive Bestimmung der Lage und Höhe könnte nach Nr. 339 vorgenommen werden.

Wenn auch diese Art der Bestimmung identer Punkte durch die plastische Erscheinung des Terrains gefördert wird, so wird es durch Verwertung eines eigenen Apparates, der auf dem stereoskopischen Sehen beruht, möglich, die Identifizierung vollständig zu eliminieren und die Meßoperationen auf den Photogrammen auf die lineare Ausmessung der beiden Koordinaten x_1, y_1 des linken Bildes sowie unmittelbar auf die Bestimmung der stereoskopischen Parallaxe zu beschränken. Die Bestimmung der stereoskopischen Parallaxe ist es, welche in das Stereoskop verlegt wird.

als Distanzgleichung, worin b den Augenabstand, f die Entfernung der Markenebene vom Auge, p die stereoskopische Parallaxe und D den Abstand des Punktes P vom linken Auge bedeutet.

341. Das Stereo-Mikrometer in Verbindung mit einem **Zeiß-Stereoskope** ist eine vom Carl-Zeiß-Werke in Jena hergestellte Vorrichtung, um das Verfahren mit wandernder Marke zu demonstrieren; hiebei wird mit Zuhilfenahme eines Stereoskopes die im Raume schwebende und wandernde Marke als Kombinationsbild zweier Zeigerspitzen auf dem plastischen Raumbilde (Modelle) der eingelegten Stereogramme auf einen beliebigen Punkt eingestellt und die Bildkoordinaten werden an Skalen, beziehungsweise die stereoskopische Parallaxe an einer Feinmeßschraube abgelesen.

Da mit dem Stereo-Mikrometer das dem Stereo-Komparator zu Grunde liegende Prinzip der wandernden Marke am anschaulichsten erläutert werden kann, so möge dieses instruktive Instrument, respektive seine Teile in zwei Abbildungen Fig. 283 und 284 geboten werden.

342. Das Zeißsche Stereoskop (Fig. 283) gestattet, in größter Bequemlichkeit und Vollkommenheit Stereoskopbilder, auf Papier oder Glas, zu betrachten, wobei der Abstand der Bildhälften, der mit der Entfernung der Fernpunkte der Stereogramme identisch ist, nicht mehr als 88 *mm* beträgt.

Das Stereoskop ist mit dem Auflagetisch, auf welchem die Stereogramme, oder, wie dies aus der Fig. 283 ersichtlich ist, das Stereo-Mikrometer aufgelegt wird, zum Aufklappen eingerichtet und kann in der ihm gegebenen Stellung durch eine seitlich angebrachte Klemmschraube H festgestellt werden. Der Basisrahmen mit eingelegtem weißem Papier, das als Reflektor dient, ist schwer genug, daß das Stereoskop in beliebiger Stellung des Auflagetisches stabil bleibt.

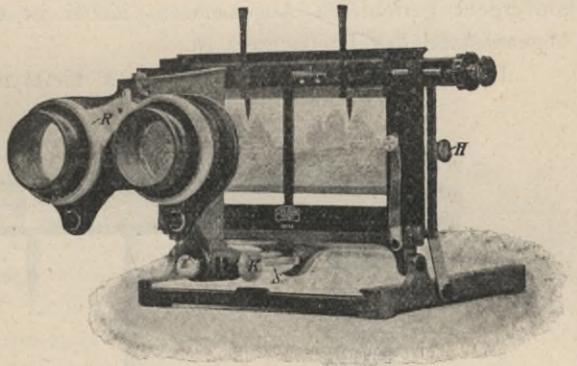


Fig. 283.

(Etwa $\frac{1}{3}$ der natürlichen Größe.)

Der zylindrische Stab

S ist mit dem Auflagetische rechtwinklig verbunden und auf demselben läßt sich der Oberteil des Stereoskopes, der die Okulare trägt, freihändig verstellen und mittels der Schraube K fixieren.

Das Stereoskop wird entweder mit zwei einfachen Okularlinsen von 15 *cm* Brennweite oder mit zwei achromatischen Okularen von nur 10 *cm* Brennweite ausgerüstet. Die Okulare können im gegebenen Falle durch Ab- oder Anschrauben der mit Gewinden versehenen Okularfassungen ausgewechselt werden. Die achromatischen Okulare haben gegen die einfachen Okularlinsen den großen

Vorteil, daß die in dem Stereoskopbilde enthaltenen feinsten Tiefenunterschiede deutlicher zum Ausdrucke kommen.

Die Einstellung der Okulare auf Bildschärfe erfolgt für beide Okulare gleichzeitig, und zwar durch Verschiebung des die Okulare tragenden Oberteiles längs des mit dem Beobachtungstisch des Stereoskopes fest verbundenen zylindrischen Stabes S aus freier Hand nach Lösen der Klemmschraube K , die nach erfolgter Einstellung angezogen wird.

Für normalsichtige Personen ist die richtige Einstellung für die 15-cm-Okulare nahe dem oberen Ende, für die 10-cm-Okulare nahe dem unteren Ende des Stabes S .

Die Regulierung des Okularabstandes ist zum Zwecke der verschiedenen Augenweiten der Beobachter unbedingt notwendig und wird durch Drehen an dem ränderierten Rande R einer der beiden Okularmuscheln bewerkstelligt und ist für die ungestörte Betrachtung von Stereoskopbildern von der größten Wichtigkeit. Der Abstand der Okulare darf niemals kleiner sein als der Abstand der beiden Fernpunkte der Stereoskop-Halbbilder.

Wenn der Abstand der Fernpunkte größer ist, so schadet dies, genügend große Linsen vorausgesetzt, für die stereoskopische Betrachtung nichts, man wird aber im allgemeinen, besonders dann, wenn der Fernpunkt im Stereoskopbilde zugleich Fernpunkt im Objektraume ist, den Okularabstand mit dem Fernpunktabstande im Stereoskopbilde gleich groß wählen.

Der Beobachter sieht in diesen Fällen die Fernpunkte mit parallel oder konvergent gerichteten Augenachsen, hiebei ist es gleichgültig, wie groß der Augenabstand des Beobachters ist.

Die Handhabung des Stereoskopes bietet nunmehr keine Schwierigkeit.

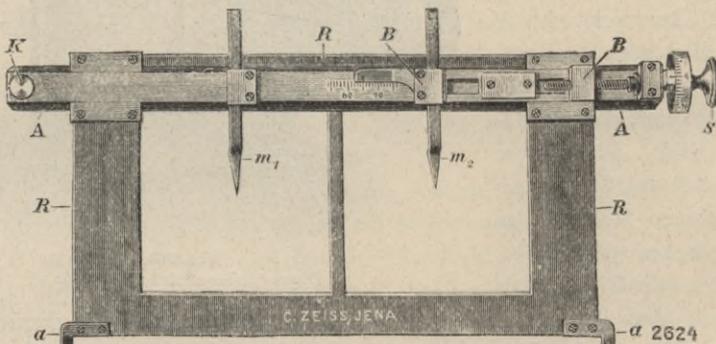


Fig. 284.

(Etwa $\frac{1}{3}$ der natürlichen Größe.)

343. Das Stereo-Mikrometer (Fig. 284 und 285) besteht aus einem Metallrahmen R, R mit rechteckigen Öffnungen von solchen Dimensionen, daß Stereogramme (Papierpositive oder Diapositive) eventuell mit Horizont- und Hauptvertikallinien versehen, bequem in demselben Platz finden.

Auf der oberen Rahmenleiste ist ein in Führungen beweglicher Schlitten AA angebracht, der auch mit einer Teilung, Abszissenskala (Fig. 285), versehen ist; am Index J_x kann der Stand des Schlittens A abgelesen werden.

Mit dem Schlitten sind rechtwinklig zwei Metallstreifen S_1 und S_2 verbunden, die in Spitzen, Marken m_1 und m_2 endigen. Der Streifen über dem linken stereoskopischen Halbbilde trägt eine Teilung und seine Lage kann an dem Index J_y , der in der Richtung der Bildordinaten die Verschiebungen zu ermitteln gestattet, abgelesen werden.

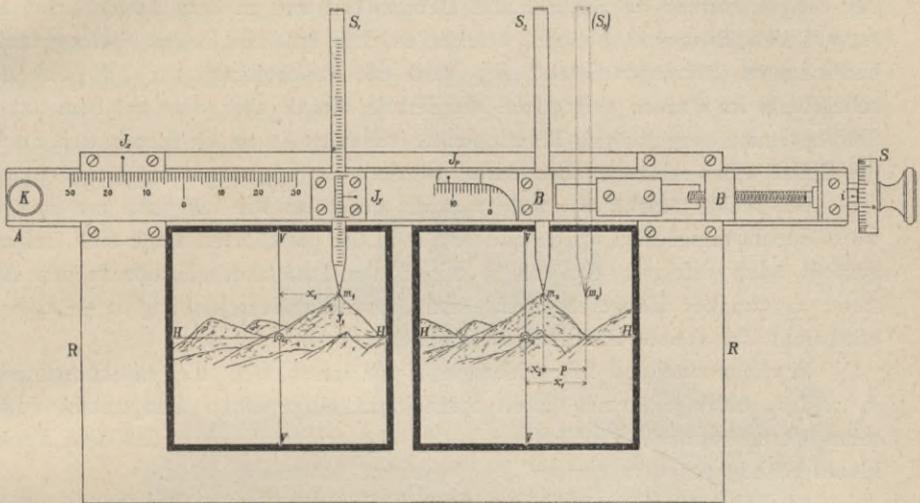


Fig. 285.

Der Metallstreifen für das rechte Stereogramm kann mittels eines auf dem Schlitten A montierten zweiten, kleineren Schlittens BB in horizontaler, also x -Richtung verschoben werden; die Größe dieser Verschiebung ist auf dem Index J_p , dem Parallaxenindexe, auf Millimeter ablesbar und mittels der Feinmeßschraube S läßt sich die Verschiebung auf 0.01 mm ermitteln; die Summe $J_p + i$ gibt die stereoskopische Parallaxe.

Denkt man sich den Schlitten A am Knopfe K gefaßt, seitlich verschoben und die Metallstreifen S_1 und S_2 aufwärts, respektive abwärts solange verstellt, bis die Marken m_1 und m_2 mit den Fernpunkten Ω_1 und Ω_2 der beiden Stereogramme koinzidieren, so sollten die Lesungen an den drei Indizes J_x , J_y und J_p Null sein; auch der Index i der Parallaxenschraube S sollte am Nullpunkte sich befinden. Falls dies in aller Strenge nicht zutreffen sollte, so wird der Stand der Indizes Δx , Δy und Δp notiert.

Hat der Beobachter die Okulare des Stereoskopes richtig gestellt, so gewahrt er ein plastisches Bild des durch die Stereogramme dargestellten Objektes und außerdem das plastische Bild der Marke M in unendlicher Entfernung.

Wird die linke Marke m_1 auf einen Bildpunkt des linken Bildes eingestellt, so geschieht dies durch Verschiebung des Schlittens A und des Metallstreifens S_1 ; die Größe der Verschiebung wird an den Indizes J_x und J_y als Abszisse x_1 und Ordinate y_1 des linken Bildes erhalten.

Der rechte Metallstreifen S_2 mit der Marke m_2 kommt auf dem rechten Stereogramme in die punktierte Lage (S_2); der Beobachter, der in das Stereoskop blickt, wird nicht in der Lage sein, m_1 und (m_2) zu einem plastischen Raumbilde zu vereinen. Nach Verschiebung des Streifens (S_2) mit der Marke (m_2) mittels der Parallaxenschraube S gewinnt das Kombinationsbild der beiden Marken an Schärfe und Deutlichkeit und in dem Augenblicke, als m_2 auf den Bildpunkt kommt, welcher zu dem auf dem linken Stereogramme bezeichneten korrespondierend ist, wird die Erscheinung zur Tat, daß die scheinbare, im Raume bewegliche wandernde Marke über dem auf dem linken Stereogramme eingestellten Terrainpunkte schwebt, so als ob man in den Punkt die Spitze eines Absteckstabes setzen würde.

Die rechte Marke m_2 , welche zuerst genau so wie die linke um x_1 seitwärts rechts verschoben wurde und zuerst in der punktierten Lage sich befand, gelangt nach erfolgter Einstellung mittels der Parallaxenschraube in den Abstand x_2 von der Hauptvertikalen; die Größe der Verschiebung $x_1 - x_2 = p$ entspricht der stereoskopischen Parallaxe.

In der vorstehend beschriebenen Weise lassen sich die Bildkoordinaten x_1 und y_1 eines jeden am linken Stereobilde eingestellten Bildpunktes sowie seine stereoskopische Parallaxe $x_1 - x_2 = p$ ermitteln, ohne daß eine Punktidentifizierung auf dem rechten Stereogramme notwendig wäre.

Anmerkung. Eine instructive Modifikation des Stereo-Mikrometers, welche eine unmittelbare Übertragung auf den Stereo-Komparator bei seiner Verwendung gestatten würde, läßt sich in folgender Weise gewinnen.

Die Marke m_1 des linken Metallstreifens S_1 ist fix und die rechte Marke m_2 von S_2 ist verstellbar; die beiden Stereogramme lassen sich sowohl in der Richtung des Horizontes, der Abszissenachse, als in der Hauptvertikalen, der Ordinatenachse, in meßbarer Weise verschieben und außerdem kann noch das rechte Stereogramm für sich in der Richtung des Horizontes mittels einer Feinmeßschraube, Parallaxenschraube, verstellt werden.

Wenn die Marken m_1 und m_2 auf den Fernpunkten Ω_1 und Ω_2 sich befinden und die Okulare des Stereoskopes für den Beobachter gut eingestellt sind, so wird er das plastische Raumbild nebst der in unendlicher Entfernung schwebenden Marke gewahren.

Werden nun monokular ohne Benützung der Okulare die Stereobilder in der Richtung des Horizontes und der Hauptvertikalen verschoben und ein bestimmter Punkt des linken Stereogrammes eingestellt, so können die Koordinaten x_1 und y_1 des eingestellten Punktes an den bezüglichlichen Skalen abgelesen werden. Blickt man nun in das Stereoskop, so befindet sich die linke Marke m_1 auf dem eingestellten Punkte, sie gibt aber mit der rechten Marke m_2

wohl ein Kombinationsbild, das zufolge des unveränderten Abstandes der beiden Marken, in unendlicher Ferne im plastischen Raumbilde, und zwar in der Blickrichtung des linken Bildpunktes sich befindet. Nach Bewegung des rechten Stereogrammes mittels der Parallaxenschraube bewegt sich die Marke in der Richtung gegen den links eingestellten Punkt und sie wird in dem Augenblicke genau über dem Punkte sich befinden, wenn die Marke m_2 über den entsprechenden Punkt auf dem rechten Stereogramme sich befindet. Auf der Parallaxenschraube kann die Größe der Abszissendifferenz $x_1 - x_2 = p$, die stereoskopische Parallaxe abgelesen werden.

Der stereoskopische Effekt, bei feststehenden auf die Fernpunkte eingestellten Marken bei seitlicher Verschiebung des einen rechten Bildes ist genau derselbe, der bei feststehenden Stereogrammen bei seitlicher Verschiebung der rechten Marke beobachtet wurde, nämlich das Wandern der Marke und in beiden Fällen ist die Möglichkeit vorhanden, die stereoskopische Parallaxe durch Messung zu ermitteln.

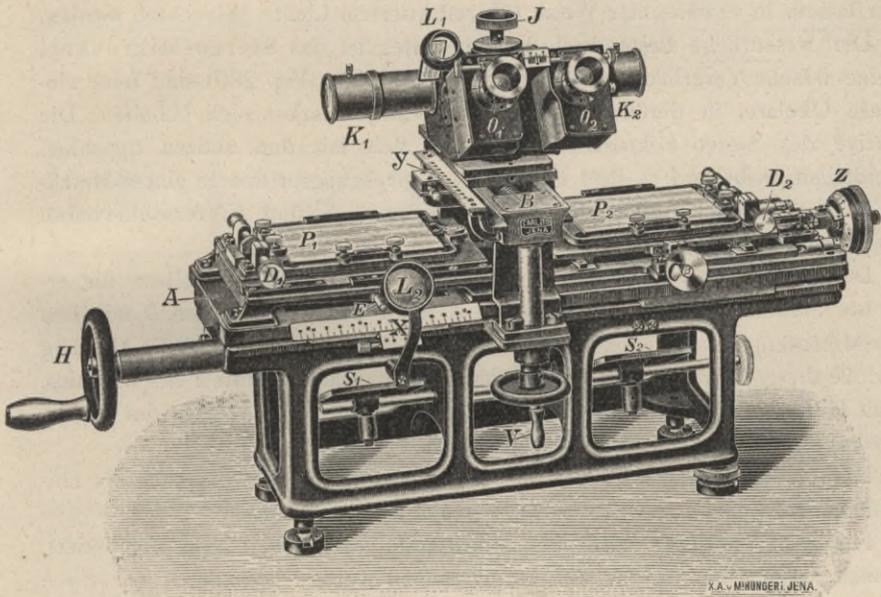


Fig. 286.

(Etwa $\frac{1}{8}$ der natürlichen Größe.)

344. Stereo-Komparator ist von Dr. C. Pulfrich, wissenschaftlichem Mitarbeiter des Carl-Zeiß-Werkes in Jena, konstruiert worden, und dient zur Ausmessung der Plattenkoordinaten stereoskopischer Bilder, insbesondere aber zur Ermittlung der stereoskopischen Parallaxe, wobei das am Stereo-Mikrometer geschilderte Prinzip der wandernden Marke verwendet wird.

Der Träger des ganzen Apparates (Fig. 286) ist ein von vier Füßen gestützter Tisch, auf welchem sich der Hauptschlitten *A* mittels der Kurbel *H*

bequem in der Längsrichtung des Tisches verschieben läßt und die Größe der Verschiebung am Nonius der Abszissenskala X mittels einer Lupe L_2 auf 0.1 mm abgelesen werden kann. Auf diesem großen Schlitten liegen zwei kleinere Schlitten, welche zur Aufnahme der Stereoplatten bestimmt sind; der linke Schlitten wird mit Hilfe des Sperrhebels E festgestellt und die Feinschraube D_1 gestattet, die eingelegte und durch Anschläge und Riegel festgehaltene Platte sanft im Horizonte zu verdrehen. Der rechte Schlitten, auf welchem die Stereoplatte in ähnlicher Weise befestigt wird wie die linke, läßt drei Bewegungen zu, und zwar eine sehr feine Bewegung in der Richtung der Abszissenskala, welche mittels der Parallaxenschraube Z ausgeführt wird und an einem Indexte auf 0.01 mm scharf abgelesen werden kann, ferner eine geradlinige Verschiebung in der Ordinatenrichtung mittels der Schraube C und außerdem eine drehende Bewegung mit Hilfe der Feinschraube D_2 .

Alle Schlitten sind durchbrochen und können die eingelegten Platten P_1 und P_2 durch die zwei Spiegel S_1 und S_2 , die sich mittels einer Schraube beliebig stellen lassen, in erwünschter Weise mit reflektiertem Lichte beleuchtet werden.

Der wesentliche Bestandteil des Apparates ist das Stereo-Mikroskop, das eine 6fache Vergrößerung besitzt; bei O_1 und O_2 (Fig. 286) sind feine einstellbare Okulare, in deren Bildebenen die Einstellmarken sich befinden. Die Objektive des Stereo-Mikroskopes befinden sich mit den andern optischen Bestandteilen, insbesondere dem Porroschen Umkehrungsprisma in einem Metalltubus, der an seinen Enden die mit den Kappen K_1 und K_2 verschließbaren Objektivrinnen besitzt.

Der Träger des Mikroskopes ist massiv und bietet demselben die erwünschte Stabilität; mittels einer Kurbel V kann der Querschlitten B mit dem Stereo-Mikroskope in der Richtung der Ordinate bewegt werden und die Messung der Größe dieser Bewegung erfolgt auf der Ordinatenkala y mittels eines Nonius, der mit Hilfe der Lupe L_1 und eines stellbaren Spiegels vom Okulare des Stereo-Mikroskopes bequem abgelesen werden kann.

Die beiden Okulare können auf die Augendistanz des Beobachters eingestellt werden.

Für den Transport wird das Mikroskop von dem Tische abmontiert, was nach Lösung der Schraube J vorgenommen werden kann.

Eine Parallele zwischen dem in Fig. 285 dargestellten Stereo-Mikrometer und dem vorstehend geschilderten Stereo-Komparator ist für das Verständnis unverkennbar wichtig.

An Stelle der Okulare des Stereo-Mikrometers tritt das Stereo-Mikroskop, dessen Strahlengang in Fig. 287 ersichtlich ist; die Porroschen Prismen U_1 und U_2 , die zwischen die Objektive O_1 , O_2 sowie die Okulare, beziehungsweise die Prismen s_1 , s_2 und S_1 , S_2 eingeschaltet werden, gestatten, die Objektive auf die Hauptpunkte der eingelegten Stereogramme zu richten und nach dem Muster des Helmholtz'schen Telestereoskopes ein Tele-Stereo-Mikroskop mit erweitertem Augenabstande zu schaffen.

Das Mikroskop hat in den Bildebenen der Okulare zwei Marken m_1 und m_2 , die beim Betrachten mit dem Stereoskope die in der Landschaft schwebende Marke darstellen.

Die Stereogramme, wobei beim Komparator stets nur Platten, und zwar Negative verwendet werden, sind nicht wie im Stereo-Mikrometer fix, sondern verschiebbar und die Größe dieser Verschiebungen läßt sich sehr genau bestimmen; hingegen sind die verschiebbaren Metallzeiger, respektive Marken des Stereo-Mikrometers S_1 und S_2 , beziehungsweise m_1 , m_2 (Fig. 285) durch fixe Marken m_1 und m_2 in den Bildebenen der Okulare ersetzt.

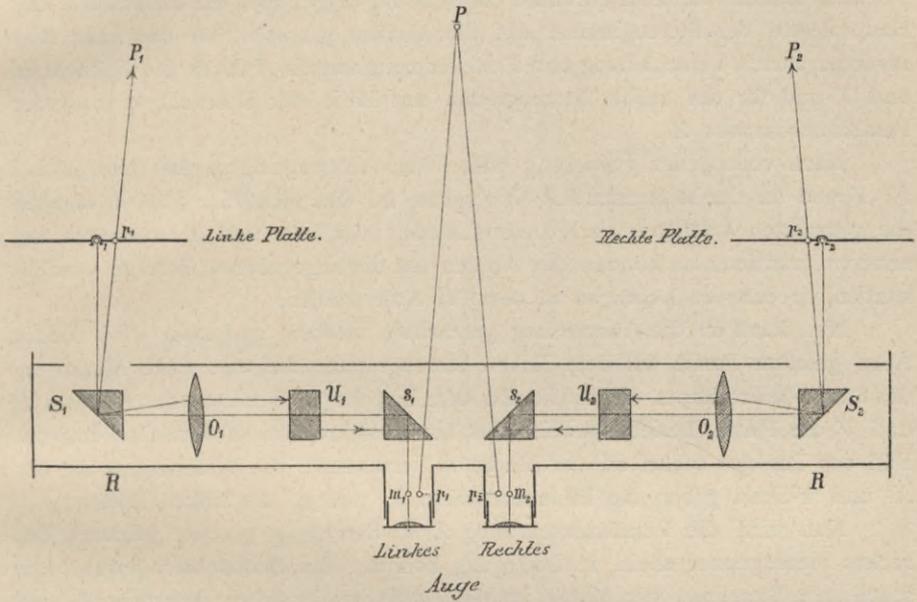


Fig. 287.

Während das Wandern der Marken beim Stereo-Mikrometer bei fixer Lage der Stereogramme durch Verschiebung des rechten Zeigers mit Hilfe der Parallaxenschraube bewirkt wird, kommt dies beim Stereo-Komparator durch seitliche Verschiebung des rechten Stereogrammes mittels der Parallaxenschraube zustande, wobei aber die beiden Marken im Stereo-Mikroskope fix bleiben. Der stereoskopische Effekt ist in beiden Fällen derselbe: der Beobachter gewahrt das Wandern der Marke im Raume und bestimmt durch die Verschiebung vom rechten Zeiger, beziehungsweise der rechten Platte die gewünschte stereoskopische Parallaxe p .

345. Die Anwendung des Stereo-Komparators soll an zwei wichtigen Fällen erläutert werden, und zwar:

1. wenn die stereophotogrammetrische Aufnahme in gleicher Höhe erfolgte, also so, daß die Bildzentren in gleicher Höhe sich befanden und

2. wenn die stereophotogrammetrischen Aufnahmen in verschiedenen Höhen vorgenommen wurden.

Ad 1. Der Ausmessung der Stereogramme geht die sogenannte Justierung der Platten voraus; sie besteht darin, daß die Horizonte der Stereogramme parallel zur Abszissenrichtung, respektive die Hauptvertikalen derselben parallel zur Ordinatenrichtung, respektive parallel zu den Skalen derselben gestellt werden; ferner ist es notwendig, daß die Hauptpunkte der Stereogramme auf die Marken m_1 und m_2 im Stereo-Mikroskope eingestellt werden (Fig. 287). Die Parallelstellung der Horizontlinien zur X -Skala erfolgt durch Drehung mittels der Feinschrauben D_1 und D_2 (Fig. 286); die Einstellung der Hauptpunkte der Stereogramme auf die Marken geschieht für das linke Bild zuvörderst nach Verschiebung und Festklemmung mittels E durch die Kurbeln H und V und für das rechte Stereogramm mit Hilfe der Schraube C und der Parallaxenschraube Z .

Nach vollzogener Justierung sollen die Ablesungen an den Nonien bei X , Y und an der Meßtrommel Z Null geben, ist dies nicht der Fall, so werden die gemachten Lesungen als Nonienstände: Δx , Δy und Δs vermerkt, bei neueren Instrumenten können die Nonien um die angegebenen Beträge verstellt werden, so daß die Lesungen in der Tat Null werden.

Nun kann an die Ausmessung geschritten werden, und zwar wird ein ins Auge gefaßter Punkt auf dem linken Stereogramme auf die linke Marke m_1 des Stereo-Mikroskopes eingestellt. Zu dem Zwecke wird mittels der Kurbeln H und V die Platte, beziehungsweise das Stereo-Mikroskop so verstellt, daß das Bild des Punktes scharf an der Marke m_1 erscheint; die Ablesungen an der X - und Y -Skala geben die Bildkoordinaten x_1 und y_1 des linken Bildes.

Nun wird die Parallaxenschraube Z in Bewegung gesetzt, wodurch das rechte Stereogramm allein in Bewegung kommt, der Beobachter gewahrt die scheinbare Bewegung der Marke im Gesichtsfelde des Stereo-Mikroskopes und vermag mit großer Schärfe die schwebende Marke mit dem links eingestellten Punkte zur Koinzidenz zu bringen; hierauf erfolgt die Ablesung an der Parallaxenschraube, welche die stereoskopische Parallaxe $p = x_1 - x_2$ gibt.

Damit ist die Ausmessung des einen Punktes erledigt.

Vor Inangriffnahme der Ausmessung des zweiten Punktes wird mittels der Parallaxenschraube Z und der Kurbeln V und H auf die justierte Ausgangslage zurückgegangen, wobei die plastische Erscheinung des betrachteten Geländes verloren geht.

Die weitere Ausmessung erfolgt genau in vorstehend geschilderter Weise; die erhaltenen Werte x , y und p wird man in ein entsprechend angelegtes Protokoll eintragen.

Ad 2. Wenn die Standpunkte bei der stereophotogrammetrischen Aufnahme in verschiedenen Höhen sich befinden, so ist die Vereinigung der stereoskopischen Halbbilder zu einem Kombinationsbilde nicht ohne weiteres möglich; um dies erreichen zu können, muß die Verbindungsgerade der beiden Haupt-

punkte der Stereogramme $\Omega_1 \Omega_2$ parallel zur Verbindungslinie der beiden Augen liegen (Fig. 288). Im Stereo-Mikroskope hätte man das aufrecht stehend gedachte Modell des Geländes mit nach rechts geneigtem Kopfe zu betrachten.

Die stereoskopische Parallaxe wird in der Richtung der Hauptpunkte $\overline{\Omega_1, \Omega_2}$ gemessen; sie ist $\overline{p'_2 p'_1} = p_s$ und stellt die schiefe Parallaxe dar. Von Interesse ist aber nur die Projektion auf die Parallele zum Horizonte, d. i. $\overline{p_1 p_2} = p$ und diese kann in folgender Weise erhalten werden.

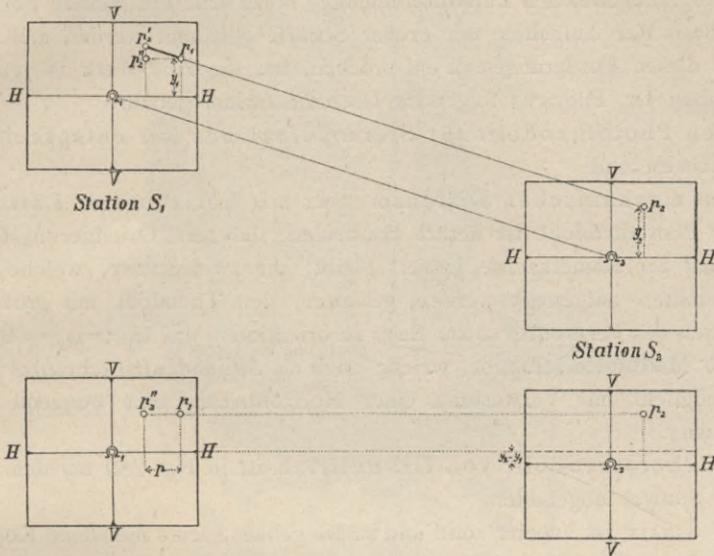


Fig. 288.

Die Platten werden wie im vorhergehenden Falle angegeben justiert; hierauf wird auf dem linken Stereogramme ein Punkt eingestellt und werden dessen Bildkoordinaten x_1 und y_1 bestimmt. Die Operation mit dem rechten Stereogramme erfordert nun eine doppelte Verschiebung; eine mittels der Schraube C, bis der korrespondierende Punkt p_2 in die durch p_1 parallel zur Horizontlinie gedachte Gerade gelangt, was nach Verschiebung um $y_1 - y_2$ eintritt, und durch Verschiebung mittels der Parallaxenschraube Z, welche das Kombinationsbild der Marke über den links eingestellten Punkt des plastischen Raumbildes bringt. An der Parallaxenschraube wird dann $p = x_1 - x_2$ abgelesen.

Die seitliche Verrückung der rechten Platte mittels der Parallaxenschraube ruft bei der stereoskopischen Betrachtung des Bildes ein Verrücken des Raumbildes der Meßmarken in der Richtung auf den Beobachter zu oder von ihm ab, beziehungsweise in der Blickrichtung des linken Auges hervor und wie aus dem Vorstehenden klar wird, besteht die ganze Messung darin, das Raumbild M der Marke in die gleiche scheinbare Entfernung mit dem Raumbilde des auf der linken Platte eingestellten Punktes P zu bringen (Fig. 282).

Für den Anfänger mag der Umstand störend und erschwerend wirken, daß das Gesichtsfeld des Stereo-Mikroskopes nur klein ist und einige Zentimeter umfaßt, wodurch nur ein ganz kleiner Teil des Geländes überblickt wird.

346. Das Instrumentarium für Stereophotogrammetrie nach Dr. C. Pulfrich. Eine prinzipielle Forderung der Stereophotogrammetrie ist, daß die in beiden Basisendpunkten erhaltenen Bilder sich in einer Ebene befinden, denn auf Grund von Fehleruntersuchungen hat eine Verschwenkung der Bildebene von einer Minute einen bedeutenden Einfluß auf die Genauigkeit der stereophotogrammetrischen Punktbestimmung; hinzu tritt die weitere Forderung, daß die Basis der Aufnahme mit großer Schärfe bestimmt werden muß.

Um diesen Forderungen zu entsprechen, hat das Zeiß-Werk in Jena nach den Angaben Dr. Pulfrichs folgendes Instrumentarium gebaut:

1. einen Phototheodolit für Stereoaufnahmen mit entsprechenden Stativen und
2. einen mechanischen Distanzmesser mit horizontaler Latte.

Der Phototheodolit ist derart konstruiert, daß sein Orientierungsfernrohr stets normal zur Kameraachse justiert bleibt; die zwei Stative, welche in den Basisendpunkten aufgestellt werden, gestatten, den Theodolit mit großer Präzision mittels des Fernrohres so zur Basis zu orientieren, daß $\omega_1 = \omega_2 = 90$ wird.

Eine Mikrometerschraube, welche auch als Alhidadenfeinschraube benützt wird, ermöglicht mit Verwertung einer Horizontallatte eine bequeme Basisbestimmung.

Der Phototheodolit von Dr. Pulfrich ist in Fig. 289 mit dem oberen Teile des Statives abgebildet.

Das Stativ ist äußerst solid und stabil gebaut; seine metallene Kopfplatte trägt eine durch Rippen versteifte dreieckige Bodenplatte, welche in ihren Eckpunkten mit drei zylindrischen Aufsätzen versehen ist, welche die Unterlage für die Stellschrauben des Theodolitunterbaues, des Dreifußes, bilden, und in ihrem mittleren Teile mit Muttergewinden versehen ist; diese nehmen die Herzschraube auf, mittels welcher die Bodenplatte mit dem Stativkopfe fest verbunden wird.

Der Dreifuß, dessen kugelförmig gestaltete Stellschraubenenden von den entsprechend ausgestalteten Aufsätzen der Bodenplatte aufgenommen und mit Hilfe von Überfangsschrauben an ihre Lager fest angezogen werden, wird nicht in üblicher Weise mittels einer Herz- oder Zentralschraube mit dem Stative verbunden, sondern seine Befestigung erfolgt in der angegebenen Weise lediglich mit Hilfe der Fußschrauben.

Eine Dosenlibelle, welche an geeigneter Stelle des Dreifußes angebracht ist, gestattet, die Achse der Dreifußbohrung vertikal zu stellen.

Die Büchse des Dreifußes enthält eine zentrale kreisförmige Bohrung, in welche die Vertikal- oder Alhidadenachse des Phototheodolites eingeführt wird; das untere Ende der Dreifußbüchse ist mit Schraubengewinden versehen, auf welche ein Ring *R* aufgeschraubt und angezogen werden kann. Dadurch

tritt eine Klemmung der Alhidadenachse in der Büchse des Dreifußes und somit eine feste Verbindung von Instrument und Dreifuß ein; nach Lösung der Schraubenmutter *R* kann das Instrument aus der Dreifußbüchse herausgehoben werden.

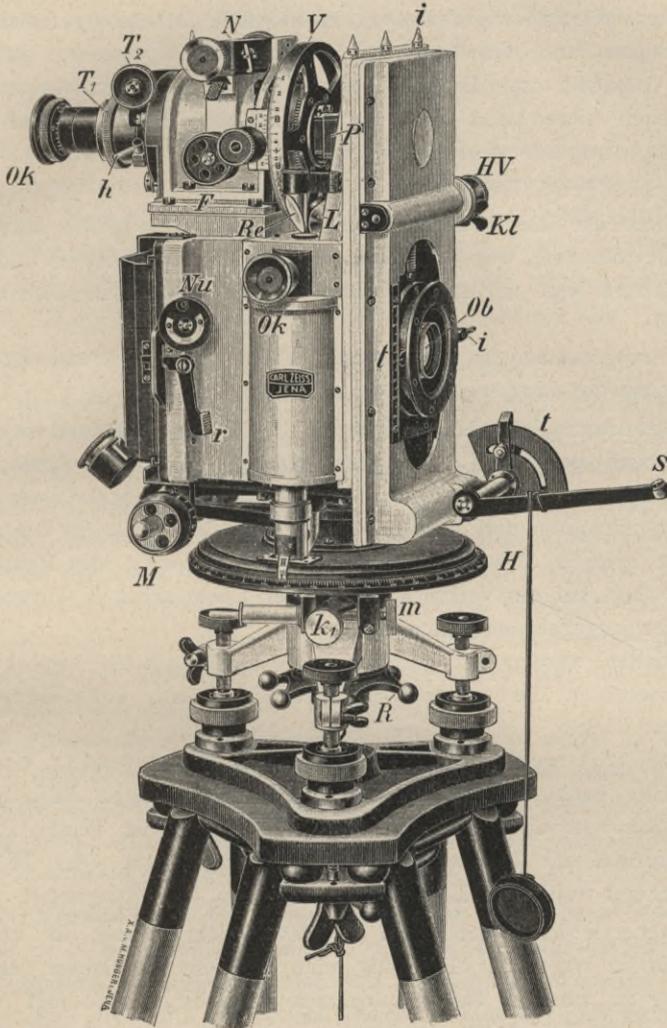


Fig. 289.

(Etwa $\frac{1}{4}$ der natürlichen Größe.)

Dreifüße in der vorstehend geschilderten Ausstattung kommen soviel zur Verwendung als Stative benützt werden, zwei oder drei, eventuell auch mehr.

In die Büchse eines Dreifußes läßt sich auch ein Zylinder einfügen, der auf seinem oberen, aus der Bohrung herausragenden Teile konisch abgedreht ist und eine gute Spitze zum Visieren abgibt, die Visierspitze. Auch kann

in die Dreifußbüchse ein Lattenhalter mit einem Diopter eingeführt werden, der die in Zentimeter geteilte Horizontallatte trägt.

Der Horizontalkreis H des Instrumentes ist beweglich und wird durch die Klemme k_1 festgehalten; die Feinschraube m dient zur feinen Verstellung im Horizonte; er trägt zwei Teilungen, eine äußere Gradteilung für die beiden Mikroskopindizes und eine auf der inneren Seite gelegene, die für die Mikroskope bestimmt ist. Die Mikroskope sind gebrochen, der Reflektor Re führt von oben hinreichend Licht zu, so daß vom Okular Ok die Ablesung im Mikroskope bequem vorgenommen werden kann.

Der photographische Teil des Instrumentes, die Kamera, ist mit der Alhidadenachse starr verbunden, das Kameragehäuse ist ein einziges Gußstück aus Leichtmetall, wobei auf der einen Seite das Objektiv und auf der entgegengesetzten Seite der Anlegerahmen für die lichtempfindliche Platte angebracht ist.

Der Anlegerahmen ist vollkommen eben geschliffen und ist mit der Alhidadenachse des Instrumentes vollkommen parallel.

Die Bezeichnung der Hauptvertikalen des Bildes geschieht nicht, wie es allgemein üblich ist, durch Einschnitte, Marken im Anlegerahmen, sondern durch zwei Lochmarken, wobei die obere Lochmarke mittels eines vor dem Objektiv angebrachten und je nach dem Stande des Objektivs bei t bequem verstellbaren Spiegels S beleuchtet wird. Der Hauptpunkt des Photogrammes (des Bildes) liegt auf der Verbindungslinie der Lochmarken in einem auf dem Anlegerahmen angegebenen Abstände.

Als Platten werden gut geschliffene Spiegelglasplatten empfohlen; eine gute Plattensorte ist die orthochromatische Viridinplatte von Schleußner von etwa 1·5 mm Dicke.

Als Objektive werden die besten Zeißschen Typen gewählt, bei welchen von der Mitte nach dem Rande eine gleichmäßig präzise Bildschärfe und nahezu vollkommene Orthoskopie vorhanden ist, z. B. das Tessar, Protar etc. Das Plattenformat der Phototheodolite beträgt 9×12 cm oder 13×18 cm, dementsprechend sind die Brennweiten 127 mm, beziehungsweise 180 mm.

Bei neueren Phototheodoliten ist das Objektiv nicht fix angebracht, sondern läßt in vertikaler Richtung eine mehrere Zentimeter umfassende Verschiebung zu, was bei Terrainaufnahmen im Gebirge unbedingt notwendig ist. Der Stand des Objektivs Ob kann an einer Teilung t abgelesen werden.

Bei r ist einer von den rechts und links angebrachten Hebeln wahrnehmbar, der nach eingelegter Kassette und entblößter lichtempfindlicher Platte gestattet, die Platte an den Anlegerahmen sanft anzudrücken; an der Scheibe Nz kann die Nummer der exponierten Platte abgelesen werden.

Das Objektiv wird in seiner Normallage so montiert, daß seine optische Achse in einem bestimmten Abstände von den Lochmarken des Anlegerahmens die Hauptvertikale trifft. Die starre Kamera und äußerst solide mechanische Aus-

führung aller Bestandteile gewährt eine nahezu absolute Unveränderlichkeit in der Lage der Kameraachse.

Auf der Kamera ist das gebrochene Fernrohr angebracht, dessen Visierebene durch die Alhidadendrehachse geht und auf der Kameraachse normal steht; an der Okularseite Ok sind die erforderlichen Einstellschrauben T_1, T_2 angebracht und am Vertikalkreise V , der eine Stirnteilung besitzt, kann der Neigungswinkel der Visierlinie mittels einer Lupe abgelesen werden. Die Fernrohrvergrößerung beträgt 10 bis 15.

Auf dem Fernrohre ist bei N ein Röhrenkompaß angebracht, der für Orientierungen Verwendung findet; bei L ist eine Röhrenlibelle in geschützter Lage auf der Kamera montiert und dient zur Vertikalstellung des Instrumentes.

Die Feinbewegung des ganzen oberen Teiles des Instrumentes, der Alhidade und auch des Fernrohres geschieht mit der Mikrometerschraube M ; sie ist eine Tangentschraube, für welche das Verhältnis der Ganghöhe zum Abstand der Schraube von der Alhidadenachse $\frac{1}{100}$ beträgt, und wird zur Distanzmessung ausgewertet, indem ein bestimmtes Lattenbild mittels der Feinschraube ausgemessen wird. Die Genauigkeit der indirekten Messung einer Strecke beträgt nach Angaben einiger Autoren $\frac{1}{1000}$ der Distanz.

Um die Größe des Gesichtsfeldes der Aufnahme im Horizonte und auch in der Höhe beurteilen zu können, sind auf dem oberen Rande der Objektivplatte P drei Spitzen i , welche mit der in der Richtung der Kameraachse an der Seite des Anlegerrahmens gelegenen Spitze ungefähr das horizontale Gesichtsfeld angeben, während an der rechten Kameraseite in ähnlicher Weise Metallspitzen angebracht sind, um die Ausdehnung der Aufnahme in der vertikalen Richtung beurteilen zu können.

Das Streben Dr. Pulfrichs bei der Konstruktion seines Phototheodolites war dahin gerichtet, das Instrument solid und stabil und ferner so zu bauen, daß der Ingenieur von jeder Rektifikation enthoben wird, was auch nach dem Ausspruche von Photogrammetern, die viel und in schwierigen Verhältnissen gearbeitet haben, bestätigt wird.

347. Verwendung des Instrumentariums. Hat man die Basis der Aufnahme AB ausgewählt, so werden in den Basisendpunkten die Stative mit den Dreifußen so aufgestellt, daß ihre Achsen vertikal stehen.

Der eine Dreifuß A nimmt den Phototheodolit auf und in dem anderen Dreifuße B wird die Visierspitze eingesetzt. Nun wird das Fernrohr des Theodolites auf die Visierspitze in B scharf eingestellt; dadurch wird die vertikale Plattenebene parallel zur Basis und die Kameraachse normal zu derselben.

Die photographische Aufnahme kann jetzt vorgenommen werden. Da auch die Basislänge zu bestimmen ist, so wird im Punkte B die Visierspitze entfernt und an ihrer Stelle der Lattenhalter mit der Horizontallatte eingefügt; nun muß die Latte horizontal und mittels eines Diopters normal zur Basis gestellt werden,

worauf dann die Messung der Horizontalprojektion der Basis mit der Tangentenschraube erfolgt.

Damit sind die Arbeiten im Basisendpunkte *A* vollendet.

In derselben Weise wird im Basispunkte *B* verfahren. Das Plattenpaar, welches so erhalten wird, entspricht den Bedingungen, welche die Stereophotogrammetrie fordert; das Zeiß-Werk gewährleistet bei sorgfältiger Arbeit eine Genauigkeit von etwa $10''$ in der zu bewirkenden Einstellung der Platten in eine Ebene.

Es ist einleuchtend, daß bei einer ausgedehnteren stereophotogrammetrischen Aufnahme es sich empfiehlt, mehr als zwei Stative zu verwenden, um ein rascheres Fortschreiten der Arbeiten zu ermöglichen.

348. Ausführung von stereophotographischen Aufnahmen. Die Praxis in der Ausführung von stereophotogrammetrischen Aufnahmen umfaßt:

1. Feldarbeiten und
2. Hausarbeiten.

Analog wie bei gewöhnlichen photogrammetrischen Aufnahmen (§ 34) muß naturgemäß bei der Feldarbeit die größte Sorgfalt in der Ausführung aller Operationen beobachtet werden.

Die Feldarbeiten bestehen:

- a) in einer gründlichen Rekognoszierung zum Zwecke der günstigen Auswahl von stereophotogrammetrischen Standlinien und
- b) in der eigentlichen stereophotogrammetrischen Aufnahme.

Die richtige Auswahl der Standlinien, um bei der Aufnahme ein geschlossenes Gebiet zu erhalten, gehört zu den wichtigsten vorbereitenden Arbeiten und verlangt von dem Ingenieur: Orientierungsgabe, Überblick im Terrain u. s. w.

Die stereophotogrammetrische Aufnahme selbst zerfällt in wichtige Detailoperationen. Die Orientierung muß mit peinlichster Sorgfalt erfolgen, die Messung der Basis auf indirektem Wege erfordert präzise Beobachtung und der photographische Teil verlangt viele Vorsichten.

Ein vorzügliches Mittel, um die stereophotogrammetrische Aufnahme später auf ihre Güte prüfen zu können, beziehungsweise um sichere Anhaltspunkte zu haben, daß keine Plattenverschwenkungen bei den Orientierungen in den Basisendpunkten vorhanden sind, bieten die Kontroll- oder Probepunkte.

Dies sind Punkte im Terrain, die ihrer Lage und Höhe nach in Bezug auf die Basis der stereophotogrammetrischen Aufnahme genau bekannt sind und auf zwei zusammengehörigen Aufnahmen abgebildet erscheinen.

Gewissenhafte Ingenieure werden sich markante Punkte im Terrain, die im Gebiete der Aufnahme sich befinden, geodätisch genau bestimmen, um so feste Grundlagen für die Aufnahme zu haben. Diese der Lage und Höhe nach bestimmten Punkte gestatten nach Verwertung der stereophotogrammetrisch bestimmten Elemente einen Vergleich mit den gegebenen Größen, wodurch es

möglich wird, den Schluß zu ziehen, ob die Platten bei der Stereoaufnahme der theoretischen Forderung in aller Strenge genügt haben, oder aber, ob eine Verschwenkung der Platten vorhanden war. Es ist auch nicht schwer, mit Benützung solcher Kontrollpunkte, die Größe der Verschwenkung zu berechnen.

Die Kontroll- oder Probepunkte spielen daher bei rationellen stereophotogrammetrischen Aufnahmen eine ganz hervorragende Rolle und soll es der Ingenieur nie versäumen, sich solche Punkte gegebenen Falles zu verschaffen.

Bei den Hausarbeiten sind zu unterscheiden:

- a) die technische Ausführung der Aufnahme und
- b) die Rekonstruktion.

Bezüglich der technischen Ausführung der Aufnahme wäre zu bemerken, daß für die Rekonstruktion eigentlich nur die Negative, beziehungsweise Positive notwendig sind, welche dann zur Ausmessung im Stereo-Komparator verwendet werden.

Erfahrungsmäßig ist es zu empfehlen, sich zur Orientierung Papierpositive anzufertigen, und zwar Vergrößerungen und insbesondere dann, wenn das Plattenformat des Phototheodolites $9 \times 12 \text{ cm}$ war. Diese Vergrößerungen leisten vorzügliche Dienste.

Unter Rekonstruktion können wir alle Arbeiten zusammenfassen, welche bis zur Fertigstellung des Planes, beziehungsweise Erledigung der Höhenbestimmung notwendig sind.

Vor allem ist es die Ausmessung der Platten im Stereo-Komparator und Zusammenstellung der Koordinaten des linken Bildes nebst Parallaxe in einem Protokolle.

Daran schließt sich die Herstellung des Rekonstruktionsgerippes, das besonders präzise erfolgen muß, ferner die Kartierung und endlich die zeichnerische Ausführung der Aufnahme.

349. Genauigkeit der stereophotogrammetrischen Aufnahme. Die stereophotogrammetrisch bestimmten rechtwinkligen Koordinaten eines Raumpunktes lauten :

$$\left. \begin{aligned} X &= \frac{b}{p} \cdot x_1 \\ Y &= \frac{b}{p} \cdot f \\ H = Z &= \frac{b}{p} \cdot y_1 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 4)$$

Sind $\Delta x_1, \Delta f, \Delta y_1$ sowie Δb und Δp die mittleren Fehler der in vorstehender Gleichung enthaltenen Größen, so ergibt sich vorerst als mittlerer Fehler in der Abszisse:

$$\Delta X = \sqrt{\left(\frac{\partial X}{\partial b} \Delta b\right)^2 + \left(\frac{\partial X}{\partial p} \Delta p\right)^2 + \left(\frac{\partial X}{\partial x_1} \Delta x_1\right)^2}, \dots \dots \dots 5)$$

worin die partiellen Differentialquotienten sind:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial X}{\partial b} &= \frac{x_1}{p} = \frac{X}{b} \\ \frac{\partial X}{\partial p} &= -\frac{b x_1}{p^2} = -\frac{X}{p} \\ \frac{\partial X}{\partial x_1} &= \frac{b}{p} = \frac{X}{x_1} \end{aligned} \right\}; \dots \dots \dots 6)$$

Der mittlere absolute Fehler erscheint nach Einführung dieser Werte in die Gleichung 5) in doppelter Form:

$$\left. \begin{aligned} \Delta X &= \sqrt{\left(\frac{x}{p} \Delta b\right)^2 + \left(\frac{b x_1}{p^2} \Delta p\right)^2 + \left(\frac{b}{p} \Delta x_1\right)^2} \\ &= X \sqrt{\left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta p}{p}\right)^2 + \left(\frac{\Delta x_1}{x_1}\right)^2} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{II)}$$

und der relative Fehler:

$$\frac{\Delta X}{X} = \sqrt{\left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta p}{p}\right)^2 + \left(\frac{\Delta x_1}{x_1}\right)^2}$$

In analoger Weise können die absoluten und relativen Fehler für die Raumkoordinaten X und $H=Z$ berechnet werden; es folgt:

$$\left. \begin{aligned} \Delta Y &= \sqrt{\left(\frac{f}{p} \Delta b\right)^2 + \left(\frac{b f}{p^2} \Delta p\right)^2 + \left(\frac{b}{p} \Delta f\right)^2} \\ &= Y \sqrt{\left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta p}{p}\right)^2 + \left(\frac{\Delta f}{f}\right)^2} \\ \frac{\Delta Y}{Y} &= \sqrt{\left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta p}{p}\right)^2 + \left(\frac{\Delta f}{f}\right)^2} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{III)}$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta H = \Delta Z &= \sqrt{\left(\frac{y_1}{p} \Delta b\right)^2 + \left(\frac{b y_1}{p^2} \Delta p\right)^2 + \left(\frac{b}{p} \Delta y_1\right)^2} \\ &= Z \sqrt{\left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta p}{p}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y_1}{y_1}\right)^2} \\ \frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta Z}{Z} &= \sqrt{\left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta p}{p}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y_1}{y_1}\right)^2} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{IV)}$$

Über die Größe der in den vorstehenden Formeln auftretenden mittleren Fehler machen wir folgende Angaben.

Der mittlere Fehler in der Basis Δb beträgt bei direkter Distanzmessung $\Delta b = \mu \sqrt{b}$, wobei $\mu = 0.001$ für Meßlatten und $\mu = 0.005$ für das

Stahlband gilt. Bei indirekter, optischer Distanzmessung kann man bei Verwertung eines Schraubenmikrometers wohl $\frac{\Delta b}{b} = \pm \frac{1}{1000}$ annehmen; bei einem Fadenmikrometer hingegen dürfte man kaum unter $\frac{1}{800}$ kommen, während bei Bestimmung der Distanz mittels der logarithmischen Methode eine Genauigkeit von $\frac{1}{1500}$ wohl gewährleistet werden kann.

Der mittlere Fehler in den Bildkoordinaten des linken Bildes beträgt $\Delta x_1 = \Delta y_1 = \pm 0.1 \text{ mm}$.

Für den mittleren Fehler in der Bilddistanz kann man mit Sicherheit annehmen $\frac{\Delta f}{f} = \pm \frac{1}{1000}$, weil ja diese perspektivische Konstante mit großer Schärfe bestimmt werden muß.

Was den mittleren Fehler in der Parallaxe betrifft, so zeigen wiederholte Einstellungen auf einen und denselben Punkt, daß das Anstechen des auszumessenden Punktes mittels der wandernden Marke im plastischen Bilde des Stereo-Komparators mit überraschender Sicherheit vorgenommen werden kann; es ist $\Delta p = \pm 0.01 \text{ mm}$.

Beispiel. Wählt man:

$$x_1 = 50 \text{ mm}, y_1 = 40 \text{ mm}, p = 10 \text{ mm}, \text{ ferner}$$

$$\Delta x_1 = \Delta y_1 = \pm 0.1 \text{ mm}, \Delta p = \pm 0.01 \text{ mm} \text{ und}$$

$$\frac{\Delta b}{b} = \frac{\Delta f}{f} = \pm \frac{1}{1000},$$

so ergeben sich nach den Formeln II), III) und IV) die relativen Fehler der Raumkoordinaten:

$$\frac{\Delta X}{X} = \pm \frac{1}{449}, \frac{\Delta Y}{Y} = \pm \frac{1}{349}, \frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta Z}{Z} = \pm \frac{1}{578}.$$

Die Verschwenkung der Platten, bedingt durch eine nicht präzise Orientierung der Kamera, hat einen großen Einfluß auf den Parallaxenfehler. Eine kleine theoretische Untersuchung zeigt, daß z. B. eine Verschwenkung der Platten um $1'$ einen Parallaxenfehler von $0.01 - 0.02 \text{ mm}$ zur Folge hat.

Von Interesse ist z. B. die Untersuchung über die Wahl der Länge der Basis bei einer stereophotogrammetrischen Aufnahme.

Die Ordinate Y gibt den Abstand des Raumpunktes von der Basis; ihr Fehler, welcher sozusagen als der Fehler in der Distanz des Punktes von der Basis gelten kann, wird nach Heranziehung der Gleichung 4), wenn $\Delta b = \Delta f = 0$ angenommen werden, sein:

$$\Delta Y = -\frac{b \cdot f}{p^2} \Delta p \text{ oder auch} = \frac{b \cdot f}{p^2} \Delta p \dots \dots \dots 7)$$

oder, da $Y = \frac{b}{p} f$ ist, auch

$$\Delta Y = -\frac{Y^2}{b \cdot f} \Delta p \text{ oder auch} = \frac{Y^2}{b \cdot f} \Delta p \dots \dots \dots 8)$$

Der Fehler in der Distanz nimmt mit dem Quadrate der Entfernung zu und wird um so kleiner, je länger die Basis und die Brennweite sind.

Diese Gleichung gestattet, bei bestimmten Angaben, z. B.

$$f = 250 \text{ mm}, Y = 500 \text{ m}, \Delta p = 0.01 \text{ mm},$$

wenn der tolerierte Fehler in der Distanz $\Delta Y = 0.5 \text{ m}$ beträgt, die Basislänge mit:

$$b = \frac{Y^2}{f} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta Y} = \frac{500^2 \cdot 0.00001}{0.25 \cdot 0.5} = 20 \text{ m}.$$

zu bestimmen.

Der mittlere Fehler nimmt mit der Entfernung der Punkte rasch zu, so beträgt er für dieselbe Basis von 20 m bei 600 m schon 0.72 m, bei 700 m ist er 0.98 m und bei 1000 m bereits 2 m.

350. Vorteile der Stereophotogrammetrie. Die Stereophotogrammetrie besitzt gegenüber der alten Methode, wo durch Rayonieren und Schneiden nach mühevoller Punktidentifizierung die Bestimmung der Situation vorgenommen wird, eine Reihe nicht zu unterschätzender Vorteile, die nachfolgend zusammengestellt erscheinen:

1. Das Identifizieren der zu bestimmenden Bildpunkte entfällt, was eine ganz bedeutende Erleichterung der Hausarbeit bedeutet, weil gerade das Aufsuchen korrespondierender Punkte auf zwei oder mehreren Photographen im höchsten Maße lästig, zeitraubend und anstrengend für die Augen ist. Die im Raume schwebende Marke des Stereo-Komparators läßt sich mit gleicher Schärfe auf einen beliebigen Punkt des im Stereo-Komparator erscheinenden plastischen Raumbildes einstellen.
2. Durch die kürzeren Standlinien in der Stereophotogrammetrie wird der Einblick in das aufgenommene Terrain ein viel reichhaltigerer, der Inhalt der Aufnahmen wird viel ergiebiger, wie bei gewöhnlicher Photogrammetrie, wo die Grundlinien aus Gründen der Genauigkeit bedeutend länger gewählt werden müssen. Die Anzahl der photogrammetrischen Stationen kann in der Stereophotogrammetrie nicht unbedeutend reduziert werden, was eine namhafte Abkürzung der kostspieligen Feldarbeit zur Folge hat.
3. Die Stereophotogrammetrie leidet nicht an der Verwendungsbeschränkung der gewöhnlichen Photogrammetrie; während diese mit wirklichem Erfolge nur im Hochgebirge brauchbar ist, wird die Stereophotogrammetrie im Berg- und Hügellande, ja sogar in bewaldeten Gegenden gleich anwendbar, wenn nur günstig gelegene Standpunkte einen genauen Einblick in die Formgliederung des Terrains gestatten.
4. An die Technik der photographischen Bilder werden in der Stereophotogrammetrie nicht jene hohen Forderungen gestellt wie bei der gewöhnlichen Photogrammetrie, weil auch flauere und harte, in den Schatten nur

wenig detaillierte und ungünstig beleuchtete Bilder im Stereoskope ein fast tadelloses Relief geben, das mit dem Komparator bequem ausgemessen werden kann.

5. Die flachen Bilder der Photogrammetrie werden in der Stereophotogrammetrie durch Raumgebilde ersetzt, an welchen Messungen vorgenommen werden.

Im Stereo-Komparator sehen wir ein Modell der Landschaft vor uns, freilich nicht in den Dimensionen der Natur, sondern ein Miniaturbild, an dem jederzeit bequem im Zimmer Studien und Messungen ausgeführt werden können.

Das Mikroskop-Stereoskop des Komparators besitzt wohl ein kleines Gesichtsfeld und beschränkt die plastische Wiedergabe auf einen engen Bezirk; nach Auswechslung desselben durch ein Telestereoskop mit Spiegeln nach Helmholtz wird es möglich, die ganze Landschaft der Stereogramme in ihrer Plastik zu bewundern.

351. Stereoplotter und Stereo-Autograph. In den letzten Jahren beschäftigten sich mehrere Personen mit der Frage, den Pulfrichschen Stereo-Komparator in der Weise auszugestalten, daß die Ablesungen an den Koordinatenmaßstäben und der Parallaxenschraube teilweise oder ganz eliminiert und dafür die mit den Platten ausgeführten Verschiebungen auf ein mit dem Stereo-Komparator verbundenes Zeichenbrett übertragen werden, so zwar, daß die Lage- und eventuell auch die Höhenbestimmung sozusagen selbsttätig erfolgt. Es sind automatische Kartierungsinstrumente entstanden, die das stereoskopische Meßverfahren in fruchtbarster Weise auswerten.

Der englische Offizier F. V. Thompson gab die Konstruktion eines Apparates an, den er Stereoplotter benannt hat, und der im mathematisch-mechanischen Institute von Watson & Sons in London ausgeführt wurde; er ist eine Ausgestaltung des Stereo-Komparators, bei dem die Ablesungen an den Maßstäben für die Abszissen und Ordinaten entfallen; die Verschiebungen der Platten werden mittels Schrauben ohne Ende auf ein mit dem Komparator festverbundenes Zeichenbrett übertragen, auf welches dann die auf der Parallaxenschraube direkt abgelesenen Entfernungen der im Komparator eingestellten Punkte aufgetragen werden, so daß die Situation unmittelbar erhalten wird.

Der Stereoplotter setzt eine konstante Basis voraus, denn nur dann ist es möglich, an der Parallaxenschraube unmittelbar die Distanzen abzulesen; es liegt auf der Hand, daß Stereoaufnahmen mit konstanter Basis im Terrain großen Schwierigkeiten begegnen werden und dieser Apparat an einem nicht unwesentlichen Übel krankt.

Oberleutnant E. v. Orel des k. u. k. Militärgeographischen Institutes in Wien hat bereits vor zwei Jahren eine Ausgestaltung des Stereo-Komparators ersonnen, bei welcher ein Mechanismus nach ausgeführter Einstellung eines Punktes im Komparator durch die Position eines Pikierstiftes die Situation des betreffenden Punktes registriert. Hierbei erfolgt keine Ablesung an der Parallaxen-

schraube; v. Orel ist es auch gelungen, den Apparat für beliebige Standlinien und Brennweiten zu konstruieren und außerdem das unmittelbare Legen von Schichtenlinien vorzunehmen. Der Beobachter führt auf dem im Komparator sich bietenden Terrainmodell die Marke in der Schichtenlinie und der Apparat zeichnet automatisch ihre horizontale Projektion.

Das Versuchsinstrument wurde in der Wiener mathematisch-mechanischen Werkstätte der Gebrüder Rudolf & August Rost ausgeführt und das Zeiß-Werk hat die weitere Durchbildung des interessanten Apparates übernommen. Das erste Instrument, Stereo-Autograph genannt, wurde im Herbste 1909 nach eingehenden Studien von Dr. Pulfrich und v. Orel fertiggestellt und wurde seine Leistungsfähigkeit im k. u. k. Militärgeographischen Institute in Wien überprüft, wobei, was die Genauigkeit und Präzision der Funktion des Apparates betrifft, geradezu überraschende Resultate erzielt worden sind.

Es mag nicht unerwähnt bleiben, daß auch der k. u. k. technische Oberoffizial im k. u. k. Militärgeographischen Institute zu Wien, J. Tschamler, seit Jahren fruchtbare Ideen zur automatischen Situationsbestimmung mittels des Komparators verfolgt, die zum Teile bereits an seinem Modelle verwirklicht erscheinen.

Literatur zu „Photogrammetrie“ und „Stereophotogrammetrie“.

1. Deville: *Photographic Surveying*, Ottawa 1895.
2. Doležal: *Die Anwendung der Photographie in der praktischen Meßkunst*, Halle a. S. 1896.
3. Doležal: „Genauigkeit und Prüfung stereophotogrammetrischer Aufnahmen“ in *Österreichischer Zeitschrift für Vermessungswesen* 1907.
4. Doležal: *Hand- und Lehrbuch der Photogrammetrie*, in Vorbereitung.
5. Finsterwalder: „Terrainaufnahme mittels Photogrammetrie“ im *Bayerischen Gewerbe- und Industrieblatte*, München 1890.
6. Finsterwalder: „Die geometrischen Grundlagen der Photogrammetrie“ im *Jahresbericht der Deutschen Mathematikervereinigung*, 1898.
7. Finsterwalder: *Photogrammetrie in Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften mit Einschluß ihrer Anwendungen*, Band VI 1, Heft 1, Leipzig 1906.
8. Flemer: *An elementary treatise on Phototopographic Methods and instruments*, New-York 1906.
9. Hauck: „Neue Konstruktionen der Perspektive und Photogrammetrie“ im *Journal für reine und angewandte Mathematik*, 95. Band. 1883.
10. Hauck: „Theorie der trilinearen Verwandtschaft ebener Systeme“, ebendasselbst, 95., 97. und 98. Band, 1883 und 1884.
11. Baron Hübl: „Beiträge zur Stereo-Photogrammetrie“ in den *Mitteilungen des k. u. k. Militärgeographischen Institutes in Wien*, XXIV. Band, 1905.
12. Baron Hübl: „Die photogrammetrische Terrainaufnahme“ in den *Mitteilungen des k. u. k. Militärgeographischen Institutes*, XIX. Band, 1899.
13. Baron Hübl: „Die topographische Aufnahme des Karleisfeldes in den Jahren 1899 und 1900“ in den *Abhandlungen der k. k. Geographischen Gesellschaft in Wien*, 1901.
14. Baron Hübl: „Die stereophotogrammetrische Terrainaufnahme“ in den *Mitteilungen des k. u. k. Militärgeographischen Institutes*, XXIII. Band, 1903.

15. **Baron Hübl:** „Die Stereophotogrammetrie“, ebendasselbst, XXII. Band, 1902.
16. **Internationales Archiv für Photogrammetrie:** I. Band, Wien 1909.
17. **de Iriarte e Navarro:** Topografía fotografica, Madrid 1899.
18. **Jordan:** „Über die Verwertung der Photographie zu geometrischen Aufnahmen“ in der Zeitschrift für Vermessungswesen, 1876.
19. **Klingatsch:** „Die Fehlerkurven der photographischen Punktbestimmung“ in den Sitzungsberichten der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, CXV. Band, Wien 1906.
20. **Koppe:** Die Photogrammetrie oder Bildmeßkunst, Weimar 1889.
21. **Koppe:** Photogrammetrie und internationale Wolkenmessung, Braunschweig 1896.
22. **Laussedat:** Recherches sur les instruments, les méthodes et les dessins topographiques, Paris 1898—1903.
23. **Laussedat:** Zahlreiche Aufsätze in den französischen Zeitschriften: Mémorial de l'officier du génie, Comptes rendus, Bulletin de la Société française de la Photographie.
24. **Le Bon:** Les levers photographiques et la photographie en voyage, 2 vol., Paris 1889.
25. **Legros:** Sommaire de Photogrammétrie, Paris 1892.
26. **Meydenbauer:** Das photographische Aufnehmen zu wissenschaftlichen Zwecken, insbesondere das Meßbildverfahren, Band I, Berlin 1892.
27. **Paganini:** La Fotogrammetria, Milano 1900.
28. **Pollack:** „Über photographische Meßkunst, Photogrammetrie und Phototopographie“ in den Mitteilungen der k. k. Geographischen Gesellschaft in Wien, 1891.
29. **Pulfrich:** Neue stereoskopische Methoden und Apparate für die Zwecke der Astronomie, Topographie und Metronomie, I. Lieferung, Berlin 1903.
30. **Pulfrich:** „Über einen Versuch zur praktischen Erprobung der Stereophotogrammetrie für Zwecke der Topographie“ in der Zeitschrift für Instrumentenkunde, 1904.
31. **Pulfrich:** „Über die Anwendung des Stereokomparators für die Zwecke der topographischen Punktbestimmung“ in der Zeitschrift für Instrumentenkunde, 1904.
32. **Pulfrich:** „Über ein neues Verfahren der Körpermessung“ im Archiv für Optik, I. Band, 1907.
33. **Rohr:** Die binokularen Instrumente, Leipzig 1906.
34. **v. Rummer:** „Die Photogrammetrie im Dienste der Militärmapping“ in den Mitteilungen des k. u. k. Militärgeographischen Institutes, Band XVI, 1896.
35. **Scheimpflug:** „Die Herstellung von Karten und Plänen auf photographischem Wege“ in den Sitzungsberichten der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, CXVI. Band, Wien 1907.
36. **Schell:** „Die stereophotogrammetrische Ballonaufnahme für topographische Zwecke“ in den Sitzungsberichten der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, CXV. Band, Wien 1906.
37. **Schell:** „Der Phototheodolit von Professor Dr. Schell“, Originalmitteilung in Eders Handbuch der Photographie, Band I, 2. Hälfte, Halle a. S. 1892.
38. **Schell:** Der photogrammetrische Stereoskopapparat, Wien 1904.
39. **Schell:** Die stereophotogrammetrische Bestimmung der Lage eines Punktes im Raume, Wien 1904.
40. **Schiffner:** Die photographische Meßkunst, Halle a. S. 1892.
41. **Steiner:** Die Photographie im Dienste des Ingenieurs, Wien 1891 und 1894.
42. **Thiele:** Phototopogrammetrie nach ihrem gegenwärtigen Stande, 3 Bände, St. Petersburg 1908.
43. **Vallot:** Applications de la Photographie aux levés topographiques en haute montagne, Paris 1907.
44. **Wang:** „Die Photogrammetrie oder Bildmeßkunst im Dienste des Forsttechnikers“ in den Mitteilungen des krainisch-küstenländischen Forstvereines, Laibach 1893.

Zahlreiche Aufsätze über Photogrammetrie von Schiffner, Pollack, Pulfrich, Steiner, Doležal, . . . findet man in den Zeitschriften:

Archiv für Photogrammetrie,
Mitteilungen aus dem Gebiete des Seewesens,
Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur- und Architektenvereines,
Zeitschrift für Instrumentenkunde,
Photographische Korrespondenz,
Zentralblatt für das gesamte Forstwesen u. s. w.

Jährliche Literaturzusammenstellungen über „Arbeiten und Fortschritte auf dem Gebiete der Photogrammetrie“ von E. Doležal in Dr. Eders Jahrbuch für Photographie und Reproduktionstechnik, Jahrgänge 1897 bis 1902 und 1908.

Vierter Abschnitt.

Die Militäraufnahme.

§ 37. Militärtopographische Aufnahme.

352. **Einleitung.** Neben der Katastralaufnahme wird in den meisten Staaten auch noch eine zweite Vermessung ausgeführt, welche das ganze Staatsgebiet umfaßt; es ist eine topographische Aufnahme, in Österreich Militärmappingung genannt.

Die Militärmappingung und andere geodätische Arbeiten werden durch das k. u. k. Militärgeographische Institut in Wien ausgeführt, welches unter Leitung des k. k. Generalstabes steht.

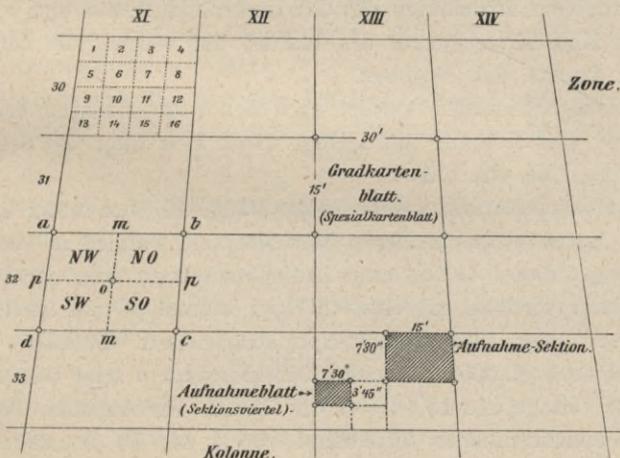


Fig. 290.

Die Neuaufnahme der Monarchie im Maße 1:25.000, welche im Jahre 1896 begonnen wurde, hat den Zweck, nicht nur ein vorzügliches Grundmaterial für Militärkarten zu liefern, sondern sie soll auch mannigfachen zivilen und wissenschaftlichen Zwecken dienen.

Zur Darstellung kleinerer Teile ist das Gradkartensystem angenommen (Fig. 290).

Ein Gradkartenblatt hat die Gestalt eines Trapezes und stellt einen von Meridian- und Parallelbogen begrenzten Teil der Erdoberfläche dar; die Ausdehnung des Gradkartenblattes in der Richtung des Parallelkreises beträgt $30'$ und in der Richtung des Meridianes $15'$, dasselbe kann ohne merklichen Fehler als eben wie auch als von geraden Linien begrenzt angenommen werden.

Durch die im Abstände von $30'$ Längendifferenz geführten Meridiane wird das Areal der Monarchie in von Nord nach Süd verlaufende Streifen zerlegt, die Kolonnen genannt und von West nach Ost mit römischen Ziffern bezeichnet werden; die im Abstände von $15'$ geführten Parallelkreise schließen die Zonen ein, deren Flächenstreifen von Ost nach West verlaufen und von Nord nach Süd mit arabischen Zahlen versehen sind.

Dadurch wird über die ganze Monarchie ein Netz gezogen, das die Aufnahme in Gradkartenblätter zerlegt, deren Zahl 763 beträgt.

Mehrere Spezialkartenblätter lassen sich nicht genau aneinander schließen, sondern sie klaffen.

Durch die Angabe der Zone und Kolonne ist jedes Gradkartenblatt unzweideutig bestimmt; das in der Fig. 290 beschriebene wird bezeichnet: Gradkartenblatt XIII, 31.

Jedes Gradkartenblatt wird durch die von Nord nach Süd gezogene Mittellinie mm und eine dieselbe halbierende Gerade pp in vier Teile geteilt: Aufnahmesektionen, früher Mappingsektionen genannt.

Die gezogenen Mittellinien des Gradkartenblattes mm und pp bilden das rechtwinklige Koordinatensystem des Blattes, auf welches die aufzutragenden triangulierten Punkte sich beziehen.

Die Aufnahmesektionen werden nach den Weltrichtungen benannt, wozu noch die Zone und Kolonne hinzugefügt wird; z. B. trägt die Sektion $amop$ die Bezeichnung: XI, 32, NW.

Jede Aufnahmesektion, welche in der Länge $15'$ und in der Breite $7' 30''$ besitzt, wird durch einen mittleren Meridian und Parallel in vier sphärische Vierecke zerlegt; dieser 4. Teil einer Aufnahmesektion oder der 16. Teil eines Gradkartenblattes wird als ein ebenes Trapez betrachtet und führt den Namen „Sektionsviertel“ oder „Sechzehntel“-Spezialkartenblatt. Es bildet die Einheit für die Aufnahme 1:25.000 und heißt „Aufnahmeblatt“; seine Dimensionen sind $30':4 = 7' 30''$ Länge und $15':4 = 3' 45''$ Breite. Die Aufnahmeblätter werden in jedem Spezialkartenblatte fortlaufend von 1 bis 16 numeriert und jedes einzelne dann durch die zugehörige Zahl bezeichnet.

Die Detailaufnahme wurde in früheren Zeiten fast ausschließlich mit dem Meßtische hergestellt; heute wird die optische Distanz- und Höhenmessung mit großem Vorteile bei der Neuaufnahme benützt und in schwer zugängigen Gebieten auch die Photogrammetrie herangezogen.

353. Grundzüge der Militäraufnahme (Militärmapping). Die Originalaufnahme wird im Maße 1:25.000 ausgeführt; sie basiert auf einer Anzahl von Punkten, Trigonometern, die in ihrer horizontalen Lage und absoluten Höhe

genau festgelegt sind. Für die Zeichnung des Details werden die Katastermappen benützt, welche vom größten Teile der Monarchie im Maße 1:2880 vorliegen. Diese Mappen werden entsprechend reduziert und der Inhalt zwischen die Fixpunkte des Aufnahmeblattes eingetragen.

Forstkarten, Eisenbahntrassenpläne und sonstiges gutes kartographisches Material werden zur Vervollständigung des Aufnahmeblattes verwendet.

Die Arbeiten der Militärmappierung gliedern sich in Vorbereitungsarbeiten, Sommer- und Winterarbeiten.

I. Vorbereitungsarbeiten.

354. Die k. u. k. Offiziere, welche die Militäraufnahmen ausführen, nennt man Mappedeure und sie haben die vorbereitenden Arbeiten ihrer Aufnahme-sektionen zu besorgen; diese umfassen:

1. Konstruktion des Aufnahmetrapezes und Auftragen der triangulierten Punkte. Die Einheit für die Aufnahme 1:25.000 bildet das Sektionsviertel oder das „Aufnahmeblatt“.

Auf ein Zeichenbrett (Meßtischbrett) wird der Rahmen des Aufnahmeblattes scharf konstruiert und überprüft. Jeder trigonometrische Punkt wird durch seine rechtwinkligen Koordinaten gegeben und auf das durch die Blattmitte gehende Achsensystem bezogen und aufgetragen. Die aufgetragenen Punkte werden durch ihre Abstände kontrolliert. Auf ein Aufnahmeblatt kommen 15 bis 20 trigonometrische Punkte.

Alle Unterlagen für die Konstruktion werden von der geodätischen Gruppe des k. u. k. Militärgeographischen Institutes der Mappingsabteilung geliefert.

2. Eintragung des Katastergerippes. Die geodätische Gruppe gibt die Daten, nach welchen in dem konstruierten Sektionsviertel das Katasterkoordinatennetz bestimmt werden kann; dadurch wird es dann möglich, das Katastergerippe, d. i. die Kultur- und Besitzgrenzen, Kommunikationen u. s. w., mit Sorgfalt einzutragen.

Die Erfahrungen des k. u. k. Militärgeographischen Institutes gehen dahin, daß durch die bedeutende Reduktion des Katasters bei Eintragung in die Aufnahmeblätter alle kleinen Mängel vollständig verschwinden.

Die Reduktion der Katastersektionen in die Aufnahmeblätter wird mit dem Hängepantographen (Band I, Nr. 377) ausgeführt.

Nun erfolgt die zeichnerische Ausführung des pantographierten Katastergerippes.

3. Verwertung anderen kartographischen Materiales. Liegen verlässliche geodätische Arbeiten vor, so werden sie nach richtiger Orientierung in das Aufnahmeblatt pantographiert; ist die Orientierung nicht sicher möglich, so fertigt sich der Mappedeur Kopien von den Originalaufnahmen mittels des

Pantographen im Maße 1:25.000 an und sorgt dann bei der Feldarbeit dafür, daß das Einpassen der Aufnahme durch Schaffung der erforderlichen Orientierungspunkte möglich wird.

II. Sommerarbeit oder die eigentliche Feldaufnahme.

355. Diese umfaßt alle im Terrain durchzuführenden Aufnahmearbeiten und die Sammlung topographischer und statistischer Daten für die definitive Ausführung der Aufnahme.

Die Mapperausrüstung für die Sommerarbeit besteht neben verschiedenen Behelfen: Instruktion für die Landesaufnahme, Zeichenschlüssel u. s. w., was die geodätische Aufnahme direkt betrifft, aus

1. dem aufgespannten Aufnahmeblatte mit den trigonometrischen Punkten und dem reduzierten Katastergerippe, nebst den zugehörigen Oleaten (Pausen) und Konstruktionsblättern,
2. einer photographischen Kopie der bestehenden Aufnahme 1:25.000 des betreffenden Rayons sowie einem Schwarz- und Blaudrucke der Spezialkarte 1:75.000 und
3. instrumentellen Hilfsmitteln, umfassend:
 - a) den Detaillierapparat:
 - α) Meßtisch mit zwei Stativen und einer Handhabe;
 - β) Hilfsinstrumente: Libelle, Bussole, Perspektivlineal, ein Diopterlineal, eine Distanz- und Pikiervorrichtung und
 - γ) andere Behelfe zur Verwahrung der Apparate;
 - b) das Höhen- und Distanzmeßinstrument mit Stativ und Nivellierlatte,
 - c) das Aneroidbarometer samt Thermometer und
 - d) sonstige Hilfsmittel, Zeichenrequisiten u. s. w.

Nachdem der Mappeur die Topographien der trigonometrischen Punkte seines Aufnahmegebietes, die Höhenkoten der in seinem Arbeitsrayon befindlichen Punkte des Präzisionsnivelements besitzt, sich ferner nach verwertbaren Privatmappen, Forstkarten u. s. w. umgesehen hat, so kann er nach Erledigung der durch die Instruktion vorgeschriebenen notwendigen Vorbereitungen an die Feldarbeiten schreiten.

Diese gliedern sich:

1. in das Rekognoszieren und Zeichensetzen,
2. in die große oder graphische Triangulierung und das trigonometrische Höhenmessen,
3. in das Detaillieren,
4. in die Zimmerarbeiten,
5. in die photographischen und photogrammetrischen Aufnahmen,

1. Rekognoszieren und Zeichensetzen. Auf der photographischen Kopie der bestehenden Aufnahme werden alle trigonometrischen Punkte und jene Stellen bezeichnet, die sich als graphische Standpunkte eignen und sicher bestimmt werden können; die graphischen Standpunkte werden in den tieferliegenden Teilen gewählt.

Im allgemeinen reichen 20 bis 25 graphische Standpunkte für ein Aufnahmeblatt aus, sie geben mit den gegebenen trigonometrischen Punkten 35 bis 45 Punkte für die Sektion.

Nach der Rekognoszierung des Arbeitsraumes, die von einem erhöhten Trigonometrieren begonnen wird, werden fehlende und schadhafte Pyramiden aufgestellt, respektive repariert und auf den aufgesuchten Punkten Stangensignale, eventuell Steinmandeln errichtet und auch Baumsignale verwendet (Band I, Nr. 457).

Es ist selbstverständlich, daß die Auswahl der graphischen Standpunkte mit Überlegung vorgenommen wird; Fixpunkte, als Kirchturmspitzen, Blitzableiter u. dgl., werden in das Netz einbezogen.

2. Die große graphische Triangulierung und das trigonometrische Höhenmessen. Die graphische Triangulierung bezweckt die Bestimmung der Fix- und Standpunkte auf dem Aufnahmeblatte; sie wird mit dem großen Meßtische (Aufnahmeblatte) mit Benützung des massiven Statives und des Perspektivlineales ausgeführt.

Die neuen Punkte werden durch Vorwärtseinschneiden von günstig gelegenen Trigonometern bestimmt und kontrolliert.

Die Lage eines Punktes ist dann sicher anzunehmen, wenn der Punkt einen Kontrollschnitt hat.

Gelegentlich der graphischen Triangulierung wird auch die Richtigkeit des Katastergerippes durch Stichproben überprüft.

Anmerkung. Wenn der benützte Standpunkt im Hochgebirge liegt und bei der Aufnahme kaum mehr aufgesucht werden sollte, so wird schon jetzt die Detailaufnahme der nächsten Umgebung des Standpunktes vorgenommen.

Die Höhenmessungen werden sofort nach der Meßtischarbeit in den einzelnen Standpunkten für die graphische Triangulierung vorgenommen; sie erfolgen auf trigonometrischem Wege bei Benützung des Höhen- oder Distanz-instrumentes, das im allgemeinen ein Universalinstrument ist.

Die Vertikalwinkel φ werden mit dem Vertikalkreise direkt gemessen und die Höhe aus der Gleichung:

$$H = D \operatorname{tg} \varphi + (J - V)$$

erhalten, wobei die Horizontalabstand aus dem Aufnahmeblatte entnommen wird; J ist die Instrument- und V die Zielhöhe.

3. Das Detaillieren. Dieses wird auf dem Detaillierbrette mit Benützung des leichteren Statives und Diopterlineales und einer Handhabe ausgeführt und umfaßt nachstehende Aufnahmearbeiten:

- a) das Aufnehmen des vollständigen Gerippes einschließlich der Kulturbezeichnung (Horizontalaufnahme),

- b) die Aufnahme der Terrainformen mittels Schraffen, Messen der Böschungswinkel und Ausführung der erforderlichen Höhenmessungen (Vertikal-aufnahme) und
- c) das Sammeln der notwendigen Daten für die Nomenklatur, für das topographische Detail und für die Ausführung der Zeichnung.

a) Die Horizontalaufnahme liegt zum großen Teile durch die eingetragene reduzierte Katasteraufnahme vor; es handelt sich also bloß darum, die Darstellung nach dem Zeichenschlüssel zu machen, Nachtragungen, kleine Berichtigungen und eventuelle Ergänzungen zu bewirken.

Wo das Katastergerippe unzureichende Anhaltspunkte für die Neueintragungen bietet, müssen durch eine Detailtriangulierung, welche sich auf die gegebenen trigonometrischen und graphisch bestimmten Fix- und Standpunkte stützt, verlässliche Grundlagen geschaffen werden.

Die Detailtriangulierung oder kleine graphische Triangulierung genannt, weil sie in früheren Zeiten ausschließlich graphisch durchgeführt wurde, wird bei der Neuaufnahme der Monarchie entweder numerisch, auf optischem Wege, oder graphisch, mit dem Meßtische, ausgeführt.

Im offenen Terrain wird das numerische Verfahren verwendet, wobei die neu zu beschaffenden Punkte nach dem Prinzip der Polarmethode durch den Polarwinkel und die Distanz und Höhe festgelegt werden. Dort, wo die großen Entfernungen der trigonometrischen und graphischen Punkte und das bedeckte Terrain die Verwendung der optischen Distanzmessung nicht zulassen, im Hochgebirge, in ausgedehnten Waldungen, erfolgt die Punktbestimmung durch eine graphische Triangulierung, welche die kleine graphische Triangulierung heißt.

Die Aufnahmemethoden, welche beim Detaillieren des Gerippes benützt werden, richten sich selbstverständlich nach den obwaltenden Umständen. Es kommt zur Verwendung:

- α) Das Detaillieren im Alinement (Rayonieren und Messen), wobei um einen Mittelrayon ganze Terrainstreifen festgelegt werden; dies geschieht heute optisch, respektive tachymetrisch.
- β) Das Detaillieren im Alinement auf der Hand (Rayonieren auf der Hand), wobei das Detaillierbrett mit der Handhabe tunlichst horizontal und mittels Bussole oder nach einem Fixpunkte orientiert gehalten und mit freier Hand ein Rayon gezogen wird, auf welchem die geschätzte oder abgeschrittene Distanz aufgetragen wird.
- γ) Die Arbeit am Rayone besteht darin, daß man sich direkt gegen ein Objekt in der Natur bewegt und den betreffenden Rayon am Brette zieht; auf diesen Rayon werden Punkte von Grenzlinien durch rechtwinklige Koordinaten oder durch Rayone auf bereits festgelegte Punkte bezogen.
- δ) Das Detaillieren mit Springständen, welches beim Aufnehmen von längeren Gerippelinien, Waldlisièren, Waldwegen, Wasserläufen u. s. w. zur Anwendung gelangt.

ε) Das Detaillieren nach der Koordinatenmethode, welches Verfahren vornehmlich bei Aufnahmen von Wohngebäuden, Kommunikationen u. s. w. verwendet wird.

β) Die Vertikalaufnahme zerfällt

α) in das Detaillieren des Terrains und

β) in die Höhenmessungen.

α) Das Detaillieren des Terrains. An die Darstellung der Terrainformen wird geschritten, wenn die Gerippaufnahme (Horizontalaufnahme) im betreffenden Standpunkte abgeschlossen ist.

Es werden an allen Terraingerippllinien Falllinien und Schraffen gezogen; im flachen Terrain zieht man die leichter kennbaren Horizontalen und setzt die Falllinien an. Formenlinien, an denen die Böschung wechselt, müssen wie Terraingerippllinien aufgenommen werden.

Diese an Ort und Stelle gesammelten Daten, Fall- und Formenlinien mit den angedeuteten Schraffen, bilden die Grundlage für die Terraendarstellung und Zeichnung.

Detailbodenformen werden schon beim Detaillieren ausschraffiert; die Hauptformen, der Zusammenhang und die Verbindung der einzelnen Formen wird durch das Vis-à-vis-Zeichnen von einem oder mehreren günstigen Standpunkten, welche der betreffenden Terrainpartie gegenüberliegen, dargestellt.

Das Detaillieren des Terrains beginnt am zweckmäßigsten auf den Oberseiten: Kuppen, Sätteln u. s. w.; falls die Horizontalaufnahme nicht genug Anhaltspunkte bietet, so werden die nötigen Detailpunkte tachymetrisch festgelegt.

Es ist klar, daß die vieljährigen Erfahrungen geschickter Mappeure für das Detaillieren des Terrains im Flach- und Gebirgslande, für Karst, Felsen und Gletscher wertvolle Anhaltspunkte bieten, welche in den bezüglichen Detailbestimmungen der Instruktionen niedergelegt sind und in der Mappeurschule des k. u. k. Militärgeographischen Institutes in Wien zur praktischen Ausführung gelangen.

Da die Böschungsverhältnisse des Terrains von großer militärischer Bedeutung sind, so werden auch zum teilweisen Ersatze von Höhenmessungen Böschungswinkel mit dem Böschungsmesser ermittelt.

β) Höhenmessungen. Um den Entwurf der Schichtenlinien zu ermöglichen und die Terraendarstellung abzuschließen, werden Höhenmessungen ausgeführt. Zu den gegebenen Höhen der triangulierten Punkte und Fixpunkte des Präzisionsnivelements kommen die Höhen der bei der großen graphischen Triangulierung bestimmten Netzpunkte, die untereinander ausgeglichen sind. Außer diesen hat man Höhen- und Tiefenlinien, Punkte der Kommunikationen auf Sätteln, Rasten, Rückfallkuppen u. s. w. zu ermitteln, welche zu den Detailhöhenmessungen gehören; sie können

1. mit dem Mappeurhöhenmesser auf trigonometrischem Wege,
2. mit Aneroiden und
3. durch ein geometrisches Nivellement

bestimmt werden.

Im offenen Terrain wird man von gegebenen trigonometrischen Punkten ausgehend, trigonometrisch die Höhen bestimmen; in ausgedehnten Waldungen und Auen, wo die Fernsicht mangelt, werden Punkte aneroidisch festgelegt; besonders wichtige Punkte, die nicht trigonometrisch bestimmt werden können und für welche die barometrische Bestimmung unzureichend ist, werden durch ein geometrisches Nivellement an gegebene Punkte angeschlossen.

Die Zahl der Höhenpunkte ist aus folgender Tabelle ersichtlich.

Terraingattung des Aufnahmeblattes	Anzahl der gemessenen Höhenpunkte	
	im Aufnahmeblatte	für 1 km ²
Flachland,	300—600	4—9
Mittel- und Hoch- gebirge,	800—1200	12—15
sehr detailliertes Hügel- und Bergland	1200—1500	15—22

Der Höhe nach bestimmte Punkte werden stets so gewählt, daß sie leicht zugänglich und auffindbar sind, also an Kommunikationen bei Brücken, Straßenkreuzungen, an markanten Objekten: Martersäulen, Bildstöcken, einzelstehenden Gebäuden u. s. w.

Der vierte Teil der Höhenpunkte eines Aufnahmeblattes muß mehrfach kontrolliert sein.

Nach den Vorschriften der Militäraufnahme ist

c) die Feststellung der Nomenklatur ein wichtiges Geschäft bei der Mappierung; die Eigennamen von Ortschaften, Gehöften, Gewässern, Bergnamen u. s. w. müssen mit Sorgfalt und bei Beachtung aller Vorsichten in gemischt-sprachigen Gebieten erhoben werden; es muß bei der Beschreibung des Aufnahmeblattes jede Überfüllung mit Namen vermieden und die Auswahl mit Überlegung getroffen werden.

4. Die Zimmerarbeiten sind während der Sommerkampagne bei ungünstiger Witterung vorzunehmen, sie vervollständigen die Feldarbeiten. Es wird die Auszeichnung des ganzen Gerippes (Horizontalaufnahme) in Tusche, beziehungsweise Farbe auf dem Aufnahmeblatte vorgenommen; doch darf an der Terrainzeichnung nichts geändert werden. Ferner werden mehrere nützliche Oleaten (Pausen) hergestellt, und zwar:

- a) Kulturoleaten auf Strohpapier zum leichteren Auffinden der Kulturparzellen;
- b) Punktoleaten auf Pausleinwand, welche das Register für Höhenmessungen und Höhenrechnungen des Mappeurs bilden, da auf denselben alle Höhenkoten enthalten sind, und
- c) Schriftoleaten (Strohpapier), enthaltend die Nomenklatur des Aufnahmeblattes.

Diese Oleaten werden täglich nach Beendigung der Arbeit ergänzt und sind sehr gewissenhaft zu führen.

5. Photographische und photogrammetrische Aufnahmen. Landschaftsbilder, mit gewöhnlichen photographischen Apparaten ausgeführt, werden im Bereiche des [Aufnahmeblattes 3 bis 5 hergestellt und dienen dazu, den Charakter der Bodenbeschaffenheit und Bodenbedeckung des Aufnahmegebietes zu illustrieren; sie werden mit Vorteil bei der Bearbeitung der Reinzeichnung verwertet.

Nach eingehenden und sorgfältigen Versuchsaufnahmen steht seit dem Jahre 1894 bei der Militärmappierung im Hochgebirge, die Festlegung auf photogrammetrischem Wege im Gebrauche.

Die neuen Aufnahmeblätter der Tatra, des Triglav- und Mangartgebietes und der Dolomiten zeigen gegenüber den älteren Aufnahmen die großen Vorzüge, welche die Photographie für die charakteristische Darstellung des Hochgebirges bietet.

III. Winterarbeit.

356. Von dem Aufnahmeblatte wird zuerst eine Graphitkopie hergestellt. Die eigentliche Winterarbeit des Mappers besteht in folgenden Arbeiten:

1. Beschreiben der Aufnahmeblätter, wobei die Beschreibung des Details und der Höhenkoten in Tusche ausgeführt wird; daran schließt sich

2. das Reinzeichnen des Gerippes, das mit peinlichster Sorgfalt nach dem Zeichenschlüssel vervollständigt wird; den heikligsten Teil der Zimmerarbeiten bildet

3. der Schichtenentwurf. Die Schichtenlinien werden auf einer Oleate, die auf dem Aufnahmeblatte befestigt wird, entworfen; als Grundlage hiefür dienen die Höhen der bestimmten Punkte, die Schraffierung des Terraindetails und die gemessenen Böschungswinkel.

Nachdem auf der Oleate Höhen-, Tiefen- und Formenlinien sowie Koten eingetragen sind, beginnt man mit dem Entwerfen der Schichtenlinien; dieses erfordert ein stetes Kombinieren der verschiedenen Anhaltspunkte, ein geübtes, die Charakteristik der Formen erfassendes Auge.

Die Schichtenhöhen betragen 100, 20 und 10 *m*; in ganz sanftem Terrain werden auf der Schichtenoleate auch die mit 5 und 2·5 *m* beschriebenen Schichten gestrichelt bestimmt.

Auf der Schichtenoleate werden auch die Koten eingetragen.

4. Die Kotierung der Aufnahmeblätter bildet eine erwünschte Ergänzung der Terraindarstellung durch Schichtenlinien und Schraffen und gewährt große Vorteile.

Es werden im Flachlande und in der Ebene 150 bis 200, im Mittel- und Hochgebirge 200 bis 250 und im detaillierten Hügel- und Berglande 250 bis 300 Höhenkoten in jedem Aufnahmeblatte eingetragen.

5. Das Übertragen und Ausziehen der Schichtenlinien, wobei diese von der Schichtenoleate auf das Aufnahmeblatt gepaust werden; die Zeichnung wird mit Ackermanns Drachenblut vorgenommen.

6. Die Terrainreinzeichnung wird mit größter Sorgfalt nach den Schichtenlinien und der Feldaufnahme, welche die Detailformen zwischen den Schichtenlinien enthält, bewerkstelligt.

Nach vollendeter Schraffierung wird das Aufnahmeblatt alaunisiert und aufgespannt, woran sich

7. die Fertigstellung anschließt, welche das Anlegen der Kulturen und Wasserflächen, der Häuser u. s. w. umfaßt.

Nach sorgfältiger Schlußrevision werden die vier zu einer Sektion gehörenden Aufnahmeblätter vereinigt und reproduziert; eine Kopie dieser Reproduktion wird in Farben adjustiert.

Das Originalaufnahmeblatt und die Originalzeichnungen samt dem übrigen Aufnahmemateriale werden in dem für Originalaufnahmesektionen bestimmten Raum verwahrt.

Nach den Originalaufnahmen werden durch Reduktion die Blätter der Spezialkarte angefertigt; Näheres hierüber im Band II, Nr. 361.

357. Genauigkeit der Höhenkoten. Die Fehler der Höhenkoten der einzelnen Punkte des Präzisionsnivellements können, wie im Band II, Nr. 161 angegeben wurde, nach der Formel $\pm 3\sqrt{D}$ in Millimetern bestimmt werden, wenn D in Kilometern ausgedrückt ist, und für mittlere Entfernungen von Triest gilt als mittlerer Fehler $\pm 0.08 m$.

Diese Nivellementskoten werden nun benützt, um aus ihnen die Höhen der triangulierten Punkte abzuleiten; es werden zu dem Zwecke entweder Seitennivellements nach den triangulierten Punkten ausgeführt oder aber Höhennetze trigonometrisch mit Punkten des Präzisionsnivellements verbunden und streng ausgeglichen.

Die Grundlage für die Höhenbestimmungen des Mappeurs bilden die Koten der Netzpunkte einer Triangulierung III. Ordnung, die von Offizieren für diesen Zweck ausgeführt wird; die so gebildeten Netze stehen mit dem Präzisionsnivellement in häufiger Verbindung und die Fehler der einzelnen Höhen dürfen den Betrag von $\pm 0.5 m$ nicht überschreiten.

Gestützt auf diese Koten ermittelt nun der Mappeur sein Höhennetz, bei welchem wegen der zu befürchtenden Fehler große Horizontalabstände vermieden werden; die Fehler in der Kote dürfen sich im mittelhohen Terrain um $3 m$ bewegen.

Zu den trigonometrisch bestimmten Punkten kommen noch die aneroidisch festgelegten Punkte, welche auf den trigonometrischen Punkten basieren. Die Genauigkeit dieser Koten wird naturgemäß geringer sein als die der trigonometrisch bestimmten Koten, umsomehr als der Mappeur ohne Kontrollaneroid (Quecksilberbarometer) arbeitet.

Im Hochgebirge kommt die photogrammetrische Aufnahme zur Verwendung und da beträgt der Fehler der Koten erfahrungsgemäß 1 bis 3 *m*.

358. Die Kartenrevision. Durch den Bau von Eisenbahnen, Straßen, Gebäuden u. s. w., durch Ausrodung von Wäldern, Regulierung von Gewässern erleidet das Gerippe der Aufnahmeblätter und der Spezialkarte Veränderungen; dadurch wird eine Rektifizierung der Aufnahmesektionen und der nach denselben hergestellten Kartenwerke notwendig, die man Reambulierung nennt. Da aber auch Fehler in den Karten, welche dem Mappeur und dem Kartenzeichner zuzuschreiben sind, sich nicht ganz vermeiden lassen, so stellt sich wohl das Bedürfnis nach einer Revision der Aufnahmeblätter und der Spezialkarte heraus.

Die Kartenrevision hat den Zweck, durch Vergleiche der Spezialkarte 1 : 75.000 mit der Natur die Mängel dieser Karte zu erheben und so zu verbessern, daß sie den militärischen Bedürfnissen entspricht.

Als Grundlage für die Kartenrevision dient gewöhnlich eine auf das Maß 1 : 50.000 vergrößerte Braunkopie der Spezialkarte 1 : 75.000; ein Viertel-Spezialkartenblatt dient als Aufnahmeblatt.

Die Prinzipien, welche bei der Mappierung für die Geripp- und Terrainzeichnung sowie die Nomenklatur gelten, finden mit einigen Einschränkungen wegen des kleineren Maßstabes auch bei der Kartenrevision Anwendung.

Das k. u. k. Militärgeographische Institut hat zur Vornahme der Kartenrevision eine eigene Instruktion erlassen.

§ 38. Militärkartenwerke und ihre technische Verwendung.

359. Die Kartenwerke des k. u. k. Militärgeographischen Institutes, welche in technischen Kreisen ausgedehnte Verwendung finden, sind

1. die Original-Militäraufnahmeblätter im Maße 1 : 25.000 und
2. die Spezialkarte im Maße 1 : 75.000.

Beide Karten enthalten ein geographisches Netz von Parallelkreisen und Meridianen, die unterteilt und beschrieben sind, so daß man die geographische Position, geographische Breite und Länge eines jeden Punktes der Karte bestimmen kann; ferner sind beide Kartenwerke so orientiert, daß bei normaler Lage, in welcher die Beschreibung ausgeführt ist, durch die obere und untere Randlinie die Nord- und Südrichtung angegeben ist, während rechts Ost und links West sich befindet.

Das Terrain ist auf beiden Karten in Schichtenlinien und Schraffen ausgeführt und außerdem sind viele Höhenkoten eingetragen; Fels ist durch eine der Schummerung ähnliche Strichzeichnung, das Gerölle durch Punktierung charakterisiert.

Die Ausführung der Karten erfolgt im allgemeinen in Schwarzdruck, seltener werden die Blätter koloriert.

360. Militäraufnahmeblätter 1:25.000. Kopien der Militäraufnahmeblätter der Österreichisch-ungarischen Monarchie, Bosniens und der Hercegovina sind unmittelbar im Buchhandel nicht erhältlich; photographische Platinkopien der Originalaufnahmesektionen im Maße 1:25.000 werden auf Verlangen angefertigt und beträgt der Preis einer Sektion, die der Ausdehnung des vierten Teiles eines Spezialkartenblattes entspricht, 12 K; die Herstellung dauert etwa 2 bis 3 Wochen.

Bestellungen übernimmt der Kommissionsverlag des k. u. k. Militärgeographischen Institutes: R. Lechner (Wilh. Müller), k. u. k. Hof- und Universitäts-Buchhandlung, Wien I, Graben 31.

Diese Aufnahmeblätter, deren Entstehung in der Militäraufnahme des näheren geschildert wurde, stellen sowohl in Situation als Terraindarstellung eine ganz vorzügliche Leistung vor; die Karte wird wegen der verlässlichen Höhenangaben und der korrekten Wiedergabe der Terrainkonfiguration in Schichten und Schraffen sehr gerne zu generellen technischen Studien herangezogen.

Die konventionellen Bezeichnungen für die Situationsdarstellung werden auf Tafel VI bis IX vorgeführt.

Was die Schichtenlinien betrifft, so haben die Schichtenebenen einen Vertikalabstand von 20 *m*; im flachen Gelände 5, beziehungsweise 2,5 *m* und sind an manchen Stellen im Gerippe, sonst aber durchgehends am Blattrande beschrieben.

Die Schichtenzeichnung ist sehr sorgfältig ausgeführt und die Schichtenlinien können ohne besondere Anstrengung für das Auge gut verfolgt werden, so daß sich Zwischenschichtenlinien bequem und zufolge des klaren und wohldefinierten Terrainformendetails auch sicher interpolieren lassen.

Eigene Höhenkoten werden an markanten Punkten des Terrains angegeben. Über die Genauigkeit der Höhenkoten wurde in Nr. 357 das Nötige gesagt.

Auf Tafel XII ist eine Probe der Militäraufnahme 1:25.000 gebracht; es ist eine Partie aus Steiermark mit Krieglach in der Mitte: Zone 15, Kolonne XIII, SW.

361. Die Spezialkarte 1:75.000. Herstellung. Die Grundlage für die Herstellung der Spezialkarte liefern die Original-Militäraufnahmesektionen im Maße 1:25.000, von welchen photographische Kopien im Maße 1:75.000 hergestellt werden.

Die Zeichnung der Spezialkartenblätter wird von zwei Zeichnern ausgeführt, dem Gerippe- und dem Terrainzeichner.

Der Gerippezeichner trägt mit einem Auftragapparate das Sektionsblatt der Spezialkarte auf und trägt die vier Aufnahmesektionen ein. Nun nimmt er die photographische Kopie der Originalaufnahmesektion zur Hand und überträgt durch Pausen die Gerippelinien auf das Sektionsblatt 1:75.000.

Das Kommunikationsnetz, das Gassennetz in Ortschaften, einzelne Gebäude und Orientierungsobjekte, Meierhöfe, Klöster, Gewässer, Sümpfe u. s. w., kurz das

ganze Wassernetz werden sehr genau, fast vollständig wiedergegeben, hingegen kommen die Häuser in Ortschaften nur in ihrer charakteristischen Anordnung, die Einfriedungen, kleine Parzellen und Kulturen nur, wenn sie ein besonderes Gepräge zeigen, Schotter und Sandflächen, nasser Boden und Rohrwuchs mit besonderer Rücksicht auf das Terrain zur Darstellung.

Der Gerippzeichner verfaßt auf einem über die photographische Kopie gespannten Pauspapiere ein Konzept mit allen in die Karte aufzunehmenden Namen, wonach erst das Spezialblatt beschrieben wird.

Nachdem das Gerippblatt mit der Aufschrift, Rahmenbeschreibung und Graduierung versehen ist, wird es revidiert, eventuell berichtigt und zur späteren Benützung reproduziert.

Nun entwirft der Terrainzeichner auf der photographischen Kopie der Originalaufnahmesektion 1:75.000 die Schichtenlinien von 100 *m*, eventuell von 50 *m*. Hierbei muß auf die Reduktion der Terrainformen die größte Sorgfalt verwendet werden, um in erster Linie die richtige Charakteristik des Terrains wiederzugeben, wozu eine sichere Auffassung der Terrains und seiner mehr oder minder wichtigen Detailformen unbedingt notwendig ist.

Nach dieser Zeichnung auf der photographischen Kopie wird ein Konzept genommen, in welchem die Schichtenlinien, die Terrainformenlinien und die Höhenkoten eingetragen werden, wonach das Terrain geschummert wird. Dieses Konzept hat den Zweck, den Zusammenhang der Terrainformen zu geben und den Charakter der Gegend bei Angabe der wichtigsten Höhenpunkte plastisch zum Ausdrucke zu bringen.

Erst nach erfolgter Revision dieses Blattes werden die Schichtenlinien übertragen und mit dem Schraffieren begonnen. Die schraffierten Blätter werden neuerdings durchgesehen, berichtigt und dann erst für reif zur Vervielfältigung erklärt.

Wir sehen, welche lange und mühsame Arbeiten die Herstellung eines Spezialkartenblattes erfordert.

Die Spezialkartenblätter sind nach dem Gradkartensysteme angeordnet; sie sind von zwei Meridianen im Abstände von $\frac{1}{2}^{\circ}$ oder $30'$ der Länge und zwei Parallelkreisen von $\frac{1}{4}^{\circ} = 15'$ Breitenabstand begrenzt, welche an den Rändern der Karte beschrieben sind.

Spezialkartenblätter zwischen denselben Meridianen bilden Kolonnen und ihr Flächeninhalt nimmt von Nord nach Süd zu, hingegen stellen Blätter zwischen zwei Parallelkreisen Zonen vor, deren Flächeninhalt konstant bleibt.

Da an den Rändern eines jeden Gradkartenblattes eine Minutenteilung vorhanden ist, so kann man die geographischen Positionen eines beliebigen Punktes der Karte leicht bestimmen.

Die Schichtenlinien für 100 *m* sind durchgehends voll, jene für 50 *m* gestrichelt und nur im flachen Terrain angegeben.

Das Terrain ist durch Schichtenlinien, Schraffen und Koten dargestellt. Die Spezialkarte wird in Schwarzdruck hergestellt.

Neue Straßen, Eisenbahnen, kurz wichtige Veränderungen, wenn sie auf verlässlichen Angaben (von Baubehörden, Forstämtern u. s. w.) beruhen, werden in den Karten berücksichtigt und genau evident gehalten.

Wann die letzten Korrekturen und Ergänzungen auf einem Spezialkartenblatte vorgenommen wurden, ist auf einem jeden Blatte links unten ersichtlich.

Die Österreichisch-ungarische Monarchie umfaßt XXXV Kolonnen mit 37 Zonen und verteilt sich auf 763 Spezialkartenblätter; im Mittel beträgt die Fläche eines Spezialkartenblattes 10·6 Quadratmyriameter.

Tafel XIII bietet ein Übersichtsblatt zur Spezialkarte der Österreichisch-ungarischen Monarchie im Maße 1 : 75.000.

Die Spezialkartenblätter sind käuflich und ist der Preis eines Blattes 1 K. Tafel XII enthält eine Probe aus dem Gradkartenblatte Zone 15, Kolonne XIII, mit Krieglach in der Mitte.

362. Weitere militärische Kartenwerke. Auf Grundlage der Originalaufnahmeblätter und der Spezialkarte sind folgende Kartenwerke entstanden:

1. Die Generalkarte von Mitteleuropa im Maße 1 : 200.000; sie ist die eigentliche Kriegskarte und wird nach den photographischen Kopien der Spezialkartenblätter ausgearbeitet.
2. Die Generalkarte von Zentraleuropa im Maße 1 : 300.000
3. Die Militär-Marschroutenkarte im Maße 1 : 300.000.
4. Die Übersichtskarte von Mitteleuropa im Maße 1 : 750.000 und
5. die neue Übersichtskarte von Europa im Maße 1 : 750.000.

Auf der Tafel XII finden sich Proben zur Generalkarte von Mitteleuropa 1 : 200.000 und zur neuen Übersichtskarte von Europa 1 : 750.000.

Technische Verwendung der Kartenwerke.

363. Da der Techniker sehr viel mit den Karten sowohl im Terrain als auch für Studienzwecke im Bureau beschäftigt ist, so wird es angezeigt sein, eine Reihe von grundlegenden Aufgaben, die bei der Benützung der Karten immer wiederkehren, und ihre Lösungen in Kürze zu besprechen.

1. Bestimmung der geographischen Positionen. Die drei geographischen Koordinaten: Breite, Länge und absolute Höhe können aus der Spezialkarte 1 : 75.000 und genauer noch aus der Originalmilitäraufnahme 1 : 25.000 erhalten werden.

Am Rande der Spezialkartenblätter befindet sich nämlich eine direkte Minutenteilung der Grenzparallelkreise und -meridiane, die von 5 zu 5 Minuten beschrieben ist; in den Eckpunkten des Blattes sind die Breiten- und Längengrade der Blattränder angegeben.

Will man die geographische Breite und Länge eines Punktes *P* bestimmen, so denkt man sich durch denselben den zugehörigen Parallelkreis und Meridian gelegt; beide sind zufolge der Dimensionen der Spezialkartenblätter gerade Linien. Es ist nicht notwendig, diese geraden Linien auszuziehen; man denkt

sich durch den Punkt P eine Parallele zu dem oberen oder unteren Grenzparallel gezogen und den Schnitt auf dem rechts- oder linksseitigen Grenzmeridiane an dessen Teilung markiert; Grade und Minuten der geographischen Breite werden direkt und die Sekunden durch Schätzung in das lineare Minutenintervall erhalten. Die Schätzung kann umgangen werden, wenn die Lage der gezogenen Marke im Minutenintervalle ausgemessen wird; eine einfache Proportionalrechnung gibt dann die Anzahl der Sekunden.

Die geographische Länge kann wegen der fühlbaren Meridiankonvergenz der seitlichen Grenzmeridiane des Kartenblattes nicht durch eine zum Meridiane parallele Gerade auf dem oberen und unteren Grenzparallel übertragen werden; es empfiehlt sich in diesem Falle, jene zwei benachbarten Minutenmeridiane festzustellen, innerhalb welcher der Punkt liegt. In diesem Meridianstreifen nun kann der Punkt P parallel zu einem der begrenzenden Minutenmeridiane auf den oberen oder unteren Kartenrand projiziert werden, wo sich dann die Länge in Graden und Minuten ergibt, während die Sekunden geschätzt werden müssen oder aber durch Ausmessung der Lage des Punktes P auf seinem oder dem oberen oder unteren Grenzparallel auf Grund einer einfachen Proportion erhalten werden.

Was die absolute Höhe des Punktes P betrifft, so wird sie erhalten, indem man den Höhenwert der Schichtenlinie des Punktes P ermittelt. Vorerst werden die zwei Schichtenlinien aufgesucht, innerhalb welcher der Punkt P liegt, und ihr Höhenwert durch Verfolgung bis an den Rand des Kartenblattes ermittelt, wo sich die gesuchte Höhenkote befindet; manchmal kann auf Grund von in der Nähe des Punktes P befindlichen Koten rasch der Höhenwert der erwähnten Schichtenlinien konstatiert werden. Die Kote des Punktes P wird durch Interpolation nach Band II, Nr. 233 bestimmt.

Genauer als auf der Spezialkarte lassen sich die geographischen Positionen auf der Originalmilitäraufnahme 1:25.000, und zwar in analoger Weise, wie vorstehend beschrieben wurde, finden.

2. Orientierungsaufgaben. Die Orientierung von Karten im Terrain kann durchgeführt werden:

- a) durch Benützung von korrespondierenden Punkten und Linien im Terrain und auf der Karte, durch Schaffung von Orientierungslinien, und
- b) durch Benützung der Nord-Süd-Richtung als Orientierungslinie.

Ad a) In diesem Falle kann der Standpunkt bekannt oder unbekannt sein.

Ist der Standpunkt A bekannt, so schafft man sich durch die Wahl eines sichtbaren, markanten und auf der Karte vorhandenen Punktes B : Kirchturm, Bildstock, Bergspitze u. s. w. eine Orientierungslinie AB und bringt die Karte durch Drehung in eine solche Lage, daß ab auf der Karte parallel zu AB wird, beziehungsweise mit dieser Geraden zusammenfällt.

Hiebei wird eine Linealkante zum Visieren gute Dienste leisten.

Sichtbare Straßen, Wasserläufe, Waldblößen, einzelstehende, gut sichtbare Gebäude u. s. w. können mit großem Vorteile zu einer raschen Orientierung verwendet werden.

Ist der Standpunkt A unbekannt, so kann man denselben nach den im I. Bande, § 69 (bei der „Graphischen Aufnahme“) besprochenen Methoden über das Aufsuchen des Standpunktes, falls korrespondierende Punkte in der Natur und auf der Karte vorliegen, finden. Durch Vorwärts-, Seitwärts- und Rückwärts-einschneiden mit markanten Punkten wird man leicht den Standpunkt erhalten.

Ad b) Die absolute Orientierungslinie Nord-Süd kann bestimmt werden

- α) mit der Bussole,
- β) nach dem Stande der Sonne oder
- γ) nach anderen Gestirnen.

α) Die Bestimmung mit der Bussole ist sehr bequem, wenn die Deklination δ bekannt ist. In diesem Falle wird die Bussole an die durch den Standpunkt gezogene Meridianlinie des Kartenblattes gebracht, so daß das Nordende der Nadel auf den Nordrand der Karte zeigt; falls z. B. $\delta = 9^\circ$ ist, wird die Karte so lange gedreht, bis die Lesung am Nordende der Nadel 9° und am Südende 189° beträgt. Dann ist die Karte orientiert.

Anmerkung. Kennt man die Deklination des Standpunktes nicht, so läßt sich dieselbe genügend genau mit der Karte bestimmen; es wird die Karte nach a) scharf orientiert, dann die Magnetnadel an die gezogene Meridiangerade so angelegt, daß das Nordende der Nadel auch gegen den mit N bezeichneten Teil der Teilung zeigt. Die Lesung am Nordende gibt nun unmittelbar die Deklination, westlich oder östlich, je nachdem die Lesung zwischen $0^\circ - 15^\circ$ liegt oder im Bereiche von $360^\circ - 345^\circ$ sich befindet.

β) Die Sonne kann in folgender Weise zur Orientierung herangezogen werden. Die Sonne befindet sich um 6^h morgens im Ostpunkte, um 6^h abends im Westpunkte des Horizontes (genau am 21. März und 22. September, sonst in der Ostgegend, bzw. in der Westgegend, wobei die Abweichung leicht durch Rechnung gefunden werden kann); mittags befindet sie sich stets genau im Süden.

Ihre stündliche Winkelbewegung beträgt 15° und kann dazu benützt werden, den Winkel der Sonnenrichtung gegen die Südrichtung zu ermitteln, falls eine gutgehende Uhr zur Verfügung steht. Die Sonnenrichtung wird durch den Schatten eines vertikal gestellten Stabes angegeben. Beobachtete man die Sonne um $9^h 30^m$, so fehlt auf Mittag $2^h 30^m = 2 \cdot 5^h$, somit beträgt der Winkel der momentanen Sonnenrichtung mit der Südrichtung $2 \cdot 5 \times 15^\circ = 37^\circ 30'$. Wird nun der Schatten auf einer horizontalen Ebene markiert, so ist dieser Winkel von der Schattenrichtung nach links aufzutragen, um die Mittagslinie oder die Südrichtung zu erhalten. Für am Nachmittage gemachte Beobachtungen müssen die Winkel rechts von der Schattenrichtung aufgetragen werden.

Anmerkung. Eine in der Praxis verbreitete Methode gibt mit Benützung der Uhr rasch und ohne weitere Hilfsmittel die Mittagslinie. Man visiert bei horizontaler Lage des Zifferblattes den Stundenzeiger gegen die Sonne ein; die Halbierungslinie des Winkels zwischen dem Stundenzeiger und der Richtung [nach XII auf dem Zifferblatte gibt die Südrichtung.

Die Nordrichtung wird in analoger Weise erhalten. Man hält die Uhr horizontal und stellt im Mittelpunkte des Zifferblattes einen Stift vertikal auf, dreht die Uhr so lange, bis der Schatten des Stiftes mit dem Stundenzeiger sich deckt; die Winkelhalbierende zwischen Stundenzeiger und XII gibt die Nordrichtung.

γ) Von den Gestirnen kann bei Nacht der Polarstern und sonst auch der Mond zur Orientierung verwendet werden.

3. Die Bestimmung von Entfernungen auf der Karte wird mit Zuhilfenahme des derselben beigegeben Maßstabes oder durch Messung des Abstandes mit einem Prismenmaßstabe und Umrechnung bei Berücksichtigung des Maßstabes der Karte bewerkstelligt; dadurch ergibt sich die Horizontal- oder reduzierte Distanz. Falls die schiefe Distanz, sozusagen Terraindistanz bestimmt werden soll, so muß noch der Höhenunterschied der gegebenen Punkte A und B berücksichtigt werden; ist D die Horizontaldistanz, H der Höhenunterschied, so ist die schiefe Distanz s :

$$s = \sqrt{D^2 + H^2}.$$

Hiebei muß beachtet werden, daß diese Berechnung der schiefen Distanz nur für kurze Distanzen unter der Annahme Gültigkeit hat, daß die Hypotenuse s des rechtwinkligen Dreieckes (aus D , H und s gebildet) mit dem Terrain zusammenfällt. Bei größeren Distanzen, die mehrere Kilometer betragen, wird es notwendig, die Horizontaldistanz in Teile zu teilen und für diese die angegebene Berechnungsart in Anwendung zu bringen. Die wahre Terraindistanz stellt sich als die Summe von Teillängen eines gebrochenen Linienzuges dar.

4. Bestimmung eines Profiles zwischen zwei Punkten A und B . Beide Punkte A und B werden verbunden und auf der Verbindungslinie die Schnittpunkte mit Isohypsen, Wasserlinien (Bächen, Flüssen, Muldensohlen), Höhenlinien (Rückenlinien, Haupt- und Nebenwasserscheidelinien), ferner mit Kommunikationen u. s. w. ermittelt; ferner sollen besonders bei großen Schichtenhöhen und schraffiertem Terraindetail auch die eingestreuten Terrainformen im Schnitte Berücksichtigung finden.

Für das Auftragen der Horizontalabstände verwendet man den Maßstab der Karte. Für die Höhen muß man eine Überhöhung (Verzerrung) wählen. Die Überhöhungszahl hängt vornehmlich ab von der Größe der Höhendifferenzen des höchsten und tiefsten Punktes. Bei der Spezialkarte wählt man zumeist eine 20 bis 30fache Verzerrung, so daß dann der Höhenmaßstab 1:3750 oder 1:2500 wird.

Hierauf werden die Distanzen auf einer Haupthorizontalen und die Höhen auf den darauf Normalen mit Berücksichtigung der verschiedenen Maßstäbe aufgetragen und ihre Beträge an geeigneten Stellen angesetzt. Die so erhaltenen Punkte geben, miteinander verbunden, das gesuchte Terrainprofil. Man pflegt, um die im Zuge des Profiles befindlichen Terrainobjekte schon aus dem Profile zu entnehmen, an den entsprechenden Stellen die Art des Objektes: Bach, Straße, Brücke u. s. w. hinzuschreiben.

Auf Tafel XII ist ein solches Profil ausgeführt.

5. Bestimmung von Koten gegebener Punkte. Die Höhe eines gegebenen Punktes kann unmittelbar abgelesen werden, wenn der Punkt auf einer Schichtenlinie sich befindet; sonst wird es nötig, nach Band II, Nr. 233, vorzugehen, wobei man durch Rechnung oder auf graphischem Wege oder durch Verwendung mechanischer Hilfsmittel zum Ziele kommt.

Die Höhenkote kann absolut angegeben oder aber sie kann in ihrem relativen Betrage, bezogen auf einen zweiten gegebenen Punkt, bestimmt werden.

6. Einschalten von Horizontallinien: Diese Aufgabe ist besonders bei Studien auf der Spezialkarte von Wichtigkeit; der Abstand der Schichtenlinien beträgt da 100, beziehungsweise 50 *m*, und es wird daher nötig, Zwischenschichtenlinien etwa im Abstände von 25 *m* zu interpolieren.

Hiebei wird so vorgegangen, daß man in geeigneten Abständen Falllinien zwischen den benachbarten Schichtenlinien legt, diese in die entsprechende Anzahl gleicher Teile (4 oder 2) teilt und die korrespondierenden Teilungspunkte durch eine den benachbarten Schichtenlinien angepaßte Kurve verbindet; ein gutes Kontrollmittel bieten die Schraffen, welche von den Schichtenlinien senkrecht geschnitten werden müssen; überhaupt wird es notwendig sein, die Schraffen genau zu verfolgen, weil sie ja alles Terraindetail zum Ausdruck bringen, das auf dem Schichtenmantel der im Abstände von 100, respektive 50 *m* verlaufenden Schichtenebenen sich befindet.

7. Bestimmung von Neigungen gegebener Terrainlinien.

a) Hat man die Neigung einer kurzen Terrainlinie *AB* zu bestimmen, so ermittelt man in bekannter Weise den Horizontalabstand *D* und den Höhenunterschied *H*; für den Neigungswinkel α erhält man dann:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{H}{D},$$

oder aber man gibt die Neigung der Terrainlinie gegen den Horizont in Zahlen an in Form eines Bruches: $\frac{1}{\left(\frac{D}{H}\right)} = \frac{1}{n}$; will man die Neigung in Prozenten ($\frac{0}{100}$) erhalten, so ist $\frac{100}{n} = 100 \frac{H}{D}$ zu bestimmen; rechnet man aber $\frac{1000}{n} = 1000 \frac{H}{D}$, so folgt die Neigung in Promille ($\frac{0}{1000}$).

b) Hat man die Neigung einer längeren Strecke, z. B. die durchschnittliche Neigung eines Hanges zu suchen, so geschieht dies dadurch, daß man vom höchsten Punkte nach der Tiefe eine Falllinie legt und die Neignungsverhältnisse der Elemente derselben von Schichtenlinie zu Schichtenlinie ermittelt; das einfache arithmetische Mittel dieser Neigungen, z. B. bei *n* Teilneigungen,

$$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n}{n}$$

kann in erster Annäherung als die durchschnittliche Neigung des Hanges angenommen werden. Bei schärferer Bestimmung wird man die Längen der Falllinien zwischen den einzelnen Schichtenlinien, die Anlagen: $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ zu einem zusammengesetzten arithmetischen Mittel heranziehen und sie als eine Art Gewichte einführen; dann stellt

$$\alpha = \frac{\alpha_1 \alpha_1 + \alpha_2 \alpha_2 + \dots + \alpha_n \alpha_n}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n}$$

einen plausibleren Wert für das durchschnittliche Gefälle dar.

c) Sehr rasch kann man die Neigung von Terrainlinien erhalten, wenn die Anlageskala oder der Anlagemaßstab vorliegt; dieser kann nach Band II, Nr. 231 sehr leicht für eine beliebige Schichtenhöhe konstruiert werden. Von ihm kann man dann direkt den Neigungswinkel einer Geraden, welche zwischen zwei Schichtenlinien liegt, ablesen.

8. Bestimmung von Wasserscheidelinien. Wie aus dem allgemeinen Teile der Terrainlehre Band II, § 20 her bekannt ist, verlaufen die Wasserscheidelinien, welche als Höhenlinien der topographischen Fläche zu betrachten sind, über Kuppen und Sättel im Hauptzuge eines Gebirges oder als Rückenlinien im allgemeinen Abhange. Die ersteren stellen die Hauptwasserscheiden vor, die gewöhnlich eine größere Länge haben und einem längeren Wasserlaufe angehören; die letzteren, die Neben- oder sekundären Wasserscheiden, sind den früheren untergeordnet und können in vielfachen Verzweigungen im allgemeinen Abhange verfolgt werden.

Der Bestimmung des Verlaufes der Wasserscheiden in der Karte dienen mehrere Anhaltspunkte. Kuppen und Sättel liegen auf Wasserscheidelinien, die Rückenlinien gehören ihnen an; sie verbinden stets die größten Ausbiegungen der Schichtenlinien. Man hat daher bei der Analyse der Formen in der Karte diese Momente zu berücksichtigen. Weitere Anhaltspunkte bieten die Tiefenlinien, in welchen fast immer Gewässer anzutreffen sind. Eine Wasserscheide muß sich stets zwischen zwei Tiefenlinien befinden; in der Gegend des Talursprunges wird man stets den Schnitt zweier Wasserscheiden antreffen.

9. Bestimmung des Niederschlagsgebietes eines Wasserlaufes. Diese für die hydrotechnischen Studien wichtige Aufgabe wird in einfacher Weise dadurch gelöst, daß die Wasserscheidelinien mit Sorgfalt aufgesucht, bezeichnet und dadurch die Begrenzungen des Niederschlagsgebietes festgestellt werden. Die Ermittlung des Flächenausmaßes bietet wohl keine Schwierigkeit, erfordert aber einige Überlegungen, wenn man das ungefähre Flächenausmaß der Erdoberfläche wünscht, welche das effektive Niederschlagsgebiet darstellt.

10. Aufgaben über Sichtbarkeitsverhältnisse. Hieher gehören ebenso wichtige als interessante Fragen.

a) Es ist zu bestimmen, ob von einem gegebenen Punkte A ein zweiter gegebener Punkt B sichtbar ist oder nicht.

α) Man verbindet A mit B durch eine Gerade, welche als Trasse einer Vertikalebene angesehen wird, und konstruiert das Terrainprofil (Band II, Nr. 232); befindet sich die Verbindungsgerade AB in der Profildarstellung außerhalb des Terrainprofils, so ist B von A aus sichtbar; wenn hingegen die Gerade AB das Profil schneidet, so befindet sich zwischen A und B ein Hindernis, welches die Sicht verwehrt und dessen Lage angegeben werden kann.

β) Eine zweite Lösung vom Standpunkte der darstellenden Geometrie ist besonders einfach. Die Gerade AB kann, da die Karte eine kотиerte Projektion ist, graduiert werden; um nun über die Sichtbarkeit des Punktes B von A aus ins klare zu kommen, hat man nur den Schnitt der graduierten Geraden AB

mit der topographischen Fläche, die durch Isohypsen gegeben ist, zu suchen; liegt der Schnittpunkt zwischen A und B , so ist B von A aus nicht sichtbar; ergibt sich der Schnitt hingegen außerhalb des Bereiches von A und B , so ist B von A aus wahrnehmbar.

b) Es ist zu untersuchen, ob von einem Punkte A aus eine Straße sichtbar ist oder nicht.

α) Man geht so vor, wie im früheren Beispiele unter a) α) angegeben wurde, indem man eine größere Anzahl von Straßenpunkten auf ihre Sichtbarkeit untersucht.

β) Ein anderer Weg bietet sich, wenn man den Punkt A mit der Straßenlinie, einer Kurve, sich verbunden denkt und den Schnitt dieses Teiles einer Kegelfläche, deren Erzeugende für sich graduiert werden können, mit der topographischen Fläche sucht.

Aus dem Verlaufe der Schnittkurve zu dem Punkte A und der Straße kann man auf die Sichtbarkeitsverhältnisse einen sicheren Rückschluß ziehen.

c) Es ist vom Punkte A die Begrenzung des Gesichtsfeldes zu ermitteln.

Dieses wird dadurch erhalten, daß man, von einer bestimmten Stelle beginnend, geradlinige Profile legt, und zwar im ganzen Umkreise, und in diesen die Sichtbarkeitsverhältnisse bestimmt; dadurch erhält man einzelne Punkte x_1, x_2, \dots, x_n , die, in richtiger Reihenfolge miteinander verbunden, den Verlauf der Gesichtsfeldbegrenzung des Standpunktes auf der Karte darstellen.

Es ist klar, daß vom Standpunkte der kotierten Projektion die angeführte Kurve als Berührungskurve einer bestimmten Fläche mit der topographischen Fläche erhalten werden kann.

Den vorstehend behandelten Aufgaben ließen sich noch andere anreihen; sie können jedoch zumeist auf die besprochenen zurückgeführt werden.

364. Neben dem großen Nutzen, den die Militäraufnahmeblätter und die Spezialkarte dem trassierenden Ingenieur gewähren, gewinnen sie noch durch verschiedene Anhaltspunkte und Daten, die sie enthalten, eine weitere Bedeutung.

1. Sie enthalten die Situation der Höhenmarken des Präzisionsnivelements, so daß der Ingenieur an dieses anschließen und die Koten seiner Arbeit im absoluten Maße (Meereshöhe) ausdrücken kann.

2. Durch die vielen Höhenkoten, die auf Brücken, Sattelpunkten, Kuppen, an dem Zusammenflusse von Gewässern u. s. w. in der Karte eingetragen sind, ist die Möglichkeit geboten, bei geodätischen Arbeiten eine genäherte Bestimmung von absoluten Höhen durch Anschluß an diese Punkte durchzuführen.

3. Durch Benützung der Höhenkoten ist es weiters möglich, sich für barometrische Höhenmessungen eine Grundlage zu schaffen; man kann nach der Interpolationsmethode bequem mit einem Aneroide brauchbare Höhenmessungen ausführen.

Fünfter Abschnitt.

§ 39. Anwendung der kotierten Projektion auf Trassierungsaufgaben.

(Graphisches Trassieren)

365. Die Konstruktion von Leitlinien für Wege, Straßen u. s. w. auf Grund von Schichtenplänen nennt man graphisches Trassieren.

Die Schichtenpläne, welche zur Verfügung stehen, werden durch tachymetrische Aufnahmen erhalten, oder es werden in den vorliegenden Katastermappen die Höhenkoten durch ein Flächennivellement bestimmt und dann die Schichtenlinien ermittelt; sehr gerne werden zu generellen Trassenstudien die ausgezeichneten topographischen Karten des k. u. k. Militärgeographischen Institutes in Wien: die Militäraufnahmeblätter 1:25.000 mit $h=20\text{ m}$ oder die Spezialkarte im Maße 1:75.000 mit $h=100\text{ m}$, respektive $h=50\text{ m}$ verwendet.

Nicht selten werden die Horizontallinien der genannten topographischen Karten mit einem Pantographen auf ausgeführte Horizontalaufnahmen: Forstkarten u. s. w. übertragen, weil in vielen Fällen bei Trassierungen von Wald- und Montanwegen ein so hergestellter Schichtenplan für das erste Studium vollends ausreicht.

Auch kann die Höhenbestimmung in eine vorliegende Forstkarte, gestützt auf bekannte Höhen markanter Punkte, barometrisch erfolgen, wobei die aneroidische Höhenmessung genügt (Band II, § 16).

366. Bei Trassierungen von Weglinien kommen zwei Fundamentalaufgaben vor, die wir nachfolgend zuerst von rein geometrischem Standpunkte behandeln.

1. Aufgabe. Es ist auf einem durch einen Schichtenplan gegebenen Terrain vom Punkte A in der Schichtenlinie S_0 eine Trasse nach der Schichtenlinie S_2 zu führen, die unter einem gegebenen Winkel α ansteigt (Fig. 291).

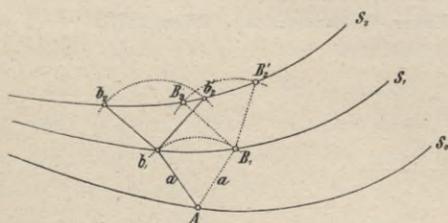


Fig. 291.

Dem Neigungswinkel α entspricht die Anlage $a = h \cotg \alpha$; nun

nimmt man diese Anlage in 'den Zirkel, setzt in A ein und beschreibt einen Kreisbogen, der im allgemeinen die [Schichtenlinie S_1 "in zwei getrennten

Punkten B_1 und b_1 schneiden wird (diese Punkte können zusammenfallen oder imaginär sein); man kann daher im allgemeinen von A nach der Schichtenlinie S_1 in zwei Richtungen AB_1 und Ab_1 unter der Neigung α gelangen. Analog lassen sich von B_1 und b_1 die Richtungen B_1B_2, B_1B_2' und b_1b_2, b_1b_2' , die unter dem Neigungswinkel α nach der Schichtenlinie S_2 führen, bestimmen.

In der angegebenen Weise kann man im konkreten Falle fortfahren und sich sukzessive von einer Isohyse zur nächsten erheben, bis man zur erwünschten Höhe gelangt. Es werden sich im allgemeinen mehrere Richtungen ergeben; welche von den möglichen Trassen gewählt wird, hängt von den herrschenden Verhältnissen ab.

Es können verschiedene Bedingungen an den Verlauf der Trasse gestellt werden; es wird z. B. verlangt, daß bei gegebener Neigung α die Trasse

- a) zu einem bestimmten Punkte führt,
- b) an einem gegebenen Objekte vorbeiführt,
- c) gegebene Hindernisse umgeht.

2. Aufgabe. Es sind zwei Punkte A und B , auf den Schichtenlinien S_0 und S_5 gegeben, durch eine Trasse (Kurve) von konstanter Neigung zu verbinden. (Fig. 292.)

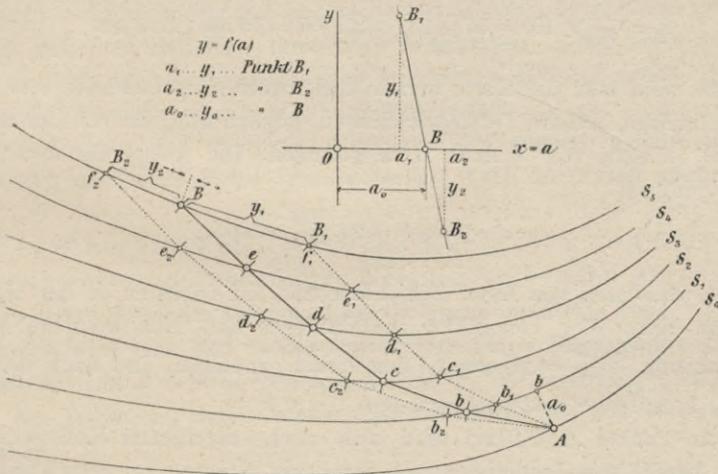


Fig. 292.

Man nimmt eine Anlage a_1 in den Zirkel, die größer ist als die Anlage a_0 im Böschungsdreiecke des Punktes A , also $a_1 > a_0$, und bestimmt, indem man sich von der Schichtenlinie S_0 mit der Anlage a_1 gegen den Punkt B erhebt, den Punkt B_1 in der Isohyse S_5 ; es ergibt sich der Abstand $BB_1 = y_1$, der durch die Länge der Anlage a_1 bedingt ist. Allgemein kann man setzen:

$$y = f(a) = f(x), \dots \dots \dots 1)$$

also den Fehler y als Funktion der Anlage betrachten; y kann positiv oder negativ sein, je nachdem B_1 rechts oder links von B gelegen ist.

Durch die Gleichung 1) ist eine Kurve, die Fehlerkurve, bestimmt, die sich mit mehreren korrespondierenden Werten von

$$\left. \begin{array}{l} \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \\ y_1, y_2, y_3 \end{array} \right\} \text{ durch die Punkte } B_1, B_2, \dots$$

bestimmen läßt. Der Schnittpunkt mit der x -Achse gibt für $OB = a_0, y_0 = 0$, d. h. diese Anlage a_0 führt zum Punkte B , wovon man sich leicht überzeugen kann.

Der Neigungswinkel α der so bestimmten Trasse ist bestimmt durch $\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{a_0}$.

367. Spezielle Aufgaben. Es wären Trassenstudien auf der Militäraufnahme-karte 1:25.000 auszuführen.

1. Es sind zwei Punkte A und B mit den Koten 540 und 680 m gegeben; es soll die Frage beantwortet werden, welche Länge und welche Richtung die von A gegen B führenden Wege erhalten müßten, wenn die Neigung 4‰ beträgt.

Der Höhenunterschied der beiden Punkte A und B ist $680 - 540 = 140 m$; da auf 100 m Horizontalabstand 4 m Steigung kommen, so wird die Straßenlänge mindestens

$$L = \frac{140}{4} \times 100 = 35 \times 100 = 3500 m = 3,5 km \text{ betragen.}$$

Nun wird man die Karte heranziehen, deren Schichtenhöhe $h = 20 m$ ist, und untersuchen, welche Trassenrichtungen möglich sind, um von der Schichtenlinie 540 zu 680, von A nach B zu gelangen. Die Anlage für $h = 20 m$ und 4‰ Neigung ist:

$$a = h \operatorname{cotg} \alpha = 20 \cdot \frac{100}{4} = 500 m;$$

dies sagt, daß man von einer Schichtenebene zur nächsten in der Horizontalprojektion einen Weg von 500 m zurückzulegen hat. Nun wird die Anlage in der Zeichnung $\frac{500 m}{25.000} = 20 mm$ in den Zirkel genommen und nach der vorigen Nr. 366, 1. Aufgabe graphisch trassiert.

Vom Punkte A (540 m) wird man nach ausgeführter Konstruktion eine größere Anzahl von Leitlinien unter gegebener Neigung zur Schichtenlinie 680 führen; es kann sich vielleicht zufällig treffen, daß in der Nähe von B ein Endpunkt der konstruierten Leitlinien zu liegen kommt. Es wird dann die Richtung dieser Trasse ein wenig verschoben, um den Endpunkt direkt nach B zu bringen.

Anmerkung. Im vorliegenden Falle waren die gegebenen Punkte direkt auf zwei Schichtenlinien situiert, wodurch die Konstruktion unmittelbar in Angriff genommen werden konnte; sind aber die Punkte A und B zwischen den Isohypsen gelegen, so wird man zuerst vom Punkte A zur nächsten Schichtenlinie die zwei Trassenrichtungen bestimmen auf Grund der Anlage $a_1 = h_1 \operatorname{cotg} \alpha$, welche dem Höhenunterschiede h_1 des Punktes A von der nächst höheren Schichtenebene entspricht; von den so erhaltenen zwei Punkten konstruiert man mit der Anlage $a = h \operatorname{cotg} \alpha$, wobei h die Schichtenhöhe der Karte ist, analog weiter wie früher.

An der letzten Schichtenlinie vor B angelangt, wird man mit der Anlage $a_2 = h_2 \cot g \alpha$ die Endpunkte der möglichen Trassen in der eingeschalteten Isohypse des Punktes B ermitteln, hiebei bedeutet h_2 die Höhe des Punktes B über der letzten Schichtenebene.

Die erhaltenen Endpunkte der Trasse in der Isohypse des Punktes B müssen noch auf ihre Brauchbarkeit untersucht werden.

Wäre eine ähnliche Aufgabe auf einer topographischen Karte, z. B. der Spezialkarte, zu studieren, für welche $h = 100 m$, respektive $h = 50 m$ beträgt, oder aber erscheint dem trassierenden Ingenieur schon die Schichtenhöhe auf dem Militäraufnahmeblatte 1 : 25.000 mit $h = 20 m$ zu bedeutend, so wird es nötig, Zwischenschichtenlinien, z. B. im Abstände von 25 zu 25 m auf der Spezialkarte oder von 10 zu 10 m auf der Militäroriginalaufnahme, einzuschalten; hiebei muß der Verlauf der interpolierten Schichtenlinien mit größter Sorgfalt bei Beachtung alles zwischen den Isohypsen durch Schraffen ausgedrückten Terrainformendetails und mit genauer Benützung der Schraffen selbst bestimmt werden. Die interpolierten und überhaupt die zur Konstruktion zu benützensden Schichtenlinien wird man unterschiedlich in farbigen Tönen, Drachenblut oder Braun, beziehungsweise Rot ausziehen, um die weiteren Konstruktionen mit Sicherheit vornehmen zu können.

Die vorliegende Aufgabe wird in der Praxis mit verschiedenen Nebenbedingungen und gleichzeitig mit mehrfachen Einschränkungen wiederkehren. Es wird z. B. gefordert, daß die Trasse nach Möglichkeit in der Nähe gegebener Objekte verläuft, daß der Kosten wegen kostspielige Brückenbauten, Dammaufschüttungen, Futtermauern u. s. w. vermieden werden.

Aufmerksames und überlegtes Verfolgen der ermittelten und möglichen Trassen wird gegebenen Falles eine vorläufige Wahl der Trasse nicht schwer machen.

2. Zwei Punkte A und B mit den Koten 420 m und 610 m sollen durch einen Weg von konstanter Neigung verbunden werden.

Hier liegt die zweite Grundaufgabe in einem speziellen Falle vor.

Vorerst wird man sich in die Spezialkarte durch Interpolation Zwischenschichtenlinien mit $h = 25 m$ verschaffen und in der Partie, auf welche vermutlich die Trasse zu liegen kommt, die Schichtenlinien mit farbigem Tone hervorheben.

Der unterste Punkt A liegt 20 m über der Schichtenlinie 400 und der Punkt B 10 m über der Schichtenlinie 600 m . Nun wird man eine beliebige Anlage a für die Schichtenhöhe 25 m wählen; dann hat man für den Punkt A die Anlage $a_1 = 5 \cdot \frac{a}{25}$ und den Punkt B $a_2 = 10 \cdot \frac{a}{25}$ zu nehmen.

Hierauf wird von A mit a_1 ein Kreisbogen beschrieben, der die Zwischenschichtenlinien 425 eventuell in zwei Punkten schneiden wird; zur weiteren Konstruktion nimmt man jenen Punkt von den beiden, der gegen B günstiger liegt, und beschreibt aus diesem nunmehr mit der Anlage a einen Kreisbogen, mit welchem die Schichtenlinie 450 geschnitten wird; man wählt von den zwei eventuell sich ergebenden Schnittpunkten den günstiger gelegenen und konstruiert weiter,

bis man zur Schichtenlinie 600 kommt; von dem gewählten Punkte auf dieser Schichtenlinie wird mit der Anlage a_2 der Kreisbogen gezogen, zum Schnitte mit der Zwischenschichtlinie 610 gebracht und nachgesehen, ob der Punkt B erreicht wird oder nicht. Der Abstand y_1 des bestimmten Punktes B_1 von B kann nun zur Punktbestimmung der Fehlerkurve $y = f(a_2)$ benützt werden. (Siehe Fundamentalaufgabe 2.)

Wenn man die beschriebene Konstruktion wiederholt, für die letzten erhaltenen Punkte B_2, B_3, \dots in der Schichtenlinie 610 die Abstände y_2, y_3, \dots mißt und zur Konstruktion der Fehlerkurve verwendet, so gibt diese jene Anlage x , für welche $y = 0$ ist.

Da diese Anlage x der Höhe 10 m entspricht, so muß für die Schichtenhöhe $h = 25$ m die Anlage $a_0 = 25 \cdot \frac{x}{10} = \frac{5}{2} x$ berechnet werden; diese Anlage führt vom Punkte A zum Punkte B .

Kennt man die Anlage a_0 , so läßt sich die Neigung α der ermittelten Trasse bestimmen, es ist $\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{a_0}$.

Auch hier können vielfach einschränkende Bedingungen die graphische Trassierung erschweren.

368. Die verschiedenartigen Trassierungsprobleme, welche dem Bauingenieur in seiner Praxis begegnen werden, zeigen nachstehende Aufgaben:

1. Für einen Eisenbahnbau (Straßenbau) wird bei A ein Steinbruch eröffnet, von welchem das Material zu dem Brückenbaue bei B zu befördern ist; unter Berücksichtigung der Zugkraft, der Baukosten, der zulässigen Steigung soll ein Weg trassiert werden.
2. Von einer bestimmten Partie eines Waldhanges A soll nach einer Bahnstation B Holz verführt werden; es sind entsprechende Trassenstudien anzustellen.
3. Eine Straße, welche zwei in verschiedenen Tälern gelegene Punkte A und B verbinden soll, führt über einen Sattel C ; außerdem soll eine bestimmte Ortschaft D und ein anderes Objekt E berührt werden. Welche Trassen sind möglich?
4. Bei A werden die Quellen einer Wasserleitung für den Ort B gefaßt; es ist zu untersuchen, wie die Trasse der Zuleitung am besten zu führen wäre, um zum Reservoir C des Ortes, das in der Nähe desselben situiert ist, zu kommen.
5. Es ist in einem begrenzten Waldgebiete unter gegebenen Bedingungen ein Wegenetz zu projektieren.

Die Vorstudien und Vorarbeiten für diese und eine Fülle ähnlicher Aufgaben lassen sich auf Schichtenplänen, gestützt auf das „Graphische Trassieren“, ausführen.

369. Auf Tafel XI, welche einen Schichtenplan für Terrainformen im Zusammenhange darstellt, findet man verschiedene für die Praxis des „Graphischen Trassierens“ wichtige Aufgaben vereinigt:

1. Die Kote des Punktes Y , der zwischen den Schichtenlinien 420 und 440 liegt, ist mit 436 m bestimmt (Band II, Nr. 233).
2. Vom Punkte I mit der Kote 400 sind Anlagen für 10° , 14° und 8° angegeben, wodurch die Richtung für die Erhebung unter 10° , 14° und 8° zu der Schichtenlinie 420 nach J_1 , J und J_2 möglich wird; 14° stellt die größte Neigung vor, es ist dies der Fallwinkel (Band II, Nr. 231).
3. Die Interpolation von Schichtenlinien ist durchgeführt, und zwar sind im unteren Teile des Schichtenplanes die Schichtenlinien von 5 zu 5 m eingeschaltet und hiebei die Fünfer-Isohypsen gestrichelt und die Zehner-Isohypsen schwach ausgezogen; im oberen Teile des Schichtenplanes sind nur die Zehner-Isohypsen interpoliert und schwach ausgezogen (Band II, Nr. 233).
4. Vom Punkte x mit der Kote 360 ist für die interpolierte Schichtenhöhe von 5 m eine Trasse unter der konstanten Neigung von $2\cdot5^\circ$ geführt und man kann den möglichen Verlauf derselben verfolgen (Band II, Nr. 366).
Im oberen Teile des Schichtenplanes ist vom Punkte W der Schichtenlinie 720 für die eingeschalteten Schichtenlinien von 10 m eine Trasse von 5° Neigung konstruiert, welche in mehreren Windungen (Serpentinen) nach der Schichtenlinie 860 auf eine markante Kuppe führt (Band II, Nr. 365).
6. In der Vertikalebene NV ist ein Terrainprofil bestimmt und in der Höhe maßstäblich gezeichnet; die im Profile gelegenen Terrainformen: Felswand, Rückfallkuppe, Kuppe, Mulde u. s. w. sind hervorgehoben. Die im Profile von der Kuppe O nach der Rast U des Nebenhanges gezogene Linie zeigt deutlich, daß vom Punkte O aus durch den Nebenrücken, der von D nach F führt, die Punkte R , S , T sowie die im Zuge liegenden Rinnen, Absätze u. s. w. unsichtbar sind, daß sich hingegen die Sichtbarkeitsverhältnisse von der Rast U des Nebenrückens viel günstiger gestalten.
Analog zeigt die Verbindungsgerade OS , wie die gegenseitigen Verhältnisse bezüglich der Sichtbarkeit zu deuten sind (Band II, Nr. 363).

Zur Orientierung bezüglich der im Register enthaltenen Seitenangaben mögen die folgenden Daten über den Umfang des Werkes dienen:

I. Band	}	1. Hälfte umfaßt	Seite	1— 612
		2. » »	»	613—1114
II. »		umfaßt	»	1— 535

Autorenregister.

	Band	Seite		Band	Seite
A.					
Abbe	I	275	Bertot	I	825, 839
Abdank-Abakanowicz	I	1094	Bessel	} I	132, 142, 143
Abendroth	I	969			
Abney	II	193	Beyerlen	II	212
Adamczik	I	912	Binder	I	1032
Ahrens	I	104	Biot	} I	263
Albrecht	I	125			II
Alder	I	1054, 1055	Bohl v.	I	126
Ambronn	I	552	Böhm	I	142
Amsler	} I	204, 1064	Bohne	II	253
		1081, 1094	Bohnenberger	I	977, 1032
	II	172	Borda	I	142
Amsler-Laffon	II	172	Borletti	II	453
Arzberger	II	256	Börsch	I	321, 838
B.					
Babinet	} II	240, 241, 243	Bose	II	83, 193, 197
		279, 280	Brandis	I	292
Baggi	II	381	Breithaupt	} I	240, 436, 552
Baily	II	221			
Bauernfeind	} I	375, 381, 624			386
		839, 986	Bremiker	I	125, 1094
		1031, 1094	Brigg	II	220
		176, 189, 212	Broch	I	364
		217, 222, 228	Brönimann	I	960
	II	240, 298	Brosset	II	38
Baur	} I	1031	Bruno	I	125
		197	Bunten	II	230
Bayer	II	212	Bureau des longitudes	I	146
Becker	} I	1031	Burkhardt	} I	105, 108, 111
		453			
Bellieni	II	38	Butenschön	} I	280
Berlin	I	381			II

	Band	Seite		Band	Seite
C.			E.		
Carl	I	552	Eckhardt	II	235
Carnot	I	631	Eder	II	470, 508
Casella	II	281	Eggert	I	745, 838
Cerebotani	I	356	Egli	I	126
Clarke	I	136	Elb	II	442
Classen	I	275	Elschnig	II	298
Clouth	I	646	Engel	I	582, 663, 838
Colin	I	978	Engelbreit	I	552
Corabœuf	II	212	Ernst	I	126
		I 584, 599, 600	Ertl & Sohn	I	188, 295
		610, 1074		II	382
		1078, 1079			
Coradi		1081, 1082	F.		
		1083, 1086	Favaro	I	126, 1094
		1087, 1094		I	410, 428, 436
Crelle	I	125			533, 951
Cremona	I	126	Fennel Söhne	II	38, 59, 60, 379
Croy	II	414			381, 383, 388
Crug	II	298			390, 414
Cybulz	II	337	Fenner	I	275
Czapski	I	275	Ferraris	I	276
Czuber	I	104	Finsterwalder	II	506
			Fleischhauer	I	599, 600
D.			Flemmer	II	506
Decher	I	381, 594, 595	Förster	I	147, 211
	II	172	Fortin	II	225, 239
Defert	I	646		I	321, 745, 792
Delambre	I	142, 147			823, 824, 838
	II	212	Franke	II	230
Demartean	II	377	Fraunhofer	I	256
Dennert & Pape	I	746	Freuchen	I	981
	II	134	Friedmann	II	134
Desaga	II	83		I	355, 598, 653
Deubel	I	381			895
Deutschbein	II	252	Friedrich	II	377, 414
Deville	II	506		I	506, 508, 587
Dinger	I	104			596, 653
Dingler	I	211	Fromme	II	398
		I 125, 126, 150	Fueß	II	279
		355, 381, 838	Fuller	I	119
		1094			
Doležal	II	41, 414, 470	G.		
		506, 508	Galilei	I	236
Doležalek	II	454	Gamborg	I	125
Doll	II	337	Gast	II	454
Dörflinger	II	454		I	26, 28, 64, 65
Dörgens	I	1094, 1114			66, 73, 74, 75
Dove	I	147	Gauß F.		104, 276, 740
Duplessis	II	172			747
Dyck	I	126		II	212, 222, 240

	Band	Seite		Band	Seite
Gauß F. G.	}	I 125, 126, 646	Heil	II	393
		823, 824, 839	Helmert	}	I 104, 211, 839
		960, 1114			II 217, 298, 453
Gavard	I	612	Helmholtz v.	I	276
Gay-Lussac	II	230	Hensoldt	I	211, 411
Gelpke	II	454	Herr	I	104
Genge	I	839	Herz	I	104
Gerke	I	964, 969	Herzog	II	298
Gerling	}	I 104, 321, 449	Hierl	II	299
		477, 480, 794	Hildebrand	}	I 302, 303, 436
Gintl	II	298			530, 936, 949
Gleichen	I	276	Hilscher	II	352
Goldschmid	}	II 253, 254, 255	Hirsch	II	189
		256, 258, 275	Hoëgh v.	I	969
		279, 298	Hogrewe	II	172
Gonser	I	288	Hohmann	I	1079, 1094
Goulier	II	38, 381, 414	Hölscher	I	1094, 1114
Graf	II	454	Höltschl	}	I 1032, 1114
Grassi	II	298			II 298
Gravelius	I	125, 126	Horský	I	460, 746, 825
Großbauer	II	197	Hottinger	II	279
Grunert	I	985, 1032	Hübl, Baron	II	479, 506
Guillaume	II	178	Hunäus	I	552
Günther	II	414	Hurth	II	83
Gysin	II	453	Hüser	I	1114
H.			Huygens	}	I 142, 250, 251
Haberl	I	1031			252, 254, 265
Hagen	I	104	272		
Hahn	I	411	I.		
Halter	II	134	Iriarte	II	507
Hamann	I	1094	J.		
Hammer	}	I 126, 355, 640	Jadanza	II	393
		825, 839, 918	Jahn	II	299
		1084	Jellinek	II	240, 299
Hammer-Fennel	}	II 134, 189, 379	Jordan	}	I 104, 125, 321
		390, 414			744, 839, 964
Hanhard	II	453	969		
Hansen	}	I 104, 276, 632	II 134, 217, 241		
		730, 986, 987	243, 279, 292		
Harksen	I	960	299, 363, 392		
Hartl	II	172, 217, 298	393, 414, 453		
Hartner	I	981	507		
Hartung	I	612	K.		
Hauck	II	506	Kahle	II	337, 529
Hauptfleisch	I	552	Kajaba	I	1078, 1094
Heath	I	276	Kalmár v.	II	189
Hecht	II	453	Kanthack	I	276
Hegemann	}	I 104, 839	Kappeller	}	II 229, 230, 232
		337			239

	Band	Seite		R.	Band	Seite
Netto	I	984, 1032				
Neuhöfer & Sohn	I	364, 532, 583				
		598	Radau		II	240, 243, 279
Neumann	I	276				280
Neumeyer	II	240, 243, 299	Ramond		II	222
Niesiolowsky v.	I	356			I	242, 250, 252
Nießl v.	II	172				253, 254, 255
Nowak	II	298				272, 942
					II	465, 470
			Rebstein		I	969
			Regnault		II	221, 222
					I	339, 895, 943
			Reichenbach		II	356, 362, 364
						377, 378
			Reina		II	381
			Reinecke		I	436
					I	201, 211, 321
			Reinhertz		II	150, 172, 298
						355
			Reinisch		I	208
			Reiß		I	646
					II	38
			Reitz		I	1078
					II	252
			Reitz-Deutschbein		II	252
			Reitzner v.		I	986
					II	310, 336, 337
			Repsold		I	144
			Reuleaux		I	126
			Reusch		I	276
			Rex		I	125, 126
			Richard Frères		II	279
			Riebel		I	596, 652
					II	398
			Rieth		I	211
			Rodenbusch		I	960
			Rohr		I	960
					II	507
			Roksandić		I	625
			Romershausen		I	553
			Roncagli-Urbani		II	381
			Rosenmund		II	454
			Roskiewicz		I	353
					II	529
			Rost		I	508, 509
					II	178, 479
			Ruckdeschel		I	321
					I	125
			Rühlmann		II	222, 224, 228
						240, 299
			Rummer v.		II	507
			Runge		I	1095
			Ruth		I	126

O.

P.

	Band	Seite		Band	Seite
S.					
Sailer	I	612	Sickler	I	581
Salmoiraghi	II	415		II	31
Sanguet	II	381	Simpson	I	1019
Sanlaville	II	193	Sombart	I	960
Sarrazin	II	453		I	147, 174, 269
Savitsch	II	212			270, 275
Scheda	II	337			1032, 1095
Scheffler	I	276	Stampfer	II	18, 20, 21, 34
Scheimpflug	II	507			59, 83, 103
					138, 140, 144
					145, 146, 157
					158, 173, 240
					375, 376
	I	276, 345, 346	Stampfer-Doležal	I	125, 126, 150
		355, 436, 936			525
		942, 960, 1032		II	142, 173
		1077, 1095	Stampfer-Lorber	I	276
Schell	II	140, 158, 173		II	217
		177, 178, 180			
		189, 202, 299		I	214, 345, 355
		355, 372, 415			366, 377, 405
		469, 470, 507			427, 432, 506
Schenkl	II	299			508, 528, 529
Scherer	I	119			531, 553, 579
Scheurer	II	38			597, 653, 665
Schiffner	II	507, 508			1061, 1063
Schikofsky	II	529			1064
Schindler	I	961	Starke, bezw.		
Schleiermacher	II	235	Starke & Kammerer	II	58, 59, 60, 78
Schlesinger	I	294, 598, 973			83, 134, 139
		1095			142, 158, 178
Schlömilch	I	321			256, 259, 352
Schmarda	I	1032			355, 362, 365
Schmidt	I	381, 840			366, 368, 372
Schneider	I	295, 598			376, 379, 388
Schneitler	I	552			393, 397, 411
Schoder	I	321			442, 463, 469
	II	299			471
Schreiber	I	1114	Starke & Tichý	II	365, 380, 389
	II	299			393
Schrön	I	125	Stegemann	I	104
Schubert	I	275	Steiger	I	126
Schüle	I	321	Steiner	I	293
Schumacher	I	136		II	507
Schuster	I	105	Steinheil	I	144, 242, 255
Schwentner	I	553			298
Seibt	II	190	Streffleur	II	337, 529
Seiffert	I	745, 838	Struve	II	212
Selling	I	126	Stück	I	969
Service Géographique	I	125	Suckow	II	299
Servus	I	276	Suppan	II	299
Seyfert	I	745, 838	Sylvester	I	612
			Szepaniak	II	415

	Band	Seite		Band	Seite
T.					
Tapla	I	1032	Wagner-Fennel	II	381, 383, 388 390
Taylor	I	4, 44, 71, 85 138	Waldner		II
Teischinger		II	397	Waldstätten	II
Terrier	I	126	Wang	II	507
Tesdorpf	II	41	Wanka	II	337
Thacher	I	119	Wastler	I	321
Theile	II	299	Weber	I	211
Thiele	II	507	Weilenmann	II	258
Thomas	I	105	Weinstein	I	147
Thomka v.	I	612	Weitbrecht	I	104
Thompson	II	505	Weixler		II
Tichý	I	345, 356, 612	Wellisch	I	839, 840 104, 961
		355, 365, 372	Werner	II	415
	379, 393, 415	Wessely	I	961	
Tichý & Starke	II	365, 380, 389	Wetli	I	1057, 1063
	I	393 136, 147, 274	Wetli-Starke	I	1054, 1057 1063
299, 321, 356		Will	I		572
Tinter	I	552, 961	Wilski	I	839
		1063, 1095	Wilson	I	235
	II	415	Winckel	II	453
Torricelli	II	226, 231	Winckler	I	1032
Tschamler	II	506	Winkelmann		II
Tulla	I	822	Winkler v.	I	54, 275 554, 1032
U.					
Ulfers	I	646	Wittmann	II	193, 194, 197
Umann	II	529	Wittstein	I	298, 600
V.					
Vallot	II	507	Wolf	I	125
Vega v.	I	125	Wolz	I	1031
Vogler	I	104, 381, 552	Wondre	I	292
		173, 190, 299	Wüllner	I	356
	396				276
Voigt	I	746, 838	Z.		
Vorländer	I	321, 1094	Zaffauk	II	337, 529
W.					
Wagner	I	356, 381, 961	Zech	I	276
		41, 173, 381	Zeiß	II	487, 491, 496
	383, 388	Zimmermann H.	I		506
	II		Zimmermann L.	I	125
			Zwicky	I	126
					II
					37

Zur Orientierung bezüglich der im Register enthaltenen Seitenangaben mögen die folgenden Daten über den Umfang des Werkes dienen:

I. Band	}	1. Hälfte umfaßt	Seite 1— 612
		2. " "	" 613—1114
II. " "		umfaßt	" 1— 535

Sachregister.

	Band	Seite		Band	Seite
A.					
Abbildung			Absolute Konstante		
ebene und sphärische	I	134	der Distanzgleichung	I	328
Abdankungszeichen	I	1002	des Polarplanimeters	I	1073
Abdrucke	II	306	der Aneroidgleichung	II	249
Aberration, siehe Abweichung			Absolute Richtung	I	692
Abfall	II	325	Abstecken		
Abhang	II	} 322	gerader Linien	}	I 613
			von Winkeln		
Abhangsrücken	II	325	von Senkrechten	I	617
Abkürzungen für die Maße	I	147	von Parallelen	I	619
Ableitung			von Kurvenbogen	II	621
der barometrischen Höhenformel	II	218	der Hauptpunkte	}	II 416
der Grundformeln für die tachy-			von Detailpunkten		
metrischen Elemente			von Hilfstangenten	II	425
bei Instrumenten älterer Kon-			von beliebig kontinuierl. Kurven	II	427
struktion	II	350	einer Korblinie	II	434
bei Instrumenten neuerer Kon-			der Übergangskurve	II	434
struktion	II	361	der Übergangskurve	II	436
Ablesefehler	I	471	von Tunnelachsen	II	442
Ablesemittel			unter Tage	II	446
an Winkelmeßinstrumenten	I	409	von Kurvenbogen in Tunnels	II	446
Ablesevorrichtung			Absteckstäbe	I	277
der Winkelmeßinstrumente	I	383	Absteckung und Festlegung		
Abplattung der Erde	I	133	eines Längenprofils	II	95
Absätze	II	328	eines Querprofils	II	101
Abschiebapparat von Engel	I	582	Absteckungsfehler mit Win-		
Abschiebeapparat	I	1010	kelinstrumenten	I	380
Abschlußfehler im Polygonzuge	I	848	Abwägelatte	I	299
Abschlußwinkel	I	843	Abwägen	II	4
Absehen	I	267	Abweichung		
Absolute Höhe	II	4	wegen der Kugelgestalt	I	227
Ermittlung	II	214	wegen der Farbenzerstreuung	I	228

	Band Seite		Band Seite
Abweichung		Änderung	
sphärische	I 227	der magnetischen Deklination . .	I 521
von der Messungsrichtung . . .	I 307	Änderung der Begrenzung auf-	
in der Zugrichtung	I 848	genommener Flächen	
Abweichungskreis		bei gleicher Bonität	I 1110
sphärischer	I 227	bei verschiedener Bonität . . .	I 1113
chromatischer	I 228	Aneroide	II 242
Abzeichnen durch Quadratnetze	II 305	Zeigeraneroide	II 245
Achromatische Objektive . . .	I 249	Schraubenaneroide	II 253
Achromatische Okulare	I 249	Aneroidgleichung	II 248
Achsen des Theodolites	I 407	für Schraubenaneroide	II 258
Achsenfehler des Theodolites	I 461	Aneroidvergleichung	II { 252
Achsenlager	I 418		268
Achsenlibelle	I 408	Anfertigen der Feldbrouil-	
Additionelle Konstante der		lions	I 1015
Distanzgleichung	I 328	Angabe der Parzellen	I 676
Ähnlichkeitsgleichung	I 224	Anhaltspunkte	II 93
Äquidistante	I 1047	Anknüpfungspunkte	II 93
Akkommodationsvermögen . . .	I 231	Anlage	II 312
Akzeleration der Schwere . . .	I 221	der Schichtenböschung	II 310
Alhidade	I { 383	Anlage des Polygonnetzes . . .	I { 840
	403		963
Alhidadendrehachse	I 407	Anlage und Festlegung	
Alhidadenfeinschraube	I 407	des Netzes III. Ordnung	I 712
Alhidadenklemme	I 407	des Netzes IV. Ordnung	I 713
Alhidadenkreis	I 383	Anlageskalen, -maßstäbe . . .	II 313
		Anschlagnadel	I 992
		Anschluß	
Alhidadenlibelle	I { 187	eines Satzes an feste Richtun-	
	208	gen	I 765
	407	eines Polygonzuges an Netz-	
	II 22	punkte	I 843
Alhidadenregel	I 383	eines Polygonzuges an einen un-	
Alhidadenträger	I 404	zugängigen Punkt	I 897
Alhidadentransporteur nach		eines Nivellements an das Prä-	
Nagel	I 595	zisionsnivellement	II 186
Allgemeine Eigenschaften der		Anschlußpunkt	II 404
Nivellierinstrumente	II 65	Anschlußtriangulierung . . .	I 710
Allgemeine Teilung des Drei-		Anschlußvisur	II { 353
eckes	I 1099		404
Amalgambelag des Winkel-		Anschlußwinkel	I 843
prismas	I 367	Anwenden	I 683
Amtliche Fehlergrenzen		Anwendung	
		der Fehlerrechnung	I 5
bei direkten Längenmessungen .	I { 316	des Mikroskopes	I 260
	317	der Abwägelatte	I 300
	318	des Pentagonalprismas	I 373
	1024	des Auftragapparates für Längen	I 575
bei Polygonwinkelmessungen . .	I 1018	des Horskýschen Diagrammes .	I 829
Anallatische Linse	I 335	der Aneroide in der technischen	
Anallatischer Punkt	II 350	Praxis	II 293
Änderung			
der Maßstäbe mit der Temperatur	I 176		

	Band Seite		Band Seite
Anwendung		Aufnahme	
des Stereokomparators von		von krummen Linien, Flüssen,	
Pulfrich	II 493	Straßenzügen und Häusern . . .	I 670
der kotierten Projektion auf Tras-		von einzelnen Grundstücken . . .	I 674
sierungsaufgaben	II 530	mit dem Meßtische	I 685
Anzahl der Polygonpunkte	I { 841 963	des Polygonnetzes	I { 840 963
Apparat zum Auftragen von		des Polygonzuges	I 842
Winkeln	I 589	von Städten	I 961
Äquator	I 132	der Details in Städten	I 965
Äquidistante	I 1047	von geschlossenen Ortschaften . .	I 1022
Äquivalente Brennweite	I 221	von Längenprofilen	II 95
Arbeit am Rayon	II 514	von Querprofilen	II 102
Arbeiten		von Horizontalkurven	II 127
mit Stahlband, Absteckstäben und		Aufnahmeblatt	II 510
Winkelspiegel	I 613	Aufnahmefeld	II 476
mit dem Meßtische	I 970	Aufnahmemethoden des Meß-	
Arithmetisches Mittel	I 30	tisches	I 990
allgemeines	I 37	Aufnahmesektionen	
Arten der Distanzmesser	I 322	der Katastralvermessung	I { 707 709 1009
Astrolabium	I 399	der Militärmapping	II 510
Astronomische Okulare	I 250	Aufnahmen	
Astronomische Refraktion	I 200	mit Stahlband und Winkelspiegel	I 682
Astronomischer Meridian	I 134	eines größeren Verbandes von	
Astronomischer Mittag	I 1027	Grundstücken	I 686
Attachiertes Thermometer	II 226	nach dem Augenmaße	I 1028
Aufgabe der unzugängigen		Aufsetzlibellen	I 187
Distanz	I { 632 730	Aufspannen	
zusammengesetzt	I 640	des Fadenkreuzes	I 240
Aufgaben		des Meßtisches	I 568
der Ausgleichsrechnung	I 29	Aufstellung	
der praktischen Geometrie	I 629	des Theodolites	I 408
über das Nivellieren	II 112	der Winkelgleichungen	I 797
über das trigonometrische Höhen-		der Seitengleichungen	I 798
messen	II 203	der Nivellierinstrumente	II 22
Auflösung der Normalgleich-		der Quecksilberbarometer	II 227
chungen		der Tunnelabsteckungsinstrumente	II 447
mit Näherungswerten	I 58	Aufstellungsfehler	
Rechenkontrollen	I 58	wegen schiefer Stellung	I 464
nach dem Gaußschen Elimina-		wegen exzentrischer Stellung . . .	I 466
tionsverfahren	I 59	Aufsuchen	
Aufnahme		von Zwischenpunkten einer Geraden	I 360
für forstliche Zwecke	I 138	des Schnittpunktes zweier Geraden	I 616
für hydrotechnische Zwecke	I 138	von Fehlern in der Koordinaten-	
für topographische Zwecke	I 138	rechnung	I 645
ökonomische	I 138	von Fehlern in Polygonzügen . .	I 913
eines kleinen Verbandes von		von Fehlern bei der Meßtischauf-	
Grundstücken	I { 657 675 1000	nahme	I 996
mit dem Theodolite	I 840	gleich hoher Punkte im Terrain . .	II 128
mit dem Meßtische	I 970		

	Band	Seite		Band	Seite
Auftragapparate	I	573	Ausführung		
für Längen	I	573	von stereophotogrammetrischen		
von Engel	I	582	Aufnahmen	II	500
für Winkel	I	589	Ausgleichung		
kombinierte	I	594	direkter Beobachtungen	I	29
von Friedrich	I	598	vermittelnder Beobachtungen	I	50
Aufträgen			bedingter Beobachtungen	I	83
rechtwinkliger Koordinaten	I	578	von direkten Längenmessungen	I	318
von Winkeln	I	589	von Doppelmessungen	I	319
der Netzpunkte einer Triangulierung	I	699	von Horizontalwinkel-Messungen	I	479
von Stadtplänen	I	968	der Winkel in einer Station	I	481
triangulierter Punkte auf die Meß-			der Winkel in einem Polygone	I	494
tischblätter	I	1009	der Winkel in Dreiecksnetzen	I	501
der Orientierungslinien	I	1010	der Winkel einer Triangulierung	I	694
der tachymetrischen Aufnahme	II	408	von selbständigen Dreiecksnetzen	I	794
Auftraglineal	I	574	bei Winkelmessungen	I	795
Auge	I	230	bei Richtungsmessungen	I	809
Auge, reduziertes	I	231	der Winkel und Koordinaten nach		
Augenlinse	I	250	praktischen Regeln	I	811
Augenmaß	I	153	beim Einschneiden	I	811
		1028	Ausgleichung der Winkel und		
Augenpunkt	I	239	Koordinaten nach prakti-		
Augenpunktkreis	I	246	schen Regeln		
Ausbalancierung der Magnet-			von trigonometrischen Punktbe-		
nadel	I	516	stimmungen	I	737
Ausdehnung			bei Winkelmessungen	I	746
des Vermessungsgebietes der			bei Richtungsmessungen	I	765
Niederer Geodäsie	I	135	beim Einschalten	I	814
des Quecksilbers	II	233	beim Einketten	I	819
Ausdehnungskoeffizienten	I	176	des Polygonnetzes	I	840
	II	233	von Polygonzügen	I	843
der Urmaße	I	142	des Winkelwiderspruches in Poly-		
Ausfertigung			gonzügen	I	845
kolorierter Pläne	II	302	von Nivellements	II	160
Ausführung			von Nivellementscheifen	II	165
einer kleinen selbständigen Trian-			von Nivellementnetzen	II	168
gulierung	I	687	graphische	I	123
der Parzellenaufnahme	I	956	der Aneroidkonstanten	II	262
der Meßtischaufnahme	I	999	Ausgleichsrechnung nach		
eines Punkt-, resp. Liniennivelle-			der Methode der kleinsten		
ments	II	84	Quadrate	I	23
des Präzisionsnivellements	II	176	Auslöschvorrichtung bei		
des österreichischen Präzisions-			Rechenmaschinen	I	105
nivellements	II	185		I	109
der trigonometrischen Höhen-			Ausmessen der Bildkoo-		
messung	II	201	ordinaten	II	477
von barometr. Höhenmessungen	II	275			657
von tachymetrischen Aufnahmen	II	400	Auspflocken	I	678
von Tunnelachsenabsteckungen	II	445			1015
von photogrammetrischen Auf-			Ausrüstung		
nahmen	II	475	des Meßtisches	I	567

	Band Seite		Band Seite
Ausrüstung		Baumsignale	I { 279
des Mappeurs	II 512	Bauparzelle	I 676
Äußere Richtungen	I 711	Bauprofile	II 122
Ausstecken		Bedeutung der Konstanten	
von Winkeln	I 617	eines Polarplanimeters	I 1069
von parallelen Linien	I 621	der Aneroidgleichung	II 249
der Sektionslinien	I 1015	Bedingte Beobachtungen	I 83
der Mittagslinie	I 1027	Bedingungsgleichungen	I 84
Auswahl der Polygonpunkte	I 841	in Dreiecksnetzen	I 794
Automatische Tachymeter	II 378	Beipflöcke	I 284
Automatische Kartierungsin-		Beispiele	
strumente von v. Orel	II 505	zur Fehlerrechnung	I { 5
Azimut	I { 134	zur Ausgleichungsrechnung, } I { 22	
astronomisches	I 503	direkte Beobachtungen	I { 34
magnetisches	I 503	für eine Funktion direkt beob-	
Azimutänderung	I 20	achteter Größen	I 40
		für vermittelnde Beobachtung	I { 72
B.		für das Gaußsche Eliminations-	
Badische Ausgleichungsme-		verfahren	I { 83
thode	I 822	zu bedingten Beobachtungen	I { 72
Balkennadel	I 502	zur Messung von Vertikalwinkeln	
Bandstäbe	I 290	mit der Libelle	I 192
Barograph	II 279	zur Bestimmung des Winkelwertes	
Barometer	II 225	eines Skalenteiles und des	
Barometerkoeffizient	II 222	Krümmungsradius einer Libelle	I 199
Barometerstand	II 226	für die Lattenvergleichung	I 304
Korrekturen und Reduktionen	II 233	für die Konstantenbestimmung } I { 330	
Baromètre holostérique	II 245	bei Fernrohr-Distanzmessern } I { 332	
Barometrische Differenz	II 242	zur Bestimmung der Exzentrizität	
Barometrische Einheit	II 222	der Alhidade	I 396
Barometrische Höhenformel		für die einfache Winkelmessung	
Ableitung	II 219	ohne Durchschlagen	I 439
Differentialformel	II 220	mit Durchschlagen	I 441
Grundformel	II 222	für die Winkelrepetition	
Näherungsformel	II 224	ohne Zwischenablesungen	I 442
Barometrische Höhenrechnung	II 240	mit Zwischenablesungen	I 446
Barometrische Höhenstufe	II { 242	für die Durchführung der Rechen-	
Barometrische Höhentafeln	II 241	kontrollen bei Winkelrepeti-	
Barometrisches Höhenmessen	II 5, 218	tion	I 448
Ausführung	II 275	für Richtungs- oder Satzbeob-	
Genauigkeit	II 294	achtungen	I { 452
Basis	I { 663		I { 453
Basisdreiecke	I 693		
Basispunkte der Landestrian-			
gulierung	I 700		
Basis schnur	I 284		
Baumhöhenmeser	II 193		

	Band Seite		Band Seite
Beispiele		Beispiele	
für die Scheitelreduktion eines		für den Ansatz von Bedingungs-	
Horizontalwinkels	I 456	gleichungen und Ausführung	} I { 801 bis 807
für den Horizontabschluß		von Ausgleichungen in Drei-	
ohne Kontrollmessungen . . .	I { 485 486	ecksnetzen	807
mit Kontrollmessungen	I { 487 491 491	zur Zerlegung in Partialnetze . .	I { bis 809
für den Stationsabschluß	I { bis 494	zur Ausgleichung der Winkel	} I { 816 bis 819
für die Polygonausgleichung . .	I { 494 bis 501	nach praktischen Regeln . . .	
für die Messung der doppelten		zur Polygonzugsausgleichung	
Zenithdistanz mit Libellen-		nach Näherungsmethoden . . .	I { 853 bis 857
kontrolle	I 542	nach der strengen Methode I	{ 864 — 872 876 — 881
zu den Grundaufgaben der Ko-		zum optischen Polygonzug	I { 886 bis 895
ordinatenrechnung	I 647	zur Zugsverknötung	I { 901 909
für die Rechenkontrollen der		zum Bussolenzug	I 919
Koordinatenrechnung	I 648	zum Bussolenzug mit Springständen	I { bis 923 930
für die Berechnung eines poly-		für die Flächenberech-	} I { 1035—1037 1040—1043
gonalen Zuges	I 650	nung eines Polygons	
zum einfachen Vorwärtseinschneiden	I { 721 bis 723	für die Konstantenbestimmung des	
zum einfachen Rückwärtsein-	} I { 727 bis 730	Polarplanimeters	I 1071
schneiden		für die Rektifikation des Nivellier-	
zum Problem von Hansen	I { 733 737	instrumentes mit fixem Fernrohr	II 28
zum mehrfachen Vorwärtsein-	} I { 750 bis 756	für die Untersuchung der Ungleich-	
schneiden m. Winkelmessungen		heit der Ringhalbmesser	II 53
zum mehrfachen Rückwärtsein-	} I { 760 bis 765	für die Bestimmung des Skalen-	
schneiden m. Winkelmessungen		teiles einer Nivellierlibelle . . .	II 69
zum mehrfachen Vorwärtsein-	} I { 771 bis 775	für die Ausgleichung von Doppel-	
schneiden mit Richtungsbeob-		nivellements	II 163
achtungen	zum mehrfachen Rückwärtsein-	von Nivellementsschleifen	II 167
zum mehrfachen Rückwärts-	} I { 780 bis 784	schneiden m. Winkelmessungen	II 170
schneiden mit Richtungsbeob-		für die Ausführung eines Präzisions-	
achtungen	schneiden mit Richtungsbeob-	nivellements	II 182
zum kombinierten Einschneiden	} I { 785 bis 791	für die barometrische Höhenberech-	
mit Richtungsbeobachtungen		nung nach Babinet	II 243
zur Transformation der Seiten-		zur Bestimmung der Koeffizienten	} II { 269 bis 275
gleichungen	I 800	der Aneroidgleichung	
		für die Höhenmessung mit zwei	
		Aneroiden	II 279
		mit einem Aneroid	II { 282 bis 283

	Band	Seite		Band	Seite
Beispiele			Beschreibung		
für die Interpolationsmethode	} II	290 bis 293	des Glasprismas	I	371
mit einem Aneroid			I	373	
zur Bestimmung der Bildweite			des Astrolabiums	I	399
eines Phototheodolites	II	474	des einfachen Theodolites	I	403
Beleuchtung			Besselsches Meter	I	143
des Fadenkreuzes	I	266	Bestimmung		
der Flächen	II	316	des Winkelwertes eines Skalen-		
Bemerkungen zur Ausgleichung			teiles und des Krümmungsradius		
bedingter Beobachtungen	I	95	einer Libelle	I	198
Beobachtung des Quecksilber-			der Elemente der Exzentrizität der		
barometers	II	227	Alhidade	I	392
Beobachtungen			der Exzentrizität der Visiervor-		
direkte	I	29	richtung	I	397
vermittelnde	I	50	von Senkrechten und Parallelen .	I	632
bedingte	I	83	von Zwischenpunkten einer Ge-		
Beobachtungsfehler	I	23	raden	I	635
Berechnen der Basis einer Tri-			der Richtungskoeffizienten	I	741
angulierung	I	693	der Richtungskoeffizienten mit dem		
Berechnen und Auftragen der			Horskyschen Diagramme	I	831
Orientierungslinien	I	1010	der Mittagslinie	I	1025
Berechnung			der Marke bei Nivellierinstru-	} II	23 141
der Koordinaten eines polygonalen			menten		
Zuges	I	648	des Winkelwertes einer Nivellier-		
des Polygonnetzes	I	840	libelle	II	68
der Koordinatendifferenzen in			der Konstanten der Stampfer-		
Polygonzügen	I	847	schen Winkelgleichung	II	139
barometrisch bestimmter Höhen .	II	238	des mittleren Fehlers in der Latten-		
der tachymetrischen Stationen .	II	407	höhe	II	152
der tachymetrischen Detailpunkte	II	408	des Refraktionskoeffizienten . . .	II	211
Berechnung der Flächen			des absoluten Luftdruckes mit	} II	247 251
einzelner Grundstücke	I	1033	einem Aneroide		
einer ganzen Aufnahme	I	1087	der Konstanten der Aneroid-		
einer Theodolitaufnahme	I	1088	gleichung	II	260
einer Meßtischaufnahme	I	1091	der Temperaturkoeffizienten . . .	II	261
Berechnungsgruppen	I	1088	der Teilungskoeffizienten	II	266
Bergbesteigungen	II	266	der Höhenlage eines Punktes im		
Bergdioptr	I	268	Schichtenplane	II	315
Berge	II	322	der Lage der tachymetrischen		
Bergfirst	II	322	Stationen	II	401
Bergfuß	II	332	der Bildweite und der Lage des		
Bergstriche	II	319	Hauptpunktes der Photographie	II	472
Bergwage	I	181	der Situation und Höhe von		
Berichtigen einer mit dem			photogrammetrisch festgelegten		
Meßtische aufgenommenen			Punkten	II	478
nicht schließenden Figur	I	995	der geographischen Positionen aus		
Berichtigung, siehe Rektifi-			Militärkarten	II	522
kation			Bewegliches Bild	I	369
Berolina	I	105 108	Bewegung		
			einzelner Teile der Instrumente .	I	160
			feine	I	160

	[Band Seite		Band Seite
Bewegung		Bussolenzüge	
grobe	I { 160	mit Springständen	I 919
Verbindung der groben und feinen	I 164	Genauigkeit	I 932
Nußbewegung	I 167		
Bezeichnung		C.	
von Punkten auf dem Felde . . .	I 276	Chorographie	I 131
auf dem Papiere	I 572	Chorographische Gegenstände	II 300
von Geraden auf dem Felde . . .	I 281	Chromatische Abweichung . . .	I 228
Bild	I 217	Colinscher Hilfspunkt	I 978
Bilddistanz	II 456	Crownglas	I 215
Bildebene	II 456	Cyanotypie	II 308
Bildkoordinaten	II { 457		
	477	D.	
Bildmeßkunst	II 455	Darstellung	
Bildtrasse	II 456	der Winkel durch Konstruktion	I 589
Bildweite	{ I 216	von Profilen	II 95
Bestimmung	II 456	von Längenprofilen	II 95
Bestimmung	II 472	von Querprofilen	II 101
Bisepunkte	I 953	der Horizontalaufnahme	II 300
Binsektion	I 274	der Vertikalaufnahme	II 309
Blending	I 230	des orthographischen Details . . .	II 309
Bodenwellen	II 321	des Terrains durch Schraffen . . .	II 317
Bodenwert	I 1096	Darstellungsarten	
Bogenabsteckung	II 422	der topographischen Fläche . . .	II 336
Bogenabsteckungstafeln	II 430	Defilé	II 335
Bogenanfang, -ende, -mitte	II 423	Definition der Geodäsie	I 130
Bogenmaß	I 148	Degré	I 148
Bonität	I 1096	Dekadische Ergänzung bei	
Böschungsdreieck, -winkel	II 311	Nivellierlatten	II 174
Brechungskoeffizienten	I 217	Deklination	I { 501
Brechungswinkel	I 648		521
Bremsring	I 165	Deklinationsnadel	I 501
Bremsschraube	I 162	Deklinationstabelle	I 522
Brennpunkt, Brennweite	I 218	Dendrometer von Winkler	II 194
Brouillon	I { 658	Depressionswinkel	I 526
	678	Detailabsteckung	
	1015	von Kurvenbogen	II 425
Buckel	II 322	von Tunnelachsen	II 449
Buntensche Spitze	II 230	Detailaufnahme	I { 840
Bussole	I 501		956
Bussoleninstrumente	I 501	in Städten	I 965
Einteilung	I 504	mit dem Meßtische	I { 970
mit Dioptern	I 504		1009
mit Fernrohr	I 506	Detailierapparat	II 512
Eigenschaften	I 515	Detailierbrettchen	I 679
Genauigkeit	I 519	Detailierbussole	I 512
Bussolentheodolite	I 507	Detailieren	
Bussolen-Universalinstrumente	I 507	im Alignment	II 514
Bussolenzüge	I { 843	mit Springständen	II 514
	916	nach der Koordinatenmethode . . .	II 515

	Band	Seite		Band	Seite
Detailnivellement	II	93	Distanzgleichung		
		95	bei geneigter Visur	I	324
Detailpunkte der Bogen-	II	425	bei horizontaler Visur	I	327
absteckung			des Porroschen Fernrohres	I	336
Detailtriangulierung mit dem			der neueren optischen Distanzmesser	I	339
Meßtisch	I	1013	der stereoskopischen Entfernungs-		
Deutlichkeit			messer	II	487
der Lupe	I	235	Distanzlatte	I	322
des Fernrohres	I	249	Distanzmessender Winkel	I	328
Prüfung	I	256	Distanzmessendes Fernrohr	I	323
Deutlichste Sehweite	I	231	von Porro	I	335
Deutsches Präzisionsnivele-			für die horizontale Latte	I	942
ment	II	188	Distanzmesser		
Diagonalmessungen	I	995	direkte	I	281
Diagonalvisuren	I	995	indirekte	I	322
Diagramm von Horský	I	746	mit konstanter Bildgröße	I	328
		825	mit variabler Bildgröße	I	332
Diametrale Nonien	I	389	mit horizontaler Latte	I	345
Diaphragma	I	230	ohne Latte	I	352
		421	von Roskiewicz	I	353
Differentialformeln			von Roksandič	I	625
für das rechtwinklige Dreieck	I	9	Distanzprisma von Bauernfeind	I	624
für das schiefwinklige Dreieck	I	18	Distanztransporteur von Decher	I	595
Differentialgleichung für das			Doppelbeobachtungen	I	40
barometrische Höhen-					41
messen	II	220	Doppellängenmessungen	I	319
Dimensionen der Libellen	I	194	Doppellibelle	I	203
Dimensionen des Erdellip-				II	64
soides	I	132	Doppelnivellements	II	161
Dioptr, Dioptrilineal	I	268	Doppelpentagon	I	378
		553	Doppelsenkel	I	178
		557	Doppelwinkelprisma, siehe Pris-		
Genauigkeit	I	269	menkreuz		
Eigenschaften und Rektifikation	I	557	Doppelwinkelspiegel	I	265
von Lehmann	II	193	Dorn für die Rektifikation	I	162
Dioptrflügel	I	268	Dosenlibelle	I	205
Dioptrlamellen	I	268	von Mollenkopf	I	207
Dioptrik	I	215	Drainröhren		
der bikonvexen Linse	I	216	für die Punktbezeichnung	I	280
Dioptrische Hauptformeln	I	218	Drehbares Okular-Filar-		
einer Linsenkombination	I	223	schraubenmikrometer	I	942
Dioptrisches System	I	215	Drehen des Fernrohres	II	43
Direkte Beobachtungen	I	29	Drehlatte	I	294
Ausgleichung	I	29		II	175
von gleicher Genauigkeit	I	30	Dreiecksberechnung	I	688
von ungleicher Genauigkeit	I	35		I	694
Funktionen	I	44		I	1033
Direkte Längenmessung	I	281	Dreiecksgleichungen	I	795
Genauigkeit	I	301	Dreiecksmethode	I	669
Ausgleichung	I	318	Dreiecksnetz	I	686
Distanzbestimmung (indirekte)	I	630	Einschaltung	I	792

	Band	Seite		Band	Seite
Dreieckspunkte	I	699	Einbinden	I	{ 670 953
Dreifuß	I	279	Einfache Punktbestimmung		
Dreifußstativ	I	212	durch Einschneiden	I	719
Dreifußunterbau	{ I II	{ 406 31	Einfache Winkelmessung		
Drucken	II	306	ohne Durchschlagen	I	438
Druckschraube	I	162	mit Durchschlagen	I	440
Dublette	I	235	Operationsfehler	I	{ 470 476
Durchschlagen d. Fernrohres	I	420	Einfaches Präzisionsplani-		
Durchzeichnen und Durch-			meter		1080
pausen	II	304	Einfluß		
E.					
Eigenschaften			der Temperatur auf Längenmesser	I	301
der Setzlibelle	I	192	der regelmäßigen Fehler	I	310
der Reiterlibelle	I	202	der unregelmäßigen Fehler auf		
der Dosenlibelle	I	205	Längenmessungen	I	311
des Fernrohres	I	243	der Lattenschiefe	{ I II	{ 348 151
des Prismenkreuzes	I	376	der Instrumentalfehler des Theo-		
der Horizontalwinkel-Meßinstru-			dolites	I	461
mente	I	384	der Anschlagnadel	I	992
des Astrolabiums	I	401	der Änderung des Papieres auf		
des Theodolites	I	416	die Flächenberechnung	I	1092
der Bussoleninstrumente	I	515	der Erdkrümmung und Refraktion	{ I II	{ 135 8,211
der Vertikalwinkel-Meßinstrumente	I	527	der Ungleichheit der Ringhalb-		
des Diopterlineales	I	557	messer	II	{ 50 54
des Perspektivlineales	I	560	Eingefügtes Thermometer	II	226
der Libellen-Nivellierinstrumente					{ 711 719 791
mit einem Diopter	II	14	Einketten	I	
mit einem Fernrohre	II	17	Ausgleichung nach praktischen		
der Nivellierinstrumente mit fixem			Regeln	I	819
Fernrohre	II	25	Einkreuzen	I	954
des Taschnivellierdiopters	II	35	Einrichten von Zwischen-		
der Nivellierinstrumente mit um-			punkten	II	419
legbarem Fernrohre	II	{ 43 46 49	Einrückungsmethoden	II	430
der Nivellierinstrumente mit dreh-					{ 711 719 791
barem Fernrohre	II	60	Einschalten	I	
des Universal-Nivellierinstrumentes	II	{ 70 76 79 82	Ausgleichung nach praktischen		
des Phototheodolites	II	{ 466 481	Regeln	I	814
Eigentliche			Einschaltung		
Höhenmessung	II	4	von Dreiecksnetzen	I	792
barometrische Höhenmessung	II	218	von Isohypsen	II	{ 130 526 636
Tunnelabsteckung	II	446	Einschneiden	I	{ 637 711
photogrammetrische Aufnahme	II	475	einfache Punktbestimmung	I	{ 711 719
Eigentumskataster	I	951			
Einbindemethode	I	669			

	Band	Seite		Band	Seite
Einschneiden			Elimination des Einflusses		
mehrfache Punktbestimmung	I	{ 711 746	der Exzentrizität der Alhidade	I	388
kombiniertes	I	{ 711 737 784	der Exzentrizität der Visiervorrichtung	I	391
Ausgleichung nach praktischen Regeln	I	811	der Instrumentalfehler des Theodolites	I	461
graphische Ausgleichung	I	821	der Ungleichheit der Ringhalbmesser	II	53
mit dem Meßtisch	I	974	Eliminationsgleichungen	I	{ 60 61
Einschneidetransporteur von Reitzner	I	986	Eliminationsverfahren von Gauß	I	59
Einschneidezirkel von Bauernfeind	I	986	Empfindlichkeit		
Einseitige Zenithdistanzmessung	II	{ 206 208	der Libellen	{ I 200 II 65	
Einsinken langer Maße	I	309	der Magnetnadel	I	515
Einspielen			Endmaß	I	282
des Lotes	I	179	Entwurf	I	{ 658 678
der Libelle	I	185	Erdellipsoid	I	132
Einstellung des Fernrohres auf Unendlich	I	238	Erdkrümmung	{ I 135 II 6, 201	
Einstellungsgerade	I	1073	Erdmeßkunst	I	130
Einteilung			Ergänzungsstationen	II	406
der Geodäsie	I	{ 129 130	Erhaltung und Fortführung des Katasterelaborates	I	959
der Niederen Geodäsie	I	131	Erhebung des scheinbaren Horizontes über den wahren II	II	8
der Höheren Geodäsie	I	131	Erhebungen und ihre Teile	II	322
der Feldmeßkunst	I	137	Ermittlung der absoluten Höhe II	II	214
der Horizontalwinkel-Meßinstrumente	I	399	Errichten von Senkrechten	I	360
der Bussolininstrumente	I	504	Ersatzebene von Linsen	I	218
des Landesgebietes für die Katastralaufnahme	I	{ 703 706	Étalon	I	141
des Nivellierens	II	6	Étalons à bouts, à traits	I	141
Einvisieren von Zwischenpunkten	II	418	Evidenzhaltung des Katasters I	I	959
Einweisen von Zwischenpunkten	I	614	Exzedenz	I	170
Einzelgefälle	II	84	Exzentrische Aufstellung	I	455
Eisenfreiheit der Magnetinstrumente	I	516	Exzentrizität		
Elastische Nachwirkung	II	250	der Alhidade	I	384
Elementaraufgaben der Feldmeßkunst	I	613	der Visiervorrichtung	I	{ 389 418
Elemente der Exzentrizität			lineare	I	435
der Alhidade	I	392	F.		
der Visiervorrichtung	I	397	Fadenkreuz	I	239
Elevationsschraube	II	15	-Platte	I	240
Elevationswinkel	I	526	Beleuchtung	I	266
			Fadenmikrometer	I	241
			Fadenplanimeter	I	1055
			Fahrarm	I	{ 1063 1069

	Band Seite		Band Seite
Fällen von Senkrechten	I 360	Fehlergrenzen	
Falllinie	II { 309 311	für die Flächenberechnung	I { 1089 1091
Farbenzerstreuung	I 228	für Längenprofile	II 101
Federbarometer	II 245	für Nivellements	II 156
von Naudet	II 245	für Präzisionsnivellements	II 177
von Bohne	II 253	Fehlerquellen	
Federbarometer von Reitz-		beim Horizontalwinkelmessen	I 460
Deutschbein	II 252	beim Nivellieren	II 150
Fehler	I 23	Fehlerrechnung	I 3
des arithmetischen Mittels	I { 30 36 38	Fehlerverhältnisse der Plani-	
mittlerer	I { 31 33 36	meter	I 1084
durchschnittlicher	I 32	Fehlerzeigende Figuren	I 821
wahrscheinlicher	I 32	Feinschraube	I 161
der Gewichtseinheit	I 36, 38	Feldaneroid	II 276
der direkten Längenmessung	I 301	Feldarbeiten	
wegen Lattenschiefe	I 348 II 151	der Triangulierung	I 688
der Horizontalwinkelmessung	I 460	der Tachymetrie	II 400
wegen Schiefstehens der vertikalen		der Photogrammetrie	II 475
Drehachse	I 464	der Militäraufnahme	II 512
wegen exzentrischer Aufstellung	I 466	Felderteilung	I 323
wegen unrichtigen Zielpunktes	I 468	Feldköpfe	I 683
bei der Repetitionswinkelmes-		Feldmeßkunst	I { 131 137
sung	I 473	Feldskizze	I { 956 1015
in der Koordinatenrechnung	I 645	Fennelsches Indexmikroskop	I 410
im Polygonzuge	I 913	Fernrohr	I 235
mittlerer in der Lattenhöhe	II { 66 152	dioptrisches	I 235
wegen der Lattenschiefe	II 151	katoptrisches	I 235
im Nivellement für 1 km	II { 156 170	einfaches astronomisches	I 236
Fehlerdreieck	I { 822 980	holländisches	I 236
Fehlerfortpflanzung bei		terrestrisches	I { 236 255
Längenmessungen	I 310	Eigenschaften	I 243
Fehlerfortpflanzungsgesetz	I 45	Vergrößerung	I 244
Fehlerfunktion	I 28	Gesichtsfeld	I 246
Fehlergleichungen	I { 26 52 84	Helligkeit	I 247
Fehlergrenzen		Deutlichkeit	I 249
bei Längenmessungen	I { 316 1018	zusammengesetztes astronomisches	I 249
für die Detailaufnahme	I 958	Leistungsfähigkeit	I 257
für die Kartierung	I 959	gebrochenes	I 264
bei Polygonwinkelmessungen	I 1020	als Visiermittel	I 271
		distanzmessendes	I 323
		anallatisches von Porro	I 335
		Fernrohrdioptr	I 270
		Fernrohrdioptr von Stampfer	II 35
		Fernrohrdistanzmesser	I 322
		Fernrohrdrehachse	I 407
		Fernrohrmikrometer	I 242
		Fernrohrringe	II 42

	Band	Seite		Band	Seite
Festes Lot	I	436	Flächenteilung	I	1096
Festlegung				I	1108
von Punkten	I	657	Flächenwert einer Rollen-	}	1061
einer ausgeflockten Partic.	I	682	umdrehung		
		1016	Fliegender Nonius	I	545
von Längenprofilen	II	95	Flintglas	I	229
von Querprofilen	II	101	Fluchtstäbe	I	277
der tachymetrischen Stationen	II	401	Flußparzelle	I	676
		353	Fokalstrahlen	I	219
		364	Fokus	I	219
der tachymetrischen Detailpunkte	II	371	Formel für die Bestimmung		
		374	von Distanz und Höhe	II	141
		403	Formen		
der Bogenhauptpunkte	II	423	des Oberteiles	II	322
eines Raumobjektes mit einem			des Abhanges	II	325
Photogrammter	II	458	des Bergfußes	II	332
der photogrammetrischen Stationen	II	476	Formenlinien	II	321
der Nomenklatur	II	516	Forstaufnahmen	I	138
Feuchtigkeit der Luft	II	223	Fortinsches Gefäßbarometer	II	225
Feuersignale	I	279	Französisches Meter	I	143
Figurant	I	1002	Freiberger Aufstellung	I	949
Figurierfahne	I	277	Freiberger Signal	I	950
Filar-Schraubenmikrometer	I	242	Freihandnivellierinstrumente	II	40
Fixe Libelle	I	187	von Butenschön	II	41
Fixes Bild	I	369	Freischwebendes Kugelpolar-		
Fixpunkte			planimeter	I	1083
der Triangulierung	I	689	Freischwebendes Präzisions-		
des Nivellements	II	93	polarplanimeter	I	1080
		183	Frosch	II	11
Flächenberechnung	I	1033	Fühlhebelapparat	I	142
aus Originalzahlen	I	1033	Fühlspiegelapparate	I	142
von einzelnen Figuren	I	1033	Führung der Schichtenlinien	II	135
auf Grund einer Zeichnung	I	1043	Fundamentalaufgaben		
krummlinig begrenzter Figuren	I	1046	des graphischen Trassierens	II	530
kombinierte	I	1049	Fundamentalebene		
		1050	der Winkelmeßinstrumente	I	382
Genauigkeit	I	1084	eines Photogrameters	II	456
mechanische Hilfsmittel	I	1053	Fundamentalformeln, optische	}	218
einer ganzen Aufnahme	I	1087			
einer Theodolitaufnahme	I	1088	Fünferzeichen	I	1003
einer Meßtischaufnahme	I	1091	Funktionen		
einer Meßtischaufnahme	I	1050	direkter Beobachtungen	I	44
Flächenbestimmung	I	1050	vermittelnder Beobachtungen	I	68
Flächengleichung			Fuß einer Erhebung	II	322
des Linearplanimeters	I	1061			
des Polarplanimeters	I	1067			
Flächenmaße	I	146			
Flächenmaßstäbe	I	1056			
Flächenmessung	I	959			
		108			
Flächennivellement	II	111			
		112			

G.

Gaußsches Eliminationsver-		
fahren	I	59
Gaußsche Gleichung	I	20
		740
Gay-Lussacsches Barometer	II	230

	Band	Seite		Band	Seite
Gebrauch			Genauigkeit		
des Winkelprismas	I	371	der Lattenhöhe	II	152
des Astrolabiums	I	402	des Nivellierens aus den Enden .	II	153
des Theodolites	I	435	" " " der Mitte .	II	154
des Universalinstrumentes	I	534	der Arbeiten mit der Sehnen-,		
des Polarplanimeters	I	1075	bzw. Tangentenschraube	II	156
des Gefäßbarometers	II	227	der Vertikalwinkelmessung mit		
des Heberbarometers	II	231	der Stampfer-Schraube	II	156
des Metallbarometers	II	246	der Distanz- und Höhenmessung		
Gebrochenes Fernrohr	I	264	mit der Stampfer-Schraube . .	II	158
Gefälle	II	6	des österreichischen Präzisions-		
eines Flusses	II	118	nivelllements	II	186
Gefällschraube	II	21	des geometrischen Höhenmessens	II	192
Gefäßbarometer nach Fortin	II	225	des Quecksilberbarometers	II	232
Gegen(Konter)nivellement	II	96	des barometrischen Höhenmessens	II	294
Gegenseitige Zenithdistanz-	} II	207	der tachymetrischen Elemente . .	II	376
messung			208	des Hammer-Fennelschen Ta-	
Gegenseitiges Einvisieren	I	616	chymeters	II	381
Gegenstandsweite	I	216	der Tunnelabsteckungen	II	452
Gehilfe	I	1002	der photograph. Winkelmessung .	II	461
Genäherte Seehöhen	II	241	der photogrammetrischen Auf-		
Genauigkeit	I	33	nahmen	II	482
der Arbeit	I	33	der stereophotogrammetrischen		
der Noniusablesung	I	175	Aufnahmen	II	501
der Setzwage	I	180	der Höhenkoten der Militär-		
der Libelle	I	201	mappierung	II	518
des Diopters	I	269	Generalkarte		
der Fernrohrvisur	I	274	von Mitteleuropa	II	522
der direkten Längenmessung . . .	I	301	von Zentraleuropa	II	522
der optischen Distanzmessung . .	} I	346	Generalnivellement	II	93
			II	376	Geodäsie
der Winkelinstrumente	I	379	Geodätische Instrumente		
des Astrolabiums	I	402	Einteilung	I	168
der Winkelmessung mit dem Theo-			Hilfsinstrumente	I	169
dolite	I	460	Geographische Breite	} I	132
der Winkelmessung mit dem Kom-			" Länge		
passe	I	519	Geographische Koordinaten	I	132
der Richtungsmessung	I	479	Geoid	I	131
der Vertikalwinkelmessung	I	548	Geometrisches Höhenmessen	II	} 5 191
der graphischen Winkelmessung . .	I	570	Geometrisches Nivellieren	II	
der Theodolitzüge	I	930	Gerades Tal	II	334
der Bussolenzüge	I	932	Geräte und Instrumente	I	159
eines Polygonwinkels	I	933	Gerippllinien	II	320
der Flächenberechnung	I	1050	Gerippzeichnen	II	520
des Linearplanimeters	I	1062	Gesamtgefälle	II	84
des Polarplanimeters	} I	1076 1084	Gesamtwiderspruch in Poly-		
der mechanischen Planimeter . . .			I	1084	gonzügen
der Pendel-Nivellierinstrumente .	II	83	Gesichtsfeld	I	246
des Einspielens der Nivellier-			Gesichtswinkel	I	231
libelle	II	150	Gewicht	I	36

	Band	Seite		Band	Seite
Gewicht			Graphische Ausgleichung		
einer Funktion direkter Beob-			mit dem Horskýschen Diagramme	I	{ 825 834
achtungen	I	45	von Polygonzügen	I	{ 909 1019
einer Funktion vermittelnder Be-			der Aneroidkonstanten	II	264
obachtungen	I	68	Graphische Bestimmung		
einer Funktion von Unbekannten			der Horizontalwinkel	I	552
einer Funktion von bedingten Be-			der Meßtischstandpunkte	I	1013
obachtungen	I	91	der Mittagslinie	I	1025
einer n -fachen Repetition	I	477	der Einstellungszahl beim Polar-		
eines Nivellements	II	155	planimeter	I	1073
Gewichte: p_x, p_y, p_z	I	54	der Temperaturkorrektur	II	264
Gewichtseinheit	I	36	der Teilungskorrektur von		
mittlerer Fehler		136,38	Aneroiden	II	267
Gewichtsgleichungen	I	55	Graphische Darstellung		
Gewichtskoeffizienten	I	62	Hilfsmittel	I	590
Gewichtsmaße	I	147	von Winkeln mit der Bussole	I	593
Glaskreuz	I	240	von Längenprofilen	II	99
Glasmikrometer	I	241	von Querprofilen	II	106
von Hahn	I	411	der Aufnahmen	II	300
Glasplanimeter	I	1054	der Horizontalaufnahme	II	300
.		263	der Vertikalaufnahme	II	309
.	I	371	Graphische Hilfsmittel der		
Glastafeln für Stadtaufnah-			Rechnung	I	119
men	I	968	Graphische Tachymetertafeln	II	394
Gleicharmiges Polarplanime-			Graphische Tafeln	I	119
ter	I	1078	Graphische Triangulierung		
Gleichförmige Luftdruckände-			I	1013
rung	II	284	II	513
Gleich hohe Punkte aufsuchen	II	128	Graphisches Trassieren	II	530
Gleichung			Grat	II	322
der Normalmeter	I	302	Grenzvermarkung	I	951
des Meßkeiles	I	303	Grobe Fehler	I	24
der optischen Distanzmesser	I	327	in Polygonzügen	I	913
des Polarplanimeters	I	{ 1065 1068	beim Umziehen mit dem Meßtische	I	996
der Stampfer-Schraube	II	138	Gruben	II	332
der Aneroide	II	249	Grubentheodolit	I	508
Gleichzeitig und gegenseitig			Grundaufgaben der Koordi-		
gemessene Zenithdistanzen	II	207	natenrechnung	I	643
Gnomon	I	1026	Grundformeln		
Goniometrische Zahlen	I	150	für das trigonom. Höhenmessen	II	207
Gradation des Terrains	II	318	für das barometr. Höhenmessen	II	222
Gradkartenblatt	II	510	für die tachymetrischen Elemente	II	{ 350 361
Gradkartensystem	II	509	Grundlage der Katastralver-		
Gradmaß	I	148	messung	I	703
Gradmessung	I	131	Grundlinie, siehe Basis		
Graphikon	I	121	Grundoperationen		
Graphische Aufnahme	I	1030	der Feldmeßkunst	I	613
Vor- und Nachteile	I	1029	des Meßtisches	I	970
Graphische Ausgleichung	I	123	Grundparzelle	I	676
der trigonom. Punktbestimmung	I	821			

	Band	Seite		Band	Seite
Grundsatz			Haupttangente, -radius	I	185
der Fehlerrechnung	I	3	Hausarbeiten		
der Ausgleichsrechnung	I	26	der Tachymetrie	II	407
Grundsätze des Präzisions-			der Photogrammetrie	II	477
nivellements	II	173	Häuseraufnahme	I	673
Gründzüge der Militärauf-			Heberbarometer	II	230
nahme (Mappierung)	II	510	Hektarnetz	I	579
Gruppenberechnung	I	1088	} 1092		
Gruppenpolygon	I	1088	Hektarzirkel	I	579
Günstigste Sehweite	I	231	Hektarquadrate	I	1092
Güte des Grundes	I	1096	Helligkeit eines Fernrohres	I	247
Gyrus	I	451	Hensoldtsches Skalenmikro-		
			skop	I	411
			Herstellung		
H.			einer Visur mit dem Fernrohre	I	271
Hahnsches Glasmikrometer	I	411	eines Handrisses	I	679
Halbieren eines Winkels	I	617	Herzschraube	I	209
Hammer-Fennelscher Theo-			} 436		
dolit	II	379	Hilfsinstrumente		
			der Geodäsie	I	151
Handriß	I	658	des Theodolites	I	407
			des Meßtisches	I	567
			Hilfsmittel		
			der Rechnung	I	105
			mechanische	I	105
			graphische	I	119
			Tafelwerke	I	124
			der graphischen Darstellung	I	572
			zur graphischen Darstellung von		
			Winkeln	I	590
			zur Koordinatenrechnung	I	652
			der Flächenbestimmung	I	1053
			zur Bestimmung der linearen tachy-		
			metrischen Elemente	II	392
			Hilfspunkt von Colin	I	978
			Höhe, absolute	II	4
			relative	II	4
			Höhenbestimmung		
			unzugängiger Geraden	II	196
			} 204		
			Höhenbogen	I	567
			Höhendifferenz	II	4
			Höhenfixpunkte	II	183
			bei Tunnelabsteckungen	II	450
			Höhenkontrolle		
			der photographischen Aufnahme	II	459
			Höhenlinien	II	320
			Höhenmarken	II	176
			} 183		
			in Stollen	II	450
			Höhenmessen	II	4

	Band Seite		Band Seite
Höhenmessen		Horizontalwinkelmessung	
geometrisches	II 5, 191	graphische	I 552
trigonometrisches	II 5, 198	photographische	II 457
barometrisches	II 5, 218	Horizontdistanz	I 526
mit zwei Aneroiden	II 276		II 199
mit einem Aneroide	II 281	Horizontenerhebung	II 9
Höhenmeßkunst	I 131	Horizontieren	
	II 4	von Ebenen	I 208
Höhenrechnung, barometrische	II 240	des Astrolabiums	I 401
Höhenunterschied	II 4	des Theodolites	I 408
Höhenwinkel	I 526		I 435
Höhere Geodäsie	I 130	des Meßtisches	I 971
Horizont	I 134	der Nivellierinstrumente	II 22
	II 3		II 43
Horizontabschluß	I 483	Horizontkorrektion	II 211
	I 486	Horizontlinie	I 527
Horizontalaufnahme	I 140	Horizontpunkt	I 536
Methoden	I 658	Horn	II 322
Horizontaldistanz	I 281	Horskýsches Diagramm	I 460
Horizontale	I 133		I 746
	II 309	Anwendungen	I 829
Horizontale Latte	I 345	Hügel	II 322
Horizontalkurven	II 127	Hundertertzirkel	I 1056
	II 310	Huygenssches Okular	I 250
Horizontallinie	II 456	Hydrographische Objekte	II 300
Horizontalparallaxe	II 484	Hydrostatische Nivellierin-	
	II 489	strumente	II 12
Horizontalstellen, siehe Hori-		Hydrotechnische Pläne	I 138
zontieren		Hypsometrie	I 131
Horizontalwinkel-Meßinstru-			II 4
mente	I 382		
Allgemeine Erörterungen	I 382	I.	
Eigenschaften	I 384	Identifizieren der Bildpunkte	II 477
Einteilung	I 399		II 485
Horizontalwinkelmessung	I 438	Illuminator	I 266
Methoden	I 438	Index	I 409
einfache ohne Durchschlagen	I 438	Indexfehler	I 548
	I 471	Indexmikroskop	I 410
einfache mit Durchschlagen	I 440	Indikator	I 676
	I 475		II 1015
wiederholte ohne Durchschlagen	I 472	Indirekte Bestimmung der Zen-	
wiederholte mit Durchschlagen	I 477	trierungselemente	I 458
Repetition ohne Zwischenlesungen	I 441	Indirekte Distanzbestim-	
	I 473	mung	I 630
Repetition mit Zwischenlesungen	I 442	Indirekte Längenmessung	I 322
in beiden Kreislagen	I 440	Arten	I 328
	I 477	Genauigkeit	I 346
mittelbare	I 455	ohne Latte	I 352
Genauigkeit	I 460	Indirekte Höhenmessung	II 5
Ausgleichung	I 479		
mit der Bussole	I 502		

	Band Seite		Band Seite
Indirekte Messung von Vertikalwinkeln und Höhenunterschieden mit dem Phototheodolite	II 470	Kartenrevision der Militäraufnahme	II 519
Individualskalen	II 247	Kartierung	I 958
Innere Richtungen	I 711	von Stadtaufnahmen	I 968
Instruktion für Meßtischaufnahmen	I } 1010 I } 1032	von tachymetrischen Aufnahmen II 408	
Instrumentalfehler des Theodolites	I 461	Kartierungsinstrument	
Instrumentarium für Stereophotogrammetrie	II 496	von Sickler	I 581
Instrumenthöhe	II 6	von v. Orel	II 505
Messen der Instrumenthöhe	II 27	Kartometer	I 600
Instrumenthorizont	II 4	Kartontransporteur	II 410
Internationale Längeneinheit	I 144	mit Alhidade	II 411
Internationale Vereinigung der Gradmessung	II 173	Katastralaufnahme	I } 699 I } 703
Interpolation von Horizontalkurven	II 129	Katasterelaborat	I 959
Interpolationsapparat von Halter	II 134	Kegel	II 322
Interpolationsmethoden der barometrischen Höhenmessung	II 286	Kehrtunnel	II 442
Interpolationsschere von Jordan	I 134	Kernbewegung	I 167
Interpolationstafel	II 133	Kette	I 289
Interstitium	I 225	Kettenstäbe, -nägel, -zug	I 289
Irradiation	I 323	Kilometerfehler	II } 156 II } 170
Isohypsen	II } 127 II } 310	Kimmtiefe	II 215
J.			
Justierbrett	I 196	Kippachse	I 407
Justierschräubchen	I 159	Kippregel	I 559
Justierung, siehe Rektifikation des Mikroskopes	I 259	tachymetrische	II 390
der Vertikalkreislibelle	I 544	Kippschraube	II 21
der Platten am Stereokomparator II 494		Klammerrichtungsmarken	II 449
K.			
Kammerlibelle	I 184	Kleine selbständige Triangulierung	I 687
Kanalwage		Kleintriangulierung	I 710
offene	II 12	Klemmen	I 165
geschlossene	II 13	Klemmschrauben	I 162
Kapillardepression	II 234	Klischee	II 307
Kappellersches Stationsbarometer	II 229	Klitometer	I 180
Kardinalpunkte	I 225	Koeffizient der barometrischen Höhenformel	II } 222 II } 224
Karte	I 134	Koeffizienten der Aneroidgleichung	II } 249 II } 260
		Koinzidenz	I 171
		Kollektiv	I 250
		Kollimationsfehler	I 422
		vierfacher	I } 424 I } 563
		Kollimationslinie	I } 271 I } 407
		Kollimator	I 354
		Kolonnen	I } 706 II } 510
		Kolorierte Manier	II 301
		Kombinierte Auftragapparate	I 594

	Band Seite		Band Seite
Kombinierter Einfluß		Kontrollierung der Marke	
der regelmäßigen und unregel-		bei Nivellierinstrumenten	II 24
mäßigen Fehler auf direkte		Kontrollineal	I 1068
Längenmessungen	I 314	Konventionelle Zeichen	II 300
der Achsenfehler des Theodolites	I 461	Konvexe Flächenelemente	II 321
Kombiniertes Aufnahmever-		Konvexe Formendes Abhanges	II 325
fahren	I 1081	Konvexlinse	I 215
Kombiniertes Einschneiden	I { 711 737 784	Koordinaten	I 640 II 457
Kommassation	I 1083	der Bindepunkte	I 953
Komparator		Koordinatenausgleichung	
für Meßlatten	I 303	in Polygonzügen	I 850
für Meßbänder	I 306	Koordinatenberechnung	
von Pulfrich	II 486	von Polygonpunkten	I { 648 847
Kompaß	I 501	von Netzpunkten	I { 688 695
Kompaßzüge	I 916	Koordinatendifferenzen	I { 643 847
Kompensationsaneroide	II 252	Koordinatenmethoden	I { 658 661
Kompensationsnivellierin-		Koordinatenrechnung	I 640
strumente	II 65	Grundaufgaben	I 643
Kompensationspolarplanimeter	I 1078	mechanische Hilfsmittel	I 652
Kompensationstheodolit	I 427	Tabellen	I 644
Konjugationsgleichung	I 218	Koordinatensysteme	I 640
Konjugierte Punkte	I 217	der Katastralaufnahme	I 704
Konkave Flächenelemente	II 321	Koordinatentafeln	I { 126 646
Konkave Formen des Ab-		Koordinatentransformation	I 654
hanges	II 329	Koordinatenverzeichnis	I 699
Konkavlinse	I 215	Koordinatenwiderspruch	I 848
Konstante Fehler	I 24	Koordinatenwinkel von	
Konstanten		Schlesinger	I 973
der Meßkeilgleichung	I 303	Koordinatographen	I 581
der Distanzgleichung	I { 328 337	von Coradi	I 584
des Linearplanimeters	I 1061	von Fromme	I 587
des Polarplanimeters	I 1069	Koordinatometervon Friedrich	I 653
der Stampferschen Winkel-		Kopieren der Pläne	II { 304 306
gleichung	II 139	Korblinie	II 435
der Aneroidgleichung	II 249	Körpermaße	I 146
Konstantenbestimmung bei in-		Korrektion	
direkten Distanzmessern	I 329	wegen Erhebung des scheinbaren	
Konstruktion		Horizontes über den wahren	II { 9 211
des Strahlendurchganges bei einer		und der Refraktion	
Linsenkombination	I 224	der Ungleichheit der Ringhalb-	
von Winkeln	I 589	messer	II 53
des Horskýschen Diagrammes	I 825	der Barometerformel wegen Luft-	
von Horizontalkurven	II 127	temperatur und Feuchtigkeit	II 228
eines Terrainprofils	II 313	des Barometerstandes	II 233
Kontrabogen	II 435		
Kontrollbasis	I 807		
Kontrolle (siehe auch Prüfung)			
der Querprofilaufnahme	II 106		

	Band	Seite		Band	Seite
Korrelate	I	86	Landesvermessung	I	131
Korrelatengleichungen	I	88			699
Korrelatenmethode	I	86	Landkartentheorie	I	131
Korrespondenzmittel	I	417	Landschaftsbilder	II	517
Kote	II	3	Längenabweichung		
Kotierte Projektion	II	530	sphärische	I	227
Kotierter Plan	II	109	chromatische	I	228
Kotierungsinstrument von			Längenänderung der Normal-		
Kreuter	II	382	maße	I	141
Kreisbogenabsteckung	II	416	Längenmaße	I	145
Kreislage	I	420	Längenmesser	I	281
Kreisrechenschieber	I	652	Längenmessung		
	II	398	direkte	I	281
Kreistransporteur	I	590	Genauigkeit	I	301
Kreuzlibellen	I	207	Ausgleichung	I	318
Kreuzmaße	I	673	indirekte	I	322
Kreuzscheibe	I	359	Genauigkeit	I	346
Kreuzung				II	376
der Libelle	I	203	auf ebenem Boden	I	284
von Polygonzügen	I	896	auf geneigtem Boden	I	287
Kreuzungspunkt des Auges	I	230	Längennivellement	I	96
Kroki	I	658	Längenprofil	II	91
		678	Graphische Darstellung	II	99
		1015	Fehlergrenzen	II	101
Krokierapparat	I	681	Längensattel	II	324
Krokierbrettchen	I	679	Latten		
Kronenbreite	II	122	zur Längenmessung	I	282
Kröte	II	11	zum Selbstablesen	I	323
Krümmung der Erde	I	134		II	10
Krümmungsradius einer Li-	I	198	mit Felderteilung	I	323
belle	I	200	mit Zackenteilung	I	324
Kugelplanimeter	I	1081	mit Zielscheiben	I	324
Kugelrollplanimeter	I	1082		II	11
Kulmination der Sonne	I	1026	logarithmische	I	340
Kulturoleaten	II	516		II	366
Künstlicher Horizont	I	427	horizontale	I	345
Kunstprofile	II	122		I	939
Kuppe	II	322	von Stampfer	II	146
		416	von Hilscher	II	352
Kurvenabsteckung	II	422	Lattenabschnitt	I	324
		434	mittlerer Fehler	I	347
in Tunnels	II	452	Lattenhöhe	II	6
Kurvenmesser	I	599	Schärfe in der Bestimmung	II	66
Kurvimeter	I	599			152
			Lattenkorrektur	II	9
					175
			Lattenmessung	I	283
			Genauigkeit	I	310
				I	314
			Lattenprofil	II	122

L.

Lagebestimmung von Punkten	I	635
Lageplan	I	959
Lamellen	I	268
Landstriangulierung	I	699

	Band	Seite		Band	Seite
Lattenrichter	I	280	Libellenspiegel	II	59
Lattenschiefe	I	348	Lichtkurve	II	199
	II	151	Lichtpausverfahren	II	308
Lattenvergleichung	I	303	Limbus	I	382
Lavierung	II	317	Limbusachse	I	431
Legebrett	I	196	Limbasebene	I	382
Lehmansche Sätze	I	981	Lineare Exzentrizität	I	435
Lehmansches Diopterlineal	II	193	Linearer Abschlußfehler	I	848
Lehmansche Schraffenskalen	II	317	Linearer Tachymeterschieber	II	397
Lehne	II	325	Linearmaßstab	I	156
Leistungsfähigkeit eines Fernrohres	I	257	Linearplanimeter	I	1057
Leitkurven	II	135	Linienkreuz	I	239
Leselupe	I	235	auf Glas	I	240
Libelle	I	183	Linienmesser	I	599
Libellenblase	I	184	Liniennivellement	II	84
Hauptschnitte	I	184	Linienplanimeter	I	1055
charakteristische Punkte und			Linzen	I	215
Linien bei Röhrenlibellen	I	184	bikonvexe	I	216
Marke, Normalpunkt	I	184	Ersatzebenen	I	218
Haupttangente, -radius	I	185	Konstruktion des Bildes	I	220
Lot	I	185	von endlicher Dicke	I	225
Einspielen	I	185	der besten Form	I	228
Stand	I	186	achromatische	I	229
Ausschlag	I	186	aplanatische	I	229
Teilung, Skalenteil, Pars	I	186	dialytische	I	229
Fassung	I	187	Linzenkombination	I	220
Verwendung zur Messung von			Lithographischer Druck	II	307
Vertikalwinkeln	I	189	Löcher	II	332
Winkelgleichung	I	191	Logarithmentafeln	I	124
Prüfung und Berichtigung	I	192	Logarithmische Differenz	I	5, 45
	I	202	Logarithmische Distanzlatte	I	340
	I	400		II	366
Dimensionen	I	194	Logarithmische Methode		
	II	68	der optischen Distanzmessung	I	340
Empfindlichkeit	I	200	der Tachymetrie	II	362
	II	65	Logarithmisches Universal-		
Genauigkeit	I	201	tachymeter	II	355
	II	150	Lot	I	177
Kreuzung	I	203	festes	I	436
	II	47		I	937
mit Doppelschliff	I	203	Lotlinie	I	132
von Prof. Zwicky	I	204	Lotgabel	I	567
Libellenkontrolle bei der Vertikalwinkelmessung	I	537	Lotplättchen	I	178
Libellen-Nivellierinstrumente	II	14	Luftdruck	II	218
mit einem Diopter	II	14		II	247
mit einem Fernrohre	II	17	Luftdruckmesser	II	225
allgemeine Eigenschaften	II	65	Luftfeuchtigkeit	II	228
			Luftpumpenversuche	II	268
			Lufttemperatur	II	228

	Band Seite		Band Seite
Meßtisch		Methoden	
in Verbindung mit optischen	I 1006	des barometrischen Höhenmessens	II { 276
Distanzmessern	II 387	der Tachymetrie	II 362
in Verbindung mit Koordinaten	I 1006	der Kreisbogenabsteckung	II 422
Standpunkte	I 1013	Mikrometer	I 241
Mestrostroph	II 134	II 488	
Meßzirkel	I 294	Mikrometerokular	I 255
Messung		Mikrometerschraube	I 163
von Bildgrößen	I 241	Mikrometrischer Winkel	I 328
der Längen		Mikroskop	
mit Latten	I 283	einfaches	I 234
mit Kette oder Stahlband	I 289	zusammengesetztes	I 258
mit der Drehlatte	I 296	Justierung	I 259
der Neigung des Bodens	I 292	Anwendung	I 260
der Winkel auf dem Felde	I 357	Mikroskopisches Aneroid	II 252
der Horizontalwinkel		Mikroskoptheodolit	I { 405
mit dem Theodolite	I 435	II 427	
mit der Bussole	I 518	Mikroskopträger	I 530
der Vertikalwinkel	I 526	Militäraufnahme	I 138
mit der Libelle	I 189	II 509	
mit dem Universalinstrumente	I 534	Militäraufnahmeblätter	
mit der Stampfer-Schraube	II { 138	1:25.000	II 520
II 156		Militärdistanzmesser	I { 322
mit der Tangentenschraube	II 143	II 625	
mit dem Phototheodolite	II 470	Militärkartenwerke	II 519
der doppelten Zenithdistanz	I 534	Militärmappierung	I 699
der einfachen Zenithdistanz	I 543	II 509	
der Basis einer Triangulierung	I 689	Militärmarschroutenkarte	II 522
des Azimutes einer Dreiecksseite	I 692	Minimalschraffenskala	II 319
der Instrumenthöhe	II { 27	Minimumspunkt	I 825
II 353		Mire	I 517
des Luftdruckes	II 225	Mittagslinie	I { 134
der Lufttemperatur	II 228	I 1025	
Messungsfehler	I 23	II 1027	
grobe	I 24	Mittel, arithmetisches	I { 30
regelmäßige oder konstante	I 24	I 35	
unregelmäßige, zufällige oder un-		Mittel (siehe auch Hilfsmittel)	
vermeidliche	I 25	zum Vertikal- und Horizontalstellen	I 177
Messungsliniennetz	I 952	zur Richtungsänderung von Licht-	
Metallatten	II 175	strahlen	I 262
Metallbarometer	II 245	zum Visieren	I 267
Methode der kleinsten Qua-		zur Bezeichnung und Signalisierung	
drate	I 23	von Punkten und Geraden auf	
Methoden		dem Felde	I 276
der Horizontalwinkel- und Rich-		zum Messen der Winkel auf dem	
tungsmessung	I 438	Felde	I 357
der Horizontalaufnahme	I 658	zum Ablesen	I 409
des Umziehens	I 665	Mittelbares Messen	
des Nivellierens	II { 6	von Winkeln	I { 435
II 146		I 454	
der Lattenhöhenbestimmung	II 176		

	Band	Seite		Band	Seite
Mittelbares Messen			Näherungspunkt,-koordinaten	I	746
von geraden Linien	I	622	Näherungswerte	I	58
Mittelpunkt (von Linsen)	I	226	Nasen	II	327
Mittelschraube	I	209	Naturmaß	I	142
Mittelteil (Abhang)	II	322	Naudetsches Aneroid	II	245
		325	Nebenachsen	I	673
Mittlerer Fehler			Nebenmessungslinien	I	952
des arithmetischen Mittels	I	30	Nebenpolygonzüge	I	841
		36			951
		38	Nebenregel	I	553
der Einzelbeobachtungen	I	31	Nebenstationszüge	I	1017
der Gewichtseinheit	I	36	Negative Linsen	I	215
		38	Negrographie	II	308
einer Funktion			Neigungsmesser		
direkter Beobachtungen	I	44	von Gonser	I	288
vermittelnder Beobachtungen	I	62	von Brandis	I	292
von Unbekannten	I	68	Neilsche Parabel	II	440
m_x, m_y, m_z	I	54	Netzausgleichung	I	501
		63			794
einer Funktion bei bedingten Beobachtungen	I	91	Netzeinschaltung	I	711
der Längeneinheit	I	311			792
des Lattenabschnittes	I	347	Netzeinteilung der Katastral-		
der Lattenhöhe	II	66	aufnahme	I	703
		152	Netzhaut	I	230
für ein Kilometer	II	170	Netzpunkte		
Mittleres Lattenmeter	II	175	I. und II. Ordnung	I	699
Modifizierte Aufgabe des Rückwärtseinschneidens	I	639	III. und IV. Ordnung	I	712
Mulden	II	329	Neuere Instrumente für die } I { 338		
Muldental	II	334	optische Distanzmessung } I { 936		
Multiplikationskonstante der Distanzgleichung	I	328	Neuere Konstruktionen		
		125	von Zeigeraneroiden	II	252
Multiplikationstafeln	I	1053	von Schraubenaneroiden	II	256
Muren	II	333	Neunerprobe	I	112
Murental	II	334	Niedere Geodäsie	I	130
			Niederschlagsgebiet	II	527
N.			Niveau	I	131
Nadir	I	134			183
Nadirdistanz	I	547	Niveaufläche	I	131
Nagelpunkt	II	416	Niveaurektion	II	229
Näherungsformeln					239
des trigonometrischen Nivel-			Niveaukurven	II	127
lierens	II	143			309
des trigonometrischen Höhen-			Nivellement	II	4
messens	II	210	Liniennivellement	II	84
des barometrischen Höhenmessens II { 224					108
		240	Flächennivellement	II	112
Näherungsmethoden			Generalnivellement	II	93
der Kreisbogenabsteckung II		432	Detailnivellement	II	95
			Doppelnivellement	II	161

	Band	Seite		Band	Seite
Nivellement			Nivellierinstrumente		
Präzisionsnivellement	II	173	hydrostatische	II	12
		182	Libellen-Nivellierinstrumente		
		185	mit einem Diopter	II	14
		188	mit einem Fernrohre	II	17
Protokoll	II	85	mit fixem Fernrohre	II	18
		88	österreichische	II	25
		90	mit Stampferscher Meß-		
		97	schraube	II	20
Profile	II	91	mit Tangentschraube	II	140
Gewicht	II	154			21
Fehler	II	156	Aufstellung	II	143
Ausgleichung	II	160	deutsche	II	22
Schleifen	II	165	süddeutsche	II	31
Schlußfehler	II	166	norddeutsche	II	31
Netze	II	168	mit verschiebbarer Skala an der		
Fixpunkte	II	183	Nivellierlibelle (Zwicky)	II	37
Anschluß	II	186	Taschen-Nivellierinstrumente	II	34
Bolzen	II	187	Freihand-Nivellierinstrumente	II	40
Nivellette	II	122	mit umlegbarem Fernrohre	II	42
Nivellierapparat	II	10	mit drehbarem Fernrohre	II	57
Nivellierdioptr	II	14	Universal-Nivellierinstrumente	II	69
Nivellierebene	II	6	Pendel-Nivellierinstrumente	II	82
Nivellieren	II	4, 6	Nivellierinstrumente mit um-		
ohne Berücksichtigung der Erd-			legbarem Fernrohre	II	42
krümmung und Refraktion	II	6	mit Aufsetzlibelle	II	46
mit Berücksichtigung der Erd-			mit Libelle fix mit dem Fernrohre	II	48
krümmung und Refraktion	II	7	mit Libelle fix mit den Trägern	II	49
		6	Nivellierkrücken	II	120
aus den Enden	II	84	Nivellierlatten	II	10
		153	mit dekadischer Ergänzung	II	174
geometrisches	II	7	Wende- oder Reversionslatte	II	175
		83	Drehlatte	II	175
		7	aus Metall	II	175
aus der Mitte	II	87	Veränderlichkeit	II	175
		154	von Schell	II	178
		7	Nivellierlibelle	II	17
trigonometrisches	II	135	Empfindlichkeit	II	22
		146	Bestimmung des Winkelwertes	II	65
von Punkten und Linien	II	84	Genauigkeit	II	68
		85	Nivelliermethoden	II	150
		88	Nomographie	I	6
Protokolle	II	90	Nonien	I	124
		97	Ablesung	I	169
		148	Angabe	I	170
mit Zwischenpunkten	II	89	nachtragende	I	170
von Flächen	II	108	Überstriche	I	170
		112	vortragende	I	172
Aufgaben	II	112	krummlinige	I	173
Genauigkeit	II	150			
Nivellierinstrumente	II	11			

	Band	Seite		Band	Seite
Nonien			Okular		
Doppelnonien	I	174	Verschiebung, Auszug	I	238
von Stampfer	I	174	von Kepler	II	66
Genauigkeit	I	175	achromatisches	I	239
an Winkelmeßinstrumenten	I	409	von Huygens	I	249
fliegende	I	545	Linse	I	250
Nomenklatur			von Ramsden	I	252
für die Maße	I	147	von Kellner	I	255
für die Mappierung	II	516	von Steinheil	I	255
Normalgleichungen	I	53	terrestrisches	I	255
reduzierte	I	89	prismatisches	I	265
Auflösung	I	61	Prisma	I	265
Normalhöhenpunkt			Dioptr	I	26
für Österreich	II	183	Röhre	I	274
für Deutschland	II	188	Okular-Filarschrauben-		242
Normallage des Fernrohres	II	52	mikrometer		344
Normallänge des Fahrarms	I	1070	Oldendorpsches Planimeter	I	942
Normal- oder Urmaß	I	140	Oleaten	II	1055
Normalmeter	I	302	Operationsfehler der Horizon-		516
Normalnull	II	188	talwinkelmessung	I	470
Normalort	II	221	Optische Distanzmesser	I	322
Normalpunkt			Theorie	I	327
einer Libelle	I	184	Konstanten	I	328
eines Aneroides	II	248	Neuere Instrumente	I	337
Notwendigkeit eines Natur-			mit horizontaler Latte	I	338
maßes	I	142	Genauigkeit	I	936
Nullmeridian	I	132	Optische Fundamental-		219
Nullrichtung	I	454	formeln	I	224
Nullrichtungskorrektur	I	778	Optische Instrumente	I	215
Nullzahl	I	261	Optische Polygonzüge	I	881
Numerische Tachymeter-			Optischer Mittelpunkt	I	226
tafeln	II	392	Ordinatometer von Müller	I	665
Numerisches Aufnahmever-			Orientierung		
fahren	I	840	der Zeichnung	I	594
Vor- und Nachteile	I	1029	des Katastralnetzes	I	706
Nußbewegung	I	167	von Richtungsbeobachtungen	I	765
			des Meßtisches	I	971
O.			der Bildebene	II	972
Oberteil	II	322	der Militärkarten	II	974
Objektiv	I	236	Orientierungsaufgaben des		
achromatisches	I	249	Meßtisches	I	971
Prisma	I	266	Orientierungsaufgaben im		
Dioptr	I	268	Terrain	II	523
Öffnung			Orientierungsbussolen	I	512
des Okulares	I	246		I	568
des Objektivs	I	247			
Ökonomische Aufnahme und					
Pläne	I	138			
Okular	I	236			

	Band	Seite		Band	Seite
Orientierungsbussolen			Pentagonalprisma		
in Kastenform	I	513	Theorie	I	373
in Rohrform	I	513	Peripherieklemmen	I	165
Orientierungslinien	I	1010	Periodische Änderungen der		
Berechnen und Auftragen	I	1010	Magnetnadel	I	521
Orientierungsrayon	I	572	Perpendikulärmethode	I	661
Original-Militäraufnahme-			Perspektivische Konstanten	II	456
blätter	II	336	Perspektivlineal		
Orographie	II	321	von Starke	I	559
Österreichische Ausgleichungs-			von Kraft	I	565
methode	I	825	Photogrammetrie	II	455
Österreichische Maßsysteme	I	145	Photogrammetrische Auf-	} II	455
Österreichisches Präzisions-	} II	182	nahme		
nivellement				Genauigkeit	II
Österreichische Urmaße	I	143	Photogrammetrische Fest-		
Oszillationen der Magnetnadel	I	521	legung eines Objektes	II	458
			Photogrammetrische Instru-		
			mente	II	463
			Photographische Kamera	II	463
			Photographische Winkel-	} II	457
			messung		
			Genauigkeit	II	461
			Photographisches Kopierver-		
			fahren	II	307
			Phototheodolit		
			von Starke & Kammerer	II	463
			von Schell	II	468
			von Hübl	II	479
			für Stereoaufnahmen	II	496
			Phototopographie	II	479
			Physikalische Höhenmessung	II	5
			Physikalisches Höhenmessen,		
			siehe barometr. Höhenmessen		
			Piketts	I	277
			Pikiernadeln	} I	569
			Plan	} II	300
			Planierungsaufgaben	II	113
			Planimeter	} I	1033
			von Alder und Oldendorp		
			von Wetli und Starke		
			von Miller und Starke	I	1063
			von Coradi	} I	1074
			von Hohmann und Coradi	I	1079
			von Prytz	I	1083
			Genauigkeit	I	1084

P.

Panoramaaufnahmen	II	479
Pantograph	I	605
Pantographieren	} II	306
Pantometer	I	352
Papiereingang	} II	477
Parallaktischer Winkel	I	328
Parallaxe	} II	482
Parallaxenschraube	II	494
Parallele	} I	620
Parallelenberechnung	I	632
Parallelismus der Haupt-		
tangenten der Doppellibelle	II	64
Parallelfäden	I	240
Parallelkreis	I	131
Parallelstrahlen	I	218
Parifikat	I	677
Pariser Linie	I	143
Pars der Libelle	I	186
Partialnetze	I	807
Parzellen	I	676
Parzellenaufnahmen	I	956
Parzellenberechnung	I	1090
Parzellenvermessung	} I	956
Pedometer	I	154
Pendel - Nivellierinstrumente	II	82
Pentagon, doppeltes	I	378
Pentagonalprisma	I	373
Anwendung	I	373
Beschreibung	I	373

	Band Seite		Band Seite
Planimetrie	I 1033	Polygonzüge	
Planspiegel	I 263	Anschluß an einen unzugängigen	
Planum	II 122	Punkt	I 897
Platten, Plateaus	II 323	Verknotung	I 899
Plattenverschwenkung	II 503	graphische Ausgleichung	I 909
Pol	I 1063	Fehlerrückführung	I 913
Polarm	I 1063	Genauigkeit	I 930
Polarmethode	I 658	mit mittelbarem Anschlusse	I 951
mit dem Meßtische	I 990	Polygonzugsaufnahme	I { 840
der Kreisbogenabsteckung	II 429		842
Polarpantometer	I 604	Porrosdistanzmessendes Fern-	
Polarplanimeter	I 1063	rohr	I 335
Genauigkeit	I 1076	Positive Linsen	I 215
Polygonaufnahme	I { 685	Pothenotsches Problem	I { 637
Prüfung	I 840		725
Polygonaler Zug, siehe Poly-		mit dem Meßtische	I { 976
gonzüge			1032
Polygonausgleichung	I 494	Praktische Geometrie	I 130
Polygonieren mittels Bussole	I 916	Präzisionskurvenrektifikator	
Polygonflächenberechnung	I 1035	von Klerič	I 601
Polygongleichungen	I 795	Präzisionsnivellement	II { 173
Polygonierungen bei Meßtisch-		Protokoll	II 181
aufnahmen	I 1025	in Österreich	II { 182
Polygonnetz	I { 840	in Deutschland	II 188
	963	Präzisionsnivellierinstru-	
Polygonometrische Tafeln	I { 126	ment	II 174
	646	von Schell	II 177
Polygonseitenmessung	I 842	Präzisionsnivellierlatte	II 174
Polygonwinkel	I 648	Präzisionspantographen	I 608
Polygonwinkelmessung	I 843	von Coradi	I 610
Genauigkeit	I 980	Präzisionspolarplanimeter von	
Polygonzüge	I { 648	Hohmann und Coradi	I 1079
	840	Pressendruck	II 306
Ausgleichung	I 843	Preußische Ausgleichungs-	
mit direkter Seitenmessung	I 843	methode	I 823
mit indirekter Seitenmessung	I 843	Prismatisches Okular	I 265
mit unmittelbarem Anschlusse	I 843	Prismen	I { 263
Einkettung	I 844		367
Winkelwiderspruch	I 845	Prismeninstrumente	I 367
maximaler Winkelwiderspruch	I 845	Prismenkreuz	
Seitenwiderspruch	I 848	von Bauernfeind	I 375
Koordinatenausgleichung	I 850	von Starke	I 377
nach Näherungsmethoden	I 850	Prinzip der Triangulierung	I 686
strenge Methode	I 857	Probeflächen	I 1068
der Höhenunterschiede der Poly-		Probelineal	I 1068
gonpunkte	I 881	Probemessungen	I { 685
optische	I { 881		1007
	895	Probeplatte	I 1067
Kreuzung	I 945	Probekleinste	I 1007
	896		

	Band	Seite		Band	Seite
Problem von Hansen	I	{ 632 730 986	Punkteinschaltung	I	{ 711 791
Problem der vier Punkte, siehe Pothensches Problem			Punktnivellement	II	84
Profil dreieck, -winkel	II	311	Punktloaten	II	516
Profile	II	131	Pyramiden	I	{ 279 700
Festlegung und Darstellung	II	95			
Profilierlatte	I	299	Q.		
Projektionsgleichungen bei der Koordinatenrechnung	I	643	Quadrattafeln	I	126
Projektionsvorrichtung bei Tachymetern	II	385	Quadratwurzelgesetz der direkten Längenmessung	I	311
Proportionalmaßstab	II	133	des Nivellierens	II	155
Proportionalteilung des Drei- eckes	I	1102	Quecksilberbarometer	II	{ 225 252
Proportionalzirkel	I	603	Reduktionen	II	{ 233 238
Prototype des metrischen Maß- und Gewichtssystems } Prüfen	I	{ 144 145	Quecksilberwage	II	13
einer Aufnahme	I	685	Querfehler im Polygonzuge	I	{ 848 931
der Polygonalaufnahme	I	957	Querprofile	II	91
der Meßtischaufnahme	I	{ 1007 1023	Absteckung und Festlegung	II	101
der aufgetragenen Netzpunkte	I	1011	Darstellung	II	{ 101 106
Prüfung			Protokolle	II	105
der Deutlichkeit der Fernrohre	I	256	in Kurvenbogen	II	106
des Winkelprismas	I	379	von Bächen und Flüssen	II	107
einer Aufnahme	I	684	Quersattel	II	324
von Polygonalaufnahmen	I	957	Querverschiebung	I	824
der Uhren	I	1027			
des Linearplanimeters	I	1062	R.		
des Polarplanimeters	I	1076	Racheln	II	332
der Doppellinse	II	64	Radialprofile	II	107
Prüfung und Berichtigung, siehe Rektifikation			Ramsden-Okular	I	252
Prüfungstafel			Randklemmen	I	165
von Fraunhofer	I	256	Randmarken	I	{ 572 971
von Stampfer	I	257	Randstrahlen	I	230
Prytzsches Stangenplanimeter	I	1083	Rasten	II	326
Punktbestimmung			Rautennadel	I	502
polygonometrische	I	{ 648 840	Ravins	II	334
trigonometrische	I	{ 711 737	Rayon	I	570
mit dem Meßtische	I	974	II	514	
tachymetrische	II	336	Rayonieren und Messen	I	990
Punktbezeichnung			Rayonieren und Schneiden	I	990
auf dem Felde	I	341	Reambulierung	II	519
auf dem Papiere	I	572	Rechenkontrollen	I	64
Punkteinkettung	I	791	bei der Winkelrepetition	I	446
			Rechenmaschine	I	105
			von Burkhardt	I	105
			von Schuster (Berolina)	I	108
			„Millionär“	I	112

	Band	Seite		Band	Seite
Rechenproben	I	112	Reichenbachsche Methode		
bei der Koordinatenrechnung	I	645	der optischen Distanzmessung	I	339
Rechenrad	I	119	der Tachymetrie	II	362
Rechenscheibe	I	119	Reine Meßtischaufnahme	I	999
Rechenschieber	I	113	Reiner Horizontabschluß	I	483
tachymetrische	II	397	Reinigung des Winkelp Prismas I	372	
Rechentafeln	I	119	Reisebarometer	II	231
		125	Reiterlibellen	I	187
Rechenwalze	I	119			188
Rechnungsbasis	I	693			202
Rechnungsmaße			Rekognoszierung	I	688
für Kreisfunktionen	I	151		II	475
Rechteckkonstruktion	I	575		II	513
Rechtskataster	I	951	Rekognoszierungsnivellement II	93	
Reduktion auf den Horizont I	291		Rekognoszierungstisch	I	714
Reduktion gemessener Zenith-			Rekonstruktion		
distanzen auf den wahren			der photogrammetrischen Auf-		
Scheitel	II	216	nahme	II	477
Reduktion von Winkeln			Rektifikation		
auf das Zentrum	I	455	eines Instrumentes	I	159
auf das Ziel	I	460	der Setzwage	I	179
mit dem Horskýschen Diagramme I	829		der Setzlibelle	I	192
Reduktionen bei Queck-			der Reiterlibelle	I	202
silberbarometern	II	232	der Dosenlibelle	I	205
auf Null Grad	II	233	des Winkelkreuzes	I	358
auf gleiche Schwere	II	235	der Winkeltrommel	I	360
Reduktionsapparate	I	603	des Winkelspiegels	I	362
Reduktionselemente			des Spiegelkreuzes	I	365
der Winkelzentrierung	I	455	des Prismenkreuzes	I	376
Reduktionskonstante			des Astrolabiums	I	401
des Linearplanimeters	I	1061	der Alhidadenlibelle	I	407
des Polarplanimeters	I	1069		II	22
Reduktionslineal	I	603	der Achsenlibelle	I	408
Reduktionsniveau	I	553	des Theodolites	I	416
Reduktionsstachymeter	II	378	des Repetitionstheodolites	I	434
Reduktionszirkel	I	603	des Diopterlineales	I	557
Reduzierte Länge	I	288	des Perspektivlineales		
Reduzierte Normalgleichungen I	61		von Starke	I	561
			von Kraft	I	565
Reduzierte Richtungen	I	438	des Nivellierdioptrers	II	15
		693	des Nivellierinstrumentes mit fixem		
Reflexion, totale	I	367	Fernrohre	II	25
Reflexionsinstrumente	I	360	des Stampferschen Nivellier-		
			dioptrers	II	35
Refraktion	I	551	des Nivellierinstrumentes mit ver-		
		116, 198	schiebbarer Skala an der Ni-		
Refraktionskoeffizient (-kon-			vellierlibelle (Z wicky)	II	40
stante)	II	9	mit umlegbarem Fernrohre	II	44
Bestimmung	II	211	mit Aufsetzlibelle	II	46
Refraktionskurve	II	199	mit Libelle fix m. d. Fernrohre II	49	
Refraktionswinkel	II	199	mit Libelle fix m. d. Trägern II	49	
Regelmäßige Fehler	I	24			
bei der direkten Längenmessung I	301				

	Band Seite		Band Seite
Rektifikation		Richtungskoeffizienten	
des Nivellierinstrumentes mit dreh-		Bestimmung I	{ 741
barem Fernrohre und Doppel-		Richtungsverzeichnis I	{ 831
libelle II	60	Richtungswinkel I	{ 438
des Universal-Nivellierinstru-		Richtungszentrierung I	{ 642
mentes		Richtwinkel I	455
mit umlegbarem Fernrohre und		Rideaus II	333
Aufsetzlibelle II	70	Riemenparzellen I	1050
mit durchschlagbarem Fernrohre		Ringachse des Fernrohres II	42
und Aufsetzlibelle II	76	Ringhalbmesser II	50
mit durchschlagbarem Fernrohre		Ringklemmen I	165
und Doppellibelle II	79	Rinnen II	331
mit durchschlagbarem Fernrohre		Rippen II	327
und fixer Libelle II	82	Rohe Meereshöhen II	241
der Tachymeter älterer Konstruk-		Röhrenlibellen I	183
tion II	345	Rollplanimeter von Coradi I	1081
des Universaltachymeters II	357	Rolltransporteur { I 592	
des Tachymeters nach Patent		Rost II	{ 109
Tichý und Starke II	360	Rücken II	{ 479
der Tunnelabsteckungsinstrumente	II	Rückenabsätze II	326
II	445	Rückenschneidegrat II	323
des Phototheodolites II	466	Rückfallkuppe II	327
Rektifikationsschrauben I	{ 159	Rückwärtseinschneiden I	637
II	162	zusammengesetzte Aufgabe I	639
Relative Höhe II	4	modifizierte Aufgabe I	639
Reliefpolyeder II	108	einfache Punktbestimmung I	{ 711
Repèrepunkte II	{ 87	mehrfache Punktbestimmung I	{ 725
II	183	mit Winkelmessungen I	737
Repetition der Winkel I	429	mit Richtungsmessungen I	776
Repetitionskreis I	431	mit dem Meßtische I	976
Repetitionstheodolit I	428	direkte Auflösung I	977
von Starke I	432	indirekte Auflösung I	978
Rektifikation I	434	nach Lehmann I	981
Repetitionswinkelmessung I	441	nach Netto I	984
Operationsfehler I	473	mechanische Lösungen I	986
Gewichte I	477	Mareksche Aufgabe I	989
Reversionslatte II	175	Ruhe der Bilder II	213
Rhombennadel I	502	Rumpf II	322
Richtkraft der Magnetnadel I	501		
Richtscheit II	219		
Richtung, absolute I	692		
Richtung und Winkel I	{ 437		
I	738		
Richtungsmessung			
Methoden I	438		
Genauigkeit I	479		
Richtungsmessungen I	738		
Richtungen, äußere, innere I	711		
Richtungsänderung I	739		
Richtungsbeobachtungen I	449		
Genauigkeit I	479		
Richtungskoeffizienten I	740		
		S.	
		Sammellinse I	215
		Sattel II	323
		Satz I	451
		Satzbeobachtungen I	449

	Band	Seite		Band	Seite
Saum	}	II 318	Schnellmeßkunst	II	341
		II 322	Schnittpunkt zweier Ge-		
Schablonenskalen		II 248	raden	I	616
Schärfe			Schraffen	II	317
in der Bestimmung der Lattenhöhe		II 152	Schraffenskalen	II	319
Schätzmikrometer		I 260	Schraube	I	160
Schätzmikroskop		I 410	ohne Ende	I	166
Schätzungsfehler			Herzschraube	I	209
an der Distanzlatte		I 348	Schraubenaneroide	II	253
Schauritze		I 268	von Goldschmid	II	253
Scheibenstativ		I 213	von Arzberger und Starke	II	256
Scheinbare Zenith(Horizont)-			von Starke	II	256
distanz		II 199	von Weilenmann	II	258
Scheinbarer Horizont	}	I 134	Schraubenmikrometer	I	242
		II 6	Schraubenmikroskop	I	412
Scheitel		II 322	Schreibpflöcke	I	277
eines Bogens		II 423	Schriftleiste	II	516
Scheitelreduktion			Schrittmaß	I	153
von Horizontalwinkeln		I 455	Schrittzähler	I	154
von Zenithdistanzen		II 216	Schrotwage	I	179
Schells neue Instrumente für			Schummerung	II	317
Polygonaufnahmen		I 936	Schuttkegel	II	333
Schicht,Schichtenhöhe,-mantel,			Schwarze Manier	II	301
-gürtel,-körper,-böschung		II 310	Schwemmkegel	II	333
Schichten	}	I 707	Schwenken der Libelle	I	203
		II 310	Schwere	II	221
Schichtenlinien		II {	Schwerekorrektion	II	235
		127	bei Aneroiden	II	259
		135	Sechzehntelspezialkarten-		
		310	blatt	II	510
		127	Seehöhe, genäherte	II	241
Schichtenhöhen		310	Sehen		
		135	mit freiem Auge	I	230
		315	mit bewaffnetem Auge	I	232
Schichtenplan		II 315	Sehnenmaß	I	150
Schichtentafeln		II 396	Sehnenschraube	II {	20
Schiebebrett von Teischinger		II 397			21
Schiebekreuz		I 554			156
Schiebetachymeter		II 378		375	
mit schiefer Lattenstellung		II 381	Sehschärfe	I	256
mit vertikaler Lattenstellung		II 385	Sehstrahl	I	267
Schiebevorrichtung bei Tachy-			Sehweite	I	231
metern		II 385	Seitengleichungen	I {	796
Schiefe Steile		II 328			798
Schiefe Parallaxe		II 495	Transformation	I	799
Schiefer Sattel		II 324	Seitenverzeichnis	I	695
Schindeln		I 277	Seitenwiderspruch in Polygon-		
Schlauchwage		II 13	zügen	I	848
Schleuderthermometer		II 228	Seitwärtseinschneiden	I	636
Schlucht		II 334	Punktbestimmung	I	723
Schneide		II 323	mit dem Meßtische	I	975
Schnellmesser von Puller-	}	386			
Breithaupt		II 390			

	Band Seite		Band Seite
Sektion		Spannungsmesser	I 293
der Katastralaufnahme	I { 707 709 1009	Spektrum, sekundäres	I 249
der Militäraufnahme	II 510	Spezialkarte 1:75.000	II { 336 520
Sektionslehre	I 577	Spezialkartenblatt	II 510
Sektionslinie	I 1015	Spezialskalen	II 245
Sektionspflöcke	I 1016	Sphärische Abweichung	I 227
Sektionsrechteck	I 576	Spiegel	I 263
Sektionsviertel		Spiegelgoniograph von Pott	I 986
der Militäraufnahme	II 510	Spiegelinstrumente	I 360
Sekuläre Änderungen der		Spiegelkreuz	I 364
Magnetnadel	I 521	Spitze einer Erhebung	II 322
Senkel	I 177	Springstände	I { 668 919
Senkrechte	I { 619 632	mit dem Meßtische	I 993
Setzlatte	I { 103 299	Stabilisierung	I 280
Setzlibelle	I 187	von Punkten auf dem Felde	I 276
Setzwage	I 179	der Netzpunkte I. und II. Ordnung	I 700
von Gonser	I 288	„ „ III. „ IV. „	I 715
Signale	I { 278 700	der Polygonpunkte	I { 841 964
Freiberger Signal	I 950	der Nivellementfixpunkte	II 183
Signalisierinstrument	I 436	Stabwage	I 280
Signalisierung	I { 276 279	Stadtpläne	I 968
von Punkten auf dem Felde	I 276	Stadtvermessung	I 961
der Netzpunkte I. und II. Ordnung	I 700	Staffelmessungen	I 300
„ „ III. „ IV. „	I 715	Staffelmethode	II 280
„ Polygonpunkte	I 950	Staffelzeug	{ I 299 II 219
bei der Meßtischaufnahme	I 1002	Stahlbandmessung	
Signalisierungsfehler	I 468	auf ebenem Boden	I 293
Signallampe	II 444	auf unebenem Boden	I 293
Simpsonsche Formel	I 1049	bei Hindernissen	I 293
Sinushilfssatz	I 636	Stahlmeßband	I 290
Situationszeichen	{ I 131 II 300	Stampfersche Meßschraube	{ I 163 II { 138 146
Situation der tachymetrischen		Genauigkeit	II 157
Stationen	II 437	Stampfersche Winkelgleichung	II 139
Skalenmikroskop	I 411	Stampfers	
Skalenteil der Libelle	{ I 198 II 68	Taschen-Nivellierdiopter	II 34
Skizze	{ I { 658 678 1015 II { 99 202	Taschen-Nivellierinstrument	II 34
Skizzenbrettchen	I 679	Nivellierinstrument	II 140
Sommerarbeiten der Militär-		Standaneroïd von Arzberger	
mappierung	II 512	und Starke	II 256
		Standbarometer	II 231
		Standlinie	I 663
		Standliniemethode	I 663
		mit dem Meßtische	I 990
		mit dem Photogrammter	II 458

	Band Seite		Band Seite
Standkorrektur der Aneroide	II 249	Stereophotogrammetrie	
Standpunkte		Vorteile	II 504
der Triangulierung	I 689	Stereoplotter von Thompson	II 505
der Meßtischaufnahme	I 1013	Stereoskop von Zeiß	II 487
der Nivellements	II { 4 93	Stichbandmethode	I 294
der tachymetrischen Aufnahme	II 401	Stichbandtabelle	I 294
Stangenmessung, siehe Latten-		Stichlatte	II 119
messung		Stockstativ	I 212
Stangenplanimeter von Prytz	I 1083	Strahlendiagramme	I 121
Stangensignale	I { 278 702	für die tachymetrischen Elemente	II 394
Stangenzirkel	I 573	Strahlengang	
Stationen, siehe Standpunkte		bei einer Linsenkombination . . .	I 224
Stationieren		in einem einfachen astronomischen	
mit dem Meßtische	I 993	Fernrohre	I 237
bei Längennivellements	II 95	in einem zusammengesetzten } I { 252 astronomischen Fernrohre . . . }	253
bei der tachymetrischen Aufnahme	II 401	in einem terrestrischen Fernrohre	I 255
Stationsabschluß	I { 481 491	Strahlenzieher von Hammer . . .	I 918
Stationsaneroid	II 276	Straßenparzelle	I 676
Stationsausgleichung	I 481	Strichmarken	II 185
Stationsbarometer von Kap-		Strichmaß	I { 141 282
peller	II { 229 239	Stückvermessung	I 956
Stationsgleichungen	I 795	Südwinkel	I 706
Stationsnivellement	II 4	Sukzessives Einvisieren	II 418
Stative	I 212	Summarisches Gefälle	II 84
Stehachse	I 407	Summenproben	I 65
Steigung	II 98	Symbolik von Gauß	I 29
Steindruck	II 307		
Steinmandel	I 703	T.	
Steinmarken	II 184	Tabellen	
Stellschrauben	I 162	zur Fehlerrechnung	I 9, 18
Stereoautograph von v. Orel . . .	II 506	einiger Ausdehnungskoeffizienten	I 176
Stereokomparator von Pulfrich	II { 486 491 493	zur Reduktion auf den Horizont	I 291
Stereomikrometer	II 488	der Fehlergrenzen für Längen-	
Stereomikroskop	II 492	messungen	I 316
Stereophotogrammetrie	II 482	für den Visur- und Ablesefehler	I 472
Horizontalparallaxe	II { 484 489	der magnetischen Deklination und	
Punktidentifizierung	II 485	ihrer Änderungen	I 523
Wandernde Marke	II { 486 491	zur Koordinatenrechnung	I 644
Distanzgleichung	II 487	zur Prüfung und Berechnung der	
Parallaxenschraube	II 494	Polygonzüge	I 647
Schiefe Parallaxe	II 495	für den zulässigen Polygonwinkel-	
Instrumentarium	II 496	widerspruch	I 845
Aufnahmen	II 500	der Horzionterhebung und Refrak-	
Genauigkeit	II 501	tion	II 9, 211
		zur Reduktion von Barometer-	
		ständen	II 234
		der Kapillardepression	II 235
		zum barometrischen Höhenmessen	II 299
		zur Kreisbogenabsteckung	II 432

	Band	Seite		Band	Seite
Tachygraph			Tafeln für Markscheider und		
von Riebel	I	596	Bergingenieure	I	646
von Schlesinger	I	598	Talformen	II	334
Tachygraphometer			Talerweiterung	II	335
von Starke & Kammerer	II	388	Talgraben	II	333
von Wagner-Fennel	II	390	Talverengung	II	335
Tachymeter	II	341	Tangentenschnittpunkt	II	423
älterer Konstruktion	II	342	Tangentenschraube	II	20 156 375
		354	Taschendioptr von Stampfer {	I	270
Protokolle für die Aufnahme	II	366		II	34
		370	Taschen-Nivellierinstru-		
neuerer Konstruktion	II	355	mente	II	34
		358			
nach Patent Tichý & Starke	II	380	Taylorischer Satz	I	3 44 71 85 138
		388		II	138
mit einer Sehnen- oder Tangenten-			Technische Ausführung der		
schraube	II	375	photographischen Aufnahme	II	477
automatische und Reduktions- oder			Technische Terrainlehre	II	320
Schiebetachymeter	II	378	Technische Verwendung der		
von Hammer-Fennel	II	379	Militärkartenwerke	II	519
von Puller-Breithaupt	II	381	Teilkonstanten der Planimeter-		
			gleichung	I	1070
von Wagner-Fennel	II	383	Teilung		
		390	der Libellen	I	186
Schiebe- und Projektionsvorrich-			des Horizontalkreises	I	415
tungen	II	385	des Vertikalkreises	I	545
Tachygraphometer	II	387	Teilung der Flächen	I	1096
Tachymeterquadrant			bei gleicher Bonität	I	1096
von Puller	II	397	bei verschiedener Bonität	I	1108
Tachymeterschieber	II	397	Teilungsaufgaben	I	1103
von Riebel	II	398	Teilungsfehler	I	416
Tachymetertransporteur			Teilungskonstante (Korrek-	II	249 266
von Lorber	I	596	tion) der Aneroide		
von Starke	I	597	Teilungsmaßstab von Fried-		
Tachymetrie, Tacheometrie	II	341	mann	II	134
Tachymetrische Aufnahme	II	400	Teleskopisches System	I	238 245
Tachymetrische Diagramme	II	394	Tellerstativ	I	212
			Temperatur der Luft	II	223
Tachymetrische Elemente	II	341	Temperaturkoeffizienten der		
		392	Aneroide	II	261
Genauigkeit	II	376	Temperaturkonstante (-kor-	II	249 261
Bestimmung	II	392	reaktion) der Aneroide		
Tachymetrische Hilfstafeln {	I	126	Temperaturkorrektur des		
	II	363	Quecksilberbarometers	II	239
		392	Temperaturkurve	II	264
Tachymetrische Kippregel	II	389	Temperatur-Teilungskonstante	II	249
Tachymetrische Methoden	II	362			
Tachymetrische Rechen-					
schieber	II	397			
Tafelwerke	I	646			

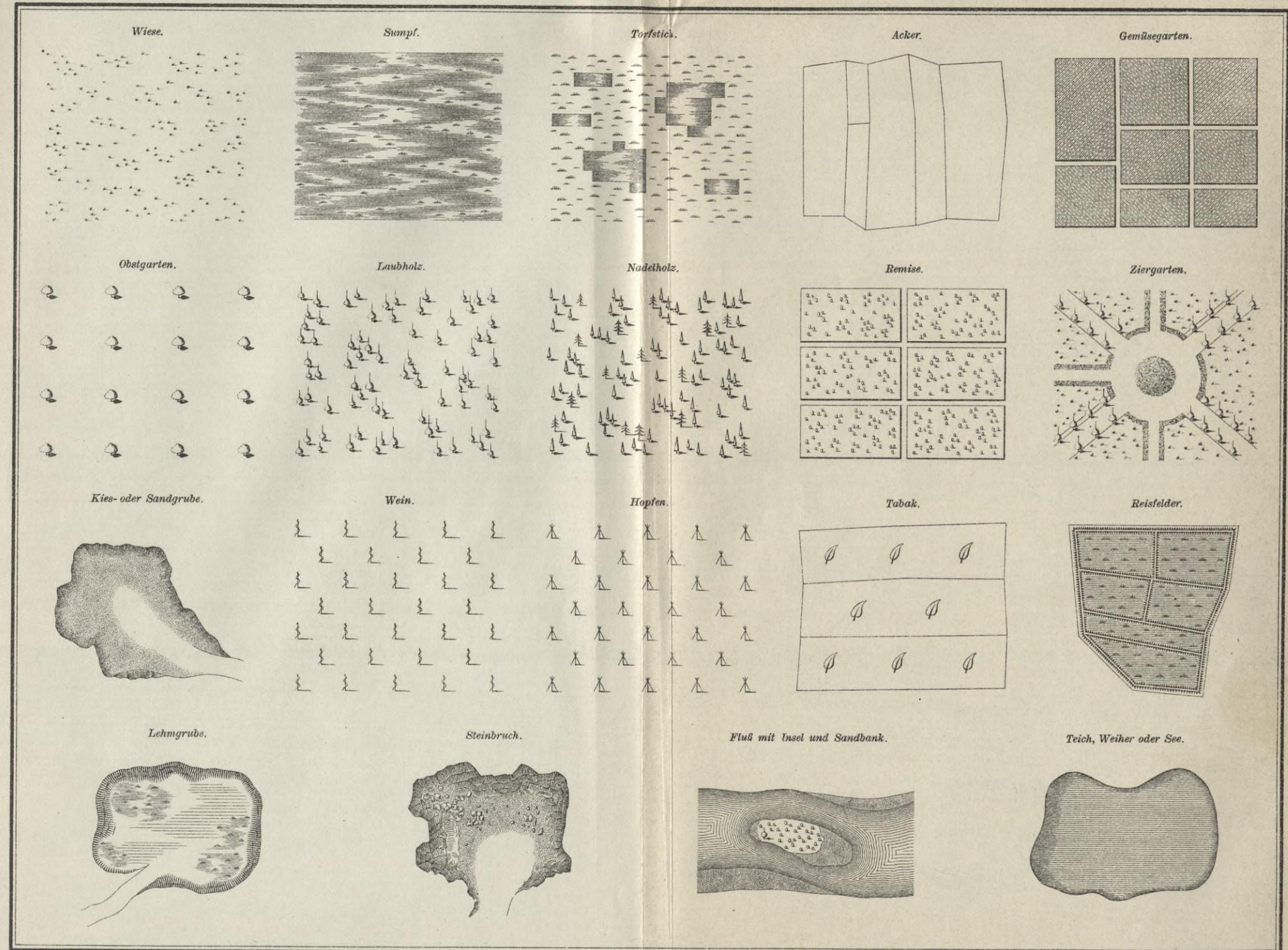
	Band Seite		Band Seite
Terrainaufnahme		Theorie	
Flächennivellement	II { 108	des Pentagonalprismas	I 373
	112	des Prismenkreuzes	I 375
Isohypsen	II { 127	des Pantographen	I 605
tachymetrische	II 400	des Linearplanimeters	I 1059
photogrammetrische	II 475	des Polarplanimeters	I 1064
Terrainfalten (-wellen)	II 321	der photogrammetrischen Aufnahme	II 455
Terrainformen im Zusammen-		Tichýsche Methode der Tachy-	
hänge	II 335	metrie	II 372
Terraingerippe	II 320	Tiefenlinien	II 320
Terrainlehre	II 320	Tiefenwinkel	I 526
Terrainprofil	II { 313	Tischbrett	I 553
	525	Tischüberzug	I 569
Terrainstufen	II 329	Tonskalen	II 317
Terrainzeichnen	{ I 131	Topographie	
	II 309	von Netzpunkten	I 718
Terrestrische Refraktion	II 200	von Polygonpunkten	I 842
Terrestrisches Fernrohr	I 255	Topographische Aufnahme	I 138
Theodolit	I 403	Mappingung	II 509
Beschreibung	I 403	Topographische Fläche	II 309
einfacher	I 403	Topographische Gegenstände	II 301
Achsen	I 407	Topographischer Plan	II 300
Hilfsinstrumente	I 407	Toricellische Leere	II 226
Horizontalstellung	I 408	Totale Reflexion	I { 367
Ablesemittel	I 409		371
Eigenschaften	I 416	Toter Gang	I 167
Rektifikation	I 416	Transformation	
Repetitionstheodolit	I 428	der Koordinaten	I 654
Gebrauch	I 435	der Seitengleichungen	I 798
Zentrierung	I 435	der Barometerformel	
Achsenfehler (Instrumentalfehler)	I 461	nach Radau	II 240
mit Magnetnadel, siehe Bussolen-		nach Babinet	1
instrumente		nach Neumeyer	II 243
mit Vertikalkreis, siehe Universal-		Transformationselemente	
instrumente		bei der Koordinatenrechnung	I 656
mit Nivellierlibelle, siehe Univer-		Transport des Quecksilber-	
sal-Nivellierinstrumente		barometers	II 228
mit Distanzmesser, siehe Tachy-		Transporteur	I 590
meter		tachymetrischer	II 410
mit Kamera, siehe Phototheo-		Transversalmaßstab	I 157
dolit		Transversalmethode	I 660
Theodolitaufnahme	I { 685	Trapezformel	I 1047
	840	Trasse	II 531
Prüfung	I 957	von konstanter Neigung	II 531
Flächenberechnung	I 1088	Trassenstudien auf Militär-	
Theodolitzug	I 843	karten	II 530
Theorie		Trassieren von Eisenbahnen	
der optischen Distanzmesser	I 327	und Straßen	II 97
des Winkelspiegels	I 361	Trassierungsaufgaben	II 530
des dreiseitigen Winkelprismas	I 367	Traversen	I { 683
			1005

	Band	Seite		Band	Seite
Triangulieren	I	686 1013	U.		
Triangulierung			Übergangskurve	II	436
kleine, selbständige	I	687	Übergangspunkte	II	423
Anschluß-(Klein-)Triangulierung	I	710 840	Überhang	II	325
für Stadtaufnahmen	I	963	Überhöhung		
Triangulierungsblatt(-sektion)			der Profile	II	92
der Katastralaufnahme	I	709	des äußeren Schienenstranges	II	437
Triangulierungskarte	I	688	Überschüssige Beobachtungen		129,50
Trichter	II	332	Übersichtsblatt der tachymetrischen Aufnahme	II	409
Trigonometrie	II	510	Übersichtskarten von Europa	II	522
Trigonometrische Behandlung			Übersichtskroki der Polygone	I	953
verschiedener Aufgaben der praktischen Geometrie	I	629	Überstellungspunkte	II	447
Trigonometrische Bestimmung			Überstriche	I	170
der Distanz und Höhe	II	141	Übertragen eines Winkels	I	620
mit der Stampfer-Schraube	II	141	Übertragungskoeffizienten	I	92
mit der Tangentenschraube	II	143	Überzählige Beobachtungen	I	50
Genauigkeit	II	156	Umdrehungsachse, vertikale, des Theodolites	I	407
Trigonometrische Höhenmessung	II	5, 198	Umfangsmethode	I	665 993
ohne Berücksichtigung der Erdkrümmung und Refraktion	II	201	Umfangsmethode mit dem Meßtisch	I	993
mit Berücksichtigung der Erdkrümmung und Refraktion	II	205	Umlegen des Fernrohres	I II	420 43
Aufgaben	II	203	Umsetzen		
Grundformel	II	207	der Libelle	I	190
Näherungsformel	II	210	des Winkelmeßinstrumentes und der Signale	I	936
mit dem Phototheodolite	II	470	Umziehen	I	665
Trigonometrische Methoden			Undeutlichkeit der Linsensbilder	I	226
der optischen Distanzmessung	I	345	Ungleichheit der Ringhalbmesser	II	50
der Tachymetrie	II	368	Universalgrubeninstrument von Fromme	I	511
Trigonometrische Punktbestimmung			Universalinstrumente mit Magnetnadel, siehe Bussoleninstrumente.		
durch Einscheiden	I	719	Universalinstrumente	I	528
Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate	I	739	Gebrauch	I	534
Ausgleichung nach praktischen Regeln	I	811	Universal-Kreisrechenschieber	I	652
graphische Ausgleichung	I	821	Universallatte	I	939
durch Einschalten	I	791	Universalnivellierinstrumente	II	69
Ausgleichung nach praktischen Regeln	I	814	mit umlegbarem Fernrohr und Aufsetzlibelle	II	70
durch Einketten	I	791	mit durchschlagbarem Fernrohr und Aufsetzlibelle	II	75
Ausgleichung nach praktischen Regeln	I	819			
Trigonometrisches Nivellieren	II	7, 135			
Methoden	II	146			
Tunnelabsteckungen	II	442			
Genauigkeit	II	452			

Band	Seite		Band	Seite
		Universalnivellierinstrumente		
		mit durchschlagbarem Fernrohr		
		und Doppellibelle	II	78
		mit durchschlagbarem Fernrohr		
		und fixer Libelle	II	82
		Universalphototheodolit	II	468
		Universaltachymeter von		
		Tichý	II	355
		Unmittelbares Messen von		
		Winkeln	I	435
		Unregelmäßige Fehler	I	25
		Eigenschaften	I	27
		bei der direkten Längenmessung	I	310
		Unruhe der Bilder	II	213
		Unterbau, Stampferscher	II	18
		Unterlagsplatte	II	11
		Untersuchung		
		über die Ungleichheit der Ring-		
		halbmesser	II	50
		über einige allgemeine Eigen-		
		schaften der Nivellierinstrumente	II	65
		über die Bewegung der Okularröhre	II	66
		Unterteil einer Erhebung	II	322
		Unvermeidliche Fehler	I	25
		Unzugängige Distanz	I	730
		Unzugängliche Distanz	I	632
		Zusammengesetzte Aufgabe	I	640
		Ur- oder Normalmaß	I	140
		österreichisches	I	143
		Urmarken	II	183
		V.		
		Vakuum	II	226
		Veränderlichkeit		
		der Nivellierlatten	II	175
		Verbessern		
		unvermeidlicher Fehler bei der		
		Umfangsmethode mit dem Meß-		
		tisch	I	997
		Verbesserung	I	26
		Verbesserungsgleichungen	I	26
		Vereinfachte Barometerformel	II	224
		Vereinfachte Formel		
		für das trigonometrische Höhen-		
		messungen	II	210
		Vereinfachte Formeln		
		für das trigonometrische Nivellieren	II	141
		Vereinigung der Gradmessung	II	173
		Vergleich		
		der zusammengesetzten astrono-		
		mischen Fernrohre	I	253
		Vergleich		
		eines Golschmid'schen Schrau-		
		benaneroides mit dem Zeiger-		
		aneroid von Naudet	II	255
		zwischen Punkt- und Netzein-		
		schaltungen	I	793
		Vergleichung		
		eines Aneroides mit einem Queck-		
		silberbarometer	II	252
		unter der Luftpumpe	II	268
		von Stahlmeßbändern, Hanfbän-		
		dern, Meßbändern etc.	I	305
		Vergleichungsapparat für		
		Latten	I	303
		Vergleichungsebene	II	3
				309
		Vergleichungsfläche	II	3
		Vergrößerung		
		der Lupe	I	234
		des Fernrohres	I	244
		Verifikationsbasis	I	807
		Verjüngungsmaße		
		bei der Aufnahme des österrei-		
		chischen Katasters	I	154
		bei der Militäraufnahme	I	155
		für technische Zwecke	I	156
		Verjüngungsmaßstab	I	569
		Verlängerung		
		einer Geraden	I	635
			II	418
		von Tunnelachsen	II	449
		Verlorene Punkte	I	794
		Vermarkung	I	280
			I	951
			I	1030
		Vermessungskunst	I	130
		Vermittelnde Beobachtungen	I	50
		ungleicher Genauigkeit	I	51
		in Form einer linearen Funktion	I	51
			I	54
		gleicher Genauigkeit	I	54
		in Form einer nicht linearen		
		Funktion	I	71
		Verschneidung	II	330
		Verschwenkung der Platten	II	503
		Versicherung des Messungs-		
		liniennetzes	I	953
		Versicherungslibelle	I	537
		Justierung	I	541
		Verständigung bei der Meß-		
		tischaufnahme	I	1002

	Band Seite		Band Seite
Versteinung	I 951	Visurfehler	
Verstellung des Limbus	I 429	des Fernrohrdiopters	I 271
Vertikale Richtung	I 132	des Fernrohres	I { 274 472
Vertikalaufnahme	II 3	Vollständige Formel für das	
Darstellung	II 309	barometrische Höhenmessen	II 222
der Militärmappingung	II 515	Vorbegriffe aus der mathema-	
Vertikalebene	I 132	tischen Geographie	I 131
Vertikalkreis	I 527	Vorbereitungsarbeiten	
Teilung	I 545	für die Militäraufnahme	II 511
Vertikalkreislibelle	I 537	Vorrichtungen zum Messen	
Justierung	I 541	von Bildgrößen	I 241
Vertikallinie der Bildebene	II 456	Vorteile des Nivellierens aus	
Vertikalwinkel-Meßinstru-		der Mitte	II 91
mente	I 526	Vor- und Nachteile des graphi-	
Eigenschaften	I 527	schen Aufnahmeverfahrens	I 1029
Vertikalwinkelmessung	I 526	Vorwärtseinschneiden	I 711
mit der Libelle	I 189	einfache Punktebestimmung	I 719
mit dem Universalinstrumente	I 534	mit dem Meßtische	I 974
Genauigkeit	I 548	mit dem Photogrammeter	I 458
mit der Stampferschen		mehrfache Punktebestimmung	
Schraube	II 138	mit Winkelmessungen	I 746
mit der Tangentenschraube	II 143	mit Richtungsmessungen	I 765
mit der Tangentenschraube	II 143	einfaches	I 719
mit dem Phototheodolite	II { 470 471	mehrfaches	I 737
Vervielfältigen der Pläne	II 304	mehrfaches mit Winkelmessung	I 746
Verzeichnis der reduzierten		mit dem Meßtische	I 974
Richtungen	I 454	Vorwärtsnivellieren	II 6
Vielecksmethode	I 669		
Vierecksberechnung	I 1034	W.	
Viertelsmethode	II 433	Wahl	
Vis-à-vis-Zeichnen	II 515	der Basis und der Netzpunkte	I 688
Visiere	I 267	der Messungslinien	I 953
Visierebene	I 383	der Meßtischstandpunkte	I 1113
Visieren	I 267	der Nivellementsstandpunkte	II 173
Visieren und Messen	I 990	der Tachymeterstandpunkte	II 401
Visieren und Schneiden	I 990	Wahre Zenithdistanz	II 199
Visierkreuz	II 120	Wahrer Horizont	I 134 II 3
Visierlinie	I 239	Wahrscheinliche Lage des ge-	
des Fernrohres	I 271	suchten Punktes in der	
Visierspitze	II 497	fehlerzeigenden Figur	I 824
Visierstrahl, -linie, -richtung,		Wahrscheinlicher Fehler	I 32
-ebene	I 267	Waldbusssole	I 505
Visiervorrichtung,		Wand	II 325
Exzentrizität	I 389	Wandernde Marke	II { 486 491
Visiervorrichtungen	I 267	Wassersammler	II 320
des Meßtisches	I 557	Wasserriß	II 331
Visur	I 267	Wasserscheidelinien	II { 320 527
Herstellung mit dem Fernrohr	I 271	Wasserwage	I 183
Visurfehler	I 471		
des Diopters	I 269		

	Band Seite		Band Seite
Zenithdistanzmessung		Zielpunktreduktion	I 454
einseitige	II 208	Zielreduktion	I 460
Zenithlinie	I 527	Zielschärfe	
Zenithpunkt	I { 536	des Diopters	I 269
Zentralbüchse	I 383	des Fernrohres	I { 275
Zentralklemmen	I 165	beim Nivellieren	II 152
Zentralschraube	I { 209	Zielscheiben	I 324
Zentralstrahlen	I 216	Zieltafeln	I 324
Zentralzapfen	I 383	Zielweite	II 7
Zentri- und Signalisie-		Zimmerarbeiten	
rungsapparat von Hilde-	I { 436	einer Triangulierung	I 693
brand	I { 948	der Militärmapping	II 516
Zentrierapparat bei Tunnellab-		Zonen	II 510
steckungen	II 443	Zufällige Fehler	I { 25
Zentrieren, siehe Zentrierung		Zugsverknötung	I 899
Zentrierinstrumente	I 435	Zulässiger Winkelwiderspruch	
mechanische	I 436	in Polygonzügen	I 846
Zentrierspitze	I 403	Zulässiger Seitenwiderspruch	
Zentrierstativ, einfaches	I 436	in Polygonzügen	I 850
von Schell	I 936	Zulegen	I 593
Zentrierung	I 435	Zulegeplatte	I 503
des Theodolites	I { 435	Zurückführung	
von Winkeln	I 454	bedingter Beobachtungen auf ver-	
von Richtungen	I 459	mittelnde	I 85
des Meßtisches	I { 971	Zusammengesetzte Aufgabe	
der Visierlinie	II 44	des Rückwärtseinschneidens	I 639
Zentrierungselemente	I 455	der unzugängigen Distanz	I 640
Zentrierungsfehler	I 466	Zusammengesetzter Sinussatz I 636	
in Polygonzügen	I 935	Zusammengesetztes Fernrohr I 249	
Zentrierungsstativ	I 936	Zusammengesetztes Nivel-	
Zentriervorrichtungen		lieren	II 5
von Breithaupt	I 951	Zusammenlegung von Grund-	
von Fennel	I 951	stücken	I 1033
Zentrum der Perspektive	II 456	Zusammenwirken der Achsen-	
Zerlegung in Partialnetze	I 807	fehler des Theodolites	I 466
Zerstreute Punkte	II 111	Zweck der Feldmeßkunst	I 137
Zerstreuungslinsen	I 215	Zweck und Grundoperationen	
Zerstreuungsvermögen	I 229	des Meßtisches	I 970
Zerstreuungswinkel	I 228	Zwischenpunkte	II 89
Ziehstäbe	I 290	einer Geraden	I { 614
Zielachse	I 407	eines Nivellements	II 418
Zielhöhe	II 136	Zwischenschichtenlinien	II 315





Konventionelle Bezeichnungen für Katastralmappen und Indikationsskizzen.

Kolorierte Manier.

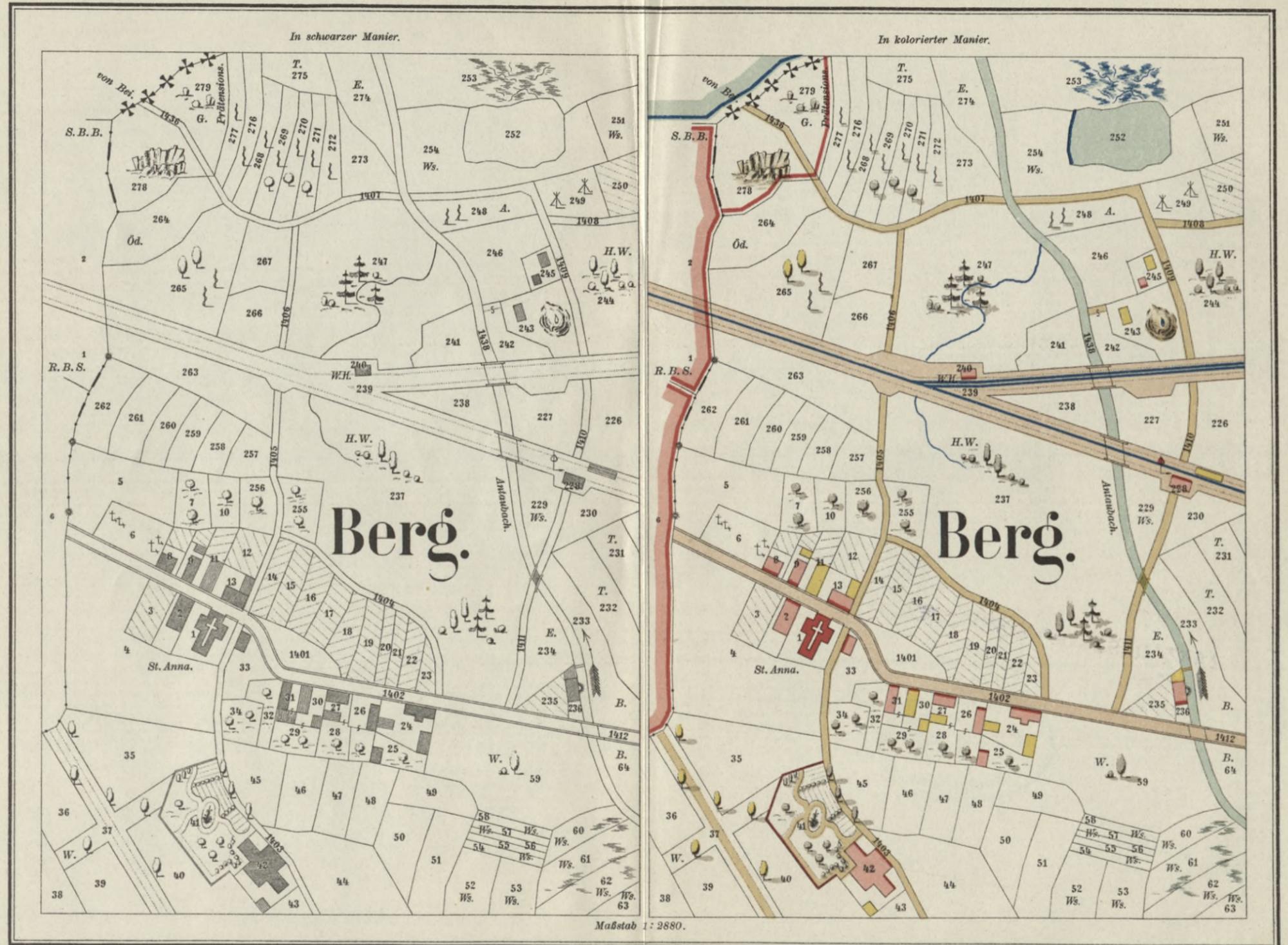
Tafel III.

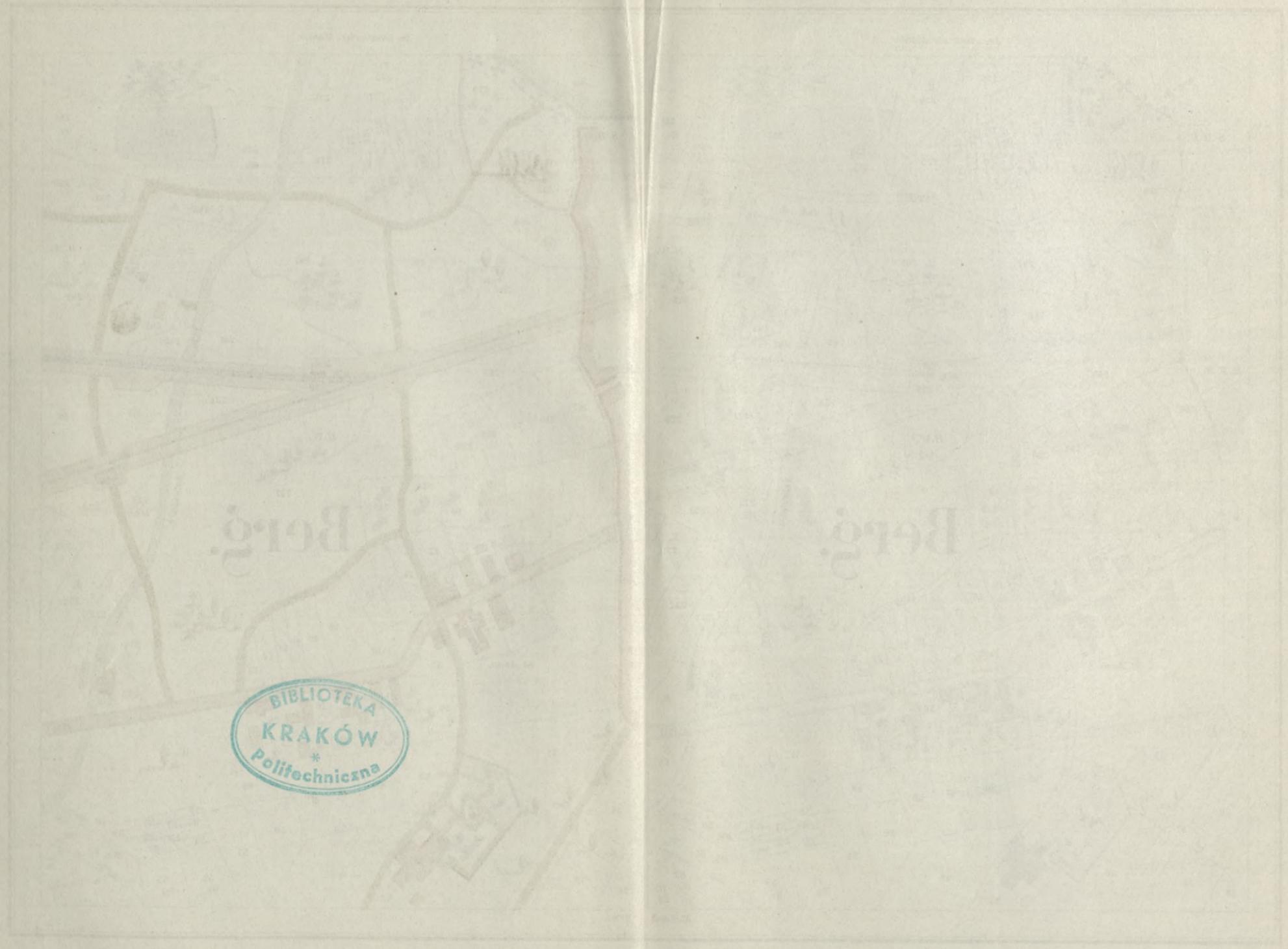




BIBLIOTEKA
KRAKÓW
*
Politechniczna

ZARZĄD SZKOŁY GÓRNICZEJ
Dąbrowa (śl. austr.)





BIBLIOTEKA
KRAKÓW
*
Politechniczna

ZARZĄD SZKOŁY GÓRNICZEJ
Dąbrowa (Śl. austr.)

Konventionelle Bezeichnungen

Militärkarten.

für Terraingegenstände, Grenzen und sonstige Verhältnisse.

Tafel VI.

1:25.000	1:75.000	1:25.000	1:75.000	1:25.000	1:75.000
<p>△ 475 Trigonometrischer Fixpunkt</p> <p>▽ 170 Astronomischer Fixpunkt</p> <p>△ 301 301 Kirche</p> <p>△ 560 560 Moschee</p> <p>△ 301 301 Synagoge</p> <p>△ 82 412 Kapelle, Windmühle</p> <p>△ 56 264 Aussichtsturm, Haus</p> <p>◇ 2183 Kontrollierter Höhenpunkt der Detailaufnahme</p> <p>◇ 2183 Nicht kontrollierter Höhenpunkt der Detailaufnahme</p> <p>5 oder -5 Relative Höhenunterschiede</p> <p>Ⓚ Kreis- Behörde</p> <p>Ⓛ Komitats-(Gespannschafts-) Behörde</p> <p>Ⓜ Bezirks- Behörde</p> <p>Ⓜ Poststation mit Personenbeförderung</p> <p>Ⓜ Postamt ohne Personenbeförderung</p> <p>Ⓜ Telegraphen- Station</p> <p>Ⓜ Telephon- Station</p> <p>Ⓜ Heilbad</p> <p>Ⓜ Qu. Sehr ergiebige beständige Süßwasserquelle</p> <p>Ⓜ Qu. Minder ergiebige beständige Süßwasserquelle</p> <p>Ⓜ Br. Sehr ergiebiger Brunnen ohne Schwingbaum</p> <p>Ⓜ Br. Minder ergiebiger Brunnen ohne Schwingbaum</p> <p>Ⓜ Br. Sehr ergiebiger Feldbrunnen mit Schwingbaum</p> <p>Ⓜ Br. Minder ergiebiger Feldbrunnen mit Schwingbaum</p>	<p>△ 475 Trigonometrischer Fixpunkt</p> <p>▽ 170 Astronomischer Fixpunkt</p> <p>△ 301 301 Kirche</p> <p>△ 560 560 Moschee</p> <p>△ 301 301 Synagoge</p> <p>△ 82 412 Kapelle, Windmühle</p> <p>△ 56 264 Aussichtsturm, Haus</p> <p>◇ 2183 Kontrollierter Höhenpunkt der Detailaufnahme</p> <p>◇ 2183 Nicht kontrollierter Höhenpunkt der Detailaufnahme</p> <p>5 oder -5 Relative Höhenunterschiede</p> <p>Ⓚ Kreis- Behörde</p> <p>Ⓛ Komitats-(Gespannschafts-) Behörde</p> <p>Ⓜ Bezirks- Behörde</p> <p>Ⓜ Poststation mit Personenbeförderung</p> <p>Ⓜ Postamt ohne Personenbeförderung</p> <p>Ⓜ Telegraphen- Station</p> <p>Ⓜ Telephon- Station</p> <p>Ⓜ Heilbad</p> <p>Ⓜ Qu. Sehr ergiebige beständige Süßwasserquelle</p> <p>Ⓜ Qu. Minder ergiebige beständige Süßwasserquelle</p> <p>Ⓜ Br. Sehr ergiebiger Brunnen ohne Schwingbaum</p> <p>Ⓜ Br. Minder ergiebiger Brunnen ohne Schwingbaum</p> <p>Ⓜ Br. Sehr ergiebiger Feldbrunnen mit Schwingbaum</p> <p>Ⓜ Br. Minder ergiebiger Feldbrunnen mit Schwingbaum</p>	<p># Zi. Zisterne, welche immer trinkbares Wasser enthält</p> <p># Z. Zisterne, welche zeitweise trinkbares Wasser enthält</p> <p>Ⓜ Gesundbrunnen dem Ortsnamen beizusetzen</p> <p>Ⓜ Zeichen für wasserarme Orte dem Ortsnamen beizusetzen</p> <p>Ⓜ Höhle Große Höhle</p> <p>Ⓜ H. Kleine Höhle</p> <p>Ⓜ Höhle Höhle, welche Quellwasser enthält</p> <p>Ⓜ H. Höhle, welche Quellwasser enthält</p> <p>Ⓜ Stb. Steinbruch</p> <p>× Bgrv. Bergwerk</p> <p>Ⓜ L.G. Größere Lehmgrube</p> <p>Ⓜ S.G. Schotter- oder Sandgrube</p> <p>Ⓜ Kirche mit zwei oder mehr Türmen Bei zwei oder mehreren dieser Objekte in einer Ortschaft bezieht sich die beim Ortsnamen angegebene Höhe auf jenes Objekt, welches durch das verstärkte und innen mit einem Punkte versehenes Zeichen, z.B. Ⓜ, dargestellt ist.</p> <p>Ⓜ Kirche ohne, oder mit einem Turm</p> <p>Ⓜ Moschee</p> <p>Ⓜ Synagoge</p> <p>Ⓜ Kapelle</p> <p>Ⓜ Kleine Moschee</p> <p>Ⓜ Kleine Synagoge</p>	<p># Zi. trinkbares Wasser enthält</p> <p># Z. trinkbares Wasser enthält</p> <p>Ⓜ Gesundbrunnen dem Ortsnamen beizusetzen</p> <p>Ⓜ Zeichen für wasserarme Orte dem Ortsnamen beizusetzen</p> <p>Ⓜ Höhle Große Höhle</p> <p>Ⓜ H. Kleine Höhle</p> <p>Ⓜ Höhle Höhle, welche Quellwasser enthält</p> <p>Ⓜ H. Höhle, welche Quellwasser enthält</p> <p>Ⓜ Stb. Steinbruch</p> <p>× Bgrv. Bergwerk</p> <p>Ⓜ L.G. Größere Lehmgrube</p> <p>Ⓜ S.G. Schotter- oder Sandgrube</p> <p>Ⓜ Kirche mit zwei oder mehr Türmen Bei zwei oder mehreren dieser Objekte in einer Ortschaft bezieht sich die beim Ortsnamen angegebene Höhe auf jenes Objekt, welches durch das verstärkte und innen mit einem Punkte versehenes Zeichen, z.B. Ⓜ, dargestellt ist.</p> <p>Ⓜ Kirche ohne, oder mit einem Turm</p> <p>Ⓜ Moschee</p> <p>Ⓜ Synagoge</p> <p>Ⓜ Kapelle</p> <p>Ⓜ Kleine Moschee</p> <p>Ⓜ Kleine Synagoge</p>	<p>Wohngebäude</p> <p>größere v. Stein n. Holz Wirtschaftsgebäude</p> <p>Öffentliche Gebäude</p> <p>Befähbare Gassen</p> <p>Nicht befähbare Gassen</p> <p>Schl. Schl. Schloß</p> <p>H.H. Herrenhaus</p> <p>Kls. Kls. Kloster</p> <p>M.H. M.H. Meierhof</p> <p>Fb. Einzelne stehende Fabrik</p> <p>W.H. Einzelne stehendes Haus</p> <p>J.H. Jäger-(Forst-) Haus</p> <p>Hgh. Heger- Haus</p> <p>Alpenhütte mit Alpenwirtschaft</p> <p>D.M. Dampf- Mühle</p> <p>Wasser-(Mahl-) Mühle</p> <p>Schiff- Mühle</p> <p>Wind- Mühle</p> <p>Tret- Mühle</p> <p>D.S. Dampf-Säge- Mühle</p> <p>S.M. Säge- Mühle</p> <p>Stp.M. Stampf-(Walk-, Pulver-) Mühle</p> <p>Hm. Hammerwerk</p> <p>EL.A. Elektrizitäts- (Dampf-) Anlagen mit (Wasser-) Betrieb</p> <p>EL.A. Elektrizitäts- (Wasser-) Anlagen mit (Dampf-) Betrieb</p> <p>H.O. Hochofen</p> <p>D.H. Dampfhammer</p>	<p>Wohngebäude</p> <p>größere v. Stein n. Holz Wirtschaftsgebäude</p> <p>Öffentliche Gebäude</p> <p>Befähbare Gassen</p> <p>Nicht befähbare Gassen</p> <p>Schl. Schl. Schloß</p> <p>H.H. Herrenhaus</p> <p>Kls. Kls. Kloster</p> <p>M.H. M.H. Meierhof</p> <p>Fb. Einzelne stehende Fabrik</p> <p>W.H. Einzelne stehendes Haus</p> <p>J.H. Jäger-(Forst-) Haus</p> <p>Hgh. Heger- Haus</p> <p>Alpenhütte mit Alpenwirtschaft</p> <p>D.M. Dampf- Mühle</p> <p>Wasser-(Mahl-) Mühle</p> <p>Schiff- Mühle</p> <p>Wind- Mühle</p> <p>Tret- Mühle</p> <p>D.S. Dampf-Säge- Mühle</p> <p>S.M. Säge- Mühle</p> <p>Stp.M. Stampf-(Walk-, Pulver-) Mühle</p> <p>Hm. Hammerwerk</p> <p>EL.A. Elektrizitäts- (Dampf-) Anlagen mit (Wasser-) Betrieb</p> <p>EL.A. Elektrizitäts- (Wasser-) Anlagen mit (Dampf-) Betrieb</p> <p>H.O. Hochofen</p> <p>D.H. Dampfhammer</p>



ZARZĄD SZKOŁY GÓRNICZEJ
Dąbrowa (G. austr.)

1:25.000		1:75.000		1:25.000		1:75.000	
o K.O.	Kalkofen	o K.O.					
o Z.O.	Ziegelofen	o Z.O.					
~ Z.S.	Ziegelschlag	~ Z.S.					
• • •	Aussichtsturm	• • •					
Ruine	Größere	Ruine					
R.	Kleinere	R.					
Friedhof		Friedhof					
A.G.	Altes Grab	A.G.					
Δ Dkm.	Denkmal	Δ					
†	Kreuz	†					
†	Bildstock oder ähnliches rituelles Objekt	†					
⊗	Windmotor	⊗					
⊞	Wegweiser	⊞					
⊚	Ortstafel	⊚					
⊞ ⊞ ⊞ ⊞	Telegraphen- oder Telefonleitung (oberirdische)	⊞ ⊞ ⊞ ⊞					
•••••	Monarchie -	•••••					
•••••	Landes -	•••••					
•••••	Kreis-, Komitats- (Gespanschafts-) Bezirkshauptmannschafts -	•••••					
•••••	Gemeinde -	•••••					
v. Stein v. Holz	Grenzzeichen	o					
o 9 o 6 o 15	Numerierte Grenzzeichen	o					
o	Grenzhügel (Notterhausen)	o					
o o o	Grenzbäume	o o o					
				Kommunikationen			
		1:25.000		1:75.000		1:25.000	
		Normalspurige Eisenbahn		mit zwei Geleisen		Zeichen für die Fahrbahnbreite und für den Wechsel derselben	
				mit einem Geleise und Unterbau für zwei Geleise		Straßenverengung	
				mit einem Geleise		Ausweichplatz	
		Schmalspurige Eisenbahn				Für 6-spänniges Trainsfuhrwerk nicht passierbare Straßenwendungen	
		Straßeneisenbahn (Tramway)		Strecke außerhalb der Kommunikation		Serpentinen	
		Material-Transportbahn				Straßensteile	
		Chaussee (verlässliche Straße)				Viadukte (Talbrücken)	
		Landstraße (minder verlässliche Straße)				Tunnels (bedeckte Einschnitte)	
		Erhaltener				Galerien	
		Besserer (straßenartiger)				Stützmauern	
		Nicht erhaltener				Schutz- oder Futtermauern	
		Karrenweg (Feld- und Waldweg)				Aufgedämmte Kommunikationen	
		Saumweg (Reibweg)				Eisenbahneinschnitt	
		Fußweg (Fußsteig)				Straßeneinschnitte und Hohlwege	
		Streckenweise in der Natur nicht erkennbarer		Saumweg Fußweg		Straße und Weg mit Seitengräben	
		Hauptverbindungswege		Eisenbahn		Alleen und einzelne Bäume	
		Nebenwege		Straße		Kreuzungen im Niveau	
				in Bauausführung		mittels Unter- und -Überfahrt	
				auf und neben Kommunikationen		Bahnhof	
				Straßeneisenbahn (Tramway)			
				Auf einer Chaussee erbaute Eisenbahn			
				mit Kilometersteinen			
				für 1 - für 2 Wagenkolonnen			
				für 1 - für 2 von Holz			
				Kilometerzeiger			



ZARZĄD SZKOŁY GÓRNICZEJ
Dąbrowa (Cl. 205m.)

Konventionelle Bezeichnungen

für Terraingegenstände, Grenzen und sonstige Verhältnisse.

Militärkarten.

<p>1:25.000</p> <p>E.St. Eisenbahnstation</p> <p>H.St. Eisenbahn-Haltestelle</p> <p>Wh. 26 Wächterhaus</p> <p>Station der Straßenbahn</p> <p>Dämme und Gräben</p> <p>Damm</p> <ul style="list-style-type: none"> auf beiden Seiten gemauert auf einer Seite gemauert <p>Erd- oder Faschinendamm</p> <p>Künstlicher trockener Graben</p> <p>Natürlicher trockener Graben und ähnliche Terrainstufen</p> <p>Gewässer</p> <p>Strom, nicht durchwatbarer Fluß oder durchwatbarer Fluß über 50' Breite</p> <p>Durchwatbarer Fluß unter 50' Breite</p> <p>Nicht durchwatbarer Bach</p> <p>Durchwatbarer Bach</p> <p>Gieß- oder Wildbäche (Torrenten)</p> <p>Schiffahrtskanal</p> <p>Nicht durchwatbarer künstlicher Wassergraben</p> <p>Durchwatbarer Wassergraben</p>	<p>1:75.000</p> <p>E.St.</p> <p>H.St.</p> <p>Wh. 26</p> <p>Station der Straßenbahn</p> <p>Dämme und Gräben</p> <p>Damm</p> <ul style="list-style-type: none"> auf beiden Seiten gemauert auf einer Seite gemauert <p>Erd- oder Faschinendamm</p> <p>Künstlicher trockener Graben</p> <p>Natürlicher trockener Graben und ähnliche Terrainstufen</p> <p>Gewässer</p> <p>Strom, nicht durchwatbarer Fluß oder durchwatbarer Fluß über 50' Breite</p> <p>Durchwatbarer Fluß unter 50' Breite</p> <p>Nicht durchwatbarer Bach</p> <p>Durchwatbarer Bach</p> <p>Gieß- oder Wildbäche (Torrenten)</p> <p>Schiffahrtskanal</p> <p>Nicht durchwatbarer künstlicher Wassergraben</p> <p>Durchwatbarer Wassergraben</p>	<p>1:25.000</p> <p>gemauerte</p> <p>hölzerne</p> <p>oberirdische Wasserleitung</p> <p>unterirdische Wasserleitung</p> <p>Res. v. Stein v. Holz Reservoir</p> <p>Aquädukt</p> <p>See</p> <p>Richtung des Wasserabflusses</p> <p>Teiche (beständige und periodische)</p> <p>periodisch per. p.</p> <p>Tümpel und Lachen</p> <p>Details bei Gewässern</p> <p>Zeichen für die Richtung des Wasserlaufes</p> <p>Wasserfall</p> <p>Schleuse</p> <ul style="list-style-type: none"> von Stein von Holz <p>Wehr</p> <ul style="list-style-type: none"> von Stein von Holz <p>Holzrechen</p> <p>Holzrechen bei einer Brücke</p>	<p>1:75.000</p> <p>Res.</p> <p>See</p> <p>Teiche (beständige und periodische)</p> <p>per. p.</p> <p>Tümpel und Lachen</p> <p>Details bei Gewässern</p> <p>Zeichen für die Richtung des Wasserlaufes</p> <p>Wasserfall</p> <p>Schleuse</p> <ul style="list-style-type: none"> von Stein von Holz <p>Wehr</p> <ul style="list-style-type: none"> von Stein von Holz <p>Holzrechen</p> <p>Holzrechen bei einer Brücke</p>	<p>1:25.000</p> <p>Uferschutzdamm</p> <p>Uferverkleidung v. Stein v. Holz</p> <p>Häufelmauer</p> <p>Sporn (Bühne) von Stein Holz</p> <p>Landungsbrücke von Stein - von Holz</p> <p>Zeichen für regelmäßige Dampfschiffahrt</p> <p>D.St. Dampfschiffstation</p> <p>Schiffbarkeit für Ruderschiffe stromauf- und abwärts stromabwärts</p> <p>Flößbarkeit</p> <p>Übergänge</p> <p>n. Stein v. Eisen v. Holz</p> <p>Eisenbahnbrücken</p> <ul style="list-style-type: none"> mit geschlossener Brückendecke mit durchbrochener Brückendecke für eingeleisige Bahn mit Unterbau für 2 Geleise <p>Große Brücken</p> <ul style="list-style-type: none"> von Stein mit Stein-oder Eisenunterlagen von Eisen mit Eisenunterlagen von Holz auf schwimmenden Unterlagen mit Holzjochen <p>Brücken ohne Unterlagen</p> <p>Eisenbahnbrücken zugleich für den allgemeinen Verkehr</p> <p>Kleine Brücken</p>	<p>1:75.000</p> <p>Uferschutzdamm</p> <p>Uferverkleidung v. Stein v. Holz</p> <p>Häufelmauer</p> <p>Sporn (Bühne) von Stein Holz</p> <p>Landungsbrücke von Stein - von Holz</p> <p>Zeichen für regelmäßige Dampfschiffahrt</p> <p>D.St. Dampfschiffstation</p> <p>Schiffbarkeit für Ruderschiffe stromauf- und abwärts stromabwärts</p> <p>Flößbarkeit</p> <p>Übergänge</p> <p>n. Stein v. Eisen v. Holz</p> <p>Eisenbahnbrücken</p> <ul style="list-style-type: none"> mit geschlossener Brückendecke mit durchbrochener Brückendecke für eingeleisige Bahn mit Unterbau für 2 Geleise <p>Große Brücken</p> <ul style="list-style-type: none"> von Stein mit Stein-oder Eisenunterlagen von Eisen mit Eisenunterlagen von Holz auf schwimmenden Unterlagen mit Holzjochen <p>Brücken ohne Unterlagen</p> <p>Eisenbahnbrücken zugleich für den allgemeinen Verkehr</p> <p>Kleine Brücken</p>
--	---	---	---	---	---



ZARZĄD SZKOŁY GÓRNICZEJ
Dąbrowa (Sl. austr.)

Konventionelle Bezeichnungen

für Terraingegenstände, Grenzen und sonstige Verhältnisse.

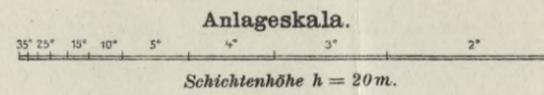
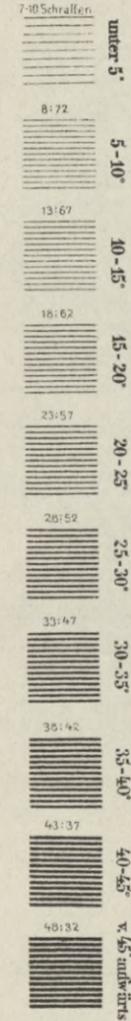
Militärkarten.

1:25.000		1:75.000	1:25.000		1:75.000	1:25.000	1:75.000	
	Kleine Brücken			<i>Im Hochsommer trocken</i>			<i>Im Hochsommer trocken</i>	
	Durchlässe			<i>Sumpf, welcher nie austrocknet und seine Abgrenzung nicht ändert.</i>			<i>Sumpf, welcher nie austrocknet und seine Abgrenzung nicht ändert.</i>	
	Stege			<i>Moorboden mit Torfstich und Torf-Trockenhütten</i>			<i>Moorboden mit Torfstich und Torf-Trockenhütten</i>	
	Dampffähre (Trajekt)			<i>Schütterer Rohrweuch</i>			<i>Schütterer Rohrweuch</i>	
	Fliegende Brücke			<i>Sehr dichter und in der Natur scharf begrenzter Rohrweuch</i>			<i>Sehr dichter und in der Natur scharf begrenzter Rohrweuch</i>	
	Überführ			<i>Stehendes Gewässer mit Rohrweuch</i>			<i>Stehendes Gewässer mit Rohrweuch</i>	
				<i>Stehendes Gewässer mit Rohrweuch</i>			<i>Stehendes Gewässer mit Rohrweuch</i>	
				<i>Stehendes Gewässer mit Rohrweuch</i>			<i>Stehendes Gewässer mit Rohrweuch</i>	
	Furt		Kulturen					<i>Ackerland</i>
								<i>Heide</i>
								<i>Wiese</i>
	Bodenarten			<i>Ackerland</i>				<i>Wiese</i>
	Schotter- und Sandfläche.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Wiese</i>
	<i>Größere Fläche, welche nur zeitweilen aufs oder versumpft ist.</i>			<i>Weit sichtbare, zur Orientierung besonders geeignete Bäume</i>				<i>Bildbaum</i>
	<i>Größere Fläche, welche nur zeitweilen aufs oder versumpft ist.</i>			<i>Baumreihen</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.			<i>Einzelne Bäume</i>				<i>Baumgruppen</i>
	Nasser Boden.							

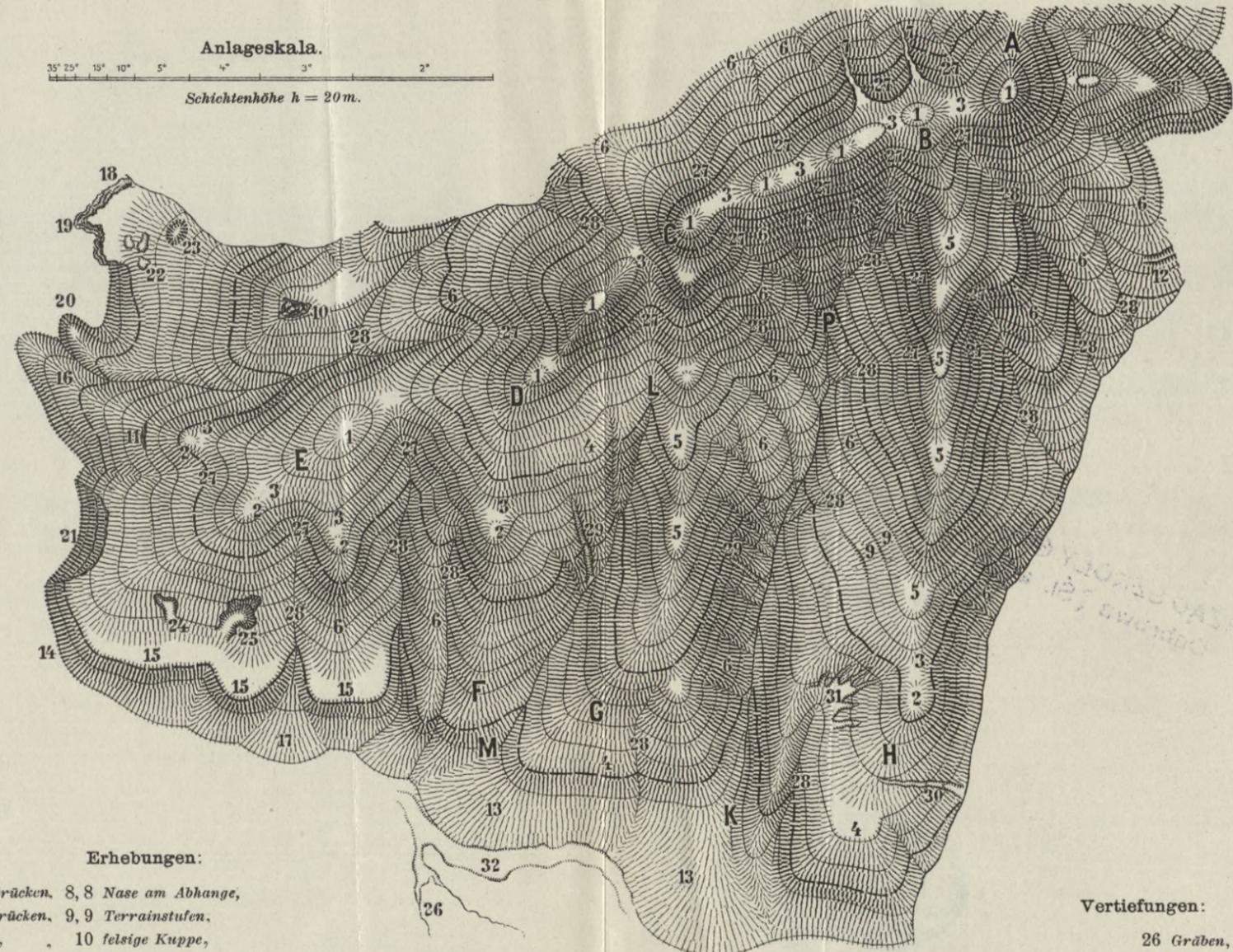
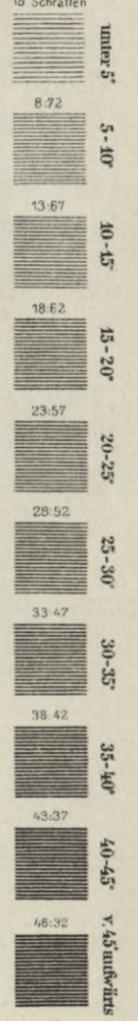


ZARZĄD SZKOŁY GÓRNICZEJ
Dąbrowa (Śl. austr.)

Maximal-Schraffenskala.



Minimal-Schraffenskala.



Erhebungen:

- | | | |
|---------------------------|---------------------------|----------------------|
| A-B-C-D Hauptrücken. | 8, 8 Nase am Abhange, | |
| D-E, D-F Nebenrücken. | 9, 9 Terrainstufen. | |
| C-G, B-H " | 10 felsige Kuppe, | |
| 1, 1 Kuppen. | 11 Felswand, | |
| 2, 2 Fallkuppen, | 12 Abstürze am Abhange, | |
| 3, 3 Sättel, | 13 verflachender Bergfuß, | |
| 4 Absatz, | 14 aufsitzender Bergfuß, | 18 felsiger Bergfuß, |
| 5, 5 Rückenabsatz (Rast). | 15 rideauartiger Bergfuß, | 19 felsige Nase, |
| 6, 6 Abhangsrücken. | 16 Zunge, | 20 Nase am Fuße und |
| 7 Rippen, | 17 Murre, | 21 Absturz am Fuße. |

Vertiefungen:

- | | |
|----------------|-----------------------------------|
| 22 Löcher, | 26 Gräben, |
| 23 Trichter, | 27 Mulden, |
| 24 Grube, | 28 Rinnen, |
| 25 Steinbruch, | 29 Wasserriß in der Fallrichtung, |
| | 30 " quer über den Hang, |
| | 31 Rachen, |
| | 32 Ravin und |
| | P-K, L-M Talgräben. |

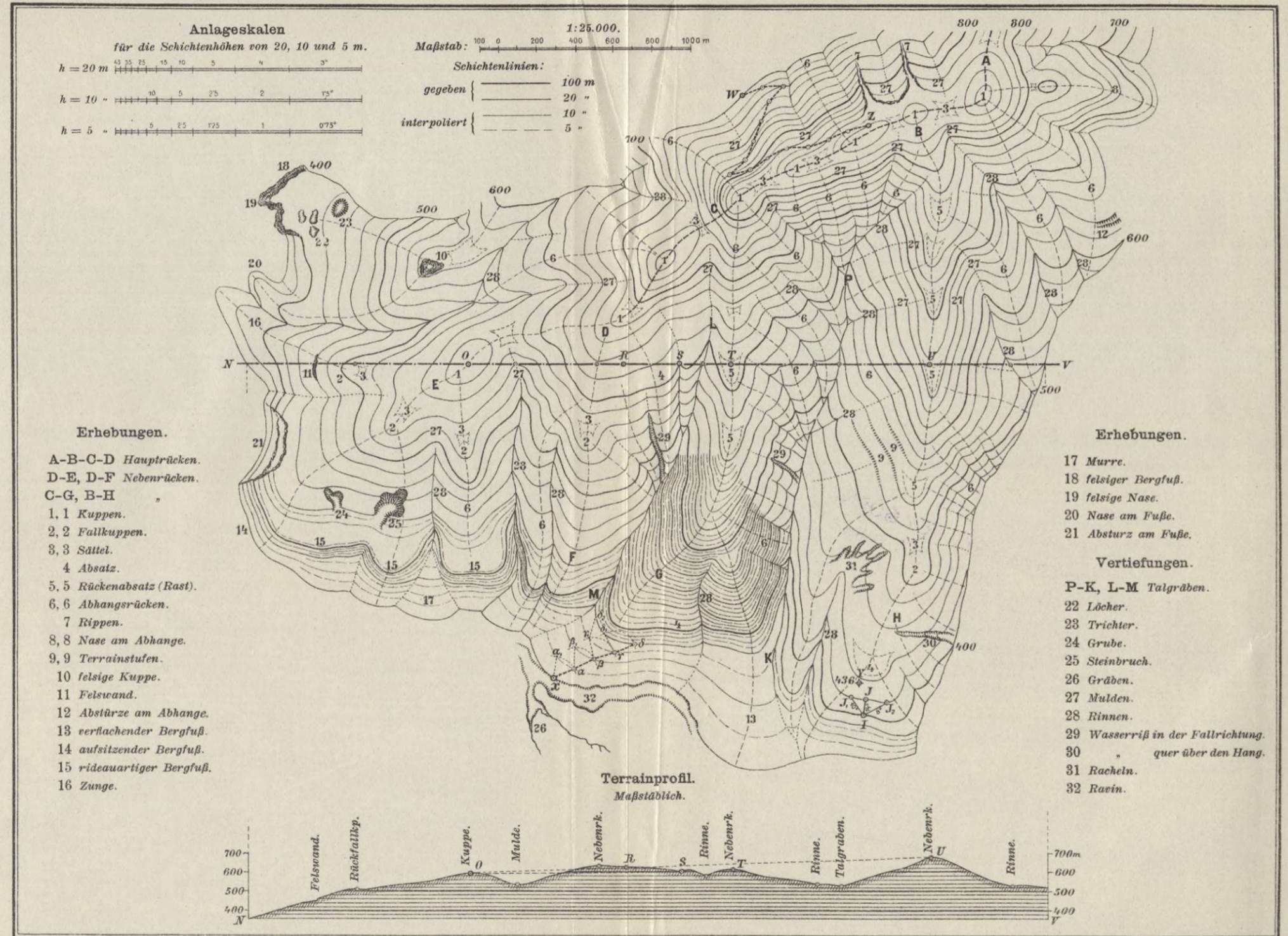
Maßstab 1:25.000.
Schichtenhöhe $h = 20$ und 100 m.

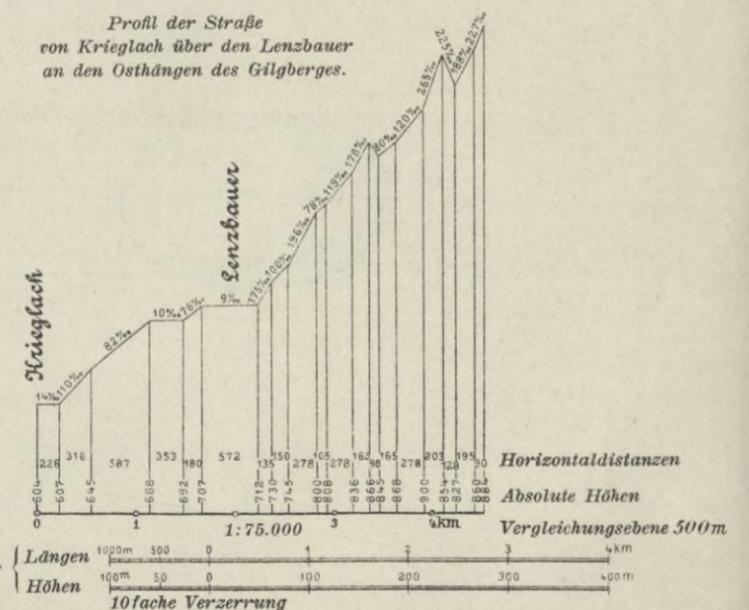
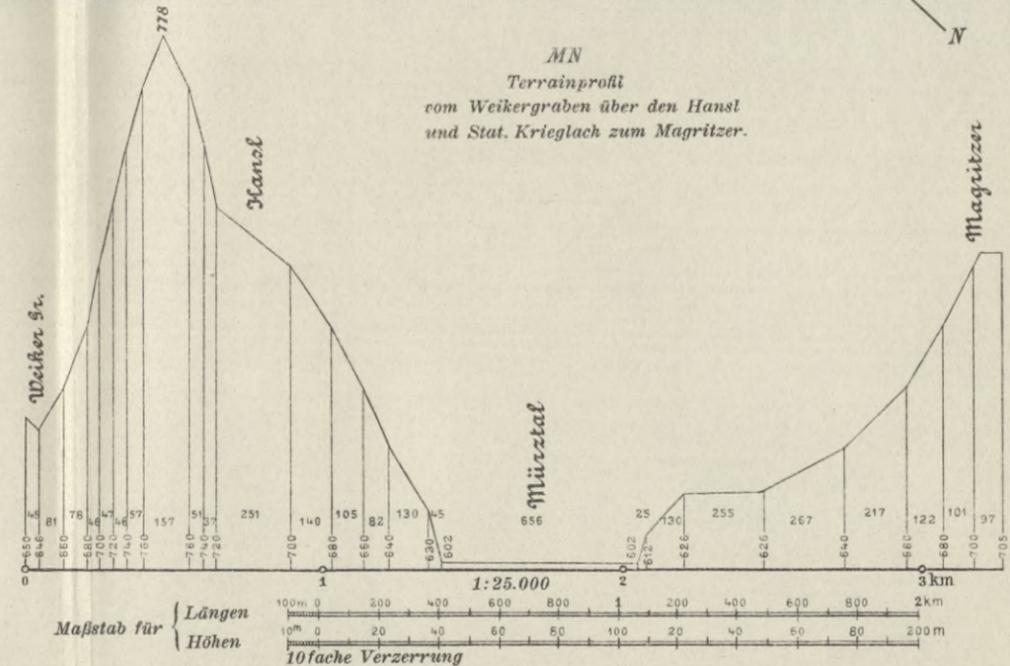
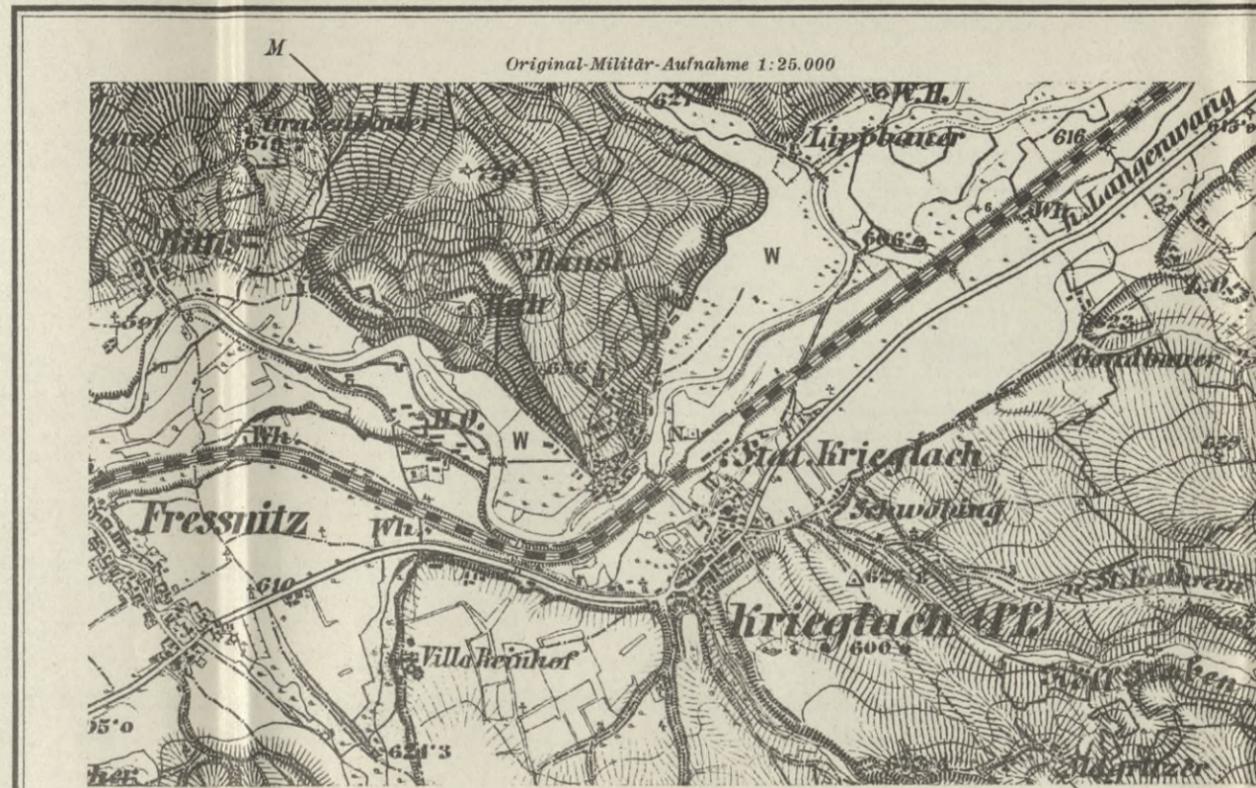


ZARZĄD SZKOŁY GÓRNICZEJ
Dąbrowa (Śl. austr.)

Schichtenplan

für Terrainformen im Zusammenhange mit verschiedenen Aufgaben.



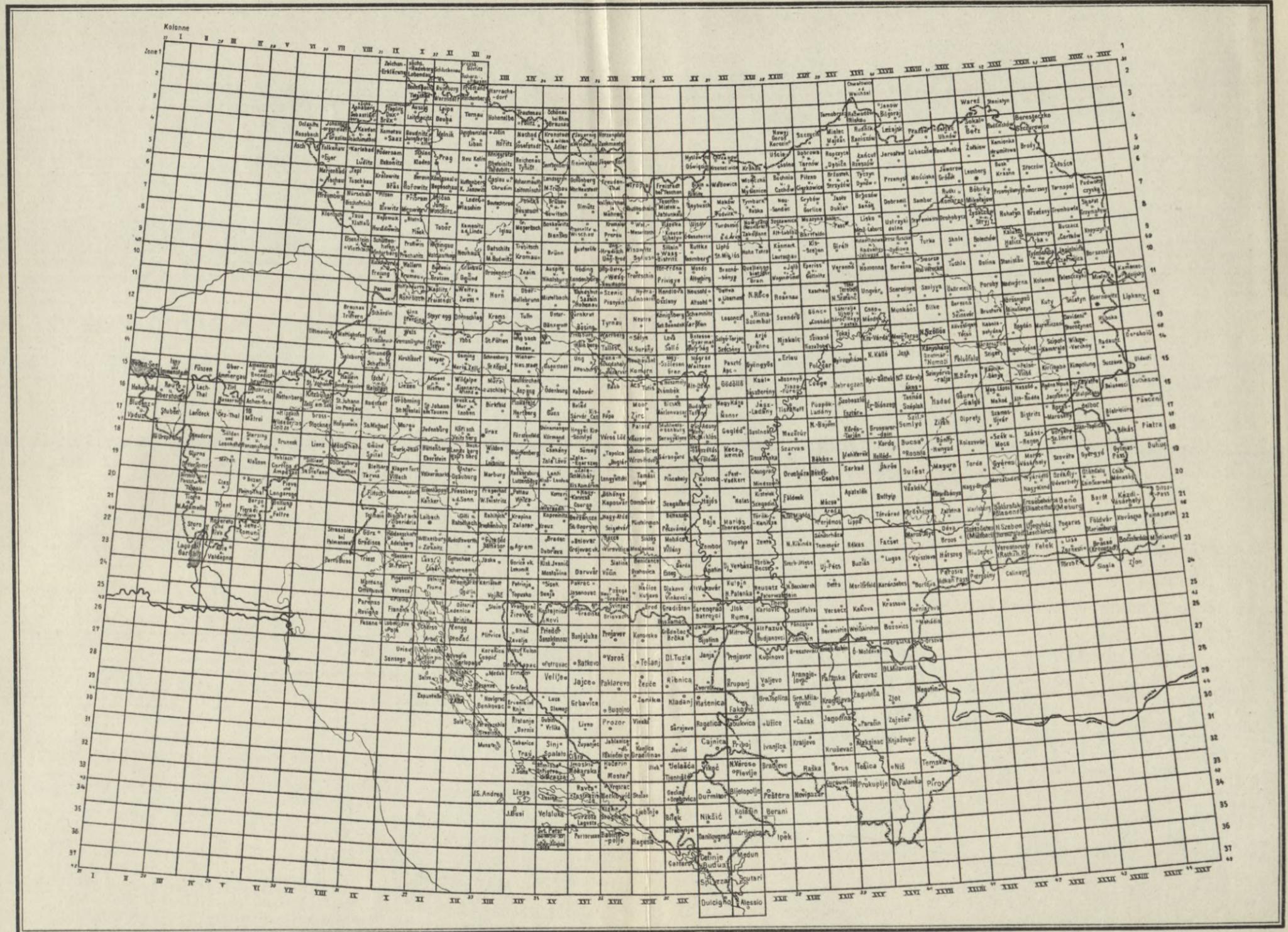




ZARZĄD SZKOŁY GÓRNICZEJ
Dąbrowa (Śl. austr.)

Übersichtsblatt

zur Spezialkarte der österreichisch-ungarischen Monarchie im Maße 1:75.000



Zur Benennung der Kartenblätter dienen die mit arabischen Ziffern stehend geschriebenen Nummern der Zonen, im Vereine mit den, die Kolonnennummern anzeigenden, römischen Zahlen z. B.: Zone 12, Kol. X.

Hartner-Doležal, Geodäsie.

Druck von Christoph Reissers Söhne, Wien V.



ZARZĄD SZKOŁY GÓRNICZEJ
Dąbrowa (Śl. austr.)

S. 61





Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307015

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000301609