

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAJÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

L. inw.

3362

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000297633



H III.

1521^x

Handbuch
der
Navigation

mit besonderer Berücksichtigung
von Kompass und Chronometer,

sowie
der neuesten Methoden der astronomischen
Ortsbestimmung.

Hydrographisches Amt
des Reichs-Marine-Amtes.

Dritte verbesserte Auflage.



Mit 18 Tafeln in Steindruck und 107 Holzschnitten im Text.

Berlin 1891.

Ernst Siegfried Mittler und Sohn
Königliche Hofbuchhandlung
Kochstrasse 68-70.

X
1521

64.78

Handbuch

Navigations

mit besonderer Berücksichtigung
von Kompass und Chronometer

der neuesten Methoden der astronomischen
Ortsbestimmung.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

II 3362



Aks. Nr. 3448/49

Vorwort.

In neuerer Zeit haben mehrere Zweige der terrestri-
schen und astronomischen Navigation eine grössere Be-
deutung erlangt, als ihnen in den vorhandenen deutschen
Navigationsbüchern beigemessen ist. Hierher gehören:
Die Deviation und Kompensirung der Kompassse, die
Einrichtung, Behandlung und Verwerthung der Schiffs-
Chronometer, die neueren Methoden der Breitenbestim-
mung durch Cirkummeridianhöhen, die erweiterte An-
wendung der Ortsbestimmung nach der Sumner'schen
Methode und die Längenbestimmung durch Sternbe-
deckungen. Um diese Neuerungen in leicht fasslicher
Form dem Seefahrer, besonders aber den Offizieren der
Kaiserlichen Marine, zugänglich zu machen, ist das nach-
stehende Handbuch verfasst worden. Eine allgemeine
Brauchbarkeit soll demselben dadurch gesichert werden,
dass ausser den genannten auch alle übrigen zur Navigirung
eines Schiffes erforderlichen Rechnungen in möglichst
einfacher Form und Kürze mit Rechnungsbeispielen auf-
genommen worden sind, so dass das Werk geeignet ist,
als ein Nachschlagebuch jedem Nautiker, besonders aber
dem Navigations-Offizier zu dienen.

Bei der Behandlung des Stoffes sind im Allgemeinen
nicht die Bedürfnisse einer Schule oder specielle Prü-
fungs-Vorschriften zu Grunde gelegt; die Darstellung ist
vielmehr einem höheren Bildungsgrade angepasst, ohne
jedoch das Elementare, soweit es zum leichteren Ver-
ständniss der Erklärungen und Herleitungen dient, zu

vernachlässigen und ohne aussergewöhnliche Kenntnisse voranzusetzen. Die Verhältnisse der Kaiserlichen Marine, sowie die Instrumenten-Ausrüstung Sr. Maj. Schiffe sind besonders berücksichtigt worden.

Berlin, im März 1879.

Vorwort

zur zweiten Auflage.

Nachdem die erste Auflage dieses Handbuches in kurzer Zeit nahezu vergriffen war, wurden die Kommandos Sr. Maj. Schiffe, die Direktionen der Lehranstalten der Kaiserlichen Marine und andere beteiligte Behörden aufgefordert, sich behufs eventueller Verbesserung der zweiten Auflage darüber zu äussern, ob das Werk seinen Zweck erfülle oder ob Abänderungen und welche erwünscht schienen. Sämmtliche Berichte sprachen sich günstig über die praktische Brauchbarkeit des Buches aus. Einige Verbesserungs-Vorschläge, welche gemacht wurden, haben in dieser zweiten Auflage thunlichst Berücksichtigung gefunden. Das Kapitel XIV „Längenbestimmung durch Mondstrecken“ ist durch einen dankenswerthen Beitrag des Herrn Professor Dr. Weyer zu Kiel vermehrt worden. Die am Schluss gegebenen Darstellungen haben eine Vermehrung erfahren durch zwei Blatt Kurven zum Gebrauch bei Abstandsbestimmungen sowie durch die bereits in die Gezeitentafeln eingefügte graphische Darstellung der Stromrichtungen in der Nordsee. Dagegen ist die graphische Darstellung der Ermittlung von Temperaturkoeffizienten für Chronometer an Bord als noch nicht genügend bewährt in Fortfall gekommen.

Berlin, im September 1881.

Vorwort

zur dritten Auflage.

Die vorliegende dritte Auflage dieses Handbuches schliesst sich so weit wie möglich, an die beiden vorangegangenen Auflagen an, Anordnung und Behandlungsweise sind dieselben geblieben, Aenderungen und Zusätze sind aufgenommen worden, soweit dies die auf dem Gebiet der Navigation gemachten Fortschritte und Neuerungen erforderte und es im Interesse der Vollständigkeit und eines leichteren Verständnisses wünschenswerth erschien.

Die bisher in den Text gedruckten nautischen Hilfstafeln sind zur grösseren Bequemlichkeit des Gebrauchs am Schlusse des Buches zusammengestellt. Die Tafel zur Berechnung der Längenänderung für eine Aenderung der Breite ist erweitert worden und noch mit einem zweiten (unteren) Eingang versehen, um dieselbe gleichzeitig zur Berechnung der Mittags- resp. Mitternachtskorrektur verwenden zu können.

Dem Kapitel „Karten“ sind die Kegelprojektionen hinzugefügt worden mit Rücksicht auf ihre Anwendung in der Navigation, namentlich bei der Küstenaufnahme.

Der „das Chronometer“ behandelnde Abschnitt ist zum grössten Theil umgearbeitet worden, und haben in dieser Auflage die in neuerer Zeit gemachten Erfahrungen und angestellten Untersuchungen über die Einflüsse der Schiffsbewegung und der atmosphärischen Feuchtigkeit auf die Chronometer Berücksichtigung gefunden. Die Bestimmung von Stand und Gang des Chronometers ist eingehender behandelt, namentlich auch die Bestimmung des wahrscheinlichsten Ganges aus verschiedenen Standbestimmungen, die Feststellung der Gewichte der Chronometer und die Verwerthung der letzteren.

Von astronomischen Ortsbestimmungen aus zwei Höhen eines Gestirns und der Zwischenzeit fanden bisher nur die gebräuchlichsten indirekten Methoden Aufnahme; dieselben sind durch Hinzufügung einer direkten Methode vervollständigt worden.

Nachdem in dem „Nautischen Jahrbuch“ neuerdings die zur Berechnung der Länge aus Beobachtungen von Sternbedeckungen nothwendigen Elemente Aufnahme gefunden haben, ist das diesen Gegenstand behandelnde Kapitel entsprechend umgearbeitet, um es den Angaben des Nautischen Jahrbuchs anzupassen. Ferner ist dies Kapitel durch eine zweite, von Herrn Professor Dr. Weyer zu Kiel vorgeschlagene, sich den gewöhnlichen nautischen Rechnungen möglichst anschliessende Rechnungsform vermehrt worden.

Der „Die Gezeiten“ behandelnde Abschnitt ist zum Theil den über diese Erscheinung herrschenden neueren Ansichten entsprechend umgearbeitet worden.

Berlin, im Februar 1891.

Inhalt.

Erster Theil.

Astronomische Geographie und terrestrische Navigation.

I. Kapitel.

Die sphärischen Koordinaten auf der Himmels- und Erdkugel.

	Seite
1. Bewegung der Erde um sich selbst und um die Sonne	1
2. Zonen der Erde	2
3. Länge und Breite auf der Erde	3
4. Rektascension und Deklination	5
5. Länge und Breite am Himmel	6
6. Horizont, Vertikalkreise und Höhenparallelen	7
7. Beziehungen zwischen Vertikalkreisen und Stundenkreisen	10
8. Zusammenstellung der verschiedenen Koordinatensysteme	11

II. Kapitel.

Die Maasse auf der Erde.

9. Die Seemeile	12
10. Die geographische Meile	13
11. Abnahme der Grösse der Breitenparallelen nach den Polen hin	14
12. Auf See gebräuchliche Längenmaasse verschiedener Nationen	15

III. Kapitel.

Karten.

13. Die Kartenprojektionen	16
14. Die orthographische Projektion	18
15. Die gnomonische Projektion	18
16. Die stereographische Projektion	20
17. Die Loxodrome	24
18. Merkator's Projektion	27
19. Die Konstruktion der Karten nach Merkator's Projektion	29
20. Kurs und Distanz zwischen zwei Orten in der Merkator'schen Karte	31
21. Die Kegelpjektionen	33

IV. Kapitel.

Der Kompas.

	Seite
22. Die magnetischen Elemente	39
23. Die Horizontalintensität und die Richtkraft der Nadel	41
24. Das magnetische Moment	41
25. Permanenter und inducirter Magnetismus	44
26. Wirkung eines Magneten auf den Kompas	45
27. Wirkung einer weichen Eisenmasse auf den Kompas	46
28. Allgemeines über die Wirkung des Erdmagnetismus in den Eisentheilen des Schiffs	51
29. Die Bestimmung der Deviation	51
30. Deviationskurven und Tabellen	63
31. Anwendung der Deviation	68
32. Die Ursachen der Deviation	68
33. Die semicirkulare und quadrantale Deviation, sowie der konstante Theil der Deviation	72
34. Die fünf Deviations-Koefficienten	79
35. Regeln zur angenäherten Bestimmung der Koefficienten	82
36. Aenderung der Deviation	85
37. Der Krängungsfehler	85
38. Aenderungen der Deviation durch Wechsel der geographischen Position	93
39. Aenderung der Deviation mit der Zeit	100
40. Die Kompensation der Deviation	103

V. Kapitel.

Die Messung und Berechnung des Schiffsweges.

41. Das Log	120
42. Die an den Kursen und Distanzen anzubringenden Korrekturen	124
43. Verwandlung missweisender Kurse in rechtweisende und umgekehrt	126
44. Das Loth	127
45. Das Segeln in der Loxodrome	132
46. Die Rechnung nach Mittelbreite	134
47. Die Rechnung nach vergrößerter Breite	137
48. Das Koppeln der Kurse	139
49. Das Segeln im grössten Kreise	142

VI. Kapitel.

Die Bestimmung des Schiffsorts mit Hülfe von Landobjekten.

50. Ortsbestimmung mit Hülfe eines einzelnen Landobjekts	152
51. Ortsbestimmung mit Hülfe von zwei Landobjekten	158
52. Ortsbestimmung mit Hülfe von drei Landobjekten	159

Zweiter Theil.

Astronomische Navigation.

VII. Kapitel.

Die Zeit.

	Seite
§ 53. Die Bewegung der Erde als Maass der Zeit; Sternzeit, Sonnenzeit	164
§ 54. Die Zeit als Bogenmaass; Beziehungen der verschiedenen Zeiten — Sternzeit, wahre Zeit, mittlere Zeit — zu einander und Uebergang von einer Zeit zur anderen .	166
§ 55. Die Himmelskugel als drehbar um die feste Erdkugel betrachtet	173

VIII. Kapitel.

Das Chronometer.

§ 56. Allgemeines	174
§ 57. Beschreibung des Chronometers	174
§ 58. Besonders wichtige Theile des Chronometers (Spirale; Unruhe)	180
§ 59. Der Einfluss der Temperatur auf den Chronometergang und die Compensation desselben	182
§ 60. Störungen des Chronometerganges durch Aenderungen der Molekularstruktur der Metalle	185
§ 61. Störungen des Chronometerganges durch Aenderung der Konsistenz des Oels	186
§ 62. Einfluss der Schiffsbewegungen und der Luftfeuchtigkeit auf den Gang der Chronometer	186
§ 63. Bemerkungen über die Zuverlässigkeit der Chronometer .	188
§ 64. Prüfung und Klassifikation der Chronometer	190
§ 65. Behandlung und Unterbringung der Chronometer an Bord	192
§ 66. Die Kontrolle und Verwerthung der Chronometer an Bord	196
§ 67. Das Chronometerjournal	197
§ 68. Bemerkungen über die täglichen Chronometer - Vergleichen	199
§ 69. Die Bestimmung des Chronometerstandes und Ganges . .	202
§ 70. Gewichte der Chronometer	211

IX. Kapitel.

Die Reflexions-Instrumente.

§ 71. Princip der Reflexions-Instrumente	214
§ 72. Fehler der Reflexions-Instrumente	217
§ 73. Excentricität	220
§ 74. Bestimmung der Korrektion für den Nullpunkt der Theilung	224
§ 75. Der Reflexionskreis von Pistor und Martins	226

X. Kapitel.

Die Bestimmung der Höhe eines Gestirnes.

	Seite
§ 76. Gemessene und wahre Höhe. Reduktionsverfahren mit Erläuterung der einzelnen Faktoren	230
§ 77. Bemerkungen über die Anstellung von Höhenbeobachtungen	246

XI. Kapitel.

Sphärische Astronomie.

§ 78. Das Hauptdreieck der sphärischen Astronomie	249
§ 79. Die Grundformeln der sphärischen Trigonometrie mit den Buchstaben des astronomischen Dreiecks	251
§ 80. Die Aenderung der sphärischen Koordinaten der Gestirne durch ihre tägliche Bewegung	251
§ 81. Das Azimuth eines Gestirnes	254
§ 82. Die Amplitude eines Gestirnes im Auf- und Untergange .	256
§ 83. Höhe eines Gestirnes	257
§ 84. Auf- und Untergang	258
§ 85. Dämmerung	261
§ 86. Grösste Digression	261
§ 87. Die schnellste Höhenänderung eines Gestirnes findet im ersten Vertikal statt.	262
§ 88. Die Bewegung der Gestirne gegen Zenith und Horizont .	263
§ 89. Bemerkungen über die Bewegung des Mondes	264
§ 90. Bemerkungen über die Bewegung der Planeten	265
§ 91. Bemerkungen über die Bewegung der Sonne	266

XII. Kapitel.

Ortsbestimmung aus einzelnen Höhen.

§ 92. Bestimmung der Zeit aus der Beobachtung einer einzelnen Höhe	267
§ 93. Längenbestimmung durch Chronometer	269
§ 94. Berichtigung der Längenbestimmung nach der Breitenbestimmung	271
§ 95. Ermittelung der Breite aus der Höhe eines Gestirnes im Meridian	274
§ 96. Breitenbestimmung durch eine Höhe ausserhalb des Meridians. Direkte Methode	277
§ 97. Cirkummeridianhöhen	280
§ 98. Breitenbestimmung mit Hülfe des Polarsternes	285

XIII. Kapitel.

Die Kombination mehrerer Höhen zum Zweck der Orts- und Zeitbestimmung.

§ 99. Uebertragung der Höhen auf einen anderen Ort	288
§ 100. Korrespondirende Höhen	290

	Seite
§ 101. Bestimmung der Breite und Länge aus zwei Höhenbeobachtungen eines Gestirnes und der Zwischenzeit. Direkte Methode	303
§ 102. Douwes' Methode	307
§ 103. Die Methode Littrow's, aus zwei Höhen nahe am Meridian und der Zwischenzeit die Länge zu bestimmen	310
§ 104. Die Sumner'schen Methoden der Positionsbestimmung	312

XIV. Kapitel.

Längenbestimmung durch Mondstanzen.

§ 105. Princip der Methode	324
§ 106. Ueber die Beobachtung der Mondstanzen. Rechnung	328

XV. Kapitel.

Längenbestimmung durch Beobachtung von Sternbedeckungen.

§ 107. Darstellung der Bessel'schen Berechnungsmethode	348
Eine zweite sich den gewöhnlichen nautischen Rechnungen möglichst anschliessende Rechnungsform	359

XVI. Kapitel.

Die Gezeiten.

§ 108. Abhängigkeit der Gezeiten von Sonne und Mond	364
§ 109. Grundursache der Gezeitenerscheinung	365
§ 110. Mathematische Erklärung der Wirkungen der Anziehungskraft des Mondes und der Sonne	366
§ 111. Halbmonatliche und tägliche Ungleichheit	368
§ 112. Gemeine und korrigirte Hafenzzeit	371
§ 113. Berechnung der Zeit des Hochwassers	372
§ 114. Vereinfachte Methoden für Vorausbestimmung der Hochwasserzeit	375
§ 115. Die Höhe der Gezeiten	377
§ 116. Die Gezeitenströmungen	378
§ 117. Beobachtung der Gezeiten	380
§ 118. Reduktion der Beobachtungen	381

Anhang.

Tafel I. Grösse eines Grades der Länge auf den Breitenparallelen	389
- II. Azimuth des Polarsternes	392
- III. Tabelle der Produkte jedes Zehntelgrades mit den Sinussen der Kompassstriche	392
- IV. Tafel zur Bestimmung der Distanz in Seemeilen durch zweimalige Peilung eines festen Objektes im Vorübersegeln	400

	Seite
Tafel V. Entfernung der Kimm in Seemeilen	401
- VI. Tabelle zur Verwandlung der Stunden, Minuten und Sekunden in Hundertheile des Tages	402
- VII. Positive Korrektion (+) für die beobachtete Höhe des Unterrandes der Sonne zur Reduktion derselben auf die wahre Mittelpunktshöhe	403
- VIII. Hülftafel zur Berechnung der Längenänderung für eine Aenderung der Breite um eine Minute sowie zur Berechnung der Mittags- resp. Mitternachtskorrektion (bei korrespondirenden Höhen)	404
- IX. Dritte Korrektion zu Witchell's und ähnlichen Näherungsmethoden für Mondstanzzen	408
- X. Faktoren-Tabelle zur Bestimmung der 4. Korrektion für Mondstanzzen	410
- XI. Dritte Korrektion (<i>K</i>) zu Elford's Methode für die genäherte Berechnung der Mondstanzzen	411
- XII. Tabelle zur Umwandlung der Kompassstriche in Grade und umgekehrt	414

Verzeichniss

der am Schlusse beigegebenen Darstellungen in Steindruck.

Blatt I. zu § 30.	Graphische Darstellung der Deviation nach Napier's Diagramm.
- II. - - 32.	Graphische Darstellung der konstanten, quadranten und semicirkularen Deviation.
- III. - - 63.	Veranschaulichung der Gangänderung eines Chronometers mit der Temperatur durch graphische Darstellung.
- IV. - - 68.	Graphische Darstellung von Chronometer-Vergleichungen.
- V. - - 116.	Darstellung der Profile des Wasserstandes im Englischen Kanal für jede Stunde der Gezeit bei Dover.
- VI. bis XVI. zu § 116.	Darstellung der Stromrichtungen nebst Angabe der Stromgeschwindigkeiten im Englischen Kanal für jede Stunde vor und nach Hochwasser bei Dover.
- XVII. und XVIII. zu § 116.	Stromverhältnisse der Nordsee vor und nach Hochwasser bei Dover bezw. Cuxhaven.

Abkürzungen.

Abkürzung	Erklärung	Abkürzung	Erklärung
Abpl.	Abplattung	Kimmt.	Kimmtiefe
Abst.	Abstand	Komp.	Kompas
Abw.	Abweichung	Korr.	Korrektion
Ampl.	Amplitude	Kulm.	Kulmination
astr.	astronomisch	K.	Kurs
Aufg.	Aufgang	Lg.	Länge
Az.	Azimuth	Lg.-U.	Längenunterschied
B. B.	Backbord	mag.	magnetisch
Barm.	Barometer	Mer.	Meridian
beob.	beobachtet	M.-Diff.	Meridional-Differenz
Beob.-U.	Beobachtungsuhr	M.-Z.-Dist.	Meridian-Zenith-
ber.	berechnet		Distanz
'	Bogenminute	M. Th.	Meridionaltheile
Br.	Breite	M. H.	Meridianhöhe
Br.-U.	Breitenunterschied	Mw.	Missweisung
Chron.	Chronometer	mw.	missweisend
Dekl. δ	Deklination	Mittg.	Mittag
Dev.	Deviation	mittl.	mittlerer
Diff.	Differenz	Mittg.-Verb.	Mittagsverbesserung
Dist.	Distanz	Mittnachts-	Mitternachtsver-
		Verb.	besserung
Einh.	Einheit	N. J.	Nautisches Jahr-
err.	erreichte (Breite)		buch
Gg.	Gang	Norm.	Normal
g.	gegen	Nm.	Nachmittag
geg.	gegissste	obs.	observirte
gem.	gemessen	O.	Ort
ges.	gesegeter	ob.	oberer
gest.	gesteuerter	östl.	östlich
o	Grad	Par.	Parallaxe
Grw.	Greenwich	P.-D.	Poldistanz
Halbm. r.	Halbmesser	P.-H.	Polhöhe
H h.	Höhe	H.-Par.	Höhenparallaxe
Hor.	Horizont	Hor.-Par.	Horizontalparallaxe
Ind.	Index	Plg.	Peilung
Inkl.	Inklination	R. A. (α)	Rektascension
Ints.	Intensität	rechtws.	rechtweisend

Abkürzung	Erklärung	Abkürzung	Erklärung
Refr.	Refraktion	verl.	verlassene
Redt.	Reduktion	Vm.	Vormittag
Reg.-Komp.	Regel-Kompas		
scheinb.	scheinbare	w.	wahre
"	Sekunde (Bogen)	westl.	westlich
s.	- (Zeit)	Zt.	Zeit
Sm	Seeemeile	Zw.-Zt.	Zwischenzeit
Std.	Stand	Ztgl.	Zeitgleichung
Sternzt.	Sternzeit	m	Zeitminute
St. B.	Steuerbord	Z.-D.	Zenithdistanz
St.-Komp.	Steuer-Kompas	zgt.	zeit
h	Stunde		
stündl.	stündlich	☉	Sonne
Stundw. (t)	Stundenwinkel	☾	Mond
		☆	Stern
Taf.	Tafel	☉	Sonne gepeilt
tägl.	täglich	☉	Sonnenunterrands-
Therm.	Thermometer	☉	Höhe
		☉	Sonnenoberrands-
U.	Uhr	☉	Höhe
U.-Vergl.	Uhrvergleich	☉	Sonnenmittelpunkts-
ungefähr	ungefähr	☉	Höhe
Unterg.	Untergang	☉	Höhe der Sonne
unverb.	unverbessert		
unt.	untere	☉	über dem künstlichen Horizont
		☉	Monddistanz
veränd.	veränderte	☉	(nächste Ränder)
verb.	verbesserte	☉	Monddistanz (ent-
vergr.	vergrösserte	☉	fernte Ränder).

I. Theil.

Astronomische Geographie und terrestrische Navigation.

I. Kapitel.

Die sphärischen Koordinaten auf der Himmels- und Erdkugel.

§ 1. Im Folgenden wird von der Anschauung ausgegangen, dass die Erde eine Kugel und ihre Bahn um die Sonne ein Kreis sei. Nur da, wo es die Erklärung der Erscheinungen fordert, wird in den betreffenden besonderen Abschnitten das thatsächliche Verhältniss (Abplattung der Erde, Ellipticität der Erdbahn u. s. w.) zu Grunde gelegt werden.

Die Annahme der Kugelgestalt der Erde ist für die folgenden Erklärungen ohne Weiteres zulässig, da die Abplattung, welche das wirkliche Erdsphäroid von der Kugel unterscheidet, nur ungefähr $\frac{1}{299}$ beträgt, d. h. ein Erdglobus von 1 m Durchmesser würde in der Richtung der Rotationsaxe um etwa 2 mm zusammengedrückt werden müssen und in der Richtung des Aequator-Durchmessers eine entsprechende Ausdehnung erfahren, um das wirkliche Erdsphäroid darzustellen.

Die Bewegungen der Erdkugel im Raum, soweit sie die Navigation zunächst interessiren, sind zweierlei Art:

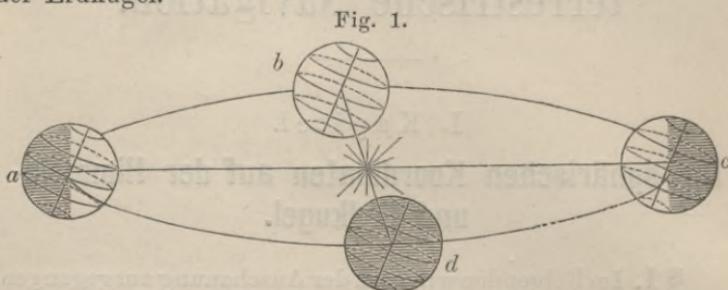
1. Die Bewegung der Erde um die Sonne.

Der Mittelpunkt der Erde durchläuft die Erdbahn um den Mittelpunkt der Sonne in einer Ebene, welche Ekliptik genannt wird; die Axe der Ekliptik ist dann die durch den Mittelpunkt der Sonne senkrecht zur Ebene der Ekliptik gedachte Linie.

2. Die Bewegung der Erde um sich selbst.

Die Erde dreht sich in einem Tage einmal um einen ihrer Durchmesser als Axe, daher Erdaxe genannt. Dieselbe steht zur Ebene der Ekliptik in einem Winkel von $66^{\circ} 33'$; ihre Endpunkte heissen Erdpole. Senkrecht zur Erdaxe, durch den Mittelpunkt der Erde gehend, befindet sich die Ebene des Aequators, welche also zur Ebene der Ekliptik $23\frac{1}{2}^{\circ}$ ($23^{\circ} 27'$) geneigt ist.

§ 2. Diese Neigung der beiden Bewegungsebenen der Erde zu einander bildet eine Grundlage für die Eintheilung der Erdkugel.



Betrachtet man die Lage der Erdaxe zu der Lage der Axe der Ekliptik durch die ganze Phase eines Erdumlaufes um die Sonne, so bemerkt man, dass die beiden Axen zweimal in ein und dieselbe, zur Ekliptik senkrechte Ebene fallen werden, und zwar jedesmal dann, wenn einer der Erdpole der Axe der Ekliptik am meisten zugewendet ist (Fig. 1 Stellung a und c). — In einer solchen Stellung ist dieser zugewendete Pol und ein Kugelabschnitt der Erde um denselben von $23\frac{1}{2}^{\circ}$ von der Sonne erleuchtet während einer ganzen Drehung der Erde um sich selbst. Ein gleicher Kugelabschnitt auf der entgegengesetzten Seite wird während dieser ganzen Drehung gar nicht von der Sonne beschienen.

Die Begrenzungskreise dieser auf solche Weise zum Pol in Beziehung stehenden Kugelabschnitte liegen offenbar der Ebene des Aequators parallel und heissen Polarkreise.

Zugleich sieht man, dass derjenige Radius der Erde, dessen Verlängerung das Sonnen-Centrum trifft, in dieser Stellung den grösstmöglichen Winkel von $23\frac{1}{2}^{\circ}$ mit dem Aequator erreicht.

Die Begrenzungskreise, welche dieser Radius bei einer Umdrehung der Erde um ihre Axe (in dieser Stellung der-

selben zur Sonne) auf der Erdoberfläche zeichnet, sind ebenfalls parallel mit dem Aequator und heissen Wendekreise.

Die Darstellung auf Fig. 1 versinnlicht diese Verhältnisse.

Sie erklärt auch ohne weitere Beschreibung die Erscheinung des Wechsels der Jahreszeiten und der Tageslängen, wenn man nur daran denkt, dass die Drehung der Erde um ihre zur Ebene der Ekliptik $66\frac{1}{2}^\circ$ geneigte Axe stattfindet, und festhält, dass immer die der Sonne zugewendete halbe Erdoberfläche Tag, die abgewendete gleichzeitig Nacht hat.

Aus dem Vorstehenden wird ersichtlich, dass für die Erde und die Erscheinungen auf ihrer Oberfläche die Ebene des Aequators und die beiden Pole der Erdaxe von der vorwiegendsten Bedeutung sind. Der Aequator, die Linie dieser Ebene auf der Erdoberfläche, wird daher auch der gesammten mathematischen Betrachtung der Erdkugel zu Grunde gelegt.

Die bereits beschriebenen, dem Aequator parallelen Kreise bieten die natürliche Eintheilung in Zonen, nämlich: die heisse Zone zwischen den Wendekreisen, die gemässigten Zonen zwischen den Wendekreisen und Polarkreisen, und die Polarzonen nördlich und südlich von den gleichbenannten Polarkreisen.

§ 3. Für die genaue Feststellung eines beliebigen Punktes auf der Erdoberfläche bedarf es aber eines Koordinatensystems, welches, sich der sphärischen Form der Erde anschliessend, auf die Eintheilung des Kreises begründet ist.

Zunächst wird der Aequator in 360 Grade getheilt, welche man einerseits als Bogenstücke des Aequators, andererseits als Winkel am Erdmittelpunkt auffassen kann. — Jeder dieser Theilpunkte auf dem Aequator wird durch einen grössten Kreis mit den Polen verbunden. Ein solcher Kreis von Pol zu Pol, welcher auf dem Aequator senkrecht steht, heisst Meridian oder Mittagskreis. Die Bezeichnung rührt her von dem nach dem Vorhergehenden leicht verständlichen Umstande, dass alle Orte einer solchen Linie stets zu gleicher Zeit die Sonne passiren, d. h. gleiche Mittagszeit haben.

Die Nothwendigkeit, diese 360 Meridiane zur Unterscheidung von einander zu kennzeichnen, bedingt die Wahl eines ersten (oder Null-)Meridians, von welchem die Zählung in der Weise beginnen kann, dass 180 Grade nach Ost und 180 Grade nach West gezählt werden. — Da sämmtliche Meridiane einander gleich sind, so dass sich für die Wahl eines ersten kein Anhalt bietet, so ist eine allgemeine Uebereinkunft für diese Wahl nicht erzielt, wobei der Umstand mitgewirkt hat, dass es für astronomische Zwecke bequem ist,

den Meridian der betreffenden Sternwarte als den Null-Meridian zu betrachten. Für die Navigation sind folgende, als durch den Anfangspunkt des Koordinatensystems gehend, mit Null bezeichneten Meridiane von Wichtigkeit:

1. Der Meridian von Greenwich. Für diesen ist die bei weitem grösste Zahl der Seekarten und nautischen Tabellen eingerichtet.
2. Der Meridian von Paris. Derselbe liegt $2^{\circ} 20' 15''$ östlich vom Meridian von Greenwich.
3. Der Meridian von Ferro. Derselbe ist nur durch seinen öfteren, indess in der Abnahme begriffenen, Gebrauch in der Geographie von einiger Bedeutung auch für die Navigation, fällt aber zusammen mit dem 20^{sten} Meridian westlich von Paris.

Alle übrigen Meridiane dieser Art können hier übergangen werden, da sie keine Bedeutung für die Navigation haben. — Selbst die zu Berlin und Washington erscheinenden nautischen Jahrbücher, Seekarten u. s. w. werden gewöhnlich auf den Greenwicher Meridian bezogen.*)

Die Quadranten eines jeden Meridians zwischen Aequator und den Polen werden vom Aequator aus in 90 Grade getheilt. Durch diese Grade denkt man sich Kreise parallel mit dem Aequator gelegt und zählt sie vom Aequator ab nach beiden Polen hin, indem man die nördlich des Aequators gelegenen Kreise die nördlichen, die südlich davon gelegenen die südlichen Breitenparallelen nennt.

Auf solche Weise erhält man, wenn man sich noch die Grade in Minuten und Sekunden getheilt denkt, ein Netz von Koordinaten, durch welches die Lage eines jeden Ortes auf der Erde bestimmt ist:

1. Indem man von dem Nullpunkt, d. h. dem Schnittpunkte des Null-Meridians mit dem Aequator oder einem Breitenparallel zunächst die Entfernung nach Ost oder West

*) Tafel zur Umrechnung geographischer Längenangaben nach den verschiedenen Nullmeridianen.

	Washington	Ferro	Greenwich	Paris	Pulkowa	Amsterdam	San Fernando Cadix
Washington	—	+ 59° 23' 18"	+ 77° 3' 3"	+ 79° 23' 18"	+ 107° 22' 43"	+ 81° 56' 7"	+ 70° 50' 43"
Ferro	— 59° 23' 18"	—	+ 17° 39' 45"	+ 20° 0' 0"	+ 47° 59' 25"	+ 22° 32' 49"	+ 11° 27' 25"
Greenwich	— 77° 3' 3"	— 17° 39' 45"	—	+ 2° 20' 15"	+ 30° 19' 40"	+ 4° 53' 4"	— 6° 12' 20"
Paris	— 79° 23' 18"	— 20° 0' 0"	— 2° 20' 15"	—	+ 27° 59' 25"	+ 2° 32' 49"	— 8° 32' 35"
Pulkowa	— 107° 22' 43"	— 47° 59' 25"	— 30° 19' 40"	— 27° 59' 25"	—	— 25° 26' 36"	— 36° 32' 0"
Amsterdam	— 81° 56' 7"	— 22° 32' 49"	— 4° 53' 4"	— 2° 32' 49"	+ 25° 26' 36"	—	— 11° 5' 24"
San Fernando Cadix	— 70° 50' 43"	— 11° 27' 25"	+ 6° 12' 20"	+ 8° 32' 35"	+ 36° 32' 0"	+ 11° 5' 24"	—

in Graden bis zum Meridian des Ortes misst. Dieses Bogenstück heisst die Länge des Ortes.

2. Indem man von dem Aequator ab auf dem Meridian des Ortes die kürzeste Entfernung dieses Ortes vom Aequator misst. Dieses Bogenstück heisst die Breite des Ortes. — Durch Länge und Breite ist jeder Ort vollkommen bestimmt.

Die Wendekreise und Polarkreise sind nach Vorstehendem nichts Anderes als Breitenparallelen.

§ 4. Das hier beschriebene Koordinatensystem der Erde dient als Ausgangspunkt eines Koordinatensystems für den Himmel.

Man denkt sich zu dem Ende den gesammten Fixsternhimmel als eine Hohlkugel, deren Mittelpunkt der Mittelpunkt der Erdkugel ist, und welche die verlängerte Erdaxe, nun Weltaxe genannt, mit der Erde gemein hat. Der Kreis der Himmelskugel in der Ebene des Aequators ist der Aequator des Himmels und theilt die Himmelskugel in den nördlichen und südlichen Himmel. — Während die Erde sich nun um die Axe dreht und die Himmelskugel mit allen Fixsternen feststeht, bewegen sich nur die Gestirne unseres Sonnensystems: Sonne, Mond und Planeten an der Himmelskugel in eigenen Bahnen.

Diese unbewegliche Hohlkugel des Fixsternhimmels denkt man sich von einem Netz von Koordinaten bedeckt, dessen Grundlage, wie bei der Erde, der Aequator bildet. Derselbe wird gewöhnlich in 24 Stunden, nicht wie der Erdäquator in 360 Grade, getheilt. Die durch die Pole gehenden, auf dem Aequator senkrecht stehenden grössten Kreise heissen Stundenkreise.

Der Punkt, von welchem aus die Zählung der Stundenkreise auf dem Aequator beginnt, heisst Frühlingspunkt oder Widderpunkt. — Von diesem werden die 24 Stunden in östlicher Richtung rund um den Aequator gezählt.

Jeder Quadrant der Stundenkreise wird vom Aequator nach dem Pole in 90 Grade getheilt. — Diese Theilung, durch Kreise verbunden, welche dem Aequator parallel liegen, ergiebt ein System von Parallelkreisen, analog den Breitenparallelen der Erde, welche hier am Himmel Deklinationsparallelen heissen.

Wie auf der Erde jeder Ort durch Länge und Breite bestimmt wird, so wird am Himmel jeder Punkt bestimmt:

1. Durch die Anzahl der Stunden, Minuten und Sekunden vom Frühlingspunkte in östlicher Richtung gezählt bis

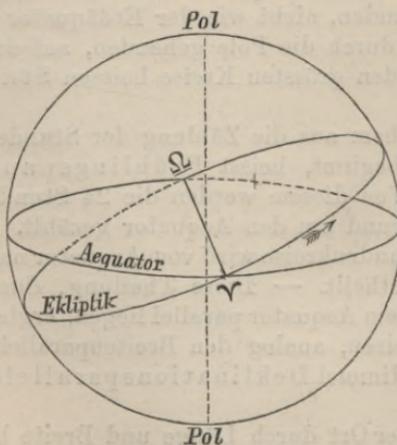
zum Stundenkreise, welcher durch den betreffenden Punkt geht. Diese Entfernung ist die Rektascension oder gerade Aufsteigung.

2. Durch die Anzahl Grade, Minuten und Sekunden auf dem Stundenkreise vom Aequator an gezählt. Diese Entfernung ist die Deklination oder Abweichung. Das Komplement der Deklination ist die Poldistanz.

Durch Rektascension und Deklination ist also (von den kleinen Werthen der Präcession, Nutation, Aberration und der Eigenbewegung der Fixsterne abgesehen) in Bezug auf den Himmelsäquator die Lage eines Fixsterns ein für allemal, die Lage eines dem Sonnensystem angehörigen Himmelskörpers für einen gewissen Zeitpunkt vollkommen bestimmt.

§ 5. Die ungeheure Entfernung der Fixsterne, welche erlaubt, sie alle als an einer unbeweglichen Hohlkugel angeheftet zu betrachten, hat zur Folge, dass es vollkommen gleichgültig ist, ob man in Bezug auf die Fixsterne die Weltaxe durch einen beliebigen Punkt auf der Erde oder durch den Mittelpunkt der Erde gelegt denkt. Selbst die Bewegung der Erde um die Sonne verändert die Stellung der Fixsterne zum Erdmittelpunkt nur in fast unmerklicher Weise. Deshalb wird es möglich, die Erdaxe als feststehende Weltaxe und die Sonne als in einer Kreisebene wandelnd zu betrachten, gegen welche die Weltaxe um $66\frac{1}{2}^\circ$ geneigt ist.

Fig. 2.

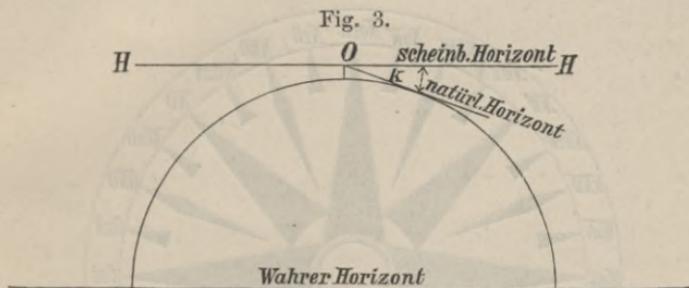


Diese Kreisebene der Himmelskugel, die Ekliptik, schneidet den Aequator in den Aequinoctialpunkten, von denen der eine der bereits erwähnte Frühlings- oder Widderpunkt (Υ der Fig. 2), der andere der Herbstpunkt oder Nullpunkt der Waage (Ω der Fig. 2) ist, und bildet einen Grundkreis für ein zweites Koordinatensystem am Himmel, welches aber in der Navigation keine Anwendung findet. Von diesem

Grundkreise, der Ekliptik, und seinen Polen ausgehend werden nämlich die Sterne, wie die Orte auf der Erde vom Aequator,

nach Länge und Breite bestimmt. Die Kreise dieses Koordinatensystems, dessen Nullpunkt ebenfalls der Frühlingspunkt ist, heissen Breitenkreise (senkrecht zur Ekliptik) und Breitenparallelen (parallel zur Ekliptik).

§ 6. Bevor die im Vorigen betrachteten Koordinatensysteme zur Bestimmung von Orten oder Wegen nutzbar gemacht werden können, bedarf es noch der Kenntniss eines Systems, welches auf der unmittelbaren sinnlichen Wahrnehmung beruht und von dem Standpunkte des Beobachters abhängig ist. Ein Loth im Beobachtungspunkt auf der Erdkugel giebt die vertikale Richtung für diesen Punkt an. Diese Lothlinie, nach beiden Richtungen verlängert, heisst die Vertikallinie und trifft die Himmelskugel in zwei Punkten, von denen der eine, gerade über dem Beobachter liegende, das Zenith, der andere, unter dem Beobachter befindliche, das Nadir genannt wird.



Die Vertikale bildet also eine Axe, deren Pole das Zenith und Nadir sind.

Eine Ebene, durch den Mittelpunkt der Erde gedacht, zu welcher diese Axe senkrecht steht, wird der wahre Horizont genannt. — Eine ihm parallele Ebene, die durch das Auge des Beobachters gelegt gedacht wird, heisst der scheinbare Horizont, und die Kreislinie der Erdoberfläche, welche den vom Beobachtungspunkte sichtbaren Theil der Erdkugel begrenzt, heisst natürlicher Horizont oder Seehorizont, auch Kimm. (Siehe Fig. 3.)

Wie das Loth die Richtung der Vertikalen angab, so giebt die Oberfläche einer frei ruhenden Flüssigkeit die Horizontalebene an. Die Oberfläche einer solchen Flüssigkeit heisst daher ein künstlicher Horizont.

Die grössten Kreise, welche durch Zenith und Nadir gehen, also auf dem Horizont senkrecht stehen, heissen Vertikal-
kreise.

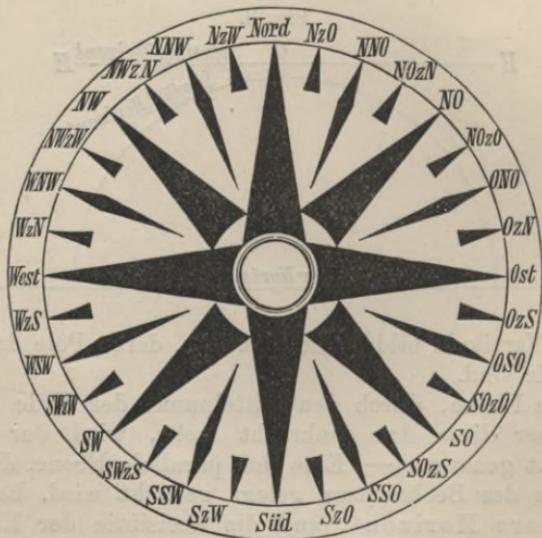
Die kürzeste Entfernung eines Punktes am Himmel vom wahren Horizont, d. h. das Bogenstück des durch diesen Punkt gehenden Vertikalkreises zwischen dem Punkte und dem Horizonte ist die Höhe desselben über dem wahren Horizont, oder mit anderen Worten: Der Winkel am Erdmittelpunkt vom Horizont nach einem Punkte, im Vertikalkreise gemessen, heisst Höhenwinkel oder Höhe.

Das Komplement der Höhe oder die kürzeste Entfernung eines Punktes vom Zenith heisst Zenithdistanz.

Die der Ebene des Horizonts parallelen Kreise, welche die Punkte gleicher Höhe oder Zenithdistanz unter einander verbinden, heissen Höhenparallelen.

Der Horizont wird in verschiedener Weise eingetheilt; zunächst in die Himmelsgegenden. Der durch die beiden

Fig. 4.



Himmelspole gehende Vertikalkreis, welcher mit dem Meridian des Ortes zusammenfällt (grösster Kreis durch Zenith, Nadir und die beiden Pole) schneidet den wahren Horizont in zwei Punkten, von denen der auf der nördlichen Halbkugel des Himmels gelegene der wahre Nordpunkt, der auf der südlichen Halbkugel gelegene der wahre Südpunkt genannt wird; die Verbindungslinie beider Punkte heisst Nord-Südlinie oder Mittagslinie und theilt den Horizont in eine östliche und eine westliche Hälfte.

Die beiden Schnittpunkte zwischen wahrem Horizont und Himmelsäquator heissen wahrer Ost- und Westpunkt, die Verbindungslinie beider Punkte Ost-Westlinie; sie steht senkrecht zur Nord-Südlinie.

Der Vertikalkreis, welcher durch die Ost-Westlinie geht, wird als erster Vertikal bezeichnet.

Zwischen den durch diese Linien markirten Punkten Nord, Ost, Süd, West, welche man Kardinalpunkte nennt, befinden sich die vier Interkardinalpunkte Nordost, Südost, Südwest und Nordwest. Die Zwischenräume zwischen je zweien dieser acht Hauptrichtungen werden in je vier Theile getheilt, so dass man um den ganzen Horizont herum zwei- unddreissig Richtungen, Striche genannt, erhält, welche, wie auf der Fig. 4 angegeben, bezeichnet werden.

Es folgen hier die Benennungen resp. Bezeichnungen der Kardinal- und Interkardinalpunkte in verschiedenen Sprachen.

Deutsch.	Englisch.	Französisch.	Spanisch.
Nord N	North N	Nord N	Norte N
Nordost NO	North East NE	Nord Est NE	Noreste NE
Ost O	East E	Est E	Este E
Südost SO	South East SE	Sud Est SE	Sureste SE
Süd S	South S	Sud S	Sur S
Südwest SW	South West SW	Sud Ouest SO	Suroeste SO
West W	West W	Ouest O	Oeste O
Nordwest NW	North West NW	Nord Ouest NO	Noroeste NO

Schwedisch und Dänisch.					
Holländisch.				Italienisch.	
Noord N	N	Nord N	N	Norte N	N
Noord Oost NO		Nordost NO		Nort-Est NE	NE
Oost O	O	Ost O	O	Est E	E
Zuid Oost ZO		Syd Ost SO		Sud-Est SE	SE
Zuid Z	Z	Syd S	S	Sud S	S
Zuid West ZW		Syd Vest SV		Sud-Ovest SO	SO
West W	W	Vest V	V	Ovest O	O
Noord West NW		Nord Vest NV		Nort-Ovest NO	NO

Da nach dem Vorstehenden ein und derselbe Buchstabe bei verschiedenen Nationen zur Bezeichnung verschiedener Himmelsgegenden

dient, so sind, um Irrthümern vorzubeugen, für meteorologische Beobachtungen allgemein folgende Bezeichnungen angenommen worden.

Für Nord: N
 „ Ost: E
 „ Süd: S
 „ West: W.

Eine andere Eintheilung des Horizonts hat ebenfalls die Mittagslinie zur Grundlage. Man bestimmt nämlich auch einen Punkt am Horizont durch den Bogen in Graden, und zwar Ost oder West bis 180° gezählt, vom Süd- oder Nordpunkt des Horizonts, und nennt diesen Bogen- oder Winkelabstand Azimuth.*)

Der vom Ost- oder Westpunkte bis 90° gemessene Bogen des Horizontes (also das Komplement des Azimuths) heisst Amplitude. Dieser Ausdruck wird nur angewendet, wenn es sich um Bestimmung der Stellung eines im Horizont befindlichen Gestirnes handelt.

Durch Azimuth und Höhe ist also wiederum ein vollständiges Netz von Koordinaten an der Himmelskugel gegeben. Dieses Koordinatensystem dient der direkten Messung der Orte an der Himmelskugel als Grundlage. Vom Standpunkte eines Beobachters auf der Erdoberfläche lassen sich die Azimuthal- und Höhenwinkel direkt messen und auf einfache Weise auf den Erdmittelpunkt als das eigentliche Centrum des Systems übertragen.

§ 7. Es handelt sich jetzt darum, die Beziehungen dieses vom jeweiligen Standpunkte des Beobachters abhängigen Netzes zu dem festen Koordinatensystem des Aequators festzustellen.

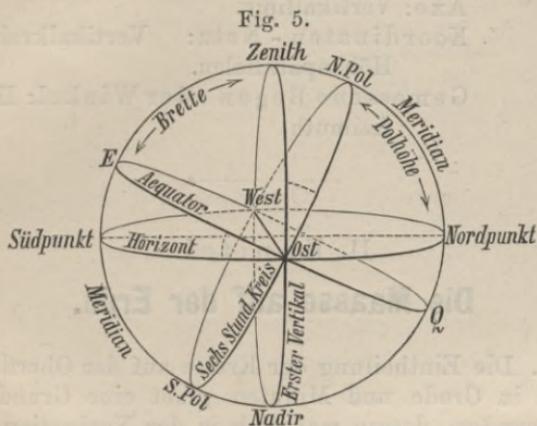
Unter den Vertikalkreisen ist derjenige, welcher durch den Südpunkt und Nordpunkt des Horizontes geht, zugleich ein Stundenkreis. Dies ist deshalb der Fall, weil er nicht nur durch Zenith und Nadir des Orts, sondern nach der gegebenen Definition auch durch die Pole geht (s. §§ 4 u. 6). Er gehört also zwei verschiedenen Koordinatensystemen gemeinschaftlich an und entspricht dem Meridian des Ortes auf der Erdkugel, daher heisst er der Meridian der Himmelskugel oder ganz allgemein: der Meridian.

*) Nach den beiden vorstehend gegebenen Methoden der Eintheilung des Horizontes wird jeder horizontal aufgestellte Kreis, welcher zum Messen von Winkeln des Horizontes dient, bezeichnet: wenn er in die 32 Striche getheilt ist, als eine Windrose, wenn er in Grade getheilt ist, als ein Azimuthalkreis.

Da der Horizont die Himmelskugel in zwei Hälften theilt, so befinden sich für einen Beobachter im Aequator beide Pole im Horizont, welcher letztere dann ebenfalls ein Stundenkreis ist (§ 5), während das Zenith im Aequator des Himmels liegt.

In allen anderen Fällen liegt einer der Pole über und der andere unter dem Horizonte. Ein Beobachter am Pol würde Himmelspol und Zenith in einem Punkt zusammen-treffend haben. Die Höhe des Pols ist also im Aequator 0° und am Pol 90° , und allgemein ist die Polhöhe gleich der Breite.

Ausser dem Meridian verdient noch derjenige Stundenkreis besonderes Interesse, welcher durch den Ost- und Westpunkt des Horizontes geht und um 90° oder sechs Stunden vom Meridian entfernt liegt.



Dieser sogenannte Sechsstundenkreis schneidet den ersten Vertikal somit im Horizont unter einem Winkel, welcher gleich dem Komplement der Breite ist. In demselben Punkte müssen sich daher unter demselben Winkel die anderen Grundkreise, Aequator und Horizont, schneiden. (Siehe Fig. 5.)

§ 8. Zum Abschluss dieser allgemeinen Betrachtungen folgt eine Zusammenstellung der beschriebenen Koordinatensysteme, welche jedoch der besseren Uebersicht wegen etwas anders geordnet ist als in den vorstehend gegebenen Erklärungen:

I. (§ 5) **Grundebene:** Ekliptik.

Axe: Axe der Ekliptik.

Koordinaten - Netz: Breitenkreise und Breitenparallelen.

Gemessene Bogen oder Winkel: Breite und Länge (am Himmel).

II. (§ 4) **Grundebene:** Himmels-Aequator.

Axe: Weltaxe.

Koordinaten-Netz: Stundenkreise, Deklinationssparallelen.

Gemessene Bogen oder Winkel: Deklination, Rektascension und Stundenwinkel.

III. (§ 3) **Grundebene:** Erd-Aequator.

Axe: Erdaxe.

Koordinaten-Netz: Meridiane und Breitenparallelen.

Gemessene Bogen oder Winkel: Breite und Länge (auf der Erde).

IV. (§ 6) **Grundebene:** Horizont.

Axe: Vertikallinie.

Koordinaten-Netz: Vertikalkreise und Höhenparallelen.

Gemessene Bogen oder Winkel: Höhe und Azimuth.

II. Kapitel.

Die Maasse auf der Erde.

§ 9. Die Eintheilung der Kreise auf der Oberfläche der Erdkugel in Grade und Minuten giebt eine Grundlage für das Maasssystem, dessen man sich in der Navigation bedient.

Ein Quadrant des Aequators (90°) muss auf einer vollkommenen Kugel einem Quadranten des Meridians genau gleich sein. Die Minute eines grössten Kreises der Erdkugel, also der $90 \cdot 60^{\text{ste}} = 5400^{\text{ste}}$ Theil eines solchen Quadranten, wird Seemeile genannt und bei allen Entfernungsbestimmungen der Navigation als Grundmaass angenommen. Das Verhältniss der Seemeile zu dem Metermaass ist ein sehr einfaches, sobald man die ursprüngliche Definition eines Meters als Naturmaass zu Grunde legt, wonach das Meter der zehnmillionenste Theil des Erdquadranten sein sollte. 10 Millionen dividirt durch 5400 giebt danach die Länge einer Seemeile, ausgedrückt in Metern, also 1851,852 Meter. Abgerundet ist danach die Seemeile zu 1852 Meter definitiv festgestellt. (Der zehnte Theil derselben — abgerundet 185 Meter — heisst Kabellänge.) Aus

der Annahme der Seemeile als Einheit ergeben sich nun für die Dimensionen der Erdkugel sogleich folgende Zahlen:

Umfang der Erdkugel: 21600 Sm

Radius der Erdkugel: 3437,76 Sm

§ 10. Zur genaueren Betrachtung der Maasse auf der Erde ist es jedoch erforderlich, die wahre Gestalt der Erde, das Erdsphäroid, zu berücksichtigen.

Wie von Huygens und Newton theoretisch hergeleitet und durch die im vorigen Jahrhundert ausgeführten Messungen von Meridianbogen in verschiedenen Breiten zuerst bestätigt wurde, ist die Gestalt der Erde im Allgemeinen die eines elliptischen Sphäroids. Die Ellipse, aus welcher dieses Sphäroid herzuleiten ist, hat folgende Dimensionen:*)

$$\begin{array}{l} \text{Halbe grosse Axe} \\ \text{(Halbmesser des Aequators)} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{Halbe grosse Axe} \\ \text{(Halbmesser des Aequators)} \end{array}} \right\} a = 6377397,16 \text{ m}$$

$$\begin{array}{l} \text{Halbe kleine Axe} \\ \text{(Halbe Erdaxe)} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{Halbe kleine Axe} \\ \text{(Halbe Erdaxe)} \end{array}} \right\} b = 6356078,97 \text{ m}$$

$$\text{Abplattung} = \alpha = \frac{1}{299,153} \text{ nach der Formel der}$$

$$\text{Ellipse, in welcher } \alpha = \frac{a - b}{a} \text{ ist.}$$

Unter Berücksichtigung dieser Verhältnisse ist in der Geographie ein von der Seemeile abweichendes Maass in Gebrauch, nämlich die geographische Meile. Dieselbe definirt sich als der 15^{te} Theil eines Aequatorgrades (also 4 Aequatorminuten) oder der 5400^{ste} Theil des Aequators. Daraus ergibt sich:

*) Diese gewöhnlich noch jetzt als zutreffend angenommenen Dimensionen, wonach Tafel I des Anhanges berechnet ist, beruhen auf den im Jahre 1841 abgeschlossenen Berechnungen von Bessel. Unter Berücksichtigung der Pendelmessungen allein hat Professor J. B. Listing Konstanten der Erde berechnet, welche von den obigen abweichen. Er fand die Länge der halben grossen Axe = 6377377 m, diejenige der halben kleinen Axe = 6355270 m, woraus sich eine Abplattung von

$\frac{1}{288,48}$ ergibt. Den Radius einer der Erde an Volumen gleichen Kugel berechnet er zu 6370000 m.

Englische mit besonderer Berücksichtigung der neueren indischen Gradmessungen (1872 bis 1877) aufgestellte Berechnungen ergaben eine Abplattung von $\frac{1}{293}$ bis $\frac{1}{294}$ oder wenn — wie dies aus einigen Gründen angezeigt schien — ein dreiaxiges Ellipsoid zu Grunde gelegt wurde, eine Ellipticität der beiden grossen äquatorialen Axen von

$$\frac{1}{290} \text{ und } \frac{1}{296}.$$

Eine geographische Meile = 7420,439 m.*)

Eine Aequatorminute beträgt demnach 1855,1 m, sie ist also über drei Meter grösser als die Seemeile.

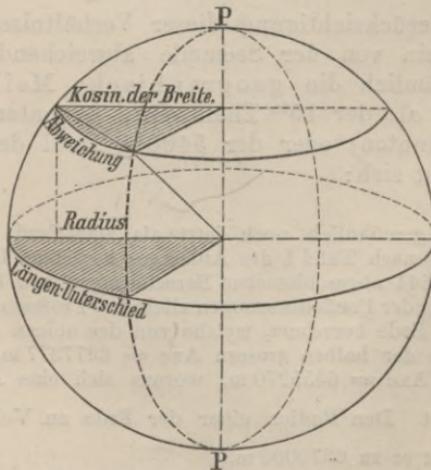
Man definirt auch die Seemeile als den 5400^{sten} Theil eines Meridianquadranten auf dem Erdsphäroid. Wenn man dann die Länge eines Meridianquadranten zu 10000855,76 m annimmt — das Besselsche Resultat aus den damaligen genauesten Gradmessungen — so erhält man

$$1 \text{ Sm} = \frac{10000855,76}{5400} = 1852,01 \text{ m.}$$

Nach einer dritten Definition ist die Seemeile die Minute des Meridians, gemessen auf 45° der Breite. Die Länge einer solchen Minute im Bogen beträgt 1851,83 m. Die Annahme einer Seemeile zu rund 1852 m rechtfertigt sich also hinlänglich.

§ 11. Die Breitenparallelen sind kleiner als der Aequator und nehmen vom Aequator nach den Polen auf der Kugel im Verhältniss des Kosinus der Breite ab. (Siehe Fig. 6.) Da es häufig bequem ist, das Verhältniss eines Längengrades auf

Fig. 6.



einem beliebigen Breitenparallel zu dem auf dem Äquator gemessenen aus einer Tabelle entnehmen zu können, so wird in Tafel I (Anhang) eine solche gegeben, bei der zugleich die Abplattung der Erde in Rücksicht gezogen ist.

*) 7420,415 nach Listing.

Russland*)	1 saschen	= 2,134 m	(für Entfernungen)
-	1 -	= 1,829 m	(für Tiefen)*)
Schweden	1 famn	= 1,781 m	
Spanien	1 braza	= 1,672 m	
Veraltet in Frankreich	1 brasses	= 1,624 m	(5 Fuss altes Maass).

III. Kapitel.

Karten.

§ 13. Zur Darstellung der Erdoberfläche (die Erde zunächst immer als Kugel betrachtet) oder eines Theils derselben auf einer ebenen Fläche ist es nöthig, die im ersten Kapitel besprochenen Liniensysteme der Kugel so auf die Ebene zu projectiren, dass sich eine bestimmte Relation aufstellen lässt zwischen den Koordinaten eines beliebigen Punktes auf der Kugel und denen des entsprechenden Punktes auf der Ebene.

Soll das Abbild dem Urbild in seinen geometrischen Eigenschaften entsprechen, so muss das erstere drei Anforderungen genügen, nämlich der Anforderung der Konformität oder Winkeltreue, der Aequivalenz oder Flächentreue und der Aequidistanz oder Mittabstandtreue. Die Konformität verlangt, dass jede Figur des Abbildes der Originalfigur auf der Erdkugel geometrisch ähnlich ist (alle Winkel gleich sind), die Aequivalenz, dass alle auf dem Abbild dargestellten Flächentheile das richtige, den gleichen Flächentheilen des Urbildes entsprechende Verhältniss zu einander haben, die Aequidistanz, dass die Abstände aller Punkte des Abbildes vom Mittelpunkt das gleiche dem Urbild entsprechende Verhältniss haben.

Allen diesen Anforderungen genügt nur das Abbild auf einer Kugeloberfläche, während man sich bei allen Abbildungen auf der Ebene damit begnügen muss, eine der drei Forderungen streng zu erfüllen und den beiden anderen dabei nach Möglichkeit gerecht zu werden. Es kann dies in der verschiedensten Weise geschehen, und je nach den hieraus hervor-

*) Als Tiefenmaass ist auf Russischen Karten ein Saschen gleich einem Englischen Faden (1,829 m) in Gebrauch, als Maass für horizontale Entfernungen wird ein Saschen zu 7 Fuss Engl. (= 2,134 m) gerechnet.

gehenden Projektionsregeln unterscheiden sich verschiedene Projektionsarten. Ehe wir einzelne derselben, welche für die Navigation Werth haben, näher besprechen, seien die Hauptprojektionsarten kurz aufgezählt.

I. Projektionen auf die Ebene.

A. Perspektivische Projektionen.

1. Orthographische Projektion.
2. Gnomonische oder Central-Projektion.
3. Stereographische Projektion.

B. Nicht perspektivische Projektionen.

Zu diesen zählen die äquidistante Azimuthalprojektion von Postel und Lambert's äquivalente Azimuthalprojektion.

II. Projektionen auf abwickelbare Flächen.

A. Cylinderprojektionen.

1. Plattkarte.
2. Cassini-Soldnersche Projektion.
3. Aequivalente Cylinderprojektion.
4. Merkators Projektion.
5. Gaussische Projektion.
6. Sanson-Flamsteedsche Projektion.

1. und 2. sind äquidistante, 4. und 5. konforme Projektionen. Die Flamsteedsche Projektion genügt keiner der drei Anforderungen streng, wohl aber bis zu einem gewissen Grade allen dreien.

B. Kegelprojektionen.

a) Echte Kegelprojektionen.

1. Aequidistante oder gewöhnliche Kegelprojektion.
2. Aequivalente Kegelprojektion.
3. Konforme Kegelprojektion.

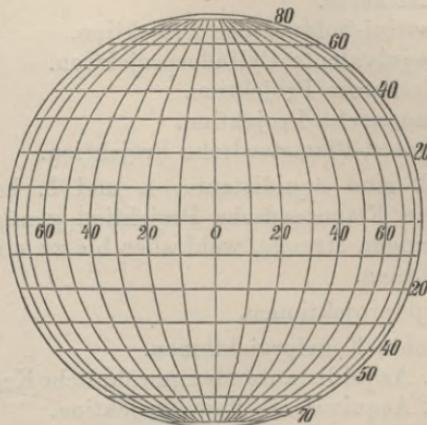
b) Modifizierte Kegelprojektionen.

1. Bonnesche Projektion.
2. Polykonische Projektion.

Bei sehr kleinen Flächenausdehnungen geschieht die Wiedergabe eines Stückes der Erdoberfläche gewöhnlich einfach in der Weise, dass man das Flächenstück der Kugel als Ebene annimmt und ein in allen Theilen ähnliches Bild in dem entsprechenden Maassstabe zeichnet. Alle Winkel sind dann denen in der Wirklichkeit gleich anzusehen. Solche Karten werden Pläne genannt und zur Darstellung von Häfen und kleinen Buchten, Flussmündungen etc., auch für Zwecke der Navigation verwendet.

§ 14. Um eine Kugel­fläche auf eine Ebene zu projeciren, scheint es auf den ersten Blick am nächsten zu liegen, alle Projektionsstrahlen unter sich parallel und rechtwinklig zur Kartenebene zu nehmen. Diese Projektionsmethode heisst die orthographische. Eine nach dieser Projektion entworfene Karte gewährt ein recht anschauliches Bild der betreffenden Halbkugel (Fig. 7), welche so wiedergegeben wird, wie sie einem sehr entfernten Beobachter wirklich erscheinen würde. Eine Photographie des Mondes würde z. B. eine Mondkarte nach orthographischer Projektion liefern. Zur Entnahme der Entfernung und Richtung, in welcher zwei Punkte von einander liegen, ist eine solche Karte aber gar nicht geeignet. Die Winkel, Linien und Flächen erscheinen fast durchweg anders, als sie in der Wirklichkeit zu einander liegen, und an den Rändern wird die Abbildung stark zusammengedrängt,

Fig. 7.



wie dies an der Fig. 7 ersichtlich ist. Da auch die Konstruktion einer solchen Karte nicht einfach genug auszuführen ist, so ist ihre Anwendung hauptsächlich auf Mondkarten beschränkt, denn auf dem Monde sind die einfachen Theile der Kugel­fläche nur in dieser Projektion der Durchforschung zugänglich.

§ 15. Eine andere perspektivische Projektionsmethode ist für die Navigation schon sehr viel wichtiger, nämlich die Methode, bei welcher man das Auge im Mittelpunkt der Kugel annimmt. Von diesem Punkt denkt man sich Projektionsstrahlen durch alle Punkte der Kugelschale nach einer Kartenebene gezogen, welche tangential zu einem Punkt der Erdkugel

liegt. Diese Projektionsart heisst die gnomonische Projektion. Betrachtet man die einzelnen grössten Kreise der Kugel mit ihren Radien als ebene Scheiben, so ist klar, dass auch die Verlängerung aller Radien eines jeden Kreises in der Ebene seiner Scheibe verbleiben muss. Da der Durchschnitt

Fig. 8a.

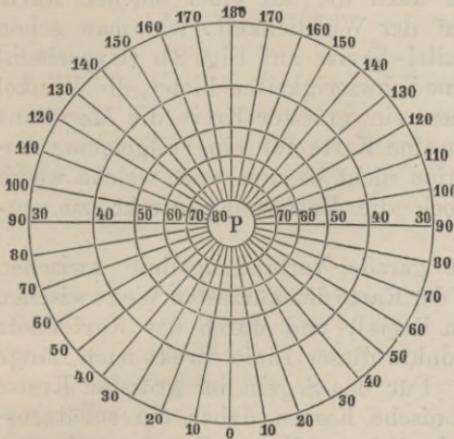
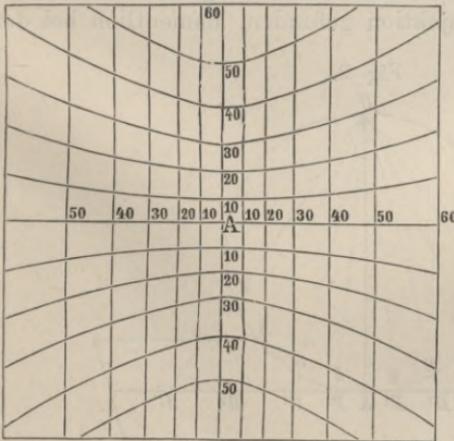


Fig. 8b.



zweier Ebenen stets eine gerade Linie bildet, so ergibt sich das Gesetz: In einer Karte nach gnomonischer Projektion werden alle grössten Kreise als gerade Linien wiedergegeben.

Solche Karten bieten also den werthvollen Vortheil, dass sie alle grössten Kreise, also die kürzesten Entfernungen zwischen zwei Punkten auf der Erde als gerade Linien darstellen. Zugleich folgt hieraus, dass die Meridiane sowie der Aequator in der Karte als gerade Linien erscheinen.

Es liegt nahe, diese Karten zur Abbildung des Himmelsgewölbes anzuwenden, in dessen Mittelpunkt wir uns ja befinden. Man findet den gestirnten Himmel daher häufig in sechs Karten nach gnomonischer Projektion dargestellt, von welchen vier einen

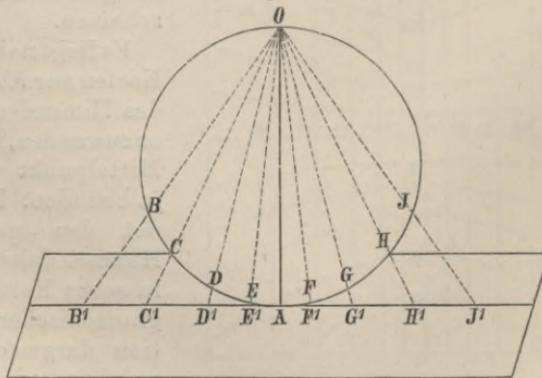
Punkt des Aequators (Fig. 8b) und zwei die Pole (Fig. 8a) als Berührungspunkt der Kartenebene an der Kugel annehmen (Aequatorial- und Polar-Projektion).

Für Abbildung der Erdoberfläche und insbesondere für Seekarten stellen sich der Anwendung dieser Projektion Hindernisse entgegen. Die Fig. 8 b, welche eine Karte nach gnomonischer Meridional-Projektion (die Kartenebene berührt den Aequator auf 0° Länge) darstellt, lässt erkennen, dass die Abstände von der Mitte der Karte nach den Rändern wachsen, dass daher ein einfacher Maasstab nicht anwendbar ist. Ebenso entsprechen auch die auf einer solchen Karte projecirten Winkel nicht der Wirklichkeit, wie man schon aus der Form der Parallel-Kreise auf Fig. 8 b (Hyperbeln) ersieht. Obschon es keine Schwierigkeiten bietet, die Winkel festzustellen, unter denen ein grösster Kreis die Meridiane schneidet, so kann doch eine Karte für eine allgemeine Anwendung in der Navigation nicht bequem sein, welche weder die Kompassrichtung noch die Entfernung direkt zu entnehmen gestattet.

Dagegen gibt die gerade Verbindungslinie zwischen zwei Orten irgendwo auf der Karte den kürzesten Weg zwischen denselben (den grössten Kreis), und durch das Kartennetz werden beliebig viele Punkte dieser Linie direkt nach Länge und Breite festgestellt. Für das Segeln im grössten Kreise (V. Kap.) bieten gnomonische Karten daher ein schätzenswerthes Hilfsmittel und sind zu diesem Zweck auch verschiedentlich veröffentlicht worden.

§ 16. Eine verbreitetere Anwendung hat die stereographische Kartenprojektion gefunden, namentlich bei der

Fig. 9.



Anfertigung von Landkarten. Bei dieser Methode nimmt man den Augenpunkt — den Ausgangspunkt der Projektions-

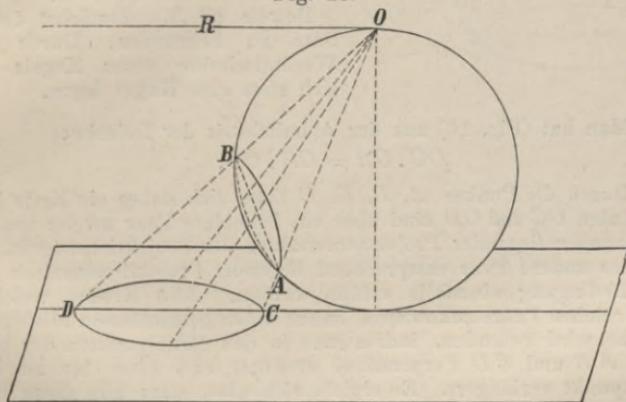
strahlen — in der Oberfläche der Kugel an und lässt die Kartenebene die Kugel in dem Punkte tangiren, welcher mit dem Augenpunkt durch einen Durchmesser verbunden ist (Fig. 9).

Die stereographische Projektion hat folgende charakteristische Eigenschaften:

1. Alle Kreise auf der Kugel, welche durch den Augenpunkt gehen, erscheinen auf der Karte als gerade Linien.
2. Alle Kreise auf der Kugel, welche nicht durch den Augenpunkt gehen, erscheinen auf der Karte als Kreise.
3. Alle Winkel auf der Kugelfläche sind gleich den Winkeln in der stereographischen Projektion dieser Fläche.

Beweis ad 1. Die Projektionsstrahlen, welche einen Kreis projiciren, dessen Peripherie durch den Augenpunkt geht, müssen alle in der Ebene dieses Kreises liegen. Da, wo die Ebene des Kreises die Ebene der Karte schneidet, entsteht die Projektionslinie des Kreises, welche eine gerade Linie sein muss, weil zwei Ebenen sich nur in einer solchen schneiden können.

Fig. 10.



Beweis ad 2. Werden alle Punkte der Peripherie eines beliebigen Kreises mit einem Punkt ausserhalb der Ebene dieses Kreises verbunden, so entsteht ein Kegel. Soll also ein Kugelkreis vom Punkt O aus projicirt werden, so bilden die Projektionsstrahlen den Mantel eines Kegels, und jede Projektion muss ein Kegelschnitt werden (s. Fig. 10). Zieht man für den zu projicirenden Kreis einen Durchmesser (AB) in der zu dem Kreise senkrechten Ebene eines durch O gehenden grössten Kreises, so ist die Projektion dieses Durchmessers eine gerade Linie (CD) und es ist $\triangle OAB \sim \triangle OCD$.

Denn zieht man in O die DC parallele Tangente OR , so ist:

$$\begin{aligned} \angle BAO &= \angle BOR \text{ und} \\ \angle CDO &= \angle BOR \text{ folglich} \\ \hline \angle BAO &= \angle CDO. \end{aligned}$$

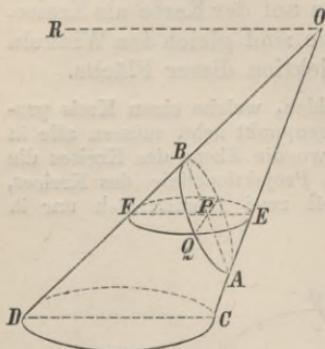
Ferner ist der Winkel bei O beiden Dreiecken gemein, also auch:

$$\angle OBA = \angle OCD.$$

AB und CD sind also Wechselschnitte und die in den Ebenen von AB und CD liegenden (zu der gemeinschaftlichen Ebene $OACDB$ senkrechten Kegelschnitte) sind Wechselschnitte des Kegels. Wechselschnitte eines Kegels sind aber Kreise, wie sich aus folgender Betrachtung ergibt. Wird in Fig. 11 durch einen beliebigen Punkt P der Linie AB eine Parallele EF zu CD gezogen, so ergibt sich

$$\begin{aligned} \triangle PAE &\sim \triangle PBF \text{ und} \\ PA \cdot PB &= PE \cdot PF. \end{aligned}$$

Fig. 11.



Die beiden Ebenen von AB und EF rechtwinklig zur Ebene $OACDB$ haben die Schnittlinie PQ gemein, daher steht PQ sowohl auf AB als auf EF senkrecht. Man hat daher in dem Kreise, dessen Durchmesser AB ist $QP^2 = PA \cdot PB$ und somit auch $QP^2 = PE \cdot PF$. Aus der letzteren Relation folgt, dass auch der Kegelschnitt $FQEP$ ein Kreis ist, folglich ist auch der diesem Kreise parallele Kegelschnitt durch CD auf der Kartenebene ein Kreis.

Beweis ad 3. Zunächst ist der Satz zu begründen: Durch zwei Wechselschnitte eines Kegels lässt sich stets eine Kugel legen.

Man hat (Fig. 10) aus der Aehnlichkeit der Deiecke:

$$OC \cdot OA = OB \cdot OD.$$

Durch die Punkte A, B, D, C lässt sich daher ein Kreis legen. Die Linien OC und OD sind aber ein beliebiges Paar zweier um 180° von einander liegender Projektionsstrahlen des Projektionskegels. Für ein jedes andere Paar entsprechend liegender Projektionsstrahlen muss diese Bedingung ebenfalls erfüllt werden. Alle Kreise, welche je einem solchen Paare zukommen, haben einen gemeinsamen Mittelpunkt. Derselbe wird gefunden, indem man in den Mittelpunkten der beiden Kreise AB und CD Perpendikel errichtet und diese bis zu ihrem Schnittpunkt verlängert. Es ergibt sich also, dass alle diese Kreise denselben Mittelpunkt und gleiche Radien haben, dieselben bilden also zusammen eine Kugel. Da nun alle Tangenten, welche man von ein und demselben Punkte aus an eine Kugel legen kann, gleich lang sind, so gilt auch der Satz:

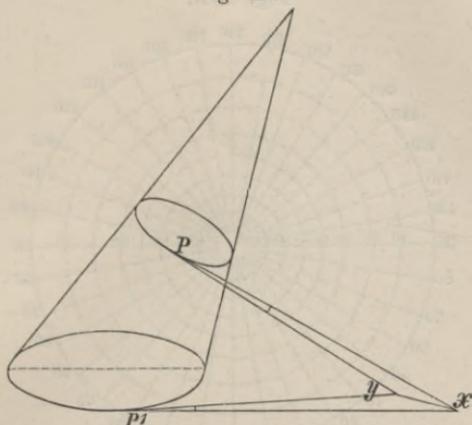
„Wenn man von einem Punkte der Linie, in welchem sich die Ebenen zweier Wechselschnitte eines Kegels schneiden, an diese beiden Kreise Tangenten legt, so sind dieselben gleich lang.“ Und dieser Satz gestattet, sofort den Beweis zu führen: Die Winkel, unter welchen sich zwei Kreise auf der Kugel schneiden, sind gleich den Winkeln, unter welchen sich ihre stereographischen Projektionen schneiden. Die Winkel, unter welchen sich zwei Kreise schneiden, sind nämlich die Winkel, unter welchen sich die im Schnittpunkt an beide gelegten Tangenten schneiden. Es seien XP und XP' (Fig. 12) die Tangenten eines Kugelkreises und seiner stereographischen Projektion, YP und YP' die Tangenten eines zweiten durch P gehenden Kreises derselben Kugel und seiner Projektion, so ist:

$$\begin{aligned} XP &= XP' \\ YP &= YP' \\ XY &= X'Y' \end{aligned}$$

folglich $\triangle XYP \cong \triangle X'Y'P'$ also auch
 $\angle XPY = \angle X'P'Y'$

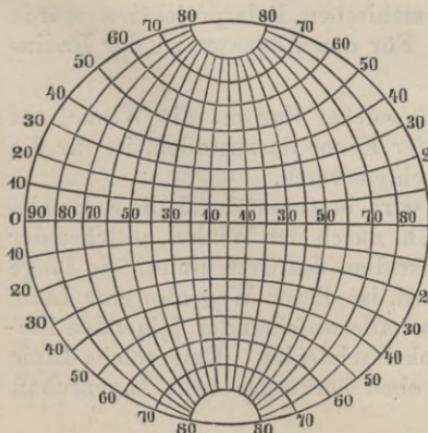
Es folgt hieraus allgemein: „Alle Winkel, welche auf einer Kugel gedacht werden können, werden unverändert auf einer nach stereographischer Projektion entworfenen Karte wiedergegeben.“

Fig. 12.



Die Vortheile, welche diese Projektionsart für die Kartenkonstruktion hat, sind somit sehr bedeutend. Die Eigenschaft, dass alle Kreise (welche nicht durch den Augenspunkt gehen) als Kreise wiedergegeben werden, ermöglicht, mehrere sphärische Koordinatensysteme anschaulich auf einem Blatt vorzuführen, z. B. Meridiane und Breitenparallelen zusammen mit Vertikalkreisen und Höhenparallelen. Die unveränderte Wieder-

Fig. 13 I.



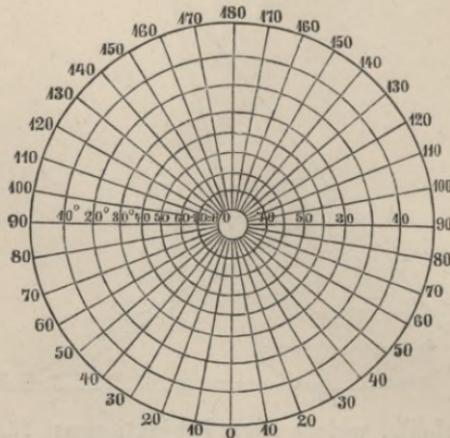
gabe der Winkel hat zur Folge, dass die Abbildung dem Original in den kleinsten Theilen ähnlich, d. h. konform ist, dass daher eine Verzerrung der Umriss nicht eintritt, wenn schon der Maassstab nach der Peripherie hin ein anderer wird, als in der Mitte.

Fig. 13 I. stellt eine stereographische Karte dar, für welche der Augenspunkt im Aequator liegt, (stereographische Aequa-

torialprojektion). Alle Linien in dieser Darstellung sind Kreise, deren Mittelpunkte leicht gefunden werden können, ein Umstand, welcher die Konstruktion wesentlich erleichtert. Nur der Aequator und der Meridian des Berührungsortes sind gerade Linien, da sie durch den Augenpunkt gehen.

Fig. 13 II. stellt eine stereographische Polarprojektion dar.

Fig. 13 II.



Alle Meridiane erscheinen hier als gerade Linien. Die Breitenparallelen sind concentrische Kreise. Der Radius ϱ eines jeden Breitenparallels auf der Karte wird ausgedrückt durch die Formel:

$$\varrho = 2r \cdot \operatorname{tg}^{1/2} (90^\circ - \varphi)$$

worin φ die geographische Breite, r den Radius der Kugel bezeichnet. [Bei der gnomonischen Polarprojektion würde sein $\varrho = r \cdot \operatorname{tg} (90^\circ - \varphi)$.] Für den Aequator ist der Radius $\varrho = 2r$.

§ 17. Die Eigenschaft solcher Karten, die Winkel auf der Kugelfläche richtig in der Ebene darzustellen, ist für die Zwecke der Navigation beachtenswerth.

Der Kurs eines Schiffes wird bestimmt durch die Himmelsgegend, der es zusteuert, d. h. durch den Winkel, welchen der Weg mit dem jeweiligen Meridian des Orts bildet. So lange der Kurs nicht geändert wird, ist dieser Weg also eine Linie auf der Kugelfläche, welche alle aufeinander folgenden Meridiane unter gleichem Winkel schneidet. Eine solche Linie heisst Loxodrome. Die eben hervorgehobene Eigenschaft

der stereographischen Karte bietet nun ein Mittel, den Verlauf der Loxodrome zu untersuchen.

Die Aufgabe formulirt sich in folgender Weise: Die Loxodrome, welche im Punkte A des Aequators (Fig. 14 I.) den

Fig. 14 I.

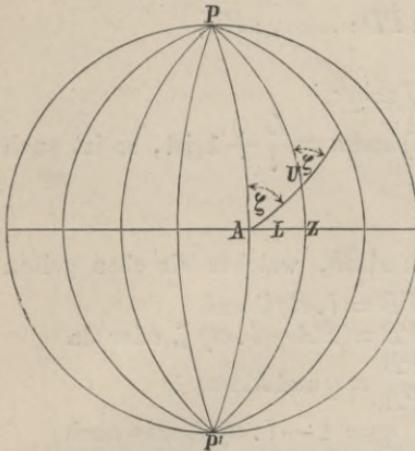
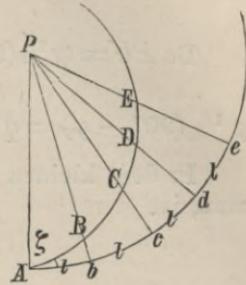


Fig. 14 II.



Kurswinkel ζ mit dem Meridian bildet, erreicht in irgend einem Punkte U die Breite φ . Es soll die zugehörige Länge dieses Punktes gefunden werden. Auf einer Karte nach stereographischer Projektion werde die Entfernung PA des Pols vom Aequator gleich 1 angenommen. Dann ist der Radius des Breitenparallels von φ in der Karte

$$PU = tg^{1/2} (90^\circ - \varphi).$$

Gesucht wird der Bogen L des Aequators entsprechend dem Winkel am Pol zwischen den Meridianen von A und U . Zwischen diesen beiden Meridianen denke man sich in gleichen Abständen von einander unendlich viele Meridiane gezogen, welche L in lauter gleiche Theile theilen und gleiche Winkel am Pol einschliessen. Ein solches unendlich kleines Bogenstück heisse l . Die Anzahl der Bogenstücke ist dann $\frac{L}{l}$ und

die Anzahl n der Meridiane von PA bis PU ist $\frac{L}{l} + 1$.

Auf solche Weise sind $\frac{L}{l}$ schmale Dreiecke gebildet, welche nach der Definition der Loxodrome unter sich ähnlich sind, nämlich: PAB, PBC, PCD u. s. f. (Fig. 14 II.)

Das Verhältniss $1 : q$ zwischen den aufeinander folgenden Polabständen ist dann

$$\frac{1}{q} = \frac{PA}{PB} = \frac{PB}{PC} = \frac{PC}{PD} \text{ u. s. f.}$$

und es entsteht die absteigende geometrische Progression

$$1 : PB : PC : PD : \dots : PU,$$

deren n tes Glied ist

$$PU = q^{n-1}.$$

Da $PU = tg^{1/2}(90^\circ - \varphi)$ und $n = \frac{L}{l} + 1$ ist, so ist auch

$$tg^{1/2}(90^\circ - \varphi) = q^{\frac{L}{l}}.$$

In dem kleinen Dreieck ABb , welches als eben gelten kann, ist

$$\begin{aligned} PA - PB &= l \cdot ctg \zeta \text{ und} \\ PB &= PA - l \cdot ctg \zeta, \text{ oder da} \\ \frac{PB}{PA} &= q \text{ und } PA = 1 \end{aligned}$$

$$q = 1 - l \cdot ctg \zeta, \text{ also auch}$$

$$tg^{1/2}(90^\circ - \varphi) = (1 - l \cdot ctg \zeta)^{\frac{L}{l}}.$$

Wenn nun l unendlich klein ist, so wird

$$(1 + l)^{\frac{1}{l}} = e \text{ (Basis der natürlichen Logarithmen)}$$

und ebenso:

$$(1 - l \cdot ctg \zeta)^{\frac{1}{-l \cdot ctg \zeta}} = e,$$

daher:

$$tg^{1/2}(90^\circ - \varphi) = (1 - l \cdot ctg \zeta)^{\frac{-L \cdot ctg \zeta}{-l \cdot ctg \zeta}} = e^{-L \cdot ctg \zeta}.$$

Geht man zu den Logarithmen über, so erhält man:

$$lg \text{ nat } tg^{1/2}(90^\circ - \varphi) = -L \cdot ctg \zeta.$$

Berücksichtigt man, dass:

$$tg^{1/2}(90^\circ - \varphi) = \frac{1}{tg^{1/2}(90^\circ + \varphi)} \text{ also:}$$

$$\log tg^{1/2}(90^\circ - \varphi) = -\log tg^{1/2}(90^\circ + \varphi),$$

so erhält man schliesslich als die Gleichung der Loxodrome:

$$tg \zeta \cdot lg \text{ nat } tg^{1/2}(90^\circ + \varphi) = L,$$

d. h. wenn man vom Aequator mit dem Kurse ζ die Länge L

erreicht, so ist der Unterschied der Länge zwischen Abgangs- und Ankunftspunkt:

$$tg \zeta \cdot lg \operatorname{nat} tg^{1/2} (90^\circ + \varphi).$$

Setzt man in dieser Gleichung $\varphi = 90^\circ$, so wird $tg^{1/2} (90^\circ + \varphi)$ unendlich. Die Loxodrome erreicht daher den Pol nicht. Für jeden anderen Werth von φ ergibt sich für L ein ganz bestimmter Werth. Die Loxodrome entfernt sich daher vom Aequator beständig in ihrem Verlauf und nähert sich dem Pol. Sie ist als eine Spirallinie aufzufassen und stellt sich auch auf der stereographischen Karte als solche dar.

§ 18. Um den Weg des Schiffes einfach in die Karte einzutragen und den Kurs von einem Ort zum andern aus der Karte direkt zu entnehmen, ist es nothwendig, eine Kartenprojektion zu wählen, welche die Loxodrome als gerade Linie darstellt. Eine solche Projektion ist in einer besonderen Art der sogenannten Plattkarten aufgefunden worden. Eine Plattkarte entsteht nämlich, wenn man sich die Erdkugel oder eine Zone derselben durch einen geraden Cylinder ersetzt denkt, auf welchem man die Meridiane als gerade Linien (parallel der Axe), den Aequator und die Breitenparallelen aber als Kreise senkrecht zur Cylinderaxe darstellt. Schneidet man einen solchen Cylinder längs eines der Meridiane auf und breitet ihn auf eine Fläche aus, so erhält man das Netz einer Karte, in welcher die Meridiane und Breitenparallelen ein rechtwinkliges Koordinatensystem bilden. Während der Parallelkreis auf der Kugel gleich ist dem Aequator multiplicirt mit dem Kosinus der Breite (s. S. 14), werden hier alle Parallelkreise mit einem der Karte zu Grunde gelegten Parallelkreise (resp. dem Aequator) gleich lang gemacht.

Lässt man den Theilen der Meridiankreise (den Breitengraden) diejenige Grösse, welche sie auf der Kugel haben, so entsteht eine sogenannte rechteckige Plattkarte (bezw. wenn der Aequator zu Grund gelegt ist, eine quadratische Plattkarte).

Auf einer solchen Karte ist das wirkliche Verhältniss der Breitengrade zu den Längengraden nicht eingehalten, nur in der Nähe des Aequators würde das Bild ein ziemlich richtiges werden; die Abbildung der loxodromischen Linie ist auf solcher Karte keine gerade Linie.

Dieses Erforderniss einer Seekarte haben die Plattkarten, welche schon in früheren Jahrhunderten von den Seefahrern vorzüglich benutzt wurden, erst erhalten durch die Verbesse-

rung, welche der deutsche Geograph Gerhard Merkator* (1569) zuerst angegeben hat.

Man kann sich diese Verbesserung einfach dadurch herbeigeführt denken, dass die Theile der Meridianbogen (also die Grade und Minuten der Breite) in demselben Verhältniss vergrößert werden, in welchem die Bogen der Breitenparallelen (also die Grade und Minuten der Länge) auf der Plattkarte polwärts grösser dargestellt werden, als sie auf der Kugel in Wirklichkeit sind. Hierdurch wird dann also wieder das richtige Verhältniss der Meridianbogen zu den Bogen der Breitenparallelen hergestellt. Für die Konstruktion des Kartennetzes hat man die Koordinaten vom ersten Meridian im Aequator aus: als Abscisse die Länge L und als Ordinate $lg \operatorname{nat} tg^{1/2}(90^\circ + \varphi)$. Von der Länge L_1 und der Breite φ_1 aus hat man: als Abscisse die Länge $L - L_1$ und als Ordinate $lg \operatorname{nat} tg^{1/2}(90^\circ + \varphi) - \log \operatorname{nat} tg^{1/2}(90^\circ + \varphi_1)$. Eine Karte zwischen den Breiten φ_1 und φ und den Längen L_1 und L hat also die Horizontalausdehnung $\alpha \cdot (L - L_1)$ und die Vertikalausdehnung

$$\alpha \left\{ lg \operatorname{nat} \left(\frac{tg^{1/2}(90^\circ + \varphi)}{tg^{1/2}(90^\circ + \varphi_1)} \right) \right\}$$

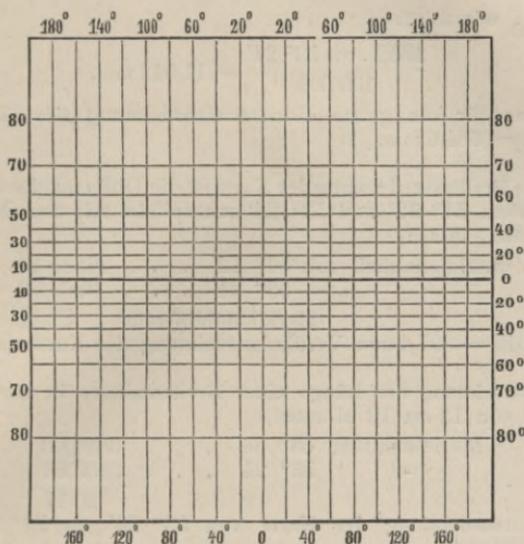
wo α den Maassstab der Karte bedeutet.

Auf der Karte nach Merkators Projektion ist die Loxodrome eine gerade Linie, und umgekehrt ist jede Verbindungslinie zweier Punkte eine Loxodrome, welche sämtliche Meridiane unter gleichem Winkel schneidet. Daraus folgt unmittelbar, dass alle Winkel auf der Merkatorschen Karte den entsprechenden Winkeln der Kugel gleich sein müssen. Es ist also auch diese Kartenkonstruktion, wie die stereographische, eine konforme, d. h. die Bilder der Karte sind denen auf der Kugel in den kleinsten Theilen ähnlich. Wegen dieser Eigenschaften ist die Merkatorsche Kartenprojektion nicht allein für die Seekarten allgemein angenommen, sondern findet sich auch für Uebersichtskarten sehr häufig. Der Pol lässt sich auf solchen Karten nicht darstellen, da, wie bereits erwähnt, für $\varphi = 90^\circ$ der zugehörige Meridianbogen unendlich gross wird.

*) Gerhard Kremer gen. Merkator, von deutschen Eltern am 5. März 1512 in Flandern geboren, wirkte namentlich in Löwen und Duisburg für die Geographie und Verbesserung der Karten. Seine berühmte Seekarte erschien an letzterem Orte im Jahre 1569.

§ 19. Die Konstruktion einer Merkatorschen Karte ist sehr einfach, sobald man in einer Tabelle die Werthe $lg \operatorname{nat} \operatorname{tg} \frac{1}{2} (90^\circ + \varphi)$ für jede Breite, am besten von Minute zu Minute

Fig. 15.



zusammengestellt hat. Man nennt diese Werthe Meridionaltheile (vergrösserte Breite). Man zieht dann den Breitenparallel, welchen man der Karte zu Grunde legt (und zwar immer denjenigen, welcher dem Aequator zunächst liegt), für nördliche Breite am unteren, für südliche am oberen Rande des Kartenblattes. Auf demselben wird die Längenskala nach dem gewählten Maassstabe entworfen. Die Längenminute ist auf der Kugel $1852 \text{ m. } \cos \varphi$.

Sind die Grade und Minuten der Längenskala abgesetzt, so errichtet man in beiden Endpunkten Perpendikel und trägt auf diese die Differenzen der Meridionaltheile ab, welche man aus jener Tabelle entnimmt. Je nach dem Maassstabe der Karte genügt es, diese Differenz — also die Länge einer Breitenminute — in grösseren oder kleineren Intervallen festzustellen. Man erhält auf diese Weise die Breitenskala der Karte und kann das Kartennetz nun beliebig vervollständigen.

$$\begin{array}{r} \text{Meridionaltheil } 54^\circ 12' = 3885,10 \\ \text{ } 54^\circ 0' = 3864,64 \\ \hline \qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad 20,46 \end{array}$$

$$\log 20,46 = 1,31091$$

$$\log 11,042 = 1,04305$$

$$\log 2,35396 = 225,9$$

$$\text{Zwölf Breitenminuten } 225,9 \text{ mm}$$

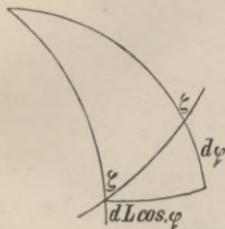
$$\text{Eine Breitenminute } 18,83 \text{ mm}$$

Danach sind für diese Karten alle Breitenminuten nahezu gleich und für die Konstruktion zu je 18,7 mm anzunehmen.

Aus der Konstruktion wird ersichtlich, dass der Maassstab der Karte sich stetig in nordsüdlicher Richtung ändert, aber in ostwestlicher Richtung überall derselbe bleibt. Zum Messen auf der Karte dient daher immer die Breitenskala, und es ist nöthig, bei Messung grösserer Distanzen diese Skala in kleinen Theilen anzuwenden.

§ 20. Eine Betrachtung der Merkatorschen Projektion mit Hülfe der Differentialrechnung gestaltet sich sehr einfach.

Fig. 16.



Um auf der Kugel die Gleichung der Linie zu finden, welche mit allen Meridianen denselben Winkel (ζ) bildet, hat man in dem kleinen von $\cos \varphi \cdot dL$ und $d\varphi$ eingeschlossenen Dreieck (Fig. 16), welches als eben angesehen werden kann, in einem beliebigen Punkt dieser Linie:

$$\operatorname{tg} \zeta = \frac{\cos \varphi \cdot dL}{d\varphi} \text{ oder:}$$

$$\frac{d\varphi}{\cos \varphi} = \frac{dL}{\operatorname{tg} \zeta}$$

$$dL = \frac{\operatorname{tg} \zeta}{\cos \varphi} d\varphi \text{ oder:}$$

$$L = \operatorname{tg} \zeta \int \frac{d\varphi}{\cos \varphi}. \text{ Nun ist:}$$

$$\int \frac{d\varphi}{\cos \varphi} = \int \frac{d(90^\circ + \varphi)}{\sin(90^\circ + \varphi)} = \int \frac{d(90^\circ + \varphi)}{2 \sin \frac{1}{2}(90^\circ + \varphi) \cos \frac{1}{2}(90^\circ + \varphi)}$$

also wenn die Integration ausgeführt wird:

$$\frac{L}{\operatorname{tg} \zeta} = \log \operatorname{nat} \operatorname{tg} \frac{1}{2}(90^\circ + \varphi) + \operatorname{Const.}; \text{ oder:}$$

$$L = \operatorname{tg} \zeta \cdot \log \operatorname{nat} \operatorname{tg} \frac{1}{2}(90^\circ + \varphi) + \operatorname{Const.}$$

Hiernach findet sich der Kurs ζ von einem Orte P nach dem Orte P_1 , wenn die resp. Längen und Breiten mit L und L_1 , φ und φ_1 bezeichnet werden, aus der Differenz der Gleichungen:

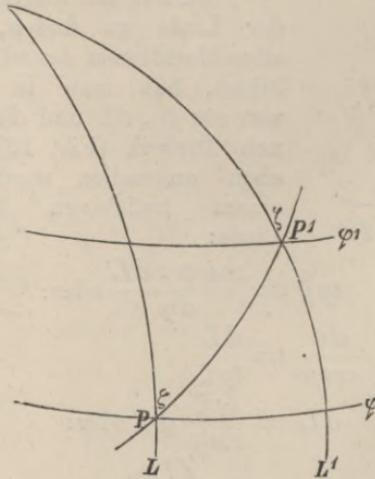
$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \zeta \cdot \log \operatorname{nat} \operatorname{tg} \frac{1}{2}(90^\circ + \varphi) &= L \\ \operatorname{tg} \zeta \cdot \log \operatorname{nat} \operatorname{tg} \frac{1}{2}(90^\circ + \varphi_1) &= L_1 \end{aligned}$$

$$\text{also } \operatorname{tg} \zeta = \frac{L - L_1}{\log \operatorname{nat} \operatorname{tg} \frac{1}{2}(90^\circ + \varphi) - \log \operatorname{nat} \operatorname{tg} \frac{1}{2}(90^\circ + \varphi_1)}$$

$$\text{oder } \operatorname{tg} \zeta = \frac{L - L_1}{m}, \text{ worin } L - L_1 \text{ den Längenunterschied,}$$

m den vergrößerten Breitenunterschied oder die Differenz der Meridionaltheile der Breiten beider Orte bedeutet. Es ist dies die Gleichung einer geraden Linie, deren Koordinaten $L - L_1$ und m sind.

Fig. 17.



Die Distanz PP_1 auf der Loxodrome wird mit Hilfe des Breitenunterschiedes $\varphi - \varphi_1$ und des Kurswinkels ζ sofort aus dem rechtwinkligen Dreieck der Merkatorschen Karte gefunden nach der Formel:

$$PP_1 = (\varphi - \varphi_1) \cdot \sec \zeta$$

Beispiel.

Es soll Kurs und Distanz auf der Loxodrome gefunden werden von Kap Horn nach den Chatham-Inseln.

Kap Horn	55° 59' S-Br.	Chatham-Inseln	44° 20' S-Br.
	67° 16' W-Lg.		176° 29' W-Lg.
$L - L_1 =$	109° 13' = 6553	Vergröss.-Br.	55° 59' = 4072
$\varphi - \varphi_1 =$	11° 39' = 699	-	44° 20' = 2974
			Diff. $m = 1098$

$$\log L - L_1 \quad 3,81644$$

$$\log m = \quad 3,04060$$

$$\log \operatorname{tg} \zeta \quad 0,77584$$

$$\log \operatorname{sec} \zeta \quad 0,78186$$

$$\log (\varphi - \varphi_1) \quad 2,84448$$

$$\log PP' \quad 3,62634$$

$$\text{Kurs} = \text{N } 80^\circ 29' \text{ W}$$

$$\text{Dist.} = 4230 \text{ Sm.}$$

Bei der Merkatorschen Karte hat es keine Schwierigkeit, auf die sphäroidale Gestalt der Erde Rücksicht zu nehmen. Die Meridionaltheile werden in den nautischen Tafeln bald mit Zugrundelegung des Erdsphäroids (z. B. Rümker, Handbuch der Schifffahrtskunde, Tafel VIII), bald für die Kugel angegeben (z. B. Domke, Nautische Tafeln, Tafel III).

Man erhält:

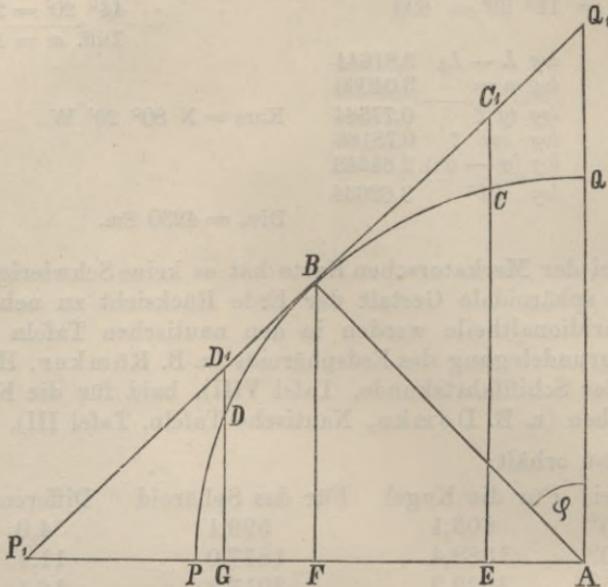
Bei	Für die Kugel	Für das Sphäroid	Differenz
10°	603,1	599,1	4,0
30°	1888,4	1877,0	11,4
45°	3029,9	3013,8	16,1
60°	4527,4	4507,7	19,7

Diese Unterschiede, welche sich zwischen Sphäroid und Kugel ergeben, sind aber von geringer Bedeutung. Die technische Herstellungsweise der Karten gestattet in der Regel nicht eine Genauigkeit, welche für die Veranschaulichung dieser Differenzen erforderlich sein würde.

§ 21. Kegelprojektionen. Es sei in Fig. 18 $PDBCQ$ ein Meridianquadrant, der durch die Tangente $P_1D_1BC_1Q_1$ in B berührt werde. Denkt man sich die ganze Figur um die Axe P_1PA gedreht, so beschreibt die Peripherie des Quadranten eine Kugeloberfläche und die Tangente einen Kegelmantel, welcher die erstere in einem Kreise berührt, dem Parallelkreise der Breite φ . Erweitert man nun alle Meridiane und alle Parallelkreise, deren Halbmesser in der Figur durch die Linien AQ, EC, FB, GD angedeutet sind, bis zu ihrem Durchschnitt mit dem Berührungskegel und wickelt denselben ab, so entsteht auf demselben ein ebenes Abbild

der geographischen Koordinaten, in welchem die Meridiane gerade Linien, die Parallelkreise konzentrische Kreise um P_1 als Mittelpunkt sind, und das folgende geometrische Verschiedenheiten von dem Urbild besitzt. 1. Die Parallelkreis-

Fig. 18.



abstände oder Breitenunterschiede des Bildes sind nicht gleich denjenigen des Urbildes. 2. Die Parallelkreise sind mit Ausnahme des Berührungskreises sämtlich grösser als der des Urbildes, weil sie grössere Radien haben, und zwar sind sie um so grösser, je weiter sie von dem Mittelparallel entfernt sind.

Sollen die hierdurch entstehenden Verzerrungen verringert werden, so dürfen also die Kreise der Kugel nicht ohne Weiteres bis zum Durchschnitt mit dem Kegelmantel erweitert werden, sondern es muss dabei nach Regeln verfahren werden, welche wieder entweder die Forderungen der Aequidistanz oder der Konformität oder der Aequivalenz erfüllen, und hierdurch entstehen die in § 13 unter II. B. 1 bis 3 aufgeführten Projektionsarten.

Aequidistante oder gewöhnliche Kegelprojektion. Die Aequidistanz erreicht man einfach dadurch, dass man vom Mittelparallel aus anstatt die Abstände BC_1 , BQ_1 ,

BD_1 die Grössen BC , BQ , BD aufträgt; hierdurch wird erzielt, dass die Parallelkreise ihrer wirklichen Grösse genähert werden, vollkommen erreicht wird dieselbe jedoch nicht; die Aequivalenz ist daher, wie man leicht einsieht, ausgeschlossen. Die auf den geschilderten Eigenschaften fussende Konstruktionsregel der gewöhnlichen oder äquidistanten Kegelprojektion ist folgende:

Da alle Punkte des Parallelkreises B gleich weit von dem Punkte P_1 abliegen und letzterer der Mittelpunkt der Parallelkreise des Abbildes ist, so berechnet man sich die Entfernung $P_1B = R = AB \operatorname{ctg} \varphi = r \operatorname{ctg} \varphi$ (worin r den Erdhalbmesser bedeutet). Dieser Ausdruck ist mit dem Maassstab der Karte $\left(\frac{1}{n}\right)$ zu multipliciren und es wird

$$R = \frac{r \operatorname{ctg} \varphi}{n} \text{.}^*)$$

Man kann nun, den Zirkel in dem irgendwo angenommenen Punkte P_1 einsetzend, den berührenden Parallelkreis oder Mittelparallel ziehen, hierauf trägt man den Werth der Breitengrade (von 1° bzw. 5° oder 10°) nach Norden und Süden vom Mittelparallel der Karte entsprechend ab und schlägt durch die gefundenen Punkte die Parallelkreise um P_1 , trägt darauf auf den Mittelparallel nach jeder Seite die den Längengraden (1° , 5° , 10°) entsprechenden Grössen ab und verbindet diese Punkte mit P_1 .

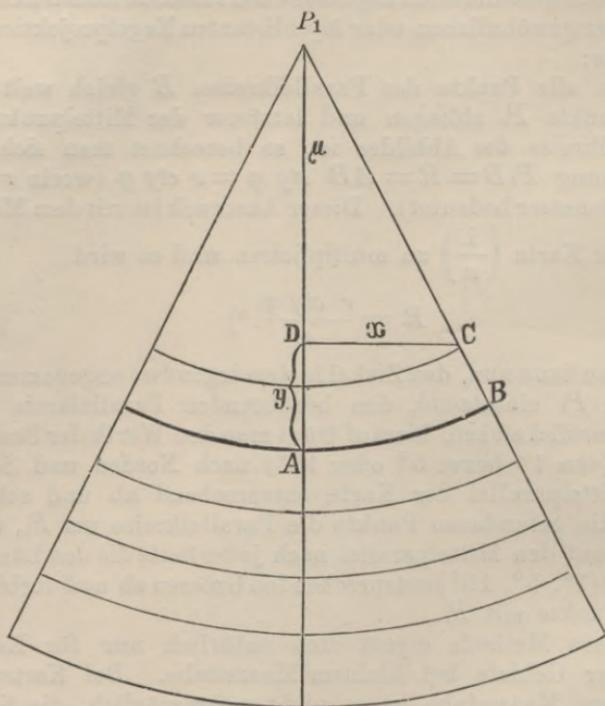
Diese Methode eignet sich natürlich nur für Karten grösserer Gebiete bei kleinem Maassstabe. Bei Karten in grösserem Maassstabe ist es nicht mehr möglich, die Kreisbogen mit dem Zirkel zu konstruiren, und man pflegt daher sowohl bei dieser Projektion als bei allen anderen Kegelprojektionen die Konstruktion dadurch herzustellen, dass man sich die rechtwinkligen Koordinaten der Schnittpunkte zwischen Meridianen und Parallelkreisen, bezogen auf den Durchschnittspunkt des Mittelmeridians und des Mittelparallels, berechnet. Dies geschieht in folgender Weise:

Die Meridiane zweier Punkte des Abbildes schneiden sich bei P_1 unter einem Winkel μ , der sogenannten Meridiankonvergenz. Diese Meridiankonvergenz ist in Wirklichkeit für alle Breiten verschieden, und ihre Grösse wird ausgedrückt durch die Gleichung $\mu = \lambda \sin \varphi$, wenn unter λ der Längengrad

*) In den folgenden Auseinandersetzungen wird der Maassstab der Einfachheit wegen unberücksichtigt bleiben und nicht weiter eingeführt werden.

unterschied verstanden wird. In der vorliegenden Projektion aber ist die Meridiankonvergenz für gleiche Längen auf allen Breiten dieselbe und zwar diejenige, welche der Breite des

Fig. 19.



Mittelparallels entspricht. Denken wir uns nun den Punkt A auf dem Mittelparallel gegeben, und der Punkt C , dessen Längen- und Breitenunterschied bekannt ist, sei zu konstruieren, so ist zur Berechnung der Koordinaten x und y bekannt die Meridiankonvergenz des Mittelparallels $\mu = \lambda \sin \varphi$ (φ Breite des Mittelparallels), $P_1C = R_c = r \operatorname{ctg} \varphi_c$ ($\varphi_c =$ Breite von C), und es ist

$$x = R_c \sin \mu. \text{ Ferner ist}$$

$$y = P_1A - P_1D$$

$$P_1A = R_A = r \operatorname{ctg} \varphi_A$$

$$P_1D = P_1C \cos \mu = R_c \cos \mu, \text{ folglich}$$

$$y = R_A - R_c \cos \mu.$$

Man ist daher in der Lage, auf diese Weise die Koordinaten beliebig vieler Schnittpunkte zu berechnen und so das Kartennetz zu konstruieren.

Da, wie bereits erwähnt, die Parallelkreise von ihrer wirklichen Grösse abweichen und zwar desto mehr, je weiter sie vom Mittelparallel entfernt sind, so ist klar, dass die Verzerrung nach dem Nord- und Südrande zunimmt, sich diese Projektion also für solche Gebiete am besten eignet, welche grosse Längenausdehnung und geringe Breitenausdehnung besitzen.

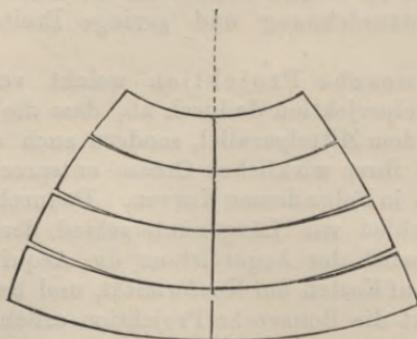
Die Bonnesche Projektion weicht von der äquidistanten Kegelprojektion dadurch ab, dass die Längengrade nicht nur auf dem Mittelparallel, sondern auch auf jedem anderen Parallel ihrer wirklichen Grösse entsprechen; die Meridiane bilden in Folge dessen Kurven. Dadurch, dass sowohl Breitenunterschied wie Längenunterschied der Wirklichkeit entsprechen, wird der Aequidistanz die Aequivalenz hinzugefügt, aber auf Kosten der Konformität, und bei einiger Ausdehnung liefert die Bonnesche Projektion erhebliche Winkelverzerrungen.

Von Wichtigkeit für die Küstenvermessung ist die (für die Arbeitskarten zur Anwendung kommende), namentlich in den Vereinigten Staaten von Amerika viel benutzte Polykonische Projektion. Das Wesen derselben mag aus Folgendem hervorgehen: Man denke sich die abzubildende Fläche durch Breitenparallele in eine Menge schmaler Zonen getheilt und jede Zone auf einen, den niedrigsten Breitenparallel der Zone (auf Nordbreite der südlichste, auf Südbreite der nördlichste) tangirenden Kegel nach den bei der äquidistanten Kegelprojektion angegebenen Regeln abgebildet. Wickelt man nun die sämtlichen Kegelmäntel ab und legt sie so aneinander, dass der gemeinsame Mittelmeridian eine gerade Linie bildet, so berühren sich die zusammenstossenden Parallelkreise je zweier auf einander folgenden Kegelmäntel nur im resp. am Mittelmeridian, klaffen aber nach den Seiten zu auseinander. In Wirklichkeit werden jedoch die Karten derart gezeichnet, dass man den unteren Parallel jedes Kegelmantelstückes immer als den oberen Grenzparallel des nächst darunter gelegenen ansieht; in Folge dessen tritt nach den Seiten zu eine gewisse Verzerrung ein.

Da man es nur mit Berührungsparallelen zu thun hat, so haben die Längengrade auf den Parallelkreisen ihre richtige Grösse, und auf dem Mittelmeridian ist Aequidistanz wie bei der äquidistanten Kegelprojektion vorhanden. Die Verzerrung liegt auf den äusseren Meridianen, in der Nähe des Mittelmeridians ist dieselbe nicht wahrnehmbar. Die Parallelkreise sind nicht parallel, und die Meridiane bilden mit Aus-

nahme des Mittelmeridians Kurven. Die Projektion eignet sich daher vorwiegend zur Darstellung meridional ausgedehnter Gebiete.

Fig. 20.



Die Konstruktion der Netzpunkte ergibt sich aus den Formeln

$$\begin{aligned} x &= R \sin \mu & y &= R (1 - \cos \mu). \\ \mu &= \lambda \sin \varphi. \end{aligned}$$

Der Umstand, dass die Koordinaten nur von φ und λ abhängig sind, ermöglicht die Berechnung von Tabellen, aus welchen man die Koordinaten mit den Argumenten Länge und Breite entnehmen kann. Solche Tabellen befinden sich in den „Projection tables of the U. S. Navy“.

Für die Praxis genügt die polykonische Projektion den Forderungen der Aequidistanz, der Aequivalenz und der Konformität in der Nähe des Mittelmeridians vollständig. Hierdurch ist es ermöglicht, dass bei den Arbeitskarten die graphisch einzutragenden Winkelgrößen der Wirklichkeit entsprechen, und da überall derselbe Maassstab bleibt, ist die Anwendung jedes beliebigen Koordinatensystems neben den geographischen Koordinaten möglich. Die vorhandenen Tabellen aber gestatten die schnelle Herstellung des Netzes ohne zeitraubende Rechnungen.

IV. Kapitel.

Der Kompass.

§ 22. Eine Magnetnadel, welche, allein in ihrem Schwerpunkt unterstützt, frei schwebt, stellt sich unter der Einwirkung des Erdmagnetismus in einen bestimmten Winkel zur Nord-Südlinie ein. Es ist so — vorausgesetzt, dass dieser Winkel bekannt ist — ein Mittel geboten, die Richtung der Nord-Südlinie zu bestimmen.

Die Richtung der Magnetnadel ist die Richtung der erdmagnetischen Kraft. Diese Kraft wird vollständig bestimmt durch folgende drei Elemente:

1. Durch die Stärke oder Intensität des Erdmagnetismus.
2. Durch den Winkel, welchen die Vertikalebene der erdmagnetischen Richtung mit der Vertikalebene des Meridians macht (Winkel zwischen magnetischem und astronomischem Meridian). Dieser Winkel heisst die magnetische Deklination, in der Navigation Missweisung, auch Variation genannt.
3. Durch den Winkel in der Vertikalebene, welchen die erdmagnetische Kraft mit der Ebene des Horizontes einschliesst. Dieser Winkel heisst die Inklination.

Diese drei Elemente sind beständigen Veränderungen unterworfen, welche man eintheilt in: 1. Langsam fortschreitende, Säkularveränderungen. 2. Periodische Schwankungen. 3. Unregelmässige Schwankungen.

ad 1. Die säkularen Aenderungen sind an jedem Orte und für jedes Zeitintervall verschieden. Die Gesetze derselben sind noch nicht bekannt, und man muss sich damit begnügen, aus den rückwärts liegenden Beobachtungsintervallen auf die in den nächsten Jahren zu erwartenden Aenderungen zu schliessen. Es ist daher nicht möglich, mit absoluter Genauigkeit eines der magnetischen Elemente für einen bestimmten Zeitpunkt vorauszusagen. Man findet auf den Seekarten stets die Missweisung für einen in der Karte gegebenen Zeitpunkt. Die gewöhnlich daneben angegebene Aenderung für ein Jahr ist ein solcher aus früheren Beobachtungen geschlossener Werth der säkularen Aenderung. Derselbe wird um so ungenauer, je weiter die den Kartenangaben zu Grunde liegenden Beobachtungsdaten zurückliegen. Es scheint jedoch, dass eine Bestimmung der säkularen Aende-

rung, welche aus 20- bis 30jährigen Beobachtungsintervallen an demselben Ort abgeleitet ist, einen für eine geraume Zeit allen Zwecken der Praxis genügenden Werth giebt, welcher auch für ein grösseres Gebiet Anwendung finden darf.

ad 2. Wenn das Wesen der säkularen Schwankungen so wenig bekannt ist, so kann es für die Navigation kaum noch von Werth sein, die periodischen Schwankungen in ihren Bereich zu ziehen. Nur die tägliche Periode verdient hier insofern erwähnt zu werden, als es ohne Kenntniss derselben unmöglich ist, eine Richtung genauer als auf etwa 10 Bogenminuten (abgesehen von allen anderen Fehlern) mit Hülfe eines Magneten zu bestimmen. Die täglichen Schwankungen in der Missweisung nehmen mit der Annäherung an die magnetischen Pole zu.

In der nördlichen gemässigten Zone erreicht das Nordende der Nadel seinen grössten westlichen Stand um 2 Uhr Nachmittags, seinen grössten östlichen Stand zwischen 7 und 8 Uhr Morgens, auf der südlichen gemässigten Zone treten die Maximalwerthe zu denselben Zeiten, nur nach der entgegengesetzten Richtung, auf; in beiden genannten Zonen hat die Missweisung ihren täglichen Mittelwerth um 10 bis 11 Uhr Vormittags und um 8 bis 9 Uhr Abends. In den Tropen stimmen die Schwankungen in der einen Jahreszeit mit denjenigen der nördlichen gemässigten Zone, in der anderen mit denjenigen der südlichen zusammen. Mit der Annäherung an den magnetischen Pol zeigt sich eine bedeutende Verzögerung in dem Auftreten der extremen Lage der Nadel. Die mittleren Schwankungen sind im Allgemeinen in der Jahreszeit am grössten, in welcher Deklination der Sonne und Breite gleichnamig sind. Die Inklination erreicht ihren Maximalwerth um 11 Uhr Vormittags, ihren Minimalwerth um 10 Uhr Abends, und den Mittelwerth um 7 bis 8 Uhr Morgens. Die Schwankungen der Intensität sind unregelmässiger, der Maximalwerth der Horizontal-Intensität fällt auf 9 Uhr Abends, der Minimalwerth auf 10 Uhr Vormittags und die Mittelwerthe auf 7 Uhr Morgens und 3 Uhr Nachmittags, die Total-Intensität erreicht an einzelnen Punkten ein Maximum um 5 bis 6 Uhr Nachmittags und ein Minimum um 10 Uhr Morgens.*)

*) Es sei hier noch bemerkt, dass hinsichtlich der Grösse der täglichen Schwankungen einiger der magnetischen Elemente, namentlich der Deklination, eine Beziehung zu der elfjährigen Sonnenfleckenperiode in neuerer Zeit festgestellt worden ist, indem die Maxima dieser magnetischen Schwankungen kurz auf die Maxima der Sonnenflecke folgen.

ad 3. Unregelmässige Schwankungen, magnetische Störungen genannt. Die Störungen in der Missweisung betragen nicht selten 30 bis 40 Bogenminuten. Sie werden in Zusammenhang mit Polarlichtern*) und Erdbeben gebracht, welche an dem Ort, wo die magnetische Störung bemerkt wird, nicht nothwendig zur Beobachtung kommen müssen.

§ 23. Die Kompassnadel soll in der Navigation nur dazu dienen, eine Richtung und zwar eine in der Ebene des Horizonts liegende zu bestimmen. Der Winkel der Inklination wirkt daher nur störend und wird durch Verschiebung des Nadel-Schwerpunktes nach demjenigen Ende der Nadel, welches nach oben zeigen würde, beseitigt. Die Kompassnadel schwingt dann in der Ebene des Horizonts unter dem Einfluss einer Kraft, welche nun nicht mehr die gesammte magnetische Erdkraft, sondern nur die horizontale Komponente derselben, die Horizontalintensität, ist. Und zwar ist Horizontalintensität = Totale Intensität \times Kosinus der Inklination.

Für eine Kompassnadel, welche freischwebend in der Richtung des magnetischen Meridians durchaus keinen anderen Einflüssen ausgesetzt ist, würde die Stärke ihrer magnetischen Kraft an sich gleichgültig sein. Da eine solche unbeeinflusste Aufhängung aber, namentlich an Bord, nicht möglich ist, so ist es nöthig, die Kraft zu untersuchen, welche die Nadel in ihrer Richtung erhält. Diese Kraft wird die Direktions- oder Richtkraft genannt und ist das Produkt aus der Horizontalkraft des Erdmagnetismus (H) und der magnetischen Kraft der Kompassnadel (M).

Ein solches Produkt aus Erdkraft und Kraft der Magnetnadel kann man bilden, weil die Natur des Erdmagnetismus und die des Magnetismus in einem Stahlmagneten genau dieselbe ist. Die Wirkung des Erdmagnetismus auf eine Horizontalnadel lässt sich verstärken, indem man einen Magneten nahe der Nadel in einer durch die Richtung der horizontalen Erdkraft gegebenen Lage anbringt, und sie wird geschwächt, indem man die Pole dieses Magneten umdreht.

§ 24. Die magnetische Kraft eines Magneten wird gemessen durch das magnetische Moment desselben. Die magnetische Kraft findet sich nicht in jenen Punkten eines Magneten vereinigt, die man der bequemen Anwendung wegen gewissermaassen als Sitz des Magnetismus angenommen und

*) Auch zwischen der Häufigkeit und Ausdehnung der Polarlichter resp. der von diesen beeinflussten magnetischen Störungen einerseits und den Sonnenflecken-Maxima andererseits sind Beziehungen nachgewiesen worden.

als Pole bezeichnet hat, sondern sie ist nach nicht völlig bekannten Gesetzen durch den Magneten vertheilt, und die Summe aller dieser Krafttheile, multiplicirt mit ihren Entfernungen vom Schwerpunkt (Drehpunkt), ist das magnetische Moment.

Das Maass der magnetischen Kraft hat zur Grundlage eine Einheit, welche defnirt wird als diejenige Kraft, welche der Masseneinheit (die Masse eines Milligramms) in der Zeiteinheit (1 Sekunde) eine Beschleunigung ertheilt, die gleich der Längeneinheit (1 Millimeter) ist (Gaussische Einheit).

Auf dem elektrischen Kongresse in Paris 1881 wurde als Einheit eine Kraft angenommen, der als Masseneinheit das Gramm, als Längeneinheit das Centimeter und als Zeiteinheit die Sekunde zu Grunde liegt.

Um sich die Grösse dieser Kraft vorzustellen, kann man sie mit der Kraft der Schwere vergleichen. Ein Körper von einem Milligramm Gewicht unter dem Einfluss der Schwerkraft erhält nach einer Sekunde eine Beschleunigung $g = 9,8 \text{ m}$; die Kraft, welche diese Beschleunigung hervorbringt, ist eben das Gewicht des Körpers, nämlich ein Milligramm. Eine Kraft, welche nun dieser selben Masse statt $9,8 \text{ m}$, wie die Schwerkraft, nur eine Beschleunigung von $0,001 \text{ m}$ ertheilt, ist die Einheit, welche als Maass der magnetischen Kraft angenommen worden ist. Diese Grösse ist so gering, dass es unseren Zwecken entspricht, die absolute Angabe des magnetischen Moments in Millionen Einheiten zu geben.

Ebenso wie die Schwerkraft lässt sich nun auch die magnetische Kraft finden durch Beobachtung eines Pendels, welches unter dem Einfluss der magnetischen Kraft schwingt. Eine freischwebende Horizontalnadel ist ein solches Pendel.

Die allgemeine Formel für das physische Pendel ist:

$$t = \pi \cdot \sqrt{\frac{K}{\Sigma (p r)}}$$

d. h. die Dauer einer Schwingung ist gleich der Zahl π multiplicirt mit der Quadratwurzel aus dem Quotienten: Trägheitsmoment des Pendels (K), dividirt durch die Summe der Kraftmomente, welche auf dasselbe wirken [$\Sigma (p r)$].

Bei einem Pendel, welches unter dem Einfluss der Schwerkraft schwingt, ist die Summe der Kraftmomente die Masse (\mathcal{M}) mal beschleunigende Kraft der Schwere, multiplicirt mit der Entfernung des Schwerpunkts vom Drehpunkt: $\mathcal{M} \cdot g \cdot r$.

Dieses Produkt ist die Direktionskraft der Schwere. Schwingt das Pendel nun unter dem Einfluss der magnetischen

Kraft, so ist nur statt der Direktionskraft der Schwere die nach der Definition in § 23 bekannte Direktionskraft des Magnetismus zu setzen und zwar bei Schwingungen eines horizontalen Magnetensystems die horizontale Direktionskraft $M \cdot H$. Man erhält so:

$$t = \pi \sqrt{\frac{K}{M \cdot H}} \text{ woraus}$$

$$M \cdot H = \frac{\pi^2 \cdot K}{t^2}$$

Aus dieser Formel geht zugleich hervor, wie man die magnetische Kraft für einen Ort relativ durch Schwingungen einer Nadel feststellen kann. Für eine und dieselbe Nadel ist $\pi^2 \cdot K$ konstant, und es verhält sich:

$$\frac{M \cdot H}{M' \cdot H'} = \frac{t'^2}{t^2}$$

Hervorzuheben ist hieraus die für die Folge nützliche Bemerkung: Die Dauer einer Schwingung ist desto grösser, je grösser das Trägheitsmoment und je kleiner die magnetische Kraft ist. Das Trägheitsmoment wirkt also hier der magnetischen Kraft entgegen, und wenn eine Nadel, die aus dem magnetischen Meridian durch äussere Einflüsse abgelenkt ist, schnell wieder in denselben zurückkehren soll, so ist es nöthig, dass sie geringes Trägheitsmoment und grosses magnetisches Moment habe. Andererseits aber ist das Trägheitsmoment auch das Vermögen des Systems, einer Drehung, welche durch nicht magnetische Einflüsse hervorgebracht werden könnte, zu widerstehen, daher ein magnetisches System von grossem Trägheitsmoment für gewisse praktische Zwecke von Werth ist.

Beispiel einer Bestimmung der magnetischen Kraft einer Kompassnadel durch Schwingungen.

Eine Kompassrose, deren Trägheitsmoment sich durch Beobachtung zu 593,6 Millionen Einheiten ergab, wurde aus dem Meridian abgelenkt und machte in $4^{\text{min}} 41,7^{\text{sec}}$ 36 Schwingungen. Demnach Dauer einer Schwingung = $7,8^{\text{sec}}$.

Nach vorstehender Formel: $M \cdot H = \frac{\pi^2 \cdot K}{t^2}$ ergibt sich M wie folgt:

$$\begin{array}{ll} \log K = 8,774 & \log t = 0,892 \\ \frac{2 \log \pi = 0,994}{9,768} & \frac{2 \log t = 1,784}{} \end{array}$$

$2 \log t = 1,784$
 $\log M \cdot H = 7,984$. $M \cdot H = 96,4$ Millionen, d. h. die Direktionskraft der Nadel betrug 96,4 Millionen Einheiten. Es war nun im vor-

liegenden Beispiele die Horizontalkraft anderweitig bestimmt zu $H = 2,065$. Daraus ergibt sich die magnetische Kraft der Nadel

$$= \frac{96,4}{2,065} = 46,7 \text{ Millionen Einheiten.}$$

§ 25. Bisher ist der Erdmagnetismus ausschliesslich als die Kraft angesehen worden, welche eine Kompassnadel in eine bestimmte Richtung einstellt. Ausser dem Erdmagnetismus sind an Bord aber noch andere magnetische Kräfte zu berücksichtigen, welche, theilweise durch den Erdmagnetismus selbst hervorgebracht, die Wirkung desselben auf den Kompass stören oder beeinträchtigen können. Diese Kräfte sind die magnetischen Eigenschaften, welche das Eisen des Schiffes entweder vorübergehend annimmt oder dauernd besitzt.

Man denkt sich gemäss der Theorie, welche der Erklärung der Deviationserscheinungen ursprünglich zu Grunde gelegt ist, in jedem Eisen- oder Stahlmolekül zwei Fluida als Träger des nordpolaren und südpolaren Magnetismus zu gleichen Theilen vorhanden. Die Theilchen desselben Fluidums stossen sich ab, die der verschiedenen Fluida ziehen sich an. In dem unmagnetischen Zustande des Körpers sind die Moleküle nach den verschiedensten Richtungen gelagert und neutralisiren sich in ihren Wirkungen gegenseitig. Bei einem Magneten sind die Moleküle so geordnet, dass die gleichen Fluida alle nach derselben Seite gerichtet sind.

Das Ordnen der Moleküle geschieht nicht in allen Körpern mit derselben Leichtigkeit; je grösser die dem Körper innewohnende Koercitivkraft, welche die Moleküle in ihrer augenblicklichen Lage an einander festhält, ist, desto schwerer nimmt ein Körper Magnetismus an, desto schwerer verliert er denselben aber auch wieder, nachdem er einmal magnetisch ist. Die Koercitivkraft ist gross beim Stahl und harten Eisen, gering beim weichen Eisen. Bei einem Stahlmagneten ist daher der Magnetismus ein dauernder, das weiche Eisen bleibt nur so lange magnetisch, als es der Einwirkung eines anderen Magneten ausgesetzt ist. Bei dem weichen Eisen erfolgt die Anordnung des Magnetismus daher auch stets in der Richtung der augenblicklichen magnetischen Einwirkung und ändert sich also, wenn das Eisen zu dieser Richtung gedreht wird.*)

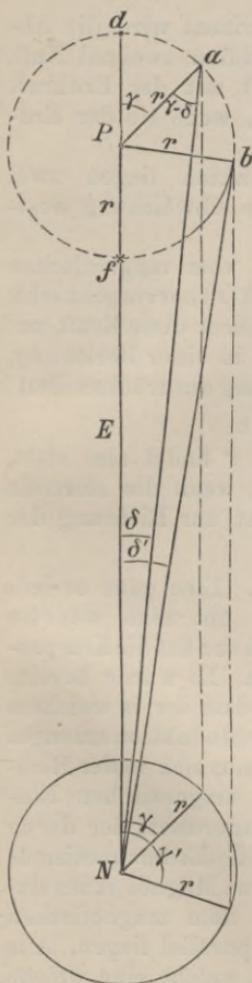
*) Diese Aenderung bedarf einer gewissen Zeit. Erfolgt die Drehung schnell, so wird aus diesem Grunde die Richtung der augenblicklichen magnetischen Einwirkung etwas abgelenkt beobachtet werden nach der Seite, nach welcher die Drehung vor sich geht.

Bei Bestimmung der Deviation ist dies zu beachten.

Es soll hier davon abgesehen werden, die Zwischenstufen zwischen solchem permanenten und vorübergehend in weichem Eisen inducirten Magnetismus zu betrachten.

Nur die Wirkung soll erörtert werden, welche einmal ein Stahlmagnet und dann eine weiche Eisenmasse unter dem Einfluss des Erdmagnetismus auf die Kompassnadel auszuüben vermag. Die Abmessungen der Kompassnadel werden im Folgenden als so klein im Verhältniss zu den andern in Betracht kommenden Dimensionen angenommen, dass immer nur der Abstand vom Mittelpunkt des Kompasses, nicht der von den Polen der Nadel, berücksichtigt wird. Ferner wird nur die Wirkung auf den Nordpol der Nadel untersucht werden, da die Wirkung auf den Südpol unter der ersteren Annahme gleich und nur der Richtung nach entgegengesetzt ist (also in gleichem Sinne auf Drehung wirkend).

Fig. 21.



§ 26. Ein Stahlmagnet übt dieselbe Wirkung auf den Kompass aus wie der Erdmagnetismus. Wie dort ist daher lediglich die Wirkung in der Horizontalebene des Kompasses zu berücksichtigen und zwar die gemeinschaftliche Wirkung beider Pole des Stahlmagneten.

Wenn der Magnet im Kreise um den in *N* (Fig. 21) befindlichen Kompass herumgeführt wird, so dass seine Wirkung auf den Kompass als die Länge *r* des Radius für diesen Kreis betrachtet werden kann, so lassen sich die Abweichungen vom magnetischen Meridian leicht übersehen, welche in der Einstellung der Kompassnadel hervorgerufen werden müssen.

Es sei in der Fig. 21 die Horizontalkraft des Erdmagnetismus durch $E = NP$, die des Stahlmagneten durch r dargestellt.

Dann sind die Längen Na , Nb die Resultanten beider Kräfte in verschiedenen Stellungen und die Winkel dieser Linien bei N mit der Richtung des Meridians die Ablenkungswinkel der Nadel, hervorgerufen durch die gemeinschaftliche Wirkung beider Kräfte.

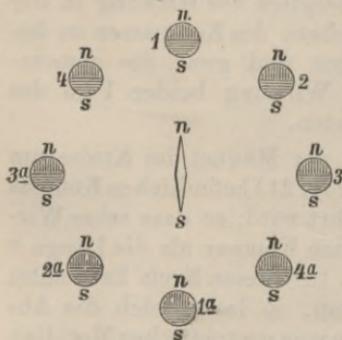
Es wird nun Folgendes ersichtlich:

1. Bei einer vollen Drehung im Horizont wird die Abweichung vom magnetischen Meridian zweimal Null, einmal, wenn die störende Kraft mit der Erdkraft summirt ist Nd , das andere Mal, wenn sie der Erdkraft gerade entgegen wirkt Nf .
2. Zwischen diesen beiden Nullpunkten liegen zwei Halbkreise. In dem einen ist die Abweichung westlich, in dem andern östlich.
3. Die Abweichung (δ) der Nadel vom magnetischen Meridian, durch die störende Kraft (r) hervorgebracht, steht mit dem Winkel (γ), in welchem diese Kraft zur erdmagnetischen Kraft (E) wirkt, in einer Beziehung, welche sich durch folgende Gleichung ausdrücken lässt:

$$E \sin \delta = r \cdot \sin (\gamma - \delta).$$

Das Maximum der Wirkung von r findet also statt, wenn $\gamma - \delta$ gleich 90° ist, d. h. wenn die störende Kraft in einer Richtung senkrecht zur Richtung der abgelenkten Nadel wirkt.*)

Fig. 22.**)



§ 27. Eine ganz andere Wirkung übt eine weiche Eisenmasse auf die Kompassnadel aus. Es wurde bereits bemerkt, dass der in weichem Eisen durch Induktion erzeugte Magnetismus sich in der Richtung der magnetischen Einwirkung anordnet; der durch Induktion des Erdmagnetismus entstandene Magnet muss daher stets dem magnetischen Meridian parallel liegen. Aus

der Fig. 22 wird die Wirkung ersichtlich, welche eine weiche Eisenkugel auf die Kompassnadel ausübt, wenn sie sich in

*) Die dem Winkel $180^\circ - \gamma$ gegenüberliegende Hypotenuse bezeichnet die Richtung der abgelenkten Nadel.

***) Die in den weichen Eisenkugeln angedeutete Anordnung des Magnetismus würde für unsere Breite nicht ganz zutreffend sein, weil

der Horizontalebene des Kompasses um diesen im Kreise herumbewegt.

1. Die Kugel befindet sich im magnetischen Meridian Nord vom Kompass.

Die Kugel wirkt — da die ungleichnamigen Pole sich anziehen, die gleichnamigen sich abstossen — anziehend auf das Nordende der Nadel, es wird keine Ablenkung hervorgerufen, die Richtkraft wird verstärkt.

2. Die Kugel befindet sich im Nordost-Quadranten. Es wird eine östliche Ablenkung hervorgerufen, die Richtkraft wird verstärkt.
3. Die Kugel befindet sich Ost vom Kompass. Es wird keine Ablenkung hervorgerufen, die Richtkraft wird nicht verstärkt.
4. Die Kugel befindet sich im Nordwest-Quadranten. Es wird eine westliche Ablenkung hervorgerufen, die Richtkraft wird verstärkt.

In den Fällen 1^a, 2^a, 3^a, 4^a der Fig. 22 ist die Wirkung, wie sofort ersichtlich, analog den Fällen 1, 2, 3, 4.

Als Resultat ergibt sich:

1. Weiches Eisen, dessen Pole an einer Seite des Kompasses liegen, verstärkt die Richtkraft im Allgemeinen.
2. Die Abweichung, hervorgebracht durch weiches Eisen, dessen beiden Pole an einer Seite des Kompasses liegen, in der Richtung der vier Hauptstriche N, O, S, W zum Kompass, ist Null. In den dazwischen liegenden Quadranten ist die Abweichung, wenn sich das Eisen befindet

zwischen N und O östlich,
 - O - S westlich,
 - S - W östlich,
 - W - N westlich.

3. Zwei weiche Eisenmassen zu verschiedenen Seiten des Kompasses auf demselben Durchmesser summiren sich

der Magnetismus sich in einer Kugel in der Richtung der Inklination ordnet; sie würde nur für den magnetischen Aequator richtig sein.

Es ist hier nur die inducirende Wirkung der Horizontal-Komponente des Erdmagnetismus in Betracht gezogen; der durch die Vertikal-komponente inducirte Magnetismus ändert sich bei einer Drehung der Kugel um den Kompass nicht und wirkt wie ein Magnet.

in der Wirkung. Zwei um einen rechten Winkel von einander angeordnete Eisenmassen verstärken die Richtkraft mit der Summe und lenken die Nadel ab mit der Differenz ihrer Kräfte.

4. Die Abweichung (δ), Fig. 23, welche das weiche Eisen auf die Nadel hervorbringt, steht mit dem Winkel (ε), in welchem die Kraft zur Kompassnadel wirkt, in einer Beziehung, welche durch die Gleichung ausgedrückt wird:

$$E \cdot \sin \delta = \frac{1}{f} \cdot E \cdot \cos \varepsilon \cdot \sin(\varepsilon - \delta).$$

In dieser Gleichung ist die Kraft des weichen Eisens, welche durch den Erdmagnetismus inducirt, also diesem proportional ist:

$$\frac{1}{f} \cdot E \cos \varepsilon, \text{ worin } \frac{1}{f}$$

den von der Empfänglichkeit des Eisens für Magnetismus abhängigen Koeffizienten darstellt.

Die Gleichung: $\sin \delta = \frac{1}{f} \cdot \cos \varepsilon \cdot \sin(\varepsilon - \delta)$

aufgelöst giebt:

$$\sin \delta = \frac{1}{f} (\cos \varepsilon \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \delta - \cos \varepsilon \cdot \cos \varepsilon \cdot \sin \delta)$$

und da man hat:

$$\cos \varepsilon \cdot \sin \varepsilon = \frac{1}{2} \sin 2 \varepsilon; \quad \cos^2 \varepsilon = \frac{1}{2} (\cos 2 \varepsilon + 1),$$

so wird:

$$\sin \delta = \frac{1}{2f} (\sin 2 \varepsilon \cdot \cos \delta - \cos 2 \varepsilon \cdot \sin \delta - \sin \delta)$$

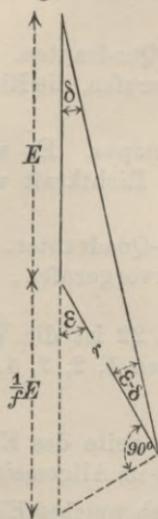
$$= \frac{1}{2f} [\sin(2 \varepsilon - \delta) - \sin \delta]$$

$$\sin \delta + \frac{1}{2f} \cdot \sin \delta = \frac{1}{2f} \cdot \sin(2 \varepsilon - \delta)$$

$$\sin \delta = \frac{1}{2f + 1} \cdot \sin(2 \varepsilon - \delta)$$

Ist δ klein, so kann man annehmen: die ablenkende Wirkung ist proportional dem Sinus des doppelten Winkels zwischen Erdkraft und störender Kraft. Das Maximum der Wirkung findet also statt, wenn die störende

Fig. 23.

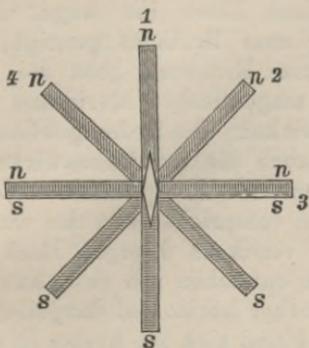


Kraft in einem Winkel von nahe 45° zur Richtung der abgelenkten Nadel wirkt (§ 26, 3).

Es soll noch die Wirkung eines weichen Eisenkörpers betrachtet werden, welcher in einer der Kompasebene parallelen Horizontalebene unter oder über dem Kompass angebracht ist und dessen Pole zu verschiedenen Seiten des Kompasses liegen.

An den Enden dieses Eisenkörpers wird sich Nord- und Südpolarität ansammeln, und eine gleiche Betrachtung wie die vorherige führt zu folgenden Sätzen:

Fig. 24.



1. Ein weicher Eisenstab unter dem Kompass liegt im magnetischen Meridian.

Die Abstossung (der gleichnamigen Pole) findet in der Richtung des magnetischen Meridians statt, es wird keine Ablenkung hervorgebracht, die Richtkraft wird aber verringert.

2. Der Eisenstab liegt NO — SW.

Die Ablenkung ist eine westliche, die Richtkraft wird verringert.

3. Der Eisenstab liegt O — W.

Die Ablenkung ist Null, die Richtkraft wird nicht verändert.

4. Der Eisenstab liegt NW — SO.

Die Ablenkung ist östlich, die Richtkraft wird verringert.

Ueberall da also, wo im vorhergehenden Falle, in welchem der weiche Eisenkörper nur an einer Seite des Kompasses lag, Anziehung und Verstärkung der Richtkraft stattfand, findet hier, wo das Eisen den Kompass nach beiden Seiten überragt, Abstossung und Verminderung der Richtkraft statt. Dagegen bleibt die Art der Erscheinungen dieselbe: keine Ablenkung auf den vier Hauptstrichen und Ablenkung abwechselnd West und Ost in den vier Quadranten.

Es folgt daraus:

Zwei weiche Eisenmassen, von denen die eine nur an einer Seite des Kompasses liegt, die andere unter oder über

dem Kompass, denselben zu beiden Seiten überragt, wirken sowohl auf die Richtkraft als auch auf die Ablenkung der Kompassnadel nur mit der Differenz ihrer Kräfte.

Der Einfluss des unter oder über dem Kompass liegenden mit seinen Enden denselben überragenden weichen Eisens kann also durch den Einfluss von seitwärts des Kompasses liegendem Eisen unter Umständen vollständig unmerklich gemacht werden, worauf die Art der Kompensirung der quadrantalen Deviation mit eisernen Kugeln resp. Cylindern und die Vermehrung der Richtkraft durch sogenannte Intensitätsmultiplikatoren beruht.

Die vorstehende Darlegung fasst nur die horizontale magnetische Induktion in weichem Eisen ins Auge. Die Richtung der Erdkraft ist aber zum Horizont geneigt, in Deutschland ca. 68° , und in dieser Richtung geht die Induktion in der Vertikalebene des magnetischen Meridians vor sich. Wie bei der direkten Einwirkung des Erdmagnetismus auf die Magnetnadel muss nun auch die Induktionswirkung in eine horizontale und eine vertikale Komponente zerlegt werden. Die horizontale Induktion entspricht dann der durch Fig. 22 und 24 erläuterten, die vertikale dagegen lässt in dem weichen Eisen einen Magneten entstehen mit einer Axe in vertikaler Richtung. Wenn die vorher horizontal dargestellte Eisenstange vertikal gedacht wird und sich im Kreise in der Horizontalebene um den Kompass herumbewegt, so ist die Wirkung offenbar ganz dieselbe wie die eines Stahlmagneten, welche in § 26 erörtert worden ist.*)

*) Zu den vorstehenden Betrachtungen über die Kombination der Wirkung von Stahlmagneten oder weichem Eisen mit der Wirkung des Erdmagnetismus wird noch die Bemerkung am Platze sein, dass in keinem Falle das magnetische Moment der Kompassnadel selbst ins Spiel kommt. Die Wirkungen werden also bei einer Nadel von sehr grossem magnetischen Moment ganz ebenso zur Beobachtung gelangen, d. h. die Ablenkungswinkel werden ganz dieselben sein, wie bei einer mit sehr geringer Kraft begabten. Dies folgt daraus, dass, wenn die Grösse der Ablenkung der Nadel nach den erörterten Gesetzen allein abhängig ist von dem Verhältniss, mit welchem die magnetische Kraft der Erde zu denen des Eisens im Schiffe auf die Nadel wirkt, dieses Verhältniss von dem magnetischen Moment der Nadel gar nicht berührt werden kann. Es ist wichtig, dies zu beachten, weil daraus für die Praxis folgt, dass ein Auswechseln der Kompassrosen bei einem Kompass durchaus keine Aenderung der Deviation herbeiführen kann, soweit dabei nicht etwa in Betracht kommt, dass bei Verminderung der Richtkraft leicht eine schwache Nadel, welche unter normalen Verhältnissen

§ 28. Der durch die Wirkung des Erdmagnetismus in den Eisentheilen des Schiffes — und, wenn das Schiff ein eisernes ist, auch in dem Schiffskörper, diesen als ein Ganzes betrachtet, — inducirte Magnetismus ist abhängig von der Beschaffenheit des Eisens, von dessen Anordnung im Schiffe und von den äusseren Einflüssen, welche auf das Eisen eingewirkt haben, resp. einwirken. In weichem Eisen wird mehr Magnetismus inducirt als in hartem, derselbe bleibt in diesem aber länger haften als in jenem. Starke Erschütterungen, Hämmern und Nieten, während das Schiff in einer Lage unverändert bleibt, bewirken, dass der inducirte Magnetismus in manchen Eisentheilen sich dem permanenten Magnetismus nähert, und namentlich wird der eiserne Schiffskörper auf dem Stapel zu einem grossen Magneten, dessen magnetische Axe mit der Richtung der erdmagnetischen Kraft während des Baues meistens nahe zusammenfällt.

Alle diese Einflüsse erzeugen die Deviation des Kompasses, deren genaue Kenntniss von grösster Wichtigkeit ist und deren Bestimmung daher zunächst besprochen werden soll.

§ 29. Die Bestimmung der Deviation.

Um eine vollständige Deviationstabelle entwerfen zu können, ist es nothwendig, das Schiff auf einer Anzahl — mindestens acht — um den Kompass möglichst gleich vertheilter Striche anzulegen. Die Bestimmung der Deviation auf einem anliegenden Kompassstrich (Kurs) kann auf verschiedene Weise geschehen:

1. Durch Peilung eines entfernten terrestrischen Objectes mittelst eines Peilkompasses an Bord oder mit Hülfe einer Peilscheibe.
2. Durch gegenseitige Peilung dieses Kompasses mit einem am Lande aufgestellten, durch keine ablenkende Kraft beeinflussten Kompass.
3. Durch Peilung von Himmelskörpern und Feststellung des Meridians mit Hülfe astronomischer Beobachtungen.

genügend funktioniren würde, nicht immer Kraft genug haben wird, um die Reibung auf der Pinne in gewünschter Weise zu überwinden (cfr. auch § 23). Bei Auswechslung von Rosen an Bord ist ferner darauf Rücksicht zu nehmen, dass auch die Höhenlage der Magnete dieselbe bleibt, namentlich beim Vorhandensein von Kompensationsmagneten.

In allen Fällen handelt es sich darum, eine magnetische Richtung, d. h. einen Winkel zum magnetischen Meridian des Orts, zu bestimmen und mit dieser die Richtung, welche bei der Kompassbeobachtung des betreffenden Schiffskompasses abgelesen wird, zu vergleichen.

Anmerkung: Es wird dem Ungeübten oft schwer, die Deviation schnell richtig zu benennen, ob Ost oder West; ferner auch der Uebergang von Kompaskurs zu korrigirtem (magnetischem) Kurs und umgekehrt. Diese Schwierigkeit wird durch folgende Regel leicht überwunden. Man bezeichnet Ost-Deviation positiv (+), West-Deviation negativ (—) und zählt auf der Kompassrose die Himmelsgegenden von 0° bis 360° von Nord über Ost, Süd, West; dann ist in allen Fällen unter Berücksichtigung der Vorzeichen: Kompasspeilung oder Kompaskurs (ζ') plus Deviation (δ) des anliegenden Kurses gleich magnetischer Peilung oder magnetischem Kurs (ζ), also

$$\zeta' + \delta = \zeta; \quad \zeta - \delta = \zeta'; \quad \zeta - \zeta' = \delta.$$

Wenn man sich an diese Art, die Sache zu betrachten, gewöhnt, so ist man am sichersten vor Verwechslung geschützt. Die Kurse und Deviation in Graden auszudrücken, ist durchweg zu empfehlen. Vergl. auch § 43.

1. Diejenige Methode, welche sich am meisten zur Bestimmung der Deviation empfiehlt, ist die Methode vermittelt Peilung eines entfernten Objektes, namentlich wenn die magnetische Richtung des Objektes vorher bekannt ist. Diese Richtung wird am sichersten dadurch bestimmt, dass man auf einem von ablenkenden Einflüssen freien Platze am Lande einen Peilkompass in einer Linie mit dem Objekte und dem Bug des mit kurzer Kette vor Anker, resp. an einer Boje liegenden Schiffes aufstellt und die genaue magnetische Richtung dieser Peilungslinie bestimmt. Lässt sich auf diese Weise die Richtungslinie nicht feststellen, so kann bei auf der ganzen Windrose gleichmässig vertheilten Peilungen und wenn keine konstante Deviation vorhanden ist, wie dies aus den weiter unten gegebenen Ausführungen hervorgeht, das Mittel aller Peilungen als die magnetische Richtung angesehen werden. Das Objekt muss so weit entfernt sein, dass die Richtungslinie zwischen demselben und dem Schiffskompass bei der Drehung des Schiffes als gleichbleibend angesehen werden kann. Um einen Fehler über 1° zu vermeiden, muss die Entfernung des Peilobjektes mindestens das 60fache von dem Halbmesser des Schiffsdrehungskreises betragen; 8 bis 10 Sm reicht unter allen Umständen hin.

Das Verfahren für die Deviationsbestimmung selbst (welches sich auf kleinen Schiffen und bei geringen Hilfsmitteln entsprechend modificirt) ist nun folgendes:

Bei jedem Kompass des Schiffes wird ein gehörig instruirter Beobachter postirt, welcher auf den Ruf des Leiters der Beobachtung am Regelkompass zu hören hat. Dieser dirigirt das Herumholen des Schiffes; die Drehung des Schiffes hat möglichst langsam und kontinuierlich zu erfolgen. Ein zweiter Beobachter am Regelkompass behält das Peilobjekt fortwährend im Diopter. Sobald das Schiff einen Kompassstrich nach dem Regelkompass sicher anliegt, wird ein Zeichen gemacht oder besser die Nummer der Beobachtung gerufen und zugleich die Peilung des Objectes am Regelkompass und die Kurse auf diesem und jedem andern Kompass abgelesen und mit der Nummer der Beobachtung notirt.

Die Zusammenstellung der Beobachtungen geschieht nach dem auf Seite 56 u. 57 abgedruckten Schema, von dem die Kolumnen 2, 3, 4 schon während des Schwingens direkt eingetragen und reducirt werden (falls die magnetische Richtung vorher bekannt war).

2. Die Methode der gegenseitigen Peilungen bietet ebenfalls ein gutes Mittel zur Deviationsbestimmung. Sie hat den Vortheil, dass sie nicht wie die vorhergehende klares Wetter erfordert, dagegen leidet sie an dem Uebelstande, dass die Feststellung der Deviation des Regelkompasses zwei Beobachtern anvertraut werden muss und davon abhängt, dass die gegenseitigen Peilungen genau gleichzeitig stattfinden (durch Niederholen einer vorher aufgehisssten Flagge markirt). Aus diesen Gründen können Irrthümer bei dieser Methode leichter wie bei der ersten eintreten. Das Verfahren ist folgendes: Ein Beobachter wird mit einem Kompass an Land geschickt, wo er sich an einem eisenfreien Orte aufstellt und nöthigenfalls seinen Aufstellungsort durch eine Stange oder Flagge noch schärfer kennzeichnet. An Bord wird wie bei der ersten Methode verfahren und nur ausserdem noch beim jedesmaligen Festhalten des Schiffes auf einem Kompassstrich eine Signalfolge am Topp oder an einer Raa gedippt und die Uhrzeit notirt. Beim jedesmaligen Dippen der Flagge wird am Lande der Regelkompass gepeilt und die Uhrzeit mit dieser Peilung notirt. Die beiden in Gebrauch befindlichen Uhren müssen vorher verglichen sein. Die Beobachtungen werden nach dem Schema auf Seite 58 u. 59 zusammengestellt.

Ist die Signalfolge in Folge vorliegender Schiffe oder anderer Objecte von Land aus nicht immer gut zu sehen, so genügt es, wenn man von Bord aus dem Beobachter an Land

ein Anfangs- und Endsignal giebt, und beide Beobachter in der Zwischenzeit beliebig peilen, die Uhrzeiten notiren und die Peilungen von Land auf die Peilungszeiten von Bord reducirt werden.

3. Sind Peilscheiben auf dem Schiffe vorhanden, welche genau aufgestellt sind und eine genaue Ablesung gestatten, so können diese (etwa an jeder Seite der Brücke eine) mit Vortheil zur Bestimmung der Deviation angewendet werden, und es wird dann, sobald das Schiff einen vollen Strich nach dem Regelkompas anliegt, zugleich die Peilung des Landobjektes resp. des Kompasses an Land per Peilscheibe notirt. Diese Methode bietet in Bezug auf Ruhe und Sicherheit der Ausführung einigen Vortheil. Bei der Benutzung von Peilscheiben kann man, wie das Beispiel auf Seite 62 zeigt, dasselbe Formular vortheilhaft verwenden, wenn man die Peilung per Peilscheibe in die zweite Rubrik und die Umwandlung in magnetische Peilung in die Rubrik: „Peilung eines entfernten Objektes etc.“ einträgt.*)

4. Mit Hülfe astronomischer Beobachtungen kann die Deviation ebenfalls sehr genau festgestellt werden, hierbei ist es aber nothwendig, die Missweisung am Orte zu kennen. Dieselbe lässt sich aus einer Variationskarte mit genügender Genauigkeit entnehmen. Man bedient sich gegenwärtig allgemein für diese Beobachtungen der Azimuth-Tafeln, deren Einrichtung in den Tafeln selbst beschrieben ist. Man bedarf zur Benutzung derselben**) der geographischen Breite, der wahren Zeit und der Deklination der Sonne resp. bei Sternen des Sternstundenwinkels (Rektascension des Meridians minus Rektascension des Sternes) und der Deklination des Sternes. Die Tafeln können übrigens in der Regel nicht für Gestirne von mehr als 25° Deklination benutzt werden. Die genauesten Azimuth-Tafeln sind gegenwärtig die englischen

*) Wenn ein Schiff längere Zeit auf Rhede vor Anker liegt, und es ist ein acht oder mehr Seemeilen entferntes Objekt, dessen Lage genau bekannt ist, sichtbar, so wird es dem Navigationsoffizier leicht möglich werden, bei den verschiedenen Lagen des Schiffes in Folge der Aenderung von Wind und Strom, allmählich die Deviation des Kompasses zu bestimmen, ohne die Kräfte der Schiffsbesatzung zum Schwingen in Anspruch zu nehmen. Es ist dafür natürlich erforderlich, dass keine von den beim selbstthätigen Schwingen des Schiffes sich bietenden Gelegenheiten zur Peilung des betreffenden Objektes unbenutzt gelassen wird.

**) Siehe Theil II, Kapitel XI.

von Burdwood für 30° bis 60° Breite und von Davis für 0° bis 30° Breite. Weniger genau, aber allgemeiner bekannt, sind die Tafeln von Labrosse.

Die Peilung des Sonnenbildes gewährt eine sehr scharfe Einstellung und ist, trotzdem man den Diopterfaden nur schätzungsweise auf die Mitte der Sonnenscheibe einstellt, genauer als die Peilung eines terrestrischen Objekts. Es ist diese Methode vor Anker wie in Bewegung gleich anwendbar, und wenn man von dem geringen Zeitaufwand der Berechnung und der Möglichkeit, Fehler bei der Reduktion zu begeben, absieht, ist sie für die Erzielung genauer Resultate die günstigste, namentlich wenn die Sonne nicht höher steht als ca. 40° .

Von der grössten Wichtigkeit ist aber die Bestimmung der Deviation mittelst astronomischer Peilungen für die Kontrolle der Deviationstabellen. Sie ermöglicht zu jeder Zeit bei jeder Kursänderung, sobald nur die Sonne oder ein peilbarer Stern zu sehen ist, die Deviation zu kontrolliren, und ist dadurch für die Navigation eiserner Schiffe auf längeren Reisen ein unentbehrliches Hülfsmittel geworden.

Unter den Sternen ist vor allen der Polarstern als Peilobjekt für die Kontrolle der Deviation des anliegenden Courses besonders geeignet, da derselbe sich nicht mehr als ca. $2\frac{1}{2}$ Grad aus dem Meridian entfernt, daher seinen Stand so langsam ändert, dass ein Fehler in der Zeit ganz vernachlässigt werden kann. (Siehe Tafel II des Anhangs.)

Auf ganz niederen Breiten ist die Sonne in erhöhtem Maasse ein geeignetes Peilobjekt, um danach die Deviation zu bestimmen, wegen der langsamen Aenderung des Azimuths in der Nähe des ersten Vertikals.

Deviations- Sr. Maj. Schiff

Datum: 16. Mai 1876.

Ort: Rhede Wilhelmshaven.

Peilobjekt: Stollhamm-Kirche.

Schiff liegt an nach Regel- kompass	Peilung eines entfernten Objektes	Magnetische Peilung des Objektes	Deviation des Regel- kompasses	Korrigirter magnetischer Kurs	Schiff liegt an nach St. B. Steuer- kompass
N	S 67° 5' O	S 68° 20' O	- 1° 15'	N 1° 15' W	N 10° 30' W
NzO	S 68° 0' O		- 0° 20'	N 10° 55' O	N 0° 15' O
NNO	S 69° 30' O		+ 1° 10'	N 23° 40' O	N 11° 20' O
NOzN	S 72° 20' O		+ 4° 0'	N 37° 45' O	N 23° 55' O
NO	S 72° 35' O		+ 4° 15'	N 49° 15' O	N 35° 55' O
NOzO	S 73° 0' O		+ 4° 40'	N 60° 55' O	N 49° 35' O
ONO	S 72° 40' O		+ 4° 20'	N 71° 50' O	N 62° 50' O
OzN	S 72° 0' O		+ 3° 40'	N 82° 25' O	N 75° 25' O
O	S 70° 50' O		+ 2° 30'	S 87° 30' O	N 88° 20' O
OzS	S 69° 40' O		+ 1° 20'	S 77° 25' O	S 78° 25' O
OSO	S 69° 0' O		+ 0° 40'	S 66° 50' O	S 64° 40' O
SOzO	S 67° 10' O		- 1° 10'	S 57° 25' O	S 52° 55' O
SO	S 66° 35' O		- 1° 45'	S 46° 45' O	S 39° 55' O
SOzS	S 66° 35' O		- 1° 45'	S 35° 30' O	S 28° 10' O
SSO	S 66° 35' O		- 1° 45'	S 24° 15' O	S 17° 15' O
SzO	S 67° 20' O		- 1° 0'	S 12° 15' O	S 6° 15' O
S	S 67° 20' O		- 1° 0'	S 1° 0' O	S 3° 30' W
SzW	S 69° 5' O		+ 0° 45'	S 12° 0' W	S 14° 50' W
SSW	S 69° 50' O		+ 1° 30'	S 24° 0' W	S 25° 30' W
SWzS	S 70° 0' O		+ 1° 40'	S 35° 25' W	S 36° 25' W
SW	S 69° 35' O		+ 1° 15'	S 46° 15' W	S 46° 45' W
SWzW	S 69° 10' O		+ 0° 50'	S 57° 5' W	S 58° 15' W
WSW	S 68° 30' O		+ 0° 10'	S 67° 40' W	S 70° 0' W
WzS	S 67° 40' O		- 0° 40'	S 78° 5' W	S 81° 55' W
W	S 66° 20' O		- 2° 0'	S 88° 0' W	N 87° 0' W
WzN	S 65° 30' O		- 2° 50'	N 81° 35' W	N 75° 35' W
WNW	S 64° 0' O		- 4° 20'	N 71° 50' W	N 65° 40' W
NWzW	S 62° 50' O		- 5° 30'	N 61° 45' W	N 56° 5' W
NW	S 62° 40' O		- 5° 40'	N 50° 40' W	N 46° 30' W
NWzN	S 63° 0' O		- 5° 20'	N 39° 5' W	N 36° 5' W
NNW	S 63° 0' O		- 5° 20'	N 27° 50' W	N 28° 50' W
NzW	S 65° 0' O		- 3° 20'	N 14° 35' W	N 20° 15' W

Bestimmung

„Kaiser“.

Deviation des St. B. Steuer- kompasses	Schiff liegt an nach B. B. Steuer- kompass	Deviation des B. B. Steuer- kompasses	Schiff liegt nach vorderem Peilkompass	Deviation des vorderen Peil- kompasses
+ 9° 15'	N 15° 5' O	— 16° 20'	N 4° 15' O	— 5° 30'
+ 10° 40'	N 24° 35' O	— 13° 40'	N 20° 35' O	— 9° 40'
+ 12° 20'	N 33° 0' O	— 9° 20'	N 39° 40' O	— 16° 0'
+ 13° 50'	N 42° 5' O	— 4° 20'	N 58° 15' O	— 20° 30'
+ 13° 20'	N 48° 15' O	+ 1° 0'	N 74° 15' O	— 25° 0'
+ 11° 20'	N 57° 55' O	+ 3° 0'	N 88° 55' O	— 28° 0'
+ 9° 0'	N 67° 20' O	+ 4° 30'	S 77° 10' O	— 31° 0'
+ 7° 0'	N 77° 25' O	+ 5° 0'	S 65° 5' O	— 32° 30'
+ 4° 10'	N 87° 30' O	+ 5° 0'	S 53° 30' O	— 34° 0'
+ 1° 0'	S 81° 45' O	+ 4° 20'	S 44° 55' O	— 32° 30'
— 2° 10'	S 70° 0' O	+ 3° 10'	S 33° 50' O	— 33° 0'
— 4° 30'	S 59° 15' O	+ 1° 50'	S 25° 55' O	— 31° 30'
— 6° 50'	S 48° 35' O	+ 1° 50'	S 15° 45' O	— 31° 0'
— 7° 20'	S 37° 0' O	+ 1° 30'	S 11° 0' O	— 24° 30'
— 7° 0'	S 26° 35' O	+ 2° 20'	S 6° 15' O	— 18° 0'
— 6° 0'	S 16° 15' O	+ 4° 0'	S 4° 45' O	— 7° 30'
— 4° 30'	S 6° 0' O	+ 5° 0'	S 4° 0' O	+ 3° 0'
— 2° 50'	S 5° 30' W	+ 6° 30'	S 1° 0' O	+ 13° 30'
— 1° 30'	S 17° 0' W	+ 7° 0'	Süd	+ 24° 0'
— 1° 0'	S 26° 35' W	+ 8° 50'	S 2° 55' W	+ 32° 30'
— 0° 30'	S 37° 25' W	+ 8° 50'	S 5° 15' W	+ 41° 0'
— 1° 10'	S 49° 25' W	+ 7° 40'	S 16° 5' W	+ 41° 0'
— 2° 40'	S 62° 50' W	+ 4° 50'	S 26° 10' W	+ 41° 30'
— 3° 50'	S 77° 5' W	+ 1° 0'	S 38° 5' W	+ 40° 0'
— 5° 0'	N 88° 0' W	— 4° 0'	S 50° 0' W	+ 38° 0'
— 6° 0'	N 73° 45' W	— 7° 50'	S 64° 25' W	+ 34° 0'
— 6° 10'	N 60° 20' W	— 11° 30'	S 78° 10' W	+ 30° 0'
— 5° 40'	N 46° 45' W	— 15° 0'	N 85° 15' W	+ 23° 30'
— 4° 10'	N 32° 50' W	— 17° 50'	N 67° 40' W	+ 17° 0'
— 3° 0'	N 19° 35' W	— 19° 30'	N 50° 5' W	+ 11° 0'
+ 1° 0'	N 7° 30' W	— 20° 20'	N 35° 50' W	+ 8° 0'
+ 5° 40'	N 4° 55' O	— 19° 30'	N 21° 15' W	+ 6° 40'

Deviations-

Sr. Maj. Aviso

Datum: 17. Juni 1875.

Ort: Rhede Wilhelmshaven.

Peilobjekt: Kompas an Land.

Uhrzeit			Schiff liegt an nach Regelkompas	Peilung des Kompasses an Land	Umgekehrte Peilung an Land
h	m	s			
12	6	6	N	N 36° 20' W	N 38° 40' W
12	7	0	NzO	N 35° 0' W	N 37° 0' W
12	8	3	NNO	N 33° 0' W	N 34° 50' W
12	9	5	NOzN	N 30° 10' W	N 34° 10' W
12	10	4	NO	N 28° 50' W	N 33° 0' W
12	11	6	NOzO	N 26° 40' W	N 32° 10' W
12	12	6	ONO	N 24° 40' W	N 31° 35' W
12	13	5	OzN	N 24° 40' W	N 31° 20' W
12	14	5	O	N 23° 10' W	N 31° 35' W
12	15	7	OzS	N 23° 0' W	N 31° 10' W
12	16	2	OSO	N 24° 0' W	N 33° 0' W
12	17	3	SOzO	N 25° 50' W	N 34° 10' W
12	17	9	SO	N 28° 0' W	N 35° 40' W
—	—	—	SOzS	—	—
11	40	0	SSO	N 35° 0' W	N 38° 50' W
11	41	0	SzO	N 39° 0' W	N 39° 20' W
11	43	7	S	N 41° 20' W	N 39° 45' W
11	44	7	SzW	—	—
11	45	9	SSW	N 48° 20' W	N 41° 10' W
11	47	6	SWzS	N 50° 40' W	N 41° 40' W
11	49	3	SW	N 52° 0' W	N 41° 30' W
11	51	2	SWzW	N 51° 20' W	N 41° 20' W
11	52	7	WSW	N 51° 10' W	N 41° 15' W
11	53	9	WzS	N 50° 0' W	N 41° 0' W
11	54	9	W	N 48° 20' W	N 40° 40' W
11	56	2	WzN	N 47° 10' W	N 40° 10' W
11	57	7	WNW	N 45° 40' W	N 40° 10' W
11	59	9	NWzW	N 44° 10' W	N 40° 5' W
12	1	4	NW	N 42° 0' W	N 39° 50' W
12	2	8	NWzN	N 40° 0' W	N 39° 40' W
12	4	2	NNW	N 38° 20' W	N 39° 40' W
12	5	6	NzW	N 37° 30' W	N 39° 20' W

Bestimmung „Loreley“.

Deviation des Regelkompasses	Korrigirter magnetischer Kurs	Schiff liegt an nach Steuerkompas	Deviation des Steuerkompasses
2° 20' W	N 2° 20' W	N 13° 0' O	15° 20' W
2° 0' W	N 9° 15' O	N 22° 45' O	13° 30' W
1° 50' W	N 20° 40' O	N 30° 56' O	10° 16' W
4° 0' W	N 29° 45' O	N 40° 50' O	11° 5' W
4° 10' W	N 40° 50' O	N 49° 0' O	8° 10' W
5° 30' W	N 50° 45' O	N 57° 55' O	7° 10' W
6° 55' W	N 60° 35' O	N 67° 35' O	7° 0' W
6° 40' W	N 72° 5' O	N 75° 56' O	3° 51' W
8° 25' W	N 81° 35' O	N 85° 50' O	4° 15' W
8° 10' W	S 86° 55' O	S 84° 25' O	2° 30' W
9° 0' W	S 76° 30' O	S 75° 30' O	1° 0' W
8° 20' W	S 64° 35' O	S 64° 41' O	0° 6' O
7° 40' W	S 52° 40' O	S 53° 20' O	0° 40' O
—	—	—	—
3° 50' W	S 26° 20' O	S 33° 45' O	7° 25' O
0° 20' W	S 11° 35' O	S 20° 35' O	9° 0' O
1° 35' O	S 1° 35' O	S 12° 39' O	11° 4' O
—	—	—	—
7° 10' O	S 29° 40' W	S 11° 15' W	18° 25' O
9° 0' O	S 42° 45' W	S 22° 30' W	20° 15' O
10° 30' O	S 55° 30' W	S 35° 0' W	20° 30' O
10° 0' O	S 66° 15' W	S 49° 0' W	17° 15' O
9° 55' O	S 77° 25' W	S 64° 40' W	12° 45' O
9° 0' O	S 87° 45' W	S 81° 34' W	6° 11' O
7° 40' O	N 82° 20' W	—	—
7° 0' O	N 71° 45' W	N 60° 30' W	11° 15' W
5° 30' O	N 62° 0' W	N 47° 48' W	14° 12' W
4° 5' O	N 52° 10' W	N 35° 0' W	17° 10' W
2° 10' O	N 42° 50' W	N 24° 0' W	18° 50' W
0° 20' O	N 33° 25' W	N 12° 40' W	20° 45' W
1° 20' W	N 23° 50' W	N 5° 38' W	18° 12' W
1° 50' W	N 13° 5' W	N 4° 0' O	17° 5' W

Deviations-

Sr. Maj. Schiff

Datum: 19. Mai 1876.

Ort: Rhede Wilhelmshaven.

Peilobjekt: ⊙

Uhrzeit			Wahre Ortszeit (nur auszufüllen bei Azimuth-Beobachtungen)	Schiff liegt an nach Regelkompass	Peilung eines entfernten Objekts	Magnetische Peilung des Objekts	Deviation des Regelkompasses	Korrigirter magnetischer Kurs		
h	m	s	h	m	s					
3	59	3	4	2	47	N	N 81,7° W	N 86,5° W	- 4,8°	N 4,8° W
4	0	51	4	35		NzO	N 84,3° W	N 86,1° W	- 1,8°	N 9,4° O
	2	35	6	19		NNO	N 86,3° W	N 85,7° W	+ 0,6°	N 23,1° O
	4	2	7	46		NOzN	N 88,4° W	N 85,3° W	+ 3,1°	N 36,9° O
	5	33	9	17		NO	S 89,9° W	N 85,1° W	+ 5,0°	N 50,0° O
	7	5	10	49		NOzO	S 89,3° W	N 84,9° W	+ 5,8°	N 62,0° O
	8	45	12	29		ONO	S 86,9° W	N 84,5° W	+ 8,6°	N 76,1° O
	10	36	14	20		OzN	S 87,6° W	N 84,1° W	+ 8,3°	N 87,0° O
	12	34	16	18		O	S 88,1° W	N 83,6° W	+ 8,3°	S 81,7° O
	14	31	18	15		OzS	S 89,1° W	N 83,2° W	+ 7,7°	S 71,0° O
	16	30	20	14		OSO	N 89,7° W	N 82,7° W	+ 7,0°	S 60,5° O
	18	20	22	4		SOzO	N 89,1° W	N 82,3° W	+ 6,8°	S 49,4° O
	19	51	23	35		SO	N 88,7° W	N 81,9° W	+ 6,8°	S 38,2° O
	21	14	24	58		SOzS	N 86,5° W	N 81,7° W	+ 4,8°	S 29,0° O
	22	30	26	14		SSO	N 87,5° W	N 81,5° W	+ 6,0°	S 16,5° O
	23	56	27	40		SzO	N 86,8° W	N 81,0° W	+ 5,8°	S 5,4° O
	25	59	29	43		S	N 85,3° W	N 80,7° W	+ 4,6°	S 4,6° W
	27	9	30	53		SzW	N 84,4° W	N 80,4° W	+ 4,0°	S 15,2° W
	28	28	32	12		SSW	N 84,8° W	N 80,2° W	+ 4,6°	S 27,1° W
	29	2	32	46		SWzS	N 83,3° W	N 80,0° W	+ 3,3°	S 37,0° W
3	36	44	3	40	28	SW	S 87,6° W	N 91,6° W	+ 0,8°	S 45,8° W
	38	42	42	26		SWzW	N 89,6° W	N 91,1° W	- 1,5°	S 54,7° W
	42	25	46	9		WSW	N 87,9° W	N 90,3° W	- 2,4°	S 65,1° W
	44	52	48	36		WzS	N 84,3° W	N 89,8° W	- 5,5°	S 73,3° W
	46	44	50	28		W	N 82,0° W	N 89,3° W	- 7,3°	S 82,7° W
	—	—	—	—		WzN	—	—	—	—
	50	46	54	30		WNW	N 76,6° W	N 88,4° W	- 11,8°	N 79,3° W
	51	46	55	30		NWzW	N 76,2° W	N 88,0° W	- 11,8°	N 68,0° W
	52	55	56	39		NW	N 75,7° W	N 88,0° W	- 12,3°	N 57,3° W
	54	16	58	0		NWzN	N 76,3° W	N 87,5° W	- 11,2°	N 45,0° W
	55	59	59	43		NNW	N 77,3° W	N 87,1° W	- 9,8°	N 32,3° W
	57	29	4	1	13	NzW	N 80,0° W	N 86,8° W	- 6,8°	N 18,0° W

Bestimmung

„Deutschland“.

Schiff liegt an nach St. B. Steuer- kompas	Deviation des St. B. Steuer- kompasses	Schiff liegt an nach B. B. Steuer- kompas	Deviation des B. B. Steuer- kompasses	Schiff liegt an nach vorderem Peil- kompas	Deviation des vorderen Peil- kompasses
N 6,8° W	+ 2,0°	N 3,5° O	— 8,3°	N 12,5° W	+ 7,7°
N 4,0° O	+ 5,4°	N 13,0° O	— 3,6°	N 19,0° O	— 9,6°
N 16,4° O	+ 6,7°	N 23,5° O	— 0,4°	N 46,5° O	— 23,4°
N 27,6° O	+ 9,3°	N 32,0° O	+ 4,9°	N 71,0° O	— 34,1°
N 41,3° O	+ 8,7°	N 43,0° O	+ 7,0°	S 89,0° O	— 41,0°
N 55,6° O	+ 6,4°	N 54,0° O	+ 8,0°	S 74,5° O	— 43,5°
N 67,0° O	+ 9,1°	N 64,5° O	+ 11,6°	S 63,5° O	— 40,4°
N 78,9° O	+ 8,1°	N 76,0° O	+ 11,0°	S 53,0° O	— 40,0°
S 87,5° O	+ 5,8°	S 89,7° O	+ 8,0°	S 45,0° O	— 36,7°
S 75,8° O	+ 4,8°	S 78,5° O	+ 7,5°	S 38,0° O	— 33,0°
S 63,0° O	+ 2,5°	S 66,0° O	+ 5,5°	S 31,0° O	— 29,5°
S 52,2° O	+ 2,8°	S 52,5° O	+ 3,1°	S 25,0° O	— 24,4°
S 39,9° O	+ 1,7°	S 39,0° O	+ 0,8°	S 18,7° O	— 19,5°
S 30,0° O	+ 1,0°	S 28,0° O	— 1,0°	S 13,0° O	— 16,0°
S 19,8° O	+ 3,3°	S 16,5° O	— 0,0°	S 7,0° O	— 9,5°
S 7,1° O	+ 1,7°	S 4,0° O	— 1,4°	S 1,8° O	— 3,6°
S 3,0° W	+ 1,6°	S 6,5° W	— 1,9°	S 3,8° W	+ 0,8°
S 13,5° W	+ 1,7°	S 17,0° W	— 1,8°	S 8,8° W	+ 6,4°
S 24,6° W	+ 2,5°	S 28,9° W	— 1,8°	S 14,0° W	+ 13,1°
S 33,2° W	+ 3,8°	S 39,0° W	— 2,0°	S 18,5° W	+ 18,5°
S 42,5° W	+ 3,3°	S 47,5° W	— 1,7°	S 24,0° W	+ 21,8°
S 53,9° W	+ 0,8°	S 56,5° W	— 1,8°	S 29,5° W	+ 25,2°
S 63,6° W	+ 1,5°	S 67,0° W	— 1,9°	S 34,0° W	+ 31,1°
S 75,2° W	— 1,9°	S 78,5° W	— 5,2°	S 42,0° W	+ 31,3°
S 83,1° W	— 0,4°	N 89,5° W	— 7,8°	S 47,5° W	+ 35,2°
N 84,1° W	—	N 76,0° W	—	S 56,0° W	—
N 73,8° W	— 5,5°	N 63,5° W	— 15,8°	S 62,7° W	+ 38,0°
N 63,8° W	— 4,2°	N 52,0° W	— 16,0°	S 72,0° W	+ 40,0°
N 50,7° W	— 6,6°	N 40,0° W	— 17,3°	S 82,5° W	+ 40,2°
N 40,0° W	— 5,0°	N 28,5° W	— 16,5°	N 82,5° W	+ 37,5°
N 28,2° W	— 4,1°	N 18,0° W	— 14,3°	N 64,5° W	+ 32,2°
N 16,9° W	— 1,1°	N 7,0° W	— 11,0°	N 36,0° W	+ 18,0°

Deviations - Bestimmung

Sr. Maj. Schiff „Luise“.

Datum: Januar 1875.

Ort: Hafenbassin von Wilhelmshaven.

Peilobjekt: Kompas an Land.

Uhrzeit	Peilung per Peilscheibe	Schiff liegt an nach Regel- kompas	Peilung des Kompasses an Land	Umgekehrte Peilung an Land	Deviation des Regel- kompasses
h m					
11 36,8	140,7° St. B.	N	S 39,3° O	S 46,5° O	— 7,2°
11 39,9	123,3° St. B.	NzO	S 45,5° O	S 46,7° O	— 1,2°
11 42,5	108,9° St. B.	NNO	S 48,6° O	S 46,5° O	+ 2,1°
11 44,2	93,7° St. B.	NOzN	S 52,5° O	S 46,0° O	+ 6,5°
11 47,4	80,7° St. B.	NO	S 54,3° O	S 45,8° O	+ 8,5°
11 48,6	67,6° St. B.	NOzO	S 56,2° O	S 45,8° O	+ 10,4°
11 49,7	54,5° St. B.	ONO	S 58,0° O	S 46,0° O	+ 12,0°
11 50,8	42,6° St. B.	OzN	S 58,7° O	S 46,2° O	+ 12,5°
11 51,8	30,5° St. B.	O	S 59,5° O	S 46,4° O	+ 13,1°
11 53,2	19,5° St. B.	OzS	S 59,3° O	S 47,2° O	+ 12,1°
12 14,0	12,0° St. B.	OSO	S 55,5° O	S 44,5° O	+ 11,0°
—	—	SOzO	—	—	—
12 15,0	8,5° B. B.	SO	S 53,5° O	S 43,4° O	+ 10,1°
12 15,4	16,7° B. B.	SOzS	S 50,5° O	S 43,3° O	+ 7,2°
12 15,9	27,5° B. B.	SSO	S 50,0° O	S 43,0° O	+ 7,0°
12 16,4	35,8° B. B.	SzO	S 47,0° O	S 42,9° O	+ 4,1°
12 17,1	45,0° B. B.	S	S 45,0° O	S 42,5° O	+ 2,5°
12 18,8	53,5° B. B.	SzW	S 42,3° O	S 41,8° O	+ 0,5°
12 18,9	63,0° B. B.	SSW	S 40,5° O	S 41,3° O	— 0,8°
12 20,9	70,5° B. B.	SWzS	S 36,7° O	S 39,3° O	— 2,6°
12 22,0	77,5° B. B.	SW	S 32,5° O	S 37,3° O	— 4,8°
12 23,2	88,3° B. B.	SWzW	S 32,0° O	S 38,9° O	— 6,9°
12 24,6	98,5° B. B.	WSW	S 31,0° O	S 40,0° O	— 9,0°
12 27,0	108,8° B. B.	WzS	S 30,0° O	S 41,3° O	— 11,3°
12 30,1	120,0° B. B.	W	S 30,0° O	S 43,2° O	— 13,2°
12 32,3	130,7° B. B.	WzN	S 29,5° O	S 44,8° O	— 15,3°
12 35,0	141,8° B. B.	WNW	S 29,3° O	S 45,5° O	— 16,2°
12 36,3	153,0° B. B.	NWzW	S 29,2° O	S 45,5° O	— 16,3°
12 38,5	165,0° B. B.	NW	S 30,0° O	S 45,0° O	— 15,0°
12 40,6	178,2° B. B.	NWzN	S 32,0° O	S 46,0° O	— 14,0°
12 43,3	167,0° St. B.	NNW	S 35,5° O	S 47,5° O	— 12,0°
11 31,3	154,7° St. B.	NzW	S 36,5° O	S 46,3° O	— 9,8°

§ 30. Deviations-Kurven und Tabellen.

Die graphische Darstellung der Deviation*) bildet ein wichtiges Hilfsmittel zur Verwerthung der angestellten Deviationsbeobachtungen. Indem man eine gerade Linie als die abgewinkelte Peripherie einer Kompassrose annimmt und dieselbe von 0° bis 360° theilt, erhält man die Abscissenaxe eines Koordinatensystems, dessen Ordinatenaxe die Scala für die Deviationsbeträge (Ostdeviation positiv, Westdeviation negativ) bildet. Man erhält so mit den Koordinaten Kurs und Deviation eine fortlaufende Kurve, welche ein anschauliches Bild von der Deviation des Kompasses giebt. Eine solche Kurve ermöglicht für jeden Grad der Kompassrose die Deviation zu entnehmen, die man aus den Tabellen direkt nur für die beobachteten Kurse erhalten kann. Sie giebt das Mittel, Beobachtungsfehler auszugleichen, indem man alle scharfen Uebergänge von Kurs zu Kurs als solche betrachtet und eine mittlere Kurve mit Hülfe der Punkte der Beobachtung auszieht. Etwa ausgefallene Beobachtungen werden auf diese Weise graphisch interpolirt. Es ist gleichgültig, ob die Beobachtungen genau auf volle Striche angestellt sind, da man, wenn die Kurve gezogen ist, aus dieser wieder die Deviation für jeden vollen Strich zu entnehmen vermag.

Eine ganz besonders bequeme Methode der Darstellung bildet das sogenannte Napiersche Diagramm. Es ist dies, wie Blatt I der am Schlusse beigefügten Darstellungen zeigt, ein Koordinatensystem, in welchem die Deviationsordinaten zu den Kursabscissen um 60° geneigt sind. Es sind nun zwei Ordinatenysteme so vereinigt, dass für die Abscissen als magnetische Kurse die ausgezogenen Ordinaten — nach links geneigt — und für dieselben Abscissen als Kompaskurse die punktirten Ordinaten — nach rechts geneigt — gelten. Auf diese Weise werden lauter gleichseitige Dreiecke gebildet, und da allgemein gilt: Kompaskurs plus Deviation gleich magnetischem Kurs, so ist sogleich klar, dass dieselbe Kurve für Kompaskurse und korrekte magnetische Kurse gelten muss. Man erhält so ein sehr bequemes Mittel, vom Kompaskurs auf den korrekten magnetischen Kurs und umgekehrt überzugehen. Von einem beliebigen Punkte der Deviationskurve gelangt man in der Richtung parallel den ausgezogenen Ordinaten zum korrekten magnetischen und in der Richtung

*) Ann. d. Hydr. 1878 S. 285.

parallel den punktirten Ordinaten zum Kompaskurs. Ausser dieser Anwendung des Napierschen Diagramms gewährt die graphische Darstellung auch eine gute Uebersicht über die Ursachen der einzelnen Theile der Deviation und leistet in dieser Hinsicht bei der Kompensation gute Dienste, wie sie auch das bequemste Mittel an die Hand giebt, aus der Deviations-Tabelle eine Steuer-Tabelle für den betreffenden Kompass herzustellen.

Wenn nämlich die Deviation für alle Kompassse nach einer der oben beschriebenen Methoden mit Hilfe des vorher gegebenen Schemas bestimmt ist, so wird für jeden Kompass eine Deviationskurve konstruirt, indem man die beobachtete Deviation, auf der Abscissenaxe gemessen, auf die punktirten Linien — und zwar Ost-Deviation rechts, West-Deviation links — abträgt und die erhaltenen Punkte zu einer Kurve verbindet. Aus dieser Deviationskurve kann man dann je zwei Tabellen ableiten, eine für Kompaskurse mit Angabe der Deviation auf diesen Kursen und eine für korrekt magnetische Kurse mit Umwandlung der Striche in Grade und Angabe der korrespondirenden Kompaskurse, wie die Steuer-Tabelle (auf S. 67) zeigt.

Wollte man eine solche dadurch herstellen, dass man einfach die Deviation für den betreffenden zu steuernden Kurs aus der Deviationstabelle entnimmt und mit umgekehrten Vorzeichen auf ihn anwendet, um den gesuchten Kompaskurs zu erhalten, so würde man damit einen Fehler begehen, der um so grösser sein würde, je grösser die Deviation ist und je stärker sie sich von Strich zu Strich ändert.

Hat man daher das Napiersche Diagramm nicht angewandt, so ist die Deviation für die magnetischen Kurse durch Interpolation nach den beiden nächstliegenden Kursen, für welche die Deviation bestimmt ist, und zwischen welchen der betreffende magnetische Kurs fällt, zu berechnen. Das Verfahren mag durch folgendes Beispiel erläutert werden.

Beispiel.

Für den vorderen Peilkompass S. M. S. „Deutschland“ soll zur Anfertigung der Steuer-Tabelle die Deviation für den magnetischen Kurs OSO berechnet werden. Nach den beobachteten Deviationen stellt man folgende Tabelle auf (dieselbe ist hier als Beispiel nur für einen Quadranten angegeben):

Kompaskurs		δ	Magnetischer Kurs
Ost	N 90° O	— 41°	N 49° O
OzS	S 78,6° O	— 42,8°	N 58,6° O
OSO	S 67,5° O	— 42,0°	N 70,5° O
SOzO	S 56,2° O	— 40,5°	N 83,3° O
SO	S 45° O	— 37°	S 82° O
SOzS	S 33,7° O	— 30,5°	S 64,2° O
SSO	S 22,5° O	— 23°	S 45,5° O
SzO	S 11,2° O	— 13,8°	S 25° O
Süd	S 0° O	— 2,3°	S 2,3° O

Der magnetische Kurs OSO = S 67,5° O liegt zwischen den magnetischen Kursen S 82° O und S 64,2° O der Tabelle, deren Deviationen gleich — 37° und — 30,5° sind.

$$\frac{82^\circ - 64,2^\circ}{37^\circ - 30,5^\circ} = \frac{67,5^\circ - 64,2^\circ}{x} \quad \text{oder} \quad 17,8^\circ : 6,5^\circ = 3,3^\circ : x$$

$$x = -1,2^\circ$$

Deviation bei S 64,2° O = — 30,5°

Deviation bei S 67,5° oder OSO = — 31,7°

Dem magnetischen Kurse OSO entspricht demnach eine Deviation von — 31,7° und ein zu steuernder Kurs von S 35,8° O.

Deviations-Tabelle

Sr. Maj. Schiff „Deutschland“.

Ort der Deviationsbestimmung: Rhede Wilhelmshaven.

Datum: 19. Mai 1876.

Regel- kompass		St. B. Steuer- kompass		B. B. Steuer- kompass		Vorderer Peilkompass	
Schiff lag an in Strichen	Deviation in Graden	Schiff lag an in Strichen	Deviation in Graden	Schiff lag an in Strichen	Deviation in Graden	Schiff lag an in Strichen	Deviation in Graden
N	— 4,8°	N	+ 6,2°	N	— 9,1°	N	+ 0,5°
NzO	— 1,8°	NzO	+ 7,1°	NzO	— 4,7°	NzO	— 6,0°
NNO	+ 0,6°	NNO	+ 8,0°	NNO	— 0,2°	NNO	— 11,3°
NOzN	+ 3,1°	NOzN	+ 8,3°	NOzN	+ 4,0°	NOzN	— 17,0°
NO	+ 5,0°	NO	+ 8,4°	NO	+ 7,7°	NO	— 23,0°
NOzO	+ 5,8°	NOzO	+ 8,8°	NOzO	+ 8,0°	NOzO	— 28,2°
ONO	+ 8,6°	ONO	+ 9,0°	ONO	+ 11,3°	ONO	— 32,7°
OzN	+ 8,3°	OzN	+ 7,7°	OzN	+ 10,2°	OzN	— 37,2°
O	+ 8,3°	O	+ 6,3°	O	+ 9,7°	O	— 41,0°
OzS	+ 7,7°	OzS	+ 4,6°	OzS	+ 8,6°	OzS	— 42,8°
OSO	+ 7,0°	OSO	+ 2,8°	OSO	+ 7,3°	OSO	— 42,0°
SOzO	+ 6,8°	SOzO	+ 2,0°	SOzO	+ 5,0°	SOzO	— 40,5°
SO	+ 6,8°	SO	+ 1,2°	SO	+ 2,7°	SO	— 37,0°
SOzS	+ 4,8°	SOzS	+ 1,2°	SOzS	+ 1,0°	SOzS	— 30,5°
SSO	+ 6,0°	SSO	+ 1,3°	SSO	— 0,7°	SSO	— 23,0°
SzO	+ 5,8°	SzO	+ 1,3°	SzO	— 1,3°	SzO	— 13,8°
S	+ 4,6°	S	+ 1,5°	S	— 2,0°	S	— 2,3°
SzW	+ 4,0°	SzW	+ 1,7°	SzW	— 1,5°	SzW	+ 10,8°
SSW	+ 4,6°	SSW	+ 1,8°	SSW	— 1,0°	SSW	+ 22,0°
SWzS	+ 3,3°	SWzS	+ 1,6°	SWzS	— 0,8°	SWzS	+ 29,8°
SW	+ 0,8°	SW	+ 1,3°	SW	— 0,5°	SW	+ 35,0°
SWzW	— 1,5°	SWzW	+ 0,7°	SWzW	— 1,7°	SWzW	+ 38,5°
WSW	— 2,4°	WSW	0,0°	WSW	— 3,2°	WSW	+ 41,5°
WzS	— 5,5°	WzS	— 1,2°	WzS	— 5,6°	WzS	+ 43,1°
W	— 7,3°	W	— 2,5°	W	— 8,2°	W	+ 42,3°
WzN	— 10,0°	WzN	— 3,1°	WzN	— 11,8°	WzN	+ 38,9°
WNW	— 11,8°	WNW	— 3,8°	WNW	— 15,2°	WNW	+ 33,7°
NWzW	— 11,8°	NWzW	— 3,7°	NWzW	— 16,1°	NWzW	+ 28,4°
NW	— 12,3°	NW	— 3,7°	NW	— 17,0°	NW	+ 23,2°
NWzN	— 11,2°	NWzN	— 3,9°	NWzN	— 16,3°	NWzN	+ 17,8°
NNW	— 9,8°	NNW	— 4,2°	NNW	— 15,8°	NNW	+ 12,0°
NzW	— 6,8°	NzW	0,0°	NzW	— 12,5°	NzW	+ 6,0°

Steuer - Tabelle

An Bord Sr. Maj. Schiff „Deutschland“.

Ort der Deviationsbestimmung: Rhede Wilhelmshaven.

Datum: 19. Mai 1876.

Magnetischer Kurs		K o m p a s k u r s			
		Regel- kompass in Graden	St. B. Steuer- kompass in Graden	B. B. Steuer- kompass in Graden	Vorderer Peilkompass in Graden
Striche	Grade und Minuten				
N	0° 0'	N 4,8° O	N 6,2° W	N 9,1° O	N 0,5° W
NzO	11° 15'	N 13,0° O	N 4,2° O	N 16,0° O	N 22,5° O
NNO	22° 30'	N 21,9° O	N 14,5° O	N 22,7° O	N 45,8° O
NOzN	33° 45'	N 30,6° O	N 25,4° O	N 29,7° O	N 65,6° O
NO	45° 0'	N 40,0° O	N 36,3° O	N 37,3° O	N 84,2° O
NOzO	56° 15'	N 50,5° O	N 47,3° O	N 48,3° O	S 81,2° O
ONO	67° 30'	N 58,9° O	N 58,5° O	N 56,2° O	S 70,4° O
OzN	78° 45'	N 70,4° O	N 71,1° O	N 68,3° O	S 60,2° O
O	90° 0'	N 81,7° O	N 83,7° O	N 80,3° O	S 51,0° O
OzS	78° 45'	S 86,4° O	S 83,3° O	S 87,3° O	S 43,6° O
OSO	67° 30'	S 74,5° O	S 70,3° O	S 74,8° O	S 36,0° O
SOzO	56° 15'	S 63,0° O	S 58,3° O	S 61,3° O	S 29,0° O
SO	45° 0'	S 51,8° O	S 46,2° O	S 47,7° O	S 22,7° O
SOzS	33° 45'	S 38,5° O	S 35,0° O	S 34,8° O	S 16,4° O
SSO	22° 30'	S 28,5° O	S 23,8° O	S 21,8° O	S 10,6° O
SzO	11° 15'	S 17,0° O	S 12,5° O	S 10,0° O	S 4,9° O
S	0° 0'	S 4,6° O	S 1,5° O	S 2,0° W	S 0,8° W
SzW	11° 15'	S 7,2° W	S 9,5° W	S 12,8° W	S 6,0° W
SSW	22° 30'	S 17,9° W	S 20,7° W	S 23,5° W	S 11,9° W
SWzS	33° 45'	S 30,4° W	S 32,3° W	S 34,6° W	S 16,6° W
SW	45° 0'	S 44,2° W	S 43,7° W	S 45,5° W	S 22,5° W
SWzW	56° 15'	S 57,8° W	S 55,3° W	S 58,0° W	S 29,0° W
WSW	67° 30'	S 69,9° W	S 67,5° W	S 70,7° W	S 36,2° W
WzS	78° 45'	S 84,2° W	S 79,7° W	S 84,4° W	S 44,0° W
W	90° 0'	N 82,7° W	N 87,5° W	N 81,8° W	S 52,9° W
WzN	78° 45'	N 68,7° W	N 75,7° W	N 67,0° W	S 60,0° W
WNW	67° 30'	N 55,7° W	N 63,7° W	N 52,3° W	S 70,0° W
NWzW	56° 15'	N 44,5° W	N 52,6° W	N 40,2° W	S 80,0° W
NW	45° 0'	N 32,7° W	N 41,3° W	N 28,0° W	N 85,8° W
NWzN	33° 45'	N 22,5° W	N 29,8° W	N 17,4° W	N 67,0° W
NNW	22° 30'	N 12,7° W	N 18,3° W	N 6,7° W	N 45,8° W
NzW	11° 15'	N 4,5° W	N 11,3° W	N 1,2° O	N 24,6° W

§ 31. Anwendung der Deviation.

Die Anwendung der Deviation soll mit Hülfe dieses Beispielen für eine Reihe von Fällen erläutert werden. Die zu befolgende Regel ist immer dieselbe: $\zeta' + \delta = \zeta$. Beiläufig wird an dieser Stelle noch darauf besonders aufmerksam gemacht, dass die auf eine Peilung anzuwendende Deviation stets die Deviation des bei der Peilung anliegenden Kurses ist.

Beispiele.

1. Aus der Karte ist der zu steuernde magnetische Kurs NNW^{3/4}W entnommen.

Welcher Kompaskurs wird an jedem der vier Kompassse Sr. Maj. Schiff „Deutschland“ abzulesen sein, wenn die Deviationsbeträge sich wie in vorstehender Tabelle gestalten?

Reg. Komp.	N 20° W
St. B. St. Komp.	N 27° W
B. B. St. Komp.	N 14,7° W
Vorderer P. Komp.	N 61,7° W

2. Das Schiff soll auf diesem Kurse weiter laufen, bis es in die Peilungslinie eines Leuchtturms SW^{3/4}W kommt. Wie muss der Leuchtturm mit dem Regelkompass gepeilt werden?

S 64,3° W

3. Das Schiff steuert S 38° O nach Regelkompass und peilt ein terrestrisches Objekt mit Hülfe einer Peilscheibe 40° voraus an Steuerbord und ein fremdes Schiff mit dem Peilkompass vorn N 18° O. Welches ist der magnetische Kurs und die Peilung des Objektes und des andern Schiffes?

Mag. Kurs	S 33,0° O
Mag. Peil. des terr. Objekts	S 7,0° W
Mag. Peil. des Schiffes	N 1,0° O

4. Das Schiff liegt an S 17° W nach Regelkompass und soll eine Kursänderung um sechs Strich nach Backbord ausführen. Welchen Kurs nach Regelkompass muss es nach der Kursänderung anliegen?

S 52,7° O.

Zur bequemen Umwandlung von Kompassstrichen und deren Hälften, Viertel und Achtel in Grade ist am Schlusse dieses Buches auf Tafel XII eine Tabelle gegeben.

§ 32. Die Ursachen der Deviation.

Für die Ergründung der Ursachen der Deviation im Einzelnen wird die Annahme zu Grunde gelegt, dass aller im Eisen des Schiffes vorhandene Magnetismus in zwei Kategorien gebracht werden kann, nämlich: permanenter Magnetismus und absolut flüchtiger, inducirter Magnetismus. Mit

Hülfe der Erklärungen in §§ 26 und 27 lassen sich dann aus einer Deviations-Tabelle die einzelnen Ursachen ermitteln. In der § 26 unter 3. erhaltenen Gleichung $E \sin \delta = r \sin(\gamma - \delta)$ entspricht der Winkel $\gamma - \delta$ dem Kompaskurs ζ' , wenn man annimmt, dass die störende Kraft in der Kiellinie vor dem Kompass liegt (vgl. § 33, 1), und ist $\sin \delta = \frac{r}{E} \sin \zeta'$; für einen

zweiten Kurs ζ'_1 ist $\sin \delta_1 = \frac{r}{E} \sin \zeta'_1$

$\sin \delta : \sin \delta_1 = \sin \zeta' : \sin \zeta'_1$, oder unter der Berücksichtigung, dass δ und δ_1 kleine Grössen sind:

$\delta : \delta_1 = \sin \zeta' : \sin \zeta'_1$. Ist $\zeta'_1 = \zeta' + 180^\circ$, so wird

$\delta : \delta_1 = \sin \zeta' : \sin(180^\circ + \zeta')$. Da $\sin(180^\circ + \zeta') = -\sin \zeta'$ ist, so folgt hieraus: Wenn die Deviation allein durch einen permanenten Magneten hervorgerufen ist (oder durch vertikal inducirten Magnetismus, welcher dieselbe Wirkung äussert), so ist die Deviation zweier, um 180° auseinander liegender Kompaskurse gleich gross, aber mit entgegengesetztem Zeichen behaftet.

Vergleicht man also in der Deviations-Tabelle je zwei um 180° von einander liegende Kompaskurse, so muss der Unterschied in den numerischen Werthen ihrer Deviation (also algebraisch die Summe) herrühren von der Wirkung des horizontal inducirten Magnetismus im weichen Eisen des Schiffes. Aus den §§ 25 bis 27 folgt aber, dass der ablenkende Einfluss des horizontal inducirten Magnetismus derselbe bleibt, wenn das weiche Eisen seine Lage um 180° zum Kompass verändert. Es muss daher den beiden um 180° von einander entfernten Kursen eine gleiche Deviation, hervorgebracht durch horizontal inducirten Magnetismus, zukommen, welche die halbe algebraische Summe beider Deviationen ist.

Es ergibt sich also: Für je zwei um 180° von einander liegende Kompaskurse ist die halbe Differenz die Deviation, hervorgebracht durch permanenten und durch vertikal inducirten flüchtigen Magnetismus, und die halbe Summe die Deviation, hervorgebracht durch horizontal inducirten flüchtigen Magnetismus.

Aus Gründen, welche sogleich ersichtlich gemacht werden sollen, heisst der erste Theil die semicirkulare (halbkreisartige), der zweite Theil die quadrantale (viertelkreisartige) Deviation.

Das folgende Beispiel wird dazu dienen, auch über die Vorzeichen genügenden Aufschluss zu geben.

Deviations-Tabelle

des Regelkompasses Sr. Maj. Schiff „Deutschland“

beobachtet am 19. Mai 1876.

Schiff liegt an nach dem Kompass	I	Schiff liegt an nach dem Kompass	II	III	IV
	Deviation		Deviation	Semi- circulare Deviation $\frac{I-II}{2}$	Qua- drantale Deviation $\frac{I+II}{2}$
N	— 4,8°	S	+ 4,6°	— 4,7°	— 0,1°
NzO	— 1,8°	SzW	+ 4,0°	— 2,9°	+ 1,1°
NNO	+ 0,6°	SSW	+ 4,6°	— 2,0°	+ 2,6°
NOzN	+ 3,1°	SWzS	+ 3,3°	— 0,1°	+ 3,2°
NO	+ 5,0°	SW	+ 0,8°	+ 2,1°	+ 2,9°
NOzO	+ 5,8°	SWzW	— 1,5°	+ 3,6°	+ 2,2°
ONO	+ 8,6°	WSW	— 2,4°	+ 5,5°	+ 3,1°
OzN	+ 8,3°	WzS	— 5,5°	+ 6,9°	+ 1,4°
O	+ 8,3°	W	— 7,3°	+ 7,8°	+ 0,5°
OzS	+ 7,7°	WzN	— 10,0°	+ 8,9°	— 1,2°
OSO	+ 7,0°	WNW	— 11,8°	+ 9,4°	— 2,4°
SOzO	+ 6,8°	NWzW	— 11,8°	+ 9,3°	— 2,5°
SO	+ 6,8°	NW	— 12,3°	+ 9,6°	— 2,8°
SOzS	+ 4,8°	NWzN	— 11,2°	+ 8,0°	— 3,2°
SSO	+ 6,0°	NNW	— 9,8°	+ 7,9°	— 1,9°
SzO	+ 5,8°	NzW	— 6,8°	+ 6,3°	— 0,5°
S	+ 4,6°	N	— 4,8°	+ 4,7°	— 0,1°
SzW	+ 4,0°	NzO	— 1,8°	+ 2,9°	+ 1,1°
SSW	+ 4,6°	NNO	+ 0,6°	+ 2,0°	+ 2,6°
SWzS	+ 3,3°	NOzN	+ 3,1°	+ 0,1°	+ 3,2°
SW	+ 0,8°	NO	+ 5,0°	— 2,1°	+ 2,9°
SWzW	— 1,5°	NOzO	+ 5,8°	— 3,6°	+ 2,2°
WSW	— 2,4°	ONO	+ 8,6°	— 5,5°	+ 3,1°
WzS	— 5,5°	OzN	+ 8,3°	— 6,9°	+ 1,4°
W	— 7,3°	O	+ 8,3°	— 7,8°	+ 0,5°
WzN	— 10,0°	OzS	+ 7,7°	— 8,9°	— 1,2°
WNW	— 11,8°	OSO	+ 7,0°	— 9,4°	— 2,4°
NWzW	— 11,8°	SOzO	+ 6,8°	— 9,3°	— 2,5°
NW	— 12,3°	SO	+ 6,8°	— 9,6°	— 2,8°
NWzN	— 11,2°	SOzS	+ 4,8°	— 8,0°	— 3,2°
NNW	— 9,8°	SSO	+ 6,0°	— 7,9°	— 1,9°
NzW	— 6,8°	SzO	+ 5,8°	— 6,3°	— 0,5°

Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass die quadrantale Deviation im ersten Quadranten im Mittel einen von der im zweiten Quadranten verschiedenen numerischen Werth hat, während sie nach der Theorie einen gleichen Werth haben sollte. Man entfernt diesen Unterschied dadurch, dass man die halbe algebraische Differenz der Deviation für je zwei um 90° verschiedene Kompaskurse als quadrantale bezeichnet und die halbe algebraische Summe als einen allen Deviationen anhaftenden Werth, den man den konstanten Theil der Deviation nennt. Es sind in demselben etwaige Fehler in der Annahme der Richtung des magnetischen Meridianes oder eines nicht ganz richtig angebrachten Steuerstriches mit enthalten. Die Abweichungen der einzelnen Werthe unter einander können als Beobachtungsfehler gelten.

Konstante und quadrantale Deviation des Regelkompasses Sr. Maj. Schiff „Deutschland“.

Kompaskurs	Quadrantale u. konstante Deviation I	Kompaskurs	Quadrantale u. konstante Deviation II	Quadrantale Deviation $\frac{I-II}{2}$	Konstante Deviation $\frac{I+II}{2}$
N	$-0,1^\circ$	O	$+0,5^\circ$	$-0,3^\circ$	$+0,2^\circ$
NzO	$+1,1^\circ$	OzS	$-1,2^\circ$	$+1,2^\circ$	$-0,1^\circ$
NNO	$+2,6^\circ$	OSO	$-2,4^\circ$	$+2,5^\circ$	$+0,1^\circ$
NOzN	$+3,2^\circ$	SOzO	$-2,5^\circ$	$+2,9^\circ$	$+0,4^\circ$
NO	$+2,9^\circ$	SO	$-2,8^\circ$	$+2,9^\circ$	$0,0^\circ$
NOzO	$+2,2^\circ$	SOzO	$-3,2^\circ$	$+2,7^\circ$	$-0,5^\circ$
ONO	$+3,1^\circ$	SSO	$-1,9^\circ$	$+2,5^\circ$	$+0,6^\circ$
OzN	$+1,4^\circ$	SzO	$-0,5^\circ$	$+1,0^\circ$	$+0,5^\circ$

Mittel der konstanten Deviation = $+0,15^\circ$

Wenn man diese drei Theile in einem Napierschen Diagramm darstellen will, so ergibt:

1. Der konstante Theil eine dem Mittelstrich parallele gerade Linie.
2. Der quadrantale Theil vier in jedem Quadranten gleiche, aber mit wechselnden Vorzeichen versehene Theile einer regelmässig verlaufenden Kurve.
3. Der semicirkulare Theil zwei gleiche, aber mit entgegengesetzten Vorzeichen versehene Theile einer kontinuierlichen Kurve.

Blatt II der am Schlusse beigefügten Darstellungen giebt eine Anschauung jedes einzelnen der erwähnten Theile.

§ 33. Aus den Werthen der einzelnen Theile der Deviation lässt sich nun weiter auf die Anordnung des störenden Eisens um den Kompaß schliessen.

I. Die semicirkuläre Deviation.

Im § 26 ist für die Ablenkung, welche der semicirkulären Deviation entspricht, die Formel aufgestellt:

$$r \cdot \sin(\gamma - \delta) = E \cdot \sin \delta,$$

wo r die störende Kraft und der Winkel $(\gamma - \delta)$ die Richtung der störenden Kraft in Bezug auf die Einstellung der Nadel angab. Bezeichnet man nun die Richtung der störenden Kraft in Bezug auf die Kiellinie mit α (nach Steuerbord positiv) und bemerkt, dass die Richtung der Kiellinie in Bezug auf die Einstellung der Nadel nichts Anderes ist als der Kompaskurs ζ' , so erhält man:

$$\gamma - \delta = \zeta' + \alpha^*)$$

Das Maximum der semicirkulären Deviation findet da statt, wo dieser Winkel $= 90^\circ$ ist. Da aus der Deviations-tabelle resp. Deviationskurve der Kompaskurs, welcher diesem Maximum entspricht, unmittelbar zu entnehmen ist, so erhält man den Winkel α , indem man die Differenz bildet $90^\circ - \zeta' = \alpha$.

In dem obigen Beispiel würde sein das Maximum der semicirkulären Deviation $= 9,6^\circ$ auf den Kompaskursen SO und NW, also:

$$\alpha = 90^\circ - 135^\circ = -45^\circ.$$

Zerlegt man nun r in eine Komponente längsschiffs (positiv nach vorn, negativ nach hinten) und bezeichnet sie mit \mathfrak{B} , ferner eine dazu rechtwinklige (positiv nach Steuerbord und negativ nach Backbord) und bezeichnet sie mit \mathfrak{C} , so erhält man

$$I. \quad r = \sqrt{\mathfrak{B}^2 + \mathfrak{C}^2}$$

$$\text{also auch } r \cdot \sin(\gamma - \delta) = \sqrt{\mathfrak{B}^2 + \mathfrak{C}^2} \sin(\zeta' + \alpha)$$

$$II. \quad \frac{\mathfrak{C}}{\mathfrak{B}} = \operatorname{tg} \alpha$$

Es ist ferner:

$$E \sin \delta = r \sin(\zeta' + \alpha) = r \sin \zeta' \cos \alpha + r \cos \zeta' \sin \alpha$$

oder da $r \sin \alpha = \mathfrak{C}$ und $r \cos \alpha = \mathfrak{B}$ ist

$$E \sin \delta = \mathfrak{B} \sin \zeta' + \mathfrak{C} \cos \zeta'.$$

*) Im Folgenden ist durchweg die übliche Bezeichnungweise angewendet:

Magnetischer Kurs . . .	ζ
Kompaskurs	ζ'
Deviation	δ

Substituirt man für die ablenkenden Kräfte die Winkel der Ablenkung selbst und bezeichnet die \mathfrak{B} entsprechende Deviation mit B , die \mathfrak{C} entsprechende Deviation mit C , so erhält man für die semicirkulare Deviation eines beliebigen Kompaskurses:

$$\text{III.} \quad \delta = B \cdot \sin \zeta' + C \cdot \cos \zeta'.$$

Die Kraft r ist beim Kompaskurs Nord = \mathfrak{C} , beim Kompaskurs Ost = \mathfrak{B} , daher ist, wie auch aus III. unmittelbar folgt, B die semicirkulare Deviation auf Kurs Ost und C die semicirkulare Deviation auf Kurs Nord.

Auf diese Weise wird die semicirkulare Deviation in zwei Theile zerlegt, deren einer ($B \cdot \sin \zeta'$) die Deviation darstellt, welche durch Ablenkung der Nadel nach vorn, der andere ($C \cdot \cos \zeta'$) diejenige, welche durch Ablenkung nach Steuerbord (resp. negativ nach Backbord) hervorgerufen ist.

Aus der Deviation eines beliebigen Kurses lassen sich B und C natürlich nicht finden, man kann aber, anstatt diese Werthe allein an den Kardinalstrichen abzulesen, auch alle Deviationsbeobachtungen, welche auf 32, 16, 8 oder 4 äquidistanten (gleich um die Rose vertheilten) Kompassstrichen beobachtet sind, mit benutzen. Es ist nämlich, wie leicht einzusehen, die Summe der Sinusse ebenso wie die Summe der Kosinusse von je vier um 90° auseinanderliegenden Winkeln immer Null, also z. B.

$$\sin \zeta_0 + \sin \zeta_8 + \sin \zeta_{16} + \sin \zeta_{24} = 0$$

$$\sin \zeta_1 + \sin \zeta_9 + \sin \zeta_{17} + \sin \zeta_{25} = 0$$

u. s. f., oder

$$\cos \zeta_2 + \cos \zeta_{10} + \cos \zeta_{18} + \cos \zeta_{26} = 0$$

$$\cos \zeta_3 + \cos \zeta_{11} + \cos \zeta_{19} + \cos \zeta_{27} = 0$$

u. s. f.

Wenn man daher in einer Zusammenstellung von 4, 8, 16 oder 32 Gleichungen für äquidistante Kompassstriche:

$$\delta_1 = B \cdot \sin \zeta'_1 + C \cdot \cos \zeta'_1,$$

$$\delta_9 = B \cdot \sin \zeta'_9 + C \cdot \cos \zeta'_9 \text{ u. s. f.}$$

das eine Mal sämmtliche Glieder mit $\sin \zeta'_1, \sin \zeta'_9$ u. s. f., das andere Mal mit $\cos \zeta'_1, \cos \zeta'_9$ u. s. f. multiplicirt, so erhält man im ersten Falle:

$$\delta_1 \cdot \sin \zeta'_1 = B \cdot \sin^2 \zeta'_1 + C \cdot \cos \zeta'_1 \cdot \sin \zeta'_1,$$

$$\delta_9 \cdot \sin \zeta'_9 = B \cdot \sin^2 \zeta'_9 + C \cdot \cos \zeta'_9 \cdot \sin \zeta'_9$$

u. s. f.

und im zweiten Falle:

$$\begin{aligned}\delta_1 \cdot \cos \zeta'_1 &= B \cdot \sin \zeta'_1 \cdot \cos \zeta'_1 + C \cdot \cos^2 \zeta'_1, \\ \delta_9 \cdot \cos \zeta'_9 &= B \cdot \sin \zeta'_9 \cdot \cos \zeta'_9 + C \cdot \cos^2 \zeta'_9 \\ &\text{u. s. f.,}\end{aligned}$$

woraus sich durch Addition ergibt:

$$\delta_1 \cdot \cos \zeta'_1 + \delta_9 \cdot \cos \zeta'_9 + \delta_{17} \cdot \cos \zeta'_{17} + \delta_{25} \cdot \cos \zeta'_{25} = 2C$$

oder:

$$\delta_1 \cdot \sin \zeta'_1 + \delta_9 \cdot \sin \zeta'_9 + \delta_{17} \cdot \sin \zeta'_{17} + \delta_{25} \cdot \sin \zeta'_{25} = 2B$$

und für 8, 16 oder 32 Striche resp. 4, 8 oder 16 C , beziehungsweise B .

Anmerkung. Bei der Addition fallen rechts die Glieder mit $\cos \zeta'_1 \cdot \sin \zeta'_1$ fort, da $\Sigma (\cos \zeta' \cdot \sin \zeta') = 0$ ist, und es bleibt

$$\begin{aligned}\Sigma (\delta \sin \zeta') &= B \cdot (\sin 2\zeta'_1 + \sin 2\zeta'_9 + \sin 2\zeta'_{17} + \sin 2\zeta'_{25}) \\ &= B \cdot (\sin 2\zeta'_1 + \cos 2\zeta'_1 + \sin 2\zeta'_{17} + \cos 2\zeta'_{17}) \\ &= B \cdot \left(\underbrace{1}_{1} + \underbrace{1}_{1} \right) \\ &= 2B.\end{aligned}$$

Ganz ebenso gestaltet sich die Auflösung der übrigen Gleichungen.

$$\begin{aligned}\text{Da } \sin \zeta'_0 &= -\sin \zeta'_{16}; \cos \zeta'_0 = -\cos \zeta'_{16} \\ \sin \zeta'_1 &= -\sin \zeta'_{17}; \cos \zeta'_1 = -\cos \zeta'_{17} \\ &\text{u. s. f.,}\end{aligned}$$

so kann man $\Sigma (\delta \sin \zeta')$ resp. $\Sigma (\delta \cos \zeta')$ auch wie folgt zusammenfassen:

$$\begin{aligned}(\delta_0 - \delta_{16}) \sin \zeta'_0; (\delta_0 - \delta_{16}) \cos \zeta'_0 \\ (\delta_1 - \delta_{17}) \sin \zeta'_1; (\delta_1 - \delta_{17}) \cos \zeta'_1 \\ \text{u. s. f.}\end{aligned}$$

Dividirt man ferner beide Seiten der Gleichung mit 2, so erhalten die Glieder der linken Seite die Form

$$\begin{aligned}\frac{\delta_0 - \delta_{16}}{2} \sin \zeta'_0; \frac{\delta_0 - \delta_{16}}{2} \cos \zeta'_0 \\ \frac{\delta_1 - \delta_{17}}{2} \sin \zeta'_1; \frac{\delta_1 - \delta_{17}}{2} \cos \zeta'_1 \text{ u. s. f.}\end{aligned}$$

Die Grössen $\frac{\delta_0 - \delta_{16}}{2}$, $\frac{\delta_1 - \delta_{17}}{2}$ etc. sind die Beträge der

semicirkularen Deviation auf den betreffenden Kursen. Die obigen Gleichungen (zur Berechnung von B und C aus der Deviation auf nur 4 Kursen) gehen z. B. über in

$$\begin{aligned}\frac{\delta_1 - \delta_{17}}{2} \cos \zeta'_1 + \frac{\delta_9 - \delta_{25}}{2} \cos \zeta'_9 = 1C \\ \frac{\delta_1 - \delta_{17}}{2} \sin \zeta'_1 + \frac{\delta_9 - \delta_{25}}{2} \sin \zeta'_9 = 1B.\end{aligned}$$

Zur Vereinfachung der Berechnung von B und C empfiehlt es sich, die semicirkularen Deviationen einzuführen, wie nachstehendes Beispiel erläutert.*)

*) Es ist

$\sin \zeta_0 = \cos \zeta_8$ bezeichnet als 0, (vgl. Tafel III des Anhanges)

$\sin \zeta_1 = \cos \zeta_7$ " " S_1 ,

$\sin \zeta_2 = \cos \zeta_6$ " " S_2 ,

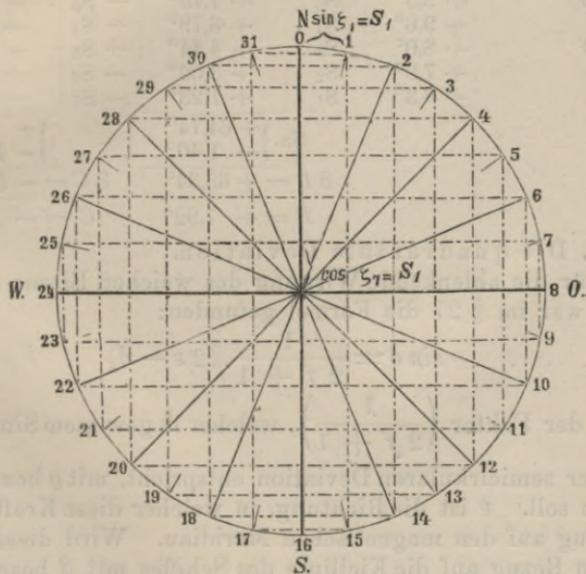
$\sin \zeta_3 = \cos \zeta_5$ " " S_3 ,

$\sin \zeta_4 = \cos \zeta_4$ " " S_4 ,

$\sin \zeta_5 = \cos \zeta_3$ " " S_5 ,

u. s. f.

Fig. 25.



$\sin \zeta_8 = \cos \zeta_0$ bezeichnet als 1,

$\sin \zeta_9 = \cos \zeta_{15}$ " " S_7 ,

$\sin \zeta_{17} = \cos \zeta_{23}$ " " S_1 ,

u. s. f.

Zerlegung der auf Seite 70 zusammengestellten semicirkularen Deviation in die Theile *B* und *C*.

Schiff liegt an nach dem Kompass	Semicirkulare Deviation	Berechnung von <i>B</i>		Berechnung von <i>C</i>	
N	- 4,7°	0	0,00°	1	- 4,70°
NzO	- 2,9°	S ₁	- 0,57°	S ₇	- 2,84°
NNO	- 2,0°	S ₂	- 0,77°	S ₆	- 1,85°
NOzN	- 0,1°	S ₃	- 0,06°	S ₅	- 0,08°
NO	+ 2,1°	S ₄	+ 1,48°	S ₄	+ 1,48°
NOzO	+ 3,6°	S ₅	+ 2,99°	S ₃	+ 2,00°
ONO	+ 5,5°	S ₆	+ 5,08°	S ₂	+ 2,10°
OzN	+ 6,9°	S ₇	+ 6,77°	S ₁	+ 1,35°
O	+ 7,8°	1	+ 7,80°	0	0,00°
OzS	+ 8,9°	S ₇	+ 8,73°	- S ₁	- 1,74°
OSO	+ 9,4°	S ₆	+ 8,68°	- S ₂	- 3,60°
SOzO	+ 9,3°	S ₅	+ 7,73°	- S ₃	- 5,17°
SO	+ 9,6°	S ₄	+ 6,79°	- S ₄	- 6,79°
SOzS	+ 8,0°	S ₃	+ 4,44°	- S ₅	- 6,65°
SSO	+ 7,9°	S ₂	+ 3,02°	- S ₆	- 7,30°
SzO	+ 6,3°	S ₁	+ 1,23°	- S ₇	- 6,18°
			Sa. { + 64,74° - 1,40°		{ + 6,93° - 46,90°
			$8 B = + 63,34°$		$8 C = - 39,97°$
			$B = + 7,92°$		$C = - 5,00°$

2. Die quadrantale Deviation.

Für die ablenkende Wirkung des weichen Eisens auf die Nadel war im § 27 die Formel gefunden:

$$\text{I.} \quad \sin \delta = \frac{1}{2f + 1} \sqrt{(2\varepsilon - \delta)} \quad \Gamma_{572}$$

worin der Faktor $\left(\frac{1}{2f + 1}\right)$, welcher in gewissem Sinne dem r in der semicirkularen Deviation entspricht, mit q bezeichnet werden soll. ε ist die Richtung, in welcher diese Kraft wirkt, in Bezug auf den magnetischen Meridian. Wird diese Richtung in Bezug auf die Kiellinie des Schiffes mit β bezeichnet, so ist $\varepsilon = \zeta + \beta$ und

$$\sin \delta = q \cdot \sin [2(\zeta + \beta) - \delta] \text{ oder da}$$

$$\zeta = \zeta' + \delta \text{ und}$$

$$2\zeta = 2\zeta' + 2\delta$$

$$\text{II.} \quad \sin \delta = q \cdot \sin [2\zeta' + 2\beta + \delta].$$

Das Maximum der Ablenkung findet also auf demjenigen Kurse statt, für welchen:

$$2(\zeta + \beta) - \delta = 90°$$

wird, und man findet umgekehrt aus dem Maximum der quadrantalen Deviation β , weil dann

$$2\beta = 90^\circ - (2\zeta - \delta), \text{ oder}$$

$$2\beta = 90^\circ - (2\zeta' + \delta) = 90^\circ - (\zeta + \zeta').$$

In dem vorliegenden Beispiel sei für das Maximum von δ :

$$\zeta' = 34^\circ, \delta = +3^\circ, \text{ also:}$$

$$2\beta = 90^\circ - (68^\circ + 3^\circ) = 19^\circ.$$

Man kann nun auch diese quadrantale Störung in zwei Komponenten zerlegen, indem man für die eine Komponente $2\beta = 0$, für die andere $2\beta = 90^\circ$ annimmt. Die erstere bezeichnet man mit \mathfrak{D} , die letztere mit \mathfrak{E} . Die Wirkung der in der Richtung β wirkenden Resultante des horizontal inducirten Eisens geht nun immer in derselben Weise vor sich wie die eines Magneten in der Richtung 2β , deshalb ist auch zu setzen:

$$\frac{\mathfrak{E}}{\mathfrak{D}} = \operatorname{tg} 2\beta,$$

$$\sqrt{\mathfrak{D}^2 + \mathfrak{E}^2} = \varrho$$

$$\mathfrak{D} \cdot \cos 2\beta + \mathfrak{E} \cdot \sin 2\beta = \varrho.$$

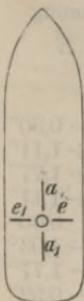
Die zwei Theile der quadrantalen Deviation sind dann für jeden Kurs aus Gleichung II:

$$\sin \delta = \mathfrak{D} \cdot \sin (2\zeta' + \delta) + \mathfrak{E} \cdot \cos (2\zeta' + \delta).$$

Substituirt man für die ablenkenden Kräfte auch hier die Ablenkungswinkel und bezeichnet den \mathfrak{D} entsprechenden Winkel mit D , den \mathfrak{E} entsprechenden mit E , so erhält man, wenn man auch statt $(2\zeta' + \delta)$ setzt $2\zeta'$ nunmehr angenähert:

$$\delta = D \cdot \sin 2\zeta' + E \cdot \cos 2\zeta'.$$

Fig. 26.



Eine Zerlegung, in welcher für eine Komponente $\beta = 0$, für die andere $\beta = 90^\circ$ gesetzt würde, ergäbe nach § 27 zwei Kräfte, welche ihrem Sinne nach entgegengesetzte Ablenkungen hervorrufen. Als Differenz zweier solchen Kräfte (s. Fig. 26) erscheint \mathfrak{D} , indem das vor und hinter dem Kompass, einem $\beta = 0$ entsprechende, horizontale weiche Eisen ($a a_1$) dem querschiffs angeordneten ($e e_1$) entgegenwirkt.

Dasselbe gilt von der Zusammensetzung von \mathfrak{E} , auf welche als von geringer Bedeutung hier nicht näher eingegangen werden soll.*)

*) \mathfrak{E} könnte z. B. entstehen durch einseitig diagonal angeordnetes Eisen über oder unter dem Kompass, wodurch es erklärlich wird, dass es seinen Maximalwerth auf den vier Kardinalstrichen erhält.

Es genügt, darauf hinzuweisen, das \mathfrak{D} die symmetrische Anordnung des weichen Eisens um den Kompass und \mathfrak{E} die unsymmetrische repräsentirt. Da das Eisen des Schiffes — und namentlich das horizontale — im Wesentlichen symmetrisch um den Kompass vertheilt ist, so findet sich \mathfrak{E} in der Regel sehr gering.

Um aus der quadrantalen Deviation die Werthe D und E zu finden, hat man ganz in derselben Weise zu verfahren, wie bei der semicirkularen Deviation zur Berechnung von B und C , denn es ist wie dort:

$$\sin 2 \zeta_0 + \sin 2 \zeta_4 + \sin 2 \zeta_8 + \sin 2 \zeta_{12} = 0$$

und

$$\sin^2 2 \zeta_0 + \sin^2 2 \zeta_4 + \sin^2 2 \zeta_8 + \sin^2 2 \zeta_{12} = 2$$

und man erhält aus einer Zusammenstellung von Gleichungen für 4, 8 oder 16 äquidistante Kompassstriche, also:

$$\delta_2 = D \cdot \sin 2 \zeta'_1 + E \cdot \cos 2 \zeta'_1$$

$$\delta_{10} = D \cdot \sin 2 \zeta'_5 + E \cdot \cos 2 \zeta'_5$$

u. s. f.,

-- in welchen man das eine Mal alle Glieder mit $\sin 2 \zeta'_1$, $\sin 2 \zeta'_5$ u. s. f., das andere Mal mit $\cos 2 \zeta'_1$, $\cos 2 \zeta'_5$ u. s. f. multiplicirt — durch Addition:

$$\delta_2 \cdot \sin^2 \zeta'_1 + \delta_{10} \cdot \sin^2 \zeta'_5 + \delta_{18} \cdot \sin^2 \zeta'_9 + \delta_{26} \cdot \sin^2 \zeta'_{13} = 2 D$$

$$\delta_2 \cdot \cos^2 \zeta'_1 + \delta_{10} \cdot \cos^2 \zeta'_5 + \delta_{18} \cdot \cos^2 \zeta'_9 + \delta_{26} \cdot \cos^2 \zeta'_{13} = 2 E.$$

Für 8 oder 16 Striche erhält man 4 D oder 8 D , bezw. 4 E oder 8 E .

Auf das vorliegende Beispiel angewendet, ergibt sich folgende tabellarische Form:

Kompasskurs	Quadrantale	Berechnung		Berechnung	
	Deviation	von D		von E	
N	— 0,3°	0	0,00°	1	— 0,30°
NzO	+ 1,2°	S ₂	+ 0,46°	S ₃	+ 1,11°
NNO	+ 2,5°	S ₄	+ 1,77°	S ₄	+ 1,77°
NOzN	+ 2,9°	S ₆	+ 2,68°	S ₂	+ 1,11°
NO	+ 2,9°	1	+ 2,90°	0	0,00°
NOzO	+ 2,7°	S ₃	+ 2,49°	— S ₂	— 1,03°
ONO	+ 2,5°	S ₄	+ 1,77°	— S ₄	— 1,77°
OzN	+ 1,0°	S ₂	+ 0,38°	— S ₃	— 0,92°
			Sa { + 12,45°		+ 3,99°
			— 0,00°		— 4,02°
			4 D = + 12,45°		4 E — 0,03°
			D = + 3,11°		E = — 0,01°

3. Der konstante Theil der Deviation.

Nach der Erklärung, welche im § 32 gegeben wurde, ist der konstante Theil lediglich als ein Ausgleichungswerth angenommen worden. Diese Annahme ist nicht ganz korrekt, denn es kann eine unsymmetrische Anordnung des weichen horizontal inducirten Eisens vorhanden sein, welche eine konstante Abweichung für alle Striche zur Folge hat.*) Für praktische Zwecke ist es indessen genügend, diese Annahme zu machen. Das Mittel der konstanten Deviationen wird mit dem Buchstaben A bezeichnet. Die dieses A hervorbringenden Kräfte sind analog den früheren Bezeichnungen \mathfrak{A} zu nennen.

Man findet in dem vorliegenden Beispiel den Werth A demnach wie bereits auf Seite 71 gezeigt:

Kompass- Kurs	Quadrantale und konstante Deviation	Kompass- Kurs	Quadrantale und konstante Deviation	Berechnung von A $\frac{I + II}{2}$
	I		II	
N	— 0,1°	O	+ 0,5°	+ 0,2°
NzO	+ 1,1°	OzS	— 1,2°	— 0,1°
NNO	+ 2,6°	OSO	— 2,4°	+ 0,1°
NOzN	+ 3,2°	SOzO	— 2,5°	+ 0,4°
NO	+ 2,9°	SO	— 2,8°	0,0°
NOzO	+ 2,2°	SOzS	— 3,2°	— 0,5°
ONO	+ 3,1°	SSO	— 1,9°	+ 0,6°
OzN	+ 1,4°	SzO	— 0,5°	+ 0,5°
				$S_a \begin{cases} + 1,8^\circ \\ - 0,6^\circ \end{cases}$
				$8A = + 1,2^\circ$
				$A = + 0,15^\circ$

§ 34. Auf solche Weise ist die Deviation zerlegt in ihre einzelnen Theile, ihre Ursachen sind nachgewiesen und dargestellt in einer Reihe von Werthen, welche eine bestimmte leicht fassbare Bedeutung haben. Wenn die horizontale Erdkraft = 1 gesetzt wird, so ist für jeden beliebigen Kurs:

$$I. \sin \delta = \mathfrak{B} \cdot \sin \zeta' + \mathfrak{C} \cdot \cos \zeta' + \mathfrak{D} \cdot \sin(2\zeta' + \delta) + \mathfrak{E} \cdot \cos(2\zeta' + \delta) + \mathfrak{A}.$$

$$II. \delta = B \cdot \sin \zeta' + C \cdot \cos \zeta' + D \cdot \sin 2\zeta' + E \cdot \cos 2\zeta' + A.$$

*) Dies kann z. B. der Fall sein bei solchen Steuerkompassen, welche sich nicht in der Mittschiffslinie befinden und durch die Induktion einer horizontalen Eisenstange, deren beide Pole zum Kompass einseitig liegen (eiserne Welle des Steuerrades neben einer horizontalen Eisenstange querschiffs, halber Decksbalken), beeinflusst werden.

Die zweite Formel ist die für die Navigation abgekürzte. Sobald die Deviation eines Kompasses bestimmt worden ist, wird es immer nützlich sein, die Werthe A, B, C, D, E durch eine leicht auszuführende tabellarische Rechnung abzuleiten und eine Diskussion dieser Werthe zu versuchen, welche über die Ursache der Deviation und über die Güte der Beobachtung Aufschluss giebt. Das Schema auf Seite 81 erleichtert die Rechnung sehr.

Die Rückrechnung der Deviation aus den bekannten fünf Werthen ist ebenfalls in eine tabellarische Form zu bringen, für die Navigation aber von geringerem Interesse. Bei der Betrachtung der so erhaltenen fünf Werthe wird sich Folgendes bemerklich machen:

B ist bei Kompassen, die im Hinterschiff placirt sind, auf Nordbreite fast immer positiv, weil das vertikale weiche und das magnetische Eisen vor dem Kompass überwiegt. Ein negatives B in solchem Kompass muss entweder in dem Magnetismus, welcher durch Induktion (beim nördlichen Baukurs) entstanden und haften geblieben ist, seinen Grund haben; oder vertikale Eisentheile, besonders ein eiserner Hinterstevan, Ruderkopf oder dergleichen sind in zu grosser Nähe. Bei Kompassen vor der Maschine und dem Schornstein macht sich dieser Umstand sogleich durch ein — B bemerklich.

C ist auf Holzschiffen immer klein; die Ursache eines grossen C ist, sofern der Kompass in der Mittschiffslinie steht, in dem magnetischen Zustande des Schiffes zu suchen und wird gewöhnlich positiv gefunden, wenn das Schiff beim Bau östlich, negativ, wenn es westlich anlag. Bei Kompassen ausserhalb der Mittschiffslinie macht sich das vertikale Eisen der nächstliegenden Schiffsseite in der Regel sehr bemerklich (der Backbord-Steuerkompass hat fast stets ein kleineres positives oder grösseres negatives C als der an Steuerbord). Grosse Höhe über Deck verwischt diese Unterschiede.

D rührt in den meisten Fällen von horizontalem Eisen, welches, über oder unter dem Kompass liegend, mit den Enden den Kompass nach beiden Seiten überragt, her. Als solches Eisen ist alles Eisen zu betrachten, welches innerhalb eines geraden Kegels liegt, in dessen Scheitelpunkt sich der Kompass befindet, und dessen Mantel mit der Horizontalebene einen Winkel von ca. 35° bildet.

Alles Eisen in diesem Kegel ist das eigentlich schädlich auf den Kompass wirkende, wie auch später für die Aenderung der Deviation beim Krängen des Schiffes ersichtlich werden wird.

Ein positives D kann angesehen werden als die Wirkung des Ueberschusses von den Kompass mit beiden Enden überragendem, querschiffs angeordnetem Eisen über längsschiffs angeordnetes (z. B. eiserne Decksbalken) oder die Wirkung des Ueberschusses von auf einer Seite des Kompasses liegendem, längsschiffs angeordnetem Eisen über querschiffs angeordnetes. Beide Einflüsse wirken einander entgegen, und man wird aus den örtlichen Verhältnissen auf die Ursachen von D schliessen können. Ein negatives D hat die entgegengesetzten Ursachen. D ist aber in der Regel positiv und zwar: im Durchschnitt auf Holzschiffen, auch mit Dampfmaschinen, kleiner als 1° , auf Holzschiffen mit eisernen Decksbalken und viel Eisenkonstruktionen 1° bis 4° , auf eisernen Schiffen bei gut placirten Kompassen 3° bis 7° .

Bei eisernen Schiffen ist die Höhe des Kompasses über Deck von bedeutendem Einfluss, D nimmt mit der Höhe schnell ab, andererseits können grosse Eisentheile unter dem Kompass ein so grosses D bewirken, dass der Kompass (wegen der gleichzeitigen Schwächung der Richtkraft) ganz unbrauchbar wird.

E ist eine Folge des unsymmetrisch vertheilten Eisens und ebenso in vielen Fällen A .

E und A sind bei Mittschiffskompassen gering und, wie dann schon aus dem unregelmässigen Verlauf in der Berechnungstabelle ersichtlich wird, zum grossen Theil Folge von Beobachtungs- resp. Konstruktionsfehlern. Steuerkompassse zu beiden Seiten der Mittschiffslinie haben oft einen reellen Werth A und E , namentlich wenn eine lange eiserne Welle des Steuerrades in der Mittschiffslinie liegt. So war z. B. bei den Steuerkompassen Sr. Majestät Schiff „König Wilhelm“:

	A	E
für Steuerbord-Steuerkompass	+ 3,4°	+ 4,1°
für Backbord- „ „	+ 3,0°	+ 1,3

Auf Seite 84 ist eine Anzahl von Deviationswerthen für verschiedene Sr. Majestät Schiffe angegeben.

§ 35. Wenn die tabellarische Form nicht angewendet wird, kann man die Zerlegung der Deviation mit in der Regel genügender Genauigkeit auf folgende Weise finden, welche sich aus dem Vorhergehenden direkt ergibt:

1. *A* ist annäherungsweise bestimmt, indem man die Deviationen der vier Kardinalpunkte oder vier anderer äquidistanter Kompassstriche algebraisch addirt und durch 4 dividirt. Es ergibt sich demnach für die Tabelle auf Seite 70:

$$\begin{array}{r} \text{N } \delta - 4,8^\circ \\ \text{W } \delta - 7,3^\circ \\ \hline - 12,1^\circ \\ 4A = + 0,8 \\ A = + 0,2. \end{array} \qquad \begin{array}{r} \text{S } \delta + 4,6^\circ \\ \text{O } \delta + 8,3^\circ \\ \hline + 12,9^\circ \end{array}$$

2. *B*. Man drehe das Zeichen der Deviation bei Kurs W um und nehme das Mittel zwischen dieser und der Deviation auf Kurs O. Man erhält alsdann für die Werthe der Tabelle auf Seite 70:

$$\begin{array}{r} \text{O } \delta = + 8,3^\circ \\ \text{W } \delta = + 7,3^\circ \\ \hline B = + 7,8^\circ. \end{array}$$

3. *C*. Man wechsele das Zeichen der Deviation bei Kurs S und nehme das Mittel zwischen dieser und der Deviation auf Kurs N. Man erhält alsdann für die Werthe der Tabelle auf Seite 70:

$$\begin{array}{r} \text{N } \delta = - 4,8^\circ \\ \text{S } \delta = - 4,6^\circ \\ \hline C = - 4,7^\circ. \end{array}$$

4. *D* wird näherungsweise erhalten, indem man die Zeichen der Deviationen auf Kurs NW und SO umkehrt und zu den Deviationen auf NO und SW algebraisch addirt und die Summe durch 4 dividirt. Man erhält alsdann für die Werthe der Tabelle auf Seite 70:

$$\begin{array}{r} \text{NO } \delta = + 5,0^\circ \\ \text{SO } \delta = - 6,8^\circ \\ \text{SW } \delta = + 0,8^\circ \\ \text{NW } \delta = + 12,3^\circ \\ \hline 4D = + 11,3^\circ \\ D = + 2,8^\circ. \end{array}$$

5. *E*. Man wechsele das Zeichen der Deviationen auf Kurs Ost und West, addire diese algebraisch zu den Deviationen auf N und S und dividire die Summe durch 4. Man erhält alsdann für die Werthe der Tabelle auf Seite 70:

$$\begin{array}{r} \text{O } \delta = - 8,3^\circ \\ \text{W } \delta = + 7,3^\circ \\ \text{N } \delta = - 4,8^\circ \\ \text{S } \delta = + 4,6^\circ \\ \hline + 11,9^\circ \\ - 13,1^\circ \\ \hline 4E = - 1,2^\circ \\ E = - 0,3^\circ \end{array}$$

Die Aenderungen, welchen die Deviation
unterworfen ist.

§ 36. Eine Aenderung in der Deviation kann in geringem Maasse eintreten, ohne dass man häufig die Ursachen dafür anzugeben im Stande ist. Erwiesen ist, dass Erschütterungen die Struktur des Eisens und damit das magnetische Verhalten desselben verändern können, und dass ein Blitzschlag, der das Schiff trifft, sogar den Magnetismus desselben ganz umwandeln kann. Desgleichen ist die Temperatur von Einfluss für den Magnetismus des Eisens und somit auch für die Deviation des Kompasses; im Allgemeinen wird durch eine Temperaturerhöhung der inducirte Magnetismus erhöht, der permanente geschwächt. Aenderung der Kompassaufstellung oder Aenderung der Eisenvertheilung im Schiff (z. B. eisenhaltige Ladung etc.) werden natürlich meistentheils Aenderungen in der Deviation zur Folge haben. Dieselben können hier füglich ausser Acht gelassen werden. Im Folgenden sollen vielmehr nur diejenigen Veränderungen besprochen werden, welche eine einigermaassen gesetzmässige Grundlage haben, nämlich:

1. Die Aenderungen durch Krängen des Schiffes.
2. Die Aenderungen durch Wechsel der geographischen Position.
3. Die Aenderungen, welche abhängen von der Zeit.

Dabei ist allgemein vorauszuschicken, dass die folgende Darstellung nicht zur strikten Vorausberechnung solcher Aenderungen führen, sondern nur zeigen soll, was für eine Aenderung stattfinden und wie darauf Rücksicht genommen werden kann.

§ 37. Der Krängungsfehler.

Wenn ein Schiff um einen beliebigen Winkel überliegt, so wird die Vertheilung des Eisens im Schiff in Bezug auf den Kompass theilweise geändert. Wenn man die Untersuchung auf Kompass beschränkt, welche in der Mittschiffslinie aufgestellt sind, so kann man alle unsymmetrische Eisenvertheilung und somit auch A und E als sehr klein vernachlässigen und hat nur die Veränderungen zu betrachten, welche in den Theilen der Deviation D , B und C vor sich gehen.

1. D . Die quadrantale Deviation bleibt bei der Neigung eines Schiffes für die Praxis unverändert. D wird, wie S. 46 u. 82 gezeigt worden ist, lediglich von horizontalem und symmetrisch um den Kompass angeordnetem Eisen hervorgerufen. Bei der Krängung tritt eine Aenderung in dieser Anordnung nur proportional ihrem Kosinus ein, welcher für die bei der Krängung in Betracht kommenden

Winkel sich so wenig von der Einheit entfernt, dass diese Aenderung vernachlässigt werden kann.

2. *B*. Da *B* nur von längsschiffs wirkenden Kräften herührt, welche nicht durch das Krängen des Schiffes geändert werden, so bleibt *B* ebenfalls konstant.
3. *C*. Der Werth *C* ist von den querschiffs wirkenden magnetischen Kräften abhängig. Unter der Annahme einer symmetrischen Vertheilung zu beiden Seiten der Kiel-ebene rührt *C* bei aufrechtem Schiff hauptsächlich von dem permanenten Magnetismus des Schiffes her. Jene Symmetrie hört aber auf, sobald sich das Schiff überlegt; der Werth von *C* wird daher durch das Krängen nothwendig beeinflusst. Die Grösse, um welche sich *C* ändert, setzt sich zusammen aus zwei Theilen, nämlich:
 1. Aus der Wirkung des vertikal inducirten Magnetismus in demjenigen Eisen, welches bei aufrechter Lage des Schiffes horizontal angeordnet, also vertikaler Induktion nicht unterworfen war.
 2. Aus der Wirkung derjenigen magnetischen Vertikal-kraft im Schiff, welche bei der aufrechten Schiffs-lage den Kompass nicht beeinflussen konnte und sich aus beständigem und inducirtem Magnetismus zusammensetzt.

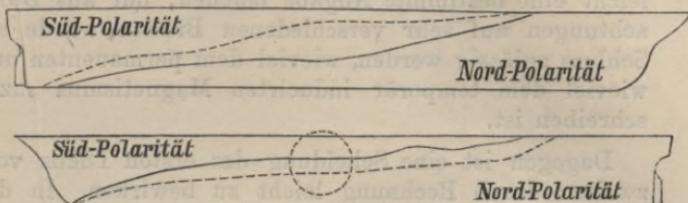
Der erste Theil wird in zutreffender Weise illustriert durch die Betrachtung eines eisernen, unter dem Kompass befindlichen Decksbalkens, den man als eine weiche Eisenstange ansieht. Bei der schiefen Lage des Schiffes wirkt die Vertikal-Intensität des Erdmagnetismus inducirend, und der Erfolg ist eine (bei Nordbreite) luvwärts auf das Nordende der Kompassnadel wirkende Kraft.

Dieser Theil des Krängungsfehlers ist in Schiffen ähnlicher Bauart auffallend gleichmässig und die Wirkung bedeutender, als man beim ersten Anblick anzunehmen geneigt ist (s. Tab. auf Seite 88, Kol. II.).

Der zweite Theil erfordert zu seiner Erklärung zunächst eine kurze Betrachtung der Vertheilung des permanenten Magnetismus im Schiffskörper. Durch direkte Untersuchungen hat man vielfach festgestellt, dass beim Bau des Schiffes der Schiffskörper sich zu einem Magneten gestaltet, dessen Pole sich in der Richtung der Erdkraft, wie sie während des Baues einwirkt, anordnen. Einige Skizzen nach besonders ausführlich angestellten Beobachtungen werden dies veranschaulichen:

Man bemerkt auf diesen Skizzen, dass die Ebene, welche Nordpolarität von Südpolarität scheidet, ziemlich rechtwinklig zur Richtung der Inklination liegt. Ein

Fig. 27.



Kompass an Bord des auf nördlichem Kurs gebauten Schiffes, welcher auf dem Hinterdeck steht, befindet sich über dem Südpol eines Magneten; auf dem Vordeck würde er über einem Nordpol stehen. Ein Magnetpol unter dem Kompass kann keine Ablenkung bewirken, sobald aber das Schiff überliegt, wird der betreffende Pol nach der Luvseite gewissermaassen verschoben, und es lässt sich eine horizontale auf Ablenkung der Kompassnadel wirkende Komponente seiner Kraft darstellen. Hieraus folgt also für einen Kompass auf dem Hinterdeck: Wenn das Schiff auf nördlichem Kurse gebaut ist, wird das Nordende der Nadel nach Luv abgelenkt, ist das Schiff auf südlichem Kurse gebaut, so wird das Nordende nach Lee abgelenkt.

Diese Ablenkung lässt sich aber nie rein beobachten, da stets noch eine andere Kraft mit der besprochenen vermischt wirkt, welche letztere von dem temporär inducirten vertikalen Magnetismus unter dem Kompass herrührt.

Das von der vertikalen Komponente des Erdmagnetismus inducirte weiche Eisen, welches in und zu beiden Seiten der Kielebene in der Nähe des Kompasses angeordnet ist, kann man sich vereinigt denken in einer vertikalen Eisenstange in der Axe des Kompasses. So lange das Schiff aufrecht liegt, ist keine Wirkung solcher Stange bemerkbar, liegt das Schiff aber über, so ist auch hier sogleich die Wirkung einer horizontalen, auf Ablenkung wirkenden, Kraftkomponente ersichtlich.

Diese letztere Wirkung ist vorn wie hinten im Schiffe dieselbe, indem sie auf Nordbreite stets das Nordende der Nadel nach Luv ablenkt. Auf dem magnetischen

Aequator wird sie verschwinden und auf der südlichen Halbkugel im umgekehrten Sinne auftreten.

Ueber die Zusammensetzung des eben besprochenen zweiten Theils des Krängungsfehlers lässt sich nicht leicht eine bestimmte Angabe machen, nur aus Beobachtungen auf sehr verschiedenen Breiten würde ein Schluss zulässig werden, wieviel dem permanenten und wieviel dem temporär inducirten Magnetismus zuzuschreiben ist.

Dagegen ist eine Scheidung des ersten Theils vom zweiten durch Rechnung leicht zu bewirken. In der folgenden, einem Vortrage des Kapitäns F. J. Evans (United Service Institution. 1865) entnommenen Tabelle ist die Trennung beider Beträge für einige englische Schiffe ausgeführt.

Schiffs- klasse	Datum	Schiffs- name	Kurs des Schiffes während des Baues	I.	II.	III.
				Gesamtmter Fehler der Deviation für 1° Krängung)	Betrag, herrührend von vertik. Induction in horizontalem Eisen)	Betrag, herrüh- rend v. sub- permanent. u. vertikal indu- cirt. Magneti- sismus in verti- kal. Eisen)
Eiserna Schiffe, gepanzert	Juli 1862	Warrior . . .	N 3° O	{ + 1° 49'	+ 0° 43'	+ 1° 6'
	Jan. 1863	do.		{ + 1° 22'	+ 0° 32'	+ 0° 50'
	Sept. 1862	Black Prince . .	S 20° O	{ + 0° 50'	+ 1° 1'	- 0° 11'
	Jan. 1863	do.		{ + 0° 52'	+ 0° 43'	+ 0° 9'
	April 1864	do.		{ + 0° 43'	+ 0° 48'	- 0° 5'
	Oktbr. 1864	Achilles	S 51° 40' O	{ + 0° 27'	+ 0° 50'	- 0° 23'
	Decbr. 1864	do.		{ + 0° 25'	+ 0° 43'	- 0° 18'
	Oktbr. 1864	do.		{ + 1° 29'	+ 0° 49'	+ 0° 40'
	Decbr. 1864	do.		{ + 1° 18'	+ 0° 37'	+ 0° 41'
	Febr. 1862	Defence	S 47° W	{ + 0° 59'	+ 0° 51'	+ 0° 8'
Jan. 1863	do.		{ + 0° 30'	+ 0° 33'	- 0° 3'	
April 1864	do.		{ + 0° 36'	+ 0° 42'	- 0° 6'	
August 1862	Resistance . . .	S 86½° W	{ + 1° 18'	+ 1° 4'	+ 0° 14'	
Decbr. 1863	do.		{ + 0° 53'	+ 0° 45'	+ 0° 8'	
Febr. 1864	Hektor	S 20° O	+ 0° 45'	+ 0° 48'	- 0° 3'	
Jan. 1865	Valiant	S 87° W	+ 0° 48'	+ 0° 37'	+ 0° 11'	
April 1863	Royal Oak . . .	S 49° O	{ + 0° 7'	+ 0° 24'	- 0° 17'	
Juni 1863	do.		{ + 0° 4'	+ 0° 23'	- 0° 19'	
Febr. 1864	Prince Consort	S 39° O	- 0° 8'	+ 0° 16'	- 0° 24'	
August 1864	Ocean	S 79° O	- 0° 15'	+ 0° 19'	- 0° 34'	
Juni 1864	Entreprise . . .	S 56° O	- 0° 29'	+ 0° 37'	- 1° 9'	
Juli 1863	Orontes	N 66° W	+ 1° 4'	+ 0° 36'	+ 0° 28'	
Novbr. 1863	Tamar	W	+ 0° 51'	+ 0° 31'	+ 0° 20'	
Sept. 1863	Wye	OSO	+ 1° 0'	+ 0° 27'	+ 0° 34'	
Febr. 1863	Caradoc	NzW	+ 0° 15'	+ 0° 14'	+ 0° 1'	
Febr. 1863	Clyde	NO	+ 1° 22'	+ 0° 35'	+ 0° 47'	
März 1863	Industry	SzO	- 0° 5'	+ 0° 18'	- 0° 23'	
Juni 1863	City of Sydney	WNW	+ 1° 31'	+ 0° 46'	+ 0° 45'	

*) + bedeutet Ablenkung des Nordendes der Nadel nach der Luvseite. - bedeutet Ablenkung nach der Leeseite.

Die Deviation für das aufrechte Schiff ist:

$$\delta = B. \sin \zeta' + C. \cos \zeta' + D. \sin 2\zeta'$$

für ein Schiff, welches um i Grade überliegt, geht diese Formel über in die folgende, in welcher χ die Aenderung in C bei einem Grade Krängung bezeichnet:

$$\delta_i = B. \sin \zeta' + (C \mp \chi. i^\circ). \cos \zeta' + D. \sin 2\zeta'$$

oder $\delta_i = \delta \mp \chi. i^\circ. \cos \zeta'$

d. h. der Fehler der Krängung ändert proportional der Anzahl Grade der Krängung und dem Kosinus des Kompaskurses.

Wenn man also annehmen kann, dass der Krängungsfehler positiv ist, d. h. dass das Nordende der Nadel nach Luv hin abgelenkt wird, so gelten folgende Regeln (ohne dass man über den Betrag des Fehlers Näheres weiss):

1. Wenn das Schiff nach Backbord überliegt.

Auf nördlichen Kursen $\left\{ \begin{array}{l} \text{Ostdeviation wird vermehrt.} \\ \text{Westdeviation wird vermindert.} \end{array} \right.$

Auf südlichen Kursen $\left\{ \begin{array}{l} \text{Ostdeviation wird vermindert.} \\ \text{Westdeviation wird vermehrt.} \end{array} \right.$

2. Wenn das Schiff nach Steuerbord überliegt.

Auf nördlichen Kursen $\left\{ \begin{array}{l} \text{Ostdeviation wird vermindert.} \\ \text{Westdeviation wird vermehrt.} \end{array} \right.$

Auf südlichen Kursen $\left\{ \begin{array}{l} \text{Ostdeviation wird vermehrt.} \\ \text{Westdeviation wird vermindert.} \end{array} \right.$

Einen positiven Krängungsfehler kann man (auf Nordbreite) immer annehmen bei Schiffen, welche auf nördlichen Kursen gebaut sind (vorausgesetzt, dass der Kompass auf dem Hinterdeck steht). Bei Schiffen, welche auf südlichen Kursen gebaut sind, ist der Krängungsfehler im Allgemeinen sehr gering. Sollte in einzelnen Fällen ein negativer Krängungsfehler konstatiert, d. h. das Nordende der Nadel nach Lee abgelenkt werden, so gelten die vorstehenden Regeln durchweg umgekehrt.

Eine Bestimmung des Krängungsfehlers direkt ist nur ausführbar durch ein Krängen des Schiffes auf nördlichen Kursen zwischen NO und NW oder auf südlichen Kursen zwischen SO und SW um mindestens 5 Grad. Der Unter-

schied der beobachteten Deviation auf demselben Kompaskurs aufrecht und um i Grade überliegend giebt den Krängungsfehler, aus welchem der Krängungskoeffizient (d. h. Aenderung der Deviation für 1° Krängung auf Nordkurs) zu finden ist, entweder aus der obigen Formel, aus welcher man hat:

$$\frac{\delta - \delta_i}{i^\circ \cdot \cos \zeta'} = \chi$$

oder bequemer mit Hülfe der nachfolgenden

Tabelle

des Krängungsfehlers für 1° Neigung.
(Krängungskoeffizient $\cdot \cos$ Kompaskurs.)

Nord u. Süd Krängungs- Koeffizient	NzO	NNO	NOzN	NO	NOzO	ONO	OzN	Nord u. Süd Krängungs- Koeffizient
	NzW	NNW	NWzN	NW	NWzW	WNW	WzN	
	SzO	SSO	SOzS	SO	SOzO	OSO	OzS	
	SzW	SSW	SWzS	SW	SWzW	WSW	WzS	
0,0°	0,0°	0,0°	0,0°	0,0°	0,0°	0,0°	0,0°	0,0°
0,1°	0,10°	0,09°	0,08°	0,07°	0,06°	0,04°	0,02°	0,1°
0,2°	0,20°	0,18°	0,17°	0,14°	0,11°	0,08°	0,04°	0,2°
0,3°	0,29°	0,28°	0,25°	0,21°	0,17°	0,11°	0,06°	0,3°
0,4°	0,39°	0,37°	0,33°	0,28°	0,22°	0,15°	0,08°	0,4°
0,5°	0,49°	0,46°	0,42°	0,35°	0,28°	0,19°	0,10°	0,5°
0,6°	0,59°	0,55°	0,50°	0,42°	0,33°	0,23°	0,12°	0,6°
0,7°	0,69°	0,65°	0,58°	0,49°	0,39°	0,27°	0,14°	0,7°
0,8°	0,78°	0,74°	0,67°	0,57°	0,44°	0,31°	0,16°	0,8°
0,9°	0,88°	0,83°	0,75°	0,64°	0,50°	0,34°	0,18°	0,9°
1,0°	0,98°	0,92°	0,83°	0,71°	0,56°	0,38°	0,20°	1,0°
1,1°	1,08°	1,02°	0,91°	0,78°	0,61°	0,42°	0,21°	1,1°
1,2°	1,18°	1,11°	1,00°	0,85°	0,67°	0,46°	0,23°	1,2°
1,3°	1,28°	1,20°	1,08°	0,92°	0,72°	0,50°	0,25°	1,3°
1,4°	1,37°	1,29°	1,16°	0,99°	0,78°	0,54°	0,27°	1,4°
1,5°	1,47°	1,39°	1,25°	1,06°	0,83°	0,57°	0,29°	1,5°
1,6°	1,57°	1,48°	1,33°	1,13°	0,89°	0,61°	0,31°	1,6°
1,7°	1,67°	1,57°	1,41°	1,20°	0,94°	0,65°	0,33°	1,7°
1,8°	1,77°	1,66°	1,50°	1,27°	1,00°	0,69°	0,35°	1,8°
1,9°	1,86°	1,76°	1,58°	1,34°	1,06°	0,73°	0,37°	1,9°
2,0°	1,96°	1,85°	1,66°	1,41°	1,11°	0,77°	0,39°	2,0°
2,1°	2,06°	1,94°	1,75°	1,48°	1,17°	0,80°	0,41°	2,1°
2,2°	2,16°	2,03°	1,83°	1,56°	1,22°	0,84°	0,43°	2,2°
2,3°	2,26°	2,12°	1,91°	1,63°	1,28°	0,88°	0,45°	2,3°
2,4°	2,35°	2,22°	1,99°	1,70°	1,33°	0,92°	0,47°	2,4°
2,5°	2,45°	2,31°	2,08°	1,77°	1,39°	0,96°	0,49°	2,5°

Der Krängungskoeffizient d. h. der Krängungsfehler auf Nordkurs für 1° Neigung übersteigt nicht oft 2° , ein Werth von 1° oder von $0,5^\circ$ bis $1,5^\circ$ wird in den meisten Fällen auf eisernen Schiffen der Wirklichkeit nahe kommen.

Beispiele.

1. Der Krängungs-Koeffizient des Regel-Kompasses S. M. Schiff „Deutschland“ beträgt $+0,6^\circ$. Das Schiff steuert NNW per Kompass und liegt dabei nach B. B. 15° über; die Deviation auf geradem Kiel ist $-9,8^\circ$. Was ist die Gesamt-Deviation und der magnetische Kurs?

In der Tabelle sucht man zunächst in der mit Nord und Süd überschriebenen Spalte den Krängungs-Koeffizienten $0,6^\circ$ auf, geht dann auf derselben Horizontallinie bis zu der mit NNW bezeichneten Rubrik und findet hier $0,55^\circ$ für 1° Neigung;

mithin ist der Krängungsfehler für 15° Neigung $= +0,55 \cdot 15^\circ$
 $= 8,3^\circ$ und zwar Ost, weil die Nadel nach Luv (Steuerbord) abgelenkt wird.

$$\text{Ges.-Dev.} = -9,8^\circ + 8,3^\circ = -1,5^\circ.$$

$$\text{Der mag. K. des Schiffes} \dots = \text{N } 24^\circ \text{ W.}$$

2. Das Schiff steuert denselben Kurs, liegt aber nach Steuerbord 15° über. Was ist nun die Gesamt-Deviation und der magnetische Kurs des Schiffes?

Man erhält wie vorhin $8,3^\circ$, aber W, weil das Nordende der Nadel nach der Backbord- (Luv-) Seite abgelenkt wird.

$$\text{Ges.-Dev.} = -9,8^\circ + (-8,3^\circ) = -18,1^\circ.$$

$$\text{Der mag. K. des Schiffes} \dots = \text{N } 40,6^\circ \text{ W.}$$

3. Das Schiff steuert SOzS per Kompass über Steuerbord-Bug mit 8° Neigung; die Deviation auf geradem Kiel ist $+4,8^\circ$. Was ist die Gesamt-Deviation und der magnetische Kurs?

In der Tabelle findet man in der mit SOzS überschriebenen Rubrik für 1° Neigung $= 0,5^\circ$, mithin für $8^\circ = 0,5 \cdot 8,0 = 4,0^\circ$ und zwar Ost, denn das Nordende der Nadel wird nach der Luv- (Backbord-) Seite abgelenkt.

$$\text{Ges.-Dev.} = +4,8 + 4,0 = +8,8^\circ.$$

$$\text{Der mag. K. des Schiffes} = \text{S } 25,0^\circ \text{ O.}$$

4. Das Schiff steuert denselben Kurs, liegt aber nach Backbord 8° über. Was ist die Gesamt-Deviation und der magnetische Kurs?

Wie vorhin ist der Krängungsfehler $= 4,0^\circ$, jetzt aber W, weil das Nordende von der Steuerbord- (Luv-) Seite angezogen wird.

$$\text{Ges.-Dev.} = +4,8 - 4,0 = +0,8^\circ.$$

$$\text{Der mag. Kurs des Schiffes} = \text{S } 33,0^\circ \text{ O.}$$

5. Das Schiff soll magnetisch SO steuern, muss aber über Backbord-Bug liegen mit 15° Neigung. Deviation auf geradem Kiel $+6,8^\circ$. Was ist per Kompass zu steuern?

Zunächst ist die Deviation auf geradem Kiel zu berücksichtigen, und man erhält hierfür Kompaskurs S $51,8^\circ$ O oder nahe $\text{SO}1/2\text{O}$.

$\text{SO}1/2\text{O}$ in vorstehender Tabelle ergibt für den Krängungs-Koeffizienten $0,6^\circ$ den Werth $0,38^\circ$ für 1° der Neigung,

mithin für 15° den Werth $0,38 \cdot 15 = 5,7^\circ$ W Deviation, weil das Nordende der Nadel von der Luv- (Steuerbord-) Seite angezogen wird.

Ganze an SO anzubringende Deviation = + 6,8° - 5,7°.

$$= + 1,1^\circ$$

Mithin Kompaskurs = S 46,1° O.

6. Derselbe Kurs soll gesteuert werden, das Schiff muss aber mit derselben Neigung über Steuerbord liegen. Was ist per Kompas zu steuern?

Dev. auf geradem Kiel = + 6,8°

Dev. für Krängung . = + 5,7°

$$\underline{\quad\quad\quad} + 12,5^\circ$$

Ost, weil das Nordende der Nadel von der Luv- (Backbord-) Seite angezogen wird.

Mithin Kompaskurs = S 57,5° O.

7. Das Schiff soll magnetisch NzO steuern, muss dabei aber über Steuerbord-Bug liegen mit 12° Neigung. Deviation auf geradem Kiel = - 1,8°. Was ist per Kompas zu steuern?

Für NzO findet man bei demselben Krängungs-Koeffizienten für 1° der Neigung = 0,59°

mithin für 12° = 0,59° · 12 = 7,1° W. Dev. (Nordende der Nadel nach der Luv- (Backbord-) Seite angezogen).

Ges.-Dev. = - 1,8° + (- 7,1°) = - 8,9°, mithin Kompaskurs = N 20,2° O.

8. Es soll derselbe magnetische Kurs gesteuert werden, das Schiff muss aber mit derselben Neigung über Backbord-Bug liegen. Was ist per Kompas zu steuern?

Dev. auf geradem Kiel = - 1,8°.

Dev. für Krängung = + 7,1°, weil jetzt die Nadel von der Steuerbordseite angezogen wird.

Ges.-Dev. = - 1,8° + 7,1° = + 5,3°.

Kompaskurs = N 6,0° O.

Umgekehrt lässt sich auch mit Hilfe der Tabelle der Krängungs-Koeffizient annähernd bestimmen, wenn die Deviation auf geradem Kiel bekannt ist, seit der Bestimmung aber keine bedeutenden Ortsveränderungen stattgefunden haben, und die Deviation bei gekrängtem Schiffe auf den Strichen zwischen NO—NW und SO—SW beobachtet wird.

Beispiel.

Ein Schiff segelt über Backbord-Bug und steuert NWzN bei 14° Krängung. Die Deviation auf diesem Kurse bei geradem Kiel ist - 8,2°. Es wurde durch Azimuth die Deviation + 4,8° gefunden.

Man will den Krängungs-Koeffizienten hieraus bestimmen.

Diff. der beiden Dev. = 13,0°.

Krängungsfehler für 1° = $\frac{13,0^\circ}{14,0^\circ} = 0,93^\circ$ auf diesem Kurse.

Man sucht in der mit NWzN bezeichneten Spalte der Tabelle die nächste Zahl zu 0,93° auf, hier 0,91, und findet auf derselben Horizontallinie in der mit Nord und Süd überschriebenen Rubrik den Krängungsfehler = 1,1° und zwar +, weil das Nordende der Nadel von der Steuerbord- (Luv-) Seite angezogen ist. Mit Hilfe dieses Koeffizienten lässt sich nun wieder der Krängungsfehler für jeden Kurs und jede Neigung in der vorhin gezeigten Weise finden.

§ 38. Die Aenderungen in der Deviation durch Wechsel der geographischen Position.

Aus dem Vorhergehenden ist schon bekannt, dass der Betrag der Deviation sich in der Regel ändert, sobald die Elemente des Erdmagnetismus, Inklination und Intensität, sich verändern.

Alle diejenigen Kräfte, welche lediglich durch die Horizontalkraft des Erdmagnetismus hervorgerufen werden, ändern sich proportional mit dieser. Diese Kräfte sind einerseits die Richtkraft der Nadel, andererseits der horizontal in weichem Eisen inducirte Magnetismus (\mathfrak{D} , \mathfrak{E} , \mathfrak{H}). Die Beziehungen zwischen der Einstellungskraft der Nadel und diesen auf die Nadel störend wirkenden Kräften bleiben also bei wechselnden Werthen der Horizontal-Intensität ungeändert, und das Resultat muss sein, dass die Werthe der Deviation D , E , A , d. h. der quadrantalen und konstanten Deviation, durch einen Wechsel in der geographischen Position keine Aenderung erleiden.

Ganz anders verhält es sich mit der semicirkularen Deviation. Die Kräfte, die hier störend auf die Kompassnadel wirken, sind von der Horizontalkraft des Erdmagnetismus ganz unabhängig; ein Theil ist hervorgerufen durch selbstständig gewordenen Magnetismus des Schiffskörpers, ein anderer Theil durch vertikale Induktion im weichen Eisen. Der erste Theil muss um so stärker wirken, je geringer die Kraft ist, welche die Nadel in den magnetischen Meridian einstellt, d. h. die Wirkung ist der Horizontal-Intensität umgekehrt proportional. Der andere Theil wirkt um so stärker, je stärker die vertikale Induktion und je geringer die Richtkraft der Kompassnadel ist, d. h. proportional dem Verhältniss der Vertikalkraft zur Horizontalkraft, oder, was dasselbe ist, proportional der Tangente der Inklination.

Die Ausdrücke der semicirkularen Deviation sind also zusammengesetzt aus zwei Theilen, welche man in folgender Weise schreiben kann:

$$B = a \cdot \frac{1}{\text{Hor.-Int.}} + b \cdot \text{tg Inkl.}$$

$$C = c \cdot \frac{1}{\text{Hor.-Int.}} + d \cdot \text{tg Inkl.},$$

und bei Kenntniss der erdmagnetischen Elemente für zwei Orte, an welchen beiden die Deviation bestimmt ist, wird sich ein Mittel bieten, die semicirkulare Deviation zu zerlegen in

den Theil, welcher durch Magnetismus des Schiffskörpers und den, welcher durch vertikale Induktion bedingt ist.

Sind H und J Horizontal-Intensität und Inklination für einen Ort, H' und J' für einen zweiten Ort, B und B' , C und C' die zugehörigen Deviations-Koeffizienten, so hat man

$$1. B = a \frac{1}{H} + b \operatorname{tg} J \text{ oder } BH = a + b H \operatorname{tg} J.$$

$$2. B' = a \frac{1}{H'} + b \operatorname{tg} J' \text{ oder } B'H' = a + b H' \operatorname{tg} J'.$$

$$3. C = c \frac{1}{H} + d \operatorname{tg} J \text{ oder } CH = c + d H \operatorname{tg} J.$$

$$4. C' = c \frac{1}{H'} + d \operatorname{tg} J' \text{ oder } C'H' = c + d H' \operatorname{tg} J'.$$

Die Subtraktion von 1 und 2 ergibt:

$$BH - B'H' = b(H \operatorname{tg} J - H' \operatorname{tg} J') \text{ oder}$$

$$I. b = \frac{BH - B'H'}{H \operatorname{tg} J - H' \operatorname{tg} J'}$$

Ebenso entsteht aus 3 und 4:

$$II. d = \frac{CH - C'H'}{H \operatorname{tg} J - H' \operatorname{tg} J'}$$

Die Addition von 1 und 2 ergibt:

$$III. a = \frac{(BH + B'H') - (H \operatorname{tg} J + H' \operatorname{tg} J') b}{2}$$

Die Addition von 3 und 4:

$$IV. c = \frac{(CH + C'H') - (H \operatorname{tg} J + H' \operatorname{tg} J') d}{2}$$

Nach diesen Gleichungen I bis IV lassen sich die Grössen a , b , c und d berechnen.

Wenn diese Theile gefunden sind, so kann man daraus für jeden Ort, für welchen die erdmagnetischen Elemente bekannt sind, auch B und C feststellen.

Der Erfolg wird in der Praxis indess von zweifelhaftem Werth, einmal wegen der Schwierigkeit, durch Beobachtung genügend genaue Werthe zu erhalten, dann aber auch wegen der Unbeständigkeit des Schiffsmagnetismus, namentlich in C (s. folg. Paragraphen), und des unregelmässigen Verhaltens der Eisentheile gegen magnetische Induktion.

An dem folgenden Beispiel soll die Feststellung der Grössen a , b , c , d gezeigt werden.

Beispiel.

Die Grössen α , β , γ , δ aus den Deviationsbeobachtungen an Bord S. M. Schiff „Ariadne“ in Wilhelmshaven und Suez.

In Wilhelmshaven $B = + 13,0^\circ$, $C = - 6,8^\circ$,
 Hor.-Int. = 1,77 = H ,
 Inkl. = + 68,1°,
 tg Inkl. = + 2,49 = J ,

In Suez $B' = + 6,2^\circ$, $C' = - 1,9^\circ$,
 Hor.-Int. = 2,94 = H' ,
 Inkl. = + 41,6°,
 tg Inkl. = + 0,89 = J' .

$$\beta = \frac{B \cdot H - B' \cdot H'}{H \cdot \text{tg } J - H' \cdot \text{tg } J'} \qquad \delta = \frac{C \cdot H - C' \cdot H'}{H \cdot \text{tg } J - H' \cdot \text{tg } J'}$$

$B \cdot H = + 23,01$ $H \cdot \text{tg } J = 4,407$ $C \cdot H = - 12,04$ $H \cdot \text{tg } J = 4,407$
 $B' \cdot H' = + 18,23$ $H' \cdot \text{tg } J' = 2,617$ $C' \cdot H' = - 5,59$ $H' \cdot \text{tg } J' = 2,617$
 $\text{Dff.} = + 4,78$ $\text{Dff.} = + 1,790$ $\text{Dff.} = - 6,45$ $\text{Dff.} = + 1,790$

$$\beta = + \frac{4,78}{1,79} = + 2,7^\circ \qquad \delta = \frac{- 6,45}{+ 1,79} = - 3,6^\circ$$

$$\alpha = \frac{(B \cdot H + B' \cdot H') - (H \cdot \text{tg } J + H' \cdot \text{tg } J') \cdot \beta}{2}, \quad \gamma = \frac{(C \cdot H + C' \cdot H') - (H \cdot \text{tg } J + H' \cdot \text{tg } J') \cdot \delta}{2}$$

$(B \cdot H + B' \cdot H') = + 41,24$ $(C \cdot H + C' \cdot H') = - 17,63$
 $(H \cdot \text{tg } J + H' \cdot \text{tg } J') \cdot \beta = + 18,96$ $(H \cdot \text{tg } J + H' \cdot \text{tg } J') \cdot \delta = - 25,29$
 $\text{Dff.} = \frac{22,28}{2} = + 11,14^\circ$ $\text{Dff.} = \frac{7,66}{2} = + 3,83$

Nachdem die Theile α , β und γ , δ gefunden, kann man die in B und C stattfindenden Aenderungen für jeden beliebigen Ort, von dem die Inklination und Horizontal-Intensität bekannt ist, nach den Formeln:

$$B = \frac{\alpha}{\text{Hor.-Int.}} + \beta \cdot \text{tg Inkl.}$$

$$C = \frac{\gamma}{\text{Hor.-Int.}} + \delta \cdot \text{tg Inkl.}$$

berechnen und mit Hilfe dieser Koeffizienten auch eine annähernde Deviations-Tabelle anfertigen, wobei A , E und D als unverändert angenommen werden und aus den früheren Beobachtungen bekannt sind.

Beispiel.

Es soll für Shanghai die Deviation des Regelkompasses S. M. S. „Ariadne“ berechnet werden.

$$\begin{aligned} \text{Shanghai Inkl.} &= +46,2^\circ, \text{tg Inkl.} = +1,04 \\ \text{Hor.-Int.} &= 3,21 \end{aligned}$$

nach den vorhin erwähnten Formeln ist:

$$\begin{aligned} B &= +2,7^\circ \cdot 1,04 + \frac{11,14^\circ}{3,21} & C &= -3,6^\circ \cdot 1,04 + \frac{3,83^\circ}{3,21} \\ &= +2,8 + 3,47 & &= -3,74 + 1,19 \\ &= +6,27^\circ & &= -2,55^\circ. \\ D \text{ aus früheren Beobachtungen} &= +2,8^\circ \\ A \text{ und } E &= 0. \end{aligned}$$

I Kompasskurs	II		III		IV		V	VI
	$B + 6,27^\circ$		$C - 2,55^\circ$		$D + 2,8^\circ$		Kol. II + III	Kol. IV + V
	$\sin \zeta'$	$B \sin \zeta'$	$\cos \zeta'$	$C \cos \zeta'$	$\sin 2\zeta'$	$D \sin 2\zeta'$	Semi- circulare Deviation	Deviation für Shanghai
N	0	0,0 °	1	-2,55°	0	0,0 °	-2,55°	-2,55°
NNO	S ₂	+2,40°	S ₆	-2,36°	S ₄	+1,98°	+0,04°	+2,02°
NO	S ₄	+4,43°	S ₄	-1,80°	1	+2,80°	+2,63°	+5,43°
ONO	S ₆	+5,79°	S ₂	-0,98°	S ₄	+1,98°	+4,81°	+6,79°
O	1	+6,27°	0	0,0 °	0	0,0 °	+6,27°	+6,27°
OSO	S ₆	+5,79°	-S ₂	+0,98°	-S ₄	-1,98°	+6,77°	+4,79°
SO	S ₄	+4,43°	-S ₄	+1,80°	-1	-2,80°	+6,23°	+3,43°
SSO	S ₂	+2,40°	-S ₆	+2,36°	-S ₄	-1,98°	+4,76°	+2,78°
S	0	0,0 °	-1	+2,55°	0	0,0 °	+2,55°	+2,55°
SSW	S ₂	-2,40°	-S ₆	+2,36°	S ₄	+1,98°	-0,04°	+1,94°
SW	S ₄	-4,43°	-S ₄	+1,80°	1	+2,80°	-2,63°	+0,17°
WSW	S ₆	-5,79°	-S ₂	+0,98°	S ₄	+1,98°	-4,81°	-2,83°
W	1	-6,27°	0	0,0 °	0	0,0 °	-6,27°	-6,27°
WNW	S ₆	-5,79°	S ₂	-0,98°	-S ₄	-1,98°	-6,77°	-8,75°
NW	S ₄	-4,43°	S ₄	-1,80°	-1	-2,80°	-6,23°	-9,03°
NNW	S ₂	-2,40°	S ₆	-2,36°	-S ₄	-1,98°	-4,76°	-6,74°

Kennt man die einzelnen Theile a , b , c , d der Koeffizienten B und C nicht, so lassen sich diese Koeffizienten angenähert berechnen unter der Annahme, dass dieselben bei mittschiffs aufgestellten Kompassen eiserner Schiffe zum grössten Theile vom permanenten Magnetismus erzeugt sind, und die Veränderungen lediglich umgekehrt wie die Horizontal-Intensitäten des Erdmagnetismus eintreten $\left(B' = B \cdot \frac{H}{H'}, C' = C \cdot \frac{H}{H'} \right)$, bei Kompassen, die auf eisernen Schiffen nicht in der Mittschiffs-

linie stehen, beide Koeffizienten zu gleichen Theilen vom permanenten und vertikal inducirten Magnetismus abhängen

$$\left(B' = B \cdot \frac{1}{2} \left[\frac{H}{H'} + \frac{tg J'}{tg J} \right], C' = C \cdot \frac{1}{2} \left[\frac{H}{H'} + \frac{tg J'}{tg J} \right] \right),$$

dass dagegen auf hölzernen Schiffen B und C sich nur aus Kräften des vertikal inducirten Magnetismus zusammensetzen

$$\left(B' = B \frac{tg J'}{tg J}, C' = C \frac{tg J'}{tg J} \right); C \text{ ist bei mittschiffs auf-}$$

gestellten Kompassen solcher Schiffe gewöhnlich sehr klein, so dass die Veränderungen dieses Koeffizienten überhaupt unberücksichtigt gelassen werden können.

Das auf Seite 98 folgende Beispiel mit zugehöriger Tabelle zeigt die so berechnete Deviationsänderung an Bord einer hölzernen Segelfregatte für eine Reise von Kiel nach Island.

Deviationsänderung des Regelkompasses Sr. Maj. Schiff

„Niobe“ auf der Reise von Kiel nach Island.

In Kiel beobachtete Deviationskoeffizienten:

$$B + 1,97^\circ, C + 0,22^\circ, D + 0,27^\circ, E + 0,02^\circ, A - 0,76^\circ.$$

$$\text{Kiel Inkl.} = 68,2^\circ \text{ tg Inkl. } 2,50,$$

$$\text{Island - } = 77,0^\circ \text{ - } 4,33.$$

Aenderung des Koeffizienten B proportional der Tangente der Inklination

$$\begin{aligned} B' &= \frac{B \cdot tg J'}{tg J} \\ &= \frac{+1,97 \cdot 4,33}{2,5} \\ &= +3,41. \end{aligned}$$

Selbstverständlich machen die hierauf basirenden Rechnungen keinen Anspruch auf grosse Genauigkeit.

Für die Praxis ist es zu empfehlen, die Aenderungen der Deviation durch direkte Beobachtungen zu finden und die angegebenen Vorausberechnungen nur als Anhalt zu benutzen für die auf Reisen zu erwartenden Deviationsänderungen.

Man kann sich dann auch begnügen, auf zwei Kardinalpunkten genaue Beobachtungen anzustellen und die Differenzen $B_{II} - B_I, C_{II} - C_I$ aus den alten und neuen Beobachtungen zu bilden.

Man hat aus zwei Orten I und II:

$$\delta_{II} = [B_I + (B_{II} - B_I)] \cdot \sin \zeta' + [C_I + (C_{II} - C_I)] \cdot \cos \zeta' + D \cdot \sin 2 \zeta' \text{ oder}$$

$$\delta_{II} = \delta_I + (B_{II} - B_I) \cdot \sin \zeta' + (C_{II} - C_I) \cdot \cos \zeta'$$

und da B die Deviation auf Kurs Ost und C die Deviation auf Kurs Nord ist (oder West resp. Süd mit umgekehrtem Vorzeichen) — A und E hierbei zu Null angenommen — so ergibt sich das auf Seite 99 dargestellte Verfahren.

Deviations-Tabelle für Island.

Kompasskurs	1.		2.		3.		4.		5.	6.	7.	8.	9.	10.
	$B' \sin \zeta'$	$C \cos \zeta'$	$D \sin 2\zeta'$	$E \cos 2\zeta'$	Summa	Summa	Summa	Summa	A	Deviation für Island	Deviation in Kiel			
N	0	1	0	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
NNO	+1,30°	+0,22°	S ₄	S ₄	+0,00°	+0,02°	+	+	+1,50°	+0,22°	+0,24°	+	-0,5°	0,0°
NO	+2,41°	+0,20°	1	0	+0,19°	+0,01°	S ₄	+	+1,50°	+0,20°	+1,70°	+	+0,9°	+0,5°
ONO	+3,15°	+0,15°	S ₄	0	+0,27°	0,00°	0	+	+2,56°	+0,27°	+2,83°	+	+2,1°	+1,0°
O	+3,41°	+0,09°	0	-1	+0,19°	-0,01°	S ₄	+	+3,24°	+0,18°	+3,42°	+	+2,7°	+1,3°
OSO	+3,41°	0,00°	0	-1	0,00°	-0,02°	0	+	+3,41°	+0,02°	+3,39°	+	+2,6°	+1,5°
SO	+2,41°	-0,09°	-S ₄	-S ₄	-0,19°	-0,01°	-S ₄	+	+3,06°	-0,20°	+2,86°	+	+2,1°	+0,5°
SSO	+1,30°	-0,15°	-1	0	-0,27°	0,00°	0	+	+2,26°	-0,27°	+1,99°	+	+1,2°	0,0°
S		-0,20°	-S ₄	S ₄	-0,19°	+0,01°	S ₄	+	+1,10°	+0,18°	+0,92°	+	+0,2°	0,0°
SSW								+	+0,22°	+0,02°	+0,20°	+	+0,9°	+0,5°
SW								+	+1,50°	+0,20°	+1,30°	+	+2,1°	+1,8°
WSW								+	+2,56°	+0,27°	+2,29°	+	+3,0°	+2,0°
W								+	+3,24°	+0,18°	+3,06°	+	+3,8°	+2,3°
WNW								+	+3,41°	+0,02°	+3,43°	+	+4,2°	+2,7°
NW								+	+3,06°	-0,20°	+2,86°	+	+4,0°	+2,5°
NNW								+	+2,26°	-0,27°	+1,99°	+	+3,3°	+2,5°
								+	+1,10°	-0,18°	+0,92°	+	+2,0°	+1,8°

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Schiff lag an nach dem Kompass	Beobachtete Deviation an der Normalstation Wilhelms-haven	Beobachtete Deviation auf der Rhede von Suez. Schiff lag an O und S per Kompass	Differenz der beiden Deviationen Col.3 - Col.2	Berechnete Veränderung		Gesamtveränderung der Deviation Col.5 + Col.6	Deviation für die neue Station Suez
				$\Delta B \sin \zeta'$	$\Delta C \cos \zeta'$		
N	- 8,2°			+ 4,40°	0,00°	+ 4,40°	- 3,8°
NzO	- 4,2°			+ 4,32°	- 1,21°	+ 3,11°	- 1,1°
NNO	- 0,5°			+ 4,07°	- 2,37°	+ 1,70°	+ 1,2°
NOzN	+ 3,1°			+ 3,66°	- 3,44°	+ 0,22°	+ 3,3°
NO	+ 7,1°			+ 3,11°	- 4,38°	- 1,27°	+ 5,8°
NOzO	+ 9,3°			+ 2,44°	- 5,16°	- 2,72°	+ 6,6°
ONO	+ 11,3°			+ 1,68°	- 5,73°	- 4,05°	+ 7,2°
OzN	+ 12,6°			+ 0,86°	- 6,08°	- 5,22°	+ 7,4°
O	+ 12,8°	+ 6,6°	- 6,2°	0,00°	- 6,20°	- 6,20°	+ 6,6°
OzS	+ 13,0°			- 0,86°	- 6,08°	- 6,94°	+ 6,1°
OSO	+ 11,3°		= $B_{II} - B_I$	- 1,68°	- 5,73°	- 7,41°	+ 3,9°
SOzO	+ 12,0°		= ΔB	- 2,44°	- 5,16°	- 7,60°	+ 4,4°
SO	+ 11,0°			- 3,11°	- 4,38°	- 7,49°	+ 3,5°
SOzS	+ 8,8°			- 3,66°	- 3,44°	- 7,10°	+ 1,7°
SSO	+ 8,0°			- 4,07°	- 2,37°	- 6,44°	+ 1,6°
SzO	+ 8,1°			- 4,32°	- 1,21°	- 5,53°	+ 2,6°
S	+ 6,8°	+ 2,4°	$\pm 4,4°$	- 4,40°	0,00°	- 4,40°	+ 2,4°
SzW	+ 4,5°			- 4,32°	+ 1,21°	- 3,11°	+ 1,4°
SSW	+ 1,5°		= $C_{II} + C_I$	- 4,07°	+ 2,37°	- 1,70°	+ 0,2°
SWzS	- 0,5°			- 3,66°	+ 3,44°	- 0,22°	- 0,7°
SW	- 2,5°		= ΔC	- 3,11°	+ 4,38°	+ 1,27°	- 1,2°
SWzW	- 3,2°			- 2,44°	+ 5,16°	+ 2,72°	- 0,5°
WSW	- 8,0°			- 1,68°	+ 5,73°	+ 4,05°	- 3,9°
WzS	- 10,1°			- 0,86°	+ 6,08°	+ 5,22°	- 4,9°
W	- 14,3°			0,00°	+ 6,20°	+ 6,20°	- 8,1°
WzN	- 16,5°			+ 0,86°	+ 6,08°	+ 6,94°	- 9,6°
WNW	- 17,7°			+ 1,68°	+ 5,73°	+ 7,41°	- 10,3°
NWzW	- 19,6°			+ 2,44°	+ 5,16°	+ 7,60°	- 12,0°
NW	- 19,5°			+ 3,11°	+ 4,38°	+ 7,49°	- 12,0°
NWzN	- 16,5°			+ 3,66°	+ 3,44°	+ 7,10°	- 9,4°
NNW	- 11,5°			+ 4,07°	+ 2,37°	+ 6,44°	- 5,1°
NzW	- 9,0°			+ 4,32°	+ 1,21°	+ 5,53°	- 3,5°

Es ist klar, dass auch der Krängungsfehler mit der geographischen Ortsveränderung stark variiren muss. Ein Schiff, dessen Krängungsfehler im Heimathshafen so gering war, dass man ihn nicht feststellen konnte, weil es beim Bau Süd angelegen hatte, kann bei einer Reise nach der südlichen Halbkugel dort einen sehr bemerklichen negativen Krängungsfehler haben, da die Kräfte, welche sich anfangs neutralisirten, hier zusammenwirken.

Aus allem Vorhergehenden geht zur Genüge hervor, dass bei längeren Reisen nur die stete Kontrolle der Deviation durch astronomische Beobachtungen Sicherheit gewährt, und dass die Kenntniss der dargelegten Verhältnisse vorzugsweise dazu führen sollte, grosse Sorgsamkeit in Bezug hierauf zu üben.

§ 39. Aenderungen, welche von der Zeit abhängen.

Wenn man eine Stange von ausgeglühtem weichem Eisen auf höherer Breite vertikal hält, so kann man an derselben einen Südpol oben und einen Nordpol unten nachweisen. Dreht man die Stange so um, dass das obere Ende nach unten, das untere nach oben kommt, so wechseln beide Enden sofort ihre Polarität. Wenn aber die Stange längere Zeit vertikal aufbewahrt war, so wird man finden, dass ein Umdrehen der Stange nicht ein sofortiges Umwechseln der Pole zur Folge hat, sondern dass dies erst nach einiger Zeit eintritt. Wurde die Stange in ihrer vertikalen Stellung durch Hammerschläge in Vibrationen versetzt, so haftet der Magnetismus fester. Erst nach einiger Zeit verliert die Stange einen Theil des Magnetismus, nach längerer Zeit verliert sie ihn in der Regel ganz. Wenn man dagegen die Stange umdreht und wie vorher mit einem Hammer schlägt, so verschwindet der Magnetismus sogleich, und wenige Schläge mehr genügen, um einen Magneten mit nun umgekehrten Polen aus der Stange zu machen. (Es ist eine vertikale Lage angenommen, da dieselbe nahe genug der Richtung der Inklination, in Deutschland 68° , kommt. Besser geht diese Induktion natürlich vor sich, wenn das Eisen sich genau in der Richtung der Erdkraft befindet.)

Die vorstehend aufgeführten Experimente werden ausreichen, um die Ursachen der von der Zeit abhängigen Deviationsänderungen zu erklären. Es war dabei eine ganz weiche Eisenstange angenommen. Nimmt man statt dessen

eine Stahlstange, so wird eine Erregung von Magnetismus, ohne gleichzeitige starke Erschütterung der Stange, nicht nachzuweisen sein; erscheint aber Magnetismus darin in Folge von anhaltendem Hämmern in der Richtung der Erdkraft, so würde wiederum eine Umkehrung des Magnetismus nicht leicht herbeizuführen sein.

Aus der Deviation der Kompassse vieler Schiffe hat man nun einen Schluss ziehen können über den Grad der Permanenz des in einem Schiffskörper angesammelten Magnetismus. Es haben sich dabei grosse Verschiedenheiten ergeben, und ein Theil dieser von einander abweichenden Erscheinungen hat sich auf die Qualität des Eisenmaterials zurückführen lassen. Im Allgemeinen kann als nachgewiesen betrachtet werden:

1. Der permanente Magnetismus des Schiffskörpers ist Veränderungen unterworfen, welche von der Zeit, den Bewegungen des Schiffes, den Ortsveränderungen und anderen äusseren Verhältnissen, denen das Schiff ausgesetzt ist, abhängen. Der magnetische Charakter des Schiffes prägt sich während des Baues aus, indem dem Erdmagnetismus Gelegenheit gegeben wird während desselben und der Bearbeitung des Schiffseisens lange Zeit in derselben Richtung inducirend auf das letztere einzuwirken. Ändert das Schiff diese Lage, so treten naturgemäss auch Veränderungen im Schiffsmagnetismus ein. Am grössten sind dieselben in der Regel kurz nach dem Stapellauf, besonders wenn das Schiff längere Zeit in eine der Baulage entgegengesetzte Kursrichtung gebracht wird, und nach den ersten Fahrten. Mit der Zeit werden die Veränderungen geringer, und der Schiffsmagnetismus nimmt ein ziemlich konstantes Verhalten an. Besonders beachtenswerth sind die Änderungen, welche der Schiffsmagnetismus anzunehmen geneigt ist, wenn das Schiff lange denselben oder nahezu denselben Kurs gesteuert hat und der Erdmagnetismus lange Zeit in derselben Richtung auf denselben eingewirkt hat.

Der hierdurch erzeugte Magnetismus wird in dem von der Deutschen Seewarte herausgegebenen Handbuche „Der Kompass an Bord“ mit „remanent“ bezeichnet und wird demselben in den zur Berechnung der Änderungen der Deviation resp. der Koeffizienten B und C gegebenen Formeln besonders Ausdruck gegeben. Ist der durch diesen Magnetismus hervorgerufene Theil von B gleich e , der von C gleich f und ist ζ der längere Zeit hindurch gesteuerte Kurs, so tritt in den Seite 93 gegebenen Formeln noch ein drittes Glied hinzu, und dieselben werden:

$$B = a \frac{1}{H} + b \operatorname{tg} J - c \operatorname{sec} J \cos \zeta_1,$$

$$C = c \frac{1}{H} + d \operatorname{tg} J + f \operatorname{sec} J \sin \zeta_1.$$

Ein lange Zeit hindurch gesteuerter nördlicher Kurs ruft ein $-B$ hervor, ein südlicher Kurs ein $+B$, ein östlicher ein $+C$ und ein westlicher ein $-C$.

Weitere nennenswerthe, in der Regel jedoch vorübergehende Aenderungen des Schiffsmagnetismus und damit der Deviation pflegen einzutreten durch starke Erschütterungen des Schiffes wie sie bei Grundberührungen oder beim Abfeuern schwerer Geschütze eintreten. Durch solche Erschütterungen können namentlich auch die zuletzt geschilderten Wirkungen, wenn das Schiff längere Zeit einen Kurs anliegt, erheblich verstärkt werden.

2. Das weiche Eisen des Schiffes ändert seine Empfänglichkeit gegen die Induktion der Erdkraft mit der Zeit. Es verliert in gewissem Grade seine Fähigkeit, Magnetismus aufzunehmen, wodurch eine Verringerung der Deviation eintritt. Dieses Verhalten des Eisens ist aber bisher noch nicht eingehend genug untersucht und entzieht sich vorläufig einer eingehenderen Behandlung.

Betrachtet man die Aenderung der Grössen C , B , D , so ergibt sich Folgendes:

1. C ist am meisten vom permanenten Schiffsmagnetismus beeinflusst. Ein auf dem Stapel gefundenes grosses C verringert sich, sobald das Schiff abgelaufen ist, gewöhnlich sehr bedeutend.
2. B ändert sich ebenfalls, aber nicht in so bemerklicher Weise wie C , da ein grosser Theil seines Betrages von vertikal inducirtem Magnetismus herrührt. Die vertikale Induktion wirkt aber beständig weiter, so dass man von ihr in manchen Fällen vielleicht eine Vergrösserung des Betrages von B mit der Zeit erwarten kann. Die Aenderungen in B und C haben zur Folge, dass die Resultante beider nicht mehr die Richtung der Erdkraft während des Baues anzeigt, sondern von dieser Richtung fast immer bedeutend nach der Kielrichtung hin abweicht.
3. D kann auch hier im Allgemeinen als konstant angenommen werden. Eine Verringerung dieses Betrages ist in vielen Fällen konstatiert, aber nicht in solchem Grade, dass die gesammte Deviation hierdurch allein wesentlich verändert worden wäre.

Beispiele.

1. Ein sehr instruktives Beispiel für die Aenderung des Koefficienten C bietet S. M. S. „Preussen“.

Baukurs N 60° W.

	Regelkompass.		B. B. Steuerkompass.		St. B. Steuerkompass.	
	B	C	B	C	B	C
Swinemünde 10./7. 1876.	-2,3°	-4,8°	-9,9°	+0,5°	-8,2°	-9,1°
Kiel 21./5. 1877.	-1,5°	-2,0°	-10,4°	+3,2°	-9,9°	-7,4°
Kiel 14./5. 1878.	-0,4°	0°	-9,0°	+4,2°	-8,9°	-5,3°

Alle drei Kompassse stehen in gleicher Höhe. Das + C des Backbord-Steuerkompassses ist auf die Nähe des eisernen Kreuzmastes zurückzuführen.

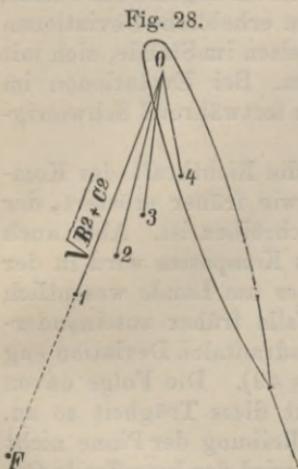
2. Das nebenstehende Diagramm veranschaulicht die Aenderung der Grösse und Richtung der magnetischen Resultante $\sqrt{B^2 + C^2}$ für den Kompass des Great Eastern, welche von Kapt. Evans R. N. während der Probefahrten dieses Schiffes beobachtet wurde.

Die terrestrische Horizontalkraft = 1 wird durch die Länge OF dargestellt, die magnetische Resultante für den Kompass ist dann:

Auf der Themse, 7. Sptbr. 1859	O_1
Zu Portland . . . 12. Sptbr. 1859	O_2
Zu Holyhead . . . 23. Sptbr. 1859	O_3
Zu Southampton, 15. Juni 1860	O_4

3. Den Deviationsbestimmungen S.M.S. „Ariadne“ ist nachstehende Reihe der Werthe von D entnommen, welche das konstante Verhalten dieses Theiles der Deviation veranschaulicht.

		D (Regelkompass)	
Aussen-Jade	Oktober 1874	. . . .	+ 3,2°
Suez	November 1874	. . . .	+ 2,6°
Takuchan	Juli 1875	. . . .	+ 3,0°
Shanghai	November 1875	. . . .	+ 2,9°
Singapore	August 1876	. . . .	+ 2,9°
Port Said	September 1876	. . . .	+ 3,0°
Wilhelmshaven	November 1877	. . . .	+ 3,1°
Rio de Janeiro	Dezember 1877	. . . .	+ 2,5°
Panamá	März 1878	. . . .	+ 2,3°



§ 40. Die Kompensation der Deviation.

Nachdem im Vorhergehenden die Deviation nach den verschiedenen Ursachen zerlegt und das Wesen der einzelnen Theile betrachtet worden ist, sollen hier noch einmal kurz die Unzuträglichkeiten zusammengefasst werden, welche eine grosse Deviation mit sich bringt.

1. Die Genauigkeit von Kursen und Peilungen wird beeinträchtigt, da die Deviation nur auf bestimmten Strichen ermittelt wird, zwischen welchen durch Interpolation die Deviation des Kurses festzustellen ist. Wenn bei geringen Deviationsbeträgen hierbei kein erheblicher Fehler zu befürchten ist, so wird die Unsicherheit bei Deviationen von mehr als zwei Strich deutlich hervortreten. Da, wo die Deviation von Strich zu Strich schnell ändert (z. B. wenn, wie es vorkommen kann, auf einen Strich Kursänderung ein Strich Deviationsänderung kommt, kann man einen Kurs nicht mehr mit Genauigkeit inne halten. Beim Navigiren im engen Fahrwasser, wo der Kurs oft wechselt, werden erhebliche Deviationen sehr lästig. Die Lootsen sind selten im Stande, sich mit der Deviation leicht abzufinden. Bei Evolutionen im Geschwader bietet die Deviation fortwährend Schwierigkeiten.
2. Auf verschiedenen Kursen ist die Richtkraft des Kompasses sehr verschieden, was, wie früher erörtert, der semicirkularen Deviation zuzuschreiben ist. Aber auch die mittlere Richtkraft des Kompasses wird in der Regel gegen die eines Kompasses am Lande wesentlich herabgedrückt, was, wie ebenfalls früher auseinandergesetzt, mit der Ursache der quadrantalen Deviation eng zusammenhängt (s. Seite 46 bis 49). Die Folge davon ist ein träger Kompass. Nimmt diese Trägheit so zu, dass die magnetische Kraft die Reibung der Pinne nicht mehr genügend überwindet, so wird der betreffende Ort zur Aufstellung eines Kompasses unbrauchbar.

Alles dies begründet die Nothwendigkeit, die störenden magnetischen Kräfte im Eisen des Schiffes unschädlich zu machen.

Man hat den Versuch gemacht, dies durch ein Zerstören des Magnetismus im Eisen herbeizuführen, ähnlich wie man bei elektromagnetischen Apparaten das weiche Eisen, welches allmählich Magnetismus annimmt, durch Gegenströme depolarisirt. Solche Versuche haben aber keine Aussicht auf Erfolg. Vielmehr bleibt das einzige Mittel, gleich starke, aber in entgegengesetzter Richtung wirkende magnetische Kräfte einzuführen, welche den magnetischen Kräften des Schiffes das Gleichgewicht halten und so deren Einfluss auf den Kompass aufheben.

Es wurde schon Seite 41 hervorgehoben, dass die Qualität des Erdmagnetismus identisch ist mit der eines Stahlmagneten.

Wenn man eine magnetische Kraft prüfen will und dabei die des Erdmagnetismus ganz aufzuheben wünscht, so kann man dies dadurch erreichen, dass man einen grossen Magneten unter oder über einer Horizontalnadel in der Richtung des magnetischen Meridians mit den Polen über, resp. unter den gleichnamigen der Nadel und in einer solchen Entfernung anbringt, dass die Kraft dieses Magneten den Erdmagnetismus neutralisirt. Dass dieses vollständig gelungen ist, bemerkt man dann daran, dass die frei schwebende Nadel in jeder Richtung, in welche man sie ablenkt, stehen bleibt und kein Bestreben zeigt, in den magnetischen Meridian zurückzukehren. Die erdmagnetische Wirkung auf die Nadel ist dann aufgehoben.

Ganz ebenso ist man auch im Stande, irgend eine andere magnetische Kraft zu neutralisiren und den Erdmagnetismus allein an einem sonst durch anderweitige magnetische Kräfte beeinflussten Ort auf die Nadel wirken zu lassen. Auf diesem Princip beruht die Kompensation der Kompassse durch Anbringung von Stahlmagneten. Man überzeugt sich leicht, dass eine Beeinträchtigung der Richtkraft durch solche Kompensation nicht stattfindet, vielmehr die durch den Einfluss der semicirkularen Deviation auf den verschiedenen Kompassstrichen sehr ungleichmässige Richtkraft durch Aufhebung dieser Deviation wieder gleichmässig gemacht wird.

1. Die Kompensation der semicirkularen Deviation.

Da die Ursache dieses Theils der Deviation eine Kraft ist, welche sich genau so äussert wie die eines Magneten, welcher sich in einer bestimmten Richtung zum Kompass befindet (d. h. einen bestimmten Winkel α zur Kielrichtung bildet), so ist es erforderlich, dass zur Kompensation ein Magnet in Anwendung gebracht werde, welcher, in genau derselben Richtung wirkend, eine gleichstarke, aber entgegengesetzte magnetische Kraft am Ort des Kompasses äussert.

Bei der Untersuchung der Ursachen der Deviation wurde die Kompassnadel so klein angenommen, dass man ihre Dimensionen ganz ausser Acht lassen konnte. Wenn nun Magnete in der Nähe des Kompasses angebracht werden sollen, so erscheint es fraglich, ob diese Annahme auch hier beibehalten werden kann. Die Wirkung eines Magneten auf eine Kompassnadel, deren Dimensionen im Verhältniss zur Entfernung beträchtlich sind, ist aber eine andere, als die Wirkung auf eine verschwindend kleine Nadel. Das Verhältniss wird dann insofern complicirt, als der Magnet nun nicht mehr eine gleiche

und nur der Richtung nach entgegengesetzte Kraft darstellt als die störende Kraft, welche er kompensiren soll. In der That würde die Kompensation auch nicht eine vollständige werden können. Dagegen hat sich ergeben, dass ein System von zwei oder vier parallelen Kompassnadeln wieder gestattet, die Dimensionen des Kompasses ausser Acht zu lassen, wenn nur der Grundsatz innegehalten wird, dem Kompass die Magnete nicht näher zu bringen, als ihre zweimalige Länge beträgt, und sie überhaupt nicht näher zu bringen als durchaus erforderlich.

Von allen Lagen, in welche ein Magnet zum Kompass gebracht werden kann, ist eine solche horizontale Lage desselben, dass eine von der Kompassmitte auf ihn gefällte Vertikale seine Mitte trifft,*) diejenige, in welcher seine magnetische Kraft am meisten ausgenutzt wird. Dieselbe entspricht daher dem eben ausgesprochenen Grundsatz am besten und ist am gebräuchlichsten.

In nachstehender Figur 29 stellt NS einen solchen Magneten dar. Die Pole N und S wirken mit der Kraft $+m$

Fig. 29.

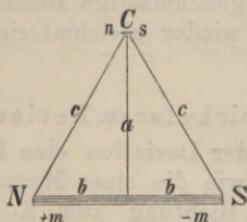
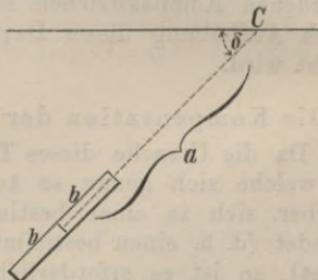


Fig. 30.



und $-m$ im Punkte des Kompasses C im umgekehrten Quadrat ihrer Entfernung c , also im Verhältniss von $+\frac{m}{c^2}$ beziehungsweise $-\frac{m}{c^2}$. Eine Zerlegung dieser Kräfte in die Komponenten senkrecht zu dem Magneten und parallel zu demselben ergibt Folgendes:

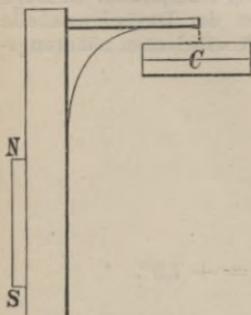
*) Diese Lage wird zum Unterschied von der lothrechten oder schrägen auch kurz die „seitweise“ genannt und auch in der Folge öfter so bezeichnet.

1. In der Richtung a , senkrecht zum Magneten, erhält man $+\frac{m \cdot a}{c^3}$ und $-\frac{m \cdot a}{c^3}$. Die Wirkung hebt sich also ganz auf.
2. In der Richtung SN erhält man die Anziehung $\frac{m \cdot b}{c^3}$ für N und die Abstossung $\frac{m \cdot b}{c^3}$ für S , also die Gesamtwirkung $2m \cdot \frac{b}{c^3}$. Diese Kraft ist parallel der Richtung SN , gleichviel ob die Ebene SNC horizontal, vertikal oder geneigt liegt.

Wenn der Magnet endweise zum Kompass liegt, Fig. 30, so ist die Wirkung des nahen Pols in C gleich $\frac{m}{(a-b)^2}$ und die entgegengesetzte des entfernten Pols gleich $\frac{m}{(a+b)^2}$. Die Differenz beider Wirkungen ist $\frac{4m \cdot a \cdot b}{(a^2 - b^2)^2}$.

Diese letztere Wirkung wird auf den Kompass aber nur voll ausgeübt, wenn der Magnet in der Horizontalebene des Kompasses liegt, andernfalls wirkt nur die in der Horizontalebene liegende Komponente, oder $\frac{4m \cdot a \cdot b}{(a^2 - b^2)^2} \cdot \cos \delta$, worin δ der Winkel ist, welchen c mit der Horizontalen bildet. Wenn also der Magnet vertikal unter dem Kompass steht, so findet keine Wirkung statt, eine Bemerkung, welche schon gelegentlich des Krängungsfehlers gemacht wurde.

Fig. 31.



Anmerkung: Es kommen (z. B. bei sogen. Pfahlkompassen auf Kauffahrteidampfern) Fälle vor, wo man Vertikalmagnete zur Kompensation der semicirkularen Deviation benutzt sieht. Nebenstehende Figur zeigt eine solche Anordnung. Bei einer solchen Art der Kompensation darf nicht vergessen werden, dass beim Ueberholen des Schiffes die Enden des Magneten aus der Vertikalebene des Kompasses gerathen und also einen Krängungsfehler erzeugen.

Beim Kompensiren mit einem Magneten unter dem Kompass ist die Richtung, in welcher der Magnet angebracht werden muss, bestimmt durch den Winkel α , welcher aus der Deviationstabelle zu finden ist durch die Gleichung

$\frac{C}{B} = \operatorname{tg} \alpha$ (§ 33). Die Vorzeichen von C und B bestimmen den Quadranten, in welchem α liegt, und somit die Seite, nach welcher das Nordende des Magneten gerichtet werden muss. Dieser Winkel kann auch aus einer Deviationstabelle oder dem Napierschen Diagramm, in welchem die semicirkulare Deviation verzeichnet ist, entnommen werden; die semicirkulare Deviation ist nämlich gleich 0, wenn die Pole des dieselbe erzeugenden Schiffsmagnetismus Nord oder Süd von der Kompassnadel liegen; dies ist der Fall bei den Kursen $180^\circ - \alpha$ und $360^\circ - \alpha$; entnimmt man also die Kurse, auf denen die semicirkulare Deviation gleich Null ist, so ergibt sich aus den angegebenen Relationen ohne Weiteres α .

Es bleibt dann noch übrig die Entfernung des Magneten vom Kompass zu ermitteln. Hierfür ist einfach bestimmend, dass der Magnet, in der gefundenen Richtung gehalten, dieselbe semicirkulare Deviation hervorbringen muss, welche zu kompensiren ist; nämlich:

„Diejenige Entfernung ist die gesuchte, in welcher der horizontal und seitweise zum Kompass in der Richtung α gehaltene Magnet die semicirkulare Deviation des anliegenden Kurses aufhebt.“ Wenn Richtung und Entfernung des Magneten ermittelt sind, so wird derselbe befestigt und zwar am besten unter dem Kompass in der massiven Holzsäule desselben, durch welche in der Richtung des Winkels α und in der ermittelten Entfernung unter der Kompassrose ein Loch gestemmt wird, in welches der Magnet (am besten hochkantig) hineingeschoben wird.

Beispiel.

Behufs Kompensirung des Kompasses vor dem Dampfuder an Bord Sr. Maj. Schiff „Kaiser“ sind folgende Grössen der Deviationstabelle desselben entnommen und hieraus die nöthigen Koeffizienten näherungsweise abgeleitet.

N	— 5,5°	$\frac{N - S}{2} = C = - 4,25^\circ,$
NO	— 25,0°	
O	— 34,0°	$\frac{O - W}{2} = B = - 36,0^\circ,$
SO	— 31,0°	
S	+ 3,0°	$\frac{NO - SO + SW - NW}{4} = D = + 7,5^\circ.$
SW	+ 41,0°	
W	+ 38,0°	
NW	+ 17,0°	
$\frac{C}{B} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{- 4,25^\circ}{- 36,00}$		
$\alpha = 186,8^\circ.$		

Das Nordende des für Kompensation bestimmten Magneten muss also $6,8^\circ$ nach B. B. achtern zeigen.

Nachdem die Richtung des Magneten ermittelt war, wurde die Entfernung desselben von der Unterkante der Rose in folgender Weise bestimmt:

Das Schiff lag nach dem zu kompensirenden Kompass $NOzO$ an, die Gesamtdeviation auf diesem Kurse war -28° ; da hierin aber die quadrantale Deviation mit enthalten war, so musste zunächst der Betrag derselben für diesen Kompaskurs ermittelt und beim Kompensiren in Rechnung gezogen werden,

$$\begin{aligned} \text{quadrantale Deviation} &= D \cdot \sin 2 \zeta' \\ &= + 7,5^\circ \cdot \sin 112,5^\circ \\ &= + 6,9^\circ \end{aligned}$$

mithin ganze zu kompensirende Deviation = $-34,9^\circ$.

Der Magnet wurde nun langsam in der vorhin bestimmten Richtung zur Längsschiffslinie an der Säule hinaufgeschoben, bis der Kompass $N 21,3^\circ O$ anlag. Die Entfernung des Magneten von der Rose betrug jetzt $50,5$ cm. An dieser Stelle wurde die Säule unter dem genannten Winkel durchstemmt und der Magnet in dem Loche befestigt.

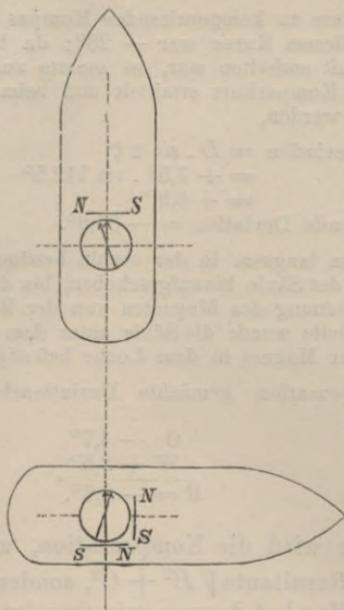
Die nach der Kompensation gemachte Deviationsbestimmung ergab:

$$\begin{array}{r} N - 2,3^\circ \\ S + 0,5^\circ \\ \hline C = - 1,4^\circ \end{array} \qquad \begin{array}{r} O - 4,7^\circ \\ W + 2,5^\circ \\ \hline B = - 3,6^\circ \end{array}$$

Fast noch einfacher wird die Kompensation, wenn man nicht die semicirkulare Resultante $\sqrt{B^2 + C^2}$, sondern B und C für sich kompensirt. Man hat dann — wie oben dargelegt — zwei Magnete zu befestigen, deren einer für B das Maximum seiner ablenkenden Wirkung in der Längsschiffsrichtung ausübt — also längsschiffs gerichtet und seitweise vom Kompass, — der andere für C seitweise vom Kompass querschiffs gerichtet ist. Wenn man dann A und E als Null annimmt, also auf Nord und Süd $+$ und $- C$, auf Ost und West $+$ und $- B$ direkt findet, so ist die Regel folgende: „Man legt das Schiff nach Azimuthbeobachtungen, einem Kompass an Land oder Landmarken auf den magnetischen Kurs Nord und rückt einen seitweise zum Kompass gerichteten Magneten auf der Längsschiffslinie des Kompasses so lange hin und her, bis der Kompaskurs mit dem magnetischen Kurse übereinstimmt, sodann legt man das Schiff auf den magnetischen Kurs Ost und rückt einen seitweise zum Kompass gerichteten Magneten auf der Querschiffslinie des Kompasses so lange hin und her, bis auch hier der Kompaskurs mit dem magnetischen übereinstimmt. Fig. 32 veranschaulicht die Lage der Magnete und des Schiffes bei diesem Verfahren.“

Auf diese Weise hat man nicht einmal nöthig, vorher die Deviation zu bestimmen, und auch nicht, die Deviation in

Fig. 32.



ihre einzelnen Theile zu zerlegen. Diese Methode erfreut sich grosser Beliebtheit und wird namentlich bei den niedrig placirten Kompassen der Kauffahrteischiffe viel angewendet.

Will man sich mit derselben Genauigkeit begnügen und nur die Deviation auf den Kardinalpunkten für die Bestimmung von B und C verwenden, so lässt sich die

Kompensation auch auf einem beliebigen Kurse ausführen, indem man den Längsschiffsmagneten so lange hin- und her-

rückt, bis durch denselben die Kompassnadel um einen Winkel $- B \sin \zeta'$ abgelenkt ist, und den Querschiffsmagneten, bis derselbe eine Ablenkung $- C \cos \zeta'$ hervorruft. Ist B und C aus anderweitigen genaueren Bestimmungen bekannt, so wird man diese Werthe natürlich auch bei der Kompensation berücksichtigen.

Die Kompensation mit Hülfe zweier Magnete, für B und C gesondert, ist an hohen Kompassäulen nicht so bequem anzubringen, als ein einzelner Magnet. Im Uebrigen bietet sie für manche Zwecke besondere Vortheile und erlaubt namentlich die Aenderungen der Deviation bei Wechsel der geographischen Position leichter zu berücksichtigen. Das Verfahren ist dann analog dem im § 38 beschriebenen für Korrektion der Deviationstabellen. Mit Hülfe von Azimuthbeobachtungen eines Gestirns wird das Schiff auf zwei benachbarte Kardinalpunkte (für Deviation korrigirt) gebracht und auf jedem dieser Kurse der betreffende Magnet genähert oder entfernt, bis er für die neue geographische Position wieder richtig liegt.

Zuweilen ist eine Einrichtung im Kompasshause angebracht, welche eine solche Aenderung der Kompensation leicht ausführbar macht. Es hat indess Manches für sich, auch in diesem Falle einen Kompass, event. den Regelkompass des Schiffes unkompensirt oder die angebrachte Kompensation unverändert zu lassen und für diesen Kompass eine komplette Deviationstabelle durch Beobachtung und Berechnung stets brauchbar zu erhalten.

Die Aenderungen der Deviation eines kompensirten Kompasses gehen in folgender Weise vor sich:

Die Ursachen der semicirkularen Deviation waren Magnetismus des Schiffskörpers und vertikale Induktion. Obgleich die Aenderungen in demjenigen Theile dieser Deviation, welcher durch den permanenten Magnetismus des Schiffskörpers erzeugt wird, umgekehrt proportional der auf die Kompassnadel wirkenden Horizontalintensität erfolgen, kann ein Einfluss auf einen für diesen Magnetismus kompensirten Kompass bei Aenderung der Horizontalintensität nicht stattfinden, weil durch die Kompensationsmagnete der Einfluss des permanenten Magnetismus neutralisirt worden ist.

Ist also keine vertikale Induktion vorhanden, so bleibt die Kompensation der semicirkularen Deviation für alle Breiten vollkommen. Derjenige Theil aber, welcher proportional der Tangente der Inklination ändert, kehrt sich auf der südlichen Halbkugel vollständig um, und der Magnet, welcher ihn auf Nordbreite kompensirt, verdoppelt ihn auf Südbreite. Hieraus folgt: Wenn die Kompensation unter allen Umständen unberührt bleiben soll, so muss der Kompass so placirt werden, dass möglichst ausschliesslich der magnetische Schiffskörper, aber nicht vertikal inducirtes Eisen zur Wirkung kommt. Kompassse aber, welche dem Einflusse des vertikal inducirten Eisens nicht entzogen werden können, wie z. B. oft die Steuerkompassse, werden zweckmässig mit einer solchen Kompensation zu versehen sein, welche man leicht reguliren kann, wie oben beschrieben wurde.

Wenn man im Stande ist, aus direkter Erfahrung oder aus der Analogie anderer Schiffe die beiden Ursachen der semicirkularen Deviation ihrem Werthe nach zu trennen, wie im § 38 beschrieben wurde, so ist es vortheilhaft, namentlich für Schiffe, welche weite Reisen machen sollen, denjenigen Theil, welcher vom permanenten Magnetismus des Schiffskörpers herrührt, allein zu kompensiren, so dass die übrigbleibende semicirkulare Deviation dann allein Wirkung der vertikalen Induktion ist.

Dieser Theil der Deviation wird dann allerdings zuweilen schnellen Aenderungen (proportional der Tangente der Inklination) unterworfen sein, aber er ist in niederen Breiten, besonders in den Tropen, erheblich geringer als in unseren Breiten. Eine solche Art der Kompensation wird namentlich dann von Vortheil sein, wenn die Aenderungen mit Verständniss beobachtet und mit einer Karte der Linien gleicher Inklination verglichen werden.

Es kann nun aber auch die vertikale Induktion derartig kompensirt werden, dass sie bei Ortsveränderungen im Wesentlichen ohne Einfluss auf den Kompass bleibt, und zwar ist dies die älteste Kompensation, welche versucht worden ist.*) Wenn man nämlich die gesammte Wirkung der vertikalen Induktion auffasst als die einer vertikalen Eisenstange, welche in der Richtung der Resultante dieser Störung vom Kompass irgendwo zu denken ist, so wird diese Wirkung kompensirt durch eine vertikale Stange von weichem Eisen, welche in der Richtung 180° davon in einer solchen Entfernung aufgestellt ist, dass sie die gleiche aber entgegengesetzte Ablenkung auf die Nadel hervorbringt.

Diese Methode ist wiederholt mit Erfolg angewendet.**)

Die getrennte Kompensation der verschiedenen Ursachen der semicirkularen Deviation wird also unter günstigen Umständen die Möglichkeit bieten, diesen Theil der Deviation für alle Gegenden der Erde aufzuheben.

2. Die Kompensation der quadrantalen Deviation.

Es wurde gezeigt, dass diese Deviation bei gut placirten Kompassen nur gering und dass sie ganz unabhängig von der geographischen Ortsveränderung ist. Diese Umstände lassen die Kompensation häufig entbehrlich erscheinen, und man verzichtet daher, namentlich in Berücksichtigung der Schwierigkeiten, welche im Folgenden zu Tage treten werden, vielfach darauf. Nichts desto weniger kann in manchen Fällen die Kompensation äusserst erwünscht sein, und eine erfolgreiche und sichere Methode dafür gewährt die Möglichkeit, Orte zur Kompassaufstellung zu benutzen, welche sonst kaum dazu verwendet werden können. (Kompass auf eisernen Decks, für Dampftruder und dergl.)

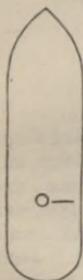
*) Der englische Kapitän Flinders, welcher die Deviation an Bord eines Schiffes zuerst beobachtet und berechnet hat, beschreibt dieses Verfahren in seinem Werke: „A voyage to terra australis 1801.“

***) cfr. Ann. d. Hydr. 1884 Seite 72.

Namentlich handelt es sich hier um den Umstand, dass, wie im § 34 erwähnt wurde, die quadrantale Deviation, sobald sie von Eisen herrührt, welches mit seinen Enden den Kompass auf beiden Seiten überragt, von einer Verminderung der Richtkraft begleitet ist. Wenn man also eine Kompensation anbringt durch Eisenmassen, welche auf einer Seite des Kompasses liegen — in welcher Lage das horizontal inducirte weiche Eisen die Richtkraft erhöht — so kann man die quadrantale Deviation und die Schwächung der Richtkraft zugleich kompensiren.

In der Praxis kommt es gewöhnlich nur vor, dass quadrantale Deviation, herrührend von Eisen unter oder über dem Kompass, mit den Enden ihn überragend, kompensirt wird, und man nimmt A und E dabei als Null an. Die Kompensation hat dann fast immer ein positives D zum Gegenstand.*)

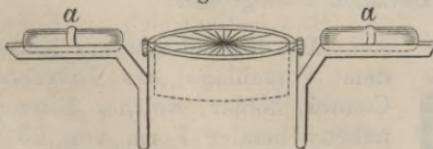
Fig. 33.



Das Princip dieser Kompensation besteht nun darin, durch weiches Eisen in der Höhe des Kompasses, welches allein der horizontalen Induktion ausgesetzt ist, ein negatives D hervorzubringen von gleichem Betrage wie das vorhandene positive D . Ein solches negatives D (d. h. eine östliche Deviation auf NW, eine westliche auf NO) wird durch weiches Eisen querab vom Kompass hervorgebracht, welches so in der Höhe desselben angebracht ist, wie es Fig. 33 darstellt. Eine gleiche Kraft auf der anderen Seite des Kompasses verdoppelt die Wirkung.

Das Verfahren, welches sich hierauf gründet, ist folgendes:

Fig. 34.



Nachdem die semicirkulare Deviation kompensirt ist, wird das Schiff auf einen für Deviation verbesserten Strich,

*) Sollte ein negatives D , wie es auf Panzerschiffen in einigen Fällen beobachtet ist, zu kompensiren sein, so ändern sich die Verhältnisse nur um 90° zur Kielrichtung.

am besten einen Interkardinalstrich angelegt und zwei weiche Eisencylinder, $a a$ in Fig. 34, in einem zu diesem Zwecke angebrachten Stativ so lange hin- und hergerückt, bis der Kompaskurs mit dem magnetischen übereinstimmt.*) Es ist dann nöthig, das Schiff auf einen 90° davon liegenden Interkardinalstrich zu legen und die Kompensation auf diesem zu kontrolliren, event. das Mittel aus beiden Beobachtungen als maassgebend anzunehmen. In dem gefundenen Abstand werden die Korrektoren sodann befestigt.

Beispiel.

Ein für semicirkulare Deviation kompensirter Kompass sollte auch für quadrantale Deviation verbessert werden, und wurden zu diesem Zweck folgende Grössen der Deviationstabelle desselben entnommen.

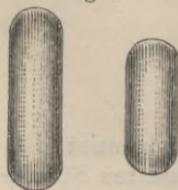
$$\begin{aligned} \delta \text{ bei NO} &= +5,1^\circ & B &= -1,6^\circ, C = +2,1^\circ \\ \delta \text{ bei SO} &= -7,3^\circ \end{aligned}$$

Da nun in den beiden aufgeführten Deviationen ein Theil der nicht ganz aufgehobenen semicirkularen mit enthalten ist, so musste zunächst der Theilbetrag derselben ermittelt werden.

$$\begin{aligned} \text{Semicirkulare } \delta &= B \cdot \sin \zeta' + C \cdot \cos \zeta' \\ \delta \text{ für NO} &= +0,4^\circ, \delta \text{ für SO} = -2,6^\circ, \\ \text{mithin quadrantale } \delta \text{ für NO} &= +4,7^\circ \\ \delta \text{ für SO} &= -4,7^\circ. \end{aligned}$$

Das Schiff wurde nun $N40^\circ O$ per Kompass (mw NO) angelegt, und zwei Eisencylinder von 8,3 cm Durchmesser und 30,5 cm Länge auf dem dazu angefertigten Stativ wurden der Kompassrose langsam genähert. Als die Enden der Cylinder 25,4 cm vom Mittelpunkte der Rose entfernt waren, lag das Schiff NO nach dem Kompass, und somit war die quadrantale Deviation für diesen Kurs aufgehoben. Jetzt wurde das Schiff nach der Peilscheibe 90° geschwungen und alsdann der Kompass abgelesen. Das Schiff lag nun $S 42,4^\circ O$ an, der Kompass hatte also noch eine Deviation von $-2,6^\circ$, welcher Betrag die semicirkulare Deviation auf Kurs SO repräsentirt. Die Eisencylinder wurden nun befestigt, da die zur Kontrolle gemachte Beobachtung zeigte, dass die quadrantale Deviation beseitigt war.

Fig. 35.



Man bedient sich zur Korrektur, nach dem Vorschlage des Liverpool-Kompass-Comité, hohler, weicher Eisencylinder von nebenstehender Form von 23 bis 30,5 cm Länge. Aus Versuchen mit solchen von E. Dent & Co. in London gelieferten Cylindern ergaben sich folgende Daten:

*) Hier, wie auch für andere Zwecke geschieht das Anlegen des Schiffes auf einen magnetischen Kurs am bequemsten mit Hülfe eines am Lande aufgestellten Kompasses oder einer für diese Zwecke vorhandenen Deckpeilung.

Entfernung des Cylinder- endes von dem Mittel- punkt der Rose	Ablenkungswinkel, verursacht durch	
	die kleineren Cylinder	die grösseren Cylinder
17,8 cm	10,17°	12,8°
20,3 -	6,28°	8,45°
22,9 -	4,13°	5,95°
25,4 -	2,87°	4,30°
27,9 -	1,97°	3,07°
30,5 -	1,40°	2,25°

Es kommen ausser diesen Cylindern in der Kaiserlichen Marine noch Kugeln aus weichem Eisen nach W. Thomson's System mit einem Durchmesser von 17,5 cm, 21,5 cm und 25,5 cm zur Anwendung, welche die folgende Ablenkung erzeugen:

Kugeldurchmesser 175 mm		Kugeldurchmesser 215 mm		Kugeldurchmesser 255 mm		Rose
Entfernung der Kugel- oberfläche vom Mittel- punkte der Rose	Ablen- kungs- winkel	Entfernung der Kugel- oberfläche vom Mittel- punkte der Rose	Ablen- kungs- winkel	Entfernung der Kugel- oberfläche vom Mittel- punkte der Rose	Ablen- kungs- winkel	
258 mm	4,3°	238 mm	7,3°	218 mm	9,3°	Ge- wöhn- liche
233 -	7,3°	223 -	9,5°	213 -	11,2°	
208 -	9,0°	208 -	11,2°	208 -	14,2°	
258 mm	2,7°	238 mm	4,7°	218 mm	6,8°	Thom- son'sche
233 -	3,5°	223 -	5,5°	213 -	7,3°	
208 -	4,5°	208 -	6,2°	208 -	7,8°	

Mit Hülfe dieser Daten ist es bequem, die Kompensationscylinder direkt an ihrem Ort, ohne vorgängige Versuche, anzubringen. Für $E = 0$ also auch $\beta = 0$ hätte man (§ 33): $\delta = D \cdot \sin(\zeta + \zeta')$, also das Maximum der quadrantalen Deviation $D = \delta$, wenn $\zeta + \zeta' = 2\zeta - \delta = 90^\circ$ oder auf dem magnetischen Kurs:

$$\zeta = \frac{90^\circ + \delta}{2}.$$

Wenn man das Maximum der quadrantalen Deviation $D = \delta$ nimmt und jene Daten nicht benutzen will oder anderes Kompensationseisen verwendet, so findet man die Entfernung, in welcher das Kompensationseisen zu beiden Seiten des Kompasses angebracht werden muss, in folgender Weise:

Man stellt einen Kompass am Lande auf und nähert das Eisen dem Kompass auf der Horizontalen, deren Richtung zum magnetischen Kurs durch den Winkel $\frac{90 + D}{2}$ bestimmt ist, so lange bis dasselbe das zu kompensirende D als Ablenkungswinkel hervorbringt.

Aus dem Vorhergehenden geht hervor, dass die Anwendung der Kompensation bei der quadrantalen Deviation, sobald diese etwa einen halben Strich überschreitet, eine beträchtliche Eisenmasse in nächster Nähe des Kompasses nöthig macht. Andererseits sind gerade solche Kompassse schon an und für sich in der Regel von viel Eisentheilen umgeben. Da sich nun nicht annehmen lässt, dass alle diese verschiedenen Eisenstücke von so ähnlicher Struktur sind, um eine gleiche Empfänglichkeit für Induktion zu besitzen, so wird die Kompensation um so weniger sicher, je grösser die kompensirte Abweichung ist, und man wird sich bei grosser quadrantaler Deviation daher damit begnügen, einen Theil derselben zu kompensiren, um zu vermeiden, dass die Eisencylinder in zu grosse Nähe des Kompasses zu liegen kommen.*) Es tritt hierzu noch die Schwierigkeit, Eisen zu erhalten, welches dauernd unmagnetisch bleibt. Man ist daher noch nicht dazu gelangt, die Kompensation dieses Theiles der Deviation allgemein in Anwendung zu bringen. Der hohe Werth, der darauf gelegt werden muss, Steuerkompassse auch an ungünstigen Orten zu placiren, lässt indess erwarten, dass dieser Gegenstand allmählich einer grösseren Vollkommenheit entgegengeführt werden wird.

3. Die Kompensation des Krängungsfehlers.

Die schädliche Wirkung des Krängungsfehlers besteht nicht allein in einer Aenderung der Deviation, welche in Rechnung gezogen werden kann, sondern auch darin, dass die Kompassnadel bei heftiger seitlicher Bewegung des Schiffes in starke eigene Oscillationen geräth. Wenn z. B. der Krängungsfehler des anliegenden Kurses einen Grad für jeden Grad der Krängung beträgt, so wird, wenn das Schiff 5 Grad nach jeder Seite schlingert, die Deviation sich während jeder solchen

*) Sehr nahes Eisen würde auch durch den Magnetismus der Kompassnadel magnetisch inducirt werden; dieser Einfluss nimmt aber mit der Entfernung schnell ab.

Bewegung um 10 Grad ändern und dadurch die Kompassrose in Schwingungen versetzt werden, welche sich durch keine Suspensionsvorrichtung beseitigen lassen. Ein Dampfer kann aber, während er 5 Grad und mehr nach jeder Seite überholt, ziemlich schnelle Fahrt machen, und es ist sehr misslich, wenn ihn dabei das Verhalten seiner Kompassrose ausser Stand setzt, einen genauen Kurs zu steuern.

Die Kompensation dieses Fehlers ist an sich sehr einfach und geschieht vermitteltst eines kleinen Vertikalmagneten, welcher gerade unter dem Kompass in bestimmter Entfernung angebracht wird. Man kompensirt auf diese Art eigentlich nur eine nach unten wirkende Komponente des Schiffsmagnetismus (§ 37), aber man verfährt hier gerade so, wie bei der vollständigen Kompensation der semicirkularen Deviation mittelst eines Magneten, nämlich man betrachtet die ganze Störung als eine durch permanenten Magnetismus hervorgerufene. Es geht daraus hervor, dass diese Kompensation ebenfalls nur richtig bleibt, wenn kein Wechsel der geographischen Position stattfindet.

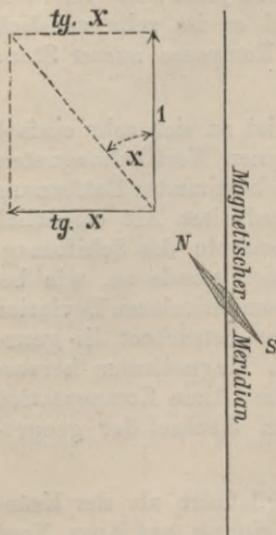
Der Krängungskoeffizient wurde definiert als der Krängungsfehler für je einen Grad der Neigung auf Kurs Nord oder Süd. Wenn man sich genauer ausdrücken will, so ist der Krängungskoeffizient ein Faktor des Krängungsfehlers, und der Krängungsfehler ist nicht proportional dem Bogen, sondern dem Sinus des Krängungswinkels. Immerhin findet man den Krängungskoeffizienten dem beschriebenen Krängungsfehler gleich und bezeichnet ihn mit χ (positiv wenn die Nadel nach Luv, negativ wenn sie nach Lee abgelenkt wird).

Um χ zu kompensieren, muss der vertikal unter der Kompassrose anzubringende Magnet die gleiche, aber entgegengesetzte Kraft $-\chi$ ausüben, und hierdurch bestimmt sich die Entfernung, in welcher man ihn von der Kompassrose zu befestigen hat.

Diese Entfernung bestimmt man folgendermaassen: In der Horizontalebene der Rose des zu kompensierenden Kompasses, dessen semicirkuläre Deviation zuvor fortgeschafft sein muss, nähert man den Magneten endweise dem Mittelpunkt der Kompassrose in einer Richtung rechtwinklig zum magnetischen Meridian. Sobald die Nadel eine Ablenkung zeigt, deren trigonometrische Tangente gleich χ ist, so misst man die Entfernung vom Mittelpunkte der Kompassrose bis

zu dem Magneten und befestigt denselben in diesem Abstände unter der Kompassrose. Indem nämlich der Magnet

Fig. 36.



diese Ablenkung bewirkt, äussert er dieselbe Kraft, welche χ ausübt, die Richtkraft des Kompasses als Einheit angenommen. Siehe Fig. 36. Ist χ positiv (der Krümmungsfehler nach der Luvseite), so wird der Kompensationsmagnet mit dem Nordpole nach oben angebracht, bei einem negativen χ (Krümmungsfehler nach der Leeseite) mit dem Südpole nach oben.

Beispiel.

An Bord Sr. Maj. Schiff „Kronprinz“ wurde der Krümmungsfehler des Regelkompasses kompensirt; der Krümmungskoeffizient χ war $+0,665$, der hierfür aufgeschlagene Ablenkungswinkel $=33,5^\circ$. Der zur Kompensation bestimmte Magnet wurde nun in der erwähnten Weise der Rose genähert, bis derselbe eine Ablenkung von $33,5^\circ$ hervorbrachte, und

dann die Entfernung gemessen, welche $0,28$ m betrug. Dann wurde in der Kompasssäule ein vertikales Loch so tief gebohrt, dass das obere (Nord-) Ende des hineingesteckten Magneten $0,28$ m von der untern Fläche der Rose entfernt war, und der Magnet, das Nordende nach oben, befestigt.

4. Die Magnetstäbe, deren man sich zur Kompensation bedient, werden in verschiedenen Dimensionen gefertigt. Die Form derselben ist so gewählt, dass möglichst viel Fläche vorhanden ist, daher ein rechtwinkliges flaches Parallelepipedon fast durchweg in Gebrauch ist.

Für Kompensation des Krümmungsfehlers verwendet man meist kleine Magnete von ca. 15 cm Länge, für Kompensation der semicirkularen Deviation haben sich am bequemsten, namentlich zum Anbringen in der Kompasssäule selbst, Magnete von 25 bis 30 cm Länge gezeigt. Magnete grösserer Dimension haben da, wo sie bequem anzubringen sind, keinen Nachtheil. Es kommt nur darauf an, dass man solche Magnete verwendet, welche nicht schnell an magnetischer Kraft verlieren, weshalb neue Magnete zur Kompensation nicht verwendet werden dürfen.*)

*) Die zur Kompensation der Kompassrose in der Kaiserlichen Marine gebräuchlichen Magnetstäbe werden in drei Klassen A, B und C

5. Es ist bei der Ermittlung der richtigen Lage der Kompensationsmagnete darauf hingewiesen, dass diese Ermittlung an Bord an dem Ort des zu kompensirenden Kompasses stattfinden muss. Es ist dies darum nothwendig, weil die Richtkraft an Bord eine andere ist, wie am Lande. Bei der Beschreibung der Ursachen der Deviation ist auf die verschiedenen Gründe hierfür wiederholt hingewiesen worden. Wenn man das Verhältniss zwischen der Richtkraft am Lande zu der Richtkraft an Bord kennt, so kann die genaue Bestimmung der für den Kompensationsmagneten zu wählenden Entfernung auch am Lande und zwar mit noch grösserer Genauigkeit vorgenommen werden.

Dieses Verhältniss findet man für den anliegenden Kompaskurs durch das umgekehrte Verhältniss der Quadrate der Schwingungszahlen einer kleinen Horizontalnadel. Mit Hülfe der Deviations-Koefficienten \mathfrak{B} , \mathfrak{C} , \mathfrak{D} kann aus einer solchen Beobachtung die mittlere Richtkraft am Kompassorte im Verhältniss zu der am Lande ermittelten gefunden werden. Die Kenntniss dieser Verhältnisszahl, welche als der Koefficient λ bezeichnet wird, ist in vielfacher Hinsicht auch für die Zwecke an Bord nützlich und von Interesse. Das Nähere über die Feststellung dieser und anderer Verhältnisse ist in den Specialwerken über die Deviation zu suchen.

Bei Bestimmung der Entfernungen, in welchen die Kompensationsmagnete anzubringen sind, am Lande, nähert man die letzteren in derselben Weise, wie dies oben (Seite 117) beschrieben, in der Ost-Westlage seitweise dem Kompass, bis der dadurch erzeugte Ablenkungswinkel gleich einem Winkel ist, dessen Tangente $= \lambda \sqrt{B^2 + C^2}$ (bei Kompensation der semicirkularen Deviation mittelst eines Magneten) λB und λC (bei Kompensirung der semicirkularen Deviation mittelst zweier Magnete) resp. $\lambda \chi$ (Krängungsfehler) ist. Die Entfernungen, in welchen sich dann die betreffenden Magnete befinden, sind die gesuchten.

getheilt, welche nachstehende Gewichte, Dimensionen und magnetischen Momente haben:

	A.	B.	C.
Länge	0,304 m	0,256 m	0,155 m
Breite	0,038 -	0,0375 -	0,019 -
Dicke	0,010 -	0,0098 -	0,007 -
Gewicht in Gramm	850	740	140
Magnetisches Moment . .	220 Millionen Einheiten	150 Millionen Einheiten	32 Millionen Einheiten

V. Kapitel.

Die Messung und Berechnung des Schiffsweges.**§ 41.** Das Log.

Man unterscheidet:

1. Das gewöhnliche Log.
2. Das Reelingslog.
3. Selbstregistrirende Logapparate.

1. Eine Beschreibung des gewöhnlichen Logs kann hier füglich übergangen werden. Ebenso ist es überflüssig, über die Manipulationen beim Loggen Vorschriften zu geben, da dies lediglich Sache der Praxis ist. Man hat sich nur stets das Princip zu vergegenwärtigen, auf welchem das Messen der Fahrt mittelst des Logs beruht, nämlich, dass durch das Logschiffchen (oder den Logsack) ein fester Punkt im Wasser hergestellt werden soll, von welchem mittelst der Logleine der zurückgelegte Weg für die Zeit gemessen wird, welche das Logglas zum Auslaufen braucht.

Man will bestimmen, wieviel Seemeilen das Schiff in einer Stunde zurücklegen würde, wenn es mit gleichmässiger Geschwindigkeit wie zur Zeit der Messung weiter liefe. Die Einheit auf der Logleine, die Knotenlänge, muss daher zu der Auslaufzeit des Logglases in demselben Verhältniss stehen wie die Länge einer Seemeile (1852 m) zu einer Stunde. Also für ein 14-Sekundenglas muss die Knotenlänge x in Metern sich aus folgender Gleichung ergeben:

$$\frac{x}{14^s} = \frac{1852}{60 \cdot 60^s},$$

$$x = \frac{1852 \cdot 14}{3600} = 7,202 \text{ m.}$$

Hiernach beträgt also die Knotenlänge 7,2 m. Fast durchweg sind aber die Logleinen anders getheilt, und für diese andere Theilung sind in den verschiedenen Lehrbüchern die verschiedensten Erklärungen gegeben. Bald wird für die Rufe: „Turn“ und „Stopp“ 1 Sekunde beim 14-Sekundenglas (beim 28-Sekundenglas aber 2 Sekunden) hinzugerechnet und deshalb die Länge des Knotens für 15 (resp. 30) Sekunden berechnet; bald wird dieselbe Zeit für das Steifkommen der Logleine nach dem „Stopp“ zur korrekten Zeit hinzugezählt.

Auf diese Weise werden die Knotenlängen länger als sie korrekter Weise sein sollten. Andererseits hat man sehr allgemein die Knotenlänge verkürzt, weil das Logscheit durch das Gewicht oder die Spannung der Leine etwas mitgeschleppt werden muss. Das Mitschleppen ist aber ein nicht für jede Geschwindigkeit konstanter Werth. Kurze Knotenlängen haben wenigstens das Argument für sich, dass es sicherer ist, zu viel, als zu wenig zu loggen.

So kommt es, dass beispielsweise in Deutschland an der Nordsee eine ganz andere Knotenlänge in Gebrauch ist, als an der Ostsee. Zwei Schiffe bei gleicher Geschwindigkeit aus Danzig und Hamburg würden resp. 10,6 und 10,0 Knoten loggen.

In der Kaiserlichen Marine ist die Knotenlänge zu 6,84 festgesetzt, d. h. der Knoten ist um 5 pCt. verkürzt. Dasselbe Verfahren wird in der französischen und amerikanischen Marine befolgt und stützt sich, wie es scheint, auf die Versuche Borda's im Jahre 1773 während der Reise der Fregatte „La Flore“.

Die zum Messen der ausgelaufenen Distanz bestimmte, in Knotenlängen getheilte Logleine lässt man, bevor das eigentliche Messen beginnt, um derselben während dieser Manipulation eine möglichst horizontale Richtung zu geben und damit das am Ende der Leine befestigte Logbrettchen sich ausserhalb des Sogs befindet eine gewisse Strecke auslaufen. Dieser „Vorlauf“ der Logleine wird auf das 1- bis 1 $\frac{1}{2}$ -fache der Schiffslänge bemessen.

Der 3600ste Theil einer Seemeile oder mittleren Meridianminute, Meridiantertie genannt, beträgt 0,514 m. Läuft ein Schiff in einer Sekunde eine Meridiantertie, so läuft es bei gleichmässiger Fahrt in der Stunde 1 Sm. Aus den angeführten Relationen folgt: Die Fahrt des Schiffes ausgedrückt in Knoten oder in Seemeilen per Stunde ist angenähert gleich der Anzahl halber Meter, welche das Schiff in der Sekunde zurücklegt.

Die Formeln, welche dazu dienen, ein fehlerhaftes Loggen, soweit es von Glas und Leine abhängig ist, zu korrigiren, bestehen in folgenden sehr einfachen Gleichungen:

$$1. \frac{\text{Gemessene Fahrt}}{\text{Korrekte Fahrt}} = \frac{\text{Korrekte Knotenlänge,}}{\text{Benutzte Knotenlänge,}}$$

$$2. \frac{\text{Korrekte Fahrt}}{\text{Gemessene Fahrt}} = \frac{14 \text{ Sekunden}}{\text{Auslaufzeit des Glases}}$$

Die erste Proportion allein genügt für die Berechnung, wenn man für das gebrauchte Logglas die zugehörige richtige Knotenlänge (mit Hülfe des angegebenen Werthes für die Meridiantertie) berechnet, und diese in die Proportion einführt.

Beispiel.

Mit einer Knotenlänge von 6 m und einem Glase, welches 16 Sekunden läuft, sind 9 Knoten geloggt worden, welches ist die korrekte Fahrt?

$$1. \frac{9}{x_1} = \frac{6,84}{6}; x_1 = 7,9,$$

$$2. \frac{x_n}{7,9} = \frac{14}{16}; x_n = 6,9.$$

Die korrekte Fahrt ist also gleich 6,9 Knoten.

Oder nach der zweiten Berechnungsmethode:

$$\begin{aligned} \text{Richtige Knotenlänge für 16 Sek.} &= 16 \cdot 0,514 \text{ m} - \frac{16 \cdot 0,514}{20} \text{ m} \\ &= 7,81 \text{ m}; \frac{9}{x_n} = \frac{7,81}{6}; x = 6,9. \end{aligned}$$

2. Ohne jeden Apparat kann man mit Hülfe einer Sekundenuhr die Fahrt ermitteln, wenn man die Zeit misst, in welcher ein beliebiger im Wasser ruhender Gegenstand eine bekannte Distanz, welche durch zwei Marken auf der Reeling begrenzt ist, passirt. Die Distanz, ausgedrückt in Meridiantertien, dividirt durch die Anzahl Sekunden, ergiebt die Fahrt des Schiffes. Die Methode ist übrigens bei schneller Fahrt oder auf einem kleinen Schiff kaum verwendbar und kann überhaupt, obgleich theoretisch ganz rationell, keinen grossen Anspruch auf Werth machen*.)

Beispiel.

Ein von der Back über Bord geworfenes Stück Holz passirt den Beobachter am Fockwanz um 9^h 10^m 21^s, den am Grosswanz um 9^h 10^m 47^s. Die Länge zwischen beiden Marken ist 40 m. Welches ist die Fahrt des Schiffes?

$$40 \text{ m} = \frac{40}{0,514} = 77,8 \text{ Meridiantertien.}$$

$$\text{Fahrt des Schiffes gleich } \frac{77,8}{26} = 3,0 \text{ Knoten.}$$

3. Man hat statt der unter 1 und 2 beschriebenen Messmethoden, welche den Uebelstand haben, dass sie nur die Fahrt für einen bestimmten Zeitpunkt messen, selbstregistrirende Logapparate konstruirt nach demselben Princip, wie

*) Cfr. Ann. der Hydr. 1883, Seite 692.

solche Instrumente für die Bestimmung der Stromgeschwindigkeit in Flüssen verwendet werden. Das Zählwerk, welches die Umdrehungen einer Schraube registriert, ist entweder in der Schraube selbst oder, durch eine Uebertragungsleine getrennt, in einem besonderen Verschluss angebracht (Patentlogs von Massey, Walker, Haecke).*) Es sind auch Logapparate konstruiert, welche auf dem Princip des Manometers beruhen und die jeweilige Fahrt anzeigen (Clark's Patentlog, Fahrtmesser von Strangmeyer).**) Es wird hier der Zug der Leine, welche von dem mitgeschleppten Log mit der Geschwindigkeit variirend angespannt wird, benutzt, um den Zeiger eines Dynamometers einzustellen oder den durch die Fahrt des Schiffes erzeugten Druck des Wassers auf ein Manometer zu übertragen.

4. Ablaufen bekannter Distanzen. Während die bisher genannten Methoden stets nur die Fahrt des Schiffes durch das Wasser ergeben, wird durch Ablaufen bekannter Distanzen die Fahrt über den Grund bestimmt; in Gewässern, wo kein Strom läuft, oder wenn der letztere bekannt ist, liefert diese Methode auch genaue Resultate über die Geschwindigkeit durch das Wasser.

Man erhält die Fahrt des Schiffes, indem man die abgelaufene Distanz in Meridianertien verwandelt (bei Metern durch Division mit 0,514) und diese durch die Anzahl der zum Ablauf gebrauchten Sekunden dividirt.

Beim Durchlaufen einer Strecke von 1 Seemeile erhält man die Fahrt, indem man die Anzahl Sekunden der dazu gebrauchten Zeit in 3600 dividirt.

Beispiel 1.

Ein Schiff durchläuft eine Distanz von 1506,5 m in 5 Minuten 54 Sekunden. Wie gross ist die Fahrt desselben?

$$1506,5 \text{ m} = \frac{1506,5}{0,514} \text{ Meridianertien} = 2931,4 \text{ Meridianertien.}$$

$$\text{Fahrt} = \frac{2931,4}{354} = 8,3 \text{ Knoten.}$$

Beispiel 2.

Ein Schiff durchläuft die abgesteckte Seemeile in 5 Minuten 43 Sekunden. Wie gross ist die Fahrt desselben?

$$\text{Fahrt} = \frac{3600}{343} = 10,5 \text{ Knoten.}$$

*) Diese in der Kaiserlichen Marine gebräuchlichen Apparate sind im „Handbuch der Nautischen Instrumente“, 2. Auflage 1890, Seite 163 u. ff. beschrieben. Auf dasselbe wird hier verwiesen.

***) Siehe „Handbuch der Nautischen Instrumente“, 2. Auflage 1890, Seite 396.

Die Bestimmung der Fahrt über den Grund durch das Grundlog ist im nächsten Paragraphen (Seite 125) behandelt.

§ 42. Korrekturen, welche an den Kursen und Distanzen anzubringen sind.

Kompas und Log gewähren die Möglichkeit, Kurs und Distanz des Schiffes zu bestimmen. Häufig aber ist es nothwendig, an diesen Kursen und Distanzen Korrekturen anzubringen, ehe man dieselben zusammenstellen oder in der Karte niederlegen kann.

Die Deviation bleibt dabei ausgeschlossen, indem angenommen wird, dass dieser Fehler, welcher natürlich für jeden Kompassort ein anderer ist, besonders berücksichtigt wird.

Es bleiben dann noch zu berücksichtigen:

1. Die Abtrift.
2. Die Stromversetzung.
3. Der Uebergang vom missweisenden (magnetischen) Kurse zum rechtweisenden.

1. Die Abtrift nennt man denjenigen Winkel, welcher zwischen dem anliegenden Kurs des Schiffes und dem Wege, welchen es durch das Wasser wirklich zurücklegt, besteht. Dieser Weg des Schiffes ist die Resultante aller Kräfte, welche in der Luft und im Wasser (abgesehen vom Strome) auf dasselbe wirken. Derjenige Theil der Kraft des Windes und Seeganges, welcher das Schiff zur Seite drückt, übt nur geringe Wirkung wegen des grossen Widerstandes, den das Schiff seitwärts im Wasser findet, während die forttreibende Kraft in der Längsrichtung des Schiffes verhältnissmässig nur geringen Widerstand zu überwinden hat. Die Richtung der Resultante dieser beiden Wirkungen wird um so mehr von dem Schiffskurse abweichen, je grösser der Widerstand in der Kielrichtung ist bei gleichzeitiger Zunahme des seitlichen Drucks auf diejenigen Theile des Schiffes, welche nicht der Vorwärtsbewegung dienen, z. B. Schiffsseite und Takelage.

Man nennt die Richtung des vom Schiffe wirklich zurückgelegten Weges zum Unterschiede vom gesteuerten Kurse den gesegebenen Kurs. Analog dieser Ausdrucksweise und der Kürze halber wird im Folgenden unter Segeln durchweg verstanden werden, einen Weg durch das Wasser zurücklegen, und zwar ohne Unterschied auch für Dampfer, welche auch ohne Segel unter Umständen eine Abtrift haben.

Die Bestimmung der Abtrift ist Sache der Praxis und geschieht in der Regel durch Peilen des Kielwassers (am bequemsten mittelst einer Peilscheibe vom Heck aus).

In welchem Sinne die Abtrift anzuwenden ist, wird durch eine so einfache Ueberlegung klar, dass eine solche einer mechanischen Regel vorzuziehen ist.

2. Die Stromversetzung wird als ein besonderer Kurs in Rechnung gezogen oder auf der Karte abgesetzt. Dieselbe wird — sofern sie nicht direkt gemessen wurde — angenommen nach Bemerkungen, welche darüber in den Karten und Segelanweisungen oder in den Gezeitentabellen angegeben sind.

Eine nachträgliche Ermittlung der vor sich gegangenen Stromversetzung eines Schiffes wird vorgenommen durch Vergleichung der wirklichen, durch Landobjekte oder astronomische Beobachtungen bestimmten Position des Schiffes, mit derjenigen Position, welche der zurückgelegte Weg — nach Kompass und Log bestimmt — ergibt.

Eine Bestimmung des augenblicklichen Stromes ist dagegen nur mit Hülfe eines festen Punktes möglich, welcher selbst von dem Strome nicht beeinflusst wird. Als ein solcher fester Punkt kann unter Umständen der Meeresboden oder eine stillstehende untere Wasserschicht dienen, indem man z. B. auf flachem Wasser das Loth als sogenanntes Grundlog verwendet. Aus der bekannten Wassertiefe als einer Kathete und der ausgelaufenen Lothleine als Hypotenuse erhält man als die andere Kathete die zurückgelegte Fahrt des Schiffes über den Grund, d. h. Bewegung des Schiffes im Wasser und Bewegung des Wassers zusammen:

Beispiel.

Ein Loth wird über Bord geworfen und bei 12,5 m Grund (bis zum Standpunkt des Beobachters gerechnet, also Wassertiefe plus Schiffshöhe) gefunden. Nachdem 30 m Leine ausgelaufen sind, wird „Turn“ gerufen, und bei „Stopp“ (14-Sekundenglas) finden sich 65 m ausgelaufen. Welche Fahrt machte das Schiff über den Grund?

1. Zu 30 und 12,5 findet sich die Kathete 27,3.

2. Zu 65 und 12,5 findet sich die Kathete 63,8.

Daher sind in den 14 Sekunden Beobachtungszeit 63,8 — 27,3 = 36,5 m über den Grund zurückgelegt. Oder in Knoten verwandelt:

$$\frac{365,5}{7,2} = 5,1 \text{ Knoten.}$$

Bei Beobachtungen während irgend einer anderen beliebigen Sekundenzahl verwandelt man am besten die über den Grund zurückgelegte Distanz in Meridianertien und

dividirt diese durch die Anzahl Sekunden, um die Fahrt über den Grund zu erhalten.

Der Kurs, welchen das Schiff über den Grund zurückgelegt hat, ist der Richtung, in welcher die Leine gepeilt wird, entgegengesetzt.

In dem obigen Beispiel sei z. B. die Peilung der Leine N 15° W, dann ist der Kurs des Schiffes über den Grund S 15° O gewesen.

§ 43. Verwandlung missweisender Kurse in rechtweisende und umgekehrt.

Hier gilt ganz allgemein dieselbe Regel, wie für die Deviation. Wenn man Ost-Missweisung positiv, West-Missweisung negativ bezeichnet und die Kurse stets von Nord über Ost bis 360° herumzählt, so ist:

1. missweisender Kurs plus Missweisung gleich rechtweisender Kurs;
2. rechtweisender Kurs minus Missweisung gleich missweisender Kurs;
3. Missweisung gleich rechtweisender Kurs minus missweisender Kurs;

oder in Zeichen:

1. $\zeta_m + m = \zeta_r$
2. $\zeta_m = \zeta_r - m$
3. $m = \zeta_r - \zeta_m$

Bei der gebräuchlichen Eintheilung der Kompassrosen lässt sich eine praktische Regel für die Kursverwandlungen auch wie folgt formuliren:

Um missweisende in rechtweisende Kurse zu verwandeln, gehe man bei östlicher Missweisung nach rechts, d. h. mit dem Zeiger der Uhr, bei westlicher Missweisung nach links, d. h. gegen den Zeiger der Uhr.

Bei Verwandlung von rechtweisenden Kursen in missweisende wird umgekehrt verfahren.

Dieselbe Regel lässt sich auch verwenden zur Verwandlung von Kompaskursen in missweisende und umgekehrt; aus Kompaskursen findet man die entsprechenden missweisenden Kurse, wenn man bei Ost-Deviation nach rechts, bei West-Deviation nach links geht; um missweisende in Kompaskurse zu verwandeln, verfährt man umgekehrt (vergl. § 29 S. 52).

Bei den Kompassrichtungen fehlt leider in Bezug auf die Anwendung von Graden und Strichen ein zweckmässiges System. Die in die meisten Seekarten eingezeichneten Kompaskreise sind in Strichmaass

getheilt; daneben ist die Missweisung in Graden angegeben. Sowie also die Karte nicht mehr ganz neu ist, muss man auf derselben schon Strich- und Gradmaass kombiniren. Die Deviation des Kompasses wird in Strich- oder in Gradmaass angegeben. Man peilt mittelst des allgemein in Aufnahme gekommenen Prismendiometers aber durchweg nach Graden. Die Abtrift wird wiederum immer in Strichmaass angegeben. Eine durchgreifende Remedur könnte nur durch allgemeine Annahme einer Eintheilung des Quadranten in neun statt acht Striche, jeder zu 10 Grad, angebahnt werden.

Vorläufig ist es durch diese zwei nebeneinander herlaufenden Systeme nothwendig geworden, die Kompassrosen nach Strichen und Graden einzutheilen. Diese doppelte Eintheilung ist für alle Kompassse der Kaiserlichen Marine in Anwendung gebracht.

§ 44. Das Loth.

Neben Karten, Kompass und Log bietet das Loth ein weiteres Mittel zur Ortsbestimmung in der praktischen Navigation. Indem man die Tiefe ermittelt und mit der in der Karte angegebenen Tiefe vergleicht, hat man eine Kontrolle für die anderweit erlangte Ortsbestimmung.

Die an sich einfache Manipulation des Lothens ist vielen Fehlerquellen ausgesetzt; die Schwierigkeiten häufen sich bei grossen Tiefen derartig, dass für Zwecke der Ortsbestimmung nur Lothungen unter 300 m in Betracht zu ziehen sind.

Die Lothleine muss ebenso wie die Logleine häufig nachgemessen werden.

Um die gemessene Tiefe mit der Karte vergleichen zu können, ist die Berücksichtigung der Ebbe und Fluth erforderlich. Die Karten geben in der Regel die Tiefen für das mittlere Niedrigwasser bei Springzeit an; (auf den französischen Karten entsprechen die Tiefen dem niedrigsten beobachteten Niedrigwasser und auf den Karten der Vereinigten Staaten von Nordamerika dem Mittel aller Niedrigwasser).

Da, wo der Unterschied zwischen den Hoch- resp. Niedrigwassern bei Springzeit und Nipzeit beträchtlich ist, findet man bei Nipzeit eine grössere Wassertiefe als die Karten angeben.

Die für eine gegebene Zeit an den Kartenangaben anzubringende Korrektion erhält man folgendermaassen: Man nimmt aus den Gezeitentafeln für den am nächsten gelegenen Ort und den betreffenden Tag dasjenige Hochwasser, dessen Zeit der gegebenen am nächsten kommt. Die Höhe des aus den Tafeln entnommenen Hochwassers wird dann mit einer der Zahlen in der folgenden Tabelle multiplicirt und zwar

bei einem Zeitunterschiede von 1 Stunde mit	$0,10 = \frac{1}{10}$
- - - - - 2 Stunden	$- 0,25 = \frac{1}{4}$
- - - - - 3 - - -	$- 0,50 = \frac{1}{2}$
- - - - - 4 - - -	$- 0,75 = \frac{3}{4}$
- - - - - 5 - - -	$- 0,90 = \frac{9}{10}$
- - - - - 6 - - -	$- 1,00 = 1.$

Das Produkt ist hierauf von der Hochwassertiefe abzuziehen, und der Rest ist die der Kartenangabe hinzuzufügende Korrektion.

Diese Angaben gründen sich auf die allgemeine Theorie der Ebbe und Fluth. Sie können immer nur als Anhalt gelten. Man nimmt dabei an, dass an dem Ort der Lothung das Wasser ebenso steigt und fällt, als an der nächsten Pegelstation der Küste, eine Annahme, welche keineswegs immer korrekt sein wird.

Beispiele.

1. Was ist zu den Angaben der Karten hinzuzufügen, um die in denselben verzeichneten Tiefen zu vergleichen mit der am 26. Mai 1889 6^h Vm. vor Plymouth gelotheten Tiefe?

Höhe des Wassers in Plymouth nach den Gezeitentafeln	
um 3 ^h 4 ^m Vm. am 26. Mai	4,17 m
Zeitunterschied 6 ^h —3 ^h Vm. = 3 Stunden, mithin $4,17 \times \frac{1}{2} =$	<u>2,09 -</u>
Demnach zu den Angaben der Karten hinzuzufügen	2,08 m.

2. Um welche Zeit am 25. Oktober 1889 Nachmittags ist vor Cuxhaven $1\frac{3}{4}$ m Wasser mehr, als die Karten angeben?

Hochwasser in Cuxhaven den 25. Oktober um 1 ^h 6 ^m Nm.	3,55 m
Davon abzuziehen	<u>1,75 -</u>

Ein Wasserstand von $1\frac{3}{4}$ m mehr als in der Karte angegeben, entspricht also einem Stande von . . . 1,80 m weniger als bei Hochwasser.

$1,80 : 3,55 = 0,50$; dieser Zahl entsprechen nach obiger Tabelle 3 Stunden. Es ist demnach 3 Stunden vor und 3 Stunden nach Hochwasser, also von 10^h Vm. bis 4^h Nm. auf den gewünschten Wasserstand zu rechnen.

3. Um welche Zeit Nachmittags am 4. Juni 1889 kann man darauf rechnen, beim Nore-Feuerschiff vor der Themse 3 m mehr Wasser anzutreffen als die Karte anzeigt?

In unserer Gezeitentafel ist für Nore (S. 119) nur angegeben der Fluthwechsel bei Springfluth, 4,72 m, und die Hochwasserzeit bezogen auf Dover + 1^h 18^m. Unter der Voraussetzung, dass die Fluthhöhen bei Nore-Feuerschiff und Dover allgemein proportional sind den Springfluthhöhen an beiden Orten, gestaltet sich die Rechnung wie folgt:

Ist der Strom bis zur Tiefe hin gleichmässig und das Gewicht der Leine im Wasser zu vernachlässigen, so muss sich die Leine in einem flachen Parabelbogen krümmen, dessen Länge abhängig ist von der Vertikalspannung T , welche man der Leine geben darf, d. h. von dem Gewicht des Lothes, welches der Spannung das Gleichgewicht halten muss, soll es anders den Grund berühren. Die Differenz zwischen der Länge der Leine, also der gemessenen Tiefe s , und der Vertikalen, also der wahren Tiefe a , wird bestimmt durch die Formel für flache Parabelbögen: $s - a = \frac{P^2 \cdot a^2}{12 T}$. Danach würde für eine Tiefe von 80 m mit einem 20 kg schweren Loth bei 2 Knoten Stromgeschwindigkeit zu viel gelothet werden:

mit einer 2	cm-Leine	1,8 m
" "	3,5	" " 5,6 "
" "	4	" " 7,2 "

Mit einer 2 cm-Leine würde bei derselben Tiefe und Stromgeschwindigkeit zu viel gelothet werden:

mit dem 4,5	kg-Loth	9,6 m
" "	6	" " 6,4 "
" "	12	" " 3,2 "
" "	20	" " 1,8 "

Diese Zahlen haben nicht den Werth einer praktisch zu verwendenden Korrektur, sie zeigen aber, worauf bei der Wahl von Loth und Leine Rücksicht genommen werden muss.

In der Kaiserlichen Marine sind folgende Lothe und Lothleinen in Gebrauch:

Handloth I.	6	kg	Gewicht,
" II.	4,5	"	" "
Handlothleine I.	2	cm	Umfang, 90 m lang,
" II.	2	"	" " 50 " "
Tiefloth I.	30	kg	Gewicht,
" II.	20	"	" "
" III.	12	"	" "
Tieflothleine I.	3	cm	Umfang, 500 m lang,
" II.	3	"	" " 225 " "

Die Markirung der Handlothleine erfolgt von zwei zu zwei Metern mit abwechselnd einem schwarzen, weissen, rothen, gelben Lappen und Lederstreifen mit einem Loch für resp. 2,

4, 6, 8, 10 m Tiefe, welche Reihenfolge sich von 10 zu 10 m wiederholt und wobei der Lederstreifen für fernere 10 m Tiefe ein Loch mehr erhält.

Für das Lothen auf mittleren Tiefen bedient man sich des Sacklothapparates von Burt. Bei diesem Apparat läuft die Lothleine aus über eine Rolle, welche von einem Luftsack schwimmend erhalten wird. An der Rolle befindet sich eine Klemmfeder, welche der Leine nur nach einer Richtung mit mässiger Reibung den Durchgang gestattet. Hat das Loth den Grund erreicht, so ist keine Kraft mehr vorhanden, die Reibung zu überwinden, und die Klemme bleibt an der Leine vertikal über dem Loth fest. Der Luftsack bildet also gewissermaassen ein im Wasser stillliegendes Floss, von dem aus gelothet wird, während das Schiff seine Fahrt fortsetzt, und die Geschwindigkeit des Schiffes ist nur durch die Rücksicht beschränkt, dass genug lose Leine ausgesteckt werden kann, bis das Loth den Grund erreicht.

Der Umstand, dass man genöthigt ist, die Fahrt des Schiffes zum Lothen zu vermindern, beschränkt die Anwendung des Lothes zur Ortsbestimmung auf See, namentlich auch insofern, als durch häufiges Beidrehen die durch Kompass und Log bestimmte Position unsicher wird. Um diesen Uebelstand zu beseitigen, hat Sir W. Thomson eine Lothmaschine erfunden, welche auf der Messung des am Grunde stattfindenden Wasserdrucks basirt. Dieses Princip ist schon vorher zur Anwendung gebracht, aber erst bei der Thomsonschen Maschine zur vollständigsten Ausnutzung gekommen. Bei derselben wird nämlich statt der Lothleine ein feiner Lothdraht verwendet, welcher mit sehr geringer Reibung durch das Wasser läuft und somit eine grosse Fallgeschwindigkeit des Lothes ermöglicht. Die Fahrt des Schiffes braucht beim Lothen mit diesem Apparat nicht vermindert zu werden, die Lothungen beanspruchen eine verhältnissmässig kurze Zeit und lassen sich schnell wiederholen, wodurch der Werth dieser Art der Ortsbestimmung auf See bedeutend erhöht wird.

Nach ganz ähnlichem Princip, wie die Thomsonsche Lothmaschine ist die Bambergische konstruirt, welche neuerdings in der Kaiserlichen Marine zur Verwendung gekommen ist.

Beim Lothen in bedeutenden Tiefen ist es nothwendig, das Lothgewicht, nachdem es den Grund berührt hat, von der Lothleine loszulösen, um Zeit und Arbeit des Aufholens zu ersparen. Diesem Bedürfniss entsprang eine Anzahl verschiedener Konstruktionen von Lothapparaten, wie das Tiefloth von Brooke, Belknap-Sigsbee, Bailie. Eine Beschreibung

derselben sowie der vorgenannten Lothmaschinen findet sich in dem Handbuch der nautischen Instrumente.*)

Der Einfluss des Luftdrucks auf den Wasserstand und somit auf die gelothete Tiefe ist im Vergleich zu den vorerwähnten Fehlerquellen für die Navigation unerheblich. Man rechnet für 2 mm Barometerveränderung 3 cm Wasserstands-differenz (nach Daussy) oder für einen Zoll engl. Barometer einen Fuss Wasserstand (nach Lubbock).

§ 45. Das Segeln in der Loxodrome.

Die Aufgaben in der terrestrischen Navigation, welche die Benutzung von Kompass und Log zur alleinigen Voraussetzung haben, sind folgende:

1. Kurs und Fahrt des Schiffes, sowie der Abfahrtsort sind gegeben. Man soll die erreichte geographische Position finden.
2. Zwei geographische Positionen sind gegeben. Es sollen Kurs und Distanz von der einen zur andern ermittelt werden.

Zunächst bieten sich zwei einfache Fälle dar, welche der allgemeinen Behandlung dieser beiden Aufgaben zweckmässig vorangeschickt werden.

1. Der Kurs des Schiffes ist rechtweisend Nord oder Süd.
Oder: Die Punkte, zwischen denen Kurs und Distanz bestimmt werden sollen, liegen auf demselben Meridian.

In diesem Falle verschwindet die Aenderung in der Länge, und die Anzahl Seemeilen, welche durch Loggen ermittelt ist, giebt direkt den Breitenunterschied zwischen verlassenen und erreichtem Ort in Seemeilen an.

Beispiele.

1. Von $33^{\circ} 10'$ W-Lg v. Grw.
 $6^{\circ} 5'$ N-Br

segelt ein Schiff S 15° W missweisend 400 Sm (Missweisung 15° W). Welches ist die erreichte Position?

$$\begin{array}{r} \text{Mw. K. S } 15^{\circ} \text{ W} \\ \text{Mw. } 15^{\circ} \text{ W} \\ \hline \text{Rw. K. } \quad \text{Süd} \end{array}$$

400 Sm gleich $6^{\circ} 40'$ Br.-U.

Erreichter Ort des Schiffes

$$\begin{array}{l} 33^{\circ} 10' \text{ W-Lg,} \\ 0^{\circ} 35' \text{ S-Br.} \end{array}$$

*) Herausgegeben vom Hydrographischen Amte des Reichs-Marine-Amts. Zweite Auflage. Berlin 1890.

2. Kurs und Distanz zwischen $33^{\circ} 10'$ W-Lg v. Grw. $0^{\circ} 35'$ S-Br und $33^{\circ} 10'$ W-Lg - $6^{\circ} 5'$ N-Br sind zu finden.

$$\text{Lg-U} = 0^{\circ} 0'$$

$$\text{Br-U} = 6^{\circ} 40' = 400 \text{ Sm.}$$

Daher: Rechtweisender Kurs: Nord 400 Sm und für die Missweisung 15° West, missweisender Kurs N 15° O 400 Sm.

2. Der Kurs des Schiffes ist rechtweisend Ost oder West. Oder: Die Punkte, zwischen denen Kurs und Distanz bestimmt werden sollen, liegen auf demselben Breitenparallel.

In diesem Falle verschwindet die Aenderung in der Breite, aber die Anzahl Seemeilen, welche durch Loggen ermittelt ist, giebt nur für den Aequator den Längenunterschied zwischen verlassenen und erreichtem Ort in Seemeilen an.

Nach § 11 ist die Länge eines Breitenparallels, — also auch die Länge eines jeden Grades und jeder Minute auf demselben, — gleich der Länge des Aequators — oder des entsprechenden Theils des Aequators — multiplicirt mit dem Kosinus der Breite. Da eine Minute auf dem Aequator gleich einer Seemeile ist (die Erde als Kugel betrachtet), so ist allgemein eine Längenminute des Breitenparallels der Breite φ in Aequatormeilen oder Seemeilen ausgedrückt gleich einer Aequatorminute oder Seemeile multiplicirt mit dem Kosinus der Breite φ . Die Entfernung zweier Orte auf einem Breitenparallel, in Seemeilen gemessen, nennt man Abweichung, zum Unterschiede von dem in Graden und Minuten ausgedrückten Längenunterschiede. Es ist also:

$$\text{Abw.} = \text{Lg-U} \cdot \cos \varphi$$

$$\text{Lg-U} = \text{Abw.} \cdot \sec \varphi$$

wie aus den folgenden Beispielen ersichtlich wird.

Beispiel.

Von $50^{\circ} 40'$ N-Br und $2^{\circ} 10'$ O-Lg segelt ein Schiff rechtweisend West 140 Sm. Welches ist die erreichte Länge?

Fig. 37.

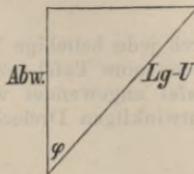
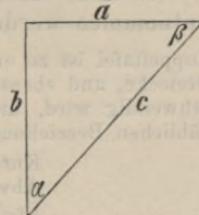


Fig. 38.



Es ist $140 \text{ Sm} = \text{Abw.}$

$$50^{\circ} 40' = \varphi, \text{ also:}$$

$$\text{Lg-U} = 140 \cdot \sec 50^{\circ} 40'$$

$$\lg 140 = 2,1461,$$

$$\lg \sec \varphi = 0,1980$$

$$\lg \text{Lg-U} = 2,3441; \text{Lg-U} = 220,9' = 3^{\circ} 40,9'.$$

Oder nach der Koppeltafel

$$\varphi \text{ (Kurs)} = 50\frac{2}{3}^\circ$$

$$\text{Abw. (Breitenunterschiedsspalte)} = 140'$$

$$\text{Lg-U (Distanzspalte)} = 221' = 3^\circ 41'$$

(d. h. nach den Bezeichnungen im rechtwinkligen Dreieck, s. Fig. 37 u. 38,

$$\varphi = a \text{ Abw} = b \text{ Lg-U} = c).$$

Die erreichte Länge ist also:

$$2^\circ 10' \text{ O-Lg plus}$$

$$3^\circ 40,9' \text{ West.}$$

$$1^\circ 30,9' \text{ West.}$$

Die logarithmische Rechnung, obgleich bei diesem und folgendem Verfahren die genaueste, findet in der Praxis selten Anwendung, weil Tafeln für rechtwinklige Dreiecke (Koppeltafeln) meist zur Hand sind, welche die ganze Rechnung sparen. Grosse Genauigkeit wird aber bei diesen Rechnungen durchweg nicht erfordert. Nur wenn diese Tafeln nicht ausreichen, ist logarithmische Rechnung nöthig.

Beispiel.

Auf $65^\circ 40'$ Breite beträgt die Längendifferenz zweier Orte $1^\circ 43'$. Welches ist die Distanz zwischen beiden in Seemeilen?

$$\text{Lg-U} = 1^\circ 43' = 103'$$

$$\varphi = 65^\circ 40', \text{ also:}$$

$$103 \cdot \cos 65^\circ 40' = \text{Abw.}$$

Aus der Tafel: Für Lg-U (Distanzspalte c) = 1,03 und φ (Kurspalte a) = $65^\circ 40'$ ergibt sich die Abw. (Breitenunterschiedsspalte b) = 42,4. (Vergl. Fig. 38.)

Also ist die Abweichung oder die Distanz zwischen beiden Orten = 42,4 Sm.

§ 46. Auf die vorstehenden zwei speciellen Fälle, welche in der Praxis übrigens selten eintreten werden, gründet sich das Rechnungsverfahren für jeden beliebigen andern Kurs.

Durch Kurs und Distanz ist ein rechtwinkliges Dreieck vollkommen bestimmt, dessen Katheten den Breitenunterschied und die Abweichung bilden. Diese beiden Katheten können daher aus der dafür berechneten Tafel (Koppeltafel) ohne Weiteres entnommen werden.

Die Koppeltafel ist zu ersetzen durch jede beliebige Tafel rechtwinkliger Dreiecke, und ebenso kann, wenn eine Tafel rechtwinkliger Dreiecke nothwendig wird, die Koppeltafel angewendet werden. Es ist bei der üblichen Bezeichnung im rechtwinkligen Dreieck:

$$\text{Kurs} = a,$$

$$\text{Abw.} = a,$$

$$\text{Br.-U} = b,$$

$$\text{Dist.} = c,$$

und es würde sich empfehlen, diese Buchstaben in jeder Koppeltafel den Ueberschriften der betreffenden Spalten beizusetzen.

Der Uebergang aber von Abweichung zum Längenunterschied macht die Frage nothwendig, für welchen Breitenparallel dieser Uebergang erfolgen soll, da die Reduktion für die verlassene Breite ein anderes Resultat geben muss, als für die erreichte Breite.

Sieht man die zurückgelegte Distanz als die Diagonale eines Trapezes an, dessen konvergierende Seiten die

Fig. 39.

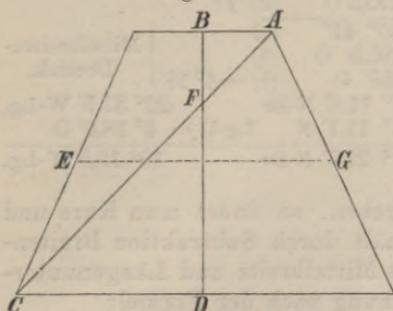


Fig. 40.



durch den Breitenunterschied abgeschnittenen Stücke des verlassenen und erreichten Meridians und dessen parallele Seiten die zugehörigen Längenunterschiede sind, so ist klar, dass die halbe Summe beider Längenunterschiede, d. h. in Fig. 39 das Stück $AB + CD$ der Distanz $AF + FC$ entspricht. Es ist aber $AB + CD = EG$, der Mittellinie des Trapezes, deren Lage durch Halbierung der Höhe BD gefunden wird.

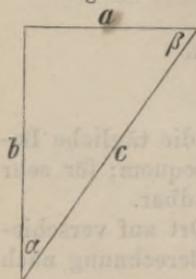
Daher die Regel:

Die Abweichung wird für die Mittelbreite, d. h. für den Breitenparallel halbwegs zwischen verlassener und erreichter Breite in Längenunterschied verwandelt, oder

$$\text{Lg-U} = \text{Abw. sec Mttbr.}$$

Für die Benutzung der Koppeltafel (§ 48) folgt die mechanisch anzuwendende praktische Regel (s. Fig. 40);

Fig. 41.



„Um Längenunterschied zu finden, nehme man die Mittelbreite als Kurs und die Abweichung als Breitenunterschied. Man findet dann in der nebenstehenden Distanzspalte den Längenunterschied.“

Oder für eine beliebige Tafel rechtwinkliger Dreiecke nach üblicher Bezeichnung:

$$\left. \begin{array}{l} \alpha \text{ Mittelbreite} \\ b \text{ Abweichung} \end{array} \right\} c \text{ Längenunterschied}$$

Beispiel.

Von $40^{\circ} 11,6'$ N-Br und $22^{\circ} 37,5'$ W-Lg ist gesegelt: S 84° O missweisend 208 Sm. Missweisung 26° West. Welches ist die erreichte Position?

	Mw. K. S 84° O (+ 96)	
	Mw. 26° W (- 26)	
	Rw. K. = N 70° O	(a)
	Dist. = 208 Sm	(c)
Daraus	Br-U = 71,1 N	(b)
	Abw. = 195,5 O	(a)
	} Kursdreieck.	
40° 11,6' + 35,6' =	Mttbr. = 40° 47'	(a)
	Abw. = 195,5' O	(b)
	Daraus Lg-U = 258' O	(c) = 4° 18'
	} Mittelbreiten- Dreieck.	
Verlassene Position	40° 11,6' N-Br	22° 37,5' W-Lg,
	Br-U = 1° 11,1' N	Lg-U = 4° 18,0' O
Erreichte Position	41° 22,7' N-Br	18° 19,5' W-Lg.

Sind zwei Positionen gegeben, so findet man Kurs und Distanz wie folgt. Man erhält durch Subtraktion Breiten- und Längenunterschied. Aus Mittelbreite und Längenunterschied findet man die Abweichung nach der Formel:

$$\text{Abw.} = \text{Lg-U} \cdot \cos \text{Mttbr.}$$

[In der Koppeltafel: Mittelbreite als Kurs, Längenunterschied als Distanz, Abweichung als Breitenunterschied.] Aus Abweichung und Breitenunterschied findet man dann in der Koppeltafel direkt Kurs und Distanz.

Beispiel.

Zwischen folgenden Positionen soll Kurs und Distanz gefunden werden:

	Von $35^{\circ} 15,3'$ N-Br $36^{\circ} 44'$ W-Lg nach	
	$37^{\circ} 41'$ N-Br $32^{\circ} 40'$ W-Lg	
$35^{\circ} 15,3'$ N-Br	$36^{\circ} 44'$ W-Lg	
$37^{\circ} 41'$ N-Br	$32^{\circ} 40'$ W-Lg	
$2^{\circ} 25,7'$ N-Br-U = 145,7	$4^{\circ} 4'$ O-Lg-U = 244	(c)
$1^{\circ} 12,8' + 35^{\circ} 15,3'$ =	$36^{\circ} 28,1'$ Mttbr.	(a)
Daraus	196,2 Abw.	(b)
	} Mittelbreiten- Dreieck.	
Aus	Abw. = 196,2	(a)
	Br-U = 145,7	(b)
ergibt sich Kurs =	N $53\frac{1}{2}^{\circ}$ O	(a)
und Distanz =	$242\frac{1}{2}$ Sm	(c)
	} Kursdreieck.	

Die Rechnung nach Mittelbreite ist für die tägliche Besteckrechnung vollständig genau genug und bequem; für sehr grosse Entfernungen ist sie aber nicht anwendbar.

Wenn der verlassene und der erreichte Ort auf verschiedenen Seiten des Aequators liegen, so ist die Berechnung nach

Mittelbreite etwas umständlicher, und die Anwendung dieses Verfahrens nicht praktisch.

Die Rechnung nach Mittelbreite war aber ferner überhaupt nur unter der Annahme zulässig, dass Kurs und Distanz als Diagonale eines Trapezes betrachtet werden durften; die allgemeine und genaue Rechnung stützt sich dagegen auf die Theorie der Loxodrome und ist bekannt als Rechnung nach vergrößerter Breite.

§ 47. Rechnung nach vergrößerter Breite.

Die Gleichung der Loxodrome ist (Seite 32):

$$tg \zeta = \frac{\text{Längen-Unterschied}}{lg \operatorname{nat} tg^{1/2}(90^\circ + \varphi) - lg \operatorname{nat} tg^{1/2}(90^\circ + \varphi_1)}$$

worin ζ der Kurs, φ die verlassene, φ_1 die erreichte Breite bedeutet. Der Werth $lg \operatorname{nat} tg^{1/2}(90^\circ + \varphi)$, welcher der Breite φ entspricht, heisst die vergrösserte Breite, oder auch der Meridionaltheil (bezeichnet durch M) und der Nenner $lg \operatorname{nat} tg^{1/2}(90^\circ + \varphi) - lg \operatorname{nat} tg^{1/2}(90^\circ + \varphi_1) = M - M' = m$, der vergrösserte Breitenunterschied oder die Meridionaldifferenz.

Die Relationen $tg \zeta = \frac{Lg-U}{m}$ sind diejenigen eines rechtwinkligen Dreiecks, in dem ein Winkel gleich ζ , die demselben gegenüberliegende Kathete gleich $Lg-U$, und die anliegende Kathete gleich m ist; dasselbe ist bekannt unter dem Namen Merkator-Dreieck. Es ist klar, dass sich zur Berechnung des Kurses aus Längenunterschied und vergrößerter Breite oder zur Berechnung des Längenunterschiedes aus Kurs und vergrößerter Breite auch die Koppeltafeln anwenden lassen.

In dem Kurs-Dreieck (Fig. 42) ist die Einheit die Seemeile, und es ergibt sich unmittelbar die Distanz

$$c = Br-U \cdot \sec \zeta$$

($c = \text{Abw. cosec } \zeta$).

Fig. 42.

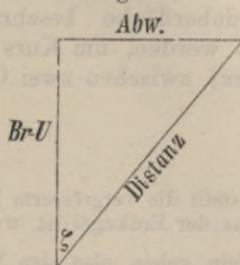
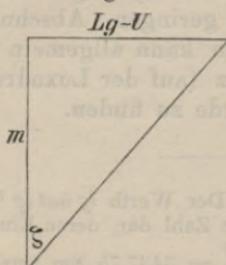


Fig. 43.



In dem Merkator-Dreieck (Fig. 43) dagegen ist die Seemeile keine konstante Grösse.

Zu den Rechnungen mittelst vergrößerter Breite bedient man sich der Tafeln der vergrößerten Breite, in welchen man mit dem Argument φ den Werth $lg \operatorname{nat} tg^{1/2} (90^\circ + \varphi)$ in Seemeilen ausgedrückt direkt entnimmt.*)

Die Rechnung stellt sich wie folgt:

Beispiele.

1. Von $40^\circ 11,6'$ N-Br und $22^\circ 37,5'$ W-Lg ist rechtweisend gesegelt N 70° O 208 Sm. Welches ist die erreichte Position?

Aus K. N 70° O (α)
 Dist. 208 Sm (c) } Kursdreieck.
 ergibt sich Br-U $71,1'$ N (b)
 Verl. Br. $40^\circ 11,6'$ N $M' = 2638$
 Err. Br. $41^\circ 22,7'$ N $M = 2732$

Aus $m = 94$ (b)
 und K. = N 70° O (α) } Merkatordreieck.
 folgt Lg-U = 258 O = $4^\circ 18'$ O (a)
 Verl. Lg. = $22^\circ 37,5'$ W
 Err. Lg. = $18^\circ 19,5'$ W

2. Zwischen folgenden Positionen soll Kurs und Distanz gefunden werden:

	von $35^\circ 15,3'$ N-Br	$36^\circ 44'$ W-Lg nach
	$37^\circ 41'$ N-Br	$32^\circ 40'$ W-Lg
	<hr/>	<hr/>
	$2^\circ 25,7'$ N-Br-U	$4^\circ 4'$ O-Lg-U
	= $145,7'$	= $244'$

Für $35^\circ 15'$ $M' = 2263$
 $37^\circ 41'$ $M = 2444$

Aus $m = 181$ (b)
 Lg-U = 244 (a) } Merkatordreieck.
 ergibt sich K. = N 53° O (α)
 Aus K. = N 53° O (α)
 Br-U = 145,7 (b) } Kursdreieck.
 ergibt sich die Dist. = 242 Sm (c)

Die Rechnung nach vergrößerter Breite ist nicht auf einen geringen Abschnitt der Erdoberfläche beschränkt, sondern kann allgemein angewendet werden, um Kurs und Distanz (auf der Loxodrome gemessen) zwischen zwei Orten der Erde zu finden.

*) Der Werth $lg \operatorname{nat} tg^{1/2} (90^\circ + \varphi)$ stellt die vergrößerte Breite als eine Zahl dar, deren Einheit der Radius der Erdkugel ist, welcher $\frac{360 \cdot 60}{2\pi} = 3437,75$ Sm beträgt. Die Tafeln geben also den Werth an: $3437,75 \cdot lg \operatorname{nat} tg^{1/2} (90^\circ + \varphi)$.

Beispiel.

Es soll Kurs und Distanz gefunden werden zwischen Valparaiso und Nagasaki.

Valparaiso 71° 42' W-Lg 33° 2' S-Br M 2102
 Nagasaki 129° 52' O-Lg 32° 45' N-Br M' 2082

(230° 8' W)

Diff. 158° 26' W-Lg-U 65° 47' N-Br-U m 4184
 = 9506' W-Lg-U = 3947' N-Br-U

Lg-U = 9506 lg 3,9780 (a)
 m = 4184 lg 3,6216 (b) } Merkatordreieck.

K. N 66° 15' W lg tg ζ 0,3564 (a)
 Br-U = 3947 lg 3,5963 (b) } Kursdreieck.

K. = N 66° 15' W lg sec 0,3950 (a)
 Dist. 9802 Sm lg 3,9913 (c)

Bemerkung. Will man bei einer grossen Entfernung die Distanz auf einzelne Seemeilen genau haben, so genügen vierstellige Logarithmen nicht. Dieselben sind indessen hier, als dem Bedürfniss der Praxis entsprechend, beibehalten. Für die Berechnung der Distanz ist es notwendig, beim Kurse auch Minuten zu berücksichtigen.

Für die vorstehenden Rechnungsmethoden kommt also ein rechtwinkliges Dreieck in drei verschiedenen Gestalten vor, deren korrespondirende Theile in folgender Tabelle neben einander gestellt sind.

Kursdreieck	Mittelbreiten-dreieck	Merkatordreieck
a Kurs	Mittelbreite	Kurs
a Abweichung	—	Längenunterschied
b Breitenunterschied	Abweichung	Meridionaldifferenz
c Distanz	Längenunterschied	—

Eine Karte nach Merkators Projektion ist unmittelbar die graphische Darstellung der Rechnung nach vergrösserter Breite. Eine beliebige gerade Linie in einer solchen Karte ist die Hypotenuse des im Obigen als Merkatordreieck eingeführten rechtwinkligen Dreiecks.

§ 48. Das Koppeln der Kurse.

Wenn man die erreichte Länge und Breite bestimmen will, nachdem mehrere Kurse seit dem Verlassen des bekannten Besteckpunktes gesteuert worden sind, so muss man entweder für jeden Kurs nach einander diese Bestimmung nach den vorstehenden Regeln ausführen, oder man koppelt die Kurse zusammen und ermittelt aus ihnen einen Gesamtkurs und eine Gesamtdistanz.

Das letztere Verfahren wird stets dann beobachtet, wenn eine grössere Anzahl kleiner Kurse mit kurzen Distanzen

In der Karte kann man dieses Verfahren graphisch vornehmen, sobald der Maassstab gross genug ist, indem man die einzelnen Kurse und Distanzen einträgt.

Man überzeugt sich leicht, dass das Verfahren des Koppelns kein ganz korrektes ist. Wenn z. B., um einen extremen Fall zu wählen, von 67° N-Br 10° W-Lg rw. gesegelt ist: Kurs West 30 Sm, darauf Kurs Nord 210 Sm, so ergibt eine Zusammenkoppelung beider Kurse den Gesamtkurs N 8° W 212 Sm.

Verlassene Breite	67°	M'	5474
Erreichte Breite	70° 30'	M	6055
Verlassene Länge	10°	m	581
Erreichte Länge	11° 21,6'	Lg-U	81,6.

Es ist aber die ganze Länge auf 67° Br aufgelaufen, und auf 67° Br sind 30 Sm = 77' Lg-U, also die erreichte Länge 11° 17'. Da diese Differenz indessen nur auf hohen Breiten und bei sehr ungleicher Vertheilung der abgelaufenen Länge und Breite merklich wird, so ist es unnöthig, hier weiter darauf Rücksicht zu nehmen.

Wenn man für die Zeit, in welcher die zu koppelnden Kurse gesegelt sind, noch Stromversetzung berücksichtigen will, so nimmt man die Richtung und Geschwindigkeit des Stromes (letztere mit der Anzahl Stunden multiplicirt, welche das Schiff dem Strom ausgesetzt war) als einen Kurs mit in Rechnung.

Beispiel.

Von 55° 45' N-Br und 2° 30' O-Lg von Grw. wurde bei 23° westl. Mw. wie folgt bei dem Winde gesegelt, während der Strom 18,7' NO¹/₂O mw. setzte.

Wind	Gesteuert	Abtritt	Deviation	Gesegelt	Distanz	N	S	O	W
NW	SWzS	0	3/4 O	SW ¹ / ₄ S	35,3	—	26,1	—	23,7
W	SSW	1/4	3/4 O	SSW ¹ / ₂ W	18,3	—	16,1	—	8,6
WSW	S ¹ / ₄ W	1 ¹ / ₄	1/2 O	S ¹ / ₂ O	25,3	—	25,2	2,5	—
SW	SSO ¹ / ₄ O	2 ¹ / ₄	1/4 O	SO ¹ / ₄ O	15,3	—	10,3	11,3	—
SSW	SO ¹ / ₄ O	2 ¹ / ₂	1/4 W	OzS	13,3	—	2,6	13,1	—
S	SOzO ³ / ₄ O	2 ¹ / ₄	1/4 W	O ¹ / ₄ N	44,3	2,2	—	44,2	—
S	WSW ¹ / ₂ W	2 ¹ / ₂	3/4 O	WNW ¹ / ₄ W	17,6	5,9	—	—	16,6
SzO	WSW ³ / ₄ W	2 ³ / ₄	3/4 O	NWzW ³ / ₄ W	18,3	7,8	—	—	16,5
SSO	SW ¹ / ₄ W	4	3/4 O	WzN	13,7	2,7	—	—	13,4
S	WSW ¹ / ₄ W	4 ¹ / ₄	3/4 O	NW ³ / ₄ W	19,9	11,9	—	—	16,0
Strom	. . . . .	. . . . .	. . . . .	NO ¹ / ₂ O	18,7	11,9	—	14,5	—
						42,4	80,3	85,6	94,8
							42,4		85,6
							37,9		9,2

Ges. mw. K. S 14° W Dist. 39 Sm
Mw. 23° W

Ges. rw. K. S 9° O	Abw. 6,1' O
gibt Br-U 0° 38,5' S	Lg-U 0° 10,8' O
verl. Br. 55° 45' N	verl. Lg. 2° 30' O
err. Br. 55° 6,5' N	err. Lg. 2° 40,8' O v. Grw.

Ist nicht die verlassene Länge und Breite direkt bekannt, wohl aber Richtung (die umgekehrte Peilung) und Abstand von einem Punkt (z. B. einem Feuerthurm), dessen Position bekannt ist, so wird dieser Punkt als Abfahrtsort in Rechnung gestellt und Abstand und Richtung von demselben ebenfalls als Kurs mit den gesegebenen Kursen zusammengekoppelt.

Beispiel.

Ein Schiff peilte Ambrose-Insel, auf 26° 18' S-Br und 79° 51' W-Lg WNW 12 Sm ab und steuerte dann SO 30 Sm, W 10 Sm, SSO 20 Sm. Mw. 12° Ost.

Kurs	Distanz Sm	N	S	O	W
(Umgekehrte Peilung) OSO	12	—	4,6	11,1	—
SO	30	—	21,2	21,2	—
W	10	—	—	—	10
SSO	20	—	18,5	7,7	—
			44,3	40,0	10
				10	
				30,0	

Ges. mw. K. S 34° O Dist. 53 Sm
Mw. 12° O

Ges. rw. K. S 22° O	Abw. 20
gibt Br-U 50' S	Lg-U 23' O
verl. Br. 26° 18' S	Lg 79° 51' W
err. Br. 27° 8' S	Lg 79° 28' W.

§ 49. Das Segeln im grössten Kreise.

1. Es ist bereits früher (§ 15) darauf näher eingegangen, dass die kürzeste Entfernung zwischen zwei Punkten auf der Kugel eine grösste Kreislinie ist, und dass eine besondere Art der Kartenprojektion — die gnomonische — diese Linien auf der Karte als gerade Linien darstellt. Die Loxodrome aber, in welcher ein Schiff, welches nach dem Kompass steuert, sich nothwendig bewegen muss, fällt nur mit dem grössten

Kreise zusammen beim Segeln Nord-Süd in einem Meridian, oder beim Segeln Ost-West im Aequator.

Für grosse Entfernungen ist es nothwendig, den Weg auf dem grössten Kreise zu kennen, um danach zu beurtheilen, in welcher Weise eine Abweichung vom loxodromischen Kurse mit Vortheil vorgenommen werden kann. Es sind daher die Aufgaben zu lösen:

1. Den grössten Kreis zwischen zwei Orten in die Merkatorsche Karte einzutragen und die zu steuernden Kurse zu bestimmen.
2. Die Distanz auf diesem grössten Kreise zu berechnen.

Die für das Segeln im grössten Kreise nöthigen Rechnungen sind reine Anwendungen der sphärischen Trigonometrie, es ist daher hier nur erforderlich, die praktischsten Formeln auszuwählen.

Hat man eine gnomonische Karte, wie solche zu diesem Zweck entworfen sind, so ist für das Absetzen des grössten Kreises jede Rechnung erspart. Man verbindet in der gnomonischen Karte die beiden gegebenen Orte durch eine gerade Linie und findet für beliebige Punkte dieser Linie in der Karte die Länge und Breite, welche, in die Merkatorsche Karte eingetragen, ebenso viel Punkte der grössten Kreiskurve in dieser geben. Eine gnomonische Karte für jeden Ocean genügt, und wenn man aus derselben auch nicht Kurs und Distanz direkt entnehmen kann, so würde die Einführung solcher Karten doch die Anwendung des grössten Kreissegels wesentlich verallgemeinern.*)

Muss man den grössten Kreis durch Rechnung bestimmen, so verfährt man folgendermaassen:

1. Man berechnet den Abgangs- und Ankunftskurs des grössten Kreises nach der unter 2. folgenden Formel A und legt diese Kurse in der Karte nieder.
2. Im Anschluss daran findet man am bequemsten die Distanz nach Formel B.
3. Man berechnet denjenigen Punkt des grössten Kreises, welcher dem Pol am nächsten liegt, d. h. den Scheitelpunkt nach den Formeln C und D. In diesem Punkt ist der zugehörige Meridian rechtwinklig zu dem grössten Kreise, d. h. der Kurs in diesem Kreise ist hier rechtweisend Ost oder West.
4. Unter Zugrundelegung des Scheitelpunktes können nun aus rechtwinkligen sphärischen Dreiecken für beliebige

*) Vergl. „Annalen der Hydrographie etc.“ 1890, Seite 161.

Meridiane die Breiten und damit Punkte des grössten Kreises nach der Formel E gefunden werden. Durch Eintragung dieser Punkte in die Karte wird die gesuchte Wegkurve festgelegt.

5. Wenn die Orte zu beiden Seiten des Aequators liegen, so ist die Berechnung des Schnittpunktes mit dem Aequator nach Formel F vorzuziehen. Von diesem Punkt ausgehend, werden nach Formel G die weiteren Punkte für Eintragung der Kurve in die Karte bestimmt.

2. Formeln für die Berechnung des grössten Kreises zwischen zwei Orten.

In der Figur 44 ist:

P der Pol,

A der Ort der grösseren Breite,

B der Ort der kleineren Breite,

S der Scheitelpunkt des grössten Kreises.

Daher:

$PA = b_I$) Komplemente der $\angle APB = \lambda$ Längenunterschied.
 $PB = b_{II}$) Breiten $\varphi_I \varphi_{II}$ $\angle PAB = \alpha$ Kurs.
 $AB = d$ Distanz $\angle PBA = \beta$ Kurs.
 $PS = b_s$ Komplement der Breite φ_s .

Nach den Neperschen Analogien ist:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \frac{1}{2} (\alpha + \beta) &= \frac{\cos \frac{1}{2} (b_{II} - b_I)}{\cos \frac{1}{2} (b_{II} + b_I)} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\lambda}{2} \\ \operatorname{tg} \frac{1}{2} (\alpha - \beta) &= \frac{\sin \frac{1}{2} (b_{II} - b_I)}{\sin \frac{1}{2} (b_{II} + b_I)} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\lambda}{2} \end{aligned}$$

Wird φ statt b eingesetzt, so erhält man die unter A stehenden Formeln.

Berechnung der Abgangs- und Ankunfts-Kurse.

$$\text{A. } \begin{cases} \operatorname{tg} \frac{1}{2} (\alpha + \beta) = \frac{\cos \frac{1}{2} (\varphi_I - \varphi_{II})}{\sin \frac{1}{2} (\varphi_I + \varphi_{II})} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\lambda}{2} \\ \operatorname{tg} \frac{1}{2} (\alpha - \beta) = \frac{\sin \frac{1}{2} (\varphi_I - \varphi_{II})}{\cos \frac{1}{2} (\varphi_I + \varphi_{II})} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\lambda}{2} \\ \alpha = \frac{1}{2} (\alpha + \beta) + \frac{1}{2} (\alpha - \beta) \\ \beta = \frac{1}{2} (\alpha + \beta) - \frac{1}{2} (\alpha - \beta). \end{cases}$$

Daraus ergibt sich:

Berechnung der Distanz.

$$B. \left\{ \begin{aligned} \operatorname{tg} \frac{1}{2} d &= \frac{\sin \frac{1}{2} (\alpha + \beta)}{\sin \frac{1}{2} (\alpha - \beta)} \cdot \operatorname{tg} \frac{1}{2} (\varphi_I - \varphi_{II}) \end{aligned} \right.$$

$$\text{oder: } \operatorname{tg} \frac{1}{2} d = \frac{\cos \frac{1}{2} (\alpha + \beta)}{\cos \frac{1}{2} (\alpha - \beta)} \cdot \operatorname{ctg} \frac{1}{2} (\varphi_I + \varphi_{II})$$

erstere wenn $\frac{1}{2} (\alpha + \beta)$ nahe $= 90^\circ$

letztere wenn $\frac{1}{2} (\alpha - \beta)$ nahe $= 0^\circ$

Berechnung des Scheitels.

Mit Hülfe der Kurse hat man in den rechtwinkligen Dreiecken APS und BPS zwei bekannte Stücke, so dass sich findet:

$$\sin b_s = \sin \alpha \cdot \sin b_I$$

$$\sin b_s = \sin \beta \cdot \sin b_{II}$$

$$\text{oder: } C. \left\{ \begin{aligned} \cos \varphi_s &= \sin \alpha \cdot \cos \varphi_I \\ &= \sin \beta \cdot \cos \varphi_{II} \end{aligned} \right.$$

Wie die Winkel α und β zu gebrauchen sind, wird sich durch eine Zeichnung, wie sie Figur 44 und 45 darstellt, stets sofort ersehen lassen.

Fig. 44.

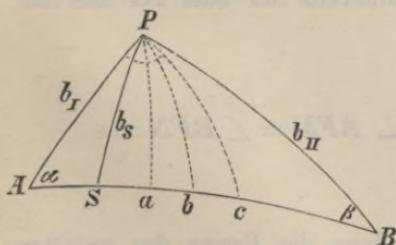
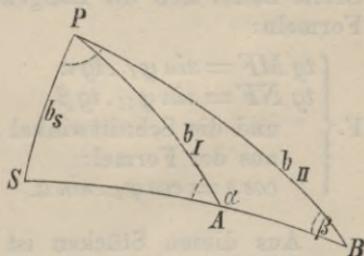


Fig. 45.



Die Länge des Punktes S findet sich mit Hülfe einer der Formeln:

$$D. \left\{ \begin{aligned} \cos SPA &= \operatorname{tg} \varphi_I \cdot \operatorname{ctg} \varphi_s \\ \cos SPB &= \operatorname{tg} \varphi_{II} \cdot \operatorname{ctg} \varphi_s. \end{aligned} \right.$$

Berechnung der Punkte des grössten Kreisbogens für die Karte.

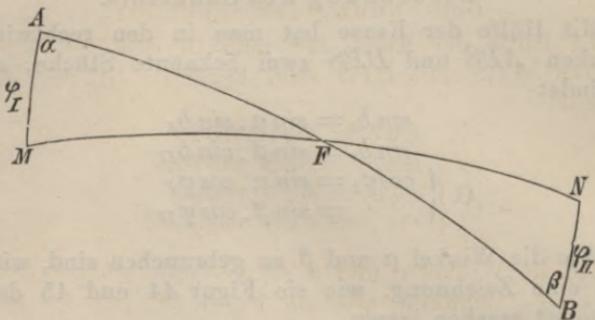
Für beliebige Längenunterschiede — $\angle SPa$, $\angle SPb$, $\angle SPc$ u. s. f. in Figur 44 — wird nun die Breite φ_a , φ_b , φ_c gefunden durch die Formeln:

$$E. \begin{cases} tg \varphi_a = \cos SPa . tg \varphi_s \\ tg \varphi_b = \cos SPb . tg \varphi_s \\ \dots \dots \dots \end{cases}$$

Berechnung des Schnittpunkts mit dem Aequator.

Für die Berechnung des Schnittpunkts mit dem Aequator hat man die rechtwinkligen Dreiecke *AMF* und *BNF* (Fig. 46, *MN* Aequator, Winkel bei *M* und *N* rechte). Mit Hülfe der

Fig. 46.



Kurswinkel (resp. ihrer Ergänzungen zu 180°) und der Breite findet sich die Längendifferenz *MF* oder *NF* aus den Formeln:

$$F. \begin{cases} tg MF = \sin \varphi_I . tg \alpha \\ tg NF = \sin \varphi_{II} . tg \beta \\ \text{und die Schnittwinkel } \angle AFM = \angle BFN = \varepsilon \\ \text{aus der Formel:} \\ \cos \varepsilon = \cos \varphi_I . \sin \alpha. \end{cases}$$

Aus diesen Stücken ist dann die Breite des grössten Kreisbogens für jede beliebige Länge *Fa*, *Fb*, *Fc* zu finden aus den Formeln:

$$G. \begin{cases} tg \varphi_a = tg \varepsilon . \sin Fa \\ tg \varphi_b = tg \varepsilon . \sin Fb \\ \dots \dots \dots \end{cases}$$

Für die Anwendung der Formeln ist in jedem Falle anzurathen, sich eine Figur, wie die vorstehende, roh zu entwerfen und die Winkel daraus zu entnehmen. Es ist dies einfacher, als bei strenger Durchführung der Vorzeichen die Formeln für eine mechanische Rechnung zu verallgemeinern.

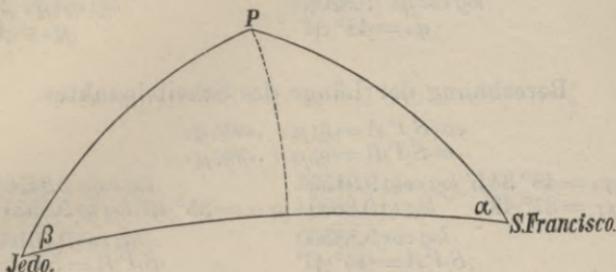
Ueber die Anwendung und den Vortheil des grössten Kreissegels ergibt erst die praktische Benutzung ein Urtheil. Es sollen daher hier zum Schluss noch einige Beispiele durchgeföhrt werden.

Beispiele.

1. Von S. Francisco nach Jedo.

S. Francisco Br = 37° 49' N	Lg = 122° 30' W
Jedo - = 35° 40' N	- = 140° 0' O
($\varphi_I - \varphi_{II}$) = 2° 9'	$\lambda = 97° 30'$
($\varphi_I + \varphi_{II}$) = 73° 29'	$\frac{\lambda}{2} = 48° 45'$

Fig. 47.



Berechnung des Abgangs- und Ankunfts-Kurses.

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \frac{1}{2} (\alpha + \beta) &= \frac{\cos \frac{1}{2} (\varphi_I - \varphi_{II})}{\sin \frac{1}{2} (\varphi_I + \varphi_{II})} \cdot \operatorname{cotg} \frac{\lambda}{2} \\ \operatorname{tg} \frac{1}{2} (\alpha - \beta) &= \frac{\sin \frac{1}{2} (\varphi_I - \varphi_{II})}{\cos \frac{1}{2} (\varphi_I + \varphi_{II})} \cdot \operatorname{cotg} \frac{\lambda}{2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} (\varphi_I - \varphi_{II}) &= 1° 45' \log \cos 9,99992 \dots \dots \log \sin 8,27326 \\ \frac{1}{2} (\varphi_I + \varphi_{II}) &= 36° 44,5' \log \operatorname{cosec} 0,22315 \dots \dots \log \sec 0,09618 \\ \frac{\lambda}{2} &= 48° 45' \log \operatorname{cotg} 9,94299 \dots \dots \log \operatorname{cotg} 9,94299 \\ \log \operatorname{tg} \frac{1}{2} (\alpha + \beta) &= 0,16606 \log \operatorname{tg} \frac{1}{2} (\alpha - \beta) &= 8,31243 \\ \frac{1}{2} (\alpha + \beta) &= 55° 42' & \frac{1}{2} (\alpha - \beta) &= 1° 11' \\ \alpha &= \frac{1}{2} (\alpha + \beta) + \frac{1}{2} (\alpha - \beta) \\ \beta &= \frac{1}{2} (\alpha + \beta) - \frac{1}{2} (\alpha - \beta) \\ \frac{1}{2} (\alpha + \beta) &= 55° 42' \\ \frac{1}{2} (\alpha - \beta) &= 1° 11' \\ \alpha &= 56° 53' \\ \beta &= 54° 31' \end{aligned}$$

Berechnung der Distanz.

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \frac{1}{2} d &= \frac{\cos \frac{1}{2}(\alpha + \beta)}{\cos \frac{1}{2}(\alpha - \beta)} \cdot \operatorname{ctg} \frac{1}{2}(\varphi_I + \varphi_{II}) \\ \frac{1}{2}(\alpha + \beta) &= 55^\circ 42' \log \cos 9,75091 \\ \frac{1}{2}(\alpha - \beta) &= 1^\circ 11' \log \sec 0,00009 \\ \frac{1}{2}(\varphi_I + \varphi_{II}) &= 36^\circ 44,5 \log \operatorname{ctg} 0,12697 \\ \log \operatorname{tg} \frac{1}{2} d &= 9,87797 \\ \frac{1}{2} d &= 37^\circ 3,3' \\ d &= 74^\circ 6,6' \\ &= 4446,6 \text{ Sm.} \end{aligned}$$

Berechnung des Scheitels.

$$\begin{aligned} \cos \varphi_s &= \sin \alpha \cdot \cos \varphi_I \\ \cos \varphi_s &= \sin \beta \cdot \cos \varphi_{II} \\ \alpha = 56^\circ 53' & \log \sin 9,92302 & \beta = 54^\circ 31' & \log \sin 9,91078 \\ \varphi_I = 37^\circ 49' & \log \cos 9,89761 & \varphi_{II} = 35^\circ 40' & \log \cos 9,90978 \\ \log \cos \varphi_s & \overline{9,82063} & \log \cos \varphi_s & \overline{9,82056} \\ \varphi_s &= 48^\circ 34' & \varphi_s &= 48^\circ 35' \end{aligned}$$

Berechnung der Länge des Scheitelpunktes.

$$\begin{aligned} \cos S P A &= \operatorname{tg} \varphi_I \cdot \operatorname{ctg} \varphi_s \\ \cos S P B &= \operatorname{tg} \varphi_{II} \cdot \operatorname{ctg} \varphi_s \\ \varphi_s = 48^\circ 34,5' & \log \operatorname{ctg} 9,94566 & \log \operatorname{ctg} & 9,94566 \\ \varphi_I = 37^\circ 49' & \log \operatorname{tg} 9,88994 & \varphi_{II} = 35^\circ 40' & \log \operatorname{tg} 9,85594 \\ \log \cos & \overline{9,83560} & \log \cos & \overline{9,80160} \\ S P A &= 46^\circ 47' & S P B &= 50^\circ 42' \\ \text{Lg} &= 169^\circ 17' \text{ W.} & \text{Lg} &= 169^\circ 18' \text{ W.} \end{aligned}$$

Berechnung der Punkte des grössten Kreisbogens für die Karte.

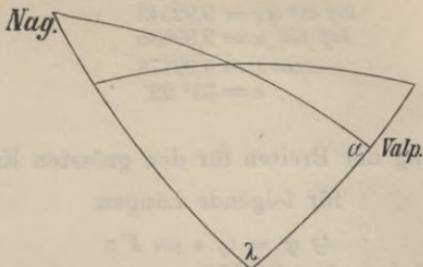
$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi_a &= \cos S P a \cdot \operatorname{tg} \varphi_s \\ \operatorname{tg} \varphi_b &= \cos S P b \cdot \operatorname{tg} \varphi_s \end{aligned}$$

Br und Lg des Scheitels = $48^\circ 34,5' \text{ N.}$ $169^\circ 17,5' \text{ W.}$

Länge	Winkel	$\log \operatorname{tg} \varphi_s$	$0,05434$	Δ	φ_a	φ_b
122° 30' W	46° 47,5'	$\log \cos 9,83547$	$\log \operatorname{tg} \varphi_s + \log \cos$	9,88981	$\varphi_a = 37^\circ 48,5'$	
130° 0'	39° 17,5'	$\log \cos 9,88870$		9,94304	$\varphi_b = 41^\circ 15,0'$	
140° 0'	29° 17,5'	$\log \cos 9,94059$		9,99493	$\varphi_c = 44^\circ 40,0'$	
150° 0'	19° 17,5'	$\log \cos 9,97490$		0,02924	$\varphi_d = 46^\circ 55,7'$	
160° 0'	9° 17,5'	$\log \cos 9,99426$		0,04860	$\varphi_e = 48^\circ 12,0'$	
170° 0'	0° 42,5'	$\log \cos 9,99997$		0,05431	$\varphi_f = 48^\circ 34,4'$	
180° 0'	10° 42,5'	$\log \cos 9,99237$		0,04671	$\varphi_g = 48^\circ 4,5'$	
170° 0' O	20° 42,5'	$\log \cos 9,97099$		0,02533	$\varphi_h = 46^\circ 40,3'$	
160° 0'	30° 42,5'	$\log \cos 9,93439$		9,98873	$\varphi_i = 44^\circ 15,4'$	
150° 0'	40° 42,5'	$\log \cos 9,87969$		9,93403	$\varphi_k = 40^\circ 40,0'$	
140° 0'	50° 42,5'	$\log \cos 9,80159$		9,85593	$\varphi_l = 35^\circ 40,0'$	

2. Von Valparaiso nach Nagasaki.

Fig. 48.



Valparaiso Br = 33° 2' S Lg = 71° 38' W
 Nagasaki Br = 32° 45' N Lg = 129° 52' O

$$\begin{aligned} \varphi_I + \varphi_{II} &= 0^\circ 17' & \lambda &= 158^\circ 30' \\ \varphi_I - \varphi_{II} &= 65^\circ 47' & \frac{\lambda}{2} &= 79^\circ 15' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}(\varphi_I + \varphi_{II}) &= 0^\circ 8,5' \\ \frac{1}{2}(\varphi_I - \varphi_{II}) &= 32^\circ 53,5' \\ \operatorname{tg} \frac{1}{2}(\alpha + \beta) &= \frac{\cos \frac{1}{2}(\varphi_I - \varphi_{II})}{\sin \frac{1}{2}(\varphi_I + \varphi_{II})} \cdot \operatorname{cotg} \frac{\lambda}{2} \\ \operatorname{tg} \frac{1}{2}(\alpha - \beta) &= \frac{\sin \frac{1}{2}(\varphi_I - \varphi_{II})}{\cos \frac{1}{2}(\varphi_I + \varphi_{II})} \cdot \operatorname{cotg} \frac{\lambda}{2} \\ \frac{1}{2}(\varphi_I - \varphi_{II}) &= 32^\circ 53,5' \log \cos 9,92412 \dots \dots \log \sin 9,73484 \\ \frac{1}{2}(\varphi_I + \varphi_{II}) &= 0^\circ 8,5' \log \operatorname{cosec} 2,60686 \dots \dots \log \sec 0,00000 \\ \frac{\lambda}{2} &= 79^\circ 15' \log \operatorname{cotg} 9,27842 \dots \dots \log \operatorname{cotg} 9,27842 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \log \operatorname{tg} \frac{1}{2}(\alpha + \beta) & 1,80940, \quad \log \operatorname{tg} \frac{1}{2}(\alpha - \beta) 9,01326 \\ \frac{1}{2}(\alpha + \beta) &= 89^\circ 6,7' \quad \frac{1}{2}(\alpha - \beta) = 5^\circ 53,2' \\ \frac{1}{2}(\alpha - \beta) &= 5^\circ 53,2' \\ \alpha &= 94^\circ 59,9' \\ \beta &= 83^\circ 13,5' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \frac{1}{2}d &= \frac{\sin \frac{1}{2}(\alpha + \beta)}{\sin \frac{1}{2}(\alpha - \beta)} \cdot \operatorname{tg} \frac{1}{2}(\varphi_I - \varphi_{II}) \\ \frac{1}{2}(\alpha + \beta) &= 89^\circ 6,7' \log \sin 9,99995 \\ \frac{1}{2}(\alpha - \beta) &= 5^\circ 53,2' \log \operatorname{cosec} 0,98902 \\ \frac{1}{2}(\varphi_I - \varphi_{II}) &= 32^\circ 53,5' \log \operatorname{tg} 9,81072 \\ \log \operatorname{tg} \frac{1}{2}d &= 0,79969 \\ \frac{1}{2}d &= 80^\circ 59' \\ d &= 161^\circ 58' \\ &= 9718 \text{ Sm.} \end{aligned}$$

Berechnung des Schnittpunktes mit dem Aequator.

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} NF &= \sin \varphi_I \cdot \operatorname{tg} \alpha & \operatorname{tg} MF &= \sin \varphi_{II} \cdot \operatorname{tg} \beta \\ \varphi_I = 33^\circ 2,0' & \log \sin 9,73650 & \varphi_{II} = 32^\circ 45,0' & \log \sin 9,73318 \\ \alpha = 94^\circ 59,9' & \log \operatorname{tg} 1,05819 & \beta = 83^\circ 13,5' & \log \operatorname{tg} 0,92518 \\ \log \operatorname{tg} NF &= 0,79469 & \log \operatorname{tg} MF &= 0,65836 \\ NF &= 80^\circ 53' & MF &= 77^\circ 37' \end{aligned}$$

v. Valparaiso.

v. Nagasaki.

Geographische Lg des Schnittpunktes = 152° 31' W (I.)
 152° 31' W (II.)

Berechnung der Schnittwinkel.

$$\begin{aligned} \cos \varepsilon &= \cos \varphi_I \cdot \sin \alpha \\ \log \cos \varphi_I &= 9,92343 \\ \log \sin \alpha &= 9,99835 \\ \hline \cos \varepsilon &= 9,92178 \\ \varepsilon &= 33^\circ 22' \end{aligned}$$

Berechnung der Breiten für den grössten Kreisbogen
für folgende Längen.

$$tg \varphi = tg \varepsilon \sin F \alpha$$

Länge	Winkel	$\log tg \varepsilon$	9,81858	
71° 38' W	80° 53'	$\log \sin$	9,99448	$\log tg \varphi_a$ 9,81306 $\varphi_a = 33^\circ 2,0' S$
80° 0'	72° 31'	$\log \sin$	9,97946	φ_b 9,79804 $\varphi_b = 32^\circ 8,0' -$
90° 0'	62° 31'	$\log \sin$	9,94799	φ_c 9,76657 $\varphi_c = 30^\circ 17,6' -$
100° 0'	52° 31'	$\log \sin$	9,89956	φ_d 9,71814 $\varphi_d = 27^\circ 35,4' -$
110° 0'	42° 31'	$\log \sin$	9,82982	φ_e 9,64840 $\varphi_e = 23^\circ 59,5' -$
120° 0'	32° 31'	$\log \sin$	9,73041	φ_f 9,54899 $\varphi_f = 19^\circ 29,6' -$
130° 0'	22° 31'	$\log \sin$	9,58314	φ_g 9,40172 $\varphi_g = 14^\circ 9,2' -$
140° 0'	12° 31'	$\log \sin$	9,33591	φ_h 9,15449 $\varphi_h = 8^\circ 7,4' -$
150° 0'	2° 31'	$\log \sin$	8,64256	φ_i 8,46114 $\varphi_i = 1^\circ 39,4' -$
160° 0'	7° 29'	$\log \sin$	9,11474	φ_k 8,93332 $\varphi_k = 4^\circ 54,0' N$
170° 0'	17° 29'	$\log \sin$	9,47774	φ_l 9,29632 $\varphi_l = 11^\circ 11,5' -$
180° 0'	27° 29'	$\log \sin$	9,66416	φ_m 9,48274 $\varphi_m = 16^\circ 54,3' -$
170° 0' O	37° 29'	$\log \sin$	9,78428	φ_n 9,60286 $\varphi_n = 21^\circ 50,3' -$
160° 0'	47° 29'	$\log \sin$	9,86752	φ_o 9,68616 $\varphi_o = 25^\circ 53,7' -$
150° 0'	57° 29'	$\log \sin$	9,92595	φ_p 9,74453 $\varphi_p = 29^\circ 2,6' -$
140° 0'	67° 29'	$\log \sin$	9,96556	φ_q 9,78414 $\varphi_q = 31^\circ 18,8' -$
130° 0'	77° 29'	$\log \sin$	9,98955	φ_r 9,80813 $\varphi_r = 32^\circ 44,2' -$

Zusatz. Wird nur der anfängliche Kurs am Abfahrtsorte und die ganze kürzeste Distanz gesucht, so genügt es, aus den beiden gegebenen Seiten (den Breitenkomplementen) und dem eingeschlossenen Winkel (Längenunterschied), den einen Winkel und die dritte Seite in der einfachen Weise zu berechnen, dass man von dem Orte, wohin das Schiff bestimmt ist, ein Perpendikel auf den Meridian des Abfahrtsortes zieht, und sich auf die Berechnung zweier rechtwinkligen Dreiecke beschränkt. Die Berechnung des letzten Beispiels (von Valparaiso nach Nagasaki) würde sich demnach so stellen lassen:

21° 30' \cos	9,9687	\sin	9,5641	1° 37' \sin	8,4504	\cos	9,9998	
57° 15' tg	0,1916	\sin	9,9248	17 57 $cotg$	0,4895	\cos	9,9783	
55° 21' tg	0,1603	\sin	9,4889		$cotg$	8,9399	\cos	9,9781
56° 58'			17° 57'	N 85° 1' W Kurs	+	18° 2'		
<hr/>						180°		
1° 37'				Distanz	=	161° 58'		

oder wenn man das Perpendikel (17° 57') entbehren und lieber

nach der Formel als nach der Figur rechnen will, so hat man, wenn φ und φ' die Breiten, λ und λ' die Längen sind:

$$\cos(\lambda' - \lambda) \cotg \varphi' = tg x \text{ gesetzt, } \sin x \, tg(\lambda' - \lambda) \sec(\varphi + x) = tg \alpha \\ \cotg(\varphi + x) \sec \alpha = tg d.$$

Um ferner direkt nur diejenige Breite ($\varphi_{1/2}$) zu finden, welche zu dem jedesmaligen halben Längenunterschiede ($1/2 \Delta \lambda$) gehört, wenn φ_0 und φ_1 die gegebenen Breiten sind, ist die Formel von Zescewich (Ann. d. Hydr. 1886 S. 536) am besten anwendbar:

$$tg \varphi_{1/2} = 1/2 \sin(\varphi_0 + \varphi_1) \cdot \sec 1/2 \Delta \lambda \cdot \sec \varphi_0 \sec \varphi_1.$$

Dieselbe ergibt sich aus den Gleichungen, worin y die den Winkel am Pol halbirende Linie bezeichnet, welche auf der Distanz die Stücke a und b abschneidet, und mit der Distanz die Nebenwinkel x und y bildet, so dass:

$$1. \sin \varphi_1 = \cos y \cos a + \sin y \sin a \cos x.$$

2. $\cos a = \cos y \sin \varphi_1 + \sin y \cos \varphi_1 \cos 1/2 \Delta \lambda$, wonach:
 $\sin \varphi_1 = \cos^2 y \sin \varphi_1 + \cos y \sin y \cos \varphi_1 \cos 1/2 \Delta \lambda + \sin y \sin a \cos x$
 und wenn man mit $\sin \varphi_1$ dividirt, $1 - \cos^2 y = \sin^2 y$ setzt und $\frac{\sin a}{\cos \varphi_1} = \frac{\sin 1/2 \Delta \lambda}{\sin x}$ substituirt:

$$3. tg \varphi_1 \sin y = \cos y \cos 1/2 \Delta \lambda + \sin 1/2 \Delta \lambda \cotg x.$$

Ebenso aus dem Nebendreieck:

$$4. tg \varphi_0 \sin y = \cos y \cos 1/2 \Delta \lambda - \sin 1/2 \Delta \lambda \cotg x.$$

Die Summe von (3) und (4) giebt:

$$(tg \varphi_0 + tg \varphi_1) \sin y = 2 \cos y \cos 1/2 \Delta \lambda \text{ oder}$$

$$tg y = \frac{2 \cos 1/2 \Delta \lambda}{tg \varphi_0 + tg \varphi_1}, \text{ daher:}$$

$$5. tg y = \frac{2 \cos 1/2 \Delta \lambda \cos \varphi_0 \cos \varphi_1}{\sin(\varphi_0 + \varphi_1)} \text{ und wegen } y = 90^\circ - \varphi_{1/2}:$$

6. $tg \varphi_{1/2} = 1/2 \sin(\varphi_0 + \varphi_1) \sec 1/2 \Delta \lambda \cdot \sec \varphi_0 \sec \varphi_1$,
 welches die Formel von Zescewich ist.

VI. Kapitel.

Die Bestimmung des Schiffsortes mit Hilfe von Landobjekten.

§ 50. Ein einzelnes Landobjekt.

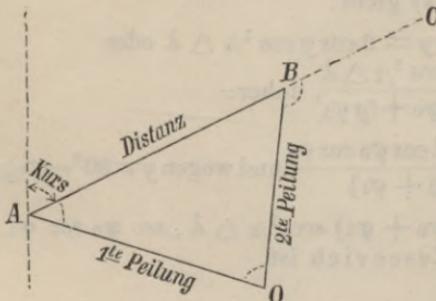
1. Die einfachste Bestimmung ist die Peilung einer Landmarke mit dem Kompass und Schätzung des Abstandes. Dieses Verfahren gewährt jedoch nur bei geringen Entfernungen genügende Genauigkeit.

Bei einigermaassen grösserem Abstand von Land ist es sehr erwünscht, statt der Schätzung eine Bestimmung des Abstandes vorzunehmen, wozu je nach den Umständen eine der folgenden Methoden dienen kann.

2. Bestimmung der Distanz durch zweimalige Peilung des Objekts im Vorübersegeln.

Wenn man ein Objekt peilt, dann eine Distanz sorgfältig abläuft, und wenn die Richtung des Objekts sich um mindestens 25° geändert hat, wieder peilt, so erhält man ein

Fig. 49.



Dreieck, in welchem alle Winkel und eine Seite, die abgelaufene Distanz, bekannt sind. Man kann daher die Entfernung des Objekts für die erste und zweite Peilung nach der Sinusregel finden.

Die Werthe für verschiedene Peilungen können in eine Tabelle gebracht werden und zwar am bequemsten,

indem man als Argumente (Fig. 49) $\angle CAO$ und $\angle CBO$ nimmt für die Basis $AB = 1$ Sm. Da Winkel $BOA = CBO - CAO$, so ist der Abstand bei der zweiten Peilung:

$$BO = AB \cdot \frac{\sin BAO}{\sin(CBO - CAO)}$$

Die Tafel IV des Anhanges giebt den Quotienten

$$\frac{\sin BAO}{\sin (CBO - CAO)}$$

von fünf zu fünf Graden.

Der günstigste Fall ist der, wenn das Dreieck gleichseitig ist.

Die Fehler, welche bei den Peilungen und in der Distanzmessung (die am besten mit einem Patentlogg ausgeführt wird) unterlaufen, üben beträchtlichen Einfluss auf das Resultat, und die Methode gewährt deshalb keine grosse Genauigkeit, welche allerdings auch in der Regel nicht gefordert wird.

Beispiel.

Man peilt, den Kanal OzS hinauf steuernd, Start Point in $NNO\frac{1}{4}O$ um 9 Uhr Abends. Das Schiff läuft 10 Knoten Fahrt, und der Fluthstrom setzt zwei Knoten in derselben Richtung. Um 9 Uhr 20 Minuten peilt man dasselbe Feuer $N\frac{1}{4}W$. Wie weit ist man zur Zeit der zweiten Peilung entfernt?

Auflösung: Der Winkel zwischen Kurs OzS } $6\frac{3}{4}$ Strich = $75,9^\circ$
 und Peilung $NNO\frac{1}{4}O$ }

Der Winkel zwischen Kurs OzS } $9\frac{1}{4}$ Strich = $104,1^\circ$
 und Peilung $N\frac{1}{4}W$ }

Die gelaufene Distanz = $(10 + 2) \cdot \frac{1}{3} = 4$ Sm.

Für 75° und 105° ergibt sich aus der Tafel IV 1,93.

Dies mit 4, der gelaufenen Distanz, multiplicirt giebt die gesuchte Entfernung zu 7,7 Sm.

Am einfachsten verfährt man, indem man nicht mit dem Kompass, sondern mit der Peilscheibe peilt. Für die Kompassstriche dient folgende kleine Tafel zur Reduktion auf Grade:

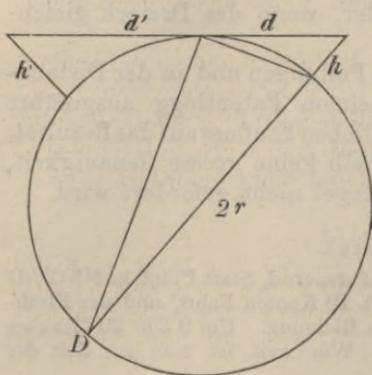
$\frac{1}{8}$ Strich = $1^\circ 24'$	1 Strich = $11^\circ 15'$	9 Strich = $101^\circ 15'$
$\frac{1}{4}$ - = $2^\circ 49'$	2 - = $22^\circ 30'$	10 - = $112^\circ 30'$
$\frac{3}{8}$ - = $4^\circ 13'$	3 - = $33^\circ 45'$	11 - = $123^\circ 45'$
$\frac{1}{2}$ - = $5^\circ 37'$	4 - = $45^\circ 0'$	12 - = $135^\circ 0'$
$\frac{5}{8}$ - = $7^\circ 2'$	5 - = $56^\circ 15'$	13 - = $146^\circ 15'$
$\frac{3}{4}$ - = $8^\circ 26'$	6 - = $67^\circ 30'$	14 - = $157^\circ 30'$
$\frac{7}{8}$ - = $9^\circ 51'$	7 - = $78^\circ 45'$	15 - = $168^\circ 45'$
	8 - = $90^\circ 0'$	

3. Bestimmung der Distanz durch Peilen im Verschwinden.

Aus der Definition des natürlichen Horizonts (S. 7) ist ersichtlich, dass die Entfernung dieses Horizonts oder der

Kimm vom Beobachter sich vergrössert, sobald dieser seinen Standpunkt erhöht. Die Entfernung der Kimm d in Figur 50 für die Höhe des Auges h findet man auf folgende Weise:

Fig. 50.



Die Figur 50 stelle die Erdkugel dar, bei welcher ist:

$$\frac{2r+h}{d} = \frac{d}{h} \text{ oder}$$

$$d = \sqrt{h(2r+h)}$$

Vernachlässigt man in $(2r+h)$ das h als verschwindend kleine Grösse gegen $2r$ so wird

$$d = \sqrt{2rh}.$$

Sind h und r in Metern ausgedrückt, und soll d in Seemeilen ausgedrückt werden, so wird

$$d = \frac{\sqrt{2rh}}{1852}.$$

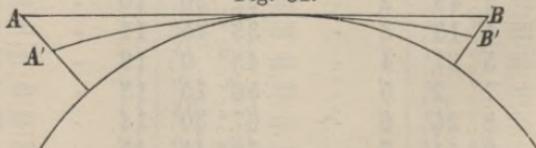
Berücksichtigt man noch die terrestrische Refraktion, durch welche bekanntlich die Lichtstrahlen gehoben werden (Fig. 51) und die Sichtweite eine grössere wird, so ist der obige Ausdruck noch mit 1,08, dem Refraktionskoeffizienten, zu multipliciren. Setzt man gleichzeitig für den Erdradius seinen Werth 6 366 734,048 m ein, so wird

$$d = 2,08 \sqrt{h} \text{ Seemeilen}$$

$$\text{oder} = \frac{25}{12} \sqrt{h} \quad -$$

Eine hiernach berechnete Tafel der Sichtweiten befindet sich im Anhang, Tafel V.

Fig. 51.



Ebenso ist der Abstand eines Objectes, dessen Höhe über der Meeresoberfläche h' ist, von der Kimm gleich

$$d' = 2,08 \sqrt{h'}.$$

Die Entfernung eines solchen Objectes vom Beobachter, wenn es in der Kimm gesehen wird, ist, wie es durch Figur 50 erläutert wird,

$$D = d + d'.$$

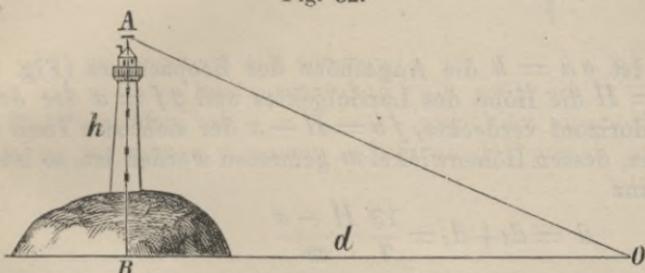
Wegen der Wirkung der terrestrischen Refraktion ist die Anwendbarkeit der Methode auf normalen Zustand der Atmosphäre beschränkt, im Uebrigen aber sehr bequem, da man namentlich bei Nacht ein Leuchtfeuer, nachdem es vom Deck nicht mehr sichtbar ist, sehr scharf in den Horizont bringen kann beim Hinaufsteigen in die Takelage. Man wird von dem Aussehen des Horizonts auf den Zustand der Atmosphäre schliessen und bei Stille besondere Vorsicht beobachten.

4. Bestimmung der Distanz durch Höhenmessung, wenn das Landobjekt, dessen Höhe bekannt ist, innerhalb des Seehorizontes liegt.

In diesem Falle, welcher in Figur 52 dargestellt ist, kann man die Formel des ebenen rechtwinkligen Dreiecks anwenden. Die Höhe des Auges kann man vernachlässigen und setzen:

$$d = \frac{h}{\operatorname{tg} O}$$

Fig. 52.



Eine Tabelle, hiernach berechnet, giebt ein bequemes Mittel zur Bestimmung kleiner Distanzen.*) Ohne Tafeln lässt sich die Formel benutzen, wenn man mit Rücksicht darauf, dass der Winkel O immer klein sein wird, für die Tangente die Anzahl der Minuten m des Winkels O multiplicirt mit dem Bogenwerth für $1' = 0,000291$. Man erhält dann für h in Metern, d in Seemeilen aus der Formel:

$$d = \frac{h}{m \cdot 0,000291 \cdot 1852} = \frac{h}{m \cdot 0,54} = \frac{13}{7} \frac{h}{m}$$

Beispiel.

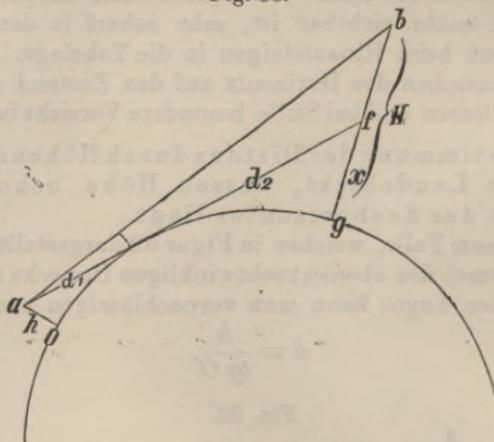
Der Höhenwinkel des Feuerthurms von Skagen wird gemessen zu $0^\circ 25'$. Der Feuerthurm ist 18,9 m hoch über Wasser. Wie weit ist der Beobachter entfernt?

$$d = \frac{13}{7} \cdot \frac{18,9}{25} = 1,4 \text{ Sm.}$$

*) Tabelle für Masthöhen.

5. Bestimmung der Distanz durch Höhenmessung, wenn das Landobjekt, dessen Höhe bekannt ist, nur theilweise über den Horizont hervorragt.

Fig. 53.



Ist $oa = h$ die Augeshöhe des Beobachters (Fig. 53), $gb = H$ die Höhe des Landobjektes und $gf = x$ der durch den Horizont verdeckte, $fb = H - x$ der sichtbare Theil desselben, dessen Höhenwinkel m gemessen worden ist, so ist die Distanz

$$d = d_1 + d_2 = \frac{13}{7} \frac{H - x}{m}$$

$$d_1 = 2,08 \sqrt{h}$$

$$d_2 = 2,08 \sqrt{x} = \frac{25}{12} \sqrt{x}$$

$$x = \left(\frac{12}{25} d_2 \right)^2 = \frac{144}{625} d_2^2, \text{ oder da } \frac{144}{625} \text{ fast genau} \\ \text{gleich } \frac{3}{13} \text{ ist,}$$

$$x = \frac{3}{13} d_2^2, \text{ mithin diesen Werth für } x \text{ eingesetzt}$$

gibt:

$$d = d_1 + d_2 = \frac{13}{7} \frac{H}{m} - \frac{3}{7} \frac{d_2^2}{m}$$

$$d_2^2 + \frac{7}{3} m d_2 = \frac{13}{3} H - \frac{7}{3} m d_1$$

$$d_2 = -\frac{7}{6} m + \sqrt{\frac{13}{3} H - 2 \cdot \frac{7}{6} m d_1 + \left(\frac{7}{6} m \right)^2}$$

Tabella per di Compunzione ai Cristiani
impugnata dal Genovese in

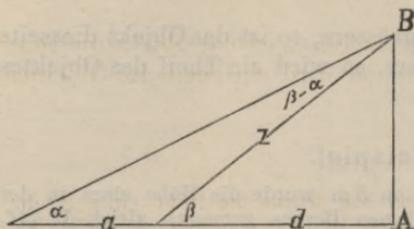
Nautica Stimata non Enrico Fileti

Palermo. 1891. Tabella XII.

Argomento: ^{Gruppo} (Frequentalmentel of. Gruppo
mintel namindet in di Rimunitione
and Ustopped gruppo Olyktis- und Anger-
faja. (Klänny in dupellen Luff. Dite 250.

Man misst den Höhenwinkel, läuft eine bestimmte Distanz auf das Objekt zu oder recht davon ab, und misst wieder den Höhenwinkel.

Fig. 54.



Sind α und β die gemessenen Winkel, a die abgelaufene Distanz, so ist die Entfernung von dem Objekt bei der zweiten Winkelmessung $d = z \cos \beta$ (Fig. 54)

$$z = \frac{a \sin \alpha}{\sin(\beta - \alpha)}, \text{ demnach}$$

$$d = \frac{a \sin \alpha \cos \beta}{\sin(\beta - \alpha)}.$$

§ 51. Zwei Landobjekte.

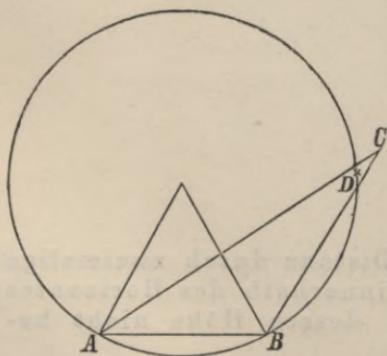
Kreuzpeilung.

1. Wenn zwei bekannte Landobjekte gleichzeitig in Sicht sind, so ist der Schiffsort durch die beiden Peilungen dieser bestimmt. Die Genauigkeit hängt lediglich von der Richtigkeit der Peilungen ab, und das Resultat ist um so zuverlässiger, je mehr sich der Unterschied beider Peilungen einem rechten Winkel nähert.

Der Winkel lässt sich ausserdem noch mittelst Peilscheiben oder Reflexions-Instrumenten messen. Durch diesen Winkel allein, als den Peripheriewinkel über der Verbindungslinie beider Objekte als Sehne, ist der Ort des Schiffes bestimmt als in der Peripherie des zugehörigen Kreises liegend. Man kann daher die Kreuzpeilung durch Konstruktion eines solchen Kreises kontrolliren. Wenn derselbe nicht durch den

Punkt der Kreuzpeilung (C) hindurchgeht, so ist derjenige Punkt der Peripherie als der gesuchte anzunehmen, welcher zwischen den beiden Peilungslinien in der Mitte liegt (D). (Fig. 55.)

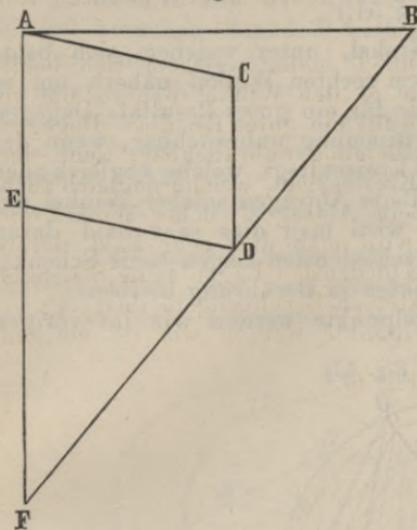
Fig. 55.



Der Mittelpunkt des betreffenden Kreises wird bekanntlich dadurch gefunden, dass man an der Sehne AB in A und in B das Komplement des gemessenen Winkels ACB anträgt.

Bemerkung. Das Prismenkreuz lässt sich mit Vortheil verwenden, um genau den Moment zu bestimmen, in welchem ein Schiff sich gerade auf der Verbindungslinie zweier bekannten Objekte befindet, zwischen denen es durchsegelt, resp. mit seiner Hülfe ist man im Stande, möglichst genau auf dieser Verbindungslinie entlang zu segeln.

Fig. 56.



2. Wenn die beiden Objekte nicht gleichzeitig sichtbar sind, sondern hinter einander nach dazwischen liegender Versegelung, so verfährt man wie folgt:

Man zieht die Peilungslinien AF und BF (Fig. 56) durch die Objekte (A u. B), durch das erste Objekt den Kurs mit abgelaufener Distanz (AC) und durch den Endpunkt (C) dieser Linie eine Parallele mit der ersten Peilung. Der Schnittpunkt (D) der letzteren mit der zweiten Peilungslinie giebt

den Ort des Schiffes bei der zweiten Peilung, eine Parallele durch letzteren Punkt mit dem Kurs gezogen ergiebt den Schiffsort (E) bei der ersten Peilung. Durch Rechnung lassen sich die Entfernungen mit Hülfe der Sinusregel finden.

§ 52. Drei Landobjekte.

Pothenot'sche Aufgabe.

1. Zur Lösung dieser Aufgabe sind mannigfache Methoden in Gebrauch. Am einfachsten bedient man sich zur Auffindung des Schiffsortes in der Karte des sogenannten Doppel-Transporteurs, eines Instruments, an welchem man die beiden Winkel zwischen den drei Objekten einstellt und welches man dann auf der Karte hin und her schiebt, bis die drei Schenkel durch die drei bekannten Punkte hindurchgehen. Der Vereinigungspunkt der Schenkel ist dann der gesuchte Ort, den das Instrument gestattet genau auf der Karte zu markiren. Dasselbe lässt sich dadurch erreichen, dass man die Winkel

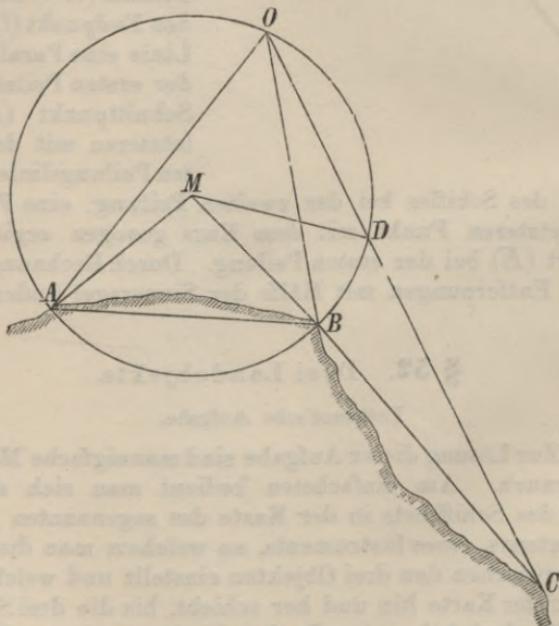
mit Hilfe eines Transporteurs auf durchscheinendes Papier oder Hornscheiben aufträgt, im Uebrigen aber, wie vorstehend angegeben, verfährt.

Durch Konstruktion findet man diesen Punkt als den Schnittpunkt zweier Kreise, welche beide den Ort des Schiffes für je einen Winkel zwischen zwei von den drei Objekten ergeben. (Siehe § 51.)

Je mehr sich der Winkel, unter welchem sich beide Kreislinien schneiden, einem rechten Winkel nähert, um so günstiger sind die Umstände für ein gutes Resultat. Dagegen wird diese Art der Ortsbestimmung unbrauchbar, wenn der Ort in der Peripherie eines Kreises liegt, welche zugleich auch durch *A*, *B* und *C* geht. Beim Abtragen solcher Winkel mit einem Doppeltransporteur wird man dies sehr bald daran erkennen, dass bei den verschiedensten Lagen seine Schenkel dennoch mit den drei Objekten in Berührung bleiben.

Die beiden Kreismittelpunkte werden wie im vorigen

Fig. 57.



Fall durch Antragen des Winkelkomplements an die die Landobjekte verbindende Kreissehne gefunden. Die Konstruktion wird sehr erleichtert dadurch, dass man das mittelste

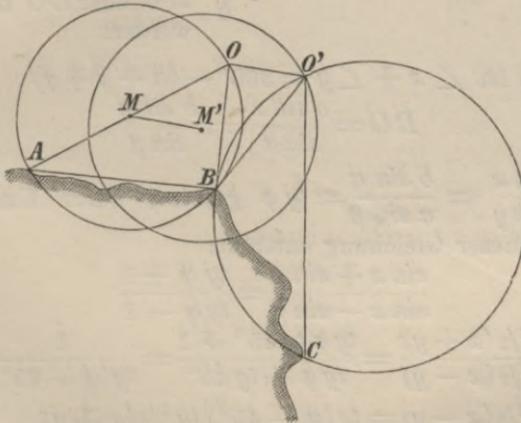
Objekt peilt und so die Lage der Winkel gegeneinander im Voraus fixirt.

2. Wenn von den drei Punkten einer im Verhältniss zu den beiden anderen sehr entfernt liegt, so ist folgende Konstruktion bequemer:

Es seien in Fig. 57 A, B, C die drei Punkte. Für den Winkel zwischen A und B wird der Kreis wie vorher konstruirt, sodann der Winkel BMD gleich dem doppelten Winkel, welcher zwischen B und C beobachtet war, im Mittelpunkt M an MB angetragen. Zieht man dann die Linie CD und verlängert sie über D bis O , so ist O der gesuchte Punkt der Beobachtung. Die Richtigkeit dieser Konstruktion ist leicht einzusehen.

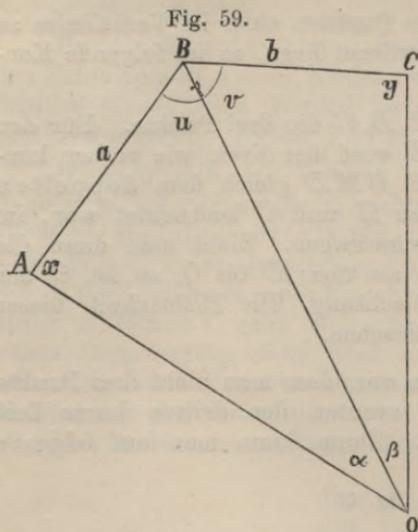
3. Es kommt zuweilen vor, dass man nicht drei Punkte zugleich sieht, aber zum zweiten den dritten kurze Zeit darauf in Sicht bekommt. Dann kann man auf folgende

Fig. 58.



Weise die Pothenot'sche Aufgabe umformen. Man hat in Fig. 58 den Winkel AOB und den Mittelpunkt des zugehörigen Kreises in M gefunden, darauf ist man eine bekannte Fahrt und Distanz gesegelt und hat dann $BO'C$ gemessen, für welchen Winkel der Kreis über BC konstruirt wurde. Wenn man nun Kurs und Distanz von M aus absetzt gleich MM' und um M' denselben Kreis wie den zu M gehörigen nochmals konstruirt, so erhält man den Punkt der zweiten Beobachtung als Schnittpunkt O' . Umgekehrt könnte man

auch durch Verschiebung des zweiten Kreises den Punkt der ersten Beobachtung finden.*)



Die Auflösung der Aufgabe durch Rechnung lässt sich in folgender Weise ausführen:

Es sind von O aus zwischen den drei Objekten A , B und C die Winkel α und β gemessen (Fig. 59); bekannt sind die Entfernungen der Objekte von einander, a und b , und ihre Lage zu einander d. h. der Winkel $ABC = \gamma$.

Es soll die Lage des Punktes O d. h. also $\angle x$ oder $\angle y$ und die Distanz AO oder CO berechnet werden.

I. Es ist $\angle x + \angle y = 360^\circ - (\alpha + \beta + \gamma)$

$$BO = \frac{a \sin x}{\sin \alpha} = \frac{b \sin y}{\sin \beta}.$$

II. $\frac{\sin x}{\sin y} = \frac{b \sin \alpha}{a \sin \beta} = \text{tg } \varphi$ gesetzt; durch Umformung

dieser Gleichung entsteht:

$$\frac{\sin x + \sin y}{\sin x - \sin y} = \frac{\text{tg } \varphi + 1}{\text{tg } \varphi - 1}$$

$$\frac{\text{tg}^{1/2}(x+y)}{\text{tg}^{1/2}(x-y)} = \frac{\text{tg } \varphi \text{tg } 45^\circ + 1}{\text{tg } \varphi - \text{tg } 45^\circ} = \frac{1}{\text{tg}(\varphi - 45^\circ)}.$$

III. $\text{tg}^{1/2}(x-y) = \text{tg}(\varphi - 45^\circ) \text{tg}^{1/2}(x+y)$.

Nachdem man nach Gleichung II. den Hülfswinkel φ berechnet, findet man nach III $^{1/2}(x-y)$ und mit Hilfe von I. demnach x und y . Die Winkel u und v sind dann auch bekannt. Die Berechnung der Abstände AO , CO und BO bietet sodann keine Schwierigkeit.

$$AO = \frac{a \sin u}{\sin \alpha}; CO = \frac{b \sin v}{\sin \beta}; BO = \frac{a \sin x}{\sin \alpha} = \frac{b \sin y}{\sin \beta}.$$

*) Voyage de L'Astrolabe et de la Zélée, Hydrographie, Tome I.

Gleichung III wird unbestimmt, wenn $tg(\varphi - 45^\circ) = 0$ und gleichzeitig $tg \frac{1}{2}(x + y) = \infty$ ist; es wird dann $tg \frac{1}{2}(x - y) = \frac{0}{0}$; dies ist der Fall, wenn $x + y = 180^\circ$,

denn dann ist $tg \frac{1}{2}(x + y) = tg 90^\circ = \infty$ und $x = 180^\circ - y$

$$tg \varphi = \frac{\sin x}{\sin y} = \frac{\sin y}{\sin y} = 1, \text{ also } \varphi = 45^\circ \text{ und}$$

$tg(\varphi - 45^\circ) = tg 0 = 0$. $x + y$ ist aber gleich 180° , wenn das Viereck $ABCO$ das Sehnenviereck eines Kreises ist, d. h. wenn sich um dasselbe ein Kreis beschreiben lässt, von dem dann jeder Punkt der Peripherie der gesuchte Punkt sein kann.

II. Theil.

Astronomische Navigation.

VII. Kapitel.

Die Zeit.

§ 53. In einem früheren Kapitel ist die Eintheilung der Himmelskugel beschrieben. Es wird nun erforderlich, die Bewegungen an derselben zu betrachten. Die Himmelskugel wurde dargestellt als eine unbewegliche, mit der Erde concentrische Hohlkugel, an welcher die Fixsterne festgeheftet sind. An dieser Hohlkugel bewegen sich die Sonne, der Mond und die Planeten in bestimmten Bahnen. In der Mitte der Himmelskugel aber dreht sich die Erde um die unbewegliche Weltaxe von Westen nach Osten mit gleichförmiger Geschwindigkeit.

Die Bahn der Sonne an der Himmelskugel, die Ekliptik, schneidet den Aequator unter einem Winkel von $23\frac{1}{2}$ Grad, und auf dieser Bahn bewegt sich die Sonne von Westen nach Osten fort, also in demselben Sinne, in welchem die Erde sich dreht. Derjenige der beiden Durchschnittspunkte der Ekliptik mit dem Aequator, in welchem die Sonne von der südlichen auf die nördliche Halbkugel übertritt, heisst der Frühlingspunkt (oder Nullpunkt des Widders), von welchem aus die gerade Aufsteigung oder Rektascension eines jeden Punktes an der Himmelskugel nach Osten hin von 0 bis 24 Stunden gemessen wird. Indem die Sonne in ihrer Bahn fortschreitet, nimmt ihre Rektascension also fortwährend zu.

Die Erde dreht sich um ihre Axe mit gleichförmiger Geschwindigkeit. Denkt man sich die Ebenen der Meridiane auf der Erde bis an die Himmelskugel erweitert zu Himmelsmeridianen, so ist ein Maass der Zeit dadurch gegeben, dass ein bestimmter Erdmeridian stets dieselbe Zeit gebraucht, um von einem Stundenkreise in einen andern zu gelangen. Die Umdrehung der Erde ist vollendet, sobald der Meridian sämtliche Stundenkreise passirt hat.

Ein solcher Zeitraum heisst ein Sterntag, weil feste Punkte an der Himmelskugel durch die Sterne äusserlich wahrnehmbar gemacht werden. Nach Verlauf eines Sterntages steht derselbe Fixstern wieder in demselben Meridian. Die Zeit, welche ein Meridian gebraucht, um von einem der 24 Stundenkreise, welche den Himmels-Aequator in 24 gleiche Theile theilen, in den nächsten zu gelangen, heisst eine Sternstunde.

Während eines Sterntages ist die Sonne auf ihrer Bahn um ein Stück fortgeschritten. Die Sonne steht also nach Verlauf eines Sterntages nicht wie ein Fixstern wieder in demselben Meridian, sondern ein wenig östlicher.

Der Zeitabschnitt, welcher von dem Passiren der Sonne durch einen Meridian bis zum Passiren desselben Meridians am nächsten Sterntage vergeht, heisst ein wahrer Sonnentag. Da die Sonne nicht gleichmässig schnell in Rektascension fortschreitet — einestheils wegen der Neigung ihrer Bahn zum Aequator, andernteils wegen der Excentricität dieser Bahn — so ist die wahre Sonnenzeit kein geeignetes Maass der Zeit, sondern nur als ein Bogen an der Himmelskugel von Interesse.

Sonnenzeit ist aber die Grundlage der bürgerlichen Zeitrechnung; wollte man nach Sternzeit rechnen, so würde sich im Laufe des Jahres die von der Sonne abhängige Tageszeit fortwährend verschieben. Es ist daher der wahren Sonne eine mittlere Sonne substituirt, welche die Bedingung einer gleichmässigen Bewegung in Rektascension erfüllt.

Diese mittlere Sonne schreitet innerhalb der Zeit, welche ein Meridian gebraucht, um sie nach einer Erdumdrehung wieder zu erreichen, um $3^m 56,6^s$ in Sternzeit fort, d. h. ein mittlerer Sonnentag ist gleich $24^h 3^m 56,6^s$ Sternzeit. Dieser mittlere Sonnentag wird in 24 Stunden mittlere Zeit eingetheilt. Es sind daher:

$$\text{und } 23^h 56^m 4,1^s \left. \vphantom{\begin{matrix} 24^h \\ 23^h 56^m 4,1^s \end{matrix}} \right\} \text{ mittlere Zeit } \left\{ \begin{array}{l} = 24^h 3^m 56^s \\ = 24^h. \end{array} \right\} \text{ Sternzeit.}$$

Um die Umrechnung von Sternzeit-Intervallen in mittlere Zeit und umgekehrt zu erleichtern, sind Tafeln berechnet. Für ungefähre Ueberschläge kann man merken:

$$1^{\text{h}} \text{ mittlere Zeit} = 1^{\text{h}} \text{ plus } 9,86^{\text{s}} \text{ Sternzeit.}$$

$$1^{\text{h}} \text{ Sternzeit} = 1^{\text{h}} \text{ minus } 9,83^{\text{s}} \text{ mittlere Zeit.}$$

§ 54. In der Astronomie ist jeder Zeitabschnitt repräsentirt durch einen Winkel oder ein Bogenstück des Himmels-Aequators. Diese Bedeutung des Zeitmaasses ist die für das Folgende wichtigste.

Ebenso wie den Himmels-Aequator theilt man auch den Erd-Aequator statt in 360 Grad in 24 Stunden ein und giebt die geographische Länge eines Ortes in Zeit an, indem man einem beliebigen Meridian 0 Uhr zu Grunde legt. Um die Längendifferenz beider Orte, in Zeitmaass ausgedrückt, ist nun stets die Zeit dieser beiden Orte verschieden. Auf einem und demselben Meridian ist überall dieselbe Uhrzeit; 15° davon ist die Uhrzeit um eine Stunde verschieden $\left(\frac{24}{360} = \frac{1}{15}\right)$ und s. f.

Der Zeitrechnung zu Grunde gelegt ist der Stundenwinkel eines Gestirns, d. h. der Winkel zwischen dem Meridian des Ortes und dem Stundenkreise des Gestirns und zwar versteht man: Unter Zeit den westlichen Stundenwinkel vom Meridian bis zu dem Gestirn (gleichviel, ob eingebildetes oder wirkliches), welches dem Zeitmaass zu Grunde gelegt ist.

In der Astronomie unterscheidet man drei Zeiten, Sternzeit, mittlere Zeit und wahre Zeit, und zwar ist:

Sternzeit: der westliche Stundenwinkel des Frühlingspunktes.

Mittlere Zeit: der westliche Stundenwinkel der mittleren Sonne.

Wahre Zeit: der westliche Stundenwinkel der wahren Sonne.

Steht ein Gestirn im Meridian, so ist die Sternzeit gleich der Rektascension des Gestirns. Weiter folgt allgemein:

Sternzeit = Westlicher Stundenwinkel eines Gestirns plus Rektascension des Gestirns,

und für die mittlere Sonne im Besonderen:

1. Sternzeit = Mittlere Zeit plus Rektascension der mittleren Sonne.
2. Mittlere Zeit = Sternzeit minus Rektascension der mittleren Sonne.

Die Relation zwischen wahrer Zeit und mittlerer Zeit ist gegeben durch die Zeitgleichung. Es ist allgemein: Wahre Zeit plus Zeitgleichung = Mittlere Zeit. Daher:

Rektascension der wahren Sonne minus Zeitgleichung = Rektascension der mittleren Sonne. (Die Zeitgleichung ist der Unterschied der Rektascensionen der wahren und mittleren Sonne.)

Eine Verwandlung der wahren Zeit in Sternzeit kommt in der nautischen Astronomie selten vor.

Die Zeit unter verschiedenen Meridianen ist immer um das Bogenmaass ihrer Längendifferenz, in Zeit ausgedrückt, verschieden, gleichviel, ob es sich um mittlere, wahre oder Sternzeit handelt. Um dieses einzusehen, bedenke man, dass es sich hier um das Maass eines konstanten Bogens handelt, welcher die Drehung der Erde mitmacht, dass es daher von keinerlei Bedeutung sein kann, welcher Art das Maass der Bewegung ist (24 Stunden im Bogen vom Beobachter entfernt ist dieselbe Stern-, mittlere oder wahre Zeit.)

Ausser der hier angeführten astronomischen Zeitrechnung lässt sich noch die bürgerliche Zeitrechnung unterscheiden; derselben ist die mittlere Sonnenzeit zu Grunde gelegt; während in dem astronomischen Tag beginnt, wenn die Sonne im oberen Meridian steht (also am Mittag), und von hier bis zum nächsten Mittag 24 Stunden zählt, rechnet der bürgerliche Tag von Mitternacht zu Mitternacht und zählt 12 Vormittags- und 12 Nachmittagsstunden; der bürgerliche Tag ist dem astronomischen Sonnentage um 12 Stunden voraus.

In dem Nautischen Jahrbuch von Tietjen, welches im Folgenden durchweg vorausgesetzt wird (abgekürzt N. J.), sind die Rektascension der wahren Sonne, die Zeitgleichung und die Sternzeit für alle mittleren Mittag des Jahres auf dem Meridian von Greenwich vorausberechnet. Die Sternzeit im mittleren Mittag ist gleich der Rektascension der mittleren Sonne ($\text{Sternzeit} = 0^h + \text{Rektascension der mittleren Sonne}$). Die Rektascension der mittleren Sonne ist demnach aus dem Jahrbuch aus der Kolumne „Sternzeit“ zu entnehmen.

Mit Hülfe der in dieser Form gegebenen Daten sind die folgenden Rechnungsvorschriften die bequemsten.

1. Anwendung der Länge in Zeit.

Ortszeit am östlichen Ort minus Länge in Zeit gleich Ortszeit am westlichen Ort, Ortszeit am westlichen Ort plus Länge in Zeit gleich Ortszeit am östlichen Ort.

Westlicher Stundenwinkel wird als positiv, östlicher als negativ bezeichnet, Bogenmaass mit: $^{\circ} ' ''$, Zeitmaass mit: $^h ^m ^s$.

Zur Verwandlung von Bogenmaass in Zeitmaass und umgekehrt dienen folgende Relationen:

$$\begin{array}{rcl} 1^\circ \text{ Bogen} & = & 4^m \text{ Zeit} \quad 1^h \text{ Zeit} = 15^\circ \text{ Bogen} \\ 1' & - & = 4^s - \quad 1^m - = 15' - \\ 1'' & - & = \frac{1}{15}^s - \quad 1^s - = 15'' - \end{array}$$

Zur Verwandlung von Bogen in Zeit werden die Grade durch 15 dividirt; der erhaltene Quotient giebt die Stunden; der Rest der Grade mit 4 multiplicirt, giebt Zeitminuten; die Bogenminuten durch 15 dividirt, giebt Zeitminuten, welche noch zu den ersteren zu addiren sind; der Rest mit 4 multiplicirt, giebt Zeitsekunden; hierzu kommen noch die Zeitsekunden, welche man erhält, indem man die Bogensekunden durch 15 dividirt; der Rest wird in Decimaltheile verwandelt.

Zeit in Bogen zu verwandeln. Die Stunden mit 15 multiplicirt giebt Grade; die Zeitminuten durch 4 dividirt, giebt ebenfalls Grade, die zu den ersteren zu addiren sind; der Rest der Zeitminuten mit 15 multiplicirt giebt Bogenminuten, die Zeitsekunden durch 4 dividirt, ebenfalls Bogenminuten, der Rest der Sekunden mit 15 multiplicirt, Bogensekunden.

Beispiele.

1. Wenn es in Greenwich 18^h mittlere Zeit ist, die mittlere Zeit für Paris zu finden. Länge von Paris = $2^\circ 20' 15''$ W v. Grw.

Paris liegt $0^h 9^m 21,0^s$ westl. v. Grw.

Dies abgezogen von $18^h 0^m 0,0^s$

giebt $17^h 50^m 39,0^s$ mittl. Zt. zu Paris.

2. Wenn es in Petersburg $7^h 5^m 10^s$ Sternzeit ist, welche Sternzeit hat dann Washington?

Petersburg liegt auf — $2^h 1^m 13,5^s$ O v. Grw.

Washington - - + $5^h 8^m 12,0^s$ W v. Grw.

Lg-U $7^h 9^m 25,5^s$

Sternz. in Petersburg $7^h 5^m 10,0^s$

- - Washington $23^h 55^m 44,5^s$

am vorhergehenden Sterntage.

3. Der Stundenwinkel der wahren Sonne zu Peking ist $6^h 7^m 28^s$ O.

Welches ist zu derselben Zeit der Stundenwinkel der wahren Sonne zu Kapstadt?

$6^h 7^m 28^s$ O Stundw.

= $17^h 52^m 32^s$ w. Zt. (W. Stundw.)

Peking liegt auf — $7^h 45^m 54,4^s$

Kapstadt - - — $1^h 13^m 55,0^s$

Lg-U $6^h 31^m 59,4^s$

derselbe von der w. Zt. zu Peking $17^h 52^m 32,0^s$

abgezogen giebt $11^h 20^m 32,6^s$

w. Zt. zu Kapstadt = $11^h 20^m 32,6^s$

westl. Stundw. der w. Sonne.

2. Mittlere Zeit in Sternzeit zu verwandeln.

1. Durch Anwendung der Länge in Zeit verwandelt man die mittlere Ortszeit in mittlere Greenwicher Zeit und verwandelt diese mittlere Greenwicher Zeit in Sternzeit-Einheiten. (Taf. III d. N. J.).

2. Aus dem Jahrbuche entnimmt man die Rektascension der mittleren Sonne, d. h. die Sternzeit im mittleren Mittag.

3. Das Sternzeit-Intervall (mittlere Greenwicher Zeit in Sternzeit ausgedrückt), zu der Sternzeit im mittleren Greenwicher Mittag addirt, giebt die Sternzeit für Greenwich. Ist die Summe grösser als 24 Stunden, so werden 24^h davon subtrahirt.

4. Aus der Sternzeit für Greenwich wird durch Anwendung der Länge in Zeit die Sternzeit am Ort erhalten.

Beispiele.

1. Am 19. April 1875 soll in 115° O-Lg die der mittleren Ortszeit 5^h 6^m 36^s Nachm. entsprechende Sternzeit gefunden werden.

Mittl. Ortsz. am 19.	5 ^h	6 ^m	36 ^s
O-Lg	7 ^h	40 ^m	
<hr/>			
mittl. Grw. Zt. am 18.	21 ^h	26 ^m	36 ^s
N. J. Taf. III	{	21 ^h	3 ^m 26,99 ^s
			26 ^m 4,27 ^s
			36,10 ^s
<hr/>			
mittl. Zt., ausgedrückt in Sternz.	21 ^h	30 ^m	7,36 ^s
Sternz. im mittl. Grw. Mittag. 18.	1 ^h	44 ^m	46,5 ^s
<hr/>			
Sternz. in Grw. 18.	23 ^h	14 ^m	53,9 ^s
O-L	7 ^h	40 ^m	
<hr/>			
Sternz. am Ort 19.	6 ^h	54 ^m	53,9 ^s

2. In 56° W-Lg soll am 10. April 1875 die Sternzeit gefunden werden, welche der mittleren Ortszeit 7^h 20^m Vorm. entspricht.

Mittl. Ortsz. am 9.	19 ^h	20 ^m	0,0 ^s
W-Lg	3 ^h	44 ^m	
<hr/>			
mittl. Grw. Zt. am 9.	23 ^h	4 ^m	0,0 ^s
N. J. Taf. III	{	23 ^h	3 ^m 46,70 ^s
			4 ^m 0,66 ^s
<hr/>			
Sternz. im mittl. Grw. Mittag. am 9.	1 ^h	9 ^m	17,5 ^s
<hr/>			
Sternz. in Grw. am 10.	0 ^h	17 ^m	4,9 ^s
W-Lg	3 ^h	44 ^m	
<hr/>			
Am 9.	20 ^h	33 ^m	4,9 ^s

Wie leicht einzusehen, würde man zu demselben Resultate gelangen, wenn man für die gegebene mittlere Ortszeit (resp. die zugehörige mittlere Grw. Zeit) die Rektascension

der mittleren Sonne ermittelt (Sternzeit für den mittleren Grw. Mittag plus Korrektion, für die gegebene Greenwicher Zeit, die nach N. J. Taf. III berechnet wird) und diese zu der gegebenen mittleren Ortszeit (astronomisch ausgedrückt) addirt.

3. Sternzeit in mittlere Zeit zu verwandeln.

1. Durch Anwendung der Länge in Zeit erhält man aus der gegebenen Sternzeit die Sternzeit in Greenwich.

2. Aus dem Jahrbuch entnimmt man die nächst kleinere Sternzeit im mittleren Mittage für Greenwich und zieht diese von der ad 1 gefundenen Sternzeit in Greenwich, welche nöthigenfalls um 24^h zu vermehren ist, ab. Die Differenz ist die mittlere Zeit in Greenwich, ausgedrückt in Sternzeit-Einheiten.

3. Mit Hülfe der Tafel IV der N. J. verwandelt man diese Sternzeit-Einheiten in mittlere Zeit.

4. Durch Anwendung der Länge in Zeit erhält man die mittlere Ortszeit, welche zu finden war.

Beispiel.

Den 4. April 1875 Vormittags soll in $132^\circ 10'$ O-Lg die bekannte Sternzeit $22^h 11^m 7^s$ in mittlere Zeit verwandelt werden.

$$\begin{array}{r}
 \text{Den 3. April Sternzeit am Ort} = 22^h 11^m 7^s \\
 \text{O-Lg} = 8^h 48^m 40^s \\
 \hline
 \text{Sternz. in Grw.} = 13^h 22^m 27^s \\
 \text{den 3. April Sternz. im mittl. Mittg.} = 0^h 45^m 38,2^s \\
 \hline
 \text{mittl. Zt. in Sternz. in Grw.} = 12^h 36^m 48,8^s \\
 \hline
 \text{N. J. Taf. IV} \left\{ \begin{array}{l} 11^h 58^m 2,05^s \\ 35^m 54,10^s \\ 48,67^s \end{array} \right. \\
 \hline
 \text{den 3. April mittl. Zt. in Grw.} = 12^h 34^m 44,82^s \\
 \text{O-Lg.} = 8^h 48^m 40^s \\
 \hline
 \text{den 3. April mittl. Ortszt.} = 21^h 23^m 24,82^s
 \end{array}$$

Zusammengesetzte Beispiele.

1. Den 11. April 1875 wurde für die mit Hülfe eines Chronometers ermittelte Greenwicher Zeit $9^h 33^m 14^s$ durch astronomische Beobachtung der östliche Stundenwinkel des Sirius bestimmt zu $4^h 7^m 4^s$. Welches war die Länge des Orts von Greenwich?

	Sirius Stundw. =	4 ^h 7 ^m 4 ^s
	= +	19 ^h 52 ^m 56 ^s
	Sirius AR. =	6 ^h 39 ^m 38,4 ^s
	Orts-Sternz. =	2 ^h 32 ^m 34,4 ^s
mittl. Zt. in Grw. =	9 ^h 33 ^m 14 ^s	
N. J. Taf. III	{	9 ^h 1 ^m 28,71 ^s
		33 ^m 5,42 ^s
		14,04 ^s
mittl. Grw. Zt. in Sternzt. =	9 ^h 34 ^m 48,17 ^s	
Sternz. im mittl. Grw. Mittg. =	1 ^h 17 ^m 10,6 ^s	
Sternz. in Grw. =	10 ^h 51 ^m 58,8 ^s	= 10 ^h 51 ^m 58,8 ^s
	Lg-Diff. =	8 ^h 19 ^m 24,4 ^s
	Lg des Orts =	124 ^h 51,1' W von Grw.

2. Den 21. April 1875 wurde in 33° 10' O-Lg der Stundenwinkel des Canopus gefunden zu + 4^h 25^m 15,4^s. Welches war die mittlere Greenwicher Zeit dieser Beobachtung?

Canopus Stundw. =		4 ^h 25 ^m 15,4 ^s
- AR. =		6 ^h 21 ^m 9,9 ^s
Sternz. am Ort =		10 ^h 46 ^m 25,3 ^s
O-Lg =		2 ^h 12 ^m 40 ^s
Sternz. in Grw. =		8 ^h 33 ^m 45,3 ^s
Sternz. im Mittg. =		1 ^h 56 ^m 36,2 ^s
mittl. Zt. in Sternz. =		6 ^h 37 ^m 9,1 ^s
N. J. Taf. IV	{	5 ^h 59 ^m 1,02 ^s
		36 ^m 53,94 ^s
		8,99 ^s
mittl. Zt. in Grw. =		6 ^h 36 ^m 3,95 ^s

4. Wahre Zeit in mittlere und mittlere Zeit in wahre Zeit zu verwandeln.

In den Ephemeriden ist stets die Zeitgleichung auf wahre Zeit angegeben. Es ist vielleicht für das Gedächtniss vortheilhaft, festzuhalten, dass, wie bei dem Kompass man von dem Abweichenden und Veränderlichen zum Richtigen durch Addition der Korrektion übergeht, man auch von der ungleichmässig ändernden wahren Zeit zur mittleren Zeit durch Addition der Zeitgleichung gelangt. Es ist:

Kompass-Kurs	+ Deviation		= Magnetischer Kurs
Magnetischer Kurs	+ Missweisung		= Rechtweisender Kurs
Wahre Zeit	+ Zeitgleichung		= Mittlere Zeit
ebenso:			
Chronometer-Zeit	+ Stand		= Mittlere Zeit

Die Zeitgleichung ist für jeden mittleren Mittag angegeben mit der Veränderung pro Stunde innerhalb je 24 Stunden.

Man verwandelt die wahre Ortszeit dadurch in mittlere Zeit, dass man auf wahre Greenwicher Zeit zurückgeht, die

Umwandlung vornimmt, — wobei man unberücksichtigt lässt, dass die Zeitgleichung nicht für den wahren, sondern für den mittleren Mittag gegeben ist — und dann auf die mittlere Ortszeit mit Hilfe der Länge in Zeit zurückgeht oder die Zeitgleichung auf die gegebene wahre Ortszeit anwendet.

Auf analoge Weise verfährt man bei der Verwandlung von mittlerer Zeit in wahre Zeit.

Diese Aufgabe ist immer dann zu lösen, wenn mit Hilfe einer Sonnenhöhe und eines Chronometers die Länge gefunden werden soll. Aus der Sonnenhöhe wird der Stundenwinkel der wahren Sonne, also die wahre Ortszeit bestimmt, aus der Chronometerzeit erhält man die mittlere Greenwicher Zeit, welche für die Vergleichung mit der Ortszeit in wahre verwandelt wird.

Beispiele.

1. Den 25. April 1875 ist für $30^{\circ} 15'$ O-Lg die wahre Zeit: $9^{\text{h}} 3^{\text{m}} 4^{\text{s}}$ in mittlere Zeit zu verwandeln.

$$\begin{array}{r}
 \text{W. Ortszt.} = 9^{\text{h}} 3^{\text{m}} 4^{\text{s}} \\
 \text{O-Lg} = 2^{\text{h}} 1^{\text{m}} 0^{\text{s}} \\
 \hline
 \text{w. Grw. Zt.} = 7^{\text{h}} 2^{\text{m}} 4^{\text{s}} \\
 \text{Ztgl. für } 0^{\text{h}} = - 2^{\text{m}} 4,6^{\text{s}} \\
 \text{Korr. für } 7,0^{\text{h}} \\
 \quad 7 \cdot 0,44 = - \quad 3,1^{\text{s}} \\
 \text{Ztgl. für } 7,0^{\text{h}} = - 2^{\text{m}} 7,7^{\text{s}} = - 2^{\text{m}} 7,7^{\text{s}} \\
 \hline
 \text{mittl. Grw. Zt.} = 6^{\text{h}} 59^{\text{m}} 56,3^{\text{s}} \\
 \text{O-Lg} = 2^{\text{h}} 1^{\text{m}} 0^{\text{s}} \\
 \hline
 \text{mittl. Ortszt.} = 9^{\text{h}} 0^{\text{m}} 56,3^{\text{s}}
 \end{array}$$

2. Den 15. April 1875 soll auf 178° W-Lg für $16^{\text{h}} 33^{\text{m}} 8^{\text{s}}$ mittlere Ortszeit der östliche Stundenwinkel der wahren Sonne gefunden werden.

$$\begin{array}{r}
 \text{Mittl. Ortszt. d. 15.} = 16^{\text{h}} 33^{\text{m}} 8^{\text{s}} \\
 \text{W-Lg in Zt.} = 11^{\text{h}} 52^{\text{m}} 0^{\text{s}} \\
 \hline
 \text{mittl. Grw. Zt. d. 16.} = 4^{\text{h}} 25^{\text{m}} 8^{\text{s}} \\
 \text{Ztgl. für } 0^{\text{h}} \text{ d. 16.} = - 0^{\text{m}} 9,3^{\text{s}} \text{ (N. J.)} \\
 \text{Korr. für } 4,4^{\text{h}} \\
 \quad 4,4 \cdot 0,60^{\text{s}} = - \quad 2,6^{\text{s}} \\
 \hline
 \text{Ztgl. für } 4,4^{\text{h}} = - 0^{\text{m}} 11,9^{\text{s}} = + \quad 0^{\text{m}} 11,9^{\text{s}} \\
 \hline
 \text{w. Grw. Zt. den 16.} = 4^{\text{h}} 25^{\text{m}} 19,9^{\text{s}} \\
 \text{W-Lg in Zt.} = 11^{\text{h}} 52^{\text{m}} \\
 \hline
 \text{w. Ortszt. den 15.} = 16^{\text{h}} 33^{\text{m}} 19,9^{\text{s}} \\
 \text{Westlicher Stundw. d. w. Sonne den 15.} = + 16^{\text{h}} 33^{\text{m}} 19,9^{\text{s}} \\
 \text{Oestlicher} \quad \quad \quad \quad \quad \quad \text{den 16.} = - 7^{\text{h}} 26^{\text{m}} 40,1^{\text{s}}
 \end{array}$$

3. Den 3. April 1875 ist, zur Bestimmung der Länge, der Stundenwinkel der wahren Sonne gefunden — $4^{\text{h}} 30^{\text{m}} 7,4^{\text{s}}$, als die mittlere Greenwicher Zeit, nach einem Chronometer abgeleitet, $5^{\text{h}} 10^{\text{m}} 11,5^{\text{s}}$ war. Es soll die Länge des Orts gefunden werden.

$$\begin{array}{l}
 \text{Der Ost-Stundw.: — } 4^{\text{h}} 30^{\text{m}} 7,4^{\text{s}} \\
 \text{mittl. Grw. Zt. = } 5^{\text{h}} 10^{\text{m}} 11,5^{\text{s}} \\
 \text{Ztgl. für } 0^{\text{h}} = +3^{\text{m}} 24,6^{\text{s}} \text{ (N. J)} \\
 \text{Korr. für } 5,2^{\text{h}} \\
 \quad 5,2 \cdot 0,74 = \quad \quad \quad - 3,8^{\text{s}} \\
 \text{Ztgl. für } 5,2^{\text{h}} = \quad 3^{\text{m}} 20,8^{\text{s}} = - 3^{\text{m}} 20,8^{\text{s}} \\
 \quad \quad \quad \text{w. Grw. Zt. = } 5^{\text{h}} 6^{\text{m}} 50,7^{\text{s}} = +5^{\text{h}} 6^{\text{m}} 50,7^{\text{s}} \\
 \quad \quad \quad \text{W-Lg von Grw. = } 9^{\text{h}} 36^{\text{m}} 58,1^{\text{s}} = 144^{\circ} 14,5'.
 \end{array}$$

5. Wahre Zeit in Sternzeit und umgekehrt Sternzeit in wahre Zeit zu verwandeln.

Diese Aufgabe kommt in der nautischen Astronomie selten vor. Die Lösung derselben lässt sich auf die vorhergehenden Ausführungen zurückführen. Man verwandele die wahre Zeit in mittlere Zeit nach 4 und verfare weiter nach 2. Zur Verwandlung der Sternzeit in wahre Zeit verfare man nach 3 und 4.

§ 55. Im Vorstehenden ist durchweg die Himmelskugel als fest und die Erde als in ihr sich drehend betrachtet, weil dies das Verständniss der Bewegungserscheinungen erleichtert. Es ist nun auch leicht einzusehen, dass, wenn die Erde von Westen nach Osten in einem Tage eine volle Umdrehung macht, während die Sonne um weniger als 4^{m} von Westen nach Osten fortschreitet, es dem Beobachter auf der Erdkugel erscheinen muss, als bewege sich die Sonne in einer der Erd-drehung entgegengesetzten Richtung.

Für den Beobachter auf der Erde, welchem die Erd-drehung nicht direkt wahrnehmbar wird, gehen alle Gestirne im Osten auf und im Westen unter. Dabei muss die Sonne, weil sie im Sinne der Erddrehung fortschreitet, diesen Kreislauf langsamer vollführen, als die Fixsterne. Da aber die Tageseintheilung sich nach dem Stand der Sonne richtet, so erscheint die Bewegung der Fixsterne beschleunigt: sie gehen von Tag zu Tag früher auf und erreichen den Orts-meridian früher um $3^{\text{m}} 55,91^{\text{s}}$ mittlerer Zeit. Diese Bewegung verläuft das Jahr hindurch mit grosser Regelmässigkeit. Für denselben Ort erscheinen zu denselben Jahreszeiten immer wieder dieselben Fixsterne an den gleichen Stellen des Himmels.

VIII. Kapitel.

Das Chronometer.

§ 56. Schon aus dem vorigen Kapitel wird zur Genüge klar, dass es für nautisch-astronomische Rechnungen von grossem Werth ist, die Uhrzeit für einen bestimmten Meridian, für welchen die Elemente der Rechnungen im Voraus bestimmt sind, zu jeder Zeit zu wissen. Diesem Zweck dient das Chronometer. Je vollkommener mit diesem Instrument die Zeit gemessen werden kann, desto vielseitiger kann seine Anwendung ausgebeutet werden. Es ist daher in neuerer Zeit in der Navigation auf die Konstruktion, auf die Behandlung und auf die Beobachtung der Chronometer ganz besondere Sorgfalt verwendet. Andererseits haben diejenigen Methoden der Ortsbestimmung, welche die Zuverlässigkeit der Chronometer voraussetzen, eine wesentliche Ausbildung und Verallgemeinerung erfahren. Diese Gründe lassen es nothwendig erscheinen, dass der See-Offizier sich mit der Konstruktion der Chronometer, den Ursachen ihrer Fehler und mit der rationellen Behandlungsweise derselben an Bord möglichst genau vertraut mache.*)

§ 57. Beschreibung des Chronometers.

Um mittelst eines Instrumentes die Zeit zu messen, ist es vor Allem nöthig, mit demselben Zeitintervalle von gleicher Dauer zu erlangen; in zweiter Linie kommt es darauf an, diese Zeitintervalle zu registriren. Ein Pendel kann an sich als Zeitmesser dienen, während ein Räderwerk ohne Regulator nicht als ein solcher brauchbar sein würde. Man hat daher in einem Chronometer zwei Systeme zu unterscheiden:

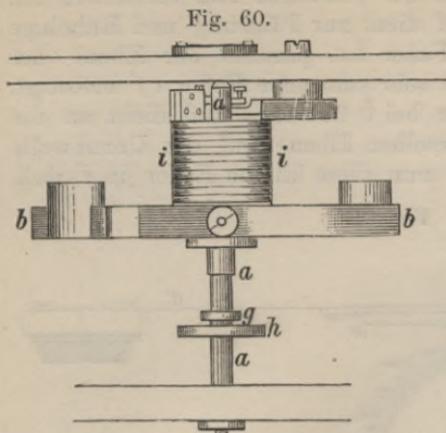
1. Den Regulator, bestehend aus der Unruhe und Spirale, welcher gleiche Zeitintervalle abtheilt, und die Hemmung, welche diese Zeitintervalle überträgt.

2. Das Räderwerk, welches durch die Hemmung in seinem Gange fortwährend normirt wird, und die Feder, welche die treibende Kraft für das Räderwerk hergiebt.

Diese Theile sind nun näher ins Auge zu fassen.

*) In Folgendem ist unter anderen Werken namentlich die Arbeit von Caspari: „Etudes sur le mécanisme et la marche des Chronomètres“ benutzt worden. (Recherches sur les Chronomètres. II. Cahier. 1876.)

1. Der Regulator ist zusammengesetzt aus der in



Steinenlaufenden Unruhewelle *a*, Figur 60, auf welcher sich die Unruhe *b* und zwei Scheiben *g*, *h* für die Hemmung befinden. Koncentrisch um die Unruhewelle bewegt sich die Spirale *i*.

Die Spirale besteht aus einem elastischen Metallband, welches schraubenförmig gewunden ist. Das eine Ende ist mit der Platine, dem Gerüst, in welchem das Uhrwerk läuft, durch eine

Klammer fest verbunden, das andere Ende auf dem Halbmesser der Unruhe am inneren Ringe befestigt.

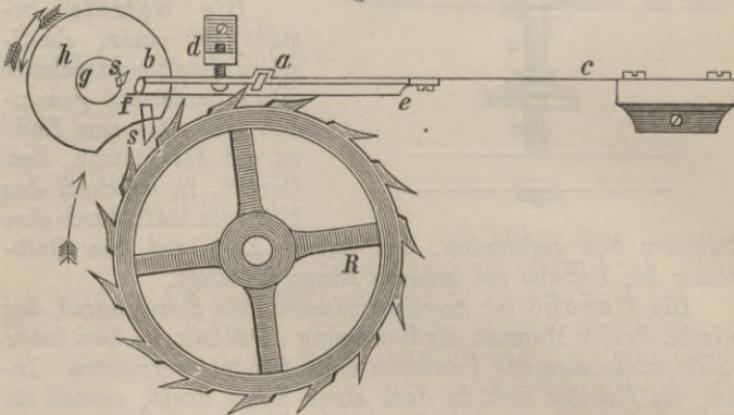
Die Unruhe ist gewissermaassen das Schwungrad der Spirale, dessen Moment die Bewegung unterhält, so dass beide Theile zusammen die Funktion eines Pendels verrichten. Indem die Unruhe sich in dem einen Sinne dreht, spannt sie die Spirale mehr und mehr an, bis die Federkraft der letzteren das Trägheitsmoment völlig parallelisirt. Durch die Federkraft wird die Rückwärtsbewegung herbeigeführt, durch das Moment der Unruhe diese Bewegung wieder so weit über die normale Stellung der Feder ausgedehnt, bis diese nach rückwärts angespannt ist, und so fort. Die wesentliche Bedingung dieser Schwingungsbewegung ist, dass die Schwingungen gleichmässig und durchaus regelmässig fortgehen. Man wird später sehen, auf welche Weise dies erreicht wird.

Die Hemmung ist in mehreren Konstruktionen ausgeführt, die stark von einander abweichen. Hier soll die am häufigsten vorkommende freie Chronometerhemmung mit einem Rade beschrieben werden.

Das Hemmungsrad *R*, Fig. 61, steht durch einen auf seiner Axe befindlichen Trieb mit dem Sekundenrade des Räderwerks in Verbindung und empfängt von diesem fortwährend den Antrieb zur Bewegung. Durch den Regulator wird diese Bewegung zu einer regelmässigen gemacht, indem sie in regelmässigen Intervallen unterbrochen wird. Ein Zahn des Hemmungsrades liegt gegen eine Ruhe *a*, eine sogenannte Palette, von hartem Stein. Diese Palette wird getragen von

einer Stahlfeder bc , welche mit ihrem einen Ende c durch Schrauben mit der Platine des Uhrwerks fest verbunden ist. Eine Schraube d mit Kopf dient zur Führung und Ruhelage dieser Feder. Auf der Feder bc , parallel der Ebene des Hemmungsrades, ist eine sehr schwache Feder ef befestigt, welche die stärkere Feder bei b übertagt und dicht an die Scheibe g , welche in derselben Ebene auf der Unruhewelle sitzt, heranreicht. Wenn nun diese kleine Feder in f nach

Fig. 61.



der Seite der grossen Feder bc hin gedrückt wird, so giebt die grosse Feder etwas nach, und der Zahn des Hemmungsrades wird von der Ruhepalette a frei. Wird aber die kleine Feder nach der andern Seite gedrückt, so giebt sie allein nach und überträgt keine Bewegung, da dann die grosse Feder gegen den Schraubenkopf bei d anliegt. Nun ist die Scheibe g mit einem Rubin Zahn s versehen, welcher die Schwingungen der Unruhe, mit deren Axe er durch die Scheibe in fester Verbindung ist, mitmacht. Dieser Zahn passirt das Ende f der kleinen Feder und stösst hierbei in der Hinbewegung die Ruhepalette a zurück, während er bei der Rückschwingung nur die kleine Feder aus dem Wege biegt. Die zweite Scheibe h auf der Unruhaxe liegt mit dem Hemmungsrade in derselben Ebene und hat einen Rubin Zahn s' , welchen ein Zahn des Hemmungsrades trifft, sobald der Zahn, welcher von der Ruhepalette a gehemmt wird, frei geworden ist. Dieser Kontakt dient lediglich dazu, der Unruhe den zur Fortdauer der Bewegung nothwendigen Impuls zu geben.

Die Unruhe giebt also nur nach jeder Doppelschwingung einen Stoss auf die kleine Feder und bewegt sich sonst ganz

frei (daher die Bezeichnung als freie Hemmung). Der Umstand, dass hier keine Reibung, sondern nur ein äusserst geringer Stoss stattfindet, ist besonders insofern günstig, als kein Oel erforderlich ist. Damit ist aber eine Hauptursache von Störungen vermieden.

2. Das Räderwerk mit der Triebkraft. Dieser Theil des Chronometers stimmt im Wesentlichen mit dem Mechanismus der Uhren überhaupt überein. Die Chronometer sind Federuhren, die Triebkraft besteht daher aus einer Feder.

Die Feder, in Fig. 62 dargestellt, ist eine Spirale, welche in einer Ebene um eine Axe aufgerollt ist. Sie befindet sich in einer Trommel (Federhaus), und ist mit dem einen Ende an der Welle, mit dem andern an der Wandung der Trommel fest. Indem die Feder strebt, sich von der Welle abzurollen, dreht sie die Trommel. Auf der Aussen-seite der Trommel ist eine Kette befestigt, welche durch diese Drehung auf der Trommel aufgerollt und von einer zweiten Trommel, der Schnecke, abgerollt wird.

Die Schnecke *a*, Fig. 63, ist eine Art Trommel mit schneckenförmig gewundener Führung für die Kette. Indem

Fig. 62.

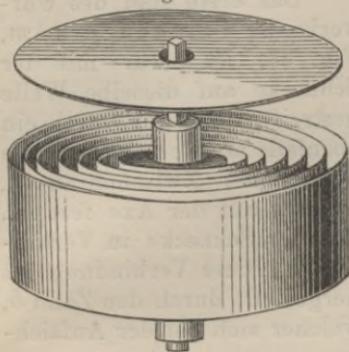
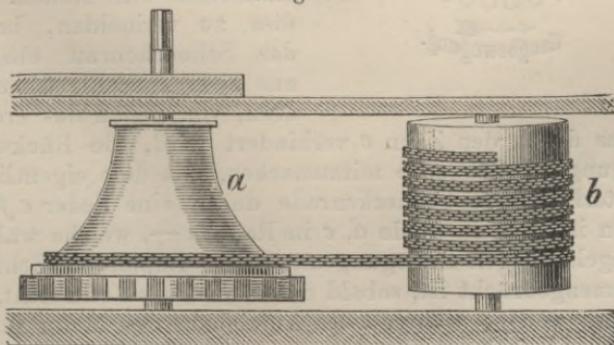


Fig. 63.

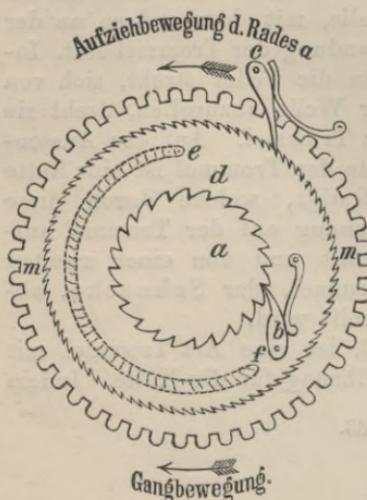


nämlich die Feder sich in dem Federhause abrollt, nimmt ihre Kraft ab, und damit die Wirkung dieselbe bleibt, lässt man den

Hebelarm wachsen, an welchem die sich abrollende Kette die Welle der Schnecke dreht. Ist das Chronometer aufgezogen, so ist die Kette auf der Schnecke ganz aufgerollt. Die Welle der Schnecke ist zugleich die Aufziehwellen für den Uhrschlüssel; durch Aufrollen der Kette auf der Schnecke *a* wird das Federhaus gedreht und die Feder darin ebenfalls aufgerollt und so angespannt.

Die Uebertragung der Bewegung dieses Motors auf das Uhrwerk ist nun so eingerichtet, dass die Bewegung im umgekehrten Sinne während des Aufziehens nicht übertragen wird, zugleich aber die Uhr auch während dieser Zeit ruhig weitergeht.

Fig. 64.



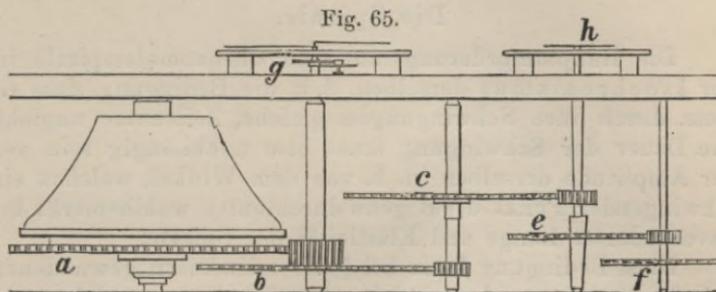
Das erste Rad des Uhrwerks, das Schneckenrad *m*, Fig. 64, ist zwar mit der Schnecke auf dieselbe Welle gestreift, aber nur durch ein ebenfalls auf derselben Welle befindliches Zwischenrad *a*, welches auf der Axe fest ist, mit der Schnecke in Verbindung. Diese Verbindung ist hergestellt durch den Zahn *b*, welcher sich bei der Aufziehbewegung auslöst.

Das Schneckenrad und damit das Uhrwerk würde aber auf diese Weise während des Aufziehens still stehen. Um dies zu vermeiden, besteht das Schneckenrad ebenfalls aus zwei concentrischen Rädern, von denen das erste *d*, welches durch den Zahn *c* verhindert wird, die Rückwärtsbewegung der Schnecke mitzumachen, mit dem eigentlichen, darunterliegenden Schneckenrade durch eine Feder *e f* verbunden ist — *f* im Rade *d*, *e* im Rade *m* —, welche während der regelmässigen Bewegung unter dem Impuls der Schnecke zusammengedrückt ist, sobald das Rad *d* aber still steht, sich ausdehnt und so während des Aufziehens den Motor für das Uhrwerk abgibt.

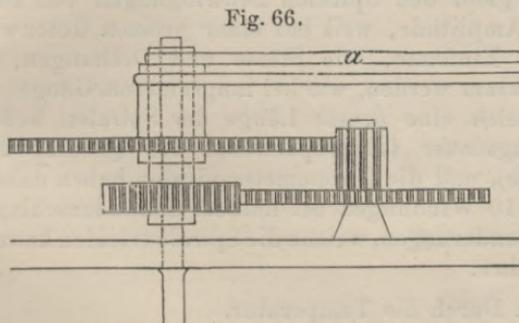
Das Räderwerk des Chronometers ist sehr einfach.

Das Schneckenrad *a*, Fig. 65, greift in den Trieb auf der Welle des Grossbodenrades *b* ein, welche zugleich die Welle des Stunden- und Minutenzeigers ist.

Das Grossbodenrad greift in den Trieb des Kleinbodenrades *c* und dieses wieder in den Trieb des Sekunden-



rades *e*. Auf der Welle des Sekundenrades sitzt zugleich der Sekundenzeiger *h*; das Sekundenrad greift, wie schon beim Regulator erwähnt, in den Trieb des Hemmungsrades *f* ein.



Es bleibt nun nur noch das Minutenwerk *g* übrig, welches sich an der Welle des Stundenzeigers auf der vorderen Seite der oberen Platine befindet. Der Minutenzeiger *a*, Fig. 66, ist nämlich nicht fest mit der Axe des Grossbodenrades verbunden, sondern nur mittelst einer Hülse durch Reibung auf derselben fest, derartig, dass man den Zeiger stellen kann, ohne dass sich die ganze Axe mitdrehen muss. Damit der Stundenzeiger concentrisch mit dem Minutenzeiger und zugleich mit diesem stellbar ist, wird der Stundenzeiger mit einer zweiten Hülse auf die Minutenhülse gestreift. Ein kleines Räderwerk, aus Figur 66 verständlich, überträgt die Minutenbewegung in entsprechender Reduktion auf diese Hülse des Stundenzeigers.

Aus dieser Uebersicht erhellt der Mechanismus des Chronometers im Allgemeinen.

§ 58. Es ist nun noch erforderlich, einzelne besonders wichtige Theile genauer in Bezug auf ihre Einrichtungen zu besprechen.

Die Spirale.

Die Hauptanforderung an eine Chronometerspirale ist der Isochronismus derselben, d. h. die Bedingung, dass sie stets durch ihre Schwingungen gleiche Zeiträume angiebt. Die Dauer der Schwingung muss also unabhängig sein von der Amplitude derselben (d. h. von dem Winkel, welchen ein schwingender Punkt des Bogens durchläuft), wohlbemerkt bei unveränderter Länge und Elasticität der Spirale.

Diese Bedingung kann bei jeder cylindrisch gewundenen Spirale erreicht werden, indem man derselben entweder eine bestimmte Länge oder den Enden derselben eine von der cylindrischen Form in bestimmter Weise abweichende Krümmung giebt.

Man giebt den Spiralen Schwingungen von stets mehr als 360° Amplitude, weil bei einer grossen Geschwindigkeit schädliche Einflüsse, wie Stösse und Drehungen, nicht so leicht wirksam werden, wie bei langsamerem Gange. Dadurch wird zugleich eine grosse Länge der Spiralen bedingt (die Schwingungsdauer ist proportional der Quadratwurzel der Spirallänge), und die Chronometerspiralen haben daher in der Regel 8—10 Windungen bei halbem Sekundenschlag.

Die Aenderungen, welche die Spirale erleiden kann, werden herbeigeführt:

1. Durch die Temperatur.
2. Durch die Zeit.
3. Durch Oxydation.

Die Aenderungen durch Temperaturschwankung sind die bedeutendsten. Eine Erhöhung der Temperatur bewirkt eine Verlängerung der Spiralen und eine Verringerung der Elasticität. Beide Wirkungen haben das Bestreben, die Schwingungsdauer zu verlängern. Bei längerer Dauer der Unruh-Schwingungen bleibt die Uhr zurück.

Die Aenderungen mit der Zeit haben ihren Grund in Spannungen, welche sich in dem Metall neuer Spiralen erst allmählich ausgleichen. Ferner ändert sich auch die Elasticität mit der Zeit und wird vor Allem durch schnellen Temperaturwechsel auf nicht ganz zu erklärende Art dauernd verändert.

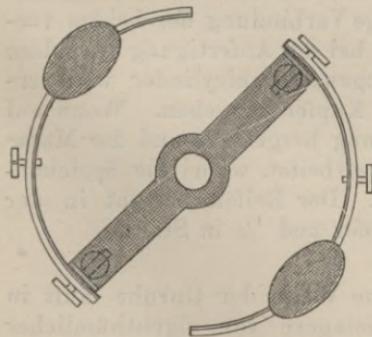
Durch Oxydation wird die Elasticität verringert, und das Trägheitsmoment kann durch Rostansatz nur wachsen, die Schwingungen werden also ebenfalls verlangsamt, die Uhr bleibt zurück.

Die beiden letzten Uebelstände haben dazu geführt, statt des Stahls ein Metall zu versuchen, welches man leichter im Zustande völliger Reinheit erhalten kann und welches nicht oxydirt. Die Anwendung einer Mischung von Gold und Kupfer, durch langsame Abkühlung möglichst elastisch gemacht, scheint günstige Resultate zu versprechen, ist aber noch nicht genügend erprobt. Der starke Ausdehnungskoeffizient des Goldes ist jedenfalls ungünstig.

Die Unruhe.

Die Unruhe gewöhnlicher Uhren besteht in einem Messingrade mit Speichen. Wenn ein solches Rad erwärmt wird, so dehnt sich das Metall beträchtlich aus, das Trägheitsmoment wird grösser, die Spirale verliert zugleich an Elasticität und wird länger: Alles vereinigt sich, um die Amplitude und Dauer der Schwingung zu vergrössern. Die Konstruktion einer Chronometer-Unruhe ist zur Vermeidung dieser Uebelstände gewöhnlich die folgende:

Fig. 67.



Der Umfang der Unruhe, siehe Figur 67, besteht aus zwei verschiedenen Metallstreifen: Stahl innen und Kupfer aussen. Eine Stahl-Lamelle bildet die Speiche dieses Rades, und dicht neben dieser Speiche ist der Reif durchschnitten, so dass jeder Halbkreis an seinem Ende von dieser Speiche getragen wird. Dehnt sich nun das Metall bei einer Temperaturerhöhung

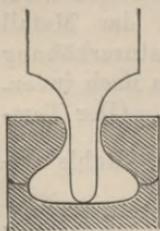
aus, so biegt sich das Ende beider halben Reifen nach innen, weil das Kupfer sich stärker ausdehnt als Stahl. (Der Temperaturkoeffizient des Kupfers ist $\frac{1}{582}$, der des Stahls da-

gegen nur $\frac{1}{807}$ für die Längenausdehnung). Auf jeden Halbreifen ist ein Gewicht gestreift, welches bei höherer Temperatur dem Centrum sich nähert, — das Trägheitsmoment ver-

ringert —, bei niederer Temperatur sich vom Centrum entfernt — das Trägheitsmoment erhöht. Durch Verschiebung dieser Gewichte kann das richtige Verhältniss für die Kompensation ausprobiert werden. Für die Korrektion des absoluten Ganges befinden sich ausserdem in der Verlängerung der Speiche noch feine Schrauben, deren Köpfe man durch Drehung der Schraube vom Centrum entfernen oder diesem nähern kann. Um die Feinheit dieser Konstruktion zu zeigen, giebt Caspari folgende Ziffern: Eine Aenderung des täglichen Ganges um eine Sekunde ist schon nicht unerheblich. Wenn eine Unruhe Sekundenschwingungen macht, also 86 400 am Tage, so genügt dazu eine Aenderung der Schwingungsdauer von $\frac{1}{86\,400}$. Die Schwingungsdauer ist proportional dem Trägheitsradius, also genügt eine Aenderung der Entfernung für die Kompensationsgewichte vom Centrum um $\frac{1}{86\,400}$. Bei einer Unruhe, an welcher dieser Radius 27 Millimeter beträgt, ergibt sich die Aenderung zu $\frac{3}{10\,000}$ eines Millimeters, eine Grösse, welche durch Mikroskope kaum sichtbar zu machen sein wird.

Auf die Herstellung der Unruhe aus durchaus homogenem Metall und auf die innige Verbindung der beiden verschiedenen Metallschichten wird bei der Anfertigung besondere Sorgfalt verwendet. Ein homogener Stahlcylinder wird erhitzt und mit geschmolzenem Kupfer umgeben. Wenn auf diese Weise die innige Verbindung hergestellt und die Masse erkaltet ist, wird der Ring ausgearbeitet, wobei die Speichenlamelle im Stahl stehen bleibt. Der Reifen besteht in der Regel aus $\frac{2}{3}$ der Dicke in Kupfer und $\frac{1}{3}$ in Stahl.

Fig. 68.



Die stählerne Welle der Unruhe läuft in sehr harten Steinlagern von eigenthümlicher Konstruktion (siehe Figur 68), welche einerseits die Reibung auf ein Minimum beschränken, andererseits dem hier nothwendigen Oel im Fall des Verdickens ein Ausweichen gestatten soll.

§ 59. Der Einfluss der Temperatur auf den Chronometergang und die Kompensation desselben.

Von allen störenden Einflüssen sind die der Temperatur die bedeutendsten, zugleich aber diejenigen, bei denen man am leichtesten eine Gesetzmässigkeit aufzufinden hoffen kann.

Die Temperaturänderung bewirkt:

1. Aenderung der Dimensionen in den Metalltheilen.
2. Aenderung der Elasticität der Spirale.
3. Aenderung in der Konsistenz des Oels.

Aus Versuchen hat sich ergeben, dass bei einem Chronometer ohne alle Kompensationsvorrichtung der tägliche Gang sich für einen Grad Celsius Temperaturerhöhung um 10 bis 11 Sekunden verlangsamt. Diese Verlangsamung kommt den beiden ersten Wirkungen zu und besteht in: Vergrösserung des Trägheitsmoments der Unruhe, Verlängerung der Spirale und Abnahme der Elasticität bei gleichzeitiger Zunahme des Trägheitsmoments der Spirale. Nach der Darstellung von Caspari sind von den 11 Sekunden Retardation $1,5^s$ der Unruhe, $0,5^s$ der Spirallänge und 9^s der Elasticität zuzuschreiben.

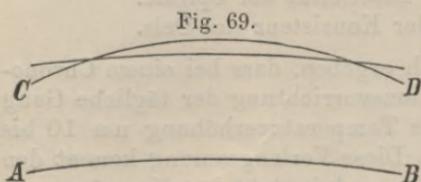
Die Berichtigung des ganzen Fehlers verlegt man bei einer gewöhnlichen Uhr (abgesehen von dem kompensirenden Einfluss der Konsistenz des Oels) in die Spirallänge, welche man nach Bedarf verlängert oder verkürzt; die Selbstregulirung bei einem Chronometer wird der Unruhe zugewiesen. Die Kompensation der letzteren dient also nur zum kleineren Theil zur Ausgleichung des Trägheitsmoments in der Unruhe selbst; dieses Moment soll sich zugleich so mit der Temperatur ändern, dass dadurch die Aenderung, welche in der Spirale vor sich geht, ebenfalls ausgeglichen wird. Dieser Umstand erhöht die Schwierigkeit einer vollständigen Kompensation. Die Aenderung der Unruhe steht zu der Temperaturänderung in anderem Verhältniss als die Aenderung in der Spirale. Eine Kompensation für alle Temperaturen ist daher nicht denkbar. Man verfährt in der Regel so, dass man die Kompensation entweder für eine bestimmte Mitteltemperatur oder für zwei extreme Temperaturen einrichtet. Aus der Erfahrung ergiebt sich dann Folgendes.*)

„Mit einer isochronen Spirale und einer kreisförmigen Unruhe gut ausgeführt und gut regulirt, wird ein Chronometer, welches für 0 und 30 Grad gleichen Gang zeigt, wenigstens 2 Sekunden bei einer Temperatur von 15 Grad gewinnen. Regulirt für 0 und 15 Grad, wird es wenig-

*) Caspari, S. 51.

stens 4 Sekunden bei 30 Grad verlieren, ebenso regulirt für 15 und 30 Grad, wird es bei 0 Grad 4 Sekunden verlieren.“

Man kann sich dies sogleich durch eine einfache Darstellung erklären. Wenn in der nebenstehenden Figur 69 die



Kurve *AB* die Aenderung des Trägheitsmoments der Unruhe mit der Temperatur und die Kurve *CD* die Aenderung in derjenigen Kraft der Spirale darstellt, welche diesem Trägheitsmoment das Gleichgewicht zu halten hat, so sieht man leicht, dass die Kurve *AB* in zwei Punkten mit der Kurve *CD* zur Deckung gebracht werden kann. Zwischen diesen beiden Punkten ist die Wirkung der Spirale eine die Schwingung beschleunigende, das Trägheitsmoment der Unruhe ist zu gering, jenseits beider Punkte ist das Trägheitsmoment der Unruhe zu gross. Die Kompensation also wirkt bei hohen Temperaturen nicht stark genug nach innen biegend und bei niedrigen Temperaturen zu stark nach aussen biegend. (Siehe Fig. 67.) Um diesen Uebelstand zu beseitigen, ist es nothwendig, entweder die Spirale zu ändern (die Kurve *CD* gewissermaassen der Kurve *AB* anzuschmiegen) oder die Kompensation zu ändern (die Kurve *AB* der Kurve *CD* anzupassen).

Beides wird angewendet und zwar in folgender Weise:

Wenn man die Spirale so konstruirt, dass sie nicht mehr isochron, sondern bei kleineren Amplituden, wie sie der kälteren Temperatur zukommen, schneller schwingt, so kann auf diese Weise der Fehler der Kompensation, welcher darin besteht, dass die Schwingungen über und unter der Kompensationstemperatur sich verlangsamen, ausgeglichen werden. In der Praxis geschieht dies insoweit, als man bei der Ermittlung des Isochronismus von vornherein diejenigen Spiralen verwirft, welche bei kleinen Amplituden zu langsam schwingen. Das Verlassen des Isochronismus kann aber von üblen Folgen sein. Für den Fall, dass durch andere Umstände, z. B. durch Vermehrung der Reibung in anderen Theilen des Werks, Dickwerden des Oels oder Abnahme der Kraft in der Triebfeder, die Amplitude der Schwingungen unabhängig von der Temperatur geringer wird, so würde der Gang des Chronometers ein allgemein beschleunigter werden,

was doch durch den Isochronismus der Spirale eben möglichst vermieden werden soll.

Rationeller ist jedenfalls das Anbringen sogenannter Hilfskompensationen, wie sie neuerdings in sehr ausgedehntem Maasse konstruirt werden. Die dabei zur Anwendung kommenden Systeme sind sehr verschieden. Um einen Begriff zu geben, auf welche Weise es sich erreichen lässt, dass die Wirkung der Wärme grösser, die der Kälte kleiner wird, diene Folgendes: Wenn man in der Unruhe die Stahllamelle, welche als Speiche dient, ebenfalls aus zwei Lamellen — Kupfer und Stahl — herstellt, so dass sie nur bei einer mittleren Temperatur gerade bleibt, bei Temperaturzunahme aber sowohl als -Abnahme sich biegt, so werden in beiden Fällen die Massen dem Centrum genähert und also der Effekt der gewöhnlichen Kompensation verstärkt bei Erhitzung und abgeschwächt bei Abkühlung.

Erforderlich ist bei solcher Konstruktion noch eine Aenderung in der Anordnung des Umkreises der Unruhe, damit beide Theile dieses Umkreises eine solche Bewegung frei mitmachen können. Auf Vorstehendem beruht im Wesentlichen die Hilfskompensation von Hartnup, welche häufiger angewendet ist.

§ 60. Störungen des Ganges durch die Aenderungen der Molekularstruktur der Metalle.

Diese Störungen sind häufig und von sehr unberechenbarer Art, es wird daher auf die Wahl des Materials bei der Anfertigung grosse Sorgfalt verwendet. Nichts desto weniger ändert sich die Struktur namentlich des Stahls nach jedem schroffen Temperaturwechsel, und besonders bemerklich wird dies bei neuen Chronometern. Die Folgen machen sich geltend in veränderter Wirkung der Temperaturschwankungen, da die Kompensation sich geändert hat. Ferner tritt bei neuen Chronometern fast durchweg eine Beschleunigung des Ganges (Acceleration) auf, welche ihren Grund in einer Zunahme der Elasticität der Spirale zu haben scheint. Die Spannungen in der Unruhe, welche durch die innige Verbindung zweier Metalle von verschiedener Ausdehnung fortwährend unterhalten werden, können mit der Zeit Deformationen eintreten lassen, welche durch Erschütterungen, sei es mechanischer, kalorischer oder elektrischer Natur, stark befördert werden können.

Es mag an dieser Stelle auch der Einwirkung des Magnetismus auf den Chronometergang gedacht werden. Eine solche Einwirkung scheint sehr selten vorzukommen

und dann nur Schuld des Verfertigers zu sein, welcher magnetische Stahltheile in Anwendung gebracht hat. Magnetische Einwirkung auf die Chronometer an Bord eines Schiffes wird kaum zu befürchten sein, wenn man grosse vertikale Eisenmassen und Magnete fern hält. Magnetische, in den Stahltheilen des Instrumentes selbst liegende Störungen weist man an einem Chronometer nach, indem man seinen Gang in verschiedenen Stellungen zum Meridian beobachtet.*)

§ 61. Störungen durch Aenderungen in der Konsistenz des Oels.

Das Oel ist ein nothwendiges Uebel in dem Chronometer, die Ursache unvorherzusehender Störungen im Gange und zugleich ein Hinderniss beim Erkennen anderer Eigenthümlichkeiten des Instruments. Allgemein nimmt man an, dass selbst das beste Oel nicht länger als drei Jahre seine gute Beschaffenheit behält. Früher oder später wird das Oel dickflüssiger und bewirkt dann eine Vergrösserung der Reibung, verkleinert also die Amplitude der Schwingungen. Zur Ausgleichung dieser Störung ist der Isochronismus der Spirale unerlässlich.

Der Schmelzpunkt von Olivenöl liegt bei	+	10°	C
-	-	-	Rüböl - - + 1° C
-	-	-	Mohnöl - - - 3° C

Der Grund der unzureichenden Kompensation bei niedrigen Temperaturen, welche auf Seite 184 der nicht gleichmässigen Zunahme der Elasticität in der Spirale zugeschrieben wurde, wird zum Theil auch in der beschleunigten Verdickung des Oels gesucht, welche bei Temperaturen in der Nähe des Schmelzpunktes eintritt.

Es mag noch bemerkt werden, dass es auch als vortheilhaft gegen die Verdickung des Oels bezeichnet worden ist, dass das Chronometer täglich beim Aufziehen gewendet und dabei das Oel in Bewegung gebracht wird.

§ 62. Einfluss der Schiffsbewegungen auf den Gang der Chronometer.

Um die Beeinflussung des Chronometerganges durch die Schiffsbewegungen zu bestimmen, sind auf der Seewarte Untersuchungen angestellt, bei welchen den Chronometern mit Hilfe eines Schaukel-Apparates die Bewegungen, denen sie an

*) Vergl. „Annalen der Hydrographie“ 1884, S. 316 und 379; 1885 S. 32; 1887 S. 77.

Amsterdam 1888 O. 49.

Bord ausgesetzt sind, einzeln und mehrere kombinirt, künstlich mitgetheilt wurden.*) Aus diesen Untersuchungen ergeben sich folgende Mittelwerthe der Gangänderung:

beim einfachen Rotiren	— 0,16 ^s
- Rollen	— 0,25
- Stampfen	— 0,02
- Rollen und Stampfen	— 1,26
- Rollen und Stampfen mit vertikalen Stössen	— 1,52.

Alle Bewegungsarten erzeugen demnach eine Acceleration; dieselbe ist relativ gering beim einfachen Drehen (Rotiren), beim Rollen und Stampfen, erreicht aber bei kombinirten Bewegungen (Rollen und Stampfen) einen erheblichen Betrag, welcher noch durch hinzutretende Stösse verstärkt wird.

Wenn diese Resultate scheinbar in Widerspruch stehen mit den an Bord gemachten Beobachtungen, nach welchen bei der Mehrzahl der Chronometer ein Retardiren eintritt,**) so liegt der Grund darin, dass an Bord mancherlei andere Einflüsse in entgegengesetztem d. h. retardirendem Sinne auf das Chronometer einwirken, welche den accelerirenden Einfluss der Schiffsbewegung nicht nur kompensiren, sondern weit übertreffen. Hierzu gehört in erster Linie:

Der Einfluss der Luftfeuchtigkeit.

Die Feuchtigkeit der atmosphärischen Luft wirkt nicht nur indirekt durch Begünstigung von Rost-, Schimmel- und Pilzbildungen auf den Gang der Chronometer ein, sondern äussert auch einen direkten Einfluss auf denselben, indem sich die Wasserdämpfe an der verhältnissmässig grossen Oberfläche der Spirale niederschlagen und das Gewicht und Trägheitsmoment vermehren. Während die ersteren Einflüsse naturgemäss sehr unregelmässige Veränderungen und Störungen des Chronometerganges zur Folge haben, lässt sich bezüglich des letzteren eine gewisse gesetzmässige Abhängigkeit des Ganges von der Luftfeuchtigkeit, ähnlich wie von der Temperatur, nicht verkennen.

*) Vergl. Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie 1889, Seite 225.

**) Vergl. Prof. C. F. W. Peters „Das Verhalten der Chronometer auf See“, Annalen der Hydrographie 1881, S. 648; sowie „Einige Bemerkungen über Chronometer“, Annalen 1884 S. 377 und 423. Kapt.-Lieut. Zeye „Das Verhalten der Chronometer an Bord“, Annalen 1884, S. 138.

Es ist jedoch bis jetzt noch nicht gelungen, diese Gesetzmässigkeit mit genügender Schärfe festzustellen, um sie rechnermässige einführen zu können, was zum grossen Theil wohl in den ersterwähnten unregelmässigen Störungen seinen Grund hat. Die in dieser Richtung angestellten Untersuchungen ergaben, dass bei fast allen Chronometern die Luftfeuchtigkeit einen nachweisbaren Einfluss auf den Chronometergang ausübt und dass durch eine Zunahme der Feuchtigkeit der umgebenden Luft eine Verlangsamung des Ganges eintritt. Die Grösse dieser Wirkung ist bei verschiedenen Chronometern verschieden, kann aber bis zu einem bedeutenden Grade anwachsen, namentlich wenn durch mechanische Verunreinigungen (Staub, Schimmel, Rost) des Chronometers, im Besonderen der Unruhe, das Niederschlagen der Feuchtigkeit und somit ihre Einwirkung begünstigt wird.

Die Aenderungen des Ganges, welche Chronometer beim Uebergange von Land an Bord und umgekehrt meistens zeigen, sind zum grossen Theil den Einwirkungen der atmosphärischen Feuchtigkeit zuzuschreiben.

§ 63. Aus dem Bisherigen erhellt, dass man nur in bedingter Weise auf eine zuverlässige Zeitangabe des Chronometers rechnen kann, da es weder möglich ist, die den Gang des Chronometers störenden Einflüsse zu beseitigen, noch dieselben derart zu bestimmen, dass sie durch Berücksichtigung bei den Rechnungen unschädlich gemacht werden können. Die meisten derselben entziehen sich sowohl in ihren Ursachen als Wirkungen unserer Untersuchung und Beurtheilung wenigstens so weit, dass eine Gesetzmässigkeit nicht erkannt wird und eine rechnermässige Einführung derselben nicht erfolgen kann. Nur den Temperatureinflüssen ist es bis jetzt gelungen in der genannten Weise näher zu treten, und die Abhängigkeit des Chronometerganges von denselben annähernd festzustellen. Hiermit ist allerdings schon viel gewonnen, und die Brauchbarkeit und Zuverlässigkeit der Chronometer ausserordentlich erhöht, da die Temperaturschwankungen bei weitem den hervorragendsten Einfluss auf die Chronometer ausüben. Zur Bestätigung dieser Behauptung sei eine Bemerkung des Admirals Fitzroy zu der Expedition der Schiffe „Adventure“ und „Beagle“ angeführt; er bemerkt: „Während acht Jahre langer Beobachtung der Bewegungen von Chronometern habe ich mich allmählich überzeugt, dass die gewöhnlichen Bewegungen des Schiffes, wie mässiges Stampfen und Rollen, einigermaassen gute Instrumente nicht beeinflussen, welche

an einem festen Platz aufgestellt und gegen Zittern und Erschütterung geschützt sind. Häufiger Gebrauch von Chronometern in Booten und in kleinen Fahrzeugen hat mich in der Ueberzeugung bestärkt, dass die Temperatur die Haupt-, wenn nicht zu sagen, die einzige Ursache bemerklicher Gangveränderung ist.“

Wenn man, wie dies auf dem am Schlusse beigefügten Blatt III geschehen ist, den Gang verschiedener Chronometer und den gleichzeitigen Verlauf der Temperatur graphisch darstellt, indem man die Zeit auf der Abscissenaxe, die Temperaturen und Chronometergänge als Ordinaten eines Koordinatensystems einträgt und die so erhaltenen Punkte durch Kurven mit einander verbindet, so ist aus der auffallenden Aehnlichkeit der Gang- und Temperatur-Kurven die Abhängigkeit des Ganges von der Temperatur unverkennbar. Die Kurven führen ferner zu folgenden Schlüssen:

Ist die Kompensation nicht vollständig, so wächst der Gang nach der positiven Seite (das Chronometer retardirt) bei der Temperaturerhöhung und umgekehrt; bei Temperatur-extremen wächst der Gang stets nach der positiven Seite.

Wenn man in der Gangkurve die Punkte gleicher Temperatur verbindet, so erhält man im Mittel gerade Linien, welche zu der Abscissenaxe geneigt sind. Sind diese Linien gerade und unter sich parallel, so veranschaulichen sie das Gesetz „der Gang ändert sich proportional der Zeit und bleibt stets in derselben Weise abhängig von der Temperatur.“ Diese Anschauung ist die älteste, und hierauf stützt sich das Verfahren, was auch noch später von Hartnup, dem Direktor des Liverpool-Observatoriums, vorgeschlagen wurde: den Chronometern Tabellen mitzugeben, welche für jede Temperatur den entsprechenden täglichen Gang enthalten. Für die mit der Zeit gehende Acceleration ist dann noch eine Korrektion anzubringen, welche die Anzahl der Tage mit einem bestimmten Koeffizienten multiplicirt.

Um zu einem präciseren Resultat zu gelangen, drückte Villarceau zuerst den Chronometergang als eine Funktion der Temperatur und der Zeit nach der Taylorschen Reihe, unter Berücksichtigung der Glieder erster und zweiter Ordnung aus. Diese Reihe wird dargestellt durch die Formel:

$$g = g_0 + a(t - t_0) + b(t - t_0)^2 + c(z - z_1) \\ + d(z - z_1)^2 + e(t - t_0)(z - z_1),$$

worin t_0 eine bestimmte Temperatur, z_1 einen bestimmten Zeitpunkt, g_0 den dieser Zeit und der Temperatur t_0 entsprechenden Chronometergang, t eine beliebige gegebene Temperatur, z ein

beliebiger gegebener Zeitpunkt, a , b , c , d , e konstante Koeffizienten und g den Gang des Chronometers zur Zeit z und bei der Temperatur t bedeutet.

Die Glieder $a(t - t_0) + b(t - t_0)^2$ stellen in dieser Gleichung den Fehler der Kompensation resp. den Einfluss der Temperatur auf den Chronometergang dar, die Glieder $c(z - z_1) + d(z - z_1)^2$ die Veränderung des Ganges mit der Zeit, $e(t - t_0)(z - z_1)$ die Veränderung der Kompensation mit der Zeit.

Lassen sich die Koeffizienten a , b , c , d und e feststellen, so ist dadurch ein Mittel gegeben, die durch die Einflüsse der Temperatur und der Zeit hervorgerufenen Aenderungen des Ganges zu berücksichtigen und in Rechnung zu bringen. Es hat sich jedoch herausgestellt, dass nur a und b , die Koeffizienten der Temperatur, eine gewisse Unveränderlichkeit besitzen und sich mit einiger Sicherheit bestimmen lassen, um sie für die Berechnung des Ganges einführen zu können. Die obige Formel reducirt sich demnach auf die Glieder

$$g = g_0 + a(t - t_0) + b(t - t_0)^2.$$

Je grösser t wird, desto schneller wächst das Glied $b(t - t_0)^2$, und es ergiebt sich bei Temperaturextremen, wo $b(t - t_0)^2$ grösser als $a(t - t_0)$ wird, eine Aenderung von g im nämlichen Sinne, gleichviel, ob t negativ oder positiv ist.

Für die Chronometer der Kaiserlichen Marine werden die Koeffizienten a und b sowie der Gang g_0 auf dem Observatorium zu Wilhelmshaven und dem Chronometer-Observatorium zu Kiel bestimmt und den Schiffen diese Grössen behufs Berechnung des Ganges ihrer Chronometer mitgegeben. Die Ermittlung der genannten Grössen erfolgt dadurch, dass die Chronometer periodenweise hinter einander wechselnden Temperaturen (t) ausgesetzt werden und der Gang (g) bei jeder Temperatur bestimmt wird; man erhält dadurch mehrere Gleichungen obiger Form, aus denen sich die Unbekannten g_0 , a und b bestimmen lassen. Für t_0 wird eine Temperatur von 15°C . zu Grunde gelegt, so dass g_0 auch dem Gange bei dieser Temperatur entspricht.

§ 64. Prüfung und Klassifikation der Chronometer.

Zur Beurtheilung ihrer Güte werden die Chronometer der Kaiserlichen Marine sowohl vor ihrem Ankauf als auch so oft wie möglich bei ihrer Aufbewahrung am Lande auf der Seewarte zu Hamburg resp. den Observatorien zu Kiel und

Wilhelmshaven einer Prüfung unterworfen, bei welcher folgendermaassen verfahren wird.

Die Chronometer werden successive während bestimmter gleicher Zeiträume (in der Regel von 10 Tagen) einer stufenweise von 5° zu 5° wachsenden und dann wieder fallenden oder umgekehrt zuerst fallenden und dann wachsenden Temperatur von 5° , $10^\circ \dots 25^\circ$, 30° , $25^\circ \dots 10^\circ$, 5° ausgesetzt, und die Gänge der Chronometer während der einzelnen Temperatur-Perioden (Dekaden) bestimmt. Aus den so erhaltenen Gängen von je zwei derselben Temperatur angehörigen Perioden, die also symmetrisch zu der Mitte der Beobachtungszeit liegen, wird das Mittel genommen. Dann stellt die Differenz des grössten und kleinsten resultirenden Ganges die Wirkung des Kompensationsfehlers dar, frei von der Acceleration und zum grossen Theil auch von zufälligen Sprüngen. Diese Differenz werde mit A bezeichnet. Es sei ferner B' die grösste vorkommende Differenz der erhaltenen Gänge von zwei auf einander folgenden Temperaturperioden, so wird diese Differenz die sprungweise Aenderung des Chronometerganges zum Ausdruck bringen. In derselben liegt jedoch noch ein Theil des Kompensationsfehlers, hervorgerufen durch den Unterschied der Temperaturen der beiden betreffenden Perioden. Ist τ dieser Temperaturunterschied und T die Differenz der höchsten und niedrigsten überhaupt während der Prüfung vorgekommenen Temperatur, so lässt sich der in B' enthaltene Kompensationsfehler ausdrücken durch $\frac{\tau}{T} A$; diese Grösse von

B' abgezogen giebt $B = B' - \frac{\tau}{T} A$ als Ausdruck für die sprungweise Gangänderung des Chronometers.

Bildet man ferner die Gangdifferenzen von je zwei Zeitabschnitten derselben Temperatur diesseits und jenseits der Mitte der Prüfungsperiode, dividirt dieselben durch die Anzahl der zwischen beiden Zeitabschnitten liegenden Tage und nimmt aus den so erhaltenen Zahlen das Mittel, so erhält man eine Grösse C , welche die mittlere tägliche Acceleration darstellt.

Für die Güte eines Chronometers ist nun die Summe $A + 2B + C$ maassgebend, je geringer diese Summe, desto besser das Chronometer; man hat dem Koefficienten B das doppelte Gewicht beigelegt als den beiden anderen Koefficienten, weil die durch B dargestellte plötzliche oder sprungweise Aenderung für den Gebrauch des Chronometers am störendsten

ist und sich in keiner Weise in Rechnung bringen lässt. Sowohl für die Summe $A + 2B + C$, als auch für B und C (A ist unberücksichtigt gelassen, da sich der Kompensationsfehler beim Gebrauch des Chronometers in Rechnung ziehen und demnach unschädlich machen lässt), sind bestimmte Maximalwerthe festgesetzt, nach welchen die Bedingungen für den Ankauf und den Gebrauch der Chronometer an Bord festgestellt sind, und nach welchen die Chronometer klassifizirt und rangirt werden.

§ 65. Behandlung und Unterbringung der Chronometer an Bord.

Bei der Behandlung der Chronometer werden so häufig die allereinfachsten Vorsichtsmaassregeln ausser Acht gelassen, dass es nicht überflüssig erscheint, hier näher darauf einzugehen.

1. Das An-Bord-Bringen der Chronometer sollte so zeitig als möglich geschehen, damit vor dem Ausgehen des Schiffes noch etwaige, beim Transport erregte Unregelmässigkeiten sich wieder ausgeglichen haben und durch Zeitballbeobachtungen oder dergleichen eine gute Regulirung an Bord stattfinden kann, bevor das Schiff in See geht.

Jedenfalls ist es, wenn möglich, zu umgehen, die Chronometer im Boot an Bord zu schaffen, da bei dieser Gelegenheit die Gefahr, dass den Instrumenten Schädlichkeiten zugefügt werden, sich vergrössert.

2. Vor dem Transport sind die Chronometer in der cardanischen Aufhängung mittelst des Arretirhebels festzustellen. Dies muss bei jedem Transport, auch für ganz kurze Entfernungen, geschehen. Ein schiefes Hinstellen eines arretirten Chronometers ist zu vermeiden.

Die Chronometer werden entweder am Riemen des Transportkastens oder in einem Tuch getragen, in welches das Chronometer eingeschlagen ist, und dessen vier Enden, oben in einem Knoten vereinigt, als Handgriff dienen. Eine pendelnde, vor Allem aber eine horizontal schwingende oder drehende Bewegung beim Tragen ist sorgfältig zu vermeiden. Während des Transports im Boot sollten Chronometer ebenfalls in dieser Weise gehalten werden (Shadwell, On the management of chronometers, S. 39).

3. Ueber die Unterbringung der Chronometer an Bord sind in der Kaiserlichen Marine folgende Direktiven gegeben:

1. Die Bewegung der Chronometer in ihrer Aufhängung muss eine gleichmässige und ruhige sein, Erschütterungen sind möglichst fern zu halten.

Zu diesem Zweck ist erforderlichlich:

- a. der Aufstellungsort muss möglichst mittschiffs liegen.
- b. derselbe darf nicht zu nahe dem Heck und nicht zu hoch im Schiff sein (eine Kampagne ist daher kein geeigneter Ort).
- c. Aufstellung unmittelbar unter schweren Geschützen ist unzulässig; ebenso eine solche in grosser Nähe der Schrauben oder der Cylinder der Schiffsmaschine.

2. Die Temperatur muss möglichst gleichmässig sein und darf weder über $30-35^{\circ}$ C. steigen noch unter $+2^{\circ}$ C. fallen. Daher ist:

- a. die Nähe des Maschinenraums zu vermeiden.
- b. eine Unterbringung tief unten im Schiff günstig (auch für die Bewegung). Wo dies nicht angängig, muss der Raum heizbar sein.

3. Rost und Magnetismus müssen vermieden werden, daher dürfen:

- a. feuchte Räumlichkeiten,
- b. grosse Eisenmassen

in der Nähe des Chronometerspindes nicht vorhanden sein.

4. Zur Bewahrung vor anderen schädlichen Einflüssen und zur zweckmässigen Behandlung und Benutzung der Chronometer ist ferner nothwendig, dass der Aufbewahrungsort

- a. von den Arbeits- und Wohnplätzen der Mannschaft gesondert,
- b. leicht zugänglich und genügend zu erleuchten ist.

5. Die Einrichtung der Chronometerspinden an Bord ist in der Kaiserlichen Marine folgende:

An der für Aufbewahrung der Chronometer bestimmten Stelle wird ein massiver Holzklotz von ca 1 m Höhe fest mit dem Deck verbolzt. Auf demselben wird ein offener Kasten festgeschraubt, welcher in drei bis fünf gepolsterte Abtheilungen zur Aufnahme der Chronometer und eines Metall-Thermometers getheilt ist. Die Polsterung besteht aus Pferdehaar. Um diesen Block mit Kasten wird auf einem niedrigen Sill das Chronometerspindel so aufgebaut, dass überall 3—4 cm

Zwischenraum bleibt, um gegen alle Stösse und dergl. hinreichenden Schutz zu gewähren. Dieses Spind erhält einen verschliessbaren, nach oben aufzuklappenden Deckel.

Die Deckel der in den gepolsterten Kasten eingesetzten Chronometer werden in den Charnieren losgeschraubt. Wenige Centimeter über den Zifferblättern befindet sich ein verschliessbarer Glasdeckel, welcher in einem Rahmen auf dem gepolsterten Kasten so aufgesetzt ist, dass er zugleich die Chronometer gegen die Feuchtigkeit schützt, welche sich etwa zwischen dem Block und dem Sill ansammelt. Auf solche Weise ist ein doppelter Verschluss hergestellt, welcher einerseits die Temperatur-Einflüsse bei häufigem Vergleich der Beobachtungs-Uhren mildern soll, andererseits dem Navigations-Officier, welcher allein den Schlüssel zum Glasdeckel hat, die Kontrolle über die Chronometer sichert.

4. Beim Aufziehen des Chronometers dreht man die Chronometerbüchse vorsichtig um, hält sie mit der einen Hand und dreht mit dem Schlüssel (gewöhnlich von rechts nach links). Dabei zählt man die Umdrehungen — gewöhnlich 5 bis 6 — und dreht zuletzt sehr vorsichtig. Jedesmal aber ist es nothwendig, das Chronometer vollständig aufzuziehen. Nach dem Aufziehen wird die Chronometerbüchse wieder in die alte Lage gebracht und dabei nicht zu früh losgelassen, damit sie nicht unnöthig in pendelnde Bewegung versetzt wird. Ein vollständiges Umwenden, so dass die VI des Zifferblattes da zu stehen kommt, wo vorher die XII war, ist zu vermeiden. Beim Oeffnen des Chronometerspindes liest man zuerst die Temperatur ab, zieht darauf die Chronometer auf und nimmt dann die Vergleichung vor.

5. Sollte ein Chronometer abgelaufen sein, so giebt man ihm, nachdem es wie gewöhnlich aufgezogen ist, eine kleine, ziemlich schnelle horizontal drehende Bewegung, wodurch die Unruhe vermittelt ihres Trägheitsmoments in ihre Schwingungen eintritt. In Ermangelung anderen Nachweises muss man den vorher bekannten Gang weiter annehmen.

6. Wenn das Chronometer einen sehr erheblich veränderten Gang zeigt, welcher seine Brauchbarkeit in Frage stellt, so deutet das auf eine eingreifende Störung im Mechanismus. In diesem Falle ist das Chronometer nicht weiter aufzuziehen, da bei fernem Inganghalten dem Werke leicht Schaden zugefügt werden kann (z. B. wenn ein Stein gesprungen ist). Ebenso wird man auch verfahren müssen, wenn ein stets zunehmendes, sehr starkes Retardiren des Chronometers beobachtet wird, da dies auf ein Rosten der

Spirale der Unruhe deutet und mit dem Brechen derselben endigen kann.

7. Plötzliche Sprünge des Chronometers werden nicht selten beobachtet; nach solchen Sprüngen stellt sich aber in der Regel der vorherige Gang wieder ein. Bleibt das Chronometer ohne bekannte Ursache stehen, so ist dies noch nicht in jedem Falle ein Zeichen, dass das Chronometer dauernde Beschädigung erlitten hat. Man kann es daher mit Vorsicht wieder in Gang zu setzen suchen. Natürlich wird man solches Chronometer dann sorgfältig überwachen.

8. Es wird allgemein festgehalten, dass Chronometer nach drei Jahren frisch mit Oel versehen werden müssen. Dass diese Periode nur eine durchschnittliche sein kann, ist selbstverständlich. Es hat kein Bedenken, die Chronometer bei langen Reisen auch länger in Verwendung zu behalten. Die dabei etwa zu Tage tretenden Uebelstände werden reichlich dadurch aufgewogen, dass inzwischen der Navigations-Officier mit den Eigenthümlichkeiten eines jeden Chronometers bekannt geworden ist.

9. Bei der Versendung von Chronometern sind noch folgende Vorsichtsmaassregeln zu beobachten:

1. Das Chronometer muss theilweise aufgezoogen aber nicht in Gang gesetzt sein.*)
2. Die Unruhe ist mit einem Stückchen Kork oder noch besser mittelst eines dreieckigen Schnitzels Kartenpapier festzukleminen.
3. Die cardanische Aufhängung ist durch Einschieben des Befestigungsarmes oder auf eine andere sicher erscheinende Weise zu befestigen.
4. Das Chronometer ist sorgfältig zu arretiren und der Kasten desselben mit einem trockenen staubfreien Material (trockene Hobelspäähne, Papierschnitzel oder dergleichen) rund um das Chronometer fest anzufüllen.**)
5. Der geschlossene Chronometerkasten wird am besten in einen Weidenkorb oder einen etwas elastischen Kasten in einer möglichst grossen Menge weichen Materials verpackt.

*) Ist das Chronometer abgelaufen, und kommt die Unruhe in Schwingung, so ist eine Verletzung der Zähne des Echappements leicht möglich.

***) Die Chronometer der Marine werden bei der Versendung an einen den betreffenden Eisenbahnzug begleitenden Postbeamten übergeben.

§ 66. Die Kontrolle und Verwerthung der Chronometer an Bord.

Das Zeitintervall, welches man der Zeitangabe des Chronometers hinzuzufügen hat, um die mittlere Zeit der Greenwicher Sternwarte zu erhalten, bezeichnet man als Stand des Chronometers gegen Greenwicher Zeit.

Die Differenz zwischen den Ständen des Chronometers zu zwei Zeitpunkten, welche einen mittleren Tag auseinanderliegen, heisst der tägliche Gang des Chronometers.

Der Stand des Chronometers ist also positiv, wenn das Chronometer nachgeht, negativ, wenn es vorgeht. Der Gang des Chronometers ist positiv, wenn das Chronometer verliert (retardirt) und negativ, wenn das Chronometer gewinnt (accelerirt).*)

Wenn der Stand des Chronometers für einen angegebenen Zeitpunkt bekannt ist, so kann man mit Hülfe des ebenfalls bekannten Ganges für jede beliebige Zeit den Stand finden. Damit ist also die Zeit zu Greenwich bekannt, und wenn man die Zeit an dem Ort des Schiffes durch astronomische Beobachtungen bestimmt, so ergibt die Differenz zwischen Ortszeit und Greenwicher Zeit die geographische Länge des Schiffsorts. Andererseits: kennt man die geographische Position des Schiffes, so erhält man mit Hülfe des Chronometers leicht die Ortszeit.

Alle diese Berechnungen hängen von der Kenntniss des Standes ab. Kennt man hingegen die geographische Position und die Ortszeit, so erhält man daraus die Greenwicher Zeit, also den Stand des Chronometers gegen diese.

Ermittelt man diesen Stand zu verschiedenen Zeiten, so ergibt sich aus der Differenz der Stände und der Zeiten der tägliche Gang des Chronometers.

In Formeln ausgedrückt hat man:

$$\begin{array}{rcl} \text{Orts-Zeit} - \text{Grw. Zeit} & = & \text{Lg} \\ \text{Chron.-Zeit} + \text{Stand} & = & \text{Mittl. Grw. Zt.} \\ \text{Stand II} - \text{Stand I} & & \\ \hline \text{Zeit II} - \text{Zeit I (in Tagen)} & = & \text{Tägl. Gang} \end{array}$$

wodurch sich durch Umformen und Einsetzen alle Regeln ergeben. (S. Beispiele.)

*) In der französischen Marine ist eine andere Bezeichnung üblich. Man nimmt dort 0^h mittlere Zeit zu Paris als Ausgangspunkt und rechnet die Differenz der entsprechenden Angabe des Chronometers wie den Stundenwinkel + oder —. Da dann auch die Gänge anders in Rechnung zu setzen sind, so erhält man gerade die entgegengesetzten Vorzeichen, als die in Deutschland, England etc. üblichen.

In der Praxis würde also das Verfahren für Benutzung der Chronometer sehr einfach sein, sobald man sicher wäre, dass der Gang immer derselbe bliebe. Da aber dies nicht der Fall ist, so ist es nöthig, eine Kontrolle eintreten zu lassen, welche von grosser Wichtigkeit bei der Verwerthung der Angaben wird.

Ist nur ein einzelnes Chronometer an Bord, so muss man sich damit begnügen, den Stand bei jeder passenden Gelegenheit zu bestimmen und daraus auf die Gänge der rückwärts, sowie vorläufig der vorwärts liegenden Zeit zu schliessen. Wie auch hieraus weitere Korrekturen ermittelt werden können, wird sich bei der Besprechung der Gang-Koeffizienten ergeben.

Zwei Chronometer gewähren in Bezug auf die gegenseitige Kontrolle schon einige Vortheile, im Allgemeinen hält man es für nothwendig, zu diesem Zweck drei Chronometer zu haben.*)

§ 67. Das Chronometer-Journal.

Der Stand der Chronometer wird an Bord Tag für Tag berechnet und in das Chronometer-Journal eingetragen, in welchem ferner alle für die Ueberwachung, Kontrolle und Beurtheilung dieser Instrumente wichtigen Daten, die täglichen Vergleiche der Chronometer unter einander, neue Stand- und Gangbestimmungen und alle das Verhalten und den Gang der Chronometer beeinflussenden Vorgänge, wie starkes Arbeiten des Schiffes, Schiessen, Dampfen u. s. w. verzeichnet werden.

Zur Berechnung des Standes wird jedem Chronometer, wenn es an Bord gegeben wird, von dem Observatorium der Stand gegen mittlere Greenwicher Zeit an dem Ablieferungstage, der auf dem Observatorium bestimmte Anfangsgang g_0 bei 15° C , und die Temperaturkoeffizienten a und b mitgegeben. Indem man die tägliche Temperatur t im Chronometerspindel bestimmt, wird nach der Gleichung $g = g_0 + a(t^\circ - 15^\circ) + b(t^\circ - 15^\circ)^2$ der tägliche Gang festgestellt und durch Anwendung desselben auf den Stand des Chronometers der

*) In früherer Zeit war an Bord englischer Kriegsschiffe immer nur ein Chronometer zur Verfügung. In dem Falle aber, dass der Kapitän aus eigenen Mitteln ein zweites beschaffte, wurde ihm ein drittes dazu gegeben.

letztere von Tag zu Tag gefunden. Die Anbringung der Temperaturkorrekturen wird durch eine im Chronometer-Journal aufzunehmende Temperaturkorrektions-Tabelle, welche von Grad zu Grad die Grösse $a(t^\circ - 15^\circ) + b(t^\circ - 15^\circ)^2$ enthält, erleichtert.

Die Anordnung und Benutzung derselben wird, wie die Berechnung des Chronometerstandes, durch folgendes, an zwei Chronometern durchgeführte Beispiel ersichtlich gemacht.

Beispiel.

Für das Chronometer Tiede No. 303 war auf dem Chronometer-Observatorium zu Kiel bestimmt:

$$a = -0,339^s$$

$$b = +0,011^s$$

Daraus wurde folgende Temperatur-Korrektionstabelle berechnet:

$$[\text{Korrektion} = a \cdot (t^\circ - 15^\circ) + b \cdot (t^\circ - 15^\circ)^2]$$

Temperatur Celsius	Chronometer No. 303 Korrektion
+ 5°	+ 4,49
+ 6°	+ 3,94
+ 7°	+ 3,41
+ 8°	+ 2,91
+ 9°	+ 2,43
+ 10°	+ 1,98
+ 11°	+ 1,54
+ 12°	+ 1,12
+ 13°	+ 0,72
+ 14°	+ 0,35
+ 15°	0,00
+ 16°	- 0,33
+ 17°	- 0,64
+ 18°	- 0,92
+ 19°	- 1,18
+ 20°	- 1,42
+ 21°	- 1,63
+ 22°	- 1,83
+ 23°	- 2,01
+ 24°	- 2,16

Am 2. März 1876 fand sich bei einer Temperatur $t = +11,33^\circ$

Std. = + 18,6^s; $g =$ tägl. Gg. = + 0,8^s.

Nach der Formel $g_0 = g - \text{Temp.-Korr.}$ findet sich für den 2. März $g_0 = +0,8^s - 1,4^s = -0,60^s$.

Die Berechnung der täglichen Stände im Chronometer-Journal an Bord stellt sich nun folgendermaassen:

Chronometer No. 303.

Datum	Mittlere Temperatur	g ^o	Temper.- Korr.	Täglicher Gang	Stand
März	°	s	s	s	s
2					+ 18,60
3	+ 10,4	— 0,60	+ 1,80	+ 1,20	+ 19,80
4	+ 10,8	„	+ 1,63	+ 1,03	+ 20,83
5	+ 11,0	„	+ 1,54	+ 0,94	+ 21,77
6	+ 9,4	„	+ 2,25	+ 1,65	+ 23,42
7	+ 10,9	„	+ 1,58	+ 0,98	+ 24,40
8	+ 9,5	„	+ 2,21	+ 1,61	+ 26,01
9	+ 10,5	„	+ 1,76	+ 1,16	+ 27,17
10	+ 9,9	„	+ 2,02	+ 1,42	+ 28,59
11	+ 8,8	„	+ 2,53	+ 1,93	+ 30,52
12	+ 9,5	„	+ 2,21	+ 1,61	+ 32,13
13	+ 9,8	„	+ 2,07	+ 1,47	+ 33,60
14	+ 10,1	„	+ 1,94	+ 1,34	+ 34,94
15	+ 10,2	„	+ 1,89	+ 1,29	+ 36,23
16	+ 8,4	„	+ 2,72	+ 2,12	+ 38,35
17	+ 9,0	„	+ 2,43	+ 1,83	+ 40,18
18	+ 8,3	„	+ 2,77	+ 2,17	+ 42,35
19	+ 9,8	„	+ 2,07	+ 1,47	+ 43,82
20	+ 13,0	„	+ 0,72	+ 0,12	+ 43,94
21	+ 14,5	„	+ 0,17	— 0,43	+ 43,51
22	+ 13,4	„	+ 0,57	— 0,03	+ 43,48
23	+ 11,7	„	+ 1,25	+ 0,65	+ 44,13
24	+ 12,5	„	+ 0,92	+ 0,32	+ 44,45
25	+ 13,8	„	+ 0,42	— 0,18	+ 44,27
26	+ 12,1	„	+ 1,08	+ 0,48	+ 44,75
27	+ 12,1	„	+ 1,08	+ 0,48	+ 45,23
28	+ 12,2	„	+ 1,04	+ 0,44	+ 45,67
29	+ 12,4	„	+ 0,96	+ 0,36	+ 46,03
30	+ 13,8	„	+ 0,42	— 0,18	+ 45,85
31	+ 14,2	„	+ 0,28	— 0,32	+ 45,53
April		„			
1	+ 16,2	„	— 0,39	— 0,99	+ 44,54

§ 68. Bemerkungen über die täglichen Chronometer-Vergleichungen.

Nachdem die Chronometer aufgezogen sind, was regelmässig zu einer bestimmten Stunde des Tages geschehen muss, werden dieselben in folgender Weise verglichen:

Man beobachtet Chronometer *A* und notirt im Voraus die nächste volle Minute. Sobald dann der Sekundenzeiger auf

60 gestanden hat, beginnt man die Schläge (von 1—120)*) nach dem Gehör zu zählen und beobachtet gleichzeitig den Sekundenzeiger des Chronometers *B*. Bei dem Schlage 20 (also 10 Sekunden) von *A* liest man *B* ab und notirt beide Chronometerangaben. Eine zweite Ablesung macht man etwa für den Schlag 80. In derselben Weise vergleicht man *A* mit *C* und *B* mit *C*. Ein geübter Beobachter zählt leicht die halben Sekundenschläge während aller Notirungen durch, so dass die ganze Operation in 2—3 Minuten beendet ist.

Man wird auch leicht in der Schätzung von Zehntel-Sekunden Uebung erlangen. Im Allgemeinen ist die Vergleichung der Chronometer durch eine Person dem Zusammenwirken zweier vorzuziehen. Wenn aber zwei Personen dazu für nöthig gehalten werden, so ist geboten, dass es dann immer dieselben sind.

Für die Vergleichung ist das Schema im Notizbuch vorher zu entwerfen. Im Uebrigen wird sich jeder Beobachter sein System selbst bilden.

Eine gute Kontrolle über die Richtigkeit der Vergleiche hat man dadurch, dass die Summe von zwei Vergleichen gleich dem dritten Vergleich sein muss.

Die Vergleiche der Chronometer unter einander werden in der Weise vorgenommen, dass das Chronometer mit grösserem Werth von $A + 2B + C$ (vergl. § 64) gegen das Instrument mit kleinerem Werth von $A + 2B + C$ verglichen wird, und werden dieselben in den dazu bestimmten Kolumnen des Chronometer-Journals eingetragen und in dem Sinne mit Vorzeichen versehen, dass die eingetragenen Zahlen, an die Zeit des Chronometers mit grösserem Werth von $A + 2B + C$ angebracht, die Zeiten des Chronometers mit kleinerem Werth von $A + 2B + C$ geben.

Die erhaltenen Differenzen der Chronometer unter einander erhalten erst einen weiteren Werth durch ihre zweiten Differenzen, die ebenfalls im Journal eingetragen werden. Dieselben geben ein Kriterium für die Veränderung des Ganges der Chronometer. Sind die Gänge bekannt und werden täglich auf die Stände angewendet, so werden die Differenzen dieser Angaben unter einander sich um regelmässige Beträge täglich ändern, welche gleich der algebraischen Differenz je

*) Es ist hierbei angenommen, dass das Chronometer halbe Sekundenschläge hat. Ist ein Taschenchronometer mit 5 Schlägen in 2 Sekunden mit zu vergleichen, so zähle man nicht diese, sondern ebenfalls die halben Sekundenschläge des anderen.

zweier Gänge sind. Dasselbe ist der Fall mit den wirklich beobachteten Unterschieden der Chronometer unter einander. Die aus den Vergleichen resultirenden zweiten Differenzen müssen also gleich bleiben von Tag zu Tag, so lange die Gänge sich nicht ändern. Eine bei einem Chronometer eintretende Störung im Gange macht sich in den zweiten Differenzen bemerkbar. Tritt eine plötzliche Unregelmässigkeit dieser Unterschiede nur an einem Tage auf, um sodann wieder auf die frühere Grösse zurückzugehen, so wird man hierdurch auf einen Sprung im Stande (resp. einmalige Gangstörung) schliessen können, zeigt dagegen der tägliche Unterschied eine dauernde Veränderung, so hat man es mit einer Aenderung des Ganges zu thun. Bei drei Chronometern ist man oft im Stande aus den beobachteten Störungen auf das Chronometer zu schliessen, welches von dieser Störung betroffen worden ist, sowie auf die Grösse des Betrages derselben. Folgendes Beispiel diene zur Erläuterung. Zwischen den Chronometern *A*, *B* und *C* sind folgende Vergleiche gemacht worden:

Datum	Chronometer B		Chronometer C		Chronometer C	
	gegen Chr. A	Unterschied	gegen Chr. A	Unterschied	gegen Chr. B	Unterschied
1	— 0h 9m 54s	+ 0,5	+ 0h 2m 15,5s	+ 5,5	+ 0h 12m 9,5s	+ 5,0
2	53,5	+ 0,5	20,5	+ 5,0	14,0	+ 4,5
3	53,5	0	25,5	+ 5,0	19,0	+ 5,0
4	55,0	— 1,5	30,5	+ 5,0	25,5	+ 6,5
5	54,5	+ 0,5	35,5	+ 5,0	30,0	+ 4,5
6	54,0	+ 0,5	40,5	+ 5,0	34,0	+ 4,5

Am 4. tritt bei den Vergleichen zwischen *B* und *A*, und zwischen *C* und *B* plötzlich eine Aenderung in den täglichen Unterschieden ein, während die Unterschiede der Vergleiche zwischen *C* und *A* ihre alte Grösse beibehalten; an den folgenden Tagen nehmen auch die ersten beiden Differenzen ihre früheren Werthe wieder an. Hieraus folgt, dass zwischen dem 3. und 4. der Stand des Chronometers *B* sich plötzlich geändert hat. Der Betrag dieser Aenderung ergibt sich aus der Differenz des gestörten und des gewöhnlichen Unterschiedes zwischen *B* und *A* und zwischen *B* und *C*; man nehme, wenn verschieden, aus beiden das Mittel. In dem

vorliegenden Falle erhalten wir aus B gegen $A + 0,5 - (-1,5) = +2,0^{\circ}$, aus B gegen C ebenfalls $6,5 - 4,5 = +2,0^{\circ}$, und zwar ist der Stand von B , wie eine einfache Ueberlegung ergibt, um diesen Betrag algebraisch verringert worden (ein positiver Stand kleiner, ein negativer Stand numerisch grösser).

Zur Uebersicht der Chronometervergleiche kann man dieselben auch graphisch darstellen, wie dies auf dem am Schlusse beigefügten Blatt IV geschehen ist.

Auf einem in Millimetern*) quadrirten Papier nehme man eine Horizontallinie als Abscissenaxe und auf dieser je 1 mm als Länge eines Tages, als Ordinate hingegen je 1 mm für $0,2^{\circ}$ des täglichen Ganges an. Man zeichnet nun oben eine Temperaturkurve ein, deren Ordinate je 1 mm für $0,2^{\circ}$ C. beträgt. Der Gang des Normalchronometers (bei dem die Summe $A + 2B + C$ den geringsten Werth hat), wird durch eine gerade Linie dargestellt, eine punktirte Linie giebt den Gang desselben korrigirt für Temperatur. An der geraden Linie als Abscisse werden nun von fünf zu fünf Tagen die Mittel der Vergleiche als Ordinaten angetragen und die Kurven bis zur letzten Eintragung ausgezogen. Man erhält dadurch Darstellungen von der Art der Kurven $A - B$ und $A - C$. Aus dem Verlaufe derselben wird man nun mit einem Blick auf das Verhalten der Chronometer im Allgemeinen schliessen können.

Weichen die Gangkurven in gleichem Sinne ab, so ist das ein Zeichen, dass der Gang des Normalchronometers nicht richtig ist und demgemäss korrigirt werden muss.

§ 69. Bestimmung des Chronometerstandes und Ganges.

Der Stand eines Chronometers wird gefunden durch Beobachtung und Vergleich desselben mit Uhren, welche nach Greenwicher Zeit gehen, oder deren Unterschied von der Greenwicher Zeit genau bekannt ist, oder durch Beobachtung von Zeitsignalen, welche zu einer bekannten Greenwicher Zeit abgegeben werden (Zeitbälle), oder schliesslich mit Hilfe astronomischer Beobachtungen, nach welchen die Ortszeit und durch Anwendung der bekannten Länge die Greenwicher Zeit

*) Man ist an diese Theilung des Papiers natürlich nicht gebunden. Die Theilung ist vielmehr durchaus beliebig. Die Millimeter-Theilung ist oben angeführt, weil quadrirtes Papier dieser Art im Handel zu haben ist.

berechnet wird; die letzteren Bestimmungen werden später eingehender behandelt werden.

Wird als Zeitsignal ein akustisches Signal beobachtet, wie der Knall eines Kanonenschusses, so ist zu beachten, dass der Schall sich mit einer verhältnissmässig geringen, sich auf die Zeitbestimmung bemerkbar machenden Geschwindigkeit fortpflanzt, so dass die Entfernung zwischen Beobachtungsort und Signalort berücksichtigt werden muss. Da der Schall sich in der Sekunde bei 0° Temperatur 333 m, bei t° C. Tem-

peratur um $\frac{333}{\sqrt{1 - 0,003665 t}}$ fortpflanzt, so ist, wenn der Beobachtungsort l Meter von dem Signalort entfernt ist, von der nach dem Chronometer beobachteten Zeit des Hörbarwerdens des Schalles $\frac{l}{333}$ resp. $\frac{l}{333} \sqrt{1 - 0,003665 t}$ Sekunden oder abgerundet für jede Seemeile Entfernung 5,57 Sekunden resp. $5,57 \pm 0,01 t^\circ$ ($+$ bei einer Temperatur unter 0° , $-$ bei einer Temperatur über 0°) abzuziehen.

Beispiel.

Am 10. Mai 1884 wurde in Hongkong der Zeitball um $1^h 0^m 0^s$ p. m. Ortszeit oder um $5^h 23^m 20^s$ mitl. Grnw. Zeit nach der Beobachtungsuhr beobachtet. Die Beobachtungsuhr zeigte $12^h 12^m 58,5^s$; der Vergleich derselben mit dem Chronometer B und der Vergleich der Chronometer unter einander ergab: Chr. B gegen B.U. $+ 6^h 24^m 50^s$, Chr. A gegen $B + 1^h 11^m 12,5^s$, Chr. C gegen $B - 2^h 14^m 55,5^s$.

mitl. Grnw. Zt. $5^h 23^m 20^s$ a. m.

B. U. $12^h 12^m 58,5^s$ p. m.

Std. d. B. U. $- 6^h 49^m 38,5^s$

Chr. B g. U. $+ 6^h 24^m 50^s$

Std. $B - 24^m 48,5^s$

$- 24^m 48,5^s$

$- 24^m 48,5^s$

A g. $B + 1^h 11^m 12,5^s$

C g. $A - 2^h 14^m 7^s$

Std. $A + 46^m 24^s$

Std. $C - 2^h 38^m 55,5^s$

Der Gang eines Chronometers ergibt sich aus der Differenz zweier Stände dividirt durch die Zwischenzeit. Der so gefundene Gang g ist für Temperatur unverbessert; um aus demselben den Gang g_0 bei einer bestimmten Temperatur (15° C.) zu erhalten, hat man die für die Temperaturen der Zwischenzeit geltenden Temperaturkorrekturen zu berücksichtigen. Sind S_1 und S_2 zwei bestimmte Stände, zwischen denen ein Zwischenraum von n Tagen liegt, und ist C_0 die

Summe der den täglichen Temperaturen während der Zwischenzeit entsprechenden Temperaturkorrekturen, so ist

$$g = \frac{S_2 - S_1}{n} \text{ und } g_0 = \frac{S_2 - S_1 - C_0}{n}.$$

Einfacher und für die Praxis genügend zur Bestimmung von g_0 ist es, wenn man g bestimmt, für die Zwischenzeit die Mitteltemperatur bildet und die dieser entsprechende Temperaturkorrektur mit umgekehrtem Vorzeichen auf g anwendet. Wenn g_0 einmal bestimmt ist, so lässt sich ein neues g_0 noch einfacher ohne Gebrauch der Temperaturkorrektur aus der Differenz des neu bestimmten Standes und des mit dem alten g_0 für dieselbe Zeit berechneten Standes ermitteln; man erhält auf diese Weise die Aenderung von g_0 , Δg_0 , welche, auf das alte g_0 angewandt, das neue g_0 giebt.

Ist S_b der beobachtete Stand und S_r der mit dem alten g_0 seit der letzten Standbestimmung n Tage lang berechnete Gang, so ist

$$\Delta g_0 = \frac{S_b - S_r}{n}.$$

Dies Verfahren ist besonders dann zu empfehlen, wenn die Zwischenzeit zwischen den einzelnen Standbestimmungen gross ist und die Temperaturänderungen stark sind.

Liegt zwischen den beiden Standbestimmungen eine lange Zeit mit starken Temperaturänderungen, wie dies auf Reisen oft unvermeidlich ist, so wird die Zuverlässigkeit der daraus resultirenden Gangbestimmung natürlich etwas in Frage gestellt, da in der Zwischenzeit der Gang sich öfters und erheblich geändert haben kann. Ein zuverlässiges Resultat kann eine solche Gangbestimmung daher nur bei kurzen Reisen geben, während welcher keine erheblichen Temperaturwechsel und keine besonderen sonstigen Störungen vorgekommen sind. Die Bestimmung des Ganges muss im Uebrigen jedesmal selbstständig neben jeder im Hafen zu erlangenden Standbestimmung vorgenommen werden. Der Gang ist auf zwei Decimalstellen genau zu ermitteln und im Journal in Rechnung zu ziehen. Wenn auch Uhrvergleich und Beobachtungen nur auf Zehntel notirt und dabei noch um 0,2 bis 0,3 Sekunden unsicher werden, so würde doch eine schädliche Vernachlässigung darin liegen, die täglichen Gänge deshalb ebenfalls auf Zehntel abzurunden. In die nautischen Rechnungen dagegen sind die Hundertstel der Sekunden aus dem Journal nicht hinüber zu schleppen.

Beispiele.

1. Am 1. November 1883 wurde an Bord S. M. S. „Prinz Adalbert“ der Stand des Chronometers in Plymouth um 1^h 0^m mittl. Grnw. Zt. zu + 0^h 33^m 16,00^s bestimmt, am 14. November in Genua um 11^h a. m. mittl. Grnw. Zt. zu + 0^h 33^m 57,60^s, die mittlere Temperatur während der Zwischenzeit war gleich 18° C. Es soll der tägliche Gang g_0 bestimmt werden —

$$S_2 = + 0^h 33^m 57,60^s$$

$$S_1 = + 0^h 33^m 16,00^s$$

$$S_2 - S_1 = + 41,60^s$$

Zwischenzeit 12 Tage 22 Stunden = 12,9 Tage

$$g = \frac{+ 41,6}{12,9} = + 3,23^s; \text{ die Temperaturkorrektur für}$$

18° ist nach der Tabelle — 0,03^s

demnach $g_0 = + 3,23^s$

$$+ 0,03^s$$

$$= + 3,26^s$$

2. Am 21. December 1883 um 0^h 0^m mittl. Grnw. Zt. wurde der Stand des Chronometers in Genua zu + 0^h 36^m 5,6^s und der Gang g_0 zu + 3,45^s bestimmt, und hiermit der Stand am 27. Februar 1884 zu 0^h 39^m 46,42^s berechnet und für dieselbe Zeit in Kapstadt mittelst Zeitballbeobachtung ein Stand von + 0^h 40^m 52,7^s bestimmt.

$$S_b = + 0^h 40^m 52,7^s$$

$$S_r = + 0^h 39^m 46,42^s$$

$$S_b - S_r = + \frac{1^m}{68} 6,28^s; \text{ Zwischenzeit 68 Tage, demnach}$$

$$\Delta g_0 = \frac{+ 66,28^s}{68} = + 0,97^s$$

$$\text{altes } g_0 = + 3,45^s$$

$$\text{neues } g_0 = + 4,42^s$$

Zur Erleichterung für die Verwandlung von Stunden, Minuten und Sekunden in Bruchtheile eines Tages ist am Schlusse eine Tabelle (VI) beigelegt.

Bestimmung des wahrscheinlichsten Chronometerganges aus einer Reihe von Standbestimmungen.

Hat man mehrere Standbestimmungen in kurzer Zeit hinter einander genommen, so ist es unter der Voraussetzung gleich guter Beobachtungen — etwaige minderwerthige sind besser ganz auszuschliessen von der Berechnung — richtig und vortheilhaft, dieselben für die Gangbestimmung alle zu verwerthen, um dadurch etwaige Beobachtungsfehler und Unregelmässigkeiten möglichst auszugleichen. Hat man n Standbestimmungen gemacht, so würden sich durch die verschiedenen Combinationen derselben $\frac{n(n-1)}{2}$ Gleichungen und aus denselben eben so viele Gänge herleiten lassen.

Aus diesen Gängen das Mittel als den richtigsten Gang zu nehmen, wäre nicht korrekt, da dieselben nicht gleichwerthig sind, sondern je nach der zwischen den beiden Standbestimmungen, aus welchen sie hergeleitet sind, verflossenen Zeit einen grösseren oder geringeren Werth besitzen. Um diese Werthe in der ihnen zukommenden Weise zu berücksichtigen, verfährt man nach der Methode der kleinsten Quadrate wie folgt: Man bilde alle aus den Standbestimmungen möglichen Gleichungen für g , multiplicire jede einzelne Gleichung mit dem Faktor von g — d. i. die in Tagen ausgedrückte Zwischenzeit zwischen den beiden zugehörigen Standbestimmungen —, addire sämmtliche so erhaltenen Gleichungen und berechne aus der Endgleichung g .

Ist α die Differenz zweier Stände, zwischen denen ein Zeitraum von m Tagen liegt

β	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n	-	-
γ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	o	-	-
δ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	p	-	-
ε	-	-	-	-	-	-	-	-	-	q	-	-

so lautet die Endgleichung zur Bestimmung von g

$$g = \frac{m\alpha + n\beta + o\gamma + p\delta + q\varepsilon}{m^2 + n^2 + o^2 + p^2 + q^2}.$$

Zum Beweis der Richtigkeit dieses Verfahrens möge Folgendes dienen:

Die Wahrscheinlichkeitslehre weist nach, dass, wenn eine Grösse aus verschiedenen gleich guten Beobachtungen ermittelt werden soll, derjenige Werth der wahrscheinlichste oder richtigste ist, für welchen die Summe der Quadrate der Beobachtungsfehler ein Minimum wird. Hat man z. B. aus Beobachtungen die Gleichungen abgeleitet:

$$\begin{aligned} ax - b &= 0 \\ a'x - b' &= 0 \\ a''x - b'' &= 0 \text{ u. s. w.,} \end{aligned}$$

aus welchen x bestimmt werden soll, so wird sich im Allgemeinen aus jeder Gleichung ein verschiedener Werth für x ergeben, weil die Gleichungen Beobachtungsfehler enthalten. Es seien die zugehörigen Beobachtungsfehler ω , ω' und ω'' , so ist nicht mehr $ax - b = 0$, sondern $ax - b = \omega$, ebenso $a'x - b' = \omega'$ u. s. w. Der wahrscheinlichste Werth von x ist nun derjenige, für welchen $\omega^2 + \omega'^2 + \omega''^2$ ein Minimum wird, demnach

$$(ax - b)^2 + (a'x - b')^2 + (a''x - b'')^2 = \text{Minimum ist.}$$

Dies ist der Fall, wenn

$$2(ax - b)ax + 2(a'x - b')a'dx + 2(a''x - b'')a''dx = 0, \quad \text{oder}$$

$$a(ax - b) + a'(a'x - b') + a''(a''x - b'') = 0$$

$$x = \frac{ab + a'b + a''b''}{a^2 + a'^2 + a''^2}$$

Die letzten beiden Gleichungen entsprechen der oben angeführten Regel und der Endgleichung.

Sind grosse Temperaturdifferenzen innerhalb der einzelnen Zeiträume zwischen den Standbestimmungen vorhanden, so müsste man streng genommen die Temperaturkorrektion bei jeder Ganggleichung in Rechnung ziehen; solche Fälle werden aber, da die Zeiträume in einander übergreifen, nicht vorkommen, und es genügt, auf das erhaltene g , wie angegeben, die Temperaturkorrektion für die Mitteltemperatur anzuwenden, um g_0 zu erhalten.

Beispiel 1.

Es sind am 3., 6., 9. und 12. November folgende Stände beobachtet; die mittlere Temperatur während der Zeit betrug 10°C. und die Temperaturkorrektion hierfür $-0,32^s$ (mit diesem Vorzeichen auf g_0 anwendbar).

November 3.	$S_1 = + 2^m 1,0^s$		
- 6.	$S_2 = + 2^m 35,0^s$		
- 9.	$S_3 = + 3^m 2,0^s$		
- 12.	$S_4 = + 3^m 43,0^s$		
$S_2 - S_1$	$3g = + 34$	$9g = 102$	
$S_3 - S_1$	$6g = + 61$	$36g = 366$	
$S_4 - S_1$	$9g = + 102$	$81g = 918$	
$S_3 - S_2$	$3g = + 27$	$9g = 81$	
$S_4 - S_2$	$6g = + 68$	$36g = 408$	
$S_4 - S_3$	$3g = + 41$	$9g = 123$	
		$180g = 1998$	

$$g = \frac{1998}{180} = + 11,10^s$$

$$\text{Temperaturkorrektion} = - 0,32^s$$

$$g_0 = + 10,78^s$$

Beispiel 2.

Es wurden am 6., 7., 9., 11., 13. und 14. März folgende Standbestimmungen gemacht; die Mitteltemperatur während der Zeit betrug 25° , die dieser entsprechende Temperaturkorrektion $-0,50^s$.

März 6.	$S_1 = + 6^h 41^m 32^s$
- 7.	$S_2 = + 6^h 41^m 32^s$
- 9.	$S_3 = + 6^h 41^m 34^s$
- 11.	$S_4 = + 6^h 41^m 42^s$
- 13.	$S_5 = + 6^h 41^m 51^s$
- 14.	$S_6 = + 6^h 41^m 50^s$

daraus ergeben sich die Gleichungen:

1 g = 0	1 g = 0
3 g = 2	9 g = 6
5 g = 10	25 g = 50
7 g = 19	49 g = 133
8 g = 18	64 g = 144
2 g = 2	4 g = 4
4 g = 10	16 g = 40
6 g = 19	36 g = 114
7 g = 18	49 g = 126
2 g = 8	4 g = 16
4 g = 17	16 g = 68
5 g = 16	25 g = 80
2 g = 9	4 g = 18
3 g = 8	9 g = 24
1 g = -1	1 g = -1
312 g = +822	
$g = +\frac{822}{312} = +2,635^s$	
Temperaturkorrektion = +0,32	
$g_0 = +2,95^s$	

Das Verfahren lässt sich auch zur Bestimmung von Δg_0 anwenden, jedoch kann man dann nicht alle Kombinationen zwischen den Ständen benutzen, sondern nur die mit dem ersten Stande, von welchem die Berechnung der übrigen Stände mit dem alten g_0 begann, möglichen Verbindungen.

Beispiel.

An Bord S. M. S. „Prinz Adalbert“ wurden am 31. April 1884 in Singapore für die Chronometer *A*, *B* und *C* folgende Stände und Gänge ermittelt:

Chronometer <i>A</i>	Stand + 0h 45m 39,9s,	$g_0 + 4,86^s$
- <i>B</i>	Stand - 0h 25m 41,1s,	$g_0 = + 2,35^s$
- <i>C</i>	Stand - 2h 39m 33,1s,	$g_0 = - 1,73^s$.

Mit diesen Ständen und Gängen wurde weiter gerechnet und am 10., 12. und 14. Mai in Hongkong die folgenden Stände durch Zeitballbeobachtungen bestimmt. Die für dieselben Tage berechneten Stände sind unter den ersten angegeben.

Chronometer	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
10. Mai Beob. St.	+ 0h 46m 24,0s	- 0h 24m 48,5s	- 2h 38m 55,5s
Ber. St.	+ 0h 46m 22,22s	- 0h 24m 56,27s	- 2h 38m 59,55s
(31. April bis 10. Mai = 10 Tage)	10 $\Delta g_0 = + 1,78^s$	+ 7,77s	+ 4,05s
12. Mai Beob. St.	+ 0h 46m 32,5s	- 0h 24m 39,0s	- 2h 38m 51,0s
Ber. St.	+ 0h 46m 31,04s	- 0h 24m 48,36s	- 2h 38m 54,92s
	12 $\Delta g_0 = + 1,46^s$	+ 9,36s	+ 3,92s
14. Mai Beob. St.	+ 0h 46m 42,3s	- 0h 24m 30,2s	- 2h 38m 48,2s
Ber. St.	+ 0h 46m 40,17s	- 0h 24m 41,37s	- 2h 38m 52,23s
	14 $\Delta g_0 = + 2,13^s$	+ 11,17s	+ 4,03s

A		B	
10 $\Delta g_0 = + 1,78^s$	100 $\Delta g_0 = + 17,8^s$	10 $\Delta g_0 = + 7,77^s$	100 $\Delta g_0 = + 77,7^s$
12 $\Delta g_0 = + 1,46^s$	144 $\Delta g_0 = + 17,52^s$	12 $\Delta g_0 = + 9,36^s$	144 $\Delta g_0 = + 112,32^s$
14 $\Delta g_0 = + 2,13^s$	196 $\Delta g_0 = + 29,82^s$	14 $\Delta g_0 = + 11,17^s$	196 $\Delta g_0 = + 156,28^s$
	440 $\Delta g_0 = + 65,14^s$		440 $\Delta g_0 = + 346,40^s$
	$\Delta g_0 = + 0,15^s$		$\Delta g_0 = + 0,79^s$
	altes $g_0 = + 4,86^s$		altes $g_0 = + 2,35^s$
	neues $g_0 = + 5,01^s$		neues $g_0 = + 3,14^s$
C			
10 $\Delta g_0 = + 4,05^s$	100 $\Delta g_0 = + 40,5^s$	144 $\Delta g_0 = + 47,04^s$	
12 $\Delta g_0 = + 3,92^s$	144 $\Delta g_0 = + 47,04^s$	196 $\Delta g_0 = + 56,42^s$	
14 $\Delta g_0 = + 4,03^s$	196 $\Delta g_0 = + 56,42^s$	440 $\Delta g_0 = + 143,96^s$	
		$\Delta g_0 = + 0,33^s$	
		altes $g_0 = - 1,73^s$	
		neues $g_0 = - 1,40^s$	

Sind die Zwischenzeiten zwischen den zur Gangbestimmung benutzten Ständen gleich, so lässt sich die Rechnung bedeutend abkürzen. In diesem Falle ist nämlich, wenn $S_1 S_2 S_3 \dots$ die beobachteten Stände, $T_1 T_2 T_3 \dots$ die dazu gehörigen Zeiten sind:

$$g = \frac{(S_n - S_1)(T_n - T_1) + (S_{n-1} - S_2)(T_{n-1} - T_2) + (S_{n-2} - S_3)(T_{n-2} - T_3) + \dots}{(T_n - T_1)^2 + (T_{n-1} - T_2)^2 + (T_{n-2} - T_3)^2 + \dots}$$

In Worten würde sich die Regel zur Berechnung von g wie folgt ausdrücken lassen: Sind die Zwischenzeiten zwischen den Standbestimmungen gleich (oder nahezu gleich), so ist der wahrscheinlichste tägliche Gang gleich einem Quotienten, dessen Zähler und Nenner folgendermaassen gebildet werden:

Der Zähler. Man bilde die Differenz des letzten und ersten Standes ($S_n - S_1$) und multiplicire dieselbe mit der Anzahl Tage zwischen beiden Standbestimmungen ($T_n - T_1$); ebenso bilde man die Differenz zwischen dem vorletzten und zweiten Stande und multiplicire dieselbe wieder mit der Zwischenzeit ($S_{n-1} - S_2$) ($T_{n-1} - T_2$), fahre so fort bis zur Mitte und addire die so entstandenen Produkte.

Der Nenner ist gleich der Summe der Quadrate der Zwischenzeiten (der im Zähler stehenden Faktoren der Standdifferenzen).

Bei einer ungeraden Anzahl von Standbestimmungen bleibt ein Mittelglied übrig; dasselbe braucht nicht weiter berücksichtigt zu werden.

Zum Beweis diene Folgendes: Beträgt die Zwischenzeit zwischen den Ständen $S_1 S_2 S_3 S_4 S_5$ je n Tage, so hat man:

$$\begin{array}{ll} S_5 - S_1 = 4 ng & 4n(S_5 - S_1) = (4n)^2 g \\ S_4 - S_1 = 3 ng & 3n(S_4 - S_1) = (3n)^2 g \\ S_3 - S_1 = 2 ng & 2n(S_3 - S_1) = (2n)^2 g \\ S_2 - S_1 = ng & n(S_2 - S_1) = n^2 g \\ S_5 - S_2 = 3 ng & 3n(S_5 - S_2) = (3n)^2 g \\ S_4 - S_2 = 2 ng & 2n(S_4 - S_2) = (2n)^2 g \\ S_3 - S_2 = ng & n(S_3 - S_2) = n^2 g \\ S_5 - S_3 = 2 ng & 2n(S_5 - S_3) = (2n)^2 g \\ S_4 - S_3 = ng & n(S_4 - S_3) = n^2 g \\ S_5 - S_4 = ng & n(S_5 - S_4) = n^2 g \end{array}$$

$$n(-10 S_1 - 5 S_2 + 0 \cdot S_3 + 5 S_4 + 10 S_5) = gn^2(4^2 + 2 \cdot 3^2 + 3 \cdot 2^2 + 4 \cdot 1^2)$$

$$n[10(S_5 - S_1) + 5(S_4 - S_2)] = 50 n^2 g$$

$$g = \frac{10n(S_5 - S_1) + 5n(S_4 - S_2)}{50n^2} = \frac{2n(S_5 - S_1) + n(S_4 - S_2)}{10n^2}$$

$$= \frac{4n(S_5 - S_1) + 2n(S_4 - S_2)}{20n^2} = \frac{4n(S_5 - S_1) + 2n(S_4 - S_2)}{(4n)^2 + (2n)^2}$$

$4n$ ist aber gleich der Zwischenzeit zwischen S_5 und S_1 , $2n$ gleich derjenigen zwischen S_4 und S_2 . In derselben Weise lässt sich eine solche der obigen Formel entsprechende Gleichung für eine beliebige Anzahl von Ständen herleiten.

Diese Berechnungsmethode lässt sich auch noch anwenden, wenn die Zwischenzeiten nicht ganz gleich sind, sondern etwas von einander abweichen.

Beispiele.

1. In dem auf Seite 207 angeführten Beispiel war beobachtet

$$\begin{array}{ll} \text{November 3.} & S_1 = + 2^m 1,0^s \\ \text{"- 6.} & S_2 = + 2^m 35,0^s \\ \text{"- 9.} & S_3 = + 3^m 2,0^s \\ \text{"- 12.} & S_4 = + 3^m 43,0^s \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} S_4 - S_1 = 102^s & T_4 - T_1 = 9 \\ S_3 - S_2 = 27^s & T_2 - T_1 = 3; \text{ demnach} \end{array}$$

$$g = \frac{9 \cdot 102 + 3 \cdot 27}{9^2 + 3^2} = \frac{999}{90} = + 11,10^s, \text{ dasselbe Resultat wie nach der ersten Berechnung.}$$

2. Durch Zeitballbeobachtungen wurden folgende 6 Stände gefunden:

$$\begin{array}{ll} \text{Mai 13.} & S_1 = + 1^h 3^m 35,3^s \\ \text{"- 14.} & S_2 = + \quad \quad 33,5^s \\ \text{"- 15.} & S_3 = + \quad \quad 32,0^s \\ \text{"- 16.} & S_4 = + \quad \quad 30,5^s \\ \text{"- 17.} & S_5 = + \quad \quad 28,5^s \\ \text{"- 18.} & S_6 = + \quad \quad 26,5^s \end{array}$$

$$g = \frac{-(5 \cdot 8,8 + 3 \cdot 5,0 + 1 \cdot 1,5)}{5^2 + 3^2 + 1^2} = \frac{-60,5}{35} = - 1,729^s$$

3. In Beispiel 2 auf Seite 207 waren die Zwischenzeiten zwischen den Standbestimmungen nicht ganz gleich; es waren gefunden:

März 6.	$S_1 = + 6^h 41^m 32^s$
- 7.	$S_2 = + . . . 32^s$
- 9.	$S_3 = + . . . 34^s$
- 11.	$S_4 = + . . . 42^s$
- 13.	$S_5 = + . . . 51^s$
- 14.	$S_6 = + . . . 50^s$

und daraus nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet $g = + 2,635$.

Nach der vorliegenden Methode ist

$$g = \frac{8 \cdot 18 + 6 \cdot 19 + 2 \cdot 8}{8^2 + 6^2 + 2^2} = \frac{274}{104} = + 2,635.$$

§ 70. Gewichte der Chronometer.

Durch Anwendung des Standes auf ein Chronometer erhält man die Zeit des ersten Meridians. Bei mehreren Chronometern benutzt man im Allgemeinen an Bord hierzu nur ein Chronometer, und zwar das beste und zuverlässigste. Wenn jedoch Beobachtungen vorliegen, aus welchen der relative Werth der Chronometer gefolgert werden kann, so ist es das Richtigste, die Angaben aller Chronometer unter Berücksichtigung dieser Werthe zu verwenden.

Die relativen Werthe der Chronometer gegen einander werden in Zahlen ausgedrückt durch ihre Gewichte. Kennt man die Gewichte, so erhält man den wahrscheinlichsten Werth nach allen Chronometern, indem man die Angabe jedes Chronometers mit seinem Gewichte multiplicirt, diese Produkte addirt und die Summe durch die Summe der Gewichte dividirt.

Ein Kriterium für die Güte eines Chronometers an Bord ist die Zuverlässigkeit resp. die Unveränderlichkeit seines Ganges; diese Eigenschaft der Chronometer lässt sich dementsprechend zur Ableitung der Gewichte benutzen. Ein durch das Chronometer verursachter Fehler lässt sich ausdrücken durch die Abweichung des benutzten Ganges von dem wahren Gange; die Summe aller Abweichungen der Gänge eines Chronometers von dem wahren Gange würde demnach einen Maassstab für die Fehlerhaftigkeit resp. die grössere oder geringere Zuverlässigkeit des Chronometers bilden; ein noch schärferes und präciseres Maass bildet nach der Wahrscheinlichkeitslehre die Summe der Quadrate dieser Abweichungen.

Als wahrer Gang lässt sich angenähert das Mittel der Gänge ansehen. Da sich die Gewichte der Chronometer umgekehrt wie ihre Fehlerhaftigkeit verhalten, so folgt: Die

Gewichte verschiedener Chronometer verhalten sich umgekehrt wie die Summe der Quadrate der Abweichungen der einzelnen Gänge von dem mittleren Gange.

Beispiel 1.

Chronometer A			Chronometer B			Chronometer C		
Gang <i>g</i> ₀	Abwei- chung vom Mittel <i>v</i>	Quadrat der Ab- weichung <i>v</i> ²	Gang <i>g</i> ₀	Abwei- chung vom Mittel <i>v</i>	Quadrat der Ab- weichung <i>v</i> ²	Gang <i>g</i> ₀	Abwei- chung vom Mittel <i>v</i>	Quadrat der Ab- weichung <i>v</i> ²
+10,7	+0,15	0,022	-6,2	-0,22	0,048	-3,3	+0,08	0,006
+10,9	-0,05	0,002	-6,8	+0,38	0,144	-4,2	+0,98	0,960
+10,8	+0,05	0,003	-6,0	-0,42	0,176	-3,9	+0,68	0,462
+11,0	-0,15	0,023	-6,9	+0,48	0,230	-2,0	-1,22	1,488
+10,9	-0,05	0,002	-6,1	-0,32	0,102	-1,9	-1,32	1,742
+10,8	+0,05	0,003	-6,5	+0,08	0,006	-4,9	+0,78	0,648
Mittel: = +10,85		$\Sigma(v^2) =$ 0,055	Mittel: = -0,42		$\Sigma(v^2) =$ 0,706	Mittel: = -3,22		$\Sigma(v^2) =$ 5,270

Hieraus ergibt sich für die Gewichtsbestimmung:

$$A : B : C = \frac{1}{0,055} : \frac{1}{0,706} : \frac{1}{5,270} = 96 : 7 : 1.$$

Durch angestellte Beobachtung ergab sich eine mittlere Greenw. Zeit: nach Chr. A 9^h 6^m 20^s, nach Chr. B 9^h 6^m 23^s, nach Chr. C 9^h 6^m 14^s. Welches ist die wahrscheinlichste Zeit?

Durch Anwendung der Gewichte auf die Sekunden hat man:

$$\frac{20 \cdot 96 + 23 \cdot 7 + 14 \cdot 1}{96 + 7 + 1} = 20,0,$$

die wahrscheinlichste Zeit ist demnach 9^h 6^m 20^s.

Beispiel 2.

Chronometer A			Chronometer B			Chronometer C		
<i>g</i>	<i>v</i>	<i>v</i> ²	<i>g</i>	<i>v</i>	<i>v</i> ²	<i>g</i>	<i>v</i>	<i>v</i> ²
-2,65	+0,45	0,2025	-1,00	+0,29	0,0841	-0,35	+0,22	0,0484
-3,10	0,00	0,0000	-1,35	-0,06	0,0036	-0,70	-0,13	0,0169
-3,10	0,00	0,0000	-1,30	-0,01	0,0001	-0,60	-0,03	0,0009
-3,30	-0,20	0,0400	-1,35	-0,06	0,0036	-0,55	+0,02	0,0004
-3,35	-0,25	0,0625	-1,45	-0,16	0,0256	-0,65	-0,08	0,0064
Mittel: = -3,10		$\Sigma(v^2) =$ 0,3050	Mittel: = -1,29		$\Sigma(v^2) =$ 0,1170	Mittel: = -0,57		$\Sigma(v^2) =$ 0,0730

$$A : B : C = \frac{1}{0,305} : \frac{1}{0,117} : \frac{1}{0,073} = 1 : 2,6 : 4,1.$$

Man erhielt die Greenwicher Zeiten:

nach A 7^h 24^m 8^s, nach B 7^h 24^m 4^s, nach C 7^h 24^m 2^s.

$$\frac{8 \cdot 1 + 4 \cdot 2,6 + 2 \cdot 4,1}{1 + 2,6 + 4,1} = 3,5.$$

Die wahrscheinlichste Greenwicher Zeit ist 7^h 24^m 3,5^s.

Eine angenäherte Bestimmung der Gewichtsverhältnisse der Chronometer lässt sich unter Umständen bei mindestens drei Chronometern auch aus einer Reihe von täglichen Vergleichen derselben untereinander, also ihren relativen Gängen, herleiten. Man bilde von den Differenzen $A - B$, $A - C$, $B - C$, auf dieselbe Weise wie in den voraufgehenden Beispielen von den Gängen, die Summe der Quadrate der Abweichungen von der mittleren Differenz.

Zeigen sich in denselben keine erheblichen Unterschiede, so können die Gewichte der Chronometer als gleich angesehen werden. Ist dagegen der relative Gang einer Gruppe z. B. $A - B$ ganz überwiegend besser, als die beiden anderen $A - C$ und $B - C$, so ist das Gewicht von C das geringste von den dreien. Ist weiter noch $A - C$ entschieden besser als $B - C$, so ist auch A besser als B , und es folgen die Gewichte in der Ordnung A, B, C . Kann man schliesslich die Unregelmässigkeiten von A gegen die von B und C fast als verschwindend ansehen, so lässt sich das Gewichtsverhältniss von B zu C angenähert aus $A - B$ und $A - C$ so bestimmen, als wenn damit die einzelnen Gänge von B und C bekannt wären, nur bleibt die Gewichtszahl für A unbestimmt grösser als die genähert gefundenen Gewichtszahlen der beiden anderen Chronometer.

Beispiel.

Die folgenden relativen Gänge $A - B$, $A - C$ und $B - C$ entsprechen den Gängen des letzten Beispiels 1 (Seite 212).

$A - B$	v	v^2	$A - C$	v	v^2	$B - C$	v	v^2
+16,9	+0,37	0,137	+14,0	+0,07	0,005	-2,9	-0,30	0,090
+17,7	-0,43	0,185	+15,1	-1,03	1,061	-2,6	-0,60	0,360
+16,8	+0,47	0,221	+14,7	-0,63	0,397	-2,1	-1,10	1,210
+17,9	-0,63	0,397	+13,0	+1,07	1,145	-4,9	+1,70	2,890
+17,0	+0,27	0,073	+12,8	+1,27	1,613	-4,2	+1,00	1,000
+17,3	-0,03	0,001	+14,8	-0,73	0,754	-2,5	-0,70	0,490
Mittel: = +17,27		$\Sigma(v^2) =$ 1,014	+14,07		$\Sigma(v^2) =$ 4,754	-3,20		$\Sigma(v^2) =$ 6,040

Aus den Werthen Σ (v^2) geht hervor, dass C das schlechteste Chronometer ist, ferner, dass A besser als B , die Reihenfolge also A, B, C ist. Wird das Gewicht von A als konstant vorausgesetzt, so erhält man angenähert das Verhältniss der Gewichte von B und C aus:

$$B : C = (A - B) : (A - C) = \frac{1}{1,014} : \frac{1}{4,754} = 5 : 1.$$

Es stimmt dies näherungsweise mit dem obigen Beispiel überein.

IX. Kapitel.

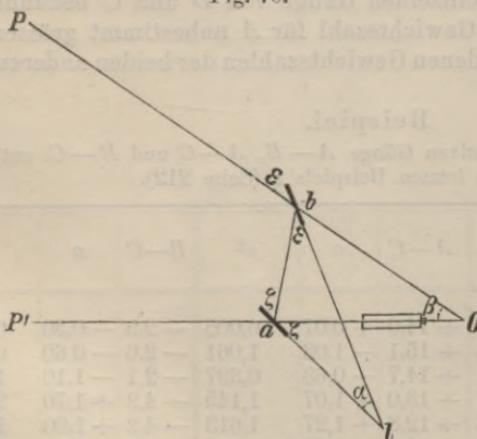
Die Reflexions-Instrumente.

§ 71. Zum Winkelmessen bedient man sich in der Navigation ausschliesslich der Reflexions-Instrumente, welche nur den Winkel zwischen zwei Linien messen und daher keiner bestimmten Ebene als Grundlage bedürfen, wie dies bei solchen Instrumenten der Fall ist, welche die Winkel zweier Ebenen zu messen bestimmt sind.

Das Princip der Reflexions-Instrumente ist kurz folgendes:

Senkrecht zur Ebene des Instruments (der Ebene, in welcher der zu messende Winkel liegt) befinden sich zwei Spiegel, ein fester, der sogenannte kleine Spiegel a und ein drehbarer, der grosse Spiegel b (Fig. 70). Bilden beide Spiegel einen beliebigen Winkel α mit einander, so ergiebt sich aus den Grundgesetzen der Spiegelung Folgendes:

Fig. 70.



Ein Lichtstrahl vom Punkte P , welcher den grossen Spiegel in b trifft unter einem Winkel ϵ , wird unter demselben Winkel ϵ nach dem kleinen Spiegel reflektirt, wo er in a den Winkel ζ zur Spiegelfläche bildet und wiederum unter demselben Winkel ζ nach O hin reflektirt wird. Der Lichtstrahl legt also den Weg

$PbaO$ zurück, der Winkel $POa = \beta$ ist bestimmt durch den Winkel α , welchen beide Spiegel mit einander bilden.

Es ist nämlich für das Dreieck abl der Aussenwinkel

$$\zeta = \alpha + \varepsilon$$

für das Dreieck abO der Aussenwinkel

$$2\zeta = \beta + 2\varepsilon, \text{ daher:}$$

$$\beta = 2\alpha.$$

Wenn man also in der Richtung Oa ausser dem gespiegelten Objekt P noch ein direkt gesehenes P' wahrnimmt, so ist der Winkel POP' stets gleich dem doppelten Winkel, welchen beide Spiegel einschliessen. Stehen beide Spiegel parallel, so sind die beiden Lichtstrahlen (gespiegelt und direkt gesehen) parallel auf das Instrument gefallen. Diese Stellung ist also der Nullpunkt für die Winkelmessung. Verschiebt man nun die Alhidade des Instruments, deren Drehaxe zugleich die des grossen Spiegels ist, um den Winkel α , so beträgt der Winkel zwischen den beiden Punkten, welche in der Richtung Oa der eine gespiegelt, der andere direkt gesehen erscheinen, 2α . Der Winkel α wird auf einem getheilten Kreise, dem Limbus, durch Verschiebung der Alhidade gemessen. Damit man den Winkel 2α direkt ablesen kann, ist die Theilung des Limbus verdoppelt, d. h. ein Gradbogen des Theilkreises ist stets als zwei Gradbogen dargestellt.

Dies ist das Princip aller Reflexions-Instrumente. Der feste (kleine) Spiegel wird bei einigen Konstruktionen durch ein Prisma ersetzt, welches aber genau so wirkt wie ein Spiegel.

Die Winkelablesung erfolgt mit Hülfe des Nonius nach folgender Theorie. Wenn man an einem Metermaassstabe, welcher in Millimeter getheilt ist, eine Länge von 9 mm abmisst, diese Länge in 10 gleiche Theile theilt und verschiebbar an den Maassstab anlegt, so ergibt sich Folgendes: Wenn der erste Theilstrich dieser Länge mit einem Theilstrich der Millimetertheilung koincidirt, so schneidet der zweite Theilstrich bei 0,9 mm ab, der dritte bei 1,8 mm u. s. f. Denn jeder Theilstrich beträgt $\frac{9}{10}$ mm. Schneidet also der erste Theilstrich bei 1,0 mm ab, so ist der Nullstrich um 0,1 mm verschoben; schneidet der zweite Theilstrich bei 2,0 mm ab, so ist der Nullstrich um 0,2 mm verschoben u. s. f. Auf diese Weise hat man ein Mittel, den Ort des Nullstrichs an der Theilung direkt auf Zehntel der Einheiten, in welche der Maassstab getheilt ist, abzulesen. Eine solche Vorrichtung heisst ein Nonius.

Bei den Reflexions-Instrumenten liegt der Nullpunkt des Nonius, — welcher letztere mit der Alhidade fest verbunden

am Theilkreise entlang fährt, — in der Verlängerung der Ebene des grossen Spiegels und giebt auf dem Theilkreise den Winkel an, um welchen dieser Spiegel von seiner Parallelstellung mit dem kleinen Spiegel entfernt ist. Bei Sextanten ist der Limbus von 10 zu 10 Minuten (welche in Wirklichkeit nur Bogenstücke von je 5 Minuten sind) getheilt. Die Länge des Nonius beträgt 59 solcher 10-Minutentheile, und diese Länge ist in 60 gleiche Theile getheilt. Jeder Theil des Nonius beträgt also $\frac{59}{60}$ des Limbus oder $1 - \frac{1}{60}$, so dass man $\frac{1}{60}$ der Limbustheilung oder 10 Sekunden direkt durch Koincidenz der Theilstriche ablesen kann.

Die Sechzigtheilung des Nonius wird im Allgemeinen festgehalten; die Feinheit der Limbustheilung variiert je nach der Alhidadlänge und der Feinheit des Instruments. Die üblichsten Reflexions-Instrumente sind:

Oktanten mit Theilung in halbe Grade oder 20 Minuten, also bezw. 30- oder 20-Sekunden-Ablesung.

Sextanten mit 15- oder 10-Sekunden-Ablesung.

Sechszöllige Prismenkreise mit 20-Sekunden-Ablesung.

Zehnzöllige Prismenkreise mit 10-Sekunden-Ablesung.

Die Oktanten sind gewöhnlich bis 100° , die Sextanten bis 125° oder 135° getheilt. Ein Winkel über 126° ist aber mit einem Reflexions-Instrument gewöhnlich nicht mehr direkt ablesbar, da darüber hinaus jede Spiegelung aufhört. Wegen der unter sehr kleinem Winkel auffallenden Strahlen werden schon Winkel unter 120° durch die Lichtschwäche des gespiegelten Bildes ungünstig. Um die Leistungsfähigkeit des Sextanten in dieser Beziehung zu erhöhen, hat man das Fernrohr dem grossen Spiegel möglichst nahe gerückt. Es giebt Sextanten, die in dieser Weise ermöglichen, Winkel bis nahe an 140° zu messen. Je näher nämlich das Fernrohr an den grossen Spiegel gerückt wird, desto mehr ist der kleine Spiegel den vom grossen Spiegel kommenden Lichtstrahlen zugeneigt, desto weniger Licht geht also verloren, weil die auffangende Spiegelfläche grösser ist. *)

*) Eine genauere Beschreibung der Reflexions-Instrumente enthält das „Handbuch der nautischen Instrumente“.

Die erste Sitzung der Versammlung am 1. März 1848
wurde durch die Anwesenheit von 100 Mitgliedern
geöffnet. Der Präsident erklärte die Versammlung
für eröffnet und leitete die Verhandlungen ein.

Die zweite Sitzung am 2. März 1848 wurde durch
die Anwesenheit von 120 Mitgliedern eröffnet.
Der Präsident leitete die Verhandlungen ein.
Die dritte Sitzung am 3. März 1848 wurde durch
die Anwesenheit von 150 Mitgliedern eröffnet.

Die vierte Sitzung am 4. März 1848 wurde durch
die Anwesenheit von 180 Mitgliedern eröffnet.
Der Präsident leitete die Verhandlungen ein.

Die fünfte Sitzung am 5. März 1848 wurde durch
die Anwesenheit von 200 Mitgliedern eröffnet.
Der Präsident leitete die Verhandlungen ein.

Die sechste Sitzung am 6. März 1848 wurde durch
die Anwesenheit von 220 Mitgliedern eröffnet.
Der Präsident leitete die Verhandlungen ein.

Die siebte Sitzung am 7. März 1848 wurde durch
die Anwesenheit von 240 Mitgliedern eröffnet.
Der Präsident leitete die Verhandlungen ein.

Die achte Sitzung am 8. März 1848 wurde durch
die Anwesenheit von 260 Mitgliedern eröffnet.
Der Präsident leitete die Verhandlungen ein.

Die neunte Sitzung am 9. März 1848 wurde durch
die Anwesenheit von 280 Mitgliedern eröffnet.
Der Präsident leitete die Verhandlungen ein.

Die zehnte Sitzung am 10. März 1848 wurde durch
die Anwesenheit von 300 Mitgliedern eröffnet.
Der Präsident leitete die Verhandlungen ein.

Die elfte Sitzung am 11. März 1848 wurde durch
die Anwesenheit von 320 Mitgliedern eröffnet.
Der Präsident leitete die Verhandlungen ein.

Die zwölfte Sitzung am 12. März 1848 wurde durch
die Anwesenheit von 340 Mitgliedern eröffnet.
Der Präsident leitete die Verhandlungen ein.

Die dreizehnte Sitzung am 13. März 1848 wurde durch
die Anwesenheit von 360 Mitgliedern eröffnet.
Der Präsident leitete die Verhandlungen ein.

Die vierzehnte Sitzung am 14. März 1848 wurde durch
die Anwesenheit von 380 Mitgliedern eröffnet.
Der Präsident leitete die Verhandlungen ein.

Die fünfzehnte Sitzung am 15. März 1848 wurde durch
die Anwesenheit von 400 Mitgliedern eröffnet.
Der Präsident leitete die Verhandlungen ein.

§ 72. Der Werth von Beobachtungen mit Hülfe von Reflexions-Instrumenten wird beeinträchtigt durch die vielen Fehlerquellen, welche sich bei nautischen Instrumenten selten unschädlich machen lassen.

Bei den Sextanten und Oktanten ist der Fehler der Excentricität unbequem und schwierig zu ermitteln. Bei den Prismenkreisen ist diese Fehlerquelle unschädlich gemacht, dagegen ist hier die ungünstige Unterstützung des Fernrohrs unmittelbar am Objektiv ein neuer Uebelstand, da die optische Axe schwer zur Instrumentenebene parallel bleibt.

Im Folgenden sollen Andeutungen über die Ermittlung und Beseitigung der gewöhnlichsten Instrumentalfehler gegeben werden. Es sind zu untersuchen:

1. Die Theilung des Limbus und des Nonius.
2. Die senkrechte Stellung der Spiegel bzw. Prismen auf der Instrumentenebene.
3. Die parallele Stellung der optischen Axe des Fernrohrs zur Instrumentenebene.
4. Die Ebenheit und Parallelität der Spiegelflächen.
5. Dasselbe bei den Vorschlaggläsern.
6. Das Zusammenfallen der Umdrehungsaxe des grossen Spiegels mit dem Centrum der Limbustheilung (Excentricitätsfehler).
7. Die richtige Stellung des Nullpunkts der Theilung (Indexfehler).
8. Die Mikrometerschraube, Lupe, Gläser und Fäden des Fernrohrs.

Da sich die Vorschriften für Prüfung von Sextanten in allen bezüglichen Schriften wiederholen, so soll hier das Nothwendigste nur in aller Kürze aufgeführt werden.*)

1. Theilungsfehler.

Eine genaue Untersuchung der Theilung erfordert die Anwendung eines Mikrometers. Die einfache Prüfung indessen besteht darin, dass man den Nonius von Theilstrich zu Theilstrich einstellt und beobachtet, ob der $(n + 1)$ ste Strich des Nonius genau mit einem Theilstrich des Limbus zusammenfällt. Ein konstanter Fehler hierbei rührt davon her, dass der Nonius zu nahe oder zu weit von dem Mittelpunkt der Theilung entfernt ist, und lässt sich vom Mechaniker leicht korrigiren. Ein Wachsen oder Abnehmen des Fehlers deutet

*) Näheres ist ebenfalls in dem „Handbuch der nautischen Instrumente“ zu finden.

auf Excentricität (siehe 6) oder Ellipticität des Kreisbogens, und nur ein unregelmässiger Verlauf der gefundenen Korrektion muss als Theilungsfehler angesehen werden.

2. Senkrechte Stellung der Spiegel.

1. Der grosse Spiegel. Man stellt die Alhidade auf ca 60° ein und hält das Instrument so vor das Auge, dass man, schräg an dem grossen Spiegel hinabsehend, den Limbus direkt und in der Fortsetzung gespiegelt sieht.

Wenn der gespiegelte Limbus als gerade Fortsetzung der direkt gesehenen erscheint, so steht der Spiegel richtig. Erscheint die Linie gebrochen, so ist der Spiegel geneigt und muss durch die Korrektionsschrauben gerade gestellt werden. Wenn solche nicht vorhanden sind, ist der Spiegel in der Regel so adjustirt, dass keine Veränderung seiner richtigen Stellung zu befürchten ist. Den Einfluss einer fehlerhaften Stellung des grossen Spiegels macht folgende Tafel, welche aus Bauernfeind's Vermessungskunde entnommen ist, ersichtlich:

Negative Korrektion wegen der Neigung des grossen Spiegels.

Beobachteter Winkel	Neigung des grossen Spiegels gegen die Normale der Sextantenebene							
	5'	10'	15'	20'	25'	30'	35'	40'
0	"	"	"	"	"	"	"	"
10	0,04	0,15	0,34	0,60	0,96	1,37	1,87	2,44
20	0,08	0,30	0,68	1,22	1,92	2,75	3,75	5,00
30	0,12	0,45	1,02	1,83	2,88	4,13	5,63	7,36
40	0,17	0,60	1,37	2,44	3,86	5,54	7,40	9,86
50	0,21	0,76	1,72	3,08	4,84	6,95	9,52	12,39
60	0,25	0,92	2,09	3,72	5,86	8,40	11,46	14,88
70	0,29	1,06	2,41	4,30	6,77	9,72	13,35	17,32
80	0,34	1,24	2,84	5,05	7,96	11,42	15,57	20,34
90	0,39	1,42	3,23	5,75	8,90	12,99	17,72	23,46
100	0,44	1,60	3,64	6,47	10,20	14,73	19,95	26,08
120	0,55	1,98	4,50	8,02	12,64	18,13	24,72	32,30

2. Der kleine Spiegel. Man beobachtet mittelst des Fernrohrs einen Stern und lässt das gespiegelte Bild desselben an dem direkt gesehenen passiren, indem man

die Alhidade um den Nullpunkt herum hin und her bewegt. Wenn die beiden Bilder dabei nicht genau zur Deckung zu bringen sind, so steht der kleine Spiegel nicht normal, d. h. nicht parallel mit dem grossen Spiegel und muss durch die Korrektionsschrauben verstellt werden.

3. Die Parallelstellung der Fernrohraxe zur Instrumentenebene.

Man dreht das Okular des Fernrohrs so, dass zwei der Fäden desselben parallel der Instrumentenebene stehen. Bringt man nun zwei Sterne, welche mehr als 90° von einander entfernt stehen, zur Deckung an dem einen Faden, so steht das Fernrohr richtig, wenn bei Beobachtung an dem andern Faden die Deckung ebenfalls stattfindet. Der Fernrohrträger ist in der Regel mit einer Korrektionsschraube für die Parallelstellung des Fernrohrs versehen.

4. Die Ebenheit der Spiegelfläche ist vorhanden, wenn das gespiegelte Bild der Sonne oder des Mondes im Fernrohr vollständig scharfe Ränder zeigt.

Die Parallelität kann man dadurch prüfen, dass man den Spiegel herausnimmt und mit der oberen Kante nach unten wieder einsetzt. Wenn die gemessenen (namentlich grossen) Winkel dann genau vor- und nachher übereinstimmen, so sind die Flächen parallel. Da man die Spiegel nicht gern herausnimmt, so vermischt man diesen Fehler in der Regel mit dem der Excentricität und bringt ihn, wenn nöthig, in eine kleine Korrektionstafel. (Siehe S. 223.)

Das Gesagte gilt nur vom grossen Spiegel; eine prismatische Gestalt des kleinen Spiegels ist von keinem Einfluss auf die Winkelmessung.

5. Die farbigen Vorschlaggläser.

Die farbigen Gläser werden beim Gebrauch der Spiegel-Instrumente an Bord häufig mit grosser Sorglosigkeit angewendet, und doch findet es sich nicht selten, dass ein solches Glas 15" bis 20" falsche Messungen verursacht.

Die Prüfung lässt sich am einfachsten bewerkstelligen, wenn man die Gläser mit ihrer Fassung um 180° drehen kann. Diese Einrichtung findet sich bei den meisten neueren Reflexions-Instrumenten. Die Berührung der Sonnenbilder, welche man mit einer Stellung des Blendglases eingestellt

hat, muss bei einem planparallelen Glase nach der Drehung unverändert bleiben. Für die hellen (grünen oder gelben) Gläser bedient man sich zu diesem Zweck der Mondscheibe, oder eines hell erleuchteten terrestrischen Gegenstandes. Die farbigen Okulargläser, welche bei Reflexionskreisen in Anwendung sind, üben keinen Einfluss auf das Resultat der Winkelmessung aus. (Im Uebrigen s. Indexkorrektion.)

§ 73. Die Prüfung auf Excentricität.

Der Fehler der Excentricität ist der Hauptvorwurf, welchen man den Sextanten und Oktanten machen muss. Der Abstand der Centren der Limbustheilung und der Alhidadenbewegung braucht nur ein Zehntel eines Millimeters zu betragen, um einen erheblichen Fehler in der Winkelmessung zu veranlassen.

Die Bestimmung dieses Fehlers ist überdies, wenigstens an Bord, mühsam und nicht zu jeder Zeit auszuführen. Jedenfalls sollte man dieselbe aber bei einem Instrument, welches einer Prüfung beim Ankauf nicht unterzogen ist, stets vornehmen, da genaue Messungen auf See, namentlich grosser Winkel, ohne Prüfung oder Feststellung der Excentricität ganz illusorisch werden, insbesondere bei grossen Mondsdistanzen.

Bei der Bestimmung der Excentricität werden zwei Grössen ermittelt, nämlich:

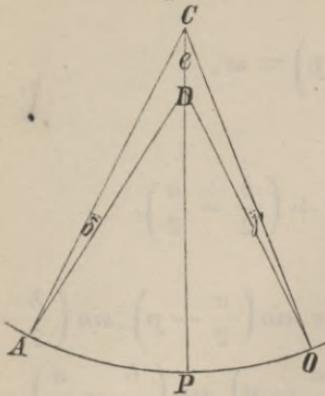
1. Der Abstand e der Drehaxe vom Mittelpunkt des Theilungskreises. Derselbe wird nur relativ, den Radius des Instrumentes $= 1$ gesetzt, und zwar in Bogenmaass gegeben und gewöhnlich mit ε bezeichnet. Es ist, da e in Bezug auf den Radius r des Instrumentes sehr klein ist:

$$\varepsilon = \frac{e}{r} \cdot \frac{1}{\sin 1''} = 206265 \cdot \frac{e}{r}.$$

2. Die Richtung, in welcher der Drehpunkt vom Mittelpunkt liegt, d. h. der Winkel am Mittelpunkt des Theilungskreises, welchen der Radius vom Nullpunkt des Limbus mit der Richtung von e bildet. Dieser Winkel wird in der folgenden Entwicklung p genannt. Zur Ermittlung dieser Werthe braucht man zwei bekannte, mit dem Instrument messbare Winkel von möglichst verschiedener Grösse.

Entwicklung der Formeln zur Berechnung der
Excentricität.

Fig. 71.



Es sei C der Mittelpunkt der Theilung, D der Drehpunkt des grossen Spiegels. Man misst den Winkel ADO und liest den Winkel ACO ab. Der Unterschied der beiden Winkel ist der Fehler, welchen die Excentricität verursacht und der bestimmt werden soll.

Dabei ist wohl zu beachten, dass der Winkel $ADO = A$ die Grösse der Drehung der Alhidade misst, also gleich der Hälfte des Winkels ist, welchen die beiden Objekte mit einander bilden.

Setzt man:

$$\begin{aligned} \angle ADO &= A, & \angle ACO &= a, \\ CD &= e, & \angle OCP &= p, \\ \angle COD &= \gamma, & \angle CAD &= \delta, \\ CO &= CA = r, \end{aligned}$$

und, weil e in allen Fällen sehr klein ist, DO und DA ebenfalls $= r$, so ist:

$$\sin \gamma = \frac{e}{r} \cdot \sin p, \quad \sin \delta = \frac{e}{r} \cdot \sin (a - p)$$

und wegen der Kleinheit der Winkel γ und δ , wobei der jedesmalige Sinus mit dem Bogen verwechselt werden kann:

$$\gamma = 206265'' \cdot \frac{e}{r} \cdot \sin p$$

$$\delta = 206265'' \cdot \frac{e}{r} \cdot \sin (a - p)$$

Setzt man ferner $206265'' \cdot \frac{e}{r} = \varepsilon$, so ist: $\gamma = \varepsilon \cdot \sin p$

und $\delta = \varepsilon \cdot \sin (a - p)$ und da $A = a + (\gamma + \delta)$, so ist:

$$A = a + \varepsilon \cdot \{ \sin (a - p) + \sin p \}$$

und da in der Sextantentheilung $1^\circ = 2^\circ$ gerechnet ist:

$$2A = 2a + 2\varepsilon \cdot \{ \sin (a - p) + \sin p \}.$$

Ebenso hat man für einen zweiten gegebenen Winkel $2B$, für welchen die Messung mittelst des Sextanten $2b$ ergab:

$$2B = 2b + 2\varepsilon \cdot \{ \sin (b - p) + \sin p \}.$$

Nach Umformung dieser Gleichung ergibt sich:

$$1. \frac{A-a}{2 \sin \frac{a}{2}} = \varepsilon \cdot \cos \left(\frac{a}{2} - p \right) = m.$$

$$2. \frac{B-b}{2 \sin \frac{b}{2}} = \varepsilon \cdot \cos \left(\frac{b}{2} - p \right) = m'.$$

Da nun

$$\left(\frac{b}{2} - p \right) = \left(\frac{a}{2} - p \right) + \left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2} \right),$$

so wird:

$$\begin{aligned} m' &= \varepsilon \cdot \cos \left(\frac{a}{2} - p \right) \cdot \cos \left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2} \right) - \varepsilon \cdot \sin \left(\frac{a}{2} - p \right) \cdot \sin \left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2} \right) \\ &= m \cdot \cos \left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2} \right) - \varepsilon \cdot \sin \left(\frac{a}{2} - p \right) \cdot \sin \left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2} \right). \end{aligned}$$

Demnach:

$$3. \varepsilon \cdot \sin \left(\frac{a}{2} - p \right) = \frac{m \cdot \cos \left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2} \right) - m'}{\sin \left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2} \right)}$$

Dividirt man nun Gleichung 3 durch Gleichung 1, so erhält man:

$$4. \operatorname{tg} \left(\frac{a}{2} - p \right) = \frac{m \cdot \cos \left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2} \right) - m'}{m \cdot \sin \left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2} \right)}$$

und somit auch p .

Dann ergibt sich ε , indem man Gleichung 3 umformt, durch:

$$\varepsilon = \frac{m \cdot \cos \left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2} \right) - m'}{\sin \left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2} \right) \cdot \sin \left(\frac{a}{2} - p \right)}$$

Das Verfahren ist also folgendes:

Zwei mittelst eines 10zölligen Reflexionskreises oder auf andere zuverlässige Weise genau festgestellte Winkel, $2A$ und

2 B , werden mit dem zu prüfenden Sextanten, dessen Indexkorrektur zuvor ermittelt oder beseitigt worden ist, genau gemessen. Dann rechnet man nach Gleichung 1 und 2 m und m' aus und hierauf $\frac{a}{2} - p$ nach Gleichung 4 und erhält somit p . Endlich findet man ε nach Gleichung 3 oder indem man den in Gleichung 3 rechts erhaltenen Werth durch $\sin\left(\frac{a}{2} - p\right)$ dividirt.

Aus den ermittelten ε und p wird die Excentricitätskorrektur für jede Ablesung am Sextanten durch die Formel:

$$2 A - 2 a = 2 \varepsilon \cdot \sin p + 2 \varepsilon \cdot \sin(a - p)$$

berechnet, indem man zunächst den konstanten Theil $2 \varepsilon \cdot \sin p$ bildet, dann $2 a = 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ u. s. f. successive in das Glied $2 \varepsilon \cdot \sin(a - p)$ einsetzt und die Summe beider in einer Tabelle folgender Form zusammenstellt, welche dem Sextanten beigelegt wird:

Sextant K. M. No. N. N.

Ablesung am Sextanten	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°
Korrektion für Excentricität												

 $\varepsilon =$ $p =$

Zur Ermittlung der Excentricität sind daher nur zwei bekannte Winkel nothwendig; es ist aber zur Erzielung eines genauen Resultats wünschenswerth, eine grössere Anzahl von Winkeln zu messen und aus allen die Excentricität abzuleiten.

Bei drei Winkeln kann man auch die Bestimmung der Indexkorrektur übergehen und für die Formeln 3 und 1 folgende*) setzen:

*) Die Entwicklung dieser Formeln ist folgende: Die drei mittelst Theodolitenmessung bestimmten Winkel seien $2 A, 2 B$ und $2 C$, für welche die Sextantenmessung der Reihe nach $2 a, 2 b$ und $2 c$ ergab. Setzt man nun den Indexfehler $= \Delta$ und $2 A - 2 a = n, 2 B - 2 b = n', 2 C - 2 c = n''$, so ist:

$$n' = 2 \varepsilon \cdot \sin(a - p) + 2 \varepsilon \cdot \sin p \pm \Delta$$

$$n'' = 2 \varepsilon \cdot \sin(b - p) + 2 \varepsilon \cdot \sin p \pm \Delta$$

$$n = 2 \varepsilon \cdot \sin(c - p) + 2 \varepsilon \cdot \sin p \pm \Delta$$

Bildet man jetzt die Differenzen $n - n'$ und $n - n''$, so fallen die beiden letzten Glieder rechts fort, und man hat:

$$1. \quad \varepsilon \cdot \cos \left\{ \left(\frac{a}{2} + \frac{b}{2} \right) - p \right\} = m$$

$$3. \quad \varepsilon \cdot \sin \left\{ \left(\frac{a}{2} + \frac{b}{2} \right) - p \right\} = \frac{m \cdot \cos \left(\frac{c}{2} - \frac{b}{2} \right) - m'}{\sin \left(\frac{c}{2} - \frac{b}{2} \right)}$$

was in vielen Fällen bequemer ist.

Für diese Methode, welche angelegentlich empfohlen werden kann, bietet sich in der Bestimmung der Indexkorrektur auf anderem Wege eine gute Kontrolle.

§ 74. Die Bestimmung der Korrektur für den Nullpunkt der Theilung (Indexkorrektur) ist die bekannteste und wird am häufigsten wiederholt. Trotzdem wird dabei in der Regel nicht auf die Fehlerquelle gerücksichtigt, welcher diese Bestimmung unterworfen sein kann.

Die einfachste Bestimmung der Indexkorrektur würde sein, das direkt gesehene Bild eines entfernten, scharf begrenzten Punktes (Gestirn) oder einer Linie in Deckung zu

$$n - n' = 2 \varepsilon \cdot \left\{ \sin (a - p) - \sin (b - p) \right\}, \text{ d. h.}$$

$$= 4 \varepsilon \cdot \sin \left(\frac{a}{2} - \frac{b}{2} \right) \cdot \cos \left\{ \left(\frac{a}{2} + \frac{b}{2} \right) - p \right\}$$

$$n - n'' = 2 \varepsilon \cdot \left\{ \sin (a - p) - \sin (c - p) \right\}, \text{ d. h.}$$

$$= 4 \varepsilon \cdot \sin \left(\frac{a}{2} - \frac{c}{2} \right) \cdot \cos \left\{ \left(\frac{a}{2} + \frac{c}{2} \right) - p \right\}$$

folglich:

$$\frac{n - n'}{4 \sin \left(\frac{a}{2} - \frac{b}{2} \right)} = \varepsilon \cdot \cos \left\{ \left(\frac{a}{2} + \frac{b}{2} \right) - p \right\} = m$$

$$\frac{n - n''}{4 \sin \left(\frac{a}{2} - \frac{c}{2} \right)} = \varepsilon \cdot \cos \left\{ \left(\frac{a}{2} + \frac{c}{2} \right) - p \right\}$$

$$= \varepsilon \cdot \cos \left\{ \left(\frac{c}{2} - \frac{b}{2} \right) + \left(\frac{a}{2} + \frac{b}{2} \right) - p \right\} = m'$$

und man hat zur Bestimmung von p und ε die Gleichungen:

$$\varepsilon \cdot \sin \left\{ \left(\frac{a}{2} + \frac{b}{2} \right) - p \right\} = \frac{m \cdot \cos \left(\frac{c}{2} - \frac{b}{2} \right) - m'}{\sin \left(\frac{c}{2} - \frac{b}{2} \right)}$$

$$\varepsilon \cdot \cos \left\{ \left(\frac{a}{2} + \frac{b}{2} \right) - p \right\} = m.$$

bringen und die Winkelangabe des Instrumentes bei dieser Stellung abzulesen. Diese Winkelablesung würde gleich dem Fehler der Lage des Nullpunktes sein (Indexfehler) und mit umgekehrten Vorzeichen gleich der Indexkorrektion.

Da es jedoch nicht möglich ist, die Bilder im Instrument genau zur Deckung zu bringen, so stellt man das gespiegelte Bild einmal auf der einen und einmal auf der entgegengesetzten Seite in gleichem, kleinem Abstände von dem direkt gesehenen ein; das Mittel beider Ablesungen ergibt die Indexkorrektion.

Gewöhnlich wird die Bestimmung der Indexkorrektion an der Sonne für die genaueste gehalten, besonders weil sie die stete Kontrolle gewährt, welche durch Vergleichung des durch Messung und aus dem Nautischen Jahrbuche gefundenen Sonnenhalbmessers gegeben ist. Das Verfahren besteht darin, dass man die nächsten Sonnenränder zur Berührung bringt, den Winkel abliest und dann das gespiegelte Bild mit der anderen Seite des direkt gesehenen Randes zur Berührung bringt, also die eine Sonne mittelst der Mikrometerschraube durch die andere hindurchschraubt und wieder den gemessenen Winkel notirt. Ohne Indexfehler müssten die Ablesungen negativ und positiv den genauen Werth des Sonnenhalbmessers angeben. Die algebraische halbe Summe aber der ungleichen Ablesung giebt die Indexkorrektion mit dem Zeichen $+$, wenn die grössere Ablesung negativ war, und umgekehrt. Die numerische Summe bei der Ablesung ist der Durchmesser der Sonne.

Ebenso wie bei der Sonne verfähre man bei Bestimmung der Indexkorrektion nach einem Stern, indem man das gespiegelte Bild desselben zu beiden Seiten des direkt gesehenen und in gleichem, nach Augenmaass abzuschätzendem, kleinem Abstände von demselben einstellt.

Auf See lässt sich die Indexkorrektion auch dadurch bestimmen, dass man das Instrument so einstellt, dass das direkt gesehene und gespiegelte Bild der Kimm eine gerade Linie bilden; unter der Annahme, dass beide Bilder sich dann decken, bildet die Ablesung in dieser Lage den Indexfehler.

Bei Anwendung von farbigen Gläsern gilt die Beobachtung nur für die Gläser, mit welchen sie angestellt ist, und kann also streng genommen in den meisten Fällen nicht verwendet werden, wenn man nicht weiss, dass die Gläser durchaus eben sind. (Fehler bis zu 10 Sekunden lassen sich immer voraussetzen.) Endlich ist die Helligkeit oder die Beleuch-

tung der zur Bestimmung des Indexfehlers gewählten Objekte stets eine andere, so dass man selten auf zwei verschiedenen Wegen genau die gleiche Korrektur erhält.

Bei dem Borda'schen Reflexionskreise, welcher früher sehr geschätzt war und noch gegenwärtig in der französischen Marine eingeführt ist, wird die Bestimmung eines Indexfehlers gänzlich vermieden, vielmehr werden bei Beginn der Beobachtung durch Koincidenz der Bilder die Spiegel parallel gestellt und diese Einstellung zunächst abgelesen.

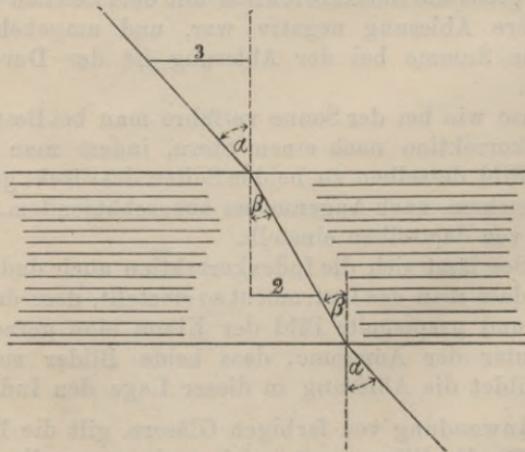
Andere Vortheile bietet der in der Kaiserlichen Marine eingeführte Prismenkreis nach Pistor und Martins, durch eine Alhidade mit zwei um 180° auseinanderstehenden Nonien, wobei ein Excentricitätsfehler des Instrumentes vollständig eliminirt wird. Derselbe ist namentlich leichter und handlicher als der Borda'sche Kreis.

§ 75. Der Reflexionskreis von Pistor und Martins.

Die Anwendung eines Glasprimas, welches beim Reflexionskreis die Stelle des kleinen Spiegels vertritt, gründet sich auf folgende Betrachtung:

Das Brechungsverhältniss der Luft zum Glase ist ungefähr 3 : 2, d. h. es ist in Fig. 72 $\frac{\sin \alpha}{3} = \frac{\sin \beta}{2}$.

Fig. 72.



Für $\alpha = 90^\circ$ ist also angenähert:

$$\sin \beta = \frac{2}{3}; \beta = 42^\circ$$

Wenn also ein im Glase fortschreitender Lichtstrahl, indem er die Grenzfläche des Glases trifft, einen Winkel mit dem

Einfallsloth bildet, grösser ist als 42° , so tritt er nicht mehr aus dem Glase aus, sondern wird unter demselben Winkel in das Glas zurückgeworfen. Dies auf ein senkrecht dreieckiges Prisma angewendet, ergibt sogleich, dass man ein solches Prisma als Spiegel anwenden kann. Ist das Prisma rechtwinklig gleichschenkelig, so werden alle zur Grundflächenebene parallelen Lichtstrahlen, welche rechtwinklig oder unter einem nach der Hypotenuse zu geneigten Winkel in eine Kathetenfläche eintreten, von der Hypotenusenfläche reflektirt und treten durch die andere Kathetenfläche des Prismas unter demselben Winkel wieder aus, unter welchem sie in das Prisma eingetreten sind.

Das Prisma vertritt also vollständig die Stelle eines Spiegels, welcher bei einem rechtwinkligen Prisma der Hypotenusenfläche parallel zu denken ist. Ein Fehler in der rechtwinkligen Form wird nur eine Abweichung in Bezug auf diese Parallelität sein, im Uebrigen aber ohne Einfluss bleiben. Die Reflexion ist eine totale, und das gespiegelte Bild gewöhnlich heller, als das eines gewöhnlichen Glasspiegels. Das

Fig. 73.

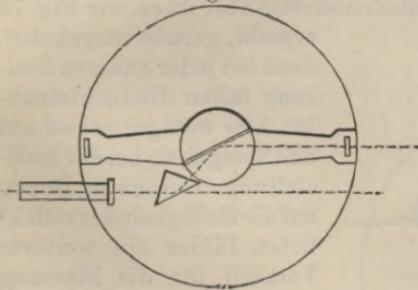
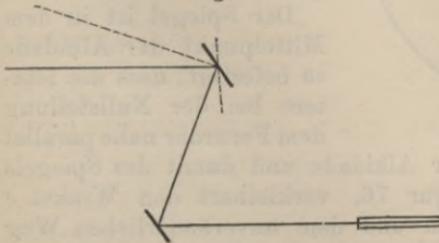


Fig. 74.



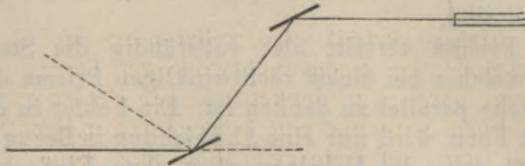
Prisma des Reflexionskreises ist mit einem Schirm auf der Spitze versehen und, um störende Reflexion zu vermeiden, an den Grundflächen geschwärzt. Es befindet sich in unverrückbarer Lage so vor dem Fernrohr angebracht, dass der vom Fernrohr durch das Prisma gehende Weg eines Lichtstrahles die vertikale Drehaxe des Spiegels trifft. Es wird also das vom Spiegel reflektirte Bild nur dann dem Beobachtersichtbar, wenn die Reflexion des Spiegels genau in dieser Richtung erfolgt.

Für die Nullstellung ist es erforderlich, dass, wie in Figur 73 dargestellt, der drehbare Spiegel mit der Spiegelfläche im Prisma parallel sei, analog wie beim Sextanten.

Dies ist beim Prismen-Instrument aber der Fall, wenn der Lichtstrahl in einem Winkel von etwa 20° auf den Spiegel auffällt.

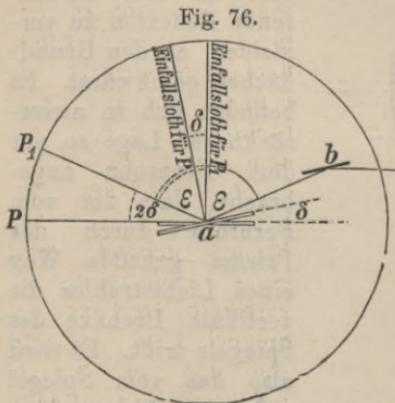
Vergleicht man die Wirkungsart eines Sextanten mit der eines Reflexionskreises, so ist hier ein sehr wichtiger Unterschied vorhanden. Bei einem Sextanten wird, wie aus Figur 74 ersichtlich, der Winkel, welchen der einfallende Lichtstrahl mit der Spiegelebene bildet, immer kleiner, je mehr der gemessene Winkel wächst. Da durch die Zerstreung

Fig. 75.



des Lichtes desto mehr Licht verloren geht, je schräger das Licht auf den Spiegel auffällt, so ergibt sich, dass die gespiegelten Bilder beim Sextanten bei wachsender Ablesung schwächer werden. Beim Reflexionskreise aber ist es, wie Fig. 75

ergibt, gerade umgekehrt, denn bei jeder anderen Stellung fallen die Lichtstrahlen hier weniger schief auf den Spiegel, als bei der Nullstellung, woraus in Bezug auf die Helligkeit der reflektirten Bilder ein weiterer Vortheil für die Messung grösserer Winkel hervorgeht.



steht. Eine Drehung der Alhidade und damit des Spiegels um einen Winkel δ , Figur 76, verkleinert den Winkel ϵ zwischen dem Einfallslot und dem unveränderlichen Weg des reflektirten Lichtstrahls nach dem Prisma um einen gleichen Winkel δ . Der Winkel zwischen dem einfallenden und dem nach dem Prisma zurückgestrahlten Lichtstrahl 2ϵ

wird so um 2δ verkleinert, folglich ein Winkel zwischen der Richtung nach dem direkt gesehenen und dem gespiegelten Bilde von 2δ durch die Drehung des Spiegels um einen Winkel δ verursacht.

Fig. 77.
Alhidade auf 130° eingestellt.

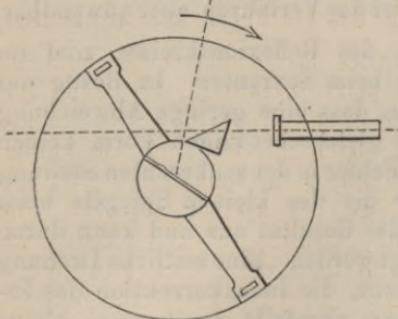


Fig. 78.
Alhidade auf 180° eingestellt.

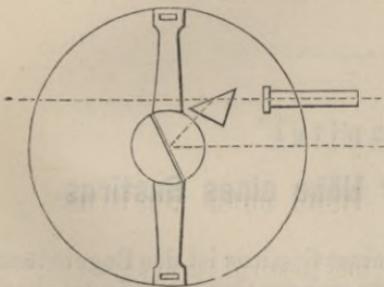
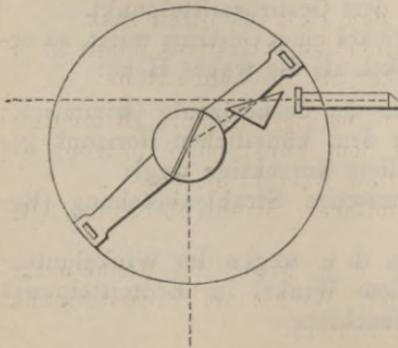


Fig. 79.
Alhidade auf 270° eingestellt.



Dies ist dasselbe Gesetz, wie beim Sextanten; es geht daraus hervor, dass auch hier die Theilung des Kreises verdoppelt werden muss (ein Grad des Kreisbogens erhält zwei Grade der Theilung).

Leider ist auch die Winkelmessung des Reflexionskreises beschränkt, so dass für die Höhenmessung über dem künstlichen Horizont wenigstens gegen den Sextanten in dieser Hinsicht kein Vortheil entsteht. Aus den Figuren 77, 78 und 79 ergibt sich nämlich Folgendes: Bei einem Winkel von 130° gelangen keine zu reflektirenden Bilder mehr in den Spiegel, von 130° bis 180° ist das Prisma und der Kopf des Beobachters im Wege. Bewegt man aber die Alhidade über 180° der Theilung hinaus, so fällt von der linken Seite des Beobachters jetzt Licht auf den Spiegel, und man misst Winkel von 180° bis 280° . Winkel von 180° bis 280° sind aber nichts Anderes als Winkel von 180° bis 80° , bei denen nur das gespiegelte Bild jetzt nicht mehr zur rechten Seite des direkt gesehenen liegt (vom Beobachter), sondern

zur linken. Wenn man also beispielsweise die Sonne nahe am Zenith über einem künstlichen Horizont messen wollte, so müsste man das Fernrohr auf die Sonne richten und als gespiegeltes Bild das Sonnenbild im künstlichen Horizont mit dem Instrument nach der direkt gesehenen Sonne hinaufbringen, eine Procedur, welche mit den üblichen Quecksilberhorizonten Schwierigkeiten haben wird. Für Mondstrecken und terrestrische Messungen ist das Verfahren aber anwendbar.

Die Berichtigungen des Reflexionskreises sind im Wesentlichen dieselben, wie beim Sextanten. In Bezug auf das Prisma ist hervorzuheben, dass eine geringe Abweichung von der rechtwinkligen und gleichschenkligen Form keinen schädlichen Einfluss hat. Ein Fehler in der senkrechten Stellung des Prismas übt ebenso wie die des kleinen Spiegels beim Sextanten einen Fehler auf das Resultat aus und kann durch Korrektionschrauben beseitigt werden. Eine seitliche Drehung des Primas, welche dazu dient, die Indexkorrektion des Instruments fortzuschaffen, kann ebenfalls durch zwei kleine Korrektionschrauben (an der den rechten Winkel umfassenden Blende) bewirkt werden.

X. Kapitel.

Die Bestimmung der Höhe eines Gestirns.

§ 76. Die wahre Höhe eines Gestirns ist das Bogenstück des Vertikalkreises, in welchem sich das Gestirn befindet, vom wahren Horizont bis zum Mittelpunkt des Gestirns, oder: der Winkel am Erdmittelpunkt zwischen der Ebene des Horizonts und der Richtungslinie nach dem Gestirnmittelpunkt.

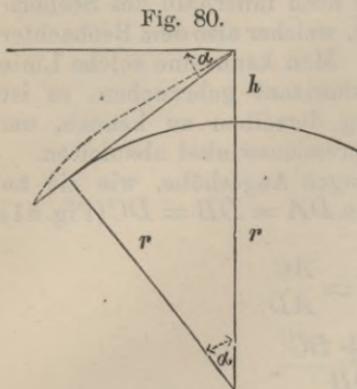
Wenn man den Höhenwinkel eines Gestirns misst, so erhält man einen anderen Winkel, als die wahre Höhe:

1. wegen der Depression des Seehorizonts (Kimmtiefe; wenn die Höhe über dem künstlichen Horizont gemessen ist, so fällt diese Korrektion weg);
2. wegen der astronomischen Strahlenbrechung (Refraktion);
3. wegen der Parallaxe, d. h. wegen des Winkelunterschiedes zwischen dem Winkel im Erdmittelpunkt und am Ort des Beobachters;

4. wenn das Gestirn einen messbaren Durchmesser hat, wegen der Nothwendigkeit, den Rand des Gestirns statt des Mittelpunkts zu beobachten.

Es müssen daher zur Ermittlung der wahren Höhe folgende Korrektionen angebracht werden:

1. Kimmtiefe. Kimmtiefe ist der Winkel, den eine Linie, vom Auge nach der Kimm gezogen, mit dem scheinbaren Horizont bildet.



Durch Anwendung der Kimmtiefe wird die über dem Seehorizont gemessene Höhe auf den scheinbaren Horizont reducirt. Diese Korrektion ist von der gemessenen Höhe stets zu subtrahiren.

Bezeichnet in nebenstehender Figur 80 α die Kimmtiefe, so wird sogleich ersichtlich, dass dieselbe gleich dem Winkel am Erdmittelpunkt ist, welcher die Entfernung der Kimm in Seemeilen darstellt.

Wenn r gleich dem Erdradius, h gleich der Augeshöhe gesetzt wird, so ist $\cos \alpha = \frac{r}{r+h}$.

$$1 - \cos \alpha = 2 \sin^2 \frac{1}{2} \alpha = \frac{r+h-r}{r+h} = \frac{h}{r+h} = \frac{h/r}{1+h/r} = \frac{h}{r},$$

da $\frac{h}{r}$ im Verhältniss zu 1 im Nenner als verschwindend klein angesehen werden kann.

$$2 \frac{\alpha^2}{4} \sin^2 1' = \frac{h}{r}$$

$$\alpha = \frac{1}{\sin 1'} \sqrt{\frac{2h}{r}} = 1,9268 \sqrt{h}',$$

wenn h in Metern ausgedrückt ist.

In Wirklichkeit ist aber die Kimmtiefe nicht gleich α , sondern dieser Winkel wird durch die terrestrische Strahlenbrechung verkleinert, wie dies in der Fig. 80 durch die

punktirte Linie angedeutet ist. Unter Berücksichtigung der letzteren wird demnach die scheinbare Kimmtiefe

$$\alpha_1 = \frac{\alpha}{1,08} = 1,78 \sqrt{h'} = 107 \sqrt{h''}$$

Die Werthe der Kimmtiefe sind hiernach für die verschiedenen Augeshöhen berechnet und in Tabellen zusammengestellt. (Nautisches Jahrbuch Tafel XI.*)

Strandkimm nennt man den Meeressaum, welcher durch ein dahinterliegendes Land, das noch innerhalb des Seehorizontes liegt, eingebogen erscheint, welcher also dem Beobachter näher liegt als die freie Kimm. Man kann eine solche Linie ebenfalls noch als Beobachtungshorizont gebrauchen, es ist aber nothwendig, die Entfernung derselben zu kennen, um daraus den vergrößerten Depressionswinkel abzuleiten.

Wenn man wegen der geringen Augeshöhe, wie sie an Bord vorkommt, die Entfernungen $DA = DB = DC$ (Fig. 81) setzt, so hat man:

$$\begin{aligned} \sin \alpha' &= ADC = \frac{AC}{AD} \\ &= \frac{AB + BC}{DB}, \end{aligned}$$

worin DB die bekannte Distanz d ist.

Es ist aber:

$$\frac{BC}{DB} = \frac{DC}{DF} = \sin \frac{d}{2} \text{ (Peripheriewinkel) und}$$

$$\frac{AB}{DB} = \frac{h}{d} \text{ (worin } h \text{ in Seemeilen ausgedrückt werden}$$

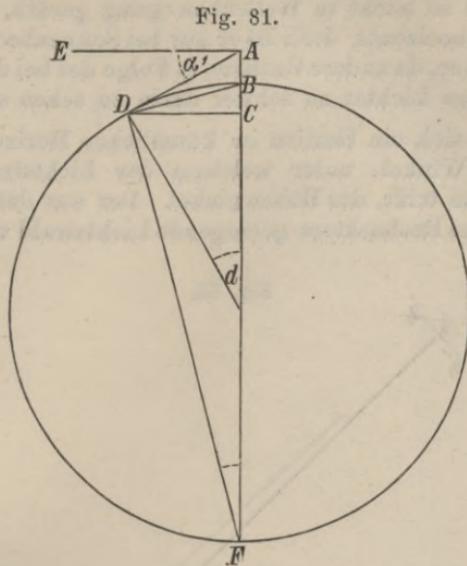
muss, also $\frac{h}{1852 \cdot d}$), daher $\sin \alpha' = \frac{h}{1852 \cdot d} + \sin \frac{d}{2}$, oder

$$\alpha' = \frac{h}{1852 \cdot d \cdot \sin 1'} + \frac{d}{2}$$

wovon noch der 0,08^{te} Theil oder $\frac{1}{13}d$ wegen der terrestri-
schen Refraktion in Abzug zu bringen ist. Auch der De-

*) Nach den Beobachtungen auf den französischen Schiffen „Venus“ und „Galisonnière“ ist der angenommene Werth des Brechungskoeffizienten 0,08 zur Berechnung der Kimmtiefe auf hoher See zu gross, beträgt vielmehr nur 0,045.

pressionswinkel für eine Strandkimm ist in Tafeln gebracht mit dem Argument Augeshöhe in Metern und Entfernung in



Seemeilen. Man vermeidet aber in der Regel einen solchen Beobachtungshorizont.

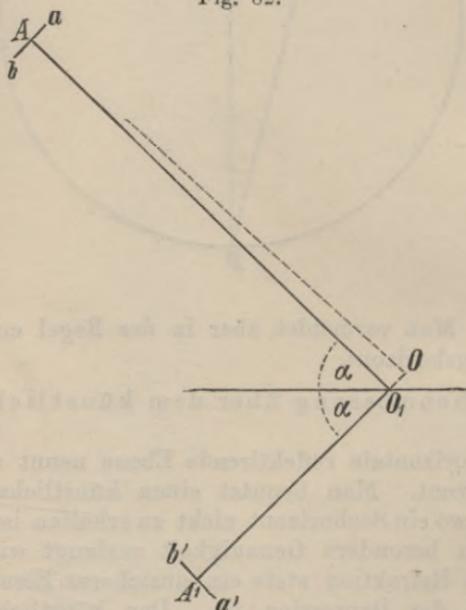
2. Höhenmessung über dem künstlichen Horizont.

Eine horizontale reflektirende Ebene nennt man künstlichen Horizont. Man benutzt einen künstlichen Horizont überall da, wo ein Seehorizont nicht zu erhalten ist, und auch dann, wenn besondere Genauigkeit verlangt wird, da die terrestrische Refraktion stets ein unsicheres Element in der Berechnung der Depression ist. Der künstliche Horizont bedarf aber immer einer unbeweglichen Unterlage, ist also nur auf dem Lande zu gebrauchen. Als künstlicher Horizont empfiehlt sich ein Kasten von circa 0,15 m Länge, 0,08 m Breite und 0,006 m Tiefe, in welchen reines Quecksilber gegossen wird, dessen Oberfläche sodann einen horizontalen Spiegel bildet. Zum Schutz gegen Wind dient ein Glasdach von der Gestalt eines rechtwinkligen dreiseitigen Prismas, dessen rechter Winkel dem Zenith zugewendet ist und dessen Kathetenebenen von zwei Scheiben gebildet sind, während die Hypotenusenebene offen bleibt. Diese Glasscheiben müssen

genau ebene und parallele Flächen haben. Statt eines Quecksilberhorizonts kann man sich mit Vortheil auch eines solchen von Oel bedienen. Derselbe hat den Vorzug, dass seine Oberfläche nicht so leicht in Wellenbewegung geräth, wie die des Quecksilberhorizonts, doch ist er nur bei Sonnenbeobachtungen zu gebrauchen, da andere Gestirne in Folge des bei der Reflexion verschluckten Lichtes zu schwer darin zu sehen sind.

Wenn sich ein Gestirn im künstlichen Horizont spiegelt, so ist der Winkel, unter welchem der Lichtstrahl auf die Spiegelebene trifft, der Höhenwinkel. Der aus dem Spiegel in das Auge des Beobachters gelangende Lichtstrahl verlässt den-

Fig. 82.



selben unter dem gleichen Winkel, das gespiegelte Bild erscheint also um den gleichen Winkel unter dem Horizont, als das Gestirn selbst über demselben steht. Man misst daher in O (Figur 82) den Winkel AOA' oder, da AO mit AO' als zusammenfallend zu betrachten ist, 2α .

Sind Ränder der Gestirne zu beobachten, so ist es gut, sich zu vergegenwärtigen, dass der kleinere Winkel immer dem Unterrande entspricht, und die Regel festzuhalten: Vormittags entfernen sich die Unterränder von einander, Nachmittags schieben sie sich zusammen.

3. Die Refraktion.

Wenn ein Lichtstrahl von einem Gestirn in unsere Atmosphäre eintritt, so erleidet er in den immer dichter werdenden Luftschichten eine Brechung, durch welche die Höhe des Gestirns stets grösser erscheint, als sie in Wirklichkeit ist. Diese Zunahme der Höhe heisst die astronomische Refraktion. Man stellt der astronomischen Refraktion die terrestrische gegenüber; beide Erscheinungen sind dem Wesen nach nicht verschieden. Die astronomische Refraktion findet statt, wenn der Lichtstrahl von einem Körper ausserhalb der Atmosphäre ausgeht, die terrestrische Refraktion bei einem Lichtstrahl, dessen Weg lediglich an der Oberfläche der Erde entlang läuft.

Befänden sich die Luftschichten in vollständiger Ruhe und daher ganz unverändert, gleichmässig als konzentrische Kugelschalen übereinander gelagert, so liessen sich die Gesetze der Refraktion einfach bestimmen. Da dies aber nicht der Fall ist, so haftet der Refraktion stets eine Unsicherheit an, die bei der terrestrischen Refraktion ganz besonders bemerklich wird, weil dort die Ungleichmässigkeit in der Erwärmung der Luft am meisten zur Wirkung gelangt. Es kommt bei der terrestrischen Refraktion sogar vor, dass, statt einer Hebung, eine Senkung des gesehenen Gegenstandes eintritt, weil die unteren Luftschichten durch grosse lokale Erwärmung zeitweilig weniger dicht geworden sind, als die darüber gelagerten.

Im Allgemeinen aber bilden die Lichtstrahlen gegen die Erdoberfläche konkave Bogen. Beim Eintreten in ein dichteres Mittel wird ein Lichtstrahl dem Einfallslot zu gebrochen. Das Grundgesetz der Refraktion lautet:

Für zwei Mittel verschiedener Dichtigkeit ist das Verhältniss konstant $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$, wenn α und β die Winkel an dem Einfallslot bezeichnen, dieses Verhältniss wird als Brechungsindex bezeichnet.

Statt der konzentrischen Schalen von zunehmender Dichtigkeit, in welchen der Lichtstrahl im Bogen fortschreitet, kann man eine Schicht von der Luftdichtigkeit am Beobachtungsort annehmen, in welche der Lichtstrahl ohne Uebergangsschichten direkt eintritt. Der Winkel zur Vertikalen, unter welchem er den Beobachter erreicht, ist in beiden Fällen derselbe.

Bezeichnet man diesen Winkel mit der Vertikalen — die scheinbare Zenithdistanz — mit Z , den Winkel, um welchen der Lichtstrahl von seiner ursprünglichen Richtung beim Eintritt in das dichtere Mittel abgelenkt ist, — die Refraktion — mit R , so ist der Brechungsindex der Refraktion

$$c = \frac{\sin(Z+R)}{\sin Z}.$$

Daraus erhält man:

$$\sin Z \cos R + \cos Z \sin R = c \sin Z,$$

und wenn man R als sehr klein annimmt:

$$\sin Z + R \sin 1'' \cos Z = c \sin Z.$$

$$R = \frac{(c-1)}{\sin 1''} \operatorname{tg} Z = 60,567 \operatorname{tg} Z,$$

wenn der Brechungsindex der Luft c zu 1,000294 angenommen wird.

Diese Entwicklung hat eine ebene, parallel begrenzte Luftschicht zur Voraussetzung, durch die Kugelgestalt der Schichten verwickelt sich die Aufgabe. Es würde nichts nützen, die Lösung derselben hier noch weiter zu verfolgen, da die Begründung der im Nautischen Jahrbuch enthaltenen Tafeln der Refraktion ein ganz aus dem Rahmen dieses Buches fallendes Eingehen auf schwierige theoretische Deduktionen voraussetzt.

Es soll hier nur Folgendes bemerkt werden:

1. Die Refraktion eines vom Zenith kommenden Lichtstrahls ist Null; sie nimmt mit der Höhe eines Gestirns über dem Horizont in einem Verhältniss ab, welches nahe der Kotangente der Höhe entspricht.

2. Bei kleinen Höhen wird die Refraktion unsicher. Man vermeidet daher bei astronomischen Beobachtungen Höhen unter 15° möglichst. Bei kleineren Höhen werden auch die Durchmesser von Sonne und Mond sehr stark verändert, indem die Scheiben der Gestirne fast zu Ellipsen werden. (S. Nautisches Jahrbuch, Tafeln XV, XVI und XVII.)

3. Barometer- und Thermometer-Korrekturen sind bei kleinen Höhen stets, bei grösseren immer dann zu berücksichtigen, wenn es auf grosse Genauigkeit ankommt, oder wenn der Zustand der Atmosphäre sehr stark von demjenigen abweicht, welcher der Berechnung der Tafeln zu Grunde gelegt ist. (Nautisches Jahrbuch Tafeln VII, VIII, IX.)

Wenn für die terrestrische Refraktion $\frac{1}{13}$ der Distanz in Seemeilen gesetzt wurde, so ist damit der gewöhnlichen Annahme gefolgt worden. Nahe am Lande kann dieser Koeffizient jedenfalls häufig einen stark abweichenden Werth annehmen.

4. Die Parallaxe.

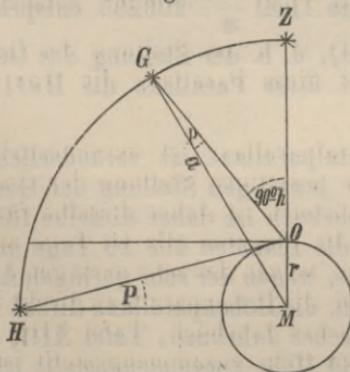
Die Parallaxe eines Gestirns ist der Winkel, welchen der zum Beobachter gelangende Lichtstrahl mit dem nach dem Erdmittelpunkt gerichteten einschliesst. Es folgt daraus unmittelbar, dass die Grösse dieses Winkels abhängig ist:

1. von der Entfernung des Gestirns von der Erde;
2. von der Stellung des Gestirns zur Vertikallinie des Beobachters, d. h. von der Höhe des Gestirns;
3. von dem Standpunkt des Beobachters auf der Erde, da hiermit, wegen der Abplattung der Erde, die Grösse des Erdradius sich ändert.

In allen Fällen muss vom Mittelpunkt der Erde aus das Gestirn in grösserer Höhe erscheinen, als von der Oberfläche der Erde, die Korrektion ist daher stets zu addiren.

Durch Anwendung der Parallaxe wird die Höhe eines Gestirns über dem scheinbaren Horizont auf den wahren Horizont reducirt.

Fig. 83.



Die Entfernung der Fixsterne ist eine zu grosse, als dass eine Parallaxe für diese bestimmt, geschweige denn in Rechnung gezogen werden könnte. Für die Planeten kann sie gross genug werden, um darauf bei der Reduktion der Höhe unter Umständen rücksichtigen zu müssen (bei Venus und

Mars). Ebenso bildet sie für die Sonne eine Korrektion der Höhe, welche aber 9'' nie übersteigt. Beim Monde ist die Parallaxe wegen der grossen Nähe dieses Gestirns von besonderer Bedeutung.

Die Parallaxe ist im Zenith Null und erreicht im Horizont ihren grössten Werth, wie unmittelbar aus der Figur 83 ersichtlich ist. Allgemein ist nach der Sinusregel in dem Dreieck GOM :

$$\frac{\sin p}{r} = \frac{\sin(90 - h)}{a}$$

$$\sin p = \frac{r \cdot \cos h}{a}$$

worin bedeuten: a die Entfernung des Gestirns vom Erdmittelpunkt,
 r den Erdradius,
 h die für Parallaxe noch nicht verbesserte Höhe.

Der kleine Winkel p erlaubt die Umstellung $p \cdot \sin 1''$ in Bogen $p \cdot \text{arc } 1'' = p \cdot \frac{1}{206265}$ *)

$p = \left(\frac{r}{a} 206265 \cdot \cos h \right)''$, d. h. Winkel p in Sekunden ausgedrückt.

Der konstante Theil $\frac{r}{a} \cdot 206265$ entspricht der Höhe 0 (da $\cos 0 = 1$ ist), d. h. der Stellung des Gestirns im Horizont. Man nennt diese Parallaxe die Horizontalparallaxe P .

Die Horizontalparallaxe ist veränderlich mit der Entfernung, also der jeweiligen Stellung der Gestirne zur Erde. Im Nautischen Jahrbuch ist daher dieselbe für den Mond alle 12 Stunden, für die Planeten alle 10 Tage angegeben, während für die Sonne, wegen der sehr geringen Aenderung dieser kleinen Korrektion, die Höhenparallaxe direkt in einem kleinen Täfelchen (Nautisches Jahrbuch, Tafel XIII) mit den Argumenten Monat und Höhe zusammengestellt ist.

*) Der Kreisumfang in Einheiten des Radius von $2\pi = 6,28319$ und in Bogensekunden $= 1296000''$, also gehen auf einen Radius 206265 Bogensekunden, oder die Bogenlänge einer Sekunde ist gleich $\frac{1}{206265}$ des Radius.

Für die (für Parallaxe noch nicht verbesserte) Höhe h findet man nach dem Obigen die Höhenparallaxe p aus der Horizontalparallaxe P mittelst der Gleichung

$$p = P \cdot \cos h.$$

Die kleine Tafel XIV des Jahrbuchs für die Parallaxe der Planeten ist nach dieser Formel zusammengestellt.

Beim Monde ist es zuweilen nöthig, die Abplattung der Erde in Rücksicht zu ziehen. P und h werden deshalb mit Hülfe der Tafeln XVIII und XIX des Nautischen Jahrbuchs mit einer kleinen Korrektion versehen. (Siehe die Beispiele.)

Bemerkung. Den Ausdruck Parallaxe gebraucht man in der Instrumentenlehre allgemein für jede Winkeldifferenz, welche durch eine Aenderung des Standpunkts des Beobachters verursacht wird, z. B. bei Theilungsablesungen und dergl.

5. Der Radius.

Unter Radius eines Gestirns versteht man den Winkel, unter dem der Halbmesser des Gestirns von der Erde aus erscheint; je nachdem der Scheitelpunkt dieses Winkels im Erdmittelpunkte oder im Auge des Beobachters liegt, unterscheidet man wahren und scheinbaren Halbmesser. In umstehender Figur 84 ist r der wahre, r_1 der scheinbare Halbmesser, z und z_1 die entsprechenden Zenithdistanzen (h und h_1 die entsprechenden Höhen).

$$\frac{q}{e_1} = \sin r_1$$

$$\frac{q}{e} = \sin r$$

$$\frac{\sin r_1}{\sin r} = \frac{e}{e_1} = \frac{\sin z'}{\sin z} = \frac{\cos h'}{\cos h}$$

$$\sin r = \frac{\sin r_1 \cos h}{\cos h_1} = \frac{\sin r_1 \cos h}{\cos (h + p)}$$

$$= \frac{\sin r_1 \cos h}{\cos h \cos p - \sin h \sin p}$$

$$= \frac{\sin r_1}{\cos p - \operatorname{tg} h \sin p}$$

$$= \frac{\sin r_1}{1 - \operatorname{tg} h \sin p}$$

oder:

$$r = \frac{r_1}{1 - \operatorname{tg} h \sin p}$$

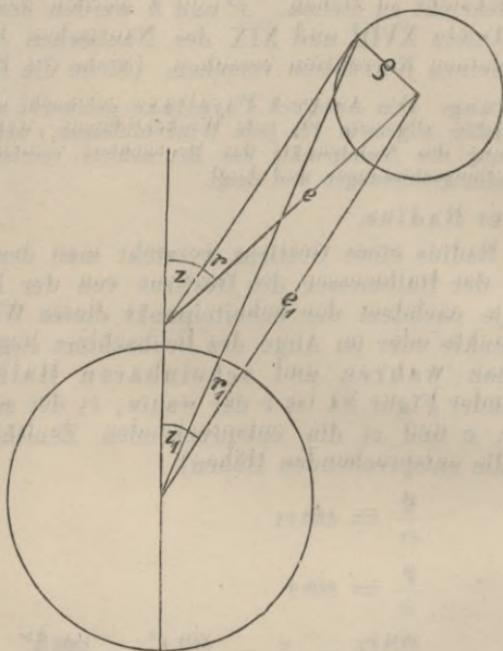
$$= r_1 (1 + \operatorname{tg} h \sin p),$$

und da

$$\sin p = \sin P \cos h$$

$$r = r_1 + \underbrace{r_1 \sin P \sin h}_{\substack{\text{Vergrößerung} \\ \text{des scheinbaren} \\ \text{Halbmessers.}}}$$

Fig. 84.



Der scheinbare Halbmesser ist anzuwenden, wenn man die scheinbare Mittelpunkthöhe eines Gestirns haben will, der wahre Halbmesser, um die wahre Höhe zu erhalten.

Für die Gestirne, welche nicht wie die Fixsterne einen unmessbar kleinen Punkt darstellen, muss der Halbmesser in Rechnung gezogen werden, da man die Höhe des Mittelpunkts des Gestirns sucht und nur die Berührung eines Randes mit der Linie des Horizonts oder dem gespiegelten Bilde messen kann. Die Planeten haben einen so geringen Durchmesser, dass man bei ihnen den Mittelpunkt selbst bei scharfer Beobachtung nur schätzungsweise zur Berührung bringen kann. Für die Sonne und den Mond ist der wahre

Halbmesser von Tag zu Tag in den Ephemeriden gegeben, da die ändernde Entfernung des Gestirns hierbei von grossem Einfluss ist. Die für Refraktion etwa nöthigen Korrektionen des Halbmessers sind oben bereits erwähnt. Bei Höhenbeobachtungen der Sonne geht man in der Regel nicht auf die scheinbare Mittelpunkthöhe über, braucht also auch den scheinbaren Halbmesser nicht; die Verkürzung des Sonnenhalbmessers durch Refraktion (siehe N. J., Taf. XV) ist daher höchstens dann anzuwenden, wenn man für Reduktion der Monddistanz die scheinbare Mittelpunkthöhe sucht. Beim Monde aber ist es nöthig, zuerst den (scheinbaren) Radius anzuwenden (der wahre Halbmesser ist durch die Tafeln XV und XII zu korrigiren), um mit dem Argument der scheinbaren Mittelpunkthöhe Refraktion und darauf Parallaxe zu bestimmen. Die Abkürzung der Rechnung in der Praxis siehe in den Beispielen.

Man beobachtet in der Regel den Unterrand des Gestirns über dem Seehorizont, ausser beim künstlichen Horizont, wo es gleichgültig ist, welchen Rand man nimmt. Um unabhängig von der Refraktion zu sein, welche die Sonnenscheibe zusammendrückt, nimmt man bei niedriger Höhe auch wohl eine Serie Unterrandshöhen und darauf eine Serie Oberrandshöhen. Beide müssen dann zu einem mittleren Resultat kombinirt werden.

6. Nach dem Vorhergehenden würde sich die Reduktion einer beobachteten Sonnenhöhe zur wahren folgendermaassen gestalten:

Gemessene Höhe (Unterrand) (korrigirt für

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Index des Instruments} & = & \circ \quad r \\
 \text{Kimmtiefe} & = & - \\
 \hline
 \text{Scheinbare Unterrandshöhe} & = & \\
 \text{Refraktion} & = & - \\
 \text{Parallaxe} & = & + \\
 \hline
 \text{Wahre Unterrandshöhe} & = & \\
 \text{Radius} & = & + \\
 \hline
 \text{Wahre Mittelpunkthöhe} & = & \circ \quad r
 \end{array}$$

Für die täglich wiederkehrenden Höhenbeobachtungen, bei denen es auf sehr grosse Genauigkeit nicht ankommt, und welche man auf Zehntel-Minuten zu berechnen pflegt, hat

man zur Abkürzung die im Anhang gegebene Tafel VII für eine Gesamtkorrektion aufgestellt, welche für den Gebrauch an Bord sehr bequem ist.

Beispiele.

1. Am 23. April 1875 wurde die Höhe des Sonnenunterrandes gemessen zu $52^{\circ} 0' 55''$ bei 8,5 m Augeshöhe. Barometer 765 mm. Thermometer 22°C . Es soll gefunden werden die wahre Mittelpunkthöhe.

a. Genaues Verfahren.

	Gem. $\odot h = 52^{\circ} 0' 55''$	
Kimmt. N. J. Taf. X*)	= —	5' 13''
	Scheinb. $\odot h = 51^{\circ} 55' 42''$	
	Refr. 0' 45''	
Korr. f. Therm. —	3''	—
- - Barom. +	1''	—
	Par. N. J. Taf. XII**)	+ 5''
	Wahre $\odot h = 51^{\circ} 55' 4''$	
	w. Halb. +	15' 56''
	w. $\ominus h = 52^{\circ} 11' 0''$	

b. Mit Hilfe der Gesamtkorrektion.

	$\odot h = 52^{\circ} 0,9'$	
Aus der Tafel VII + 10,3}	+	10,2'
Korr. für April — 0,1}		
	w. $\ominus h = 52^{\circ} 11,1'$	

c. Mittelpunkthöhe für Mondstanz.

	$\odot h = 52^{\circ} 0' 55''$	
Kimmt. =	—	5' 13''
	51° 55' 42''	
	Halbm. 15' 56''	
N. J. Taf. XIV***)	0 }	+ 15' 56''
	Scheinb. $\ominus h = 52^{\circ} 11' 38''$	
	Refr. — Par. —	0' 38''
	w. $\ominus h = 52^{\circ} 11' 0''$	

2. Am 17. Juli 1875 wurde beobachtet die Höhe des Sonnenunterrandes $8^{\circ} 49' 30''$. Augeshöhe 3,8 m. Barometer 753 mm. Thermometer $+ 5^{\circ} \text{C}$.

a. Ungefähre wahre Mittelpunkthöhe.

(In Zehntel-Minuten.)

	$\odot h = 8^{\circ} 49,5'$	
Ges. Korr. n. Taf. VII 6,8}	+	6,6'
Korr. f. Juli 0,2}		
	w. $\ominus h = 8^{\circ} 56,1'$	

*) In neueren Jahrgängen Taf. XI.

***) In neueren Jahrgängen Taf. XIII.

****) In neueren Jahrgängen Taf. XV.

b. Genaues Verfahren.

	$\odot h =$	8° 49' 30"
	Kimmt. =	- 3' 29"
	Scheinb. $\odot h =$	8° 46' 1"
	Refr. =	5' 58"
Korr. f. Therm. = +	6"	} - 6' 5"
- - Barom. = +	1"	
Par. =		+ 8"
	w. $\odot h =$	8° 40' 4"
	w. Halb. = +	15' 46"
	w. $\ominus h =$	8° 55' 50"

c. Mittelpunktshöhe für Mondstanzzen.

Da es sich hierbei nicht sowohl um eine sehr genaue scheinbare Höhe, als vielmehr um die genaue Differenz zwischen scheinbarer und wahrer Höhe handelt, so ist die scheinbare Mittelpunktshöhe auch auf volle Minuten abzurunden.

	$\odot h =$	8° 49,5'
	Kimmt. = -	3,5'
	Halbm. = +	15,8'
	Scheinb. $\ominus h =$	9° 2'
	Refr. =	5' 48"
Korr. f. Therm. = +	6"	} - 5' 55"
- - Barom. = +	1"	
Par. =		+ 8"
	w. $\ominus h =$	8° 56' 13"

7. Reduktion der gemessenen Höhe des Mondrandes zur wahren Mittelpunktshöhe.

Für gewöhnliche Mondshöhen ist das für die Sonne gegebene genaue Verfahren ausreichend. Wenn grössere Genauigkeit verlangt wird, so ist zunächst die scheinbare Mittelpunktshöhe zu bestimmen, da diese das Argument für Refraktion und Parallaxe bildet. Wegen der sphäroidischen Gestalt der Erde ist an der im Nautischen Jahrbuch gegebenen Aequatorial-Horizontalparallaxe des Mondes eine Korrektion anzubringen, deren Grösse von dem Erdradius unter den Füßen des Beobachters, also von der Ortsbreite, und der Entfernung des Mondes von der Erde, also von der Grösse der dieser umgekehrt proportionalen Mondparallaxe abhängt. In den Tafeln von Domke und Breusing ist eine Hülftafel gegeben, aus welcher man Refraktion und Parallaxe zusammen mit dem Argument h und P entnimmt.

Beispiel.

Am 30. Juli 1875 wurde beobachtet in 12° 12,5' N-Br 19° 50' W-Lg, die Höhe des Mondunterrandes 33° 39' 27", Augeshöhe 6 m,

Barom. 766 mm, Therm. 27° C., ungef. mittlere Ortszeit 10^h 32^m Vormittags, geschätztes Mondszimuth S 75° W (N 105° W).

Aus den Ephemeriden ergibt sich:

den 29.	12 ^h	(r 16' 20"	(P 59' 51"
den 30.	0 ^h	16' 19"	59' 46"
	mittl. Ortszt. den 29.		22 ^h 32'
		W-Lg	1 ^h 19,4'
	mittl. Grw. Zt.		23,9 ^h

daher ist für die Interpolation d. 30. 0^h anzunehmen.

a. Genaues Verfahren der Reduktion, anzuwenden bei Mond-
distanzenhöhen.

	Gem. (h = 33° 39' 27"		
Kimmt.	= - 4' 23"		
	Scheinb. (h = 33° 35' 4"		
Halbm.	16' 19"		
Vergrößerung Taf. XI *)	+ 9"	+ 16' 27"	
Verkürz. d. Refr. Taf. XIV *)	- 1"		Nach Formel $p = P \cos h$ (S. 239)
	Scheinb. (h = 33° 51' 31"	h = 33° 50'	
	Refr. 1' 26"	Taf. XVII **) - 1'	
Korrektion für Therm.	- 5"	33' 49"	log cos 9,9195
Korrektion für Barom.	+ 1"	P = 59' 46"	log 3,5546
		Taf. XVIII ***) + 0	log p = 3,4741
	p = + 49' 39"		p = 2979"
	w (h = 34° 39' 48"		p = + 49' 39"

e. Angenähertes Verfahren, anzuwenden bei Mondeshöhen für
tägliche Ortsbestimmungen.

Gem. (h = 33° 39,5'
Kimmt. = - 4,4'
Refr. - 1,4'
Halbm. + 16,3'
33° 50,0'

Kurs (a)	Koppeltafel.	Br-U (b)	
h 34°	Dist. (c)	49,2	p + 49,2'
	P 59,3		w (h = 34° 39,2'

Anmerkung. Das Verfahren nach der Koppeltafel verdient den Vorzug vor der logarithmischen Rechnung.

So sehr eine genaue Rechnung für sorgfältige Beobachtungen von Nutzen ist, so kann doch für die täglichen Rechnungen der praktischen Navigation die allgemeine Ein-

*) Neuere Jahrgänge Tafel XII und XV.

**) Neuere Jahrgänge Tafel XVIII.

***) Neuere Jahrgänge Tafel XIX.

schränkung der Genauigkeit auf Zehntel von Minuten nur empfohlen werden.

8. Reduktion der gemessenen Höhen von Planeten und Fixsternen.

Die Reduktion der Höhe eines Planeten geschieht in derselben Weise wie die der Sonne.

Für den Seegebrauch ist der im Jahrbuch angegebene Halbmesser der Planeten nicht in Anwendung zu bringen, schon deshalb nicht, weil die Fernrohre der Reflexions-Instrumente keinen scharfen Rand der Planetenscheiben erkennen lassen. Die Anwendung der Parallaxe ist nur bei Mondstanzhöhen erforderlich.

Bei den Fixsternen fallen die Korrekturen für Parallaxe und Halbmesser fort.

Beispiele.

1. Es wurde α Bootis beobachtet bei 7,5 m Augeshöhe.

$$\begin{array}{r} \text{Gem. } \star h = 46^{\circ} 56,7' \\ \text{Kimmt.} \quad - 4,9' \\ \text{Refr.} \quad - 0,9' \\ \hline w \star h = 46^{\circ} 50,9' \end{array}$$

2. Am 21. August 1875 wurde bei 6 m Augeshöhe Jupiter beobachtet. Thermometer 26° C., Barometer 750 mm.

$$\begin{array}{r} \text{Gem. } \zeta h = 16^{\circ} 38,7' \\ \text{Kimmt.} = - 4,4' \\ \text{Refr. } 3' 12'' \\ \left. \begin{array}{l} \text{Korr. f. Therm.} - 11'' \\ \text{Barom.} - 1'' \end{array} \right\} = - 3,0' \\ \hline w \zeta h = 16^{\circ} 31,3' \end{array}$$

Dieselben Beispiele werden, wenn die Höhen zu einer Mondstanz beobachtet wurden, genauer wie folgt zu reduciren sein.

$$\begin{array}{r} 1. \quad \text{Gem. } \star h = 46^{\circ} 56' 42'' \\ \text{Kimmt.} \quad - 4' 54'' \\ \hline \text{Scheinb. } \star h = 46^{\circ} 51' 48'' \\ \text{Refr.} = - 0' 54'' \\ \hline w \star h \quad 44^{\circ} 50' 54'' \\ \\ 2. \quad \text{Gem. } \zeta h \quad 16^{\circ} 38' 42'' \\ \text{Kimmt.} \quad - 4' 23'' \\ \hline \text{Scheinb. } \zeta h = 16^{\circ} 34' 19'' \\ \text{Refr. } 3' 12'' \\ \left. \begin{array}{l} \text{Korr. f. Therm.} - 10'' \\ \text{Barom.} - 1'' \end{array} \right\} = 3' 1'' \\ ,P = 1,4'' \quad p \quad + \quad 1'' \\ \hline w \zeta h = 16^{\circ} 31' 19'' \end{array}$$

9. Wenn von der wahren Höhe, welche zum Zweck der Reduktion einer Mondsdistanz berechnet worden ist, zur scheinbaren Höhe übergegangen werden soll, so ist zu berücksichtigen, dass die Refraktion und Höhenparallaxe zu ihrer genauen Feststellung die Kenntniss der scheinbaren Höhe erfordern. Man verschafft sich daher zunächst durch Einsetzung der wahren Höhe als scheinbare einen ange-näherten Werth dieser Korrektion und berechnet die genauen Beträge mit der dadurch festgestellten scheinbaren Höhe.

Beispiel.

Am 25. September 1875 auf 34° S-Br wurde die Höhe des Mondes zu 20° 32' berechnet. Mittlere Ortszeit 7^h 26^m Nachmittag, 16° W-Lg, Azimuth N 100° O, Therm. 20° C., Barom. 765 mm.

Aus der Ephemeride:

25. 9.	0 ^h	P = 57' 45''			mittl. Orts-Zt. 7 ^h 26'	
	12 ^h	P = 57' 31''			W-Lg 1 ^h 4'	
für 8,5 ^h		P = 57' 36''	log	3,5386	mittl. Grw. Zt. 8,5 ^h	
berechnete	☾ h = 20° 32'		log cos h	9,9715		
		p = 54'	log p	3,5101	p = 3236'' = 54,0'	
ungef. schb.	☾ h 19° 38'	} log cos	9,97408	} log	3,53832	h = 20° 32'
Taf. XVII =	— 2'					
	P = 57' 36''	} log	3,53832	} log p	3,51240	p = — 54' 14''
Taf. XVIII =	— 4''					
	19° 37' 46''					h — p = 19° 37' 46''
	Refr. + 2' 43''					
Ungef. scheinb.	☾ h 19° 40'	Refr.	2' 40''	} = + 2' 35''		
		Therm.	— 6''			
		Barom.	+ 1''			
						Scheinb. ☾ h = 19° 40' 21''

§ 77. Bemerkungen über die Anstellung von Höhenbeobachtungen.

Die Beobachtung der Sonne ist die leichteste. Man beobachtet in der Regel den Unterrand derselben und lässt, nachdem man den Winkel ungefähr gefunden hat, die Sonne den Horizont in der Weise tangiren, dass man eine kleine Schwenkung mit dem Instrument um das Fernrohr als Axe macht, um sicher zu sein, dass die Höhe auch genau in der Vertikale (also in der kürzesten Entfernung) gemessen ist. Wenn die Sonne sehr nahe dem Zenith steht, so ist diese Bedingung nicht so einfach zu erfüllen wie sonst, weshalb man bei der Messung von Meridianhöhen in diesem Falle die Nord-Süd-Linie feststellt und in dieser Ebene den Winkel misst.

Es ist Gebrauch, eine Anzahl Höhen schnell hintereinander zu beobachten und daraus das Mittel zu nehmen. Diese Art der Beobachtung ist nicht geeignet, vor Fehlern zu schützen, da die Hauptfehler gewöhnlich allen Höhen dieser Serie gleichmässig anhaften. Z. B. kann es vorkommen, dass man, durch Witterungs- und Reflexionsverhältnisse verleitet, mehrere Höhen über einem falschen Horizont beobachtet. Ferner ist die Aenderung der Höhe auch nur dann der Zeit proportional zu nehmen, wenn sich das Gestirn in oder nahe seiner grössten Höhenänderung befindet. Wenn das Azimuth nicht mehr als 45° beträgt, ist diese Annahme nicht mehr zulässig; man darf dann nicht mehrere Höhen mit ihren Zeiten zu einer vereinigen. Endlich ist dabei auch noch die Ortsveränderung des Schiffes zu berücksichtigen. Wenn z. B. das Schiff sich mit 12 Knoten Fahrt in einer Richtung fortbewegt, welche der Peilung der Sonne entgegengesetzt ist, und man beobachtet vom Heck eine Reihe Höhen, so muss man bedenken, dass in fünf Minuten eine Minute in der Höhe durch Ortsveränderung verändert wird. Auch Raper empfiehlt, sich darin zu üben, nur immer eine Höhe zu nehmen, da man häufig in die Lage kommt, sich mit einer einzelnen begnügen zu müssen. Die Regel, eine lange Reihe von Beobachtungen zu mitteln, stammt auch aus einer Zeit, in welcher der Theilung der Reflexions-Instrumente sehr grobe Fehler anhafteten. Die unbekanntem Fehler des Instruments eliminirt man bei Höhen über 60° zweckmässig dadurch, dass man einmal die Höhe und darauf die Ergänzung derselben zu 180° misst. Die halbe Differenz beider Messungen ist die Zenithdistanz. Man setzt hierbei voraus, dass der Zustand der Atmosphäre rund um den Horizont derselbe ist. Bei grosser Nähe des Landes und gleichzeitiger Stille ist diese Voraussetzung zu prüfen.

Die Korrektion für Kimmtiefe ändert am schnellsten und ist am unzuverlässigsten bei geringer Augeshöhe, weshalb sich ein hoher Standpunkt empfiehlt. Bei hohem Seegang ist ein solcher um so mehr erforderlich, als dann nur von grösserer Höhe der Horizont als eine Linie erscheint, während er sonst fortdauernd durch zwischenliegende Wellen verdeckt wird.

Andererseits kann es zuweilen vortheilhaft sein, einen sehr tiefen Standpunkt zu wählen. Wenn nämlich der Horizont unklar, die Sonne dagegen gut sichtbar ist, so wird es oft möglich sein, bei einer sehr geringen Augeshöhe, also einem sehr kleinen Gesichtskreis, eine scharfe Meereslinie zu erhalten. Die Augeshöhe ist im Allgemeinen auf 0,5 m genau zu bestimmen.

Wenn der Horizont klar ist, aber die Sonnenscheibe unklare Ränder hat, so beobachtet man nicht den Rand, sondern lässt die Sonnenscheibe durch die Horizontlinie halbiren.

Für Sternbeobachtungen ist die Dämmerung am günstigsten. Beobachtet man bei Nacht, so ist ein Instrument mit größerer Theilung anzuwenden. Auch sollte für diesen Fall eine besondere Beobachtungslaterne vorhanden sein, welche das Licht nur auf den Nonius wirft, da es wesentlich ist, dass die Augen des Beobachters nicht geblendet werden. Es empfiehlt sich, wenn man mehrere Höhen nehmen will, dass ein zweiter Beobachter die Ablesung besorgt, während der erste seine Augen ganz im Dunkeln lässt und dadurch eine erhöhte Fähigkeit erlangt, den Horizont scharf zu unterscheiden. Andererseits sollte eine Beobachtung allerdings möglichst von einer Person durchgeführt werden.*)

Es ist von Vortheil, wenn der Beobachter, welcher die Höhen misst, zugleich die Zeit notiren kann. Um dies zu erreichen, muss man entweder die Uhr schlagen hören, oder man muss sich (beim täglichen Chronometervergleichen) die Fähigkeit angeeignet haben, eine Anzahl Schläge gleichmässig im Kopf zu zählen. Wenn die Uhr so zur Hand ist, dass man jederzeit durch einen Blick das Zählen kontroliren kann, ist keine Schwierigkeit damit verbunden.

Für Mondbeobachtungen ist noch zu bemerken, dass eine Höhe nicht beobachtet werden sollte, wenn die Sichel vertikal steht. Man kann dann ein bis zwei Stunden warten, innerhalb welcher Zeit sich die Sichel wieder geneigt hat. Der Horizont unter dem Monde ist häufig schwer festzuhalten, wenn durch dazwischenliegende Wolken Schatten auf das Wasser geworfen werden. In der Regel bezeichnet eine scharfe Linie von glänzendem Wasser den Horizont.

Der Einfluss einer sogenannten persönlichen Gleichung auf nautische Beobachtungen kann als vollkommen irrelevant bezeichnet werden; die Wirkung der persönlichen Fehler ist überhaupt eine Zeit lang stark übertrieben worden.

*) Der verstorbene Capt. Davis R. N. hat eine für Nachtbeobachtungen recht empfehlenswerthe einfache Vorrichtung konstruirt, welche gestattet, eine Reihe von Beobachtungen mittelst des Sextanten zu nehmen, ohne dazwischen die einzelnen Ablesungen vorzunehmen. (Davis Improved Sextant.)

XI. Kapitel.

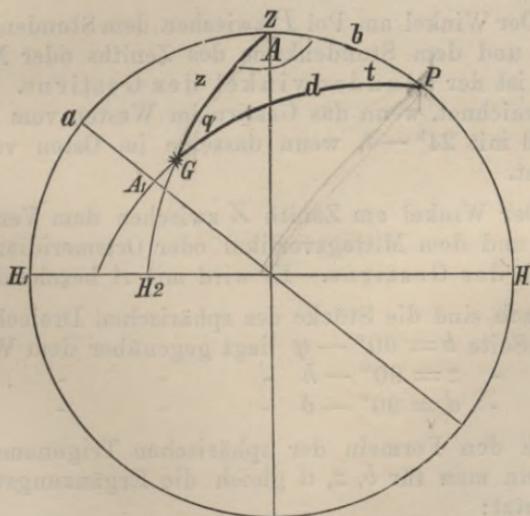
Sphärische Astronomie.

§ 78. Das Hauptdreieck der sphärischen Astronomie.

Die einfachste Anwendung der sphärischen Astronomie in der Navigation besteht darin: aus den bekannten Koordinaten der Deklination und Rektascension eines Gestirns mit Hilfe von Beobachtungen der Höhe dieses Gestirns den Beobachtungsort auf der Erde oder die Beobachtungszeit oder das Azimuth des Gestirns zu finden.

Umgekehrt kann aus Zeit und Polhöhe (Breite) des Orts die Höhe des Gestirns oder das Azimuth gefunden werden, und daran schliessen sich dann noch andere Probleme wie Berechnung der Auf- und Untergangszeit, des Kulminirens der Gestirne etc.

Fig. 85.



Alle diese Aufgaben finden ihre mathematische Lösung in der Betrachtung eines sphärischen Dreiecks (s. Fig. 85), welches zwischen Zenith Z , Pol P und Gestirn G gebildet wird, durch Stücke folgender grössten Kreise an der Himmelskugel:

1. Der Meridian des Orts (ZP).
2. Der Vertikal des Gestirns (GZ).
3. Der Stundenkreis des Gestirns (GP).

1. Das Stück ZP des Meridians ist die Ergänzung der Polhöhe PH zu 90° und wird im Folgenden mit b bezeichnet. Es ist die Polhöhe PH gleich der Breite Za , welche mit φ bezeichnet wird, daher $90^\circ - \varphi = b = ZP$.

2. Das Stück GZ des Vertikals des Gestirns ist die Ergänzung der Höhe GH_2 (welche mit h bezeichnet wird) zu 90° und soll im Folgenden z heissen, also $90^\circ - h = z = GZ$.

3. Das Stück GP des Stundenkreises ist die Ergänzung der Deklination des Gestirns GA_1 , (welche mit δ bezeichnet wird) zu 90° und soll im Folgenden mit d bezeichnet werden, also $90^\circ - \delta = d = GP$.

Die Winkel dieses sphärischen Dreiecks sind folgende:

1. Der Winkel am Gestirn G , welcher von dem Vertikal und dem Stundenkreis gebildet wird. Dieser Winkel heisst der parallaktische Winkel und wird mit q bezeichnet.

2. Der Winkel am Pol P zwischen dem Stundenkreis des Gestirns und dem Stundenkreis des Zeniths oder Meridians des Orts ist der Stundenwinkel des Gestirns. Er wird mit t bezeichnet, wenn das Gestirn im Westen vom Meridian steht und mit $24^h - t$, wenn dasselbe im Osten vom Meridian steht.

3. Der Winkel am Zenith Z zwischen dem Vertikal des Gestirns und dem Mittagsvertikal oder Ortsmeridian ist das Azimuth des Gestirns. Es wird mit A bezeichnet.

Sonach sind die Stücke des sphärischen Dreiecks:

Die Seite $b = 90^\circ - \varphi$ liegt gegenüber dem Winkel q
 - - $z = 90^\circ - h$ - - - - t
 - - $d = 90^\circ - \delta$ - - - - A

und nach den Formeln der sphärischen Trigonometrie hat man, wenn man für b, z, d gleich die Ergänzungswinkel φ, h, δ einsetzt:

$$\text{I. } \sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t$$

$$\text{II. } \sin \delta = \sin \varphi \cdot \sin h + \cos \varphi \cdot \cos h \cdot \cos A$$

$$\text{III. } \sin \varphi = \sin \delta \cdot \sin h + \cos \delta \cdot \cos h \cdot \cos q$$

Aus diesen Formeln lassen sich die für die Rechenmethoden gebräuchlichen leicht ableiten.

§ 79. Die Grundformeln der sphärischen Trigonometrie mit den Buchstaben des astronomischen Dreiecks sollen hier kurz aufgeführt werden:

$$\sin d . \sin t = \sin A . \sin z$$

$$\sin d . \sin q = \sin A . \sin b$$

$$\sin z . \sin q = \sin t . \sin b$$

$$\cos z = \cos b . \cos d + \sin b . \sin d . \cos t$$

$$\cos d = \cos z . \cos b + \sin z . \sin b . \cos A$$

$$\cos b = \cos d . \cos z + \sin d . \sin z . \cos q$$

$$\sin z . \cos A = \cos d . \sin b - \sin d . \cos b . \cos t$$

$$\sin z . \cos q = \cos b . \sin d - \sin b . \cos d . \cos t$$

$$\sin d . \cos t = \cos z . \sin b - \sin z . \cos b . \cos A$$

$$\sin d . \cos q = \cos b . \sin z - \sin b . \cos z . \cos A$$

$$\sin b . \cos t = \cos z . \sin d - \sin z . \cos d . \cos q$$

$$\sin b . \cos A = \cos d . \sin z - \sin d . \cos z . \cos q$$

woraus sich ferner ergibt durch Division der dritten Form durch die erste:

$$\sin t . \cotg A = \cotg d . \sin b - \cos b . \cos t$$

$$\sin t . \cotg q = \cotg b . \sin d - \cos d . \cos t$$

$$\sin A . \cotg t = \cotg z . \sin b - \cos b . \cos A$$

$$\sin A . \cotg q = \cotg b . \sin z - \cos z . \cos A$$

$$\sin q . \cotg t = \cotg z . \sin d - \cos d . \cos q$$

$$\sin q . \cotg A = \cotg d . \sin z - \cos z . \cos q$$

In allen diesen Formeln kann gesetzt werden:

$$\sin z = \cos h; \quad \cos z = \sin h; \quad \cotg z = \tg h$$

$$\sin d = \cos \delta; \quad \cos d = \sin \delta; \quad \cotg d = \tg \delta$$

$$\sin b = \cos \varphi; \quad \cos b = \sin \varphi; \quad \cotg b = \tg \varphi.$$

Man sieht, dass sich der Stundenwinkel (also die Ortszeit), die Breite, das Azimuth oder die Höhe feststellen lassen, wenn ausser der im Nautischen Jahrbuch gegebenen Deklination des Gestirns noch zwei andere Stücke des sphärischen Dreiecks bekannt sind. Durch Stundenwinkel und Breite ist die geographische Position des Beobachters gegeben. Die für diese wichtigen Bestimmungen günstigen Bedingungen sollen zunächst näher dargelegt werden.

§ 80. Die Aenderung der sphärischen Koordinaten der Gestirne durch ihre tägliche Bewegung.

Zeit der Kulmination und grössten Höhe. Jedes Gestirn passirt im Laufe eines Tages sämtliche Meridian-

ebenen zweimal. Wenn das Gestirn den Meridian des Orts passirt, so steht dasselbe in seiner oberen Kulmination, wenn die Rektascension des Gestirns gleich der Orts-Sternzeit ist; das Gestirn steht in seiner unteren Kulmination, wenn die Orts-Sternzeit um 12 Stunden von der Rektascension des Sterns verschieden ist.

Für die Gestirne ohne eigene Bewegung (die Fixsterne) ist der Zeitpunkt der Kulmination daher durch die Rektascension unmittelbar gegeben. Dieser Zeitpunkt ist auch für die Fixsterne zugleich der der grössten Höhe.

Beispiel.

Wann kulminirte der Polarstern in seiner oberen und wann in seiner unteren Kulmination nach mittlerer Ortszeit am 15. April 1875?

d. 15. 4. Sternzt. d. Orts = R. A. des Polarsterns = $1^h 11^m 45,8^s$ (N. J.)

Sternzt. im mittl. Grw. Mittg. = $1^h 32^m 56,8^s$ (N. J.)

Sternzt.-Intervall = $23^h 38^m 49,0^s$

N. J. Taf. IV. $22^h 56^m 13,92^s$

$37^m 53,77^s$

$48,87^s$

Mittl. Zt. den 15. 4. = $23^h 34^m 57^s$ = Ob. Kulm.

12 Stdn. Sternzt. = $11^h 58^m 2^s$

Mittl. Zt. den 15. 4. = $11^h 36^m 55^s$ = Unt. Kulm.

Dies ist streng genommen nur die Zeit der Kulmination in Greenwich. Da aber die Kulminationszeit in der praktischen Navigation auf Minuten hinlänglich genau für alle Zwecke bestimmt ist, so kann man das Resultat als mittlere Ortszeit überall anwenden.*)

Für die Kulmination der Sonne, des Mondes und der Planeten findet man die mittlere Zeit im Nautischen Jahrbuch angegeben und zwar für die Sonne durch die Zeitgleichung *plus* oder *minus* 0 Uhr (mit den umgekehrten Zeichen des Jahrbuchs).**)

*) Die Länge berücksichtigt, findet sich die Kulminationszeit z. B. für 75° Ost-Länge:

R. A. des Polarsterns) $1^h 11^m 45,8^s$ (N. J.)

= Sternzt. am Ort)

Sternzt. in Grw. (-5^h) $20^h 11^m 45,8^s$

Sternzt. im mittl. Mittg. $1^h 32^m 56,8^s$ (N. J.)

Sternzt.-Intervall = $18^h 38^m 49^s$

N. J. Taf. IV mittl. Grw. Zt. $18^h 35^m 46^s$

Mittl. Orts-Zt. ($+5^h$) $23^h 35^m 46^s$ = Ob. Kulm.

**) Die Zeitgleichung ist der Stundenwinkel der wahren Sonne im mittleren Mittage. Streng genommen würde also noch eine Korrektion an derselben angebracht werden müssen, die aber nie wesentlich sein kann.

Da bei diesen Gestirnen sich die Deklination stetig ändert, so ist bei ihnen nicht die Meridianhöhe nothwendig mit der grössten Höhe zusammenfallend. (Siehe Beispiel).

Um die Zeit der grössten Höhe zu erfahren, bedient man sich der Formel I. (S. 250).

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t$$

Es ergibt sich durch Differenziren, da φ konstant bleibt und δ, h, t sich ändern:

$$\cos h \cdot dh = (\sin \varphi \cdot \cos \delta - \cos \varphi \cdot \sin \delta \cdot \cos t) d\delta - \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin t \cdot dt$$

Für die grösste Höhe (h Maximum) ist $dh = 0$, daher:

$$\sin t = \frac{(\sin \varphi \cdot \cos \delta - \cos \varphi \cdot \sin \delta \cdot \cos t) d\delta}{\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot dt}$$

$$\sin t = (tg \varphi - tg \delta \cdot \cos t) \frac{d\delta}{dt}$$

Das Verhältniss $\frac{d\delta}{dt}$ stellt die Veränderung der Deklination in der Zeiteinheit — letztere hier in Bogenheiten des Stundenwinkels ausgedrückt — dar. Dieses Verhältniss, und damit $\sin t$ für die grösste Höhe, ist stets sehr klein. Wenn man daher die Aenderung der Deklination in einer Sekunde Zeit setzt gleich $\frac{d\delta}{15 \cdot dt}$ (der Divisor 15 giebt den Uebergang

von Bogenmaass in Zeitmaass) sowie $\cos t = 1$ und $\sin t = \frac{t}{206265}$ (s. Seite 238), so ist t der Stundenwinkel für die grösste Höhe in Zeitsekunden:

$$t = \frac{206265}{15} \cdot \frac{d\delta}{dt} \cdot [tg \varphi - tg \delta]^s.$$

Hierin sind $d\delta$ und dt beide in Bogenmaass ausgedrückt; ist dt in Zeitmaass angegeben, so fällt die 15 im Nenner weg.

Es ist hierbei Aufmerksamkeit auf das Zeichen von t zu verwenden: Nimmt die Deklination nach der positiven Seite (nach Norden) zu, so ist $\frac{d\delta}{dt}$ positiv. Daher die Regel:

Kulminirt das Gestirn südlich vom Zenith, und nähert sich das Gestirn dem Nordpol, so ist, wenn φ positiv ist, t positiv; nimmt dagegen die Deklination ab, so ist t negativ. Das Umgekehrte findet statt, wenn das Gestirn zwischen dem Pol und Zenith kulminirt. *)

*) Brünnow, Sphärische Astronomie.

Beispiel.

Wann befand sich der Mond am 16. Januar 1875 auf 78° N-Br und 46° W-Lg im Meridian und wann erreichte derselbe an diesem Tage seine grösste Höhe nach mittlerer Ortszeit?

Aus der Ephemeride.

16. ☾ im ob. Merid. v. Grw. = 7 ^h 30,5 ^m	$\log 206265 = 5,31442$	$d \delta$ in 10 ^m = 116"	$\log = 2,06446$
17. - - - - - = 8 ^h 28,1 ^m	$\log 15 = 1,17609$	$dt = 9000''$	$\log = 3,95424$
Diff. = 0 ^h 57,6 ^m	4,13833		8,11022
Diff. für 46° W-Lg = 7,2 ^m	$\log \frac{d\delta}{dt} = 8,11022$		
7 ^h 30,5 ^m			
16. ☾ im ob. Merid. d. Orts 7 ^h 37,7 ^m	2,24855	$tg \varphi = tg 78^\circ = 4,70463$	
W-Lg i. Z. = 3 ^h 4,0 ^m	$\log(tg \varphi - tg \delta) = 0,63512$	$tg \delta = tg 21^\circ 13' = 0,38821$	
zur Interpolation Grw. Zt. = 10 ^h 42 ^m	$\log t = 2,88367$	$tg \varphi - tg \delta = 4,31642$	
☾ im ob. Merid. d. Orts 7 ^h 37,7 ^m	$t = 765''$	$\log = 0,63512$	
$t = 12,7^m$	$t = + 12^m 45^s$		
☾ grösste H um 7 ^h 50,4 ^m			

§ 81. Das Azimuth eines Gestirns.

Wenn das Gestirn kulminirt, so steht es genau im Süden oder Norden vom Beobachter. Die scharfe Bestimmung dieser Nord-Süd-Richtung wird aber nur genau, wenn das Gestirn sehr niedrig über dem Horizont kulminirt, während bei grösserer Höhe die Bewegung desselben im Azimuth zu schnell erfolgt. Die Kenntniss der Breite und Höhe eines Gestirns gestattet für eine Stellung des Gestirns ausserhalb des Meridians stets das Azimuth desselben zu berechnen. Auf diese Weise ist dann von dem Vertikal des Gestirns ausgehend die Mittagslinie unmittelbar festzustellen, nach der Formel:

$$\text{II. } \sin \delta = \sin \varphi \cdot \sin h + \cos \varphi \cdot \cos h \cdot \cos A$$

$$\text{oder: } \cos d = \sin \varphi \cdot \sin h + \cos \varphi \cdot \cos h \cdot (1 - 2 \sin^2 \frac{1}{2} A)$$

$$= \sin \varphi \cdot \sin h + \cos \varphi \cdot \cos h - 2 \sin^2 \frac{1}{2} A \cdot \cos \varphi \cdot \cos h$$

$$\cos d - \cos(\varphi - h) = -2 \sin^2 \frac{1}{2} A \cdot \cos \varphi \cdot \cos h$$

$$-2 \sin^2 \frac{1}{2} (d + \varphi - h) \cdot \sin^2 \frac{1}{2} (d - \varphi + h) = -2 \sin^2 \frac{1}{2} A \cdot \cos \varphi \cdot \cos h.$$

Wenn $\frac{1}{2}(\varphi + h + d) = s$ gesetzt wird, erhält man:

$$\sin^2 \frac{1}{2} A = \frac{\sin(s-h) \cdot \sin(s-\varphi)}{\cos \varphi \cdot \cos h}$$

In dieser Formel ist A vom Nordpol gerechnet, wenn φ positiv für Nord, negativ für Süd gesetzt wird.*)

*) A vom Südpol gerechnet würde unter derselben Voraussetzung die Formel ergeben:

$$\cos^2 \frac{1}{2} A = \frac{\cos s \cdot \cos(s-d)}{\cos \varphi \cdot \cos h}.$$

Die Berechnung des Azimuths aus Höhenbeobachtungen der Gestirne zum Zweck der Bestimmung der Nord-Süd-Linie ist durch die neuerdings sehr ausführlich gegebenen Azimuthtafeln (am genauesten von Burdwood und Davis, ferner auch von Labrosse) bei Kenntniss der Zeit ganz entbehrlich geworden. Aus denselben wird das Azimuth entnommen mit den Argumenten Breite, Deklination und wahre Zeit. Man findet nämlich das Azimuth mit Hülfe dieser Daten ohne Kenntniss der Höhe nach der folgenden Formel:

$$\cotg d \cdot \cos \varphi = \sin \varphi \cdot \cos t + \sin t \cdot \cotg A$$

$$\text{also } \cotg A = \frac{\cotg d \cdot \cos \varphi - \sin \varphi \cos t}{\sin t}$$

welche durch Einführung eines Hülfswinkels für logarithmische Rechnung bequem gemacht werden kann, wie folgt:

Setzt man $tg u = \frac{\cos t}{\cotg d}$, so ist

$$\cos t = tg u \cotg d; \text{ setzt man diesen Werth in die Gleichung für } \cotg A \text{ ein, so er-$$

hält man $\cotg A = \frac{\cotg d \cos \varphi - \cotg d tg u \sin \varphi}{\sin t}$; Zähler

und Nenner mit $\cos u$ multiplicirt:

$$\cotg A = \frac{\cotg d (\cos \varphi \cos u - \sin \varphi \sin u)}{\sin t \cos u}$$

$$= \frac{\cotg d \cos (\varphi + u)}{\sin t \cos u}$$

Beispiel.

Am 7. April 1875 auf 36° 9' S-Br 81° 29' O-Lg wurde um 4^h 17^m Nachmittag die Höhe des Sonnenunterrandes gemessen zu 15° 59' 20'', Augeshöhe 8 m. Hieraus soll das Azimuth der Sonne bestimmt werden.

O-Lg 81° 29' = 5^h 26^m

Mittl. Orts-Zt. 7. 4. = 4^h 17^m

Mittl. Grw.-Zt. 6. 4. = 22^h 51^m

7. 4. = -1,2^h } Zunahme von δ
 ⊙ δ 7. 4. + 6° 47,1' } 1^h = 56,6'' also
 - 1,1' } 1,2^h = 67,9''

6° 46' $d = 90^\circ - \delta = 83^\circ 14'$

Gem. ⊙ h = 15° 59,3'

$\varphi = -36^\circ 9'$ $\log \sec 0,0929$

Ges. Korr. n. Taf. VII. = + 7,8'

h = 16° 7,1' $\log \sec 0,0174$

w. ⊕ h = 16° 7,1'

2 s = 63° 12,1'

s = 31° 36'

s - φ = 67° 45' $\log \sin 9,9664$

s - h = 15° 28,9' $\log \sin 9,4263$

2 $\log \sin 9,5030$

1/2 A = 34° 21' $\log \sin 9,7515$

A = N 68° 42' W

Gleichzeitig wurde die Sonne mit einem Kompass gepeilt N 51° 28' W. Das Schiff lag an SSO nach demselben Kompass, welcher auf diesem Kurse 0,8° Westdeviation hatte. Welche Missweisung folgt daraus für die Position des Schiffes?

Peilg. per Komp.	— 51° 28'
Dev.	— 0° 48'
Mag. Az.	— 52° 16'
Astr. Az.	— 68° 42'
Mw.	— 16° 26' (West.)

§ 82. Amplitude eines Gestirns im Auf- und Untergange.

Wenn in der Formel II $h = 0$ gesetzt wird, so erhält man:

$$\cos A = \sin \delta \cdot \sec \varphi,$$

also, da die Amplitude die Ergänzung des Azimuths zu 90° ist,
 $\sin \text{Ampl.} = \sin \delta \cdot \sec \varphi.$

Auf diese Weise hat man ein sehr bequemes Mittel, die Ost-West-Linie zu bestimmen. Zu bemerken ist dabei, dass die Sonne, welche bei Amplituden-Beobachtungen hauptsächlich in Betracht kommt, nicht im Verschwinden, sondern dann beobachtet werden muss, wenn sie noch etwas (etwa einen Sonnendurchmesser), über dem Horizont steht, damit die Refraktion und Kimmtiefe berücksichtigt werde. Uebrigens sollte diese Beobachtung nur stattfinden auf so niedrigen Breiten, dass eine Aenderung der Peilung während des Unter- bzw. Aufganges nicht merklich wird.

Auch die Amplitude der Sonne findet sich in den Tafeln von Burdwood und Davis angegeben.

Beispiel.

Am 7. April 1875 wurde auf 36° 9' S-Br und 81° 36' O-Lg um 5 Uhr 40 Min. die Sonne beim Untergange N 63° 10' W gepeilt. Kurs SSO, Missweisung — 16° 25'. Um hieraus die Deviation abzuleiten, soll die astronomische Peilung für den Moment, wo die Sonne im Horizont stand, berechnet werden.

Mittl. Ortszt.	7. 4. =	5 ^h 40 ^m
81° 36' O-Lg	=	— 5 ^h 26 ^m

Mittl. Grw.-Zt.	7. 4. =	0 ^h 14 ^m
-----------------	---------	--------------------------------

⊙ δ 7. 4.	= + 6° 47,1'	Zunahme	$\frac{0,9'}{0,2}$
	= + 0,2'		$\frac{0,2}{0,18'}$
	<u>6° 47,3'</u>		

φ =	— 36° 9'	log sec	0,0929
δ =	+ 6° 47,3'	log sin	9,0726
		log sin	9,1655

$$\text{Ampl.} = \text{W } 8^\circ 25' \text{ N}$$

$$= \text{N } 81^\circ 35' \text{ W}$$

$$\oplus \text{ N } 63^\circ 10' \text{ W}$$

$$\text{Missw.} + \text{Dev.} = -18^\circ 25' \text{ (West)}$$

$$\text{Missw.} = -16^\circ 25'$$

$$\text{Dev.} = -2^\circ \text{ (West)}$$

Will man hieraus noch die scheinbare Höhe erhalten, so verfährt man wie folgt:

$$\begin{aligned} \text{Ungef. H. Par. in Sekunden} &= p = P \cdot \cos h. \\ P &= 54' 13'' (3253'') \log 3,51228 & \log 3,51228 \\ h &= 17^\circ 59' \log \cos 9,97825 \\ \text{ungef. } p &= \frac{51' 34''}{17^\circ 7'} \log 3,49053 \\ & \log \cos 9,98033 \\ & \frac{p = 51' 49''}{h = 17^\circ 58' 38''} \log 3,49261 \\ & \frac{h - p = 17^\circ 6' 49''}{17^\circ 9' 55''} \\ \text{Ungef. Refr. N. J. Tfl. VII} &= + 3' 6'' \end{aligned}$$

Hiermit wiederholt, giebt Tafel VII dasselbe, daher:

$$\text{Scheinb. } \sphericalangle h = 17^\circ 9' 55''$$

(Siehe auch die Beispiele bei der Mondsdistanz.)

§ 84. Auf- und Untergang.

Das Gestirn geht auf oder unter, wenn es in dem Punkte seiner Bahn steht, welcher in den Horizont fällt, für den also $h = 0$ ist.

Dann lautet Formel I:

$$0 = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t$$

daraus:

$$\cos t = -\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta.$$

Der so gefundene Stundenwinkel heisst der halbe Tagbogen des Gestirns. t ist grösser als sechs Stunden, wenn φ und δ gleichnamig, kleiner als sechs Stunden, wenn φ und δ ungleichnamig sind. Man findet die Sternzeit (und daraus die mittlere Zeit) für den Auf- oder Untergang eines Sterns, indem man t von der Rektascension abzieht oder hinzufügt, und verwandelt dieselbe in mittlere oder wahre Sonnenzeit, wenn man solche haben will, wie früher angegeben. Bei der Sonne erhält man durch den Stundenwinkel direkt die wahre Zeit.

Beispiel.

Wann ging Venus am 20. April 1875 auf in Berlin?

1. Ungefähr.

$$\varphi = 52,5^\circ \log \operatorname{tg} 0,1150$$

$$\delta = 5,0^\circ \log \operatorname{tg} 8,9420$$

$$t = 83^\circ 27' \log \cos 9,0570$$

$$= 5^h 34^m$$

♀ im Mer. um 21^h 35^m am 19. 4. (mittl.) Zt.

Ungef. ♀ Aufgang um 16^h 1^m am 19. 4. (mittl.) Zt. = 4^h 1' früh am 20. 4.

2. Genauer.

Mittl. O.Z. = 16^h

O-Lg i. Z. = - 54^m

M. Grw. Z. = 15^h 6^m d. 19. 4.

Am 19. 4. ♀ RA = 23^h 23^m 31,9^s ♀ δ = - 5° 13' 22"

Am 20. 4. ♀ RA = 23^h 27^m 55,4^s = - 4° 48' 4"

Diff. f. 24^h = 4^m 23,5^s = 25' 18"

Diff. f. 15,1^h = + 2^m 45,6^s = + 15' 55,1"

23^h 23^m 31,9^s - 5° 13' 22,0"

♀ RA = 23^h 26^m 17,5^s ♀ δ = - 4° 57' 26,9"

Br. = + 52° 30' 17" Lg. = - 0^h 53^m 42,5^s

δ = - 4° 57' 26,9" log tg = 8,93822_n

φ = + 52° 30' 17" log tg = 0,11509

t = - 5^h 34^m 1,9^s log cos t = - 9,05331_n

♀ RA = 23^h 26^m 17,5^s

Sternzeit i. Berlin = 17^h 52^m 15,6^s

O. Lg = 53^m 42,5^s

Sternzeit i. Gr. = 16^h 58^m 33,1^s

Sternzeit um 0^h = 1^h 48^m 43,1^s

Mitt. Grw. Z. = 15^h 9^m 50,0^s in Sternzeit-Einheiten

Verwandlung nach Taf. IV } 14^h 57^m 32,5^s

d. N. J. } 8^m 58,5^s

} 49,86^s

Mitt. Grw. Z. = 15^h 7^m 20,95^s

O-Lg = 53^m 42,5^s

M. Z. d. ♀ Aufgang = 16^h 1^m 3,4^s den 19. astronomisch

= 4^h 1^m 3,4^s den 20. früh.

Diese umständliche Rechnung kommt in der Praxis kaum jemals vor, da eine ungefähre Aufgangszeit stets hinreicht. Die meisten nautischen Tafeln enthalten Tabellen, aus welchen man mit den Argumenten φ und δ den Auf- und Untergangswinkel resp. das Komplement desselben (Ascensionaldifferenz) entnehmen kann.

Für manche Zwecke ist es wünschenswerth, den scheinbaren Auf- oder Untergang eines Gestirns zu ermitteln.

Es geschieht dies, indem man die scheinbare Höhe des Gestirns gleich Null setzt, dieselbe durch Anwendung von Kimmtiefe, Refraktion und Parallaxe zur wahren Höhe reducirt und mit dieser den Stundenwinkel, wie später (S. 267) folgt, berechnet — zu beachten ist dabei, dass die wahren Höhen, mit Ausnahme beim Monde, negativ sein werden — oder indem man eine auf den wahren Auf- oder Untergangswinkel anzuwendende Korrektion berechnet.

Man findet diese Korrektion, wenn man zunächst die Formel:

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t$$

nach *h* und *t* differenzirt. Man erhält alsdann:

§ 85. Dämmerung.

Die Sonne erleuchtet nach ihrem sichtbaren Untergang noch die höheren Schichten der Atmosphäre, welche Licht auf die Erde zurückstrahlen und so die Dämmerung erzeugen. Man nimmt die Grenze der bürgerlichen Dämmerung an, wenn die Sonne 6° unter dem Horizont steht, und die Grenze der astronomischen Dämmerung, wo jede Beleuchtung der Atmosphäre aufhört, bei -18° . Der Zeitpunkt für den Anfang resp. das Ende der Dämmerung lässt sich wie der des scheinbaren Unterganges berechnen.

§ 86. Grösste Digression.

Diejenigen Gestirne, deren Deklination grösser ist, als das Komplement der gleichnamigen Breite, gehen sichtbar zweimal durch den Meridian. Diejenigen Gestirne, deren Deklination grösser ist, als die gleichnamige Breite, also deren Bahnen den Meridian zwischen Pol und Zenith schneiden, können den Ost-West-Vertikal oder ersten Vertikal nicht passiren. Bei diesen nennt man das Azimuth desjenigen Vertikalkreises, welcher ihre Bahn tangirt, die grösste Digression des Gestirns. Die Punkte in der Bahn des Gestirns, welche in den ersten Vertikal oder in die grösste Digression fallen, sind nach den Punkten der Kulmination und dem der grössten Höhe die wichtigsten.

Die Formeln, welche Höhe und Stundenwinkel dieser Punkte bestimmen, ergeben sich leicht aus den Grundformeln.

1. Höhe des Gestirns im ersten Vertikal.

Das Azimuth des ersten Vertikals ist 90° , daher $\cos A=0$, aus der Formel II. (S. 250) wird dadurch

$$\sin \delta = \sin \varphi \cdot \sin h \text{ und}$$

$$\sin h = \frac{\sin \delta}{\sin \varphi}$$

2. Stundenwinkel im ersten Vertikal.

Setzt man in Formel I. (S. 250) für $\sin h$ den Ausdruck

$\frac{\sin \delta}{\sin \varphi}$, so erhält man:

$$\frac{\sin \delta}{\sin \varphi} = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t$$

$$\cos t = \frac{\sin \delta - \sin^2 \varphi \cdot \sin \delta}{\sin \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \varphi}$$

$$= \operatorname{tg} \delta \cdot \frac{1 - \sin^2 \varphi}{\sin \varphi \cdot \cos \varphi} = \operatorname{tg} \delta \cdot \operatorname{cotg} \varphi.$$

3. Höhe des Gestirns in der grössten Digression.

Der Vertikalkreis ist Tangente an der Bahn des Gestirns, steht also senkrecht auf dem Stundenkreise desselben. Daher ist der parallaktische Winkel $q = 90^\circ$ und $\cos q = 0$.

Formel III. (S. 250) geht dann über in

$$\sin \varphi = \sin \delta \cdot \sin h, \text{ also } \sin h = \frac{\sin \varphi}{\sin \delta}$$

4. Stundenwinkel des Gestirns in der grössten Digression.

Setzt man in Formel I. für $\sin h$ den Ausdruck $\frac{\sin \varphi}{\sin \delta}$,

so erhält man:

$$\frac{\sin \varphi}{\sin \delta} = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t$$

$$\cos t = \frac{\sin \varphi - \sin^2 \delta \cdot \sin \varphi}{\sin \delta \cdot \cos \delta \cdot \cos \varphi}$$

daher wie vorher:

$$\cos t = \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{ctg} \delta.$$

Beispiel.

Die Zeit der grössten Digression für den Polarstern zu finden in Bremen am 15. April 1875.

N-Br	53° 4,6'	<i>log tg</i>	0,12410
δ des Polarsterns	+ 88° 38,6'	<i>log cotg</i>	8,37442
	$t = 88^\circ 12'$	<i>log cos</i>	8,49852
	$= 5^h 52^m 48^s$		
RA des Polarsterns	1 ^h 11 ^m 46 ^s		
Sternz. in Bremen	7 ^h 4 ^m 34 ^s		
Sternzeit um 0 ^h	= 1 ^h 32 ^m 57 ^s		
Mittl. Grw. Zt. in Sternz. Einh.	= 4 ^h 56 ^m 21 ^s		
Red. N. J. Taf. IV. Mittl. Grw. Zt.	= 4 ^h 55 ^m 32,5 ^s		
O-Lg	= 35 ^m 16 ^s		

Mittl. Orts-Zt. der grössten Digression 5^h 30^m 48,5^s

§ 87. Die Höhe eines Gestirns ändert sich am schnellsten, wenn dasselbe im ersten Vertikal steht.

Die Differenzirung der Formel I. (Seite 250) nach h und t ergibt

$$\cos h \cdot dh = - \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin t \cdot dt$$

$$\text{oder } \frac{dh}{dt} = - \frac{\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin t}{\cos h}$$

und da nach der Sinusregel

$\cos h \cdot \sin A = \cos \delta \cdot \sin t$, so ist
 $\frac{dh}{dt} = -\cos \varphi \cdot \sin A$;
 das Verhältniss $\frac{dh}{dt}$ ist die Aenderung der Höhe in der Zeiteinheit. Für den ersten Vertikal ist $A = 90^\circ$, daher $\frac{dh}{dt}$ ein Maximum.

In allen Fällen, wo es auf die Bestimmung der einer bestimmten Höhe genau entsprechenden Zeit ankommt, z. B. bei der Beobachtung von Chronometer-Längen, ist also die Beobachtung im ersten Vertikal die günstigste.

In der grössten Digression befindet sich das Gestirn in einem Punkt seiner Bahn, in welchem ein Vertikalkreis Tangente an derselben ist.

Daraus folgt, dass die Bewegung des Gestirns hier in der Richtung des Vertikals stattfindet. Für ein Gestirn, dessen Deklination grösser als die Polhöhe ist, findet daher die schnellste Höhenänderung in der grössten Digression statt.

§ 88. Die Bewegung der Gestirne gegen Zenith und Horizont.

Jeder Fixstern geht für dieselbe Breite stets an derselben Stelle des Horizonts auf und an derselben Stelle unter, wie dies unmittelbar daraus folgt, dass die Fixsterne keine eigene Bewegung an der Himmelskugel haben.

Die Fixsterne gehen täglich zu derselben Sternzeit auf und unter.

Diejenigen Gestirne, deren Deklination gleich der Breite ist, kulminiren im Zenith. Gestirne, deren Deklination grösser ist als das Komplement der Breite, gehen für den betreffenden Ort entweder nicht auf oder nicht unter. Sie bleiben über dem Horizont, wenn die Deklination mit der Breite gleichnamig ist, und werden überhaupt nicht sichtbar, wenn Deklination und Breite ungleichnamig sind. (Sichtbar resp. unsichtbar cirkumpolar).

Gestirne, welche nicht untergehen, passiren also zweimal sichtbar den Meridian und können in der oberen und unteren Kulmination beobachtet werden.

Gestirne, deren Deklination gleichnamig mit der Breite ist, gehen auf der Seite des oberen Pols vom ersten Vertikal auf und unter und passiren den ersten Vertikal also zweimal sichtbar.

Gestirne, deren Deklination Null ist, gehen im Osten auf und im Westen unter, also im ersten Vertikal.

Gestirne, deren Deklination ungleichnamig mit der Breite ist, bleiben immer auf der dem oberen Pol abgewandten Seite des ersten Vertikals, passiren denselben also unsichtbar.

Für einen Beobachter im Aequator fallen Aequator und erster Vertikal zusammen. Wenn die Deklination eines Gestirns also Null ist, verlässt dasselbe dann den ersten Vertikal nicht. Befände sich der Beobachter am Pol, so würden alle Gestirne mit Ausnahme von Sonne, Mond und Planeten parallel dem Horizontkreise sich bewegen, und von Himmelsrichtungen würde überhaupt keine Rede sein.

Bei einem Gestirn, welches nahe am Zenith kulminirt, ist die Bewegung desselben im Azimuth beim Auf- und Untergang gering und um die Zeit der Kulmination sehr schnell. Bei Gestirnen, welche nur eine geringe Höhe über dem Horizont erreichen, kann die Bewegung im Azimuth in der ganzen sichtbaren Bahn des Gestirns als gleichmässig angenommen werden.

Ausserdem ist für die Schnelligkeit der Bewegung im Azimuth der zu durchlaufende Weg maassgebend. Cirkumpolarsterne ändern ihr Azimuth um so langsamer, je näher sie am Pol stehen, und derselbe Stern hat dabei im Meridian die schnellste, zur Zeit der grössten Digression gar keine Bewegung im Azimuth.

§ 89. Bemerkungen über die Bewegung des Mondes.

Der Mond bewegt sich um die Erde in einer Ebene, welche ungefähr $5^{\circ} 9'$ zur Ebene der Ekliptik geneigt ist, und erreicht in dieser Bahn nach 27,32 Tagen wieder denselben Punkt am Himmel.

Hieraus folgt die starke Aenderung des Mondortes gegen die Sterne. Der Mond geht täglich um ungefähr 50 Minuten später auf als am Tage vorher, etwa 53 Minuten in Rektascension, so dass in 27 Tagen der Mond nur 26mal aufgeht.

Eine solche Umlaufperiode des Mondes nennt man einen siderischen Monat. Wenn der Mond in derselben Meridianebene mit der Sonne steht, so steht er entweder zwischen Sonne und Erde, d. h. in der Konjunktion, und ist dann unsichtbar (Neumond) oder er steht ausserhalb der Erdbahn in der Opposition (Vollmond). Die Epochen des Neu- und Vollmondes bezeichnet man auch als die Syzygien. Da die Sonne sich in demselben Sinne am Himmel fortbewegt, so ist der

Zeitraum von einem Voll- oder Neumond zum nächsten um die Eigenbewegung der Sonne länger als der siderische Monat und beträgt 29,53 Tage. Einen solchen Zeitraum bezeichnet man als synodischen Monat. Die Zahl der Tage eines synodischen Monats, vom Zeitpunkt des Neumondes an gezählt, nennt man das Alter des Mondes.

Wenn der Mond sechs Stunden früher als die Sonne kulminirt (90° von derselben absteht), so ist er halb erleuchtet, diese Epoche heisst das erste Viertel, ebenso die entsprechende Epoche, zu welcher der Mond sechs Stunden später kulminirt, das letzte Viertel. Erstes und letztes Viertel werden neben den Syzygien als Quadraturen bezeichnet.

Die Mondbahn ist ebenso wie die Erdbahn eine Ellipse. Die Punkte, in welcher sich beide Bahnen schneiden, heissen die Knoten der Mondbahn, und zwar ist der aufsteigende Knoten der Punkt, in welchem der Mond von der südlichen auf die nördliche Seite der Ekliptik übergeht, während der absteigende Knoten den Uebergang von der nördlichen zur südlichen Seite bezeichnet.

Die Aenderungen in der Mondparallaxe und im Mondhalbmesser ergeben sich aus der elliptischen Bahn und den daraus folgenden wechselnden Abständen von der Erde von selbst. Die Entfernung in der Erdnähe beträgt etwa 56, in der Erdferne etwa 65 Erdhalbmesser.

§ 90. Bemerkungen über die Bewegung der Planeten.

Die vier im Nautischen Jahrbuch aufgeführten Planeten Venus, Mars, Jupiter und Saturn bewegen sich in Bahnen, welche nur wenig gegen die Ekliptik geneigt sind. Ihre Deklination ist daher in geringeren Grenzen eingeschlossen als die des Mondes.

Auch bei den Planeten unterscheidet man Opposition, Konjunktion und Quadraturen. Bei der Venus, welche in geringerem Abstände um die Sonne kreist als die Erde, kann eine Opposition nicht stattfinden, der entsprechende Durchgang zwischen Erde und Sonne heisst die untere Konjunktion. In beiden Konjunktionen ist der Planet unsichtbar*), weil er in der einen der Erde seine nicht erleuchtete Seite zukehrt und in der anderen von der Sonne verdeckt ist; nahe den

*) Die Venus ist bei klarer Luft, namentlich in niederen Breiten, auch bei Tage häufig sichtbar und, wenn einmal aufgefunden, auch für astronomische Beobachtungen geeignet.

Quadraturen erscheint er als Abend- oder Morgenstern und ändert dann sehr schnell seine Entfernung von der Erde und damit seinen Halbmesser und die Parallaxe.

Die anscheinend complicirten Bewegungen der Planeten an der Himmelskugel lassen sich durch die Bewegung der Erde selbst und der Planeten gegen einander leicht erklären. Ein näheres Eingehen hierauf ist für die praktische Navigation nicht erforderlich.

§ 91. Bemerkungen über die Bewegung der Sonne.

Die im Aequator sich mit gleichmässiger Geschwindigkeit bewegend fingirte Zeitsonne giebt zu keinen Bemerkungen Veranlassung. Die Aenderung der wahren Sonnenbewegung gegen die mittlere Sonne spiegelt sich in den wechselnden Werthen der Zeitgleichung ab.

Die Zeitgleichung, welche viermal im Jahre Null ist und zweimal ein negatives, zweimal ein positives Maximum erreicht, wird durch zwei Ursachen hervorgerufen.

1. Die ungleichförmige Geschwindigkeit der Sonne in ihrer Bahn wird bedingt durch das bekannte Gesetz Kepler's: „Die zum Durchlaufen elliptischer Bogen gebrauchten Zeiten sind proportional den diesen Bogen entsprechenden Sektorflächen, welche durch Linien von den Endpunkten dieser Bogen nach der Sonne begrenzt werden.“

Danach hat die Sonne ihre grösste Geschwindigkeit in der Erdnähe (Perigäum) im Januar und ihre geringste Geschwindigkeit in der Erdferne (Apogäum) im Juli. Wenn das Maximum und Minimum als Nullpunkte genommen werden, so ergibt sich die Korrektion für die wahre Sonne auf eine in der Ellipse gleichförmig schnell fortschreitende zwischen Januar und Juli als negativ, zwischen Juli und Januar als positiv. Parallaxe und Sonnenhalbmesser sind im Perigäum, also im Winter unserer Hemisphäre, grösser als im Apogäum, also in unserem Sommer.

2. Der grössere Theil der Zeitgleichung aber ist durch die Projektion der Ekliptik auf den Aequator bedingt. Während die Länge der projicirten Bogen auf dem Aequator den entsprechenden der Ekliptik zwischen den Tag- und Nachtgleichpunkten und den Sonnenwendepunkten stets gleich sind, die Korrektion also Null ist, nehmen die Unterschiede dazwischen viermal ab und zu. Diese Korrekturen mit den vorher besprochenen der als gleichförmig sich bewegend gedachten Sonne in der Ekliptik geben zusammen die Zeit-

gleichung. Diese Zusammensetzung der Zeitgleichung aus zwei Faktoren von verschiedener Periode erklärt die scheinbar unregelmässige Aenderung derselben im Laufe des Jahres, z. B. die Erscheinung, dass die Zeitgleichung vom grössten negativen Maximum im November zum grössten positiven Maximum im Februar übergeht, so dass der bürgerliche Nachmittag im Februar um circa eine halbe Stunde länger ist, als der des gleich langen Tages im Anfang des November.

XII. Kapitel.

Ortsbestimmung aus einzelnen Höhen.

§ 92. Bestimmung der Zeit aus der Beobachtung einer einzelnen Höhe.

Aus der Formel I.

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t$$

erhält man, da $\cos t = 1 - 2 \sin^2 \frac{t}{2}$ ist

$$1. \sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta - 2 \sin^2 \frac{t}{2} \cdot \cos \varphi \cdot \cos \delta$$

$$= \cos(\varphi - \delta) - 2 \sin^2 \frac{t}{2} \cos \varphi \cdot \cos \delta$$

$$2. 2 \sin^2 \frac{t}{2} = \frac{\cos(\varphi - \delta) - \sin h}{\cos \varphi \cdot \cos \delta}.$$

Man erhält für rein logarithmische Rechnung, wenn man zunächst in die beiden ersten Glieder von 1. $d = 90^\circ - \delta$ einführt:

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \cos d + \cos \varphi \cdot \sin d - 2 \sin^2 \frac{t}{2} \cos \varphi \cdot \cos \delta$$

$$= \sin(\varphi + d) - 2 \sin^2 \frac{t}{2} \cdot \cos \varphi \cdot \cos \delta; \text{ es ist}$$

$$\sin(\varphi + d) - \sin h = 2 \cos \frac{\varphi + d + h}{2} \cdot \sin \frac{\varphi + d - h}{2}$$

Setzt man:

$$\frac{\varphi + d + h}{2} = s$$

so ist:

$$2 \cos s \cdot \sin(s-h) = 2 \cos \frac{\varphi + d + h}{2} \cdot \sin \frac{\varphi + d - h}{2}$$

$$\text{daher: } \sin^2 \frac{t}{2} = \frac{\cos s \cdot \sin(s-h)}{\cos \varphi \cdot \sin d}$$

als Formel für die Berechnung des Stundenwinkels.

Ausser der Höhe ist also die Breite und zur Entnahme der Deklination aus dem Jahrbuch die ungefähre Greenwicher Zeit erforderlichlich:

Das Schema für diese Rechnung stellt sich wie folgt:

$$\begin{array}{rcl} \varphi = & \dots\dots\dots & \log \sec \dots\dots\dots \\ d = & \dots\dots\dots & \log \operatorname{cosec} \dots\dots\dots \\ h = & \dots\dots\dots & \\ \hline 2s = & \dots\dots\dots & \\ s = & \dots\dots\dots & \log \cos \dots\dots\dots \\ s-h = & \dots\dots\dots & \log \sin \dots\dots\dots \\ & & \hline & & 2 \log \sin \dots\dots\dots \\ \\ \frac{t}{2} = & \dots\dots\dots & \log \sin \dots\dots\dots \\ t = & \dots\dots\dots & \end{array}$$

Beispiel.

Auf $37^\circ 38.1'$ S-Br wurde in ungefähr 88° O-Lg am 10. April 1875 um etwa 8 Uhr Morgens eine Höhe des Sonnen-Unterrandes zu $16^\circ 57' 3''$ beobachtet, während die Augeshöhe 5,5 m betrug. Die wahre Ortszeit oder der Stundenwinkel ist zu ermitteln.

$$\begin{array}{l} \text{Gem. } \odot h = 16^\circ 57,1' \\ \text{Ges. Kor. n. Taf. VII.} = + 8,9' \\ \hline \text{w. } \odot h = 17^\circ 6' \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Ortszt. } 9. 4. 20^h \\ \text{O-Lg } 5^h 52^m \\ \hline \text{Grw. Zt. } 9. 4. 14,1^h \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{N. J. } \odot \delta 9. 4. 0^h = + 7^\circ 31' 59'' & \text{Zunahme} \\ + 13' 5'' & 55,7'' \\ \hline \delta = + 7^\circ 45' 4'' & 14,1 \\ & \hline & 785,4'' \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} \varphi = -37^\circ 38,1' & \log \sec & 0,10132 \\ d = 82^\circ 14,9' & \log \operatorname{cosec} & 0,00399 \\ h = 17^\circ 6' & & \\ \hline 2s = 61^\circ 42,8' & & \\ s = 30^\circ 51,4' & \log \cos & 9,93371 \\ s-h = 13^\circ 45,4' & \log \sin & 9,37620 \\ & \hline & 2 \log \sin & 9,41522 \\ \\ \frac{t}{2} = 30^\circ 40' & \log \sin & 9,70761 \\ t = 61^\circ 20' & & \end{array}$$

W. Ortszt. oder westl. Stundw. = $19^h 54^m 40^s$ am 9. 4. 1875.

Es soll die Länge gefunden werden.

Uhrzt. =	7 ^h 18 ^m 33,5 ^s	N. J. 31. 3.	Zunahme
Chr.—Uhr =	— 0 ^h 50 ^m 20,0 ^s	18 ^h (RA =	10 ^m 22,74
Chr. Zt. =	6 ^h 28 ^m 13,5 ^s		43,2 ^s 1,9
Std. d. Chron. =	— 9 ^m 37,2 ^s	um 18 ^h 19 ^m =	20 ^h 36 ^m 33,4 ^s 43,2
Mittl. Grw. Zt. 31. 3. =	18 ^h 18 ^m 36,3 ^s	N. J. 31. 3.	Abnahme
N. J. Taf. III. =	18 ^h 2 ^m 57,42 ^s	18 ^h (δ =	— 23° 51' 2"
	18 ^m 2,96 ^s		— 2' 56"
	36,40 ^s	um 18 ^h 19 ^m =	— 23° 48' 6"
	18 ^h 21 ^m 36,8 ^s	d =	113° 48' 6"
		Gem. (h =	45° 8' 23"
N. J. 31. 3. Sternz. 0 ^h =	0 ^h 33 ^m 48,5 ^s		(r = 15' 31"
Sternzt. in Grw. =	18 ^h 55 ^m 25,3 ^s	Kimmt. =	— 5' 13"
(RA =	20 ^h 36 ^m 33,4 ^s	r =	15' 31"
(Stundw. in Grw. =	— 1 ^h 41 ^m 8,1 ^s	Vergröss. =	+ 11"
		Verkürz. =	0
			44° 47' 28"
		Refr. =	— 58" log P 3,5329
			44° 46' 30" log cos 9,8517
		p = +	40' 24" log p 3,3846
		w. (h =	45° 26' 58"
φ =	— 35° 36,0'	log sec	0,08986
d =	113° 48,1'	log cosec	0,03860
h =	45° 27,0'	(t in Grw. =	— 1 ^h 41 ^m 8,1 ^s
2 s =	123° 39,1'	(t am Ort =	+ 3 ^h 20 ^m 12,0 ^s
s =	61° 49,6'	O-Lg =	5 ^h 1 ^m 20,1 ^s
s — h =	16° 22,6'		= 75° 20'
		2 log sin	9,25270
(1/2 t =	25° 1,5'	log sin	9,62635
(t =	50° 3,0'		
	= 3 ^h 20 ^m 12 ^s W.		

3. Am 18. April 1875 wurde auf See in 32° 13,1' S-Br, 8,5m über dem Meeresspiegel, die Höhe des Canopus um 12^h 43^m 42,4^s zu 55° 14,2' West vom Meridian, beobachtet. Der Uhrvergleich ergab Chron. — Uhr = — 33^m 46,2^s. Chron.-Std. geg. Grw. Zt. — 9^m 25,6^s. Die Länge soll gefunden werden.

Uhr =	12 ^h 43 ^m 42,4 ^s		
Chron.—Uhr =	— 33 ^m 46,2 ^s		
Chron. Zt. =	12 ^h 9 ^m 56,2 ^s	☆ RA. =	6 ^h 21 ^m 10 ^s
Std. d. Chr. =	— 9 ^m 25,6 ^s	☆ δ =	— 52° 37' 52"
		d =	142° 37,9'
Mittl. Grw. Zt. =	0 ^h 0 ^m 30,6 ^s	Gem. ☆ h =	55° 14,2'
Taf. III. =	0 ^h 0 ^m 30,7 ^s	Kimmt. =	— 5,2'
Sternzt. 0 ^h =	1 ^h 44 ^m 46,5 ^s	Refr. =	— 0,7'
Sternz. =	1 ^h 45 ^m 17,2 ^s	w. ☆ h =	55° 8,3'
☆ R. A. =	6 ^h 21 ^m 10 ^s		
☆ t in Grw. =	— 4 ^h 35 ^m 52,8 ^s		

$h =$	$55^{\circ} 8,3'$		
$\varphi =$	$32^{\circ} 13,1'$	$\log \sec$	0,07262
$d =$	$142^{\circ} 37,9'$	$\log \operatorname{cosec}$	0,21686
$2s =$	$165^{\circ} 33,1'$		
$s =$	$82^{\circ} 46,6'$	$\log \cos$	9,09947
$s-h =$	$27^{\circ} 38,3'$	$\log \sin$	9,66641
		$2 \log \sin$	9,05536
$\frac{1}{2}t =$	$19^{\circ} 41,8'$	$\log \sin$	9,52768
$t =$	$39^{\circ} 23,6'$		
$\star t$ am Ort =	$2^{\text{h}} 37^{\text{m}} 34,4^{\text{s}}$ W.		
$\star t$ in Grw. =	$4^{\text{h}} 35^{\text{m}} 52,8^{\text{s}}$ O.		
O-Ig. =	$7^{\text{h}} 13^{\text{m}} 27,2^{\text{s}}$		
	$= 108^{\circ} 21,8'$		

§ 94. Berichtigung der Längenbestimmung nach der Breitenbestimmung.

Da die Breite bei der Bestimmung der Zeit mehr oder weniger genau bekannt sein muss, diese aber am besten nach dem Meridian bestimmt wird, während der günstigste Moment für die Zeitbestimmung in der Regel um mehrere Stunden vor- und nachher eintritt, so ist es Gebrauch, eine Vormittagshöhe erst vollständig zu berechnen, nachdem die Mittagsbreite bestimmt und von dieser aus durch Zurückkoppelung die Breite, welche der Zeitbestimmung entsprach, abgeleitet worden ist.

Das folgende Verfahren gestattet durch Anbringung einer Korrektur die Länge, welche mit der gegessenen Breite berechnet ist, für die nachträglich gefundene richtige Breite zu berichtigen.

Um nämlich zu erfahren, wieviel 1 Breitenminute den Stundenwinkel in Bogenmaass und damit die Länge ändert, differenziert man die Grundformel nach φ und t .

h ist, als durch die Beobachtung gegeben, konstant.

Man erhält aus:

$$\begin{aligned} \sin h &= \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t \\ 0 &= \cos \varphi \cdot d\varphi \cdot \sin \delta - \sin \varphi \cdot d\varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t \\ &\quad - \sin t \cdot dt \cdot \cos \varphi \cdot \cos \delta \\ -\frac{dt}{d\varphi} &= \frac{\sin \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t - \cos \varphi \cdot \sin \delta}{\sin t \cdot \cos \varphi \cdot \cos \delta} \\ -dt &= \left[\frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} t} - \frac{\operatorname{tg} \delta}{\sin t} \right] \cdot d\varphi \end{aligned}$$

Da nun die Korrektion der Länge: $= \frac{d\lambda}{d\varphi} = \frac{dt}{d\varphi}$ ist, so ist die korrigirte Länge gleich der berechneten plus oder minus

$$d\varphi \cdot \left[\frac{tg \varphi}{tg t} - \frac{tg \delta}{\sin t} \right]$$

wo $d\varphi$ der Breitenunterschied zwischen der bei der Längenberechnung angewandten und der später gefundenen richtigen Breite ist.

In der Tafel VIII (Anhang) sind die beiden Glieder

$$\frac{tg \varphi}{tg t} \text{ (Tafel A) und } \frac{tg \delta}{\sin t} \text{ (Tafel B)}$$

für einen Fehler von 1 Minute in der Breite ($d\varphi = 1'$), für die Breiten von 0° bis 69° und die Deklinationen von 0° bis 58° zusammengestellt. Der zweite den Tafeln gegebene untere Eingang dient zur gleichzeitigen Verwendung der Tafeln bei Zeitbestimmungen durch korrespondirende Höhen.*)

Die Korrektion ist nach folgenden Regeln anzuwenden:

1. Wenn Breite und Deklination gleichnamig sind, so ist Korr. *B* von Korr. *A* abzuziehen. Die Gesamtkorrektion ist $A - B$.
2. Wenn Breite und Deklination ungleichnamig sind, so ist Korr. *A* zu Korr. *B* zu addiren. Die Gesamtkorrektion ist $A + B$.
3. Ist der Stundenwinkel grösser als sechs Stunden, so nimmt man die Ergänzung zu zwölf Stunden, *A* ändert dabei sein Vorzeichen, *B* nicht.
4. Anwendung der Gesamtkorrektion ($A - B$ resp. $A + B$). Bei Beobachtungen im NO- und SW-Quadranten verlegt eine Breitenänderung nach Norden (d. h. die richtige Breite liegt nördlicher als die angenommene), die Länge weiter nach Westen, eine Breitenänderung nach Süden (d. h. die richtige Breite liegt südlicher als die angenommene), die Länge nach Osten.

Bei Beobachtungen im SO- und NW-Quadranten verlegt eine Breitenänderung nach Norden die Länge nach Osten, eine Breitenänderung nach Süden die Länge nach Westen.

Es folgt dies unmittelbar aus dem Verlauf der auf einer Karte projektirten Höhenlinie des Gestirns, welches stets

*) Eine andere demselben Zwecke dienende Tafel, welche nur eine Korrektion enthält, in welcher jedoch für Stundenwinkel und Deklination das Argument Azimuth eintritt, ist, nach der Formel $d t = d \varphi \frac{\cotg A}{\cos \varphi}$ vom Admiralitätsrath Rottok berechnet, in den Annalen der Hydrographie 1885 Seite 281 gegeben.

senkrecht zu dem Azimuth des Gestirns stehend, den geometrischen Ort der Beobachtung darstellt (s. Seite 312). In der Praxis thut man gut, behufs Anwendung der Korrektion sich diese Linie zu vergegenwärtigen und durch einen Strich auf dem Papier zu verzeichnen.

Als Beispiele zur Anwendung dieser Tafeln mögen die vorhergehenden Längenbestimmungen dienen:

Beispiele.

1. Es stellt sich nachträglich heraus, dass die in dem auf Seite 269 gegebenen Beispiel No. 1 benutzte Breite um $15'$ zu südlich angenommen war. Die Länge ist, der berichtigten Breite entsprechend, zu korrigiren.

Aus Taf. A mit dem Argument:
Br. = $-30,9^\circ$ Stundw. = $+3^h 53^m$
findet man $0,37$.

Aus Taf. B mit dem Argument:
Dekl. = $+11,6^\circ$ Stundw. = $+3^h 53^m$
findet man $0,24$.

Da φ und δ ungleichnamig sind, so ist die Korr.

$$B + A = 0,24 + 0,37 = 0,61.$$

Das Gestirn steht im NW-Quadranten, der Breitenunterschied ist nördlich, daher wird die Länge östlicher und zwar um

$$\begin{aligned} 15 \times 0,61 &= 9,1' \text{ O} \\ \text{Berech. Lg} &= 93^\circ 37,5' \text{ O} \\ \text{Korr. Lg} &= 93^\circ 46,6' \text{ O} \end{aligned}$$

2. Von der im Beispiel No. 2 auf Seite 269 gegebenen Observation des Mondes bis zur Beobachtung der Mittagsbreite wurde gesehelt rechtweisend SSO 6 Sm und die Breite für den Mittag gefunden = $-34^\circ 56,5'$. Die gefundene Länge soll korrigirt und auf die Mittagsbreite reducirt werden. Der Mond stand bei der Beobachtung im NW-Quadranten.

Aus der Koppeltafel erhält man: für

$$\text{SSO } 6 \text{ Sm: Br-U} = 5,5 \text{ S. Lg-U} = 2,8' \text{ O.}$$

Daher Breite der Mondbeobachtung:

$$-34^\circ 56,5' + 5,5' = -34^\circ 51'$$

Der Rechnung war zu Grunde gelegt: $-35^\circ 36'$

$$d\varphi = \frac{45'}{45'} \text{ nördlich.}$$

$$\begin{aligned} \text{Br.} &= -35,6^\circ \\ \text{Stundw.} &= +3^h 20' \end{aligned} \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Taf. A} = 0,60 \\ \text{Taf. B} = 0,57 \end{array}$$

$$\begin{aligned} \text{Dekl.} &= -23,8^\circ \\ \text{Stundw.} &= +3^h 20' \end{aligned}$$

$$A - B = 0,03$$

$$45 \cdot 0,03 = 1,4' \text{ O}$$

$$\text{Berech. Lg.} = 75^\circ 20,0' \text{ O}$$

$$\text{Korr. Lg.} = 75^\circ 21,4' \text{ O}$$

$$\text{Versegelung} = 2,8' \text{ O}$$

$$\text{Lg. um Mittg.} = 75^\circ 24,2' \text{ O}$$

§ 95. Ermittlung der Breite aus der Höhe eines Gestirns im Meridian.

Es war gefunden:

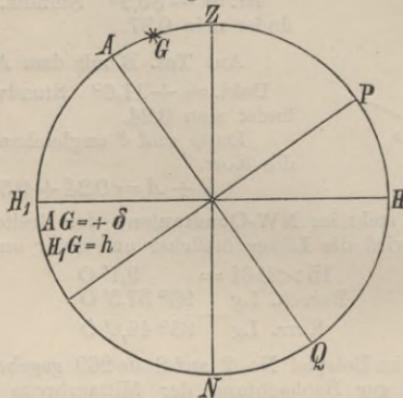
$$2 \sin^2 \frac{t}{2} = \frac{\cos(\varphi - \delta) - \sin h}{\cos \varphi \cdot \cos \delta}$$

$$\text{oder: } \cos(\varphi - \delta) - \sin h = \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot 2 \sin^2 \frac{t}{2}$$

$$\cos(90^\circ - h) - \cos(\varphi - \delta) = -\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot 2 \sin^2 \frac{t}{2}$$

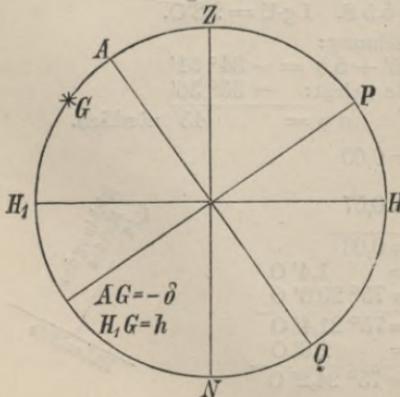
Der einfachste Fall ist nach dieser Formel der, wenn $t = 0$, d. h. wenn das Gestirn im Meridian steht.

Fig. 86.



$$\begin{aligned} \text{Dann ist: } \cos(90^\circ - h) &= \cos(\varphi - \delta) \\ 90^\circ - h &= \varphi - \delta \\ \varphi &= (90^\circ - h) + \delta. \end{aligned}$$

Fig. 87.



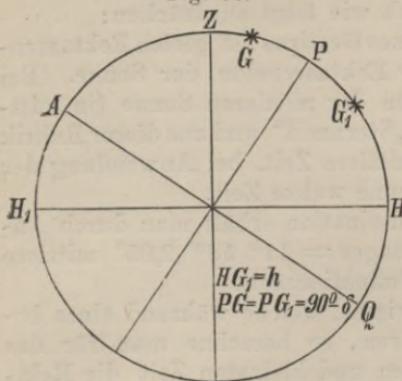
Diese Formel ergibt sich auch unmittelbar aus den Figuren 86 und 87, in welchen ist:

$$\begin{aligned} AZ &= 90^\circ - ZP = PH = \varphi \\ H_1G &= h; \quad AG = \delta \\ AZ &= (90^\circ - H_1G) \pm AG \text{ oder} \\ \varphi &= (90^\circ - h) \pm \delta. \end{aligned}$$

In dieser Formel ist φ , δ und $(90^\circ - h)$ positiv für Nordbreite, Norddeklination und eine über dem Südhorizont gemessene Höhe,

oder δ ist zu $90^\circ - h$ zu addiren, wenn φ und δ gleichnamig, zu subtrahiren, wenn φ und δ ungleichnamig.

Fig. 88.



Befindet sich das Gestirn in der unteren Kulmination (G_1 in Fig. 88) so hat man:

$$\varphi = h + (90^\circ - \delta)$$

und kulminirt das Gestirn zwischen Zenith und Pol, so hat man, wie ebenfalls in Fig. 88 dargestellt ist:

$$\varphi = h - (90^\circ - \delta).$$

Beispiele.

1. Auf 113° O-Lg wurde am 23. April 1875 die Sonnenunterrandshöhe in der Kulmination beobachtet zu $52^\circ 0,9'$ über dem nördlichen Horizont bei 8 m Augeshöhe. Die Breite soll hieraus bestimmt werden.

Aus dem N. J. für 23. 4. — 7,5 ^h Grw. Zt.		Gem. \odot h =	$52^\circ 0,9'$
$\odot \delta$ im w. Mittg.		Korr. n. Taf. VII = +	$10,4'$
+ $12^\circ 29,4'$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Zunahme} \\ 1^h = + 50,2'' \\ \quad - 7,5^h \\ \quad - 376,5'' \end{array} \right.$	w. \oplus h =	$52^\circ 11,3' \text{ N-Hor.}$
— $6,3'$		$90^\circ - h =$	$- 37^\circ 48,7'$
<hr/>		$\delta =$	$+ 12^\circ 23,1'$
$12^\circ 23,1'$		$\varphi =$	$- 25^\circ 25,6' \text{ (S)}$

2. Am 8. Juli 1874 wurde auf $13^\circ 27'$ W-Lg die grösste Höhe des Unterrandes der Sonne zu $68^\circ 54,5'$ über dem Südhorizont gefunden. Augeshöhe 6,5 m. Es soll die Breite bestimmt werden.

Aus dem N. J. 8. 7. + 0,8 ^h Grw. Zt.		Gem. \odot h =	$68^\circ 54,5'$
$\odot \delta$ im w. Mittg.		Korr. n. Taf. VII = +	$10,8'$
+ $22^\circ 29,3'$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Abnahme} \\ 1^h = - 17,5'' \\ \quad + 0,8 \\ \quad - 14,0'' \end{array} \right.$	w. \oplus h =	$69^\circ 5,3' \text{ S-Hor.}$
— $0,2'$		$90^\circ - h =$	$+ 20^\circ 54,7'$
<hr/>		$\delta =$	$+ 22^\circ 29,1'$
$+ 22^\circ 29,1'$		$\varphi =$	$+ 43^\circ 23,8' \text{ (N)}$

Wenn man ein anderes Gestirn als die Sonne zur Beobachtung wählt, so berechnet man sich vorher die ungefähre Kulminationszeit des Gestirns. Diese Berechnung geschieht genau genug in folgender Weise:

Die Rektascension eines Fixsterns ist zugleich die Sternzeit zur Zeit seiner Kulmination. Die Differenz von der Sternzeit im mittleren Mittag bis zu dieser Sternzeit ist die Greenwicher Zeit in Sternzeit-Einheiten. Diese Umwandlung ist aber hier, wo es auf die Minute nicht ankommt, überflüssig, und man hat ohne Weiteres:

Rektascension des Sterns — Sternzeit im mittl. Mittage = Kulminationszeit. (Rektascension und Sternzeit unkorrigirt aus dem Nautischen Jahrbuch entnommen.)

Die Regel lässt sich auch wie folgt ausdrücken:

Die Kulminationszeit eines Gestirns ist gleich Rektascension des Gestirns minus der Rektascension der Sonne. Bei Anwendung der Rektascension der mittleren Sonne (in mittleren Grw. Mittag gleich der „Sternzeit“ und aus dieser Rubrik zu entnehmen) erhält man mittlere Zeit, bei Anwendung der Rektascension der wahren Sonne wahre Zeit.

Die Zeit der unteren Kulmination erhält man durch Anwendung eines halben Sterntages = $11^h 58^m 2,05^s$ mittlere Sonnenzeit auf die obere Kulminationszeit.

Will man die Gestirne wissen, welche während eines bestimmten Zeitraums kulminiren, so berechne man für das Mittel der gegebenen grössten und kleinsten Zeit die Rektascension der (mittleren resp. wahren) Sonne und addire dieselbe zu der gegebenen grössten und kleinsten Ortszeit. Man erhält so zwei Sternzeiten als Grenzen und alle Gestirne, deren Rektascensionen innerhalb dieser Grenzen liegen, kulminiren während des Zeitraumes im oberen Meridian, alle Gestirne, deren Rektascensionen dagegen 12^h grösser oder kleiner als die Grenzen sind, kulminiren während der Zeit im unteren Meridian.

Man beobachtet um die gefundene Zeit die Höhe wie die der Sonne zur Mittagszeit.

Die Rechnung ist ganz dieselbe. Im Falle des Mondes hat man aber die Deklination bis auf Zehntel-Minuten zu interpoliren.

Beispiel.

Am 24. April 1875 Abends will man eine Meridianbeobachtung von Spica anstellen.

Nach dem N. J. ist \star RA = $13^h 18,6^m$
 Sternz. 24. 4. 0^h = $2^h 8,4^m$, daher
 Ungef. \star Kulm. Zt. = $11^h 10,2^m$.

Darauf beobachtet man über dem nördlichen Horizont bei 8 m Augeshöhe die Höhe des Sterns = $78^\circ 30,7'$. Auf welcher Breite befand man sich?

$$\begin{aligned} \text{Gem. } \star h &= 78^\circ 30,7' \\ \text{Kt.} &= \text{---} 5,1' \\ \text{Refr.} &= \text{---} 0,2' \\ \hline \text{w. } \star h &= 78^\circ 25,4' \text{ N-Hor.} \\ 90^\circ - h &= \text{---} 11^\circ 34,6' \\ \delta &= \text{---} 10^\circ 30,7' \\ \varphi &= \text{---} 22^\circ 5,3' \text{ (S.)} \end{aligned}$$

§ Für den Versuch muss die Katurmündigkeit für die
Länge der Erbschaftsverfahren unbefristet werden;
(und man muss sich ebenso für 30 Minuten, wie
in der 6. 7. 1. erhalten können).

Für Mond und Planeten ist die Meridian-Durchgangszeit für Greenwich im Jahrbuch gegeben. Für die Praxis genügt es, die hier angegebene Zeit als in mittlerer Ortszeit ausgedrückte Kulminationszeit am Beobachtungsort anzusehen; will man genau verfahren, muss man noch für die Länge des Beobachtungsorts interpoliren.

Den Mond wählt man nicht gern; wenn man ihn benutzt, so ist die Rechnung dieselbe. Von Korrekturen wegen der Veränderung der Deklination sieht man auf See in diesem Falle ab.

Bei Sternen erster Grösse kann man die Höhen in der Regel genau genug messen, um die Breite auf 5 bis 6 Minuten genau zu erhalten. Fehler in der Höhe gehen selbstverständlich unverändert in die Breite über.

Das Messen guter Meridianhöhen erfordert insofern Vorsicht, als man Sorge darauf verwenden muss, bei der Einstellung des Instruments nie der Steigung des Gestirns vor auszueilen, so dass man niemals die Feinschraube der Alhidade zurückzudrehen hat. Berücksichtigt man dies, so ist die Höhe gefunden, sobald die am Instrument eingestellte die wirklich beobachtete übertrifft.

§ 96. Breitenbestimmung durch eine Höhe ausserhalb des Meridians. Direkte Methode.

Wenn man in die Grundformel

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t$$

einsetzt:

$$\sin \delta = M \cdot \sin N$$

$$\cos \delta \cdot \cos t = M \cdot \cos N, \text{ so erhält man}$$

$$\sin h = (\sin \varphi \cdot \sin N + \cos \varphi \cdot \cos N) \cdot M$$

$$\sin h = M \cdot \cos(\varphi - N) \text{ oder}$$

$$\text{II. } \cos(\varphi - N) = \frac{\sin h \cdot \sin N}{\sin \delta}, \text{ worin } N \text{ gefunden wird aus:}$$

$$\text{I. } \cotg N = \frac{\cos \delta \cdot \cos t}{\sin \delta} = \cotg \delta \cdot \cos t.$$

Das Schema für die Rechnung ist folgendes:

$$\begin{array}{l} h = \dots \dots \dots \log \sin \dots \dots \\ \delta = \dots \log \cotg \dots \dots \log \operatorname{cosec} \dots \\ t = \dots \log \cos \dots \dots \\ \hline N = \dots \log \cotg N \dots \log \sin \dots \dots \\ \varphi - N = \dots \dots \dots \log \cos(\varphi - N) \\ \hline \varphi = \dots \dots \dots \end{array}$$

Die geometrische Konstruktion dieser Formel ergibt sich aus folgender Betrachtung: In dem Dreieck ZfG , Fig. 89 und 90, ist Gf ein Perpendikel vom Gestirn auf

Fig. 89.

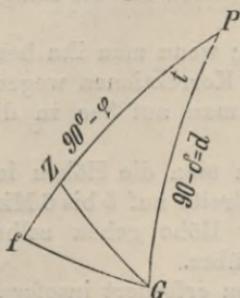
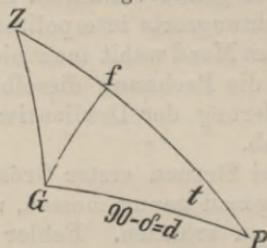


Fig. 90.



den Meridian. In dem rechtwinkligen Dreieck PfG (wo $PG = 90^\circ - \delta = d$) hat man:

$$\cos d = \cos Gf \cdot \cos Pf.$$

Wird hierin $\cos Gf = M$ und $Pf = (90^\circ - N)$ gesetzt, so ergibt sich die obige Formel. Wenn Zf nach dem Aequator zu liegt, was der Fall ist, wenn Breite und Deklination ungleichnamig sind oder wenn bei gleichnamiger Breite und Deklination φ grösser als δ ist, so ist:

$$Zf = \varphi - N.$$

Liegt Zf nach dem Pol zu, was der Fall ist, wenn bei gleichnamiger Breite und Deklination φ kleiner als δ ist, so ist

$$Zf = N - \varphi.$$

In letzterem Falle tritt an Stelle von $\cos(\varphi - N)$ in Gleichung II. $\cos(N - \varphi)$.

Zu Missverständnissen wird die Rechnung nicht führen können, wenn die ungefähre Breite bekannt ist, und so lange Zf nicht sehr klein ist.

Wenn $\varphi - N$ sehr klein ist, so kann dieser Werth durch den Kosinus nicht mehr scharf gefunden werden. $\varphi - N$ ist aber Null, wenn der Vertikalkreis des Gestirns ZG auf dem Meridian senkrecht steht, das heisst, wenn das Gestirn im ersten Vertikal steht. Je kleiner der Winkel zwischen Meridian und Vertikal, also das Azimuth, wird, desto grösser wird $\varphi - N$. Die Breitenbestimmung ist also am genauesten

... ..
... ..
... ..
... ..
... ..

...

... ..
... ..
... ..

... ..
... ..
... ..

... ..
... ..
... ..

... ..
... ..
... ..

... ..
... ..
... ..

... ..
... ..
... ..

... ..
... ..
... ..

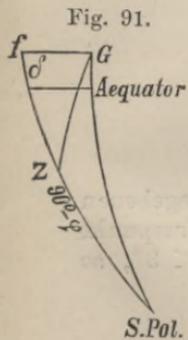
... ..
... ..
... ..

... ..
... ..
... ..

in grösster Nähe des Meridians. Das Azimuth des Gestirns ändert in der Nähe des Meridians sehr schnell, wenn das Gestirn nahe am Zenith kulminirt; die Beobachtung muss in diesem Fall sehr nahe dem Meridian angestellt werden. Bei einem tiefen Stand des Gestirns im Meridian, also für die Sonne auf hohen Breiten, ist die Methode auch noch bei grösseren Stundenwinkeln anwendbar.

Beispiel.

1. Am 20. April 1875 wurde auf Südbreite in $58^{\circ} 7,9'$ Ost-Lg bei $8,5$ m Augeshöhe am Vormittage nach der Beobachtungsur beobachtet: um $8^h 53^m 43,5^s$ \odot h $64^{\circ} 10,8'$. Der Vergleich der Uhr ergab — $53^m 3,0'$ gegen Chronometer, der Stand des Chronometers gegen Greenwicher Zeit war: — $0^h 10^m 50,4^s$. Es ist die Breite zu bestimmen.



Beobacht. Uhr =	$8^h 53^m 43,5^s$	
Chron. — Uhr =	$0^h 53^m 3,0^s$	
Grw. Zt. — Chron. =	$0^h 10^m 50,5^s$	
Mittl. Grw. Zt. 19. 4. =	$19^h 49^m 50,0^s$	= $4,2^h$ vor dem Mittg. des 20.
Ztgl. =	$+ 1^m 2,5^s$	
w. Grw. Zt. 19. 4. =	$19^h 50^m 52,5^s$	
O-Lg =	$3^h 52^m 31,6^s$	
t 19. 4. =	$+ 23^h 43^m 24,1^s$	
20. 4. =	$0^h 16^m 35,9^s$	
	$= - 4^{\circ} 9'$	
20. 4. Ztgl. =	$- 1^m 4,8^s$	Abnahme $1^h = 0,55^s$
	$+ 2,3^s$	$- 4,2^h = 2,3^s$
19. 4. 19,8 ^h =	$- 1^m 2,5^s$	
N. J. 20. 4. \odot δ =	$+ 11^{\circ} 28' 34''$	Zunahme $1^h = 51,7''$
	$- 3' 37''$	$- 4,2^h = 217,1''$
	$+ 11^{\circ} 24' 57''$	
Gem. \odot h =	$64^{\circ} 10,8'$	
Ges. Korr. n. Taf. VII =	$+ 10,6'$	
w. \ominus h =	$64^{\circ} 21,4'$	$\log \sin 9,95496$
δ =	$+ 11^{\circ} 25,0'$	$\log \operatorname{ctg} 0,69478 \operatorname{cosec} 0,70346$
t =	$- 4^{\circ} 9'$	$\log \cos 9,99886$
N =	$11^{\circ} 26,8'$	$\log \operatorname{ctg} 0,69364 \sin 9,29763$
q — N =	$25^{\circ} 20,7'$	$\log \cos 9,95605$
q =	$- 13^{\circ} 53,9'$ (Süd).	

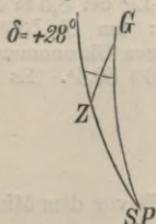
2. Am 25. August 1875 wurde in $154^{\circ} 38,6'$ Ost-Lg und ungefähr $4\frac{1}{2}^{\circ}$ Süd-Br bei $8,5$ m Augeshöhe gemessen ζ h $56^{\circ} 7' 21''$ und die Uhrzeit $2^h 55^m 25,2^s$ notirt. Durch Vergleich mit dem Chronometer wurde der Stand der Uhr gegen mittlere Greenwicher Zeit gefunden = $+ 5^h 43^m 47,3^s$. Es ist die Breite zu bestimmen.

25. 8.	$2^h 55^m 25,2^s$	
Mittl. Grw. Zt. — Uhr =	$+ 5^h 43^m 47,3^s$	
Mittl. Grw. Zt. =	$8^h 39^m 12,5^s$	
25. 8. 9 ^h ζ RA =	$5^h 42^m 25,3^s$	Zun. $10^m = 26,78^s$
	$- 55,7^s$	$2,08$
	$8^h 39,2^m$ ζ RA =	$5^h 41^m 29,6^s$ $55,7^s$

N. J. Taf. III	8 ^h 1 ^m 18,85 ^s
	39 ^m 6,14 ^s
	12,53 ^s
Sternzt. =	10 ^h 13 ^m 22,4 ^s
Sternzt. in Grw. =	18 ^h 54 ^m 0,2 ^s
O-Lg =	10 ^h 18 ^m 34,4 ^s
Sternzt. am Ort =	5 ^h 12 ^m 34,6 ^s
⊖ R. A =	5 ^h 41 ^m 29,6 ^s
⊖ t =	0 ^h 28 ^m 55,0 ^s
	= - 7° 13,8'

25. 8.	9 ^h ⊖ δ = + 28° 27' 0"	Zun. 10 ^m = 20,0"
	—	43"
	8 ^h 39,2 ^m ⊖ δ + 28° 26' 17"	43,4"
	0 ^h : Sternzt	10 ^h 13 ^m 22,4 ^s
	Halbm.	0 ^h = 16' 10" 12 ^h = 16' 10"
	um 8,7 ^h	= 16' 10"
	Par.	0 ^h = 59' 15" 12 ^h = 59' 12"
	um 8,7 ^h	= 59' 13"

Fig. 92.



Gem. ⊖ h =	56° 7,4'	
Kimmt. =	—	5,2'
	56° 2,2'	} log P 3,5506
Refr. =	—		0,6'
		} log cos h 9,7473
		} log p = 3,2979
	p = +	33,1'
w. ⊖ h =	56° 34,7'	
	r = —	16,2'
w. ⊖ h =	56° 18,5'	

h =	56° 18,5'	log sin	9,92014
δ = +	28° 26,3'	log ctg	0,26635 cosec 0,32220
t = —	7° 13,8'	cos	9,99653
N =	28° 37,8'	log ctg	0,26288 sin 9,68047
φ — N =	33° 9,5'	log cos	9,92281
φ = —	4° 31,7' (S.)		

Als Maasstab für den Werth der Methode im gegebenen Falle ist φ — N die Entfernung des Zeniths vom Fusspunkt des Perpendikels Gf zu betrachten. Ist φ — N < 3°, so ist das Resultat als ungenau anzusehen.

§ 97. Cirkummeridianhöhen.

I. Bei der nicht zu umgehenden Beschränkung der Anwendung von Höhen ausser dem Meridian zur Breitenbestimmung hat die Methode der Cirkummeridianhöhen sehr grosse Vortheile.

Diese Methode gründet sich darauf, dass die Höhe der Gestirne zur Zeit der Kulmination ihr Maximum*) erreicht und daher in der Nähe des Meridians sehr langsam ändert.

Aus der beobachteten Zeit einer Höhe nahe am Meridian berechnet man eine kleine Korrektion für die Reduktion auf den Meridian und erhält aus dieser Meridianhöhe die Breite.

*) Die Seite 263 entwickelte Differentialformel:

$$\frac{dh}{dt} = -\cos \varphi \cdot \sin A \text{ giebt für } A = 0 \text{ auch } \frac{dh}{dt} = 0.$$

Es ist dazu nöthig, den Stundenwinkel des Gestirns, also die Zeit der Kulmination des Gestirns, und die richtige Beobachtungszeit zu kennen. Die Differenz der mittleren Kulminationszeit und der Beobachtungszeit giebt den Stundenwinkel t .

Da $\cos(\varphi - \delta) = \cos(90^\circ - h)$ im Meridian, so ist, wenn die Meridianhöhe im Folgenden durch H kenntlich gemacht wird:

$$\begin{aligned} \cos(\varphi - \delta) &= \sin h + 2 \sin^2 \frac{1}{2} t \cdot \cos \varphi \cdot \cos \delta = \sin H \\ \sin H - \sin h &= 2 \sin^2 \frac{1}{2} t \cdot \cos \varphi \cdot \cos \delta \\ \sin \frac{1}{2} (H - h) \cdot \cos \frac{1}{2} (H + h) &= \sin^2 \frac{1}{2} t \cdot \cos \varphi \cdot \cos \delta. \end{aligned}$$

Setzt man $(H - h) = Ah$, also $(H + h) = 2h + Ah$ so hat man:

$$\sin \frac{1}{2} Ah \cdot \cos(h + \frac{1}{2} Ah) = \sin^2 \frac{t}{2} \cdot \cos \varphi \cdot \cos \delta.$$

Unter der Voraussetzung, dass Ah sehr klein ist, kann man setzen:

$$\begin{aligned} (\varphi - \delta) &= 90^\circ - (h + \frac{1}{2} Ah), \text{ demnach} \\ \sin(\varphi - \delta) &= \sin[90^\circ - (h + \frac{1}{2} Ah)] = \cos(h + \frac{1}{2} Ah) \end{aligned}$$

also

$$\sin \frac{1}{2} Ah = \frac{\sin^2 \frac{t}{2} \cdot \cos \varphi \cdot \cos \delta}{\sin(\varphi - \delta)}$$

oder auch

$$Ah = \frac{2 \sin^2 \frac{t}{2}}{\sin 1''} \cdot \frac{\cos \varphi \cdot \cos \delta}{\sin(\varphi - \delta)}$$

Bei dieser Rechnung bedient man sich der Hülftafeln, welche den Ausdruck $\frac{2 \sin^2 \frac{t}{2}}{\sin 1''}$ enthalten. Auch der Ausdruck

$\frac{\cos \varphi \cdot \cos \delta}{\sin(\varphi - \delta)}$ ist zu diesem Zweck in eine Tafel gebracht.

Kulminirt das Gestirn zwischen Zenith und Pol, so ist für $\sin(\varphi - \delta)$ zu setzen: $\sin(\delta - \varphi)$ und für die untere Kulmination $\sin(\varphi + \delta)$.

Es sind noch andere Formen von Hülftafeln in Gebrauch, von denen die Tafeln der Kulminationssekunden hier als

sehr bequem erwähnt werden müssen (z. B. in Domke's Tafeln).

Wenn man t in Bogensekunden ausdrückt, so ist $1^m = 15.60'' = 900''$, also für den Ausdruck $2 \sin^2 \frac{t}{2}$ kann man einführen:

$$2 \sin \left(\frac{900}{2} \right)^2 \cdot t^2 \text{ oder: } \frac{900^2}{2} \sin^2 1'' \cdot t^2, \text{ so dass}$$

$Al = \frac{\cos \varphi \cdot \cos \delta}{\sin(\varphi - \delta)} \cdot \frac{900^2}{2} \cdot \sin 1'' \cdot t^2$ wird, wo t in Zeitminuten des Stundenwinkels gegeben ist.

Zu der Berechnung dienen zwei Tafeln. In der einen findet man mit den Argumenten φ und δ den Werth $\frac{\cos \varphi \cdot \cos \delta}{\sin(\varphi - \delta)} \cdot \frac{900^2}{2} \cdot \sin 1''$, die Kulminationssekunde, in der anderen (oder einer beliebigen Quadrattafel) den Werth t^2 .

Im Vorhergehenden ist von einer Eigenbewegung der Gestirne abgesehen. Für die Sonne kann diese vernachlässigt werden, und die Methode gilt vollständig für Sonnen- und Fixsternbeobachtungen.

2. Die Korrektion, welche bei der Beobachtung des Mondes auf die Formeln in Anwendung gebracht werden muss, ergibt sich aus folgender Betrachtung:*)

Wenn man aus den Ephemeriden die Zeit des Mondmeridiandurchganges für den vorhergehenden Tag, den Tag der Beobachtung und den folgenden Tag nimmt und das Mittel m aus den beiden aufeinanderfolgenden Differenzen der drei Kulminationszeiten bildet, so ist $24^h + m$ gleich einem vollen Mondstage. Das in mittlerer Zeit gegebene t der Formel wird also in Mondszeit umzuwandeln sein durch die Relation: $\frac{24 + m}{t} = \frac{24}{x}$. Nun beträgt m im Mittel 50^m , woraus sich berechnet $x = 0,965 \cdot t$.

Für den Mond ist daher in der Formel für t^2 zu setzen $(0,965 t)^2$ gleich $0,93 \cdot t^2$. Das durch die Formel erhaltene Resultat muss daher für den Mond mit ungefähr 0,9 multiplicirt werden.

Wenn man den Mond 7 bis 8 Minuten vor seinem Meridiandurchgang beobachtet, so ist die gewonnene Höhe

*) Dubois, Cours de Navigation.

stets kleiner, als die Meridianhöhe, trotz der starken Bewegung des Gestirns in Deklination.

3. Grenze der Anwendbarkeit der Methode.

Bei der Benutzung der Methode ist es von Werth, die Grenze des zulässigen Stundenwinkels zu kennen. Diese Grenze ist in den nautischen Hülftafeln gewöhnlich angegeben für die Sonne, wenn ein Fehler von 1^m im Stundenwinkel einen Fehler von 2' Breite verursacht. (Domke, Breusing.)

Wenn man die Anwendung in noch engere Grenzen einschliesst, so erhält man namentlich für Sternbeobachtungen, bei denen die grösste Höhe nicht so scharf zu beobachten ist, durch eine Reihe von Cirkummeridianhöhen, aus deren Resultaten man das Mittel nimmt, eine Breitenbestimmung, welche der aus einer einzelnen Meridianbreite gewonnenen vorzuziehen ist. Man verfährt dann so, dass man das Mittel der gemessenen Höhen nimmt und auf eine mittlere wahre Höhe reducirt, die aus der beobachteten Zeit gefolgerten t aber einzeln ins Quadrat erhebt und aus den Quadraten das Mittel nimmt.

Dies Verfahren folgt aus Nachstehendem:

Sind n Höhen, $h_1 h_2 h_3 \dots h_n$ beobachtet, sind $t_1 t_2$ etc. die dazu gehörigen Stundenwinkel, c die Kulminationssekunde, so ist

$$\begin{aligned} H &= h_1 + c t_1^2 \\ &= h_2 + c t_2^2 \\ &= h_3 + c t_3^2 \\ &\vdots \\ &= h_n + c t_n^2 \\ H &= \frac{h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n}{n} + c \frac{t_1^2 + t_2^2 + t_3^2 + \dots + t_n^2}{n} \end{aligned}$$

Beispiele.

1. Am 15. April 1875 wurde in 112° West-Lg nahe dem Meridian bei 8,5 m Augeshöhe beobachtet: \odot 54° 58,5' über dem Nord-Horizont, und die Zeit notirt nach einer Beobachtungsur: 6^h 8^m 58,4^s. Ein kurz nachher vorgenommener Vergleich ergab Chronometer — Uhr + 0^h 13^m 20^s. Stand des Chronometers war + 1^h 0^m 22,5^s. Es soll die Breite gefunden werden.

Wenn man die Höhe als Mittagshöhe betrachtet, so erhält man ungefähre Breite: = 25°.

Beob. Uhr =	6h 8m 58,4s	N. J. 15. April 75. (Für 7,4h.)	
Chron. — Uhr = +	0h 13m 20,0s	Ztgl. = +	0m 5,5s
Grw. Zt. — Chron. = +	1h 0m 22,5s		— 4,6s
Mittl. Grw. Zt. =	7h 22m 40,9s		+ 0m 0,9s
Ztgl. = —	0m 0,9s	⊙ δ = +	9° 43' 27"
w. Grw. Zt. =	7h 22m 40s		+ 6' 30"
W-Lg =	7h 28m 0s		+ 9° 49' 57"
t = —	5m 20s	Gem. ⊙ h =	54° 58,5'
= — 1° 20'.		Ges. Korr. n. Taf. VII = +	10,5'
		w ⊕ h =	55° 9,0'

$\frac{1}{2} t =$	0° 40'	$2 \log \sin$	6,13156
$\varphi =$	— 25°	$\log \cos$	9,95728
$\delta =$	+ 9° 50'	\cos	9,99357
$\varphi - \delta =$	— 34° 50'	cosec	0,24322
$h =$	55° 9'	$\log 2 =$	0,30103
$\Delta h =$	1,4'	$\log \sin$	6,62666
$H =$	55° 10,4'		
$90^\circ - H =$	34° 49,6' (N-Hor.)		
$\delta =$	+ 9° 50'		
$\varphi =$	— 24° 59,6' (S).		

Aus den Tafeln der Kulminationssekunden findet man:

Domke Taf. 29 } = 3,07 = (Kulm. Sek.)
(Caillet Taf. 30) }
Domke Taf. 30 } = 28,4 = (5m 20s) ²
(Caillet Taf. 31) }
Produkt = 87'' = 1,4' = Δh .

Aus den Tafeln der Delambre'schen Zahl (Ligowsky Tafel 22,

Rümker Tafel 23) findet man $\frac{2 \sin 2^\circ \cdot t}{\sin 1''} = n = 55,8$ und rechnet

$\log n =$	1,74663
$\log \cos \varphi =$	9,95728
$\log \cos \delta =$	9,99357
$\log \operatorname{cosec} (\varphi - \delta) =$	0,24322
$\Delta h = 87''$	$\log \Delta h = 1,94070.$
$= 1,4'$	

2. Am 9. April 1875 wurde in 26° West-Lg bei 5,5 m Augeshöhe die Höhe des Sirius nahe am Meridian beobachtet und die Zeit sowie die Höhe notirt wie folgt: 5h 20m 58s $\star h = 64^\circ 43,2'$ über dem Nord-Horizont. Der Stand der Uhr gegen mittlere Ortszeit war gefunden = + 0h 15m 46,1s. Die Breite ist zu ermitteln.

Die Besteckbr. ist 8° 44' Süd.

Beob. Uhr =	5h 20m 58s	$\frac{t}{2} =$	0° 56,9'	$2 \log \sin$	6,4376
Mittl. Ortszt. — Uhr = +	0h 15m 46,1s	$\varphi =$	— 8° 44'	$\log \cos$	9,9949
Mittl. Ortszt. =	5h 36m 44,1s	(N. J.) $\star \delta =$	— 16° 32,8'	$\log \cos$	9,9816
W-Lg =	1h 44m	$(\varphi - \delta) = +$	7° 48,8'	$\log \operatorname{cosec}$	0,8666
Mittl. Grw. Zt. =	7h 20m 44,1s			$\log 2$	0,3010
N. J. Taf. III { =	7h 1m 9s	$\Delta h =$	13,1'	$\log \sin$	7,5818
{ =	20m 3,29s				
{ =	44,22s				

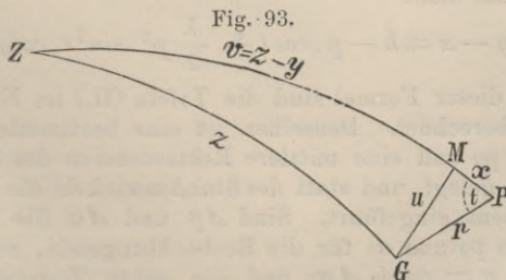
Sternzt. im mittl. Mittg. =	$1^h 9^m 17,5^s$	Gem. $\alpha h =$	$64^\circ 43,2'$ (N-Hor.)
Sternzt. in Grw. =	$8^h 31^m 14,0^s$	(N.J.) Kimmt. =	$4,2'$
W-Lg =	$1^h 44^m$	Rfr. =	$0,5'$
Sternzt. am Ort =	$6^h 47^m 14^s$	w $\alpha h =$	$64^\circ 38,5'$
$\star RA =$	$6^h 39^m 38,4^s$	$\Delta h = +$	$13,1'$
$\star t = +$	$0^h 7^m 35,6^s$	$H =$	$64^\circ 51,6'$ (N-Hor.)
$= 1^\circ 53,9'$		$90^\circ - H =$	$25^\circ 8,4'$
		$\delta =$	$16^\circ 32,8'$
		$\varphi =$	$8^\circ 35,6'$ (S.).

§ 98. Breitenbestimmung mit Hilfe des Polarsterns.

Der Polarstern befindet sich immer in der Nähe des Meridians, da er sich vom Nordpol nicht weiter als $1^\circ 25'$ entfernt. Er ist daher vorzüglich zur Breitenbestimmung geeignet, um so mehr, als der Stern hell genug ist, um eine vergleichsweise günstige Nachtbeobachtung zu gestatten. Wie bei gewöhnlichen Cirkummeridianhöhen die Höhe durch eine aus Tabellen zu entnehmende Korrektion auf den Meridian reducirt wird, so hat man für den Polarstern Tabellen berechnet, aus welchen für jede Höhe des Polarsterns die Reduktion derselben auf die Höhe des Pols, also damit direkt auch die Breite des Beobachtungsorts entnommen werden kann.

Diese Tafeln sind nach Formeln berechnet, welchen folgende Betrachtung zu Grunde liegt:*)

In dem sphärischen Dreieck ZPG , Fig. 93, fällt man von G aus auf den Meridian ein Loth $GM = u$ und sieht das kleine Dreieck PMG als ein ebenes an. Das Komple-



ment der Polhöhe, ZP , ist dann $90^\circ - \varphi = v + x$, worin v von der Zenithdistanz z des Polarsterns um die kleine Grösse y verschieden ist. Also:

$$v = z - y \text{ oder: } \varphi = 90^\circ - z + y - x = h + y - x.$$

*) Nach Brünnow, Sphärische Astronomie.

Es kommt nun darauf an, die Korrektion $y - x$ durch einen Ausdruck darzustellen, welcher nichts weiter enthält, als die Poldistanz und den Stundenwinkel.

Zunächst ist $x = p \cdot \cos t$, und:

$$\begin{aligned} \cos(z - y) &= \frac{\cos z}{\cos u} \\ \cos z \cdot \cos y + \sin z \cdot \sin y &= \frac{\cos z}{\cos u} \\ \sin y &= -\frac{\cos z \cdot \cos y}{\sin z} + \frac{\cos z}{\sin z} \cdot \frac{1}{\cos u} \\ &= -\cotg z \cdot \left(\cos y - \frac{1}{\cos u} \right) \\ &= -\cotg z \cdot \left(2 \sin^2 \frac{1}{2} y + 1 - \frac{1}{\cos u} \right) \end{aligned}$$

Vernachlässigt man das Glied zweiter Ordnung $2 \sin^2 \frac{1}{2} y$ und stellt $1 - \frac{1}{\cos u}$ dar durch $\frac{1}{2} u^2$ *) und, da y sehr klein ist, $\sin y = y$, so erhält man $y = \frac{1}{2} u^2 \cotg z$.

Im dem Dreieck PMG ist aber:

$$\begin{aligned} u &= p \cdot \sin t, \\ \text{daher } y &= \frac{1}{2} p^2 \cdot \sin^2 t \cdot \cotg z. \end{aligned}$$

Man hat also:

$$h + y - x = h - p \cdot \cos t + \frac{1}{2} p^2 \cdot \sin^2 t \cdot \cotg z.$$

Nach dieser Formel sind die Tafeln (II.) im Nautischen Jahrbuch berechnet. Denselben ist eine bestimmte mittlere Poldistanz p_0 und eine mittlere Rektascension des Sterns d_0 zu Grunde gelegt, und statt des Stundenwinkels die Sternzeit als Argument eingeführt. Sind Δp und $\Delta \alpha$ die Verbesserungen von p_0 und d_0 für die Beobachtungszeit, so ist $p = p_0 + \Delta p$, $\alpha = \alpha_0 + \Delta \alpha$; und die unter Zugrundelegung

*) $1 - \frac{1}{\cos u} = \frac{\cos u - 1}{\cos u}$
 $= -\frac{1 - \cos u}{\cos u}$
 $= -\frac{u^2}{2} \dots$

von α_0 gefundene Sternzeit resp. der Stundenwinkel ist um $\Delta\alpha$ zu verbessern d. h. $t = t_0 + \Delta\alpha$. Es wird dann

$$p \cos t = (p_0 + \Delta p) \cos (t_0 + \Delta\alpha) = p_0 \cos t_0 \cos \Delta\alpha - p_0 \sin t_0 \sin \Delta\alpha - \Delta p \cos t_0 \cos \Delta\alpha - \Delta p \sin t_0 \sin \Delta\alpha,$$

und unter Berücksichtigung, dass $\Delta\alpha$ sehr klein ist,

$$p \cos t = p_0 \cos t_0 - p_0 \sin t_0 \Delta\alpha - \Delta p \cos t_0 - \Delta p \sin t_0 \Delta\alpha.$$

Es wird dann

$$\varphi = h \text{ mit folgenden Korrekturen:}$$

- I. Korrektion $- p_0 \cdot \cos t_0$ (Argument der Tafel: Sternzeit der Beobachtung.)
- II. $-$ $+\frac{1}{2} p_0^2 \cdot \sin^2 t_0 \cdot \cot g z$ (Argument der Tafel: Sternzeit und Höhe.)
- III. $-$ $+\Delta p \cdot \cos t_0 + p_0 \cdot \sin t_0 \Delta\alpha + \Delta p \Delta\alpha \sin t_0$ (Argument der Tafel: Sternzeit und Datum.)

Das folgende Beispiel giebt die Anordnung dieser einfachen Rechnung an.

Beispiel.

Am 11. April 1875 wurde in $37^\circ 30'$ West-Lg die wahre Höhe des Polarsterns = $35^\circ 7,5'$ gefunden. Nach der Beobachtungs-Uhr wurde notirt $7^h 10^m 33^s$, dieselbe mit dem Chronometer verglichen gab $+ 2^h 33^m 10^s$. Das Chronometer zeigte gegen mittlere Grw. Zeit $- 0^h 15^m 3,3^s$. Die Breite soll gefunden werden.

	Uhr = $7^h 10^m 33^s$		
Chron. — Uhr =	$+ 2^h 33^m 10^s$	w. $\star h = 35^\circ 7,5'$ { $8^h 10^m = 0^\circ 18' 51''$	I Korr. N. J. Zunahme
St. d. Chr. =	$- 0^h 15^m 3,3^s$	Korr. I = $+ 0^\circ 21,4'$ {	$1^m = 20,5''$
Mittl. Grw. Zt. 16.4. =	$9^h 28^m 39,7^s$	- II = $+ 0^\circ 0,6'$	$7,4$
Sternz. Taf. III =	$9^h 1^m 28,71^s$	- III = $+ 0^\circ 1,5'$	$0^\circ 21' 23''$
	$28^m 4,60^s$	$\varphi = + 35^\circ 31,0' (N.)$	$151,7''$
	$39,81^s$		
Sternz. i. Mittg. =	$1^h 17^m 10,6^s$		
Sternz. =	$10^h 47^m 23,7^s$		
West-Lg =	$2^h 30^m$		
Orts-Sternz. =	$8^h 17^m 23,7^s$		

XIII. Kapitel.

Die Kombination mehrerer Höhen zum Zweck der Orts- und Zeitbestimmung.

§ 99. Uebertragung der Höhen auf einen anderen Ort.

Für die Kombination mehrerer Höhen zur Orts- und Zeitbestimmung ist Voraussetzung, dass diese Höhen an demselben Ort beobachtet worden sind. Diese Voraussetzung trifft auf See in den meisten Fällen nicht zu; es wird daher oft nothwendig, eine beobachtete Höhe auf einen anderen Ort zu übertragen. Das Verfahren dabei beruht auf folgender Betrachtung:

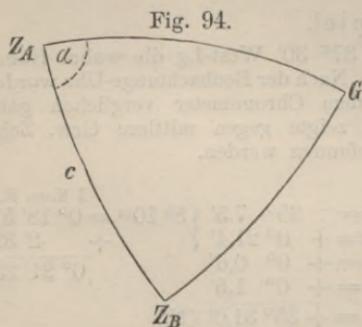
Die Verbindungslinie des Erdmittelpunktes mit dem Gestirn bestimmt auf der Erdoberfläche einen Punkt, in dessen Zenith sich das Gestirn befindet. Dieser Punkt bildet mit dem Punkt A der Beobachtung und dem Punkt B , auf welchen die beobachtete Höhe übertragen werden soll, ein sphärisches Dreieck, welchem am Himmel das Dreieck zwischen dem Gestirn G und den Zenithen Z_A und Z_B (Fig. 94) entspricht. Die Aufgabe ist also, die Zenithdistanz $Z_B G$ zu finden aus der bekannten Zenithdistanz $Z_A G$ und der in Bogenminuten (Seemeilen) bekannten Entfernung

$$Z_A Z_B = c.$$

Zunächst erhält man das nothwendige dritte Stück des Dreiecks $G Z_A Z_B$, nämlich den Winkel α bei Z_A zwischen der Richtung nach dem Gestirn und der Richtung der Ortsveränderung (des Schiffskurses), indem man das Gestirn mit dem Kompass oder der Peilscheibe zur Zeit der Höhenbeobachtung peilt und den Kurs notirt. Dann berechnet sich die Z_B entsprechende Höhe ($90^\circ - G Z_B$) aus der Formel:

$$\sin h_B = \sin h_A \cdot \cos c + \sin c \cdot \cos h_A \cdot \cos \alpha.$$

In der praktischen Navigation aber genügt es stets, die kleine zurückgelegte Distanz c als eine Hypotenuse des ebenen rechtwinkligen Dreiecks zu betrachten, welches gebildet wird,



wie in Fig. 95 und 96 dargestellt, durch: c , den Winkel α bei Z_A und das zu ermittelnde Stück a , welches zu GZ_B der Figur 94 hinzuzufügen oder davon abzuziehen ist. Man hat dann:

$$c \cdot \cos \alpha = a,$$

worin c Seemeilen und a auch Seemeilen oder, auf die Himmelskugel bezogen, Minuten der Höhe bezeichnet.

Die Korrektur a ist positiv, wenn das Schiff sich dem Gestirn nähert, wenn also der Winkel zwischen Peilung des Gestirns an dem Orte, dessen Höhe reducirt werden soll, und dem Kurse spitz ist (Fig. 95), und negativ, wenn es sich von dem Gestirn entfernt, wenn also der Winkel zwischen Peilung des Gestirns und dem Kurse stumpf ist (Fig. 96).

Die Rechnung wird erspart, indem man a (als Breitenunterschied) aus der Koppeltafel entnimmt, in welche man mit c (als Distanz) und α (als Kurswinkel) eingegangen ist.

Fig. 95.

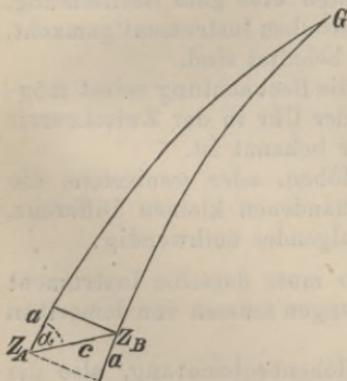
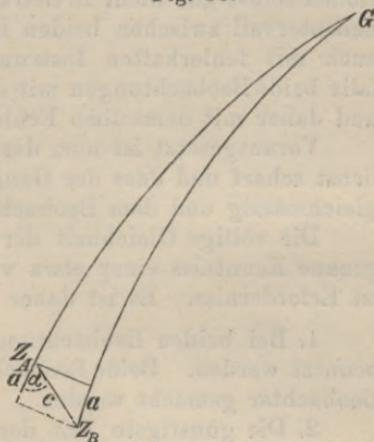


Fig. 96.



In der Regel reducirt man die kleinere auf die grössere Höhe; bei der kleineren Höhe lässt sich eine bessere Peilung nehmen, und man erhält das Resultat der Rechnung näher dem Meridian.

Beispiel.

Am 10. März wurde nach Chronometer um 7^h 32^m 9^s eine Höhe beobachtet = \odot 21° 21' und die Sonne gepeilt NO¹/₂N. Das Schiff steuerte O¹/₂N und lief 3,9 Knoten in der Stunde; um 11^h 17^m 30^s wurde

eine zweite Höhe beobachtet = \odot $39^{\circ} 4'$. Augeshöhe 5 m. Es ist die erste Höhe auf den Ort der zweiten zu übertragen.

$$\begin{array}{r} \text{Gem } \odot h = 21^{\circ} 21' \\ \text{Ges. Korrr. n. Taf. VII} = + 9,9' \\ \text{w } \ominus h = 21^{\circ} 30,9' \end{array} \quad \begin{array}{r} \text{Gem } \odot h = 39^{\circ} 4,0' \\ \text{Ges. Korrr. n. Taf. VII} = + 11,1' \\ \text{w } \ominus h = 39^{\circ} 15,1' \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} \alpha = 4 \text{ Str.} = 45^{\circ} \\ c = 3,8^h \cdot 3,9 = 14,8' \end{array} \right\} a = + 10,5'$$

$$\text{Uebertragene } \ominus h = 21^{\circ} 41,4'$$

§ 100. Korrespondirende Höhen.

1. Wenn ein Gestirn keine eigene Bewegung hat, so müssen wegen der gleichmässigen Drehung der Erde gleichen Höhen des Gestirns zu beiden Seiten des Meridians gleiche absolute Stundenwinkel entsprechen. Die Hälfte der zwischen beiden Beobachtungen verflossenen Zeit giebt also, zur ersten Beobachtung hinzugelegt oder von der zweiten subtrahirt, die Zeit der Kulmination des Gestirns.

Hierdurch ist eine genaue Methode gegeben, die Zeit durch Höhenbeobachtungen zu ermitteln. Da die gemessenen Höhen selbst gar nicht in Betracht kommen, sondern nur das Zeitintervall zwischen beiden Beobachtungen, so erhält man auch mit fehlerhaften Instrumenten eine gute Bestimmung, falls beide Beobachtungen mit demselben Instrument gemacht, und daher mit demselben Fehler behaftet sind.

Vorausgesetzt ist nur, dass die Beobachtung selbst möglichst scharf und dass der Gang der Uhr in der Zwischenzeit gleichmässig und dem Beobachter bekannt ist.

Die völlige Gleichheit der Höhen, oder wenigstens die genaue Kenntniss einer etwa vorhandenen kleinen Differenz, ist Erforderniss. Es ist daher Folgendes nothwendig:

1. Bei beiden Beobachtungen muss dasselbe Instrument benutzt werden. Beide Beobachtungen müssen von demselben Beobachter gemacht werden.

2. Die günstigste Zeit der Höhenbeobachtung, also die der schnellsten Höhenänderung, muss möglichst gewählt werden.

3. Kleine Höhen (unter 12°) müssen vermieden werden, wegen der Unzuverlässigkeit der Refraktion.

4. Bei Beobachtungen über dem künstlichen Horizont muss bei beiden Beobachtungen dieselbe Glasscheibe des Glasdaches der Sonne zugewendet sein.

5. An dem Reflexions-Instrument müssen bei beiden Beobachtungen dieselben farbigen Gläser benutzt werden.

Den Mond wählt man für diese Beobachtung nicht gern, da für diesen ausser der grossen Deklinationsänderung auch

Faint, illegible text at the top of the page, possibly a header or introductory paragraph.

Second block of faint, illegible text, continuing the document's content.

Third block of faint, illegible text, appearing as a distinct section.

Fourth block of faint, illegible text, possibly containing a list or table.

Fifth block of faint, illegible text, continuing the main body of the document.

Sixth block of faint, illegible text, possibly a concluding paragraph or signature area.

Seventh block of faint, illegible text, appearing as a separate section.

Eighth block of faint, illegible text, continuing the document's content.

Ninth block of faint, illegible text, possibly a footer or final note.

... ..

§ 2000.

1.

2.

3.

4.

5.

noch die der Parallaxe zu berücksichtigen ist. Die Sonne wird am häufigsten angewendet, da die Beobachtung derselben am schärfsten angestellt werden kann. In der Regel bedarf das Resultat bei derselben einer Korrektion für Aenderung der Deklination.

Zunächst soll hier ein Beispiel für den einfachsten Fall, die Beobachtung korrespondirender Sternhöhen, deren Deklination sich während der Zwischenzeit der Beobachtungen nicht ändert, gegeben werden.*)

Beispiel.

Den 14. Januar 1875 wurden zu Washington in $77^{\circ} 2' 48''$ West-Lg gleiche Höhen von α Canis minoris beobachtet und dazu die Zeiten nach einem Chronometer notirt, welches nach mittlerer Greenwicher Zeit regulirt war. Die Beobachtungen waren folgende:

Mittel der Chron.-Zeiten \times O vom Mer.	2h 16 ^m 35,65 ^s
\times W vom Mer.	7h 59 ^m 16,38 ^s
Zwischenzeit	5h 42 ^m 40,73 ^s
$\frac{1}{2}$ -	2h 51 ^m 20,36 ^s
	2h 16 ^m 35,65 ^s

Chron.-Zt. der Sternskulm. 5h 7^m 56,01^s
(Chron. Zt. Vormittags.)

Sternz. der Kulm. = \times A. R. 7h 32^m 46,6^s
W-Lg $77^{\circ} 2' 48'' =$ 5h 8^m 11,2^s

Sternz. in Grw. (24^h +) 12h 40^m 57,8^s

Sternz. 0^h mittl. Zt. in Grw. 19h 34^m 10,3^s

Sternz.-Intervall 17h 6^m 47,5^s

Verwandlung in mittl. Zt. N. J. Tafel IV

}	16h 57 ^m 12,90 ^s
	5 ^m 59,02 ^s
	47,37 ^s

Mittl. Grw. Zt. 17h 3^m 59,29^s

Chron. Zt. 17h 7^m 56,01^s

Grw. Zt. — Chron. = — 0^h 3^m 56,72^s.

2. Korrespondirende Höhen mit Berücksichtigung der Deklinationsänderung.

Für Sonne, Mond und Planeten muss die Deklinationsänderung berücksichtigt werden.

Wenn man die Aenderung des Stundenwinkels bestimmen will, welche durch eine Aenderung der Deklination veranlasst wird, so muss man die folgende Grundgleichung nach δ und t differenzieren.

*) Coffin, Navigation and Nautical-Astronomy. S. 176.

$$\begin{aligned} \sin h &= \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t \\ 0 &= \sin \varphi \cdot \sin \delta \cdot d\delta - \cos \varphi \cdot \sin \delta \cdot d\delta \cdot \cos t - \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin t \cdot dt \\ 0 &= (\sin \varphi \cdot \cos \delta - \cos \varphi \cdot \sin \delta \cdot \cos t) \cdot d\delta - \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin t \cdot dt \\ dt &= \left[\frac{\operatorname{tg} \varphi}{\sin t} - \frac{\operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} t} \right] \cdot d\delta. \end{aligned}$$

Wenn also δ sich um $d\delta$ vergrössert, so vergrössert sich t um den Werth dieses Ausdrucks (in Bogen). Nähert sich das Gestirn dem sichtbaren Pol, so ist bei gleichen Höhen der westliche Stundenwinkel grösser als der östliche, und es muss demnach eine Korrektion $\left(\frac{dt}{2}\right)$ auf die durch das Mittel der Zeiten erhaltene Kulminationszeit (bei der Sonne unverbessert Mittag, Mittagskorrektion) subtraktiv angewendet werden. Entfernt sich das Gestirn vom sichtbaren Pol, so ist der östliche Stundenwinkel der grössere, und die Korrektion ist zu dem Mittel der Zeiten zu addiren. Bezeichnet nun im Folgenden durchweg:

- T_1 die Uhrzeit der ersten Höhe,
- T_2 die Uhrzeit der zweiten Höhe,
- T_0 die Uhrzeit des wahren Mittags,
- t_1 den Stundenwinkel der ersten Höhe,
- t_2 den Stundenwinkel der zweiten Höhe (östlich und westlich genommen),
- dt die durch Aenderung der Deklination in der Zwischenzeit $T_2 - T_1$ bedingte Aenderung des Stundenwinkels,

so ist:

$$T_1 + t_1 = T_0 \text{ und } T_2 - t_2 = T_0. \text{ Da nun } t_2 = t_1 \pm dt, \text{ so ist:}$$

$$T_2 - t_1 \mp dt = T_0.$$

Durch Addition erhält man: $2 T_0 = T_1 + t_1 + T_2 - t_1 \mp dt$

$$T_0 = \frac{T_1 + T_2}{2} \mp \frac{dt}{2}$$

Das Minuszeichen vor dt gilt, wenn sich das Gestirn dem sichtbaren Pole nähert, das Pluszeichen, wenn es sich von demselben entfernt.

Werden bei der Sonne zuerst Nachmittags und dann Vormittags am folgenden Tage gleiche Höhen beobachtet, so giebt das Mittel der Beobachtungszeiten die Zeit der unteren Kulmination oder die unverbesserte Mitternacht. Auf dieselbe die Mitternachtskorrektion angewandt, giebt die Uhrzeit um 12^h wahre Ortszeit. Wenn sich die Sonne dem sichtbaren Pole nähert, ist der Nachmittagsstundenwinkel grösser als der Vormittagsstundenwinkel bei gleicher Höhe;

wenn die Sonne sich vom sichtbaren Pole entfernt, umgekehrt. Die Korrektion ist demnach umgekehrt anzuwenden, wie die Mittagskorrektion. Bei derselben Bezeichnung wie vorher wird

$$\frac{T_1 + T_2}{2} \pm \frac{dt}{2} = T_{12}.$$

Zur Erleichterung der Rechnung sind von Gauss Tafeln gegeben, welche in alle nautischen Hülftafeln übergegangen sind. Die Einrichtung derselben ist folgende: Bezeichnet man mit μ die Aenderung der Deklination in 48 Stunden,

so ist $d\delta = \frac{\mu}{48} \cdot t$, wo t die halbe Zwischenzeit bezeichnet,

also ist:

$$\frac{dt}{2} = \frac{\mu \cdot t}{48 \cdot 15 \cdot \text{sin } t} \cdot \text{tg } \varphi - \frac{\mu \cdot t}{48 \cdot 15 \cdot \text{tg } t} \cdot \text{tg } \delta.$$

In den Tafeln ist nun mit dem Argument t , d. h.

$\frac{1}{2}(T_2 - T_1)$ = der halben Zwischenzeit, angegeben:

$$A = \frac{1}{48 \cdot 15} \cdot \frac{t}{\text{sin } t}$$

$$B = \frac{1}{48 \cdot 15} \cdot \frac{t}{\text{tg } t}$$

also ist:

$$\frac{dt}{2} = A \cdot \mu \cdot \text{tg } \varphi - B \cdot \mu \cdot \text{tg } \delta.$$

Bei der Rechnung verfährt man wie folgt:

Man schreibt die Beobachtungszeiten des Vormittags und des Nachmittags so nebeneinander, wie sie den gleichen Höhen entsprechen. Darauf bildet man die halben Summen, d. h. die unverbesserten Mittagszeiten. Aus den Nachmittagszeiten und den unverbesserten Mittagszeiten nimmt man die Mittel und erhält aus der Differenz dieser Mittel das Argument t , die halbe Zwischenzeit.

Aus dem N. J. entnimmt man sodann die Deklination im wahren Mittag für den Tag der Beobachtung, den Tag vorher und den Tag nachher, und reducirt diese auf die Greenwicher Zeit der drei Ortsmittage. Aus den Deklinationen 24 Stunden vorher und nachher bildet man das Intervall μ und rechnet sodann nach folgendem Schema:

$\varphi =$	$\log \text{tg} \dots\dots$	$\log \text{tg} \dots\dots$
$\delta =$	$\dots\dots\dots$	$\log \dots\dots\dots$
$\mu =$	$\log \dots\dots\dots$	$\log \dots\dots\dots$
	$\log A \dots\dots\dots$	$\log B \dots\dots\dots$
	$\log \text{Korr. I} \dots\dots\dots$	$\log \text{Korr. II} \dots\dots\dots$
	$\text{Korr. I} =$	$\text{Korr. II} =$

Noch einfacher ist die Rechnung mit Hilfe der im Anhang gegebenen Tafel VIII. Man findet aus derselben die Ausdrücke $\frac{tg \varphi}{\sin t}$ (Tafel A) und $\frac{tg \delta}{tgt}$ (Tafel B) in Bogensekunden. In Zeitsekunden ausgedrückt wird demnach hiernach die Korrektion:

$$\frac{dt}{2} = (A - B) \frac{d\delta}{15}$$

$d\delta$ findet man, indem man die stündliche Aenderung der Deklination aus dem Jahrbuch entnimmt und mit der halben Zwischenzeit multiplicirt.

In dem Ausdruck für $\frac{dt}{2} = \left(\frac{tg \varphi}{\sin t} - \frac{tg \delta}{tgt} \right) \frac{d\delta}{2}$ ist das erste Glied $\frac{tg \varphi}{\sin t}$ stets positiv, da $tg \varphi$ und $\sin t$ immer positiv sind; im zweiten Glied ist $tg \delta$ positiv oder negativ, je nachdem φ und δ gleich- oder ungleichnamig sind; $tang t$, je nachdem t kleiner oder grösser als 6^h ist.

Hieraus folgen die bei beiden angeführten Berechnungsarten geltenden Regeln für die Anwendung der Korrekturen:

Ist $t < 6^h$, so wird, wenn φ und δ gleichnamig, die zweite Korrektion von der ersten subtrahirt; sind φ und δ ungleichnamig, addirt („ist es warm, ziehe ab; ist es kalt, schlag zusammen“); ist $t > 6^h$, so findet das Umgekehrte statt.

Die Gesamt-Mittagskorrektion ist subtraktiv anzuwenden, wenn sich das Gestirn (die Sonne) dem sichtbaren Pole nähert, additiv, wenn sie sich von demselben entfernt. („Wird es wärmer, ziehe ab; wird es kälter, schlag zusammen.“)

Die Mitternachtskorrektion wird umgekehrt angewandt wie die Mittagskorrektion. (Bei derselben ist ferner zu beachten, dass t stets $> 6^h$ ist.)

Beispiel.

(Mittagskorrektion.)

Zu Koepang in $20^\circ 37,8'$ Süd-Br und $116^\circ 43' 3,6''$ Ost-Lg wurden am 28. April 1875 korrespondirende Höhen Vor- und Nachmittags über dem künstlichen Horizont gemessen. Durch Vergleich mit der Beobachtungszuhr vor und nach jeder Beobachtungsreihe wurden folgende Chronometerzeiten festgestellt, aus welchen die Chronometerzeit um 0^h wahre Ortszeit zu finden ist.

(Die Chronometerzeit bezieht sich auf den Greenwicher Vormittag.)

Abdruck
Tafel in Zusammenhang: Milchleistung und
den Geburt in Deutschland. 1894. N^o VIII P^o 142

	Vormittags	Nachmittags	Unverbessertes Mittag
$\odot h = 71^\circ 30'$	1 ^h 32 ^m 0,3 ^s	7 ^h 9 ^m 36,5 ^s	4 ^h 20 ^m 48,40 ^s
72° 50'	35 ^m 33,5 ^s	6 ^m 3,8 ^s	48,65 ^s
73° 10'	36 ^m 26,1 ^s	5 ^m 11,0 ^s	48,55 ^s
73° 40'	37 ^m 48,5 ^s	3 ^m 50,2 ^s	49,35 ^s
75° 20'	42 ^m 18,3 ^s	6 ^h 59 ^m 21,2 ^s	49,75 ^s
75° 50'	43 ^m 43,1 ^s	57 ^m 57,8 ^s	50,45 ^s
76° 30'	45 ^m 31,8 ^s	56 ^m 10,0 ^s	50,90 ^s
77° 30'	48 ^m 16,3 ^s	53 ^m 24,2 ^s	50,25 ^s

$$\frac{7^h 1^m 26,84^s}{4^h 20^m 49,54^s}$$

Halbe Zw. Zeit = 2^h 40^m 37,30^s

O-Lg 116° 43' 3,6'' = 7^h 46^m 52,24^s

Grw. Zt. zur Entnahme der Ephemeriden = 28. 4. — 7,8^h.

$\odot \delta$ im w. Mittg.	27. 4. — 7,8 ^h = 13° 41' 27''	$\mu = 37' 57''$
$\odot \delta$	29. 4. — 7,8 ^h = 14° 19' 24''	
$\odot \delta$	28. 4. — 7,8 ^h = 14° 0' 35'' = 2277''	

$\varphi = -20^\circ 37,8'$	$\log \operatorname{tg} \varphi$ 9,5757		
$\delta = +14^\circ 0,6'$		$\log \operatorname{tg} \delta$ 9,3971	Unverb. Mittg. = 4 ^h 20 ^m 49,54 ^s
$\mu = 2277''$	$\log \mu$ 3,3574	3,3574	$\frac{dt}{2} = +7,44^s$
	$\log A$ 7,7608	$\log B$ 7,6441	

$\log \operatorname{Korr. I} 0,6939 \log \operatorname{Korr. II} 0,3986$ Chron.-Zt. um 0^h w. Orts-Zt. = 4^h 20^m 56,98^s

$$\begin{aligned} \operatorname{Korr. I} &= 4,94^s \\ \operatorname{Korr. II} &= + 2,50. \\ \hline \frac{dt}{2} &= 7,44^s \end{aligned}$$

Rechnung mit Hülfe von Tafel VIII.

Stündliche Aenderung der Deklination + 47''.

$d\delta = 47.2,7 = 127''.$

$A = 0,55$
 $+ B = 0,30$

$$\frac{dt}{2} = 0,85 \cdot \frac{127^s}{15} = +7,45^s.$$

Unverb. Mittag 4^h 20^m 49,54^s

Verb. Mittag 4^h 20^m 56,99^s.

Wenn keine Hülftafeln für A und B vorhanden wären, würde die Rechnung folgende Gestalt annehmen:

$\log \operatorname{tg} \varphi$	= 9,5757	$\log \operatorname{tg} \delta$	= 9,3971
$\log \mu$	= 3,3574	.....	= 3,3574
$\log \frac{1}{48.15}$	= 7,1427	.....	= 7,1427
Halbe Zw. Zt. = 2 ^h 40 ^m 37,3 ^s	$\log 2,677^h = 0,4276$	.....	= 0,4276
= 40° 9,3'	$\log \operatorname{cosec} = 0,1905$	$\log \operatorname{cotg}$	= 0,0738
	$\log \operatorname{Korr. I} = 0,6939$	$\log \operatorname{Korr. II} = 0,3986$	
	$\operatorname{Korr. I} = 4,94$	$\operatorname{Korr. II} = 2,50$	

w. Orts-Zt. d. 28. 4. =	0 ^h 0 ^m 0 ^s
O-Lg 116° 43' 3,6'' =	— 7 ^h 46 ^m 52,24 ^s
w. Grw. Zt. d. 27. 4. =	16 ^h 13 ^m 7,76 ^s
Ztgl. d. 28. 4. — 7,8 ^h =	— 2 ^m 31,48 ^s (N. J.)
Mittl. Grw. Zt. =	16 ^h 10 ^m 36,28 ^s
Chron.-Zt. im w. Mittg. =	16 ^h 20 ^m 56,98 ^s
Grw. Zt. — Chron.-Zt. =	— 0 ^h 10 ^m 20,70 ^s

3. Eine geringe Abweichung der Höhen bei der einen Beobachtung von denen der anderen Beobachtung kann leicht vorkommen durch ein Versehen oder durch Aenderung der Refraktion oder der Instrumenten-Korrektion. Ein solcher kleiner Fehler macht die Beobachtungen nicht unbrauchbar, sondern kann, sobald man ihn nur genau kennt, vollständig eliminirt werden.

Man findet nämlich die Aenderung, welche durch eine kleine Höhenänderung in der Zeit hervorgebracht wird, hier, indem man die Differenzen der beobachteten Höhen und Zeiten einer Beobachtungsreihe bildet und die Zeitänderung proportional der Höhenänderung setzt. Man berechnet so die der Differenz zwischen beiden korrespondirenden Höhen entsprechende Zeitänderung und wendet dieselbe auf die Beobachtungszeit der einen Höhe an; man erhält dadurch die Zeit, welche einer der zweiten Höhe gleichen Höhe entspricht.

Diese auf die Zeit der einen Höhe anzuwendende Korrektion lässt sich auch nach der Differentialformel

$$\frac{dt}{2} = \frac{-dh}{30 \cdot \sin A \cos \varphi} \quad \text{oder} \quad \frac{dt}{2} = \frac{-dh \cdot \cos h}{30 \cdot \sin \varphi \cos \delta \sin t}$$

(s. S. 301) berechnen.

Beispiel.

(Mitternachtskorrektion.)

1875 am 19. Juni 4¹/₂ Uhr Nachmittags und am 20. Juni 7¹/₂ Uhr Vormittags wurden in 29° 7' 8'' Nord-Br und 89° 5' 18'' West-Lg (Belize am Mississippi) nahe gleiche Sonnenhöhen beobachtet und die Zeiten nach einem Chronometer notirt, dessen Stand — 41^m 28^s bei einem täglichen Gang von + 1,0^s war. Der Stand des Chronometers zur wahren Mitternachtszeit ist zu ermitteln.

W. Orts-Zt. =	12 ^h 0 ^m 0 ^s	am 19. 6.
W-Lg =	5 ^h 56 ^m 21,2 ^s	
W. Grw. Zt. =	17 ^h 56 ^m 21,2 ^s	
Ztgl. = +	1 ^m 6,5 ^s	
Mittl. Grw. Zt. =	17 ^h 57 ^m 27,7 ^s	
Chron.-Zt. =	18 ^h 38 ^m 53,2 ^s	
Grw. Zt. — Chron. = —	0 ^h 41 ^m 25,5 ^s	= St. des Chron. um w. Orts-Mitternacht.

4. Die Zeitbestimmung durch gleiche Sonnenhöhen ist auch auf See anwendbar, wenn die Deklination nahe der Breite gleich wird, also die Sonne nahe am Zenith kulminirt. Da man hier eine Ortsbestimmung und keine Chronometerregulirung im Auge hat, so sind auch weniger scharfe Resultate noch willkommen.

Wenn die Sonne nahe dem Zenith kulminirt, so kann man (wie bereits bei Gelegenheit einzelner Sonnenhöhen bemerkt) die Beobachtungen sehr nahe dem Meridian im ersten Vertikal anstellen, so dass die Zwischenzeit und damit alle Korrekturen sehr gering werden. Man erhält so auf eine ausserordentlich einfache Art die Länge und Breite zur Zeit des wahren Mittags. Wenn das Schiff nur in Länge seinen Ort in der Zwischenzeit verändert hat, so ist die Mittelzeit T_0 des Chronometers die Chronometerzeit im wahren Mittag des Meridians, welcher zwischen beiden Beobachtungsorten in der Mitte liegt. Vorausgesetzt, dass die Fahrt des Schiffes eine gleichmässige war, ist dies der wahre Mittag an Bord, für welchen die Meridianbreite beobachtet worden ist. Wenn die Höhen beide in der nächsten Stunde vom Meridian beobachtet sind und nicht unter ca 70° betragen haben, so ist die Aenderung der Deklination so gering, dass sie ganz ausser Acht gelassen werden kann.

Beispiel.

Am 2. April 1875 wurden gleiche Sonnenhöhen kurz vor und nach Mittag beobachtet und folgende Chronometerzeiten notirt. Die Länge des Beobachtungsortes soll gefunden werden.

Stand d. Chron. g. m. Grw.Z. = —	1 ^h 3 ^m 33 ^s		
	T_1 =	2 ^h 46 ^m 10 ^s	
	T_2 =	3 ^h 12 ^m 16 ^s	
	T_0 =	2 ^h 59 ^m 13 ^s	
Stand d. Chron. = —	1 ^h 3 ^m 33 ^s		
Mittl. Grw. Zt. =	1 ^h 55 ^m 40 ^s	Ztgl. 2. 4. = +	3 ^m 42,5 ^s
Ztgl. =	— 3 ^m 41 ^s		— 1,4
w. Grw. Zt. =	1 ^h 51 ^m 59 ^s		1,9
w. Orts-Zt. =	0 ^h 0 ^m 0 ^s		+ 3 ^m 41,1 ^s
			1,42 ^s
W-Lg. =	1 ^h 51 ^m 59 ^s = 27° 59,8'.		

5. Für die Aenderung der Breite in der Zwischenzeit kann man genau dieselbe Korrektion in Anwendung bringen, wie für die Aenderung der Deklination. Die Formel für letztere war entstanden durch Differenzirung der Formel:

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t \text{ nach } t \text{ und } \delta.$$

Vertauscht man also die Buchstaben δ und φ mit einander, so hat man:

$$2 dt = \left(\frac{tg \delta}{\sin t} - \frac{tg \varphi}{tg t} \right) \cdot d\varphi$$

und in Zeitmaass:

$$dt = \frac{d\varphi}{30} \cdot \left[\frac{tg \delta}{\sin t} - \frac{tg \varphi}{tg t} \right]$$

Für die Berechnung kann man sich, wie bei Verbesserung für Deklinationsänderung, sowohl der Gaussischen Tafeln, wie der im Anhang gegebenen Tafel VIII bedienen. Bei Anwendung der ersteren setzt man für μ die stündliche Breitenveränderung der Zwischenzeit (in Seemeilen) und multiplicirt mit 48.60 ($\log = 3,4594$).

Das Schema für die Rechnung würde sein:

$\log tg \delta$	$\log tg \varphi$
$\log d\varphi$ für 1 ^h	$\log d\varphi$ für 1 ^h
$\log A$	$\log B$
$\log 48.60 = 3,4594$	$\log 48.60 = 3,4594$
\log Korr. I	\log Korr. II

Beim Gebrauch von Tafel VIII hat man nur zu beachten, dass man die Eingänge von Breite und Deklination mit einander vertauscht.

Die Korrektion (I — II) ist zu subtrahiren, wenn das Schiff sich dem Nordpol nähert, und zu addiren, wenn es sich von demselben entfernt, unter Berücksichtigung der Zeichen von δ und φ .

Es genügt hierbei die Rechnung auf drei Decimalstellen.

Das folgende Beispiel ist aus Coffin's Navigation entnommen.

Beispiel.

Am 29. Juni 1875 wurde die Meridianbreite 33° 25' Nord festgestellt, die Länge nach Besteck war 147° 10' Ost. Es wurde beobachtet:

☉ 74° 9' 10''	{	- 1 - Nachmittg.	3 ^h 45 ^m 0 ^s	-	
		Std. d. Chron. =	- 0 ^h 36 ^m 28 ^s		
		Verseglung:	11 ^h — 12 ^h NWzN	11 Sm	
			12 ^h — 1 ^h NNW	8 Sm	

Es soll die Länge für den w. Mittg. an Bord gefunden werden.

Versegelung 11—12 NWzN 11 Sm	Br-U = 9,1	Abw. 6,1	
- 12—1 NNW 8 Sm	-	7,4	3,1
	Summe = 16,5'	Diff. = 3 Sm	
	$d\varphi = 8,25'$	verwandelt	
		in Lg-U = 3,7.	

N. J. $\odot \delta = + 23^\circ 16,7'$ (bereits zur Meridianhöhe benutzt).

Ztgl. = + 2^m 58,9^s

$\delta = + 23^\circ 16,7 \log \operatorname{tg} 9,634 \quad \varphi = + 33^\circ 25' \log \operatorname{tg} 9,819$

$T_1 = 13^h 55^m 54'$ $\delta \varphi = 8,25$ $\log 0,916$ $\log 0,916$

$T_2 = 15^h 45^m 0^s$ $\log A 7,729$ $\log B 7,716$

$T_0 = 14^h 50^m 27^s$ $\log 3,459$ $\log 3,459$

Stand d. Chron. = - 36^m 28^s $\log \operatorname{Korr. I} = 1,738$ $\log \operatorname{Korr. II} = 1,910$

Mittl. Grw. Zt. = 14^h 13^m 59^s d. 28. 6. $\operatorname{Korr. I} = 54,7$ $\operatorname{Korr. II} = 81,3$

Ztgl. = - 2^m 58,9^s $\operatorname{Korr. für Br.} = -(54,7 - 81,3)$

ung. w. Gr. Zt. = 14^h 11^m 0,1^s = + 26,6^s

Korr. für $d\varphi = + 26,6^s$

w. Grw. Zt. = 14^h 11^m 26,7^s d. 28. 6.

w. Orts-Zt. = 0^h 0^m 0^s d. 29. 6.

O-Lg = - 9^h 48^m 33,3^s

= 147° 8,3'

Korr. f. Lg = - 1,8'

147° 6,5' O-Lg für die Zt. der Mer.-Br.

Wenn die Korrektion für die Versegelung in Länge angewendet werden soll, so ergibt sich die Differenz in versegelter Länge Vormittag — Nachmittag = 3,7'. Die gefundene Länge $\frac{3,7}{2} = 1,8'$ östlich gegen die Länge des wahren Schiffsmittags.

Die Unsicherheit, welche dem Argument $d\varphi$ nothwendig immer anheftet, beschränkt die Anwendung auf eine geringe Zwischenzeit.

Korrespondirende Höhen für kleine Höhenänderungen oder für Ortsveränderung des Schiffes berechnen sich etwas sicherer und leichter, wenn man aus jeder einzelnen Höhe mit der dazu gehörigen Breite und Deklination den Stundenwinkel findet.

6. Korrektion für Aenderung der Höhen.

Hat es schon an Land nicht selten Schwierigkeiten, gleiche Sonnenhöhen Vor- und Nachmittags mit Sicherheit zu bestimmen, so ist dies an Bord vollends ein Hinderniss, welches die Anwendung dieser Methoden wesentlich beschränken muss.

Indessen kann man für die Aenderung der Höhe in derselben Weise eine Korrektion eintreten lassen, wie für Breite und Deklination.

Die Aenderung im Stundenwinkel, welche durch eine Aenderung der Höhe verursacht wird, ist ersichtlich aus der

bereits bei Berechnung des scheinbaren Auf- und Untergangs der Sonne abgeleiteten Formel:*)

$$-2 dt = \frac{\cos h \cdot dh}{\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin t}$$

oder in Zeit:

$$-dt = \frac{dh \cdot \cos h}{30 \cdot \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin t}$$

$$\text{Hierin ist } h = \frac{h_1 + h_2}{2}.$$

Diese Korrektion, welche die Methode füglich nicht mehr als die gleicher Sonnenhöhen zu bezeichnen gestattet, ist nichts Anderes, als eine Vereinfachung der unten folgenden Littrow'schen Methode.

7. Die Art der Längenbestimmung durch nahe gleiche Höhen zu beiden Seiten des Meridians in der vorliegenden Form giebt die Korrektion des Mittels der Greenwicher Zeiten also vollständig in folgender Form:

$$dt = -\frac{dh}{30} \cdot \frac{\cos h}{\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin t} + \frac{d\delta}{30} \cdot \left(\frac{\operatorname{tg} \varphi}{\sin t} - \frac{\operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} t} \right) + \frac{d\varphi}{30} \cdot \left(\frac{\operatorname{tg} \delta}{\sin t} - \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} t} \right)$$

Es ist dies die Formel, welche vom Contre-Admiral Baron v. Wüllerstorff-Urbair in der Vorrede zum nautisch-physikalischen Theil der Reise der österreichischen Fregatte Novara um die Erde in den Jahren 1857—1859 als erweiterte Littrow'sche Methode gegeben wird.

Derselbe äussert sich an jener Stelle über die Anwendbarkeit der Methode wie folgt:

„Um einen Maassstab der Genauigkeit zu besitzen, welche diese Methode bietet, dürfte es genügen, anzuführen, dass z. B. bei 45° Breite und — 23° 28' Deklination, abgesehen von den Fehlern in der Breiten- und Längenänderung, für jeden Fehler in dh von einer Raumsekunde in dt folgende Fehler sich in Zeitsekunden ergeben möchten bei einer halben Zwischenzeit

$t = 45^\circ$	Fehler in dt :	0,07 ^s
30°	-	0,10
15°	-	0,19
10°	-	0,28
5°	-	0,55

*) $2 dt$ ist durchweg gebraucht entsprechend dh , $d\varphi$, $d\delta$, für das Intervall des doppelten Stundenwinkels.

Wäre $\varphi = 60^\circ$, $\delta = -23^\circ 28'$, $t = 10^\circ$, so möchte h nahezu 6° betragen, und der Fehler einer Sekunde in dh würde in dt einen Fehler in Zeit von $0,42^s$ erzeugen.

Diese Methode nimmt an den Vortheilen jener absolut korrespondirenden Höhen Theil, und es verschwinden in dh alle konstanten Fehler der Beobachtung. Ich ziehe sie selbst am Lande jener der absolut korrespondirenden Höhen vor, weil Fehler dabei vermieden werden, welche aus dem Abwarten der am Instrument eingestellten Höhen hervorgehen können. — Auf See betrachte ich sie als eine Methode mehr, die dem Beobachter für jene Fälle zur Verfügung steht, in welchen entweder der beobachtete Stundenwinkel nahe am ersten Vertikal kontrollirt werden soll oder gar nicht beobachtet werden kann.

Was die Genauigkeit anbelangt, so ist sie jedenfalls jener vergleichbar, welche in der Regel bei Bestimmung der Zeit des ersten Meridians aus den Chronometerangaben erreicht wird, vorausgesetzt, dass die Sonne in höheren Breiten nicht zu nahe am Meridian beobachtet wird, was jeder Beobachter einzuhalten in der Lage sein muss.“*)

Beispiel.

Am 30. August 1875 auf $11^\circ 55'$ Nord-Br und 150° Ost-Lg wurden an Bord der Novara bei 6 m Augeshöhe Höhen zu beiden Seiten des Meridians gemessen und die Zeiten nach einem Chronometer notirt, welches um $4^m 58,2^s$ gegen Greenwich-Zeit voraus war. Die Länge ist zu ermitteln.

$T_1 =$ Vormittg.	$13^h 47^m 40,4^s$	Gem. \odot $h_1 84^\circ 35' 0''$	Ind. Korrr. — $2' 52''$ = — $2,9'$
$T_2 =$ Nachmittg.	$14^h 20^m 12,4^s$	\odot $h_2 85^\circ 24' 20''$	
$T_0 =$	$14^h 3^m 56,4^s$	$\frac{h_1 + h_2}{2} 84^\circ 59' 40''$	} $84^\circ 56,8'$
$\frac{1}{2} (T_2 - T_1) =$	$16^m 16,0^s$		
$\odot \delta$ im w. Mittg. 30. 8.	$= 9^\circ 13,2' N$		} Ges.-Korr. n. Taf. VII = + $11,5'$
Ztgl.	$= + 0^m 41,3^s$		
	$dh = (h_2 - h_1) = 0^\circ 49' 20''$	$\oplus h = 85^\circ 8'$	
$h_2 - h_1 =$	$49' 20'' \log = 3,4713$	Unverb. Mittg. = $14^h 3^m 56,4^s$	
$h =$	$85^\circ 8' \log \cos = 8,9286$	Korr. für Höhe = + $2^m 2,3^s$	
$\varphi = + 11^\circ 55'$	$\log \sec = 0,0095$	Chron.-Zt. im w. Orts-Mittg. = $14^h 5^m 58,7^s$	
$\delta = + 9^\circ 13'$	$\log \sec = 0,0056$	Std. d. Chron. = — $4^m 58,2^s$	
$t =$	$\left\{ \begin{array}{l} 16^m 16^s \\ 4^\circ 4' \end{array} \right. \log \operatorname{cosec} = 1,1492$	Mittl. Grw. Zt. = $14^h 1^m 0,5^s$	
	$3,5642$	Ztgl. = — $0^m 41,3^s$	
	$\log 30 = 1,4771$	w. Grw. Zt. = $14^h 0^m 19,2^s$	
$dt =$	$2^m 2,3^s \log dt = 2,0871$	w. Orts-Zt. = $0^h 0^m 0^s$	
		O-Lg = $9^h 59^m 30,3^s$	
		= $149^\circ 55,2'$	

*) In Bezug hierauf darf auf See nicht die Unsicherheit in $d\varphi$ unbeachtet gelassen werden.

§ 101. Bestimmung der Breite und Länge aus zwei Höhenbeobachtungen eines Gestirns und der Zwischenzeit.

Direkte Methode.

Die Aufgabe, aus zwei Höhen eines Gestirns ausserhalb des Meridians und der Zwischenzeit die Breite und Länge zu bestimmen, wird verschieden gelöst, je nachdem man die Deklinationsänderung des Gestirns in der Zwischenzeit berücksichtigt oder nicht, je nachdem man eine angenähert bekannte Breite in die Rechnung einführt, oder die direkte Rechnung ohne letztere vorzieht.

Hat man zwischen den Beobachtungen den Beobachtungsort verändert, so ist die eine Höhe auf den Beobachtungsort der anderen zu reduciren.

Bei der zunächst folgenden direkten Methode wird die Deklination des Gestirns während beider Beobachtungen als konstant angenommen, wie dies bei der Sonne und den Sternen in der Praxis ohne Bedenken geschehen kann.

Sind h_1 und h_2 die beobachteten Höhen, t_1 und t_2 die zugehörigen Stundenwinkel, h_2 die grössere Höhe, t_1 also der grössere Stundenwinkel, so ist

$$\sin h_1 = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t_1$$

$$\sin h_2 = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t_2$$

$$\sin h_1 + \sin h_2 = 2 \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta (\cos t_1 + \cos t_2)$$

$$1. \quad 2 \sin \frac{1}{2} (h_2 + h_1) \cos \frac{1}{2} (h_2 - h_1) = 2 \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cdot 2 \cos \frac{1}{2} (t_1 + t_2) \cos \frac{1}{2} (t_1 - t_2)$$

$$\sin h_2 - \sin h_1 = \cos \varphi \cos \delta (\cos t_2 - \cos t_1)$$

$$2. \quad 2 \cos \frac{1}{2} (h_2 + h_1) \sin \frac{1}{2} (h_2 - h_1) = \cos \varphi \cos \delta \cdot 2 \sin \frac{1}{2} (t_1 + t_2) \sin \frac{1}{2} (t_1 - t_2).$$

Setzt man zur Abkürzung

$$\frac{1}{2} (h_2 + h_1) = u \qquad \frac{1}{2} (h_2 - h_1) = v$$

$$\frac{1}{2} (t_1 + t_2) = x \qquad \frac{1}{2} (t_1 - t_2) = \alpha$$

so gehen die Gleichungen 1 und 2 über in:

$$3. \quad \sin u \cos v = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \alpha \cos x$$

$$4. \quad \cos u \sin v = \cos \varphi \cos \delta \sin \alpha \sin x.$$

Dividirt man beide Seiten von 3 durch $\cos \delta \cos \alpha$ und beide Seiten von 4 durch $\cos \delta \sin \alpha$, so erhält man:

$$5. \quad \sin u \cos v \sec \delta \sec \alpha = \sin \varphi \operatorname{tg} \delta \sec \alpha + \cos \varphi \cos x.$$

$$6. \quad \cos u \sin v \sec \delta \operatorname{cosec} \alpha = \cos \varphi \sin x.$$

Setzt man $\tan \delta \sec \alpha = \cot \psi$, also

I. $\tan \psi = \cot \delta \cos \alpha$, sowie (in 6)

II. $\cos u \sin v \sec \delta \csc \alpha = \sin \lambda$, und der Abkürzung halber die linke Seite von 5 gleich A , so erhält man

7. $A - \sin \varphi \cot \psi = \cos \varphi \cos \alpha$ und
 $\sin \lambda = \cos \varphi \sin \alpha$ oder

III. $\sin \alpha = \sin \lambda \sec \varphi$.

Bildet man die Summe der Quadrate von Gleichung 7 und III:

$$(A - \sin \varphi \cos \psi)^2 + \sin \lambda^2 = \cos \varphi^2 (\sin \alpha^2 + \cos \alpha^2) = \cos \varphi^2$$

oder:

$$(A - \sin \varphi \cot \psi)^2 + (1 - \cos \lambda^2) = 1 - \sin \varphi^2$$

$$(A - \sin \varphi \cot \psi)^2 + \sin \varphi^2 = \cos \lambda^2$$

$$\left(\frac{A - \sin \varphi \cot \psi}{\cos \lambda} \right)^2 + \left(\frac{\sin \varphi}{\cos \lambda} \right)^2 = 1$$

Da $\sin \mu^2 + \cos \mu^2 = 1$ ist, so kann man

$$\frac{A - \sin \varphi \cot \psi}{\cos \lambda} = \sin \mu \text{ und}$$

$$\frac{\sin \varphi}{\cos \lambda} = \cos \mu \text{ setzen, und es ist}$$

9. $\sin \varphi = \cos \mu \cos \lambda$ und
 $\sin \mu \cos \lambda = A - \sin \varphi \cot \psi$ oder
 $\sin \varphi \cot \psi + \sin \mu \cos \lambda = A$.

Setzt man in der letzten Gleichung $\cos \mu \cos \lambda$ für $\sin \varphi$ ein, so wird

$$\cos \lambda (\cot \psi \cos \mu + \sin \mu) = A, \text{ multiplicirt mit } \sin \psi$$

$$\cos \lambda (\cos \psi \cos \mu + \sin \mu \sin \psi) = A \sin \psi$$

$$\cos \lambda \cos (\psi - \mu) = A \sin \psi$$

$$\cos (\psi - \mu) = \cos (\mu - \psi) = A \sin \psi \sec \lambda.$$

Setzt man $\mu - \psi = \pm \beta$, also $\mu = \psi \pm \beta$, so wird

IV. $\cos \beta = A \sin \psi \sec \lambda$
 $= \sin u \cos v \sec \delta \sec \alpha \sin \psi \sec \lambda$

und 9. wird:

V. $\sin \varphi = \cos (\psi \pm \beta) : \sec \lambda$ oder $= \cos (\beta \pm \psi) : \sec \lambda$

Zur Berechnung verbessere man die Höhen, bilde aus denselben u und v , sowie α aus den Beobachtungszeiten. Bei Beobachtung der Sonne ist α gleich der halben Differenz der

Beobachtungszeiten, gleich der halben verfloßenen Zeit. Liegen beide Höhen auf derselben Seite des Meridians, so ist $\alpha = \frac{1}{2} (t_1 - t_2)$ und gleichzeitig die sogenannte Mittelzeit $x = \frac{1}{2} (t_1 + t_2)$; liegen die Höhen zu verschiedenen Seiten des Meridians, so ist $\alpha = \frac{1}{2} (t_1 + t_2)$ und $x = \frac{1}{2} (t_1 - t_2)$. In den Formeln wird dadurch nichts geändert, es ist nur nachher zu berücksichtigen, wenn man, nachdem x berechnet, aus α und x die Stundenwinkel t_1 und t_2 finden will. Hat die Uhr, nach welcher die Zeiten notirt sind, erheblichen Gang, so muss dieser natürlich berücksichtigt werden. Bei Fixsternen muss man die Differenz der Beobachtungszeiten in Sternzeit ausdrücken, bei Mond und Planeten ebenfalls in der betreffenden Gestirnszeit. Letzteres lässt sich ausführen, indem man von der in Sternstunden ausgedrückten Differenz der Uhrzeiten die Aenderung der Rektascension des Gestirns zwischen den Beobachtungen subtrahirt (bei Planeten, deren Rektascension abnimmt, addirt).

Die Deklination wird für die Mittelzeit der Beobachtungen genommen.

Die Rechnung erfolgt dann nach den Gleichungen I bis V und zwar wird zunächst aus I, II, IV und V die Breite φ und sodann aus III x berechnet. In der Reihenfolge, wie sie benutzt werden, lauten sie:

$$\text{I. } tg \psi = cotg \delta \cos \alpha.$$

$$\text{II. } \sin \lambda = \cos u \sin v \sec \delta \csc \alpha.$$

$$\text{IV. } \cos \beta = \sin u \cos v \sec \delta \sec \alpha \sin \psi \sec \lambda.$$

$$\text{V. } \sin \varphi = \cos (\psi \pm \beta) : \sec \lambda \text{ oder} \\ = \cos (\beta \pm \psi) : \sec \lambda.$$

$$\text{III. } \sin x = \sin \lambda \sec \varphi.$$

Ist δ negativ, so ist dies in der ersten Gleichung zu berücksichtigen, $cotg \delta$ ist negativ und ψ wird ebenfalls negativ; weiter wird sodann $\cos \beta$ negativ, β also grösser als 180° . Wie zu erwarten, erhält man zwei Lösungen, Gleichung V macht dies ersichtlich; man erhält zwei Werthe für $\sin \varphi$, je nachdem man $(\psi + \beta)$ oder $(\psi - \beta)$ nimmt (resp. wenn $\beta > \psi$, $\beta + \psi$ und $\beta - \psi$). Da jedoch die Breite angenähert immer bekannt sein wird, so wird über die Wahl der beiden Werthe von φ in den seltensten Fällen Zweifel obwalten. Nachdem so φ gefunden, erhält man aus Gleichung III

x oder $\frac{1}{2}(t_1 \pm t_2)$ und durch Addition und Subtraktion der bekannten halben verfloßenen Zeit $\alpha = \frac{1}{2}(t_1 \mp t_2)$ die Stundenwinkel t_1 und t_2 , aus welchen sodann in bekannter Weise die Länge bestimmt wird. Man erhält die Länge nach beiden Stundenwinkeln für denjenigen Beobachtungsort, auf welchen beide Höhen reducirt sind.

Beispiel.

Am 5. Februar 1875 wurde in ungefähr $28^\circ 5'$ Süd-Br und $30^\circ 50'$ Ost-Lg bei 9m Augeshöhe nach der Beobachtunguhr beobachtet um $9^h 3^m 22^s$ $\odot 38^\circ 1' 0''$ und um $12^h 36^m 47^s$ $\odot 77^\circ 39' 0''$. Die Uhrkorrektion gegen das Chronometer betrug bei der ersten Beobachtung $-30^m 21^s$, bei der zweiten Beobachtung $-30^m 18^s$, der Stand des Chronometers bei beiden Beobachtungen $-2^h 0^m 20^s$. Die Sonne wurde bei der ersten Beobachtung gepeilt S 91° O und von hier bis zum zweiten Beobachtungsort S 25° O 15 Sm gesegelt. Breite und Länge sollen bestimmt werden.

I.		II.	
Beob.-Uhr $9^h 3^m 22^s$			
Uhr-Korr. $-30^m 21^s$	$\odot 38^\circ 1'$	$12^h 36^m 47^s$	$\odot 77^\circ 39'$
Chr. $8^h 33^m 1^s$	Ges. Korr. $+$ $10'$	Uhr-Korr. $-30^m 18^s$	Ges. Korr. $+$ $11'$
Std.d.Chr. $-2^h 0^m 20^s$	w $\ominus h = 38^\circ 11'$	Chr. $12^h 5^m 29^s$	w $\ominus h = 77^\circ 50'$
mittl. Gr. Zt. $6^h 32^m 41^s$	Korr. f. Vers. $+$ $6'$	Std. $-2^h 0^m 20^s$	
	$h_1 = 38^\circ 17'$	mittl. Gr. Zt. $10^h 5^m 9^s$	
	$h_2 = 77^\circ 50'$	I. $6^h 32^m 41^s$	
	$h_1 + h_2 = 116^\circ 7'$	$t_1 - t_2 = 3^h 32^m 28^s$	
	$u = \frac{1}{2}(h_1 + h_2) = 58^\circ 3' 30''$	$1^h 46^m 14^s = \alpha = \frac{1}{2}(t_1 - t_2)$	
	$h_2 - h_1 = 39^\circ 33'$	$0^h 32^m 41^s$	
	$v = \frac{1}{2}(h_2 - h_1) = 19^\circ 46' 30''$	$8^h 18^m 55^s$ mittl. Gr. Zt. d. Mitte.	
d. $5/2 \delta = -15^\circ 57' 14''$	Zeitgl. $= + 14^m 15,7^s$	Zeitgl. $+ 14^m 15,7^s$	
$\delta = -10^\circ 0' 0''$	Korr. f. I. Beob. $-$ $1,0^s$	Korr. f. II. Beob. $-$ $0,5^s$	
	I. $+ 14^m 14,7^s$	II. $+ 14^m 15,2^s$	

I. $tg \psi = cotg \delta \cos \alpha$. II. $\sin \lambda = \sec \delta \csc \alpha \cos u \sin v$. IV. $\cos \beta = \sec \delta \sec \alpha \sin u \cos v \sin \psi \sec \lambda$.

$\log cotg \delta = 0,542504^{(n)}$

$\log \cos \alpha = 9,95157$

$\log tg \psi = 0,49407^{(n)}$

$\psi = -72^\circ 14'$

$\log \sec \delta = 0,01716$

$\log \csc \alpha = 0,34958$

$\log \cos u = 9,72350$

$\log \sin v = 9,52793$

$\log \sin \lambda = 9,61817$

$\lambda = 24^\circ 32'$

$\log \sec \delta = 0,01716$

$\log \sec \alpha = 0,04843$

$\log \sin u = 9,92870$

$\log \cos v = 9,97378$

$\log \sin \psi = 9,97877^{(n)}$

$\log \sec \lambda = 0,04109$

$\log \cos \beta = 9,98793^{(n)}$

$\beta = 180^\circ - 13^\circ 27'$

$= 166^\circ 33'$

$\psi = -72^\circ 14'$

$\beta + \psi = 94^\circ 19'$

$\beta - \psi = 238^\circ 47'$

V. $\sin \varphi = \cos (\beta \pm \psi) : \sec \lambda$.

$$\log \cos (\beta + \psi) = 8,87661^{(n)}$$

$$\log \sec \lambda = 0,04109$$

$$\log \sin \varphi_1 = 8,83552^{(n)}$$

$$\varphi_1 = -3^\circ 56'$$

$$\log \cos (\beta - \psi) = 9,71456^{(n)}$$

$$\log \sec \lambda = 0,04109$$

$$\log \sin \varphi_2 = 9,67347^{(n)}$$

$$\varphi_2 = -28^\circ 8'$$

$$x = \frac{1}{2} (t_1 + t_2) = 1^h 52^m 20,3^s$$

$$\frac{1}{2} (t_1 - t_2) = 1^h 46^m 14^s$$

$$t_1 = 3^h 38^m 34,3^s$$

$$\text{w. Ortszt.} = 8^h 21^m 25,7^s$$

$$\text{Zeitgl.} = +14^m 14,7^s$$

$$\text{mittl. Ortszt.} = 8^h 35^m 40,4^s$$

$$\text{mittl. Gr. Zt.} = 6^h 32^m 41^s$$

$$\text{O-Lg} = 2^h 2^m 59,4^s$$

$$= 30^\circ 45'$$

III. $\sin x = \sin \lambda \sec \varphi$.

$$\log \sin \lambda = 9,61817$$

$$\log \sec \varphi = 0,05460$$

$$\log \sin x = 9,67277$$

$$t_2 = 0^h 6^m 6,3^s$$

$$= 11^h 53^m 55,7^s$$

$$+ 14^m 15,2^s$$

$$12^h 8^m 10,9^s$$

$$10^h 5^m 9^s$$

$$2^h 3^m 1,9^s$$

$$= 30^\circ 45,5'$$

§ 102. Douwes' Methode.

Diese Methode nimmt die Deklination zwischen den Beobachtungen als konstant an und benutzt zur Berechnung eine genäherte Breite.

Man hat für jede Höhe die Grundformel:

$$\sin h_1 = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t_1$$

$$\sin h_2 = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t_2$$

woraus man durch Subtraktion erhält:

$$\sin h_1 - \sin h_2 = \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot (\cos t_1 - \cos t_2)$$

$$\cos \frac{1}{2} (h_1 + h_2) \cdot \sin \frac{1}{2} (h_1 - h_2) = \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin \frac{1}{2} (t_1 + t_2) \cdot \sin \frac{1}{2} (t_1 - t_2)$$

$$\sin \frac{1}{2} (t_1 + t_2) = \frac{\cos \frac{1}{2} (h_1 + h_2) \cdot \sin \frac{1}{2} (h_1 - h_2)}{\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin \frac{1}{2} (t_1 - t_2)}$$

In dieser Formel wird gesetzt: für φ die gegessigte Breite der bekannten Mittelzeit der Beobachtungen, für δ die Deklination des Gestirns für denjenigen Zeitpunkt, für welchen man die Breite finden will, also in der Regel für die Zeit der grösseren Höhe. h_1 ist die erste, h_2 die zweite beobachtete Höhe, beide auf denselben Ort reducirt, also in der Regel die kleinere auf den Ort der grösseren; t_1 , der westliche Stundenwinkel der ersten, t_2 der der zweiten Höhe. (Also ist bei der Sonne die Differenz $(t_1 - t_2)$ die der wahren Zeiten, bei den Sternen die der Sternzeiten.)

Die Douwes'schen Hülftafeln, welche dieser Rechnungsmethode seiner Zeit Eingang verschafften, sollen hier ganz

übergangen werden, da sie gegen eine rein logarithmische Rechnung keinerlei Vortheil bieten.*)

Aus der obigen Formel werden t_1 und t_2 bestimmt. Der eine dieser beiden Stundenwinkel t (welcher für den Fall der Sonne dem für die Berechnung eingesetzten δ entspricht) wird in die Seite 277 abgeleitete Formel eingesetzt:

$$\cotang N = \frac{\cos \delta \cdot \cos t}{\sin \delta} = \cotang \delta \cos t$$

$$\cos (\varphi - N) = \sin h \cdot \sin N \cdot \operatorname{cosec} \delta$$

Wenn auf diese Weise die Breite gefunden ist, so wird die Rechnung mit der neuen Breite (siehe Beispiel) verbessert.

Der Gang der Rechnung ist hiernach folgender:**)

1. Man entnimmt aus dem Nautischen Jahrbuch für den nächsten Greenwicher Mittag die Deklination und die Zeitgleichung. Beide werden für die ungefähre Greenwicher Zeit der grösseren Höhe, oder etwas genauer für das Mittel der Zeiten der beiden Höhen, verbessert.

2. Die scheinbaren Höhen werden auf wahre Mittelpunkthöhen und die kleinere Höhe wird durch eine Korrektion für Versegelung (s. Seite 288 und 289) auf den Ort der grösseren reducirt.

3. Man bildet die Differenz $t_1 - t_2$ entweder mit Hülfe der beiden abgeleiteten Greenwicher Zeiten oder mit Hülfe der Uhrzeiten, wobei $t_1 - t_2$, wenn nöthig, für den Gang der Uhr und für die stündliche Aenderung der Zeitgleichung zu korrigiren ist, indem man für abnehmende Zeitgleichung die Korrektion subtrahirt, für zunehmende (algebraisch) addirt.

4. Nachdem so alle Daten vorbereitet sind, wird die Rechnung nach dem aus dem folgenden Beispiel ersichtlichen Schema durchgeführt.

*) Die Douwes'sche Form erfordert die Benutzung von sechs verschiedenen Tafeln, nämlich:

- Logarithmen gewöhnlicher Zahlen,
- trigonometrischer Funktionen,
- der Mittelzeit,
- der Steigezeit,
- der halben verflossenen Zeit,

Tafeln der natürlichen Sinus und Kosinus.

Die logarithmische Rechnung in der folgenden Form setzt aber nur die Logarithmen der trigonometrischen Funktionen voraus, so dass das Wenige, was man vielleicht mit Anwendung der Douwes'schen Tafeln erspart, durch die Weitläufigkeit des Nachschlagens und verschiedenartigen Interpolirens weitaus verloren geht.

**) Es ist hier immer die Rechnung für die Sonne angenommen.

5. Mit Hilfe der gefundenen Breite wird die Rechnung verbessert (wie aus dem Beispiel ersichtlich wird). Diese Verbesserung wird so oft wiederholt, als sich eine Aenderung des Resultats dadurch ergibt.

6. Aus dem bei der Wiederholung gefundenen Orts-Stundenwinkel wird durch Vergleich mit der Greenwicher Zeit die Länge des Orts bestimmt.

Beispiel.

Am 3. April 1875 wurde in Ost-Lg und 34° Süd-Br Vormittags beobachtet und die Zeit nach einem Chronometer bestimmt, dessen Stand gegen mittlere Greenwicher Zeit zur Zeit der ersten Beobachtung + 0^h 20^m 20,6^s und dessen täglicher Gang — 5,43^s betrug.

Nach Chron. den 2. 4.:

17^h 44^m 41,6^s ⊙ 43° 57' 10'' Augeshöhe 6 m
 19^h 6^m 22,7^s 50° 28' 20'' - 8 m

Bei der ersten Höhe wurde die Sonne gepeilt N67°O und in der Zwischenzeit N57°O 5,9 Sm gesehelt. Breite und Länge sind nach Douwes' Methode zu bestimmen.

Ungef. Grw. Zt. 19^h 27^m d. 2. 4. = — 4,6^h d. 3. 4.

		Zunahme		Abnahme	
N. J. d. 3. 4.	⊙ δ + 5° 15' 55''	Korr. 1 ^h = — 57,6''	Ztgl. + 3 ^m 24,6 ^s	Korr. 1 ^h = — 0,75 ^s	
	— 4' 35''	— 4,6	+ 3,5	— 4,6	
	5° 11' 30''	— 265''	+ 3 ^m 28,1 ^s	+ 3,5 ^s	
I. Beob. Zt. =	17 ^h 44 ^m 41,6 ^s	Abnahme d. Ztgl.	Gem. ⊙ h ₁ = 43° 57,2'	⊕ N67° O	Gem. ⊙ h ₂ = 50° 28,3'
II. — =	19 ^h 6 ^m 22,7 ^s	1 ^h = 0,75 ^s	Ges. Korr.	gesehelt:	Ges. Korr.
t ₁ - t ₂ = —	1 ^h 21 ^m 41,1 ^s	1,4 ^h = 1,1 ^s	n. Taf. VII = + 10,8,	N57° O 5,9 Sm	n. Taf. VII + 10,4'
Korr. f. Ztgl. = —	1,1 ^s	Gg. des Chron.	w. ⊕ h ₁ = 44° 8,0'	α = 10°	w. ⊕ h ₂ = 50° 38,7'
- - Gg. = —	0,3 ^s	in 24 ^h = 5,43 ^s	Versege-	c = 5,9 Sm } b = 5,8 Sm	⊕ h ₁ = 44° 13,8'
t ₁ - t ₂ = —	1 ^h 21 ^m 39,7 ^s	in 1,4 ^h = 0,3 ^s	lung	(Aus der Koppeltafel.)	h ₁ - h ₂ = — 6° 24,9'
1/2 — = —	0 ^h 40 ^m 49,9 ^s	(= - 10° 12,5')	⊖ h ₁		h ₁ - h ₂ / 2 = — 3° 12,5'
			red. } = 44° 13,8'		h ₁ + h ₂ / 2 = + 47° 26,3'
h ₁ + h ₂ / 2 = + 47° 26,3'	log cos 9,83019	Wiederholung	Chr. bei II. Beob. = 19 ^h 6 ^m 22,7 ^s		
h ₁ - h ₂ / 2 = — 3° 12,5'	sin 8,74793	mit der gefunde-	Std. = + 0 ^h 20 ^m 20,6 ^s		
φ = — 34° 0' — 33° 53,9'	sec 0,08143	nen Breite	Gg. = — 0,3 ^s		
δ = + 5° 11,5'	sec 0,00179		mittl. Grw. Zt. = 19 ^h 26 ^m 43,6 ^s		
t ₁ - t ₂ / 2 = — 10° 12,5'	cosec 0,75147		Ztgl. = — 3 ^m 28,1 ^s		
t ₁ + t ₂ / 2 = — 14° 59,6'	58,2'		w. Grw. Zt. = 19 ^h 23 ^m 15,5 ^s	19 ^h 23 ^m 15,5 ^s	
t ₂ = — 4° 47,1'	45,7'		t = — 4° 47,1'		
			= — 0° 19 ^m 8,4 ^s		
			w. Orts-Zt. = 23 ^h 40 ^m 51,6 ^s	23 ^h 40 ^m 51,6 ^s	
					O-Lg = { 4 ^h 17 ^m 36,1 ^s 64° 24'
					log cosec δ 1,04341
					log ctg N = 1,04010
					sin N 8,95811
					h = 50° 38,7' sin h 9,88832
					log cos 9,88934

Eine Wiederholung ändert die Breite nicht.

	$t_2 = -$	$4^{\circ} 45,7'$
Chr. bei II. Beob. =	$19^h 6^m 22,7^s$	
Std. des Chron. = +	$0^h 20^m 20,6^s$	
Gg. = -	$0,3^s$	
Mittl. Grw. Zt. =	$19^h 26^m 43^s$	
Ztgl. = -	$3^m 28,1^s$	
W. Grw. Zt. =	$19^h 23^m 14,9^s$	
Grw. Stundw. = -	$4^h 36^m 45,1^s$	
	$= -69^{\circ} 11,3'$	
Orts-Stundw. = -	$4^{\circ} 45,7'$	
O-Lg. =	$64^{\circ} 25,6'$	

Position des Schiffes am 3. April gegen drei Viertel auf zwölf Uhr Vormittags:

$33^{\circ} 53,9'$ S-Br, $64^{\circ} 25,6'$ O-Lg.

Die Douwes'sche Methode ist am günstigsten anzuwenden, wenn das Azimuth des Gestirns sich in der Zwischenzeit um 90° geändert hat und die grössere Höhe nahe dem Meridian beobachtet ist. Die Wiederholung der Rechnung und die Ungenauigkeit, welche wegen Aenderung der Deklination und Zeitgleichung an dem Resultat trotzdem haften bleibt, haben diese Methode nach allgemeiner Anwendung der Chronometer und namentlich nach Einführung der Sumner'schen Methode mehr und mehr ausser Gebrauch gebracht. Dagegen ist aus ihr die nachfolgende Art der Ortsbestimmung (die Littrow'sche Methode) hervorgegangen.

§ 103. Die Methode Littrow's, aus zwei Höhen nahe am Meridian und der Zwischenzeit die Länge zu bestimmen.

Diese Methode bedient sich derselben Formel, welche für die Douwes'sche Methode gegeben war:

$$\sin \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{\cos \frac{1}{2}(h_1 + h_2) \cdot \sin \frac{1}{2}(h_1 - h_2)}{\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin \frac{1}{2}(t_1 - t_2)}$$

Während bei der Methode von Douwes die ursprüngliche Aufgabe war, die Breite des Orts mit Hülfe eines zu berechnenden Stundenwinkels zu bestimmen, legt diese Methode Werth darauf, die Breite genau zu kennen, und leitet mit Hülfe des Stundenwinkels die Länge aus der durch Chronometer bekannten Greenwicher Zeit ab. Für eine Zeitbestimmung ist die Beobachtung im ersten Vertikal die günstigste, die Breite erhält man am sichersten in der Nähe des Meridians. Die Methode ist also nur dann vortheilhaft anzuwenden, wenn das Gestirn nahe am Meridian den ersten Vertikal passirt, d. h. nahe am Zenith kulminirt; es wird aber ersichtlich werden, dass eine Einschliessung in zu enge Grenzen nicht erforderlich ist.

Das Verfahren ist somit hauptsächlich für die Tropen bestimmt. Jede Douwes'sche Breitenbestimmung giebt zwar zugleich die Gelegenheit, eine Chronometerlänge zu erhalten, die Reduktion wegen der Ortsveränderung macht das Resultat indessen unsicher.

Der Fall, dass h_1 und h_2 gleich werden, also korrespondirende Höhen beobachtet sind, ist bereits erörtert, ebenso der, wo es möglich war, die Beobachtungen auf solchen Fall zurückzuführen. Solche Beobachtungen sind weitaus die günstigsten, und wenn man beide Höhen auf einer Seite des Meridians misst, so begiebt man sich des grossen Vortheils, die konstanten Instrumentenfehler eliminirt zu sehen. Fehler in den gemessenen Höhen gehen dann sehr merklich in das Resultat über.

Folgendes Beispiel soll zur Veranschaulichung des Verfahrens dienen.

Beispiel.

Am 5. April 1875 wurden folgende Beobachtungen angestellt:

8h 7m 43s Gem. \odot 48° 14,7' (Augeshöhe 8,5 m)

8h 58m 35s - \odot 49° 49' (Augeshöhe 6,5 m)

Zwischen beiden Beobachtungen wurde gesegelt S 57° W 3,9 Sm und die Sonne bei der ersten Beobachtung rw N 43° O gepellt. Die Uhr, deren Gang sehr gering war, hatte folgende Korrektion: Vormittags Greenwicher Zeit — Uhr = — 2h 19m 3s. Ferner war die Mittagsbreite gefunden worden zu: 33° 55,1' Süd. Die Länge ist zu bestimmen.

$t_1 =$	8h 7m 43s	Gem. \odot $h_1 =$	48° 14,7'	Versegelung	
$t_2 =$	8h 58m 35s	Korr. = +	10'	\odot N 43° O	
$\frac{1}{2}(t_1 - t_2) =$	0h 25m 26s	Versegel. = —	3,8'	Kurs S 57° W	
	= 6° 21,5'	w. \oplus $h_1 =$	48° 20,9'	$\alpha = 14^\circ$	$c = 3,9$
				Versegelung (negativ)	$b = 3,8$
		Gem. \odot $h_2 =$	49° 49'		
		Korr. n. Taf. VII = +	10,9'		
		w. \oplus $h_2 =$	49° 59,9'		
$h_1 =$	48° 20,9'			$\odot \delta$ 5. 4. = +	6° 1' 42"
$h_2 =$	49° 59,9'			Korr. + 57,1 . —	5,3 = — 5' 2,6"
$\frac{1}{2}(h_1 + h_2) =$	49° 10,4'	$\log \cos$	9,81543	5. 4. +	5° 56,7'
$\frac{1}{2}(h_2 - h_1) =$	0° 49,5'	\sin	8,15829	Ztgl. = +	2m 49,2s
$\frac{1}{2}(t_2 - t_1) =$	6° 21,5'	cosec	0,95567	Korr. — 0,73 . —	5,3 = + 3,9s
$\varphi =$	33° 55,1'	\sec	0,08101		+ 2m 53,1s
$\delta =$	5° 56,7'	\sec	0,00235		
$\frac{t_1 + t_2}{2} =$	— 5° 54,6'	$\log \sin$	9,01275		
		(negativ, weil die kleinere			
		Höhe Ost vom Meridian			
		beobachtet war.)			

$$\frac{t_2 - t_1}{2} = 6^\circ 21,5'$$

$$t_2 = +0^\circ 26,9' = 0^h 1^m 48^s$$

Uhrzt. =	20 ^h 58 ^m 35 ^s
Grw. Zt. — Uhr =	2 ^h 19 ^m 3 ^s
Mittl. Grw. Zt. =	18 ^h 39 ^m 32 ^s
Ztgl. =	2 ^m 53 ^s
w. Grw. Zt. =	18 ^h 36 ^m 39 ^s
w. Orts-Zt. =	0 ^h 1 ^m 48 ^s
O-Lg =	5 ^h 25 ^m 9 ^s
=	81° 17,3'

§104. Die Sumner'schen Methoden der Positionsbestimmung.

Fig. 97.



Denkt man sich um ein Gestirn als Pol Parallelkreise auf der Erdoberfläche konstruirt, so werden sämtliche auf einem solchen Kreise liegenden Orte gleiche Höhe des Gestirns beobachten.

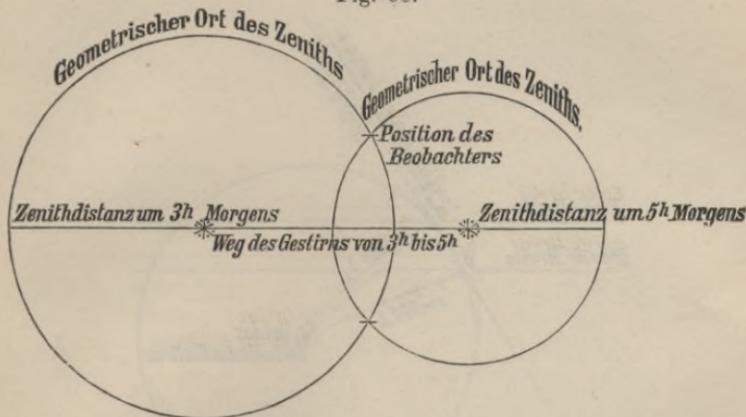
Ein jeder solcher Höhenparallel oder Erleuchtungskreis (siehe Fig. 97) ist demnach der geometrische Ort für alle Zenithe derjenigen Orte auf der Erde, von denen aus man Höhen des Gestirns misst, deren

Komplemente (Zenithdistanzen) dem Abstand dieses Kreises vom Gestirn entsprechen. Durch die Messung einer Gestirns Höhe ist also der Höhenparallel gegeben, welcher dem Beobachtungsorte entspricht. Das ganze System der Kreise folgt der Bewegung des Gestirns, und kommt daher jeder Punkt der Erdoberfläche fortwährend in einen neuen Erleuchtungskreis.

Die Sumner'sche Methode besteht nun darin, den durch den Beobachtungsort gehenden Beleuchtungskreis oder vielmehr einen Theil desselben auf einer wachsenden Karte zu projiciren. Nachdem eine solche Positionslinie bestimmt ist, setzt das Gestirn seine tägliche Bewegung fort. Eine zweite Höhe, an demselben Ort gemessen, giebt für diesen Ort eine zweite Linie, nämlich einen anderen Höhenkreis desselben Gestirns (siehe Fig. 98), welches jetzt über einem anderen

Ort der Erde steht. Durch den Schnittpunkt dieser beiden Linien — oder, wenn man noch mehr Höhen an diesem Ort misst, aller dieser Linien — ist der Ort der Beobachtung dann vollständig bestimmt.

Fig. 98.



Um einen Punkt der Positionslinie zu bestimmen, berechnet man mit Hülfe der Zeit und des Chronometers eine Länge, welcher man eine Breite zu Grunde legt, von der man nichts weiter anzunehmen braucht, als dass dieselbe in dem Bereich des betreffenden Höhenkreises liegt. Stände z. B. die Sonne über 20° N-Br im Zenith, so würde eine gemessene Höhe von 40° für die Berechnung eines Punktes des betreffenden Positionskreises alle Breiten von 70° Nord ($20 + [90 - 40]$) bis 30° Süd ($20 - [90 - 40]$) zulassen. Je näher nun die angenommene Breite der wahren kommt, je näher entspricht der berechnete Punkt dem Beobachtungsort. Wenn man, wie in Fig. 99 dargestellt, zwei Längenbestimmungen mit derselben Höhe ausrechnet und der einen eine grössere, der anderen eine kleinere Breite zu Grunde legt, als dem Beobachtungsort nach der Logrechnung zukommt, so erhält man durch die Verbindungslinie der beiden berechneten Positionen eine Linie, auf der sich der Beobachter jedenfalls befunden hat. Diese Linie ist, wie die Figur ergibt, streng genommen eine Sehne des Höhenkreises; bei der Ausdehnung aber, welche ein solcher Höhenkreis in der Regel hat, kann das betreffende Bogenstück als mit der Sehne zusammenfallend betrachtet werden. Ein Stand des Gestirns zu nahe dem Zenith ist für die Sumner'sche Methode aus diesem Grunde ungünstig.

Es ist nicht nöthig, die Linie in der Karte durch zwei Punkte festzulegen. Es genügt hierzu ein Punkt und das Azimuth des Gestirns, welches aus der Zeit, der angenommenen Breite und der Deklination berechnet oder aus den Azimuth-

Fig. 99.

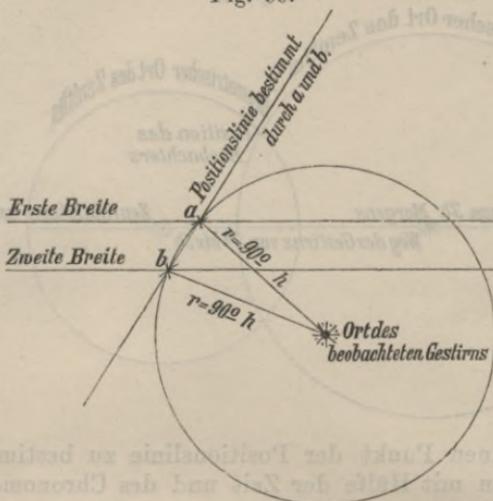
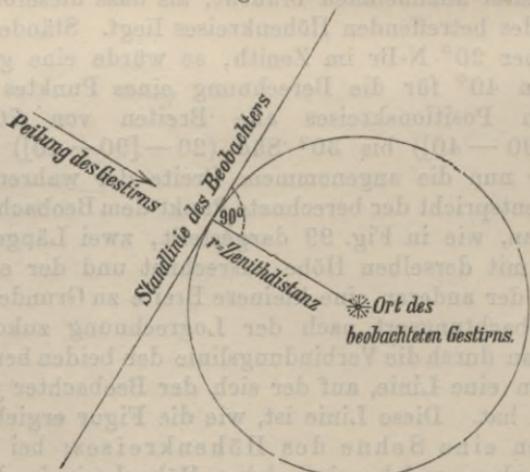


Fig. 100.



tafeln entnommen werden kann. Das Azimuth legt, wie die Figur 100 näher erläutert, die Richtung des Gestirns vom Beobachter in der Karte fest, auf welcher die Positionslinie als auf dem Radius des Höhenkreises stets senkrecht sein

muss. Durch eine Länge und das Azimuth erhält man also eine Tangente des Höhenkreises.

Eine solche Standlinie des Beobachters auf der Karte veranschaulicht den Werth der Höhenbeobachtung. Ist die Linie den Meridianen parallel, so steht die Sonne im ersten Vertikal (peilt Ost oder West). Die Breite hat dann keinen Einfluss auf das Resultat der Zeitbestimmung, ebenso wie die Zeit keinen Einfluss auf das Resultat der Breitenbestimmung hat, wenn die Sonne Süd oder Nord peilt. Allgemein giebt eine einzelne Höhe nur eine Linie richtig an. Der Punkt des Schiffsortes in dieser Linie kann erst dadurch bestimmt werden, dass eine zweite Standlinie gefunden wird, sei es durch Beobachtung der Höhe eines anderen Gestirns, sei es durch eine zweite Beobachtung desselben Gestirns, nachdem sich der Ort desselben genügend im Azimuth verändert hat. Es leuchtet ein, dass der Ort am schärfsten bestimmt ist, wenn die Beobachtungsobjekte 90° im Azimuth auseinanderliegen, also die Standlinien sich rechtwinklig schneiden.

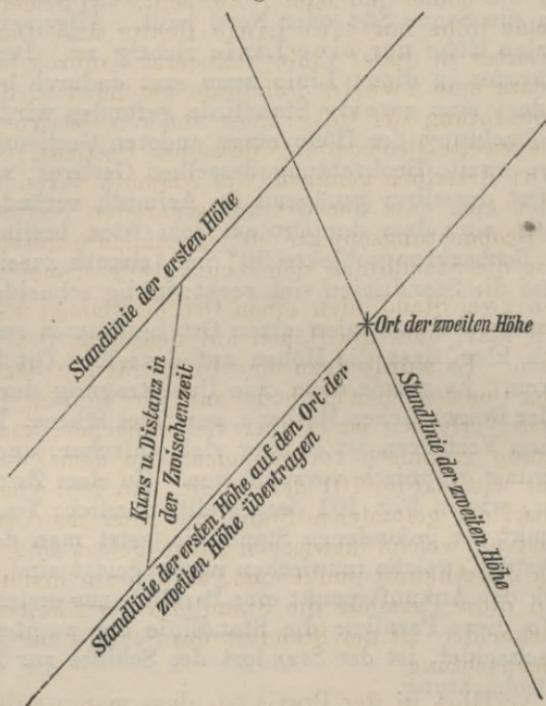
Wenn zwei Standlinien einen Ort bestimmen sollen, so ist an sich klar, dass die Höhen auf denselben Ort bezogen sein müssen. Es würde dazu eine Uebertragung der Höhen, wie bei der Douwes'schen Methode, zum Ziel führen. Bei dem graphischen Verfahren ist es aber viel einfacher, auch diese Uebertragung graphisch vorzunehmen. Zu dem Zweck verfährt man, wie in Fig. 101 dargestellt, nämlich: Von irgend einem Punkt der gefundenen Standlinie setzt man den Kurs und die Distanz, welche inzwischen zurückgelegt sind, ab und legt durch den Ankunftspunkt eine Parallele zur ersten Standlinie. Wo diese Parallele die Standlinie der zweiten Beobachtung schneidet, ist der Standort des Schiffes zur Zeit der zweiten Beobachtung.

Man verfährt in der Praxis so, dass man nach jeder genommenen Höhe die Standlinie sofort in die Karte einträgt und bei der letzten Eintragung zugleich Kurs und Distanz der Zwischenzeit festlegt und die Parallele zieht.

Aus der Anschauung folgt unmittelbar, dass jeder Fehler der Höhenmessung einen gleichen Fehler der Standlinie parallel zu dieser hervorbringt. Man kann daher für die Grenze der Genauigkeit, welche man der Beobachtung zuschreibt, Parallelen mit der Standlinie ziehen und erhält so einen Streifen statt einer Linie für den Ort des Schiffes. Durch die Breite und Richtung solcher Streifen ist so eine

ganz vortreffliche Anschauung gegeben für die Genauigkeit der Resultate der Beobachtung. In ähnlicher Weise würde die Ungenauigkeit der Breite durch einen horizontalen, die des Chronometers durch einen vertikalen Streifen repräsentirt werden. Selbst wenn der Chronometerstand nicht ganz richtig ist, muss doch die Breite richtig werden, weil beide Linien

Fig. 101.



dadurch nur um ein gleiches Stück nach Ost oder West verschoben werden. Der Hauptwerth der Methode ist darin zu suchen, dass sie, wie keine andere, erkennen lässt, welchen Grad von Vertrauen man der Positionsbestimmung schenken darf. Die Sumner'sche Methode ist aber eben nur ein graphisches Verfahren und muss als solches beurtheilt werden. Dass eine genauere Längenbestimmung durch Anwendung derselben zu erhalten wäre, als durch Rechnung, ist natürlich irrig. Die Längenbestimmung bleibt vollständig abhängig vom Chronometer. Wenn man der Sumner'schen Methode einen grossen Werth beimisst, so wird dadurch der grosse

Werth der genauen Chronometerkontrolle um so wichtiger. Von Anfang an hat sich das Verfahren der graphischen Ortsbestimmung daher auch an Bord der Kriegsschiffe eingebürgert, wo drei Chronometer in der Regel die Greenwicher Zeit gut zu bestimmen erlauben.

Bei kleinen Zenithdistanzen wird die Sumner'sche Methode, wie bereits angeführt, ungenau. Ferner hat bei kleinen Breiten der Unterschied in den Breiten geringen Einfluss auf den Stundenwinkel, die Linien neigen sich wenig und sind in ihrer Richtung wenig verschieden; dasselbe ist der Fall, wenn φ und δ gleichnamig und gleich gross sind; sind φ und δ beide gleich Null, so bewegt sich das Gestirn im ersten Vertikal, alle Linien laufen Nord—Süd. Es folgt hieraus, dass auf niedrigen Breiten, sowie bei geringer Differenz zwischen Breite und Deklination die Methode unzuverlässig wird.

Von Sir William Thomson in Glasgow sind für die Erleichterung der Anwendung Tafeln berechnet und von der Kaiserlichen Admiralität in deutscher Uebersetzung herausgegeben.

Das Princip und die Benutzung dieser Tafeln sind in den ihnen beigegebenen Erklärungen ausführlich beschrieben. Die Anwendung erfordert einige Uebung, wenn sie Zeitersparniss gewähren soll; die Tafeln werden daher nur dann von Vortheil sein, wenn sie fleissig gebraucht werden.

Für eine nur gelegentliche Anwendung der Sumner'schen Methode kann der Gebrauch einer guten Azimuthtafel (der von Burdwood und Davis oder Labrosse) empfohlen werden. In Ermangelung einer solchen wird man auch nicht vor der Berechnung von vier Zeitbestimmungen, in welcher sich die Daten noch zum Theil wiederholen, zurückschrecken, da diese täglich ausgeführte Rechnung Jedem, welcher mit der Navigation eines Schiffes zu thun hat, hinreichend geläufig ist.

Aber auch diese Rechnung kann erspart werden durch Benutzung der im Anhang gegebenen Tafel VIII, indem man nur mit einer Breite die Länge berechnet und dann für die zweite angenommene Breite die zugehörige Länge mit Hilfe der Tafel findet.

Die folgenden Beispiele sollen nach diesen drei Methoden berechnet werden. Wenn die Thomson'schen Tafeln zur Verfügung stehen, so können die Resultate mit den aus der Tafel gewonnenen verglichen werden.*)

*) Siehe auch Annalen der Hydrographie 1879, S. 494.

Beispiel 1.

Am 1. April 1875, Vormittags 9 $\frac{1}{2}$ Uhr, als man sich nach Gissing in 35° 30' Süd-Br und 75° 20' Ost-Lg befand, wurden folgende Beobachtungen angestellt und die Greenwich mittlere Zeit dazu durch Vergleich der Uhr mit dem Chronometer ermittelt, wie folgt:

Mittl. Grw. Zt. den 31. 3. 16^h 33^m 14^s $\odot h$ 36° 50,1'
 16^h 35^m 8^s $\odot h$ 65° 6,4'

Der Mond stand West vom Meridian. Die Angeshöhe betrug 5 m.

Aus dem N. J. ist zu entnehmen:

1. Sonne.				2. Mond.		
31. 3.			Abnahme	31. 3.	Zunahme	
0 ^h Ztgl.	+	4 ^m 18,8 ^s	1 ^h = 0,70 ^a	15 ^h (R.A. =	20 ^h 28 ^m 59,6 ^s	10 ^m = 22,21 ^a
	-	12,6 ^s	16,6		+ 3 ^m 31 ^s	1 ^h 35 ^m = 211 ^a
16,6 ^h	+	4 ^m 6 ^s	12,6 ^a	16 ^h 35 ^m	= 20 ^h 32 ^m 31 ^s	
0 ^h $\odot \delta$	= +	4° 6' 34"	Zunahme	31. 3.		Abnahme
	+	16' 3"	1 ^h = +58,0 ^a	15 ^h ($\odot \delta$ =	- 24° 17' 35"	10 ^m = + 88,5 ^a
	-	16,6	16,6		- 14' 1"	1 ^h 35 ^m = + 340,8 ^a
16,6 ^h	+	4° 22' 37"	962,8 ^a	16 ^h 35 ^m	= - 24° 3' 34"	
	d =	85° 37,4		d =	114° 3,6'	
31. 3.				31. 3.		
0 ^h Sternz. =	0 ^h 33 ^m 48,5 ^s			12 ^h ($\odot r$ =	15° 27"	($\odot P$ = 56' 37"
				1. 4. 0 ^h ($\odot r$ =	15° 34"	($\odot P$ = 57' 4"
				31. 3. 16,6 ^h ($\odot r$ =	15° 30"	($\odot P$ = 56' 47"

1. Ermittlung der Positionslinie für die Sonne:

Gem. $\odot h$ =	36° 50,1'	
Ges. Korrr. n. Taf. VII = +	10,9'	
w. $\ominus h$ =	37° 1'	
d =	85° 37,4'	$\log \operatorname{cosec} 0,00127$
φ = -	35° 30'	$\sec 0,08931$
2s =	87° 8,4'	
s =	43° 34,2'	$\cos 9,86005$
s - h =	6° 33,2'	$\sin 9,05719$
		$2 \log \sin \frac{t}{2} 9,00782$
$\frac{t}{2}$ =	18° 36,5'	$\log \sin \frac{t}{2} 9,50391$
t = -	37° 13'	
= -	2 ^h 28 ^m 52 ^s	Dafür ergibt sich aus den
		Azimuthtafeln
		$\odot \text{Az.} = \text{S } 131^\circ \text{ O}$
		= N 49° O
Mittl. Grw. Zt. =	16 ^h 33 ^m 14 ^s	
Ztgl. = -	4 ^m 6 ^s	
w. Grw. Zt. =	16 ^h 29 ^m 8 ^s	
Ost-Stundw. in Grw. = -	7 ^h 30 ^m 52 ^s	
Ost-Stundw. an Bord = -	2 ^h 28 ^m 52 ^s	
Ost-Lg =	5 ^h 2 ^m	= 75° 30'

In der Karte ist die Positionslinie der Sonne also durch den Punkt 35° 30' Süd-Br, 75° 30' Ost-Lg in der Richtung senkrecht zu N49°O, d. i. S41°O — N41°W, zu ziehen.

2. Ermittlung der Positionslinie für den Mond:

$$\begin{aligned} \text{Gem. } \llcorner h &= 65^\circ 6,4' \\ \text{Kimmt.} &= - 4' \\ \text{Refr.} &= - 0,5' \\ \text{Halbm.} &= + 15,5' \\ \text{Scheinb. } \llcorner h &= 65^\circ 17,4' \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} P &= 56,8' \text{ (c)} \\ h &= 65^\circ \text{ (a)} \\ p &= 24' \text{ (b)} \end{aligned} \right\} p = + 24' \left. \begin{array}{l} \text{nach der} \\ \text{Koppeltafel} \end{array} \right\}$$

$$\begin{aligned} \text{w. } \llcorner h &= 65^\circ 41,4' \\ d &= 114^\circ 3,6' \log \text{cosec } 0,03947 \\ \varphi &= -35^\circ 30' \quad \text{sec } 0,08931 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2s &= 144^\circ 15,0' \\ s &= 72^\circ 7,5' \quad \cos 9,48705 \\ s-h &= 6^\circ 26,1' \quad \sin 9,04951 \end{aligned}$$

$$2 \log \sin \frac{t}{2} = 8,66534$$

$$\begin{aligned} \frac{t}{2} &= 12^\circ 25,3' \log \sin \frac{t}{2} = 9,33267 \\ t &= 24^\circ 50,6' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h &= 65^\circ 41,4' \\ d &= 114^\circ 3,6' \log \text{cosec } 0,03947 \\ \varphi &= -36^\circ 0' \quad \text{sec } 0,09204 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2s &= 143^\circ 45,0' \\ s &= 71^\circ 52,5' \quad \cos 9,49288 \\ s-h &= 6^\circ 11,1' \quad \sin 9,03238 \end{aligned}$$

$$2 \log \sin \frac{t}{2} = 8,65677$$

$$\begin{aligned} \frac{t}{2} &= 12^\circ 17,2' \log \sin \frac{t}{2} = 9,32838 \\ t &= 24^\circ 34,4' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mittl. Grw. Zt. 31. 3.} &= 16^{\text{h}} 35^{\text{m}} 8^{\text{s}} \\ \text{N. J. Taf. III} &= 16^{\text{h}} 2^{\text{m}} 37,70^{\text{s}} \\ & \quad 35^{\text{m}} 5,75^{\text{s}} \\ & \quad 8,02^{\text{s}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mittl. Zt. in Sternz.} &= 16^{\text{h}} 37^{\text{m}} 51,5^{\text{s}} \\ \text{Sternz. um 0^h 31. 3.} &= 0^{\text{h}} 33^{\text{m}} 48,5^{\text{s}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sternz. in Grw.} &= 17^{\text{h}} 11^{\text{m}} 40^{\text{s}} \\ \llcorner \text{ R. A.} &= 20^{\text{h}} 32^{\text{m}} 31^{\text{s}} \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} \llcorner t \text{ in Grw.} &= - 3^{\text{h}} 20^{\text{m}} 51^{\text{s}} \\ &= - 50^\circ 12,8' \end{aligned} \right\} \text{(Ost vom Mer.)}$$

$$\left. \begin{aligned} \llcorner t \text{ an Bord 1.} &= + 24^\circ 50,6' \\ &= + 24^\circ 34,4' \end{aligned} \right\} \text{(West vom Mer.)}$$

$$\begin{aligned} \text{O-Lg 1.} &= 75^\circ 3,4' \text{ für } 35^\circ 30' \text{ S-Br} \\ &= 74^\circ 47,2' \text{ für } 36^\circ 0' \text{ S-Br} \end{aligned}$$

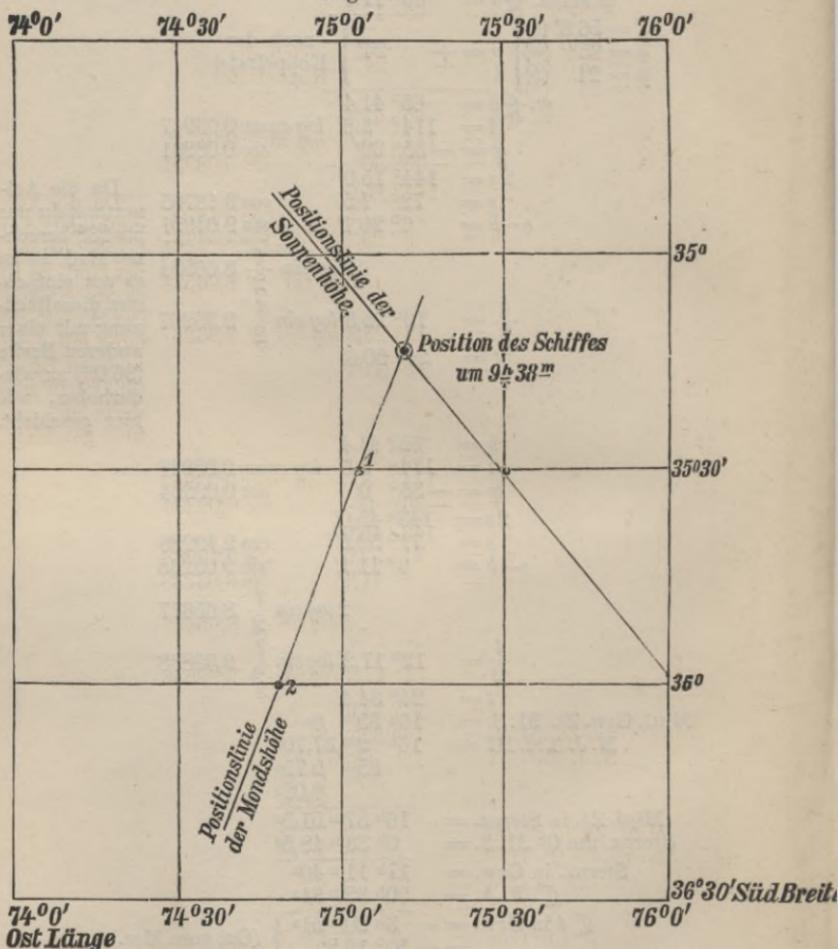
Da die Azimutafeln nur bis 23° berechnet sind, so ist es am einfachsten, diese Rechnung mit einer anderen Breite (36,0°) zu wiederholen, wie hier geschieht.

Diese beiden Positionen in der Karte so niedergelegt, wie in Figur 102 geschehen, geben die Positionslinie für die Mondshöhe. Der Schnittpunkt beider Positionslinien in

35° 13,4' S-Br
75° 12' O-Lg

gibt den Ort des Schiffes für 16^h 36^m Greenwicher Zeit oder 9^h 38^m bürgerlicher Ortszeit am 1. April Vormittags.

Fig. 102.



Beispiel 2.

Am 14. 4. 1875 wurde beobachtet und die Zeit notirt:

2^h 9^m 7^s ☉/h 17° 12'.

Der Uhrvergleich ergab: Chron. — Uhr = — 39^m 12,5^s. Das Chronometer hatte einen Stand von — 9^m 34^s gegen Greenwicher Zeit, Auges-

höhe 8,2 m. Nach dem Besteck befand man sich auf einer Breite zwischen 35° 20' und 35° 40' Süd.

Uhrzt. = 2^h 9^m 7^s

Chron.—Uhr = — 39 ^m 12,5 ^s	14.4. $\odot \delta = + 9^{\circ} 21' 54''$	Zunahme	1 ^h = + 54,2'	Gem. $\odot h = 17^{\circ} 12,0'$
Std. = — 9 ^m 34 ^s	— 9' 40''	.	— 10,7 ^h	Ges. Korrn. T.F. VII = + 8,1'
+ 12 ^h	+ 9° 12' 14''		— 579,9''	w. $\odot h = 17^{\circ} 20,1'$

Mittl.	$d = 80^{\circ} 47,8'$	Abnahme
Grw. Zt. 13.4. = 13 ^h 20 ^m 20,5 ^s	14.4. Ztg. = + 0 ^m 20,6 ^s	1 ^h = — 0,64 ^s
— 14.4. = — 10,7 ^h	+ 6,9 ^s	— 10,7
	+ 27,5 ^s	+ 6,85 ^s

$h = 17^{\circ} 20,1'$	Mittl. Grw. Zt. = 13 ^h 20 ^m 20,5 ^s
$d = 80^{\circ} 47,8'$	Ztg. = — 27,5 ^s
$\varphi = — 35^{\circ} 40'$	w. Grw. Zt. = 13 ^h 19 ^m 53,0 ^s
2 s = 62° 27,9'	t = — 10 ^h 40 ^m 7,0 ^s
s = 31° 14'	= — 160° 1,8'
s — h = 13° 53,9'	

$$2 \log \sin \frac{t}{2} 9,40841$$

$$\frac{t}{2} = — 30^{\circ} 24,1' \quad \log \sin \frac{t}{2} 9,70421$$

$$t = — 60^{\circ} 48,2'$$

$$\text{Grw. } t = — 160^{\circ} 1,8'$$

$$99^{\circ} 13,6' \text{ O-Lg} = 6^{\text{h}} 36^{\text{m}} 54,4^{\text{s}}$$

Nach Burdwood's Azimuthtafeln ist das Azimuth für den Stundenwinkel 13^h 19^m 53^s + 6^h 36^m 54,4^s = 19^h 56^m 47,4^s wahrer Ortszeit gleich S 115° O. Daher ist die Richtung der Standlinie, welche durch den Punkt 99° 13,6' Ost-Lg und 35° 40' Süd-Br geht, gleich S 25° O.

Nach derselben Uhr wurde notirt und eine Höhe gemessen, nachdem das Schiff rechtweisend N 76° O 8,5 Seemeilen gesegelt war:

$$3^{\text{h}} 46^{\text{m}} 17,2^{\text{s}} \quad \odot h \ 33^{\circ} 32,1'$$

Der Uhrvergleich ergab: Chron.—Uhr: — 39^m 9,0^s. Der Stand des Chronometers war derselbe.

Uhr = 3^h 46^m 17,2^s

Chron.—Uhr = — 0 ^h 39 ^m 9 ^s	14.4. $\odot \delta = + 9^{\circ} 21' 24''$	Zunahme	1 ^h = + 54,2'	Gem. $\odot h = 33^{\circ} 32,1'$
Std. = — 0 ^h 9 ^m 34 ^s	(+ 12 ^h) — 8' 8''	.	— 9	Ges. Korrn. T.F. VII = + 9,7'
M. Grw. Zt. 13.4. = 14 ^h 57 ^m 34,2 ^s	+ 9° 13' 16''		487,8''	w. $\odot h = 33^{\circ} 41,8'$
14.4. = — 9,0 ^h	$d = 80^{\circ} 46,7'$			

14. 4.

Ztg. = + 0 ^m 20,6 ^s	Abnahme
+ 5,8 ^s	1 ^h = — 0,64 ^s
+ 0 ^m 26,4 ^s	— 9
	+ 5,76 ^s

$h = 33^{\circ} 41,8'$	13. 4. Mittl. Grw. Zt. = 14 ^h 57 ^m 34,2 ^s
$d = 80^{\circ} 46,7'$	Ztg. = — 0 ^m 26,4 ^s
$\varphi = — 35^{\circ} 40'$	13. 4. w. Grw. Zt. = 14 ^h 57 ^m 7,8 ^s
2 s = 78° 48,5'	t = — 9 ^h 2 ^m 52,2 ^s
s = 39° 24,3'	= — 135° 43'
s — h = 5° 42,5'	

$$2 \log \sin \frac{t}{2} 8,98154$$

$$\frac{t}{2} = — 18^{\circ} 2,1' \quad \log \sin \frac{t}{2} 9,49077$$

$$t = — 36^{\circ} 4,2'$$

$$\text{Grw. } t = — 135^{\circ} 43'$$

$$99^{\circ} 38,8' \text{ O-Lg} = 6^{\text{h}} 38^{\text{m}} 35,2^{\text{s}}$$

Nach Burdwood's Tafeln ist das Azimuth für die wahre Zeit $14^h 57^m 7,8^s + 6^h 38^m 35,2^s = 21^h 35^m 43^s$ gleich $S 136^\circ O$. Daher ist die Richtung der Standlinie durch den Punkt $35^\circ 40'$ Süd-Br und $99^\circ 38,8'$ Ost-Lg, $S 46^\circ O$.

Setzt man nun in der Karte, so wie in Fig. 103 geschehen ist, von einem beliebigen Punkt der ersten Positionslinie Kurs und Distanz ab und zieht mit derselben durch den gefundenen Punkt eine Parallele, so erhält man die Position zur Zeit der zweiten Beobachtung als den Schnittpunkt dieser Parallele zu der ersten Positionslinie mit der zweiten Positionslinie zu:

$$\begin{aligned} & 35^\circ 18' \text{ S-Br} \\ & 99^\circ 12' \text{ O-Lg.}^*) \end{aligned}$$

Für den Fall, dass keine Azimuthafel zur Verfügung steht, berechnet man für jede Höhe zwei Stundenwinkel, und das Beispiel wird dann in folgender Form gelöst;

1. Erste Beobachtung:

$$\ominus h = 17^\circ 20,1'.$$

$\begin{aligned} h &= \varphi = -35^\circ 40' \\ & 17^\circ 20,1' \\ d &= 80^\circ 47,8' \quad \log \operatorname{cosec} 0,00562 \\ \varphi &= -35^\circ 40,0' \quad \sec 0,09022 \\ \hline 2s &= 62^\circ 27,9' \\ s &= 31^\circ 14' \quad \cos 9,93200 \\ s-h &= 13^\circ 53,9' \quad \sin 9,38057 \end{aligned}$	$\begin{aligned} h &= \varphi = -35^\circ 20' \\ & 17^\circ 20,1' \\ d &= 80^\circ 47,8' \quad \log \operatorname{cosec} 0,00562 \\ \varphi &= -35^\circ 20' \quad \sec 0,08842 \\ \hline 2s &= 62^\circ 47,9' \\ s &= 31^\circ 24' \quad \cos 9,93123 \\ s-h &= 14^\circ 3,9' \quad \sin 9,38565 \end{aligned}$
$2 \log \sin \frac{t}{2} 9,40841$	$2 \log \sin \frac{t}{2} 9,41092$
$\frac{t}{2} = -30^\circ 24,1' \quad \log \sin \frac{t}{2} 9,70421$	$\frac{t}{2} = -30^\circ 30' \quad \log \sin \frac{t}{2} 9,70546$
$t = -60^\circ 48,2'$	$t = -61^\circ 0'$
$\text{Grw. } t = -160^\circ 1,8'$	$\text{Grw. } t = -160^\circ 1,8'$
$99^\circ 13,6' \text{ O-Lg}$	$99^\circ 1,8' \text{ O-Lg}$

Diese beiden Positionen, in der Karte abgesetzt, geben die erste Positionslinie, welche sich, wie die Darstellung ergibt, mit der nach der ersten Methode erhaltenen genau deckt. Die Beobachtung wird sofort nach der Uhrvergleichung berechnet und in die Karte eingetragen. Es folgt $1\frac{1}{2}$ Stunde später die zweite Beobachtung.

2. Zweite Beobachtung:

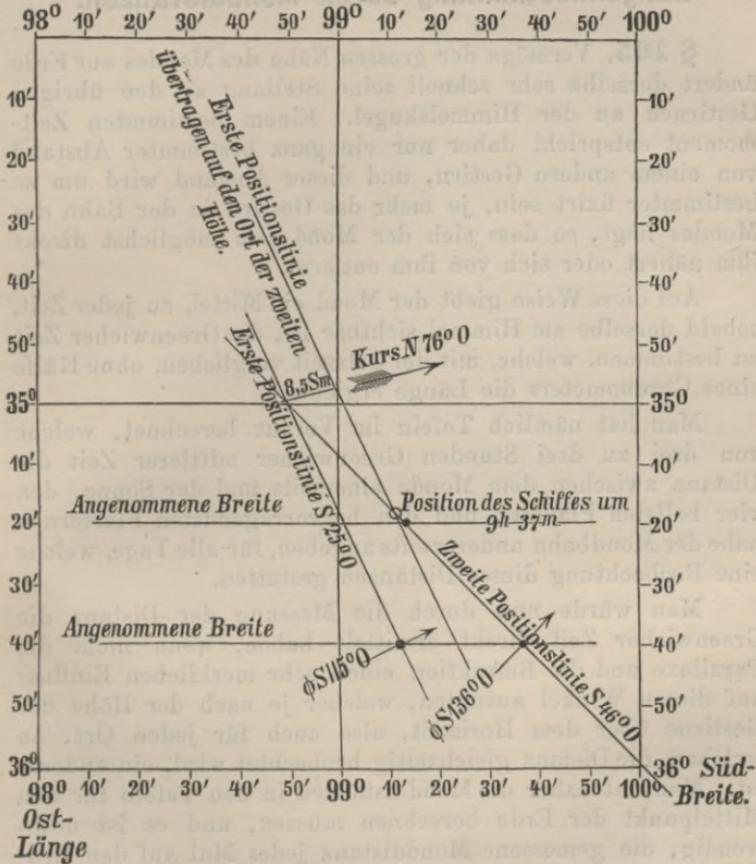
$$\ominus h = 33^\circ 41,8'.$$

$\begin{aligned} h &= \varphi = -35^\circ 40' \\ & 33^\circ 41,8' \\ d &= 80^\circ 46,7' \quad \log \operatorname{cosec} 0,00565 \\ \varphi &= -35^\circ 40' \quad \sec 0,09022 \\ \hline 2s &= 78^\circ 48,5' \\ s &= 39^\circ 24,3' \quad \cos 9,88800 \\ s-h &= 5^\circ 42,5' \quad \sin 8,99767 \end{aligned}$	$\begin{aligned} h &= \varphi = -35^\circ 20' \\ & 33^\circ 41,8' \\ d &= 80^\circ 46,7' \quad \log \operatorname{cosec} 0,00565 \\ \varphi &= -35^\circ 20' \quad \sec 0,08842 \\ \hline 2s &= 79^\circ 8,5' \\ s &= 39^\circ 34,3' \quad \cos 9,88696 \\ s-h &= 5^\circ 52,5' \quad \sin 9,01012 \end{aligned}$
$2 \log \sin \frac{t}{2} 8,98154$	$2 \log \sin \frac{t}{2} 8,99115$
$\frac{t}{2} = -18^\circ 2,1' \quad \log \sin \frac{t}{2} 9,49077$	$\frac{t}{2} = -18^\circ 14,5' \quad \log \sin \frac{t}{2} 5,49558$
$t = -36^\circ 4,2'$	$t = -36^\circ 29'$
$\text{Grw. } t = -135^\circ 43'$	$\text{Grw. } t = -135^\circ 43'$
$99^\circ 38,8' \text{ O-Lg}$	$99^\circ 14,2' \text{ O-Lg}$

*) Die Azimuthe können auch aus den Tafeln genauer entnommen werden, was aber nur Zweck hat, wenn ein sehr grosser Kartenmaassstab zur Disposition steht.

Diese beiden Positionen geben die in Figur 103 ebenfalls ausgezogene zweite Positionslinie. Auch diese ist mit der durch die erste Methode gefundenen identisch. Zieht man nun wiederum die Parallele zur ersten Positionslinie unter Anwendung der inzwischen beobachteten

Fig. 103.



Versegelung N76°O 8,5 Seemeilen, so erhält man dieselbe Position des Schiffes, welche durch Anwendung der ersten Methode gefunden wurde, nämlich:

35° 18' S-Br
99° 12' O-Lg.

XIV. Kapitel.

Längenbestimmung durch Mondstrecken.

§ 105. Vermöge der grossen Nähe des Mondes zur Erde ändert derselbe sehr schnell seine Stellung zu den übrigen Gestirnen an der Himmelskugel. Einem bestimmten Zeitpunkt entspricht daher nur ein ganz bestimmter Abstand von einem andern Gestirn, und dieser Abstand wird um so bestimmter fixirt sein, je mehr das Gestirn in der Bahn des Mondes liegt, so dass sich der Mond also möglichst direkt ihm nähert oder sich von ihm entfernt.

Auf diese Weise giebt der Mond ein Mittel, zu jeder Zeit, sobald derselbe am Himmel sichtbar ist, die Greenwicher Zeit zu bestimmen, welche, mit der Ortszeit verglichen, ohne Hülfe eines Chronometers die Länge ergiebt.

Man hat nämlich Tafeln im Voraus berechnet, welche von drei zu drei Stunden Greenwicher mittlerer Zeit die Distanz zwischen dem Monde einerseits und der Sonne, den vier hellsten Planeten und den hervorragendsten Fixsternen nahe der Mondbahn andererseits angeben, für alle Tage, welche eine Beobachtung dieser Distanzen gestatten.

Man würde nun durch die Messung der Distanz die Greenwicher Zeit direkt ermittelt haben, wenn nicht die Parallaxe und die Refraktion einen sehr merklichen Einfluss auf diesen Winkel ausübten, welcher je nach der Höhe der Gestirne über dem Horizont, also auch für jeden Ort, an welchem die Distanz gleichzeitig beobachtet wird, ein anderer ist. Man hat daher die Mondstrecken in den Tafeln für den Mittelpunkt der Erde berechnen müssen, und es ist nothwendig, die gemessene Mondstrecke jedes Mal auf den Erdmittelpunkt zu reduciren, um sie mit der aus den Tafeln bekannten zu vergleichen.

Diese Reduktion, welche an sich nicht schwierig ist, wird zu einer im Verhältniss zu anderen nautischen Rechnungen etwas complicirten Procedur durch die verschiedenen Reduktionen, welche das Zusammentragen vieler Daten erforderlich machen.

1. Da sowohl die scheinbaren als auch die wahren Höhen beider Gestirne zur Zeit der Beobachtung der Distanz für die

Berechnung erforderlich sind, so wird es nothwendig, entweder: 1. wenn zwei andere Beobachter gleichzeitig diese Höhen mit dem Beobachter der Distanz gemessen haben, diese zu reduciren, oder 2. wenn die Höhen kurz vorher und nachher beobachtet wurden, diese auf den Zeitpunkt der Distanz zu übertragen und dann zu reduciren, oder 3. wenn die Höhen überhaupt nicht gemessen sind, dieselben für die Zeit der Beobachtung zu berechnen und durch umgekehrte Anwendung von Refraktions- und Parallaxenkorrektion aus diesen wahren Höhen die scheinbaren zu ermitteln.

Es kommt dabei im Gegensatz zu allen anderen Problemen der nautischen Astronomie weniger auf die absoluten Höhen als vielmehr auf die Genauigkeit der Korrekturen, also der Differenzen zwischen scheinbarer und wahrer Höhe an.

2. Aus der gemessenen Distanz der Gestirnsränder muss die scheinbare Distanz der Gestirnmittelpunkte durch Anwendung der Halbmesser der Gestirne hergeleitet werden. Einige kleine Korrekturen, die hierbei event. zu berücksichtigen sind, werden dabei noch erwähnt werden.

3. Die Formel, nach welcher die Reduktion vorgenommen werden kann, ist in sehr verschiedenartige Ausdrücke gebracht worden. Es soll hier zunächst diejenige abgeleitet werden, welche in dem Nautischen Jahrbuch bis zum Jahrgang 1873 gegeben war, weil dieselbe neben grosser Einfachheit und Beschränkung auf fünfstellige Logarithmen ein vollständig scharfes Resultat gewinnen lässt und von aller Benutzung von Hülftafeln abzusehen gestattet.*)

Ist:

H die scheinbare	}	Höhe des Mondmittelpunkts,
H' die wahre		
h die scheinbare	}	Höhe des Gestirnmittelpunkts,
h' die wahre		
D die scheinbare	}	Distanz der Mittelpunkte beider Himmelskörper,
D' die wahre		

so hat man zwischen dem Zenith und den scheinbaren Gestirnsorten ein sphärisches Dreieck und zwischen dem Zenith und den wahren Gestirnsorten ein zweites sphärisches Dreieck. Beide sind in Figur 104 dargestellt. Da die Gestirnmittelpunkte durch die Reduktion auf den Mittelpunkt der Erde (so lange man diese als Kugel betrachtet) nur in der Höhe

*) Die Formel ist auch in Brünnow's Sphärischer Astronomie allein gegeben.

verschoben werden, also in ihren Vertikalkreisen bleiben, so ist den beiden Dreiecken der Winkel ε am Zenith (die Azimuthdifferenz der Gestirne) gemeinsam.

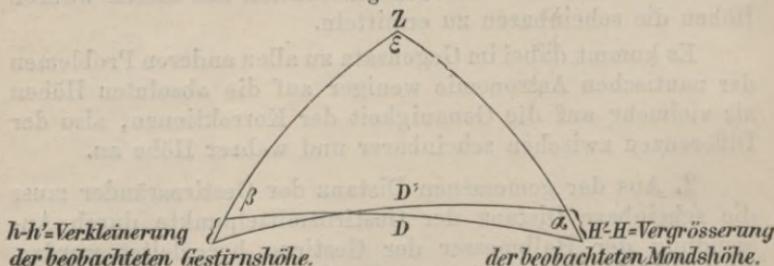
Aus den beiden Formeln:

$$\cos D = \sin H \cdot \sin h + \cos H \cdot \cos h \cdot \cos \varepsilon$$

$$\cos D' = \sin H' \cdot \sin h' + \cos H' \cdot \cos h' \cdot \cos \varepsilon$$

erhält man:

Fig. 104.



$$\text{I } \cos D = \cos (H - h) - 2 \cos H \cdot \cos h \cdot \sin^2 \frac{1}{2} \varepsilon$$

$$\text{II } \cos D' = \cos (H' - h') - 2 \cos H' \cdot \cos h' \cdot \sin^2 \frac{1}{2} \varepsilon$$

und wenn man den Werth für $\sin^2 \frac{1}{2} \varepsilon$ aus I in II einsetzt:

$$\text{III } \cos D' = \cos (H' - h') + \frac{\cos H' \cdot \cos h'}{\cos H \cdot \cos h} \cdot [\cos D - \cos (H - h)].$$

Da die scheinbare Höhe H des Mondes durch Reduktion zur wahren H' in der Regel sehr bedeutend mehr vergrößert, als die Höhe des andern Gestirns verkleinert wird, wegen der grossen Parallaxe des Mondes, so wird der Ausdruck:

$$\frac{\cos H \cdot \cos h}{\cos H' \cdot \cos h'}$$

in der Regel grösser als 1 sein. Wenn bei grosser Höhe des Mondes und geringer Höhe des Gestirns dies nicht mehr der Fall ist, so wird der Ausdruck den Werth 1 jedenfalls nur um Weniges übersteigen. Setzt man daher:

$$\frac{\cos H \cdot \cos h}{\cos H' \cdot \cos h'} = c^*$$

*) Für $\log \frac{1}{c}$ findet sich mehrfach, z. B. in Raper's Practice of Navigation eine recht brauchbare Tafel (Table 73, The logarithmic difference).

$H - h = d$ und $H' - h' = d'$ und darin d und d' stets positiv, so kann man immer substituiren:

$$\frac{\cos d}{c} = \cos d'' \text{ und } \frac{\cos D}{c} = \cos D''.$$

Aus Gleichung III erhält man:

$$\begin{aligned} \cos D' &= \cos d' + \frac{1}{c} \cdot \cos D - \frac{1}{c} \cdot \cos d \\ \cos D' - \cos D'' &= \cos d' - \cos d''. \end{aligned}$$

Durch Einführung der halben Summen und Differenzen erhält man:

$$\sin \frac{1}{2}(D' + D'') \cdot \sin \frac{1}{2}(D'' - D') = \sin \frac{1}{2}(d' + d'') \cdot \sin \frac{1}{2}(d'' - d')$$

und wenn man für die Sinusse der sehr kleinen halben Differenzen die Bogen setzt:

$$D' - D'' = (d' - d'') \cdot \frac{\sin \frac{1}{2}(d' + d'')}{\sin \frac{1}{2}(D' + D'')}$$

Aus dieser Formel findet man nun durch Annäherung die Korrektion $D' - D'' = z$.

Setzt man nämlich im Nenner für $\sin \frac{1}{2}(D' + D'')$ den wenig verschiedenen $\sin D''$, so erhält man:

$$z_1 = (d' - d'') \cdot \frac{\sin \frac{1}{2}(d' + d'')}{\sin D''}$$

$$\text{und } D' = D'' + z_1.$$

Um einen noch genaueren Werth von D' zu erhalten, kann man nun die Rechnung wiederholen, indem man das gefundene $\frac{1}{2}(D' + D'') = D'' + \frac{1}{2}z_1$ einsetzt und ein genaueres

$$z_2 = (d' - d'') \cdot \frac{\sin \frac{1}{2}(d' + d'')}{\sin (D'' + \frac{1}{2}z_1)}$$

berechnet.

4. Wenn die abgeplattete Gestalt der Erde berücksichtigt werden soll, so ist an der gefundenen Distanz noch eine kleine Korrektion anzubringen. Während nämlich bei der Erdkugel das Loth vom Beobachter in seiner Verlängerung den Erdmittelpunkt treffen, also der Mittelpunkt der Erde in einer Vertikalebene mit den Vertikalkreisen liegen würde, in welchen der Beobachter an der Erdoberfläche die Höhen der Gestirne misst, befindet sich in Wahrheit der Mittelpunkt des Erdsphäroids gewöhnlich etwas ausserhalb dieser Ebene. Durch diese seitliche Verschiebung entsteht die Seitenparallaxe des Mondes. Sie ist, wie man sich

leicht klar machen kann, abhängig von der geographischen Breite des Beobachtungsortes (am Aequator und am Pol Null) und variirt mit dem Azimuth des Mondes (welches durch Kompasspeilung hinreichend genau festgestellt werden kann). Der volle Betrag dieser Korrektion für Seitenparallaxe ist nur in Rechnung zu bringen, wenn die Distanz in einer Richtung rechtwinklig zum Vertikalkreise gemessen ist. Sonst schätzt man den Winkel mit dem Vertikalkreise und entnimmt den Werth aus dem Nautischen Jahrbuche, in dessen Tafel XX und XXI alles Nöthige für diese kleine Korrektion angegeben ist.

Da die Seitenparallaxe auch bei jeder geographischen Breite verschwindet, wenn der Mond im Meridian ist, so beschränkt sich in diesem Falle die Korrektion wegen der Erdabplattung auf die Berechnung der Höhenparallaxe mittelst der Tafeln XVIII und XIX, welche bei Berechnung der Höhen angewandt wird.

§ 106. Ueber die Beobachtung der Mondsdistanzen.

1. Auf Kriegsschiffen, welche drei Chronometer an Bord haben, ist die Wichtigkeit der Mondsdistanzen nicht mehr so anerkannt wie in früheren Zeiten. Die Schwierigkeit der Beobachtung und der grosse Einfluss, welchen ein geringer Beobachtungsfehler auf das Resultat ausübt, lässt diese Methode der Längenbestimmung allerdings nur von Werth erscheinen, wenn sie von geübten Beobachtern benutzt wird. Unter dieser Voraussetzung kann sie aber wesentliche Dienste leisten, da es noch Fälle genug giebt, wo die Chronometer in Folge Unverlässlichkeit oder Mangels einer Gelegenheit zur Regulirung nicht ausreichen.

Es ist daher wichtig, dass — namentlich wenn die Distanzen 90° und grösser werden — die im Früheren besprochenen Instrumentenfehler möglichst genau bekannt sind.

Die Eigenbewegung des Mondes beträgt täglich etwa 50 Minuten oder $12-13^\circ$ in Bogen. Eine Mondsdistanz ändert sich also in einer Stunde um einen halben Grad, in einer Minute um eine halbe Minute in Bogen. Wenn man um diese halbe Minute in Bogen unsicher observirt, so erhält man die Greenwicher Zeit um eine Minute unsicher, also die Länge um 15 Bogenminuten unsicher. Bei sehr grossen Distanzen würde eine solche Unsicherheit schon dadurch entstehen, dass man die Berührung nicht genau in der Mitte des Fernrohrs beobachtet. Selten aber lassen sich die Instrumentenfehler

mit völliger Genauigkeit feststellen, und es ist daher rathsam, eine zunehmende und eine abnehmende Distanz zu kombiniren (Ost und West vom Monde). Wenn auch der Umstand, dass eine der Distanzen dann ungünstiger für die Beobachtung liegt als die andere, hier störend ist, so wird dadurch doch jedenfalls die Excentricität des Instrumentes eliminirt. Im Allgemeinen ist die Gelegenheit, Distanzen mit zwei verschiedenen Gestirnen zu messen, welche sehr weit am Himmel von einander entfernt stehen, aber selten. Um gute Resultate zu erhalten, sollten daher die Mondabstände stets mit Kreisen, am besten mit zehnzölligen Reflexionskreisen, beobachtet werden.*)

Für die Auswahl der zu beobachtenden Distanz ist in Betracht zu ziehen, dass die tägliche Bewegung des Mondes in ihren Extremen so viel variirt, dass die Genauigkeit des Resultats wesentlich davon alterirt wird. Wenn Mondabstände beobachtet werden, deren tägliche Aenderung $15 - 16^\circ$ beträgt, und andererseits solche, bei denen nur $8 - 9^\circ$ Aenderung stattfindet, so verursacht im ersten Falle ein Fehler in der

*) Ueber die Beobachtung der Mondabstände mittelst eines Reflexionskreises mögen folgende Bemerkungen Platz finden:

Eine der Hauptfehlerquellen für die Beobachtungen liegt in der Unsicherheit der Bestimmung des Indexfehlers des Kreises. Es treten hier dieselben physiologischen Erscheinungen auf, welche bei feinen astronomischen Beobachtungen schon lange als Fehlerquellen erkannt sind, dass man nämlich eine Berührung zweier Ränder anders auffasst, als eine Berührung von Rand und Punkt und diese wieder anders als eine Deckung von zwei Punkten. Daraus folgt, dass man bei Beobachtung von Distanzen zwischen Mond und Sternen sehr leicht einen Fehler einführen kann, wenn man den Indexfehler an einem Stern bestimmt oder wenn man den an der Sonne gefundenen anwendet. Man muss daher danach trachten, den Indexfehler aus der Beobachtung zu eliminiren, und dies kann geschehen, indem man die Distanz des Mondes von Sternen misst, welche Ost und West vom Monde stehen, oder dadurch, dass das Instrument so eingerichtet wird, dass man die gleiche Distanz zu beiden Seiten des Nullpunkts messen kann. Dies lässt sich bei einem Spiegelkreise dadurch erreichen, dass man den optischen Theil auf die obere Seite, die Theilung und den Nonius auf die untere Seite des Kreises bringt und einen zweiten Handgriff einsetzt, um das Instrument bequem umgekehrt halten zu können. — Ferner fasst man die Berührung anders auf, wenn sich die Bilder im Fernrohr gegeneinander bewegen, als wenn sie auseinandergehen. Man sollte deshalb, wenn irgend zugänglich, die Bilder beider Gestirne mindestens zweimal in der einen Bewegungsrichtung und zweimal in der andern zur Berührung bringen und das Mittel nehmen.

Beobachtung von einer halben Minute etwa 22, im zweiten Falle etwa 11 Minuten in Länge.

Am günstigsten ist es, wenn Mond und Gestirn zu beiden Seiten etwa gleich weit vom Meridian abstehen, also die Höhen nicht sehr von einander verschieden sind. Die besten Resultate geben Distanzen zwischen Mond und Sonne, welche am schärfsten in der Berührung beobachtet werden können. Ein stark vergrösserndes Fernrohr lässt den Kontakt am schärfsten erkennen, hat aber für weniger geübte Beobachter Schwierigkeiten.

Ob man auf See die Höhe berechnen oder beobachten soll, ist sehr verschiedenartig beurtheilt worden. Jedenfalls hat die Berechnung nicht, wie vielfach geltend gemacht wird, die grössere Genauigkeit von vorn herein für sich, denn die Unsicherheit in der Kenntniss der Greenwicher Zeit ist sehr zu berücksichtigen. Sind aber die Höhen gemessen, so ist eine Kenntniss der Greenwicher Zeit überhaupt unnöthig. (Für die Interpolation des Mondhalbmessers und der Mondparallaxe findet man die Greenwicher Zeit genügend genau, wenn man die gemessene Distanz mittelst der ungefähren Halbmesser auf die Gestirnmittelpunkte reducirt und für diese angenäherte wahre Distanz die Zeit aus den Ephemeriden entnimmt.) Andererseits ist die Beobachtung von Sternhöhen Nachts oft sehr unsicher und nur bei sehr gutem Horizont zu empfehlen. Fehler von 2—3 Minuten in der beobachteten Höhe haben aber noch keinen nennenswerthen Einfluss auf die wahre Distanz.

2. Das Messen gleichzeitiger Höhen mit der Distanz durch einen zweiten und dritten Beobachter wird oft der erforderlichen Zuverlässigkeit ermangeln und empfiehlt sich daher nur, wenn diese gesichert ist. Eine Uebertragung der Höhe auf die Zeit der Distanzbeobachtung ist in folgender Weise vorzunehmen:

Man beobachtet

1. die Gestirnhöhe,
2. die Mondhöhe,
3. die Distanz (oder einige Distanzen),
4. die Mondhöhe,
5. die Gestirnhöhe.

(Die Mondhöhe zunächst der Distanz wegen ihrer weniger gleichmässigen Aenderung.)

1. Man bildet den $\log \frac{1}{c}$ durch die Addition der Logarithmen des Kosinus der wahren und der Sekante der scheinbaren Höhen. Bei Anwendung fünfstelliger Logarithmen werden die beiden ersten Stellen hinter dem Komma lauten 9,99... (Man kann $\log c$ bilden, welcher dann 0,00... lautet und subtrahirt werden muss.)

2. Man bildet die Differenzen:

$d = H - h$ oder $h - H$ } das Kleinere vom Grösseren ab-
 $d' = H' - h'$ oder $h' - H'$ } gezogen.

3. Man bildet die Produkte:

$$\frac{1}{c} \cos d = \cos d''; \quad \frac{1}{c} \cos D = \cos D'', \text{ oder}$$

$$\log \frac{1}{c} + \log \cos d = \log \cos d''; \quad \log \frac{1}{c} + \log \cos D = \log \cos D''.$$

Dabei ist die Vereinfachung anzuwenden, nur die vollen Minuten von d und D in den Logarithmen aufzuschlagen und die übrig gelassenen Sekunden (im Beispiel eingeklammert) zu den erhaltenen d'' und D'' zu addiren.

Man bildet nun $d' - d''$ und $\frac{d' + d''}{2}$.

4. Man berechnet logarithmisch:

$$D' - D'' = (d' - d'') \cdot \sin \frac{d' + d''}{2} \cdot \operatorname{cosec} D'' = z_1$$

und wiederholt die Rechnung, indem man setzt:

$$D' - D'' = (d' - d'') \cdot \sin \frac{d' + d''}{2} \cdot (\operatorname{cosec} D'' + \frac{1}{2} z_1) = z_2$$

Die so gefundene Differenz $D' - D'' = z_2$ ist die Korrektion der Grösse D'' zur wahren Distanz. $D'' + z_2 = D'$ muss schliesslich noch für die Abplattung der Erde nach Taf. XX und XXI des Jahrbuchs korrigirt werden.

In den Jahrgängen des Nautischen Jahrbuches bis 1873 war unter No. 15 der nautischen Aufgaben empfohlen, für den Fall, dass die Höhen H und h nahe gleich werden, statt der Differenzen $H - h = d$, $H' - h' = d'$ die Summen $H + h = s$, $H' + h' = s'$ zu bilden. Man hat dann:

$$z_1 = (s'' - s') \cdot \frac{\sin \frac{1}{2} (s'' + s')}{\sin D''} \text{ etc.}$$

Im Uebrigen ist die Rechnung unverändert dieselbe.

Die Anwendung fünfstelliger Logarithmen genügt für die praktische Navigation. Die Art und Weise, wie man die Greenwicher Zeit aus den Ephemeriden findet, ist in dem Nautischen Jahrbuch selbst vollständig erklärt. Die Interpolation wird zunächst unter der Annahme einer der Zeit proportionalen Aenderung der Distanz durch eine einfache Proportion bewerkstelligt, in welcher die Differenz der beiden nächsten in der Tafel gegebenen Distanzen, die Zwischenzeit von drei Stunden und die Differenz zwischen der ersten dieser Distanzen mit der berechneten die drei bekannten Glieder bilden, aus welchen das vierte Glied als das Zeitintervall erhalten wird, welches zur Zeit der ersten Distanz hinzugezählt werden muss. Da die Distanz aber nicht genau proportional der Zeit ändert, so würde es nöthig werden, die zweiten Differenzen zu berücksichtigen, wodurch die Rechnung fast verdoppelt würde. Die Tafel I des Nautischen Jahrbuchs giebt eine einfache Korrektion, welche diese Rechnung erspart.

Die Proportional-Logarithmen, welche den Distanzen im Jahrbuch beigefügt sind und auch der Tafel I als Argument dienen, bezwecken eine noch weitere, wiewohl nicht sehr wesentliche Abkürzung der Rechnung, setzen aber eine besondere Tafel voraus.

Beispiel.

Am 1. April 1875 wurde, als man sich nach dem Besteck in 35° 35' Süd-Br und 75° 0' Ost-Lg befand, nach einer Uhr, deren Stand gegen mittlere Zeit kurz vorher durch eine Sonnenhöhe bestimmt worden war, mit einem zehnzölligen Reflexionskreise folgende Beobachtung erhalten (Uhr und Indekorrektion sind bereits angewendet): Mittlere Ortszeit 9^h 35^m 8^s Vormittags, ☾☉ 66° 21' 51". Das Azimuth des Mondes wurde durch den Kompass zu ca N 70° W bestimmt. Der Winkel der Distanz mit dem Vertikal des Mondes betrug nach Schätzung 45°, mit dem Vertikal der Sonne 30°. Barometer 765 mm. Thermometer 16° C. Höhen wurden nicht gemessen. Die Länge ist zu ermitteln.

Mittl. Ortszt. 31. 3. 21^h 35^m 8^s
 O-Lg — 5^h 0^m 0^s

Ungef. mittl. Grw. Zi. 31. 3. 16^h 35^m 8^s

A. Interpolation der Ephemeriden.

Mond.

Zunahme

Sonne.

Abnahme

31. 3. 15 ^h (RA. = 20 ^h 28 ^m 59,6 ^s)	für 10 ^m = 22,21 ^s	31. 3. 0 ^h Ztgl. = + 4 ^m 18,8 ^s	1 ^h = - 0,76 ^s
Korr. f. 1 ^h 35 ^m = + 3 ^m 31 ^s	1 ^h 35 ^m = 9,5	— 12,6	16,6
31. 3. 16 ^h 35 ^m = 20 ^h 32 ^m 30,6 ^s	..... 211,0 ^s	31. 3. 16,6 ^h = + 4 ^m 6,2 ^s	12,6 ^s

	Abnahme		Zunahme
31. 3. 15 ^h $\odot d = -24^\circ 17' 35''$	in $10^m = +88,5''$	31. 3. 0 ^h $\odot d = +4^\circ 6' 34''$	$1^h = +58,0''$
Korr. f. $1^h 35^m = +14' 1''$	$1^h 35^m = 9,5$	$= +16' 3''$	16,6
31. 3. 16 ^h 35 ^m $\odot d = -24^\circ 3' 34''$	..... 840 ^{''}	31. 3. 16, 6 ^h $\odot d = +4^\circ 22' 37''$	962,8 ^{''}
$\odot d = 114^\circ 3' 24''$		$d = 85^\circ 37' 23''$	
31. 3. 12 ^h $\odot r = 15' 27''$	$\odot r = 15' 27''$	$\odot r = 16' 2''$	
1. 4. 0 ^h $\odot r = 15' 34''$	$\odot r = 15' 34''$		
31. 3. 16, 6 ^h $\odot r = 15' 30''$	$P 56' 47''$		
31. 3. 0 ^h Sternz. = 0 ^h 33 ^m 48,5 ^s			

B. Berechnung der wahren Höhen

für den 31. März 21^h 35^m 8^s.

Mond.

Sonne.

Mittl. Grw. Zt. 31. 3. = 16 ^h 35 ^m 8 ^s	Mittl. Grw. Zt. 31. 3. = 16 ^h 35 ^m 8 ^s
N. J. Taf. III = 16 ^h 2 ^m 37,70 ^s	Ztgl. = - 4 ^m 6 ^s
35 ^m 5,75 ^s	w. Grw. Zt. 31. 3. = 16 ^h 31 ^m 2 ^s
8,02 ^s	O-Lg = 5 ^h
Mittl. Zt. in Sternz. = 16 ^h 37 ^m 51,5 ^s	w. Ortszt. = 21 ^h 31 ^m 2 ^s
Sternz. 0 ^h 31. 3. = 0 ^h 33 ^m 48,5 ^s	$\odot t$. 31. 3. = 21 ^h 31 ^m 2 ^s W
Sternz. in Grw. = 17 ^h 11 ^m 40 ^s	$\odot t$. 1. 4. = - 2 ^h 28 ^m 58 ^s O
O-Lg = 5 ^h	= - 47 ^o 14' 30''
Sternz. am Ort = 22 ^h 11 ^m 40 ^s }	
(RA. = 20 ^h 32 ^m 30,6 ^s }	
$\odot t = 1^h 39^m 9,4^s$ W	
= 24 ^o 47' 21''	

$\odot t = +24^\circ 47,4'$ $\log \cos 9,95802$	$\odot t = -37^\circ 14,5'$ $\log \cos 9,90096$
$\varphi = -35^\circ 35,6'$ $\coty 0,14524n$ $\log \sin 9,76494n$	$\varphi \dots \dots \dots \coty 0,14524n$ $\log \sin 9,76494n$
$u = -51^\circ 44,9'$ $\log \tg 0,10326n$ $\log \sec 0,20822$	$u = -48^\circ 2,5'$ $\log \tg 0,04620n$ $\log \sec 0,17484$
$\odot d = 114^\circ 3,6'$ $\dots \dots \dots \log \cos 9,98654n$	$\odot d = 85^\circ 37,4'$ $\dots \dots \dots \log \cos 9,83913n$
$d-u = 165^\circ 48,5'$ $\dots \dots \dots \log \cos 9,98654n$	$d-u = 133^\circ 39,9'$ $\dots \dots \dots \log \cos 9,83913n$
$l' = 65^\circ 42'$ $\dots \dots \dots \log \sin l' 9,95970$	$h' = 36^\circ 57'$ $\dots \dots \dots \log \sin h' 9,77891$

C. Reduktion auf scheinbare Höhen.

Mond.

Sonne.

$l' = 65^\circ 42'$ $\log \cos 9,6144$	$h' = 36^\circ 57'$	
$P = 56' 47''$ $\log 3,5324$	Angenäherte Refr.	$p = -$ 7 ^{''} N. J. T. XII
$p = 23' 22''$ $\log 3,1468$	für:	Refr. = + 1' 17''
$l' - p = 65^\circ 19'$ $\log \cos 9,6197$	$65^\circ 19' = 27''$	$h = 36^\circ 58'$ ange-nähert
N. J. $\left. \begin{array}{l} 65^\circ 23' \log \cos 9,6197 \\ T. XVIII = + 4' \end{array} \right\}$	$l' - p = 65^\circ 18' 38''$	
$P = 56' 47''$	Für $l' = 65^\circ 19'$ Refr. 0' 27'' Refr. = + 1' 17''	
N. J. $\left. \begin{array}{l} 56' 43'' \log 3,5319 \\ T. XVIII = - 4' \end{array} \right\}$	Korr. f. Therm. 0' Korr. f. = - 2''	
$p = 23' 38''$ $\log p 3,1516$	- - Barom. 0' Korr. f. = + 1''	
$l' = 65^\circ 42'$	0' 27'' Barom.	
$l' - p = 65^\circ 18' 22''$	Refr. = + 1' 16''	
$l' - p = 65^\circ 18' 22''$	$p = -$ 7 ^{''}	
	$h' = 36^\circ 57'$	
	$h = 36^\circ 58' 9''$	

D. Reduktion der gemessenen Distanz der Ränder auf die Gestirnmittelpunkte.

$$\begin{array}{r}
 \text{☉} \ominus = 66^\circ 21' 51'' \\
 \text{☾} \ominus = 66^\circ 53' 36'' \text{ Dist. der Mittelpunkte.} \\
 \begin{array}{r}
 \text{N. J. Taf. XI} \\
 \text{XV (XVI)}
 \end{array}
 \begin{array}{r}
 \text{⊖} r = 15' 30'' \\
 + 14'' \\
 \hline
 0'' \\
 \hline
 15' 44''
 \end{array}
 \begin{array}{r}
 \text{⊙} r = 16' 2'' \\
 - 1'' \\
 \hline
 16' 1''
 \end{array}
 \end{array}$$

E. Berechnung der wahren Distanz.

$H' = 65^\circ 42'$	$\log \cos 9,61438$	} w. Höhen
$h' = 36^\circ 57'$	$\cos 9,90263$	
$H = 65^\circ 18' 49''$	$\sec 0,37919$	} scheinb. Höhen
$h = 36^\circ 58' 9''$	$\sec 0,09748$	
$\frac{1}{c}$	$\log \frac{1}{c} 9,99368$	9,99368
$d = 28^\circ 20' (40'')$	$\log \cos 9,94458$	$D = 66^\circ 53' (36'')$
$d'' = 29^\circ 50' 0''$		$D'' = 67^\circ 14' 10''$
		+ 36
$d'' = 29^\circ 50' 40''$	$\log \cos 9,93826$	$D'' = 67^\circ 14' 46''$
$d' = 28^\circ 45'$		$\log \cos 9,58766$
$d' - d'' = -1^\circ 5' 40''$	$\log 3,59550n$	
$\frac{d' + d''}{2} = 29^\circ 17' 50''$	$\log \sin 9,68961$	
$D'' = 67^\circ 14' 46''$	$\log \operatorname{cosec} 0,03518$	3518
$z_1 = -34' 51''$	$\frac{3,32029n}{+ 93}$	
$D'' + \frac{1}{2} z_1 = 66^\circ 57' 21''$		$\log \operatorname{cosec} 0,03611$
		93
$z_2 = -34' 55''$	$\frac{3,32122}{+ 93}$	
$D'' + z_2 = 66^\circ 39' 51''$		Korr. f. Abpl. N. J. Taf. XIX 5,5''
Korr. T. XX = -	$\frac{3''}{3''}$	XX - 3''

F. Greenwicher Zeit der Distanz und Länge des Orts.

N. J. 31. 3. $\left. \begin{array}{l} 15^h D_I = 67^\circ 26' 59'' \\ 18^h D_{II} = 65^\circ 56' 57'' \end{array} \right\} 3^h 10800 \log 4,03342$

$D_I - D_{II} = 1^\circ 30' 2''$ $\operatorname{colog} 6,26745 (= \log 10 - \log [D_I - D_{II}])$

$D_I - D' = 0^\circ 47' 11''$ $\log 3,45194$ $\frac{15^h}{15^h}$

$\log 3,75281$ $\dots \dots \dots 1^h 34^m 20^s$

Korr. N. J. Taf. I = + $\frac{6^s}{6^s}$

Mittl. Grw. Zt. $16^h 34^m 26^s$

Mittl. Orts-Zt. $21^h 35^m 8^s$

O-Lg = $\left\{ \begin{array}{l} 5^h 0^m 42^s \\ 75^\circ 10,5' \end{array} \right.$

3. Hätte man es unterlassen, die Winkel, welche die Distanz mit den Vertikalkreisen von Sonne und Mond macht, zu schätzen, so würde man dieselben durch eine oberflächliche Rechnung aus dem sphärischen Dreieck zwischen Zenith und beiden Gestirnen leicht bestimmen können, wie folgt:

Wie auch bei Gelegenheit der Azimuthberechnung abgeleitet, hat man zur Berechnung eines Winkels im sphärischen Dreieck aus den drei bekannten Seiten allgemein die Formeln:

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{\sin(s-b) \cdot \sin(s-c)}{\sin b \cdot \sin c}} \quad \text{oder} \quad \cos \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{\sin s \cdot \sin(s-a)}{\sin b \cdot \sin c}}$$

$$\text{worin } s = \frac{a + b + c}{2} \text{ ist.}$$

Daraus ergibt sich:

$$\sin^{1/2} \text{Winkels } \alpha (\text{Fig. 104}) = \sqrt{\frac{\cos s \cdot \sin(s-H)}{\cos H \cdot \sin D}}$$

$$\sin^{1/2} \text{Winkel } \beta (\text{Fig. 104}) = \sqrt{\frac{\cos s \cdot \sin(s-h)}{\cos h \cdot \sin D}}$$

$$\text{worin } s = \frac{1}{2}(D + H + h).$$

Also im obigen Beispiel:

Mond.	Sonne.
$h = 37^\circ$	$\log \sec$ 0,098
$H = 65^\circ$ $\log \sec$ 0,374	
$D = 66^\circ$ $\log \operatorname{cosec}$ 0,039	$\log \operatorname{cosec}$ 0,039
<u>168°</u>	
$s = 84^\circ$ $\log \cos$ 9,019	$\log \cos$ 9,019
$s - h = 42^\circ$ $\log \sin$ 9,826	
$s - H = 19^\circ$	$\log \sin$ 9,513
$2 \log \sin \frac{1}{2} \alpha$ 9,258	$2 \log \sin \frac{1}{2} \beta$ 8,669
$\frac{1}{2} \alpha = 25^\circ$ $\log \sin$ 9,629; $\frac{1}{2} \beta = 12,5^\circ$ $\log \sin$ 9,335	
$\alpha = 50^\circ$	$\beta = 25^\circ$

Fehler von 5° in der Schätzung haben auf das Resultat keinen Einfluss.

Die Frage, ob die wahre oder die scheinbare Distanz die grössere sein wird, ist im Allgemeinen nicht zu beantworten, ebensowenig wie die Frage, wie gross der Unterschied zwischen den beiden Distanzen zu erwarten ist. Es bleibt aber immer misslich, eine lange Rechnung führen zu müssen, für welche man keine auch nur angenäherte Kontrolle hat. Eine solche gewährt die Seite 338, 339 folgende Tafel.

Das Minuszeichen der Tafel zeigt an, dass die wahre Distanz die kleinere ist und umgekehrt. Die Zahlenwerthe beziehen sich auf

The purpose of this study was to determine the effect of the new method of teaching anatomy on the student's knowledge of the subject. The results of the study are as follows:

1. The students who received the new method of instruction showed a higher percentage of correct answers than those who received the old method.

Discussion

- (1) The new method of instruction is more effective than the old method.
- (2) The new method of instruction is more interesting than the old method.
- (3) The new method of instruction is more practical than the old method.
- (4) The new method of instruction is more economical than the old method.

Conclusion

The results of this study indicate that the new method of teaching anatomy is more effective, more interesting, more practical, and more economical than the old method. It is therefore recommended that the new method be adopted by all medical schools.

The author wishes to thank the following persons for their assistance in this study:

- Dr. J. H. Smith
- Dr. W. E. Jones
- Dr. R. L. Brown

Literature Cited

- 1. Smith, J. H. (1915) The effect of the new method of teaching anatomy. *Journal of the American Medical Association*, 64: 102-105.
- 2. Jones, W. E. (1916) The new method of teaching anatomy. *Journal of the American Medical Association*, 67: 102-105.
- 3. Brown, R. L. (1917) The new method of teaching anatomy. *Journal of the American Medical Association*, 68: 102-105.

The author wishes to express his appreciation to the following persons for their assistance in this study:

The author wishes to express his appreciation to the following persons for their assistance in this study:

The author wishes to express his appreciation to the following persons for their assistance in this study:

eine Horizontalparallaxe des Mondes von $53' 0''$. Bedeutet P die gegebene Horizontalparallaxe des Mondes, so sind die Zahlen (Minuten) der Tafel mit $\frac{P}{53}$ zu multipliciren.

In dem vorstehenden Beispiel hat man: $P = 56' 47''$, $H = 65^\circ 19'$, $h = 36^\circ 58'$, $D = 66^\circ 53' 36''$; damit findet man aus der Tafel interpolirt $-12'$; $-12' \cdot \frac{56' 47''}{53} = -13'$ also D' angenähert $66^\circ 53,6' - 13'$
 $= 66^\circ 40,6'$

(nach genauer Rechnung $66^\circ 39' 50''$).

4. Setzt man, nach Fig. 104 (Seite 326):

$$D' = D + (h - h') \cos \beta - (H' - H) \cos \alpha,$$

wo α und β die Winkel an den scheinbaren Gestirnsorten bezeichnen, so würde dies genau sein, wenn die Zirkelbögen, welche man aus dem Durchschnittspunkte der scheinbaren und wahren Distanz als Mittelpunkt beschreiben kann, genau mit den Perpendikeln $(h - h') \sin \beta$ und $(H' - H) \sin \alpha$ zusammenfielen. Es wird aber nach der Figur durch die obige Rechnung auf der Seite des Mondes zu viel abgeschnitten, und wenn man den Winkel α' am wahren Mondorte dazu benutzt hätte, so würde $(H' - H) \cos \alpha'$ sehr nahe eben so viel zu wenig sein. Dasselbe gilt auch auf der Seite des Sterns, wo nur $(h - h') \cos \beta$ zu viel und $(h - h') \cos \beta'$ zu wenig geben würde. Hieraus folgt, dass ein mittlerer Werth in beiden Fällen sehr nahe das genau Richtige geben muss. Dies kommt also darauf hinaus, die Winkel α und β für die Mittelpunkte zwischen den wahren und scheinbaren Gestirnsorten zu berechnen (Princip von Legendre), in ähnlicher Weise, wie man die Rechnung nach Mittelbreite anwendet, wo beide Breiten gleichberechtigt sind. Für diese Rechnungsweise ist dann also keine weitere Korrektion nöthig, indem man zur Berechnung von $\cos \alpha$ und $\cos \beta$ die Mittelwerthe

anwendet: $h + \frac{h-h'}{2}$, $H + \frac{H'-H}{2}$ und $D + \frac{D'-D}{2}$. Ent-

nimmt man die Grösse $D' - D$ genähert aus irgend einer anderen vorläufigen Rechnung oder aus der Uebersichtstafel der Unterschiede zwischen der scheinbaren und wahren Distanz, so wird auch keine Wiederholung der Rechnung erforderlich.

Uebersichts-Tafel des Unterschiedes zwischen der scheinbaren Mondes = 53' 0" und für

Scheinbare Höhen		Scheinbare Distanzen											
Stern h	Mond H	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°
5°	5°	+ 1'	0'	- 1'	- 1'	- 1'	- 2'	- 2'	- 3'	- 3'	- 4'	- 5'	- 6'
	10	+ 15	+ 9	+ 6	+ 3	+ 2	0	0	- 2	- 4	- 5	- 7	- 9
	20	+ 43	+ 27	+ 19	+ 13	+ 9	+ 5	+ 2	- 1	- 4	- 7	- 11	- 15
	30		+ 44	+ 31	+ 22	+ 15	+ 10	+ 5	+ 1	- 4	- 9	- 14	- 20
	40			+ 42	+ 30	+ 21	+ 14	+ 8	+ 2	- 4	- 10	- 17	- 25
	50				+ 37	+ 26	+ 17	+ 10	+ 3	- 4	- 11	- 19	
	60					+ 30	+ 20	+ 12	+ 4	- 4	- 12		
	70						+ 22	+ 13	+ 5	- 4			
	80							+ 14	+ 5	- 4			
	90												
10°	5°	- 12'	- 9'	- 7'	- 6'	- 6'	- 6'	- 6'	- 7'	- 8'	- 9'	- 10'	- 12'
	10	+ 1	0	- 2	- 3	- 4	- 5	- 6	- 7	- 9	- 11	- 13	- 16
	20	+ 25	+ 15	+ 9	+ 5	+ 2	- 2	- 4	- 7	- 10	- 13	- 18	- 23
	30	+ 50	+ 30	+ 20	+ 13	+ 7	+ 3	- 2	- 6	- 11	- 16	- 23	- 29
	40		+ 45	+ 30	+ 20	+ 12	+ 6	0	- 6	- 11	- 18	- 25	- 34
	50			+ 37	+ 26	+ 17	+ 9	+ 2	- 5	- 12	- 19	- 28	
	60				+ 31	+ 20	+ 11	+ 3	- 4	- 12	- 21		
	70					+ 23	+ 13	+ 4	- 4	- 13			
	80						+ 14	+ 5	- 4				
	90							+ 5					
20°	5°	- 34'	- 24'	- 19'	- 16'	- 15'	- 14'	- 14'	- 15'	- 15'	- 17'	- 19'	- 21'
	10	- 26	- 19	- 16	- 14	- 14	- 14	- 15	- 16	- 17	- 20	- 23	- 27
	20	- 2	- 4	- 6	- 7	- 9	- 11	- 13	- 16	- 19	- 23	- 28	- 35
	30	+ 21	+ 11	+ 5	0	- 4	- 8	- 12	- 16	- 21	- 26	- 33	- 42
	40	+ 42	+ 24	+ 14	+ 6	0	- 5	- 10	- 16	- 22	- 29	- 37	
	50		+ 36	+ 22	+ 12	+ 4	- 2	- 9	- 16	- 23	- 30		
	60			+ 28	+ 17	+ 8	0	- 8	- 15	- 23			
	70				+ 20	+ 10	+ 1	- 7	- 15				
	80					+ 12	+ 2	- 6					
	90						+ 3						
30°	5°		- 38'	- 30'	- 25'	- 23'	- 22'	- 21'	- 21'	- 22'	- 24	- 26	- 30'
	10	- 49'	- 34	- 28	- 24	- 23	- 22	- 22	- 23	- 25	- 28	- 31	- 37
	20	- 26	- 20	- 18	- 18	- 19	- 20	- 22	- 24	- 28	- 32	- 38	- 46
	30	- 4	- 6	- 9	- 11	- 14	- 17	- 20	- 24	- 29	- 35	- 43	
	40	+ 17	+ 7	0	- 5	- 10	- 14	- 19	- 24	- 31	- 38		
	50	+ 35	+ 18	+ 8	+ 1	- 6	- 12	- 18	- 24	- 32			
	60		+ 27	+ 15	+ 5	- 3	- 10	- 17	- 24				
	70			+ 20	+ 9	0	- 8	- 16					
	80				+ 11	+ 1	- 7						
	90					+ 2							
40°	5°			- 39'	- 34'	- 30'	- 28'	- 27'	- 28'	- 29'	- 30'	- 33'	- 38'
	10		- 48'	- 38	- 33	- 31	- 30	- 30	- 30	- 32	- 35	- 39	- 46
	20		- 48'	- 35	- 30	- 28	- 27	- 28	- 29	- 32	- 35	- 40	- 46
	30	- 25	- 21	- 20	- 21	- 23	- 25	- 28	- 32	- 37	- 43		
	40	- 5	- 8	- 12	- 15	- 19	- 22	- 27	- 32	- 38			
	50	+ 13	+ 3	- 4	- 9	- 15	- 20	- 26	- 32				
	60	+ 27	+ 12	+ 2	- 5	- 12	- 18	- 25					
	70		+ 19	+ 7	- 2	- 9	- 17						
	80			+ 10	0	- 8							
	90				+ 1								

Bei einer beliebigen anderen Horizontalparallaxe = P ist das Ergebniss der Tafel mit $\frac{P}{53}$ zu multipliciren, um die genäherte Korrektion der scheinbaren Distanz zu erhalten.

und wahren Mondstanz für die Horizontalparallaxe des die mittlere Refraktion.

Scheinbare Höhen		Scheinbare Distanzen											
Stern h	Mond H	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°
50°	5°				-41'	-36'	-34'	-33'	-33'	-34'	-36'	-40'	
	10			-48'	-41'	-38'	-36'	-36'	-36'	-38'	-41'	-46'	
	20		-48'	-40'	-36'	-35'	-35'	-36'	-38'	-42'	-46'		
	30	-45'	-34'	-30'	-29'	-30'	-32'	-35'	-39'	-43'			
	40	-24'	-21'	-22'	-23'	-26'	-29'	-33'	-39'				
	50	-6'	-10'	-14'	-18'	-22'	-27'	-33'					
	60	+8'	-1'	-8'	-13'	-19'	-25'						
	70	+20'	+6'	-3'	-10'	-17'							
	80		+10'	0'	-8'								
	90			+1'									
60°	5°					-41'	-39'	-37'	-37'	-38'	-41'		
	10				-47'	-43'	-41'	-40'	-41'	-43'	-46'		
	20			-48'	-43'	-40'	-40'	-41'	-43'	-47'			
	30		-45'	-39'	-36'	-36'	-37'	-40'	-44'				
	40	-40'	-32'	-30'	-30'	-32'	-35'	-39'					
	50	-22'	-21'	-22'	-25'	-28'	-33'						
	60	-8'	-12'	-16'	-21'	-25'							
	70	+3'	-5'	-11'	-17'								
	80	+9'	-1'	-9'									
	90		+1'										
70°	5°						-42'	-41'	-40'	-42'			
	10					-47'	-45'	-44'	-45'	-47'			
	20				-47'	-45'	-44'	-45'	-47'				
	30			-45'	-41'	-41'	-42'	-44'					
	40		-40'	-36'	-35'	-36'	-39'						
	50	-33'	-29'	-28'	-30'	-33'							
	60	-19'	-19'	-22'	-26'								
	70	-8'	-13'	-18'									
	80	-2'	-9'										
	90		0'										
80°	5°							-43'	-42'				
	10						-47'	-46'	-47'				
	20					-47'	-46'	-47'					
	30				-45'	-43'	-44'						
	40			-40'	-38'	-39'							
	50		-33'	-32'	-33'								
	60	-20'	-24'	-26'									
	70	-16'	-18'										
	80	-9'											
	90												
90°	5°								-47'				
	10							-47'					
	20												
	30												
	40												
	50				-33'	-39'							
	60			-26'									
	70	-18'											
	80												
	90												

Beispiel: $h = 50^\circ$, $H = 40^\circ$, $D = 70^\circ$, $P = 60' 30''$.

Die Tafel giebt $-29' \cdot \frac{60^{1/2}}{53} = -29' \cdot 1\frac{1}{7} = -33'$,

also die wahre Distanz $D' = D - 33' = 69^\circ 27'$ (genähert).

Unter den mannigfaltigen Formen zur Bestimmung von $\cos \alpha$ und $\cos \beta$ aus den 3 Seiten für den gegenwärtigen Zweck, hat man die Methode von Witchell (Naut. Alm. f. 1772) oft gern angewandt, wegen ihres bequemen Rechnungsschemas mit 4 genügenden Decimalstellen, und weil die geometrische Bedeutung der einzelnen Grössen dabei immer gegenwärtig bleibt zur Sicherung gegen Rechenfehler, auch weil das Rechnungsmaterial sich zu Nebenkorrekturen leicht verwenden lässt, so dass z. B. die Winkel an den Gestirnen nicht bei der Beobachtung (etwas unsicher) geschätzt zu werden brauchen. Die Methode besteht darin, von dem Zenith ein sphärisches Perpendikel auf die scheinbare Distanz zu fallen, wodurch diese in 2 Theile $\frac{1}{2} D + A$ und $\frac{1}{2} D - A$ zerlegt wird, so dass $\cos \alpha = \operatorname{tg} (\frac{1}{2} D - A) \operatorname{tg} H$ und $\cos \beta = \operatorname{tg} (\frac{1}{2} D + A) \operatorname{tg} h$, wenn H grösser als h ist, sonst ist jedenfalls, wegen der Lage des Perpendikels, mit der Summe $(\frac{1}{2} D + A)$ immer die kleinere Höhe, und mit der Differenz $(\frac{1}{2} D - A)$ die grössere Höhe anzuwenden. Die Bestimmung

von A ergibt sich aus den beiden Werthen $\frac{\sin H}{\cos (\frac{1}{2} D - A)}$
 $= \frac{\sin h}{\cos (\frac{1}{2} D + A)}$, wovon jeder den Kosinus des Perpendikels

ausdrückt. Hieraus folgt weiter

$$\begin{aligned} \frac{\sin H + \sin h}{\sin H - \sin h} &= \frac{\cos (\frac{1}{2} D - A) + \cos (\frac{1}{2} D + A)}{\cos (\frac{1}{2} D - A) - \cos (\frac{1}{2} D + A)} \\ &= \frac{2 \sin \frac{1}{2} (H + h) \cos \frac{1}{2} (H - h)}{2 \cos \frac{1}{2} D \cos A} \\ &= \frac{2 \cos \frac{1}{2} (H + h) \sin \frac{1}{2} (H - h)}{2 \sin \frac{1}{2} D \sin A} \end{aligned}$$

also $\operatorname{tg} \frac{1}{2} (H + h) \operatorname{cotg} \frac{1}{2} (H - h) \operatorname{tg} \frac{1}{2} D = \operatorname{cotg} A$. Die zu berechnenden Formeln sind daher:

$$\begin{aligned} \operatorname{cotg} \frac{1}{2} (H + h) \operatorname{tg} \frac{1}{2} (H - h) \operatorname{cotg} \frac{1}{2} D &= \operatorname{tg} A \\ \operatorname{tg} (\frac{1}{2} D + A) \operatorname{tg} h (h - h') &= s \\ \operatorname{tg} (\frac{1}{2} D - A) \operatorname{tg} H (H - H) &= m \\ D' &= D + s - m. \end{aligned}$$

Hierbei wird unter m immer die mit Mondeskorrektion $(H - H')$ berechnete Distanzkorrektion verstanden, und unter s die andere auf der Seite des Sterns oder der Sonne, und die Katheten s und m müssen allemal kleiner werden als die bekannten Hypotenusen $(h - h')$ und $(H - H)$; höchstens ebenso gross, wenn die Winkel an den Gestirnen sehr klein

sich um kleine Grössen ändern, also wenn a, b, c die 3 Seiten, A, B, C die gegenüberliegenden Winkel, δb und δc die gegebenen Aenderungen, δa aber die entsprechende gesuchte Aenderung bezeichnet, so verwandelt sich

$$\begin{aligned} \cos a &= \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A \text{ in folgende Gleichung} \\ \cos(a + \delta a) &= \cos(b + \delta b) \cos(c + \delta c) \\ &+ \sin(b + \delta b) \sin(c + \delta c) \cos A. \end{aligned}$$

Setzt man hierin den Werth von $\cos A$ aus der ersten Gleichung und entwickelt nach den Potenzen der kleinen Veränderungen den Ausdruck, indem man sich beschränkt auf $\cos \delta a = 1 - \frac{1}{2} \delta a^2$, $\sin \delta a = \delta a$ und ebenso bei den übrigen Grössen δb und δc , so entsteht nach gehöriger Reduktion:

$$\begin{aligned} \delta a &= \cos C \cdot \delta b + \cos B \cdot \delta c + \frac{1}{2} (\delta b^2 \sin^2 C + \delta c^2 \sin^2 B) \cotg a \\ &- \delta b \delta c \frac{\sin B \sin C}{\sin a} \end{aligned}$$

Die Anwendung hiervon auf das Dreieck für die Reduktion der Mondsdistanzen, wo $\delta b = -(H' - H)$, da die Zenithdistanz des Mondes sich durch die Parallaxe vermindert, während $\delta c = +(h - h')$ bleibt, giebt demnach:

$$\begin{aligned} D' - D &= (h - h') \cos \beta - (H' - H) \cos \alpha + \frac{1}{2} \{ (h - h')^2 \sin^2 \beta \\ &+ (H' - H)^2 \sin^2 \alpha \} \cotg D + (h - h') (H' - H) \frac{\sin \alpha \sin \beta}{\sin D} \end{aligned}$$

Die beiden letzten Theile sind noch mit $\sin 1''$ zu multiplizieren, um den Betrag in Sekunden auszudrücken. Der eine Theil hiervon, nämlich $\frac{1}{2} (h - h')^2 \sin^2 \beta \cotg D \sin 1''$ wird immer so klein, dass er selbst in einem extremen Falle für $\beta = 90^\circ$, $D = 20^\circ$ und $h - h' = 10' = 600''$ nur $2''$ beträgt, also füglich ganz weggelassen zu werden pflegt. Es bleibt daher übrig:

$$\begin{aligned} D' &= D + (h - h') \cos \beta - (H' - H) \cos \alpha + \frac{1}{2} (H' - H)^2 \sin^2 \alpha \cotg D \sin 1'' \\ &+ (h - h') (H' - H) \frac{\sin \alpha \sin \beta}{\sin D} \sin 1'' \end{aligned}$$

$$D' = D + s - m + 3. \text{Korr.} + 4. \text{Korr.}$$

Für die 3. Korr. $= \frac{1}{2} (H' - H)^2 (1 - \cos^2 \alpha) \cotg D \sin 1''$ ist in den meisten nautischen Tafeln eine Hülftafel vorhanden (Requisite Tables von Maskelyne Tab. 13, Norie Tab. 35, Breusing Tab. 21). Man entnimmt daraus mit D und $H - H'$ die Zahl $\frac{1}{2} (H' - H)^2 \cotg D \sin 1''$, darauf mit D und $(H' - H) \cos \alpha$ die andere Zahl $= \frac{1}{2} (H' - H) \cos^2 \alpha \cotg D \sin 1''$, so

dass der Unterschied beider Zahlen die 3. Korrektion giebt.

Für die 4. Korrektion = $(H' - H)(h - h') \frac{\sin \alpha \sin \beta}{\sin D} \sin 1''$

ist in den Nautischen Tafeln von Schaub eine Hülftafel gegeben, welche übrigens nur bis 10° Höhe herabgeht.

Zur Bestimmung dieser 4. Korrektion kann die kleine Tabelle dienen, welche den Faktor angiebt, womit die 3. Korrektion zu multipliciren ist, um die 4. Korrektion zu erhalten. Die 4. Korrektion ist stets positiv, weil nur Sinusse darin vorkommen, die ihr Zeichen für stumpfe Winkel nicht ändern. Solche Hülftabellen zur Entnahme der 3. und 4. Korrektion sind auf den am Schlusse beigefügten Tafeln IX und X gegeben. In den folgenden Beispielen sind diese Korrektionen nicht aus den Tafeln genommen, sondern berechnet.

Beispiel 1.

(Seite 333)

	$P = 56' 47''$				
	$h = 36° 58'$	$H = 65° 19'$	$D = 66° 53' 36''$		
Refr. u. Par.		1' 9"	23' 11"		
	$h = 36° 58'$				
	$H = 65° 19'$				
Summe =	102° 17'	51° 8,5'	$\log \cot g$ 9,9062		
Differ. =	28° 21'	14° 10,5'	tg 9,4024		
$D =$	66° 54'	33° 27'	$\cot g$ 0,1800	33° 27'	
	$A = 17° 7'$		$\log tg A$ 9,4886	17° 7'	
Summe	50° 34'		$\log tg$ 0,0849	Differ. = 16° 20'	$\log tg$ 9,4669
Kleinste Höhe	36° 58'		tg 9,8766	Grösste Höhe 65° 19'	tg 0,3376
Zugehör. Korr.	1' 9"		\log 1,8388	Korr. = 23' 11"	\log 3,1433
	$s = + 1' 3''$		$\log s$ 1,8003	$m = - 14' 47''$	$\log m$ 2,9478
	$D = 66° 53' 36''$	$H' - H = 23' 6''$			
	66° 54' 39"	$m = 14' 44''$			
	$m = - 14' 47''$	Summe 37' 50"	\log 3,356		
	66° 39' 52"	Differ. 8' 22"	\log 2,701		
3. Korr. =	+ 1"	$D = 66° 54'$	$\log \cot g$ 9,630		
4. Korr. =	0"	$\frac{1}{2} \sin 1''$	\log 4,385		
$D' = 66° 39' 53''$				0,072 .. 1,2'' = 3. Korr.	

Zusatz. Nach Bremiker's Methode war vorher 66° 39' 51'' gefunden. Wäre dort im ersten Theil der Rechnung mit mehr als 5 Dezimalen gerechnet, so würde $d'' = 29° 50' 36''$ (statt 40'') gefunden sein, ferner $z_2 = - 34' 53''$ und damit $D' = 66° 39' 53''$ in Uebereinstimmung mit Wittchell's Methode. Diese unter Umständen erforderliche, schärfere Rechnung mit mehr Decimalen der Logarithmen ist ein Mangel bei Bremiker's Methode, und ausserdem kann die Unterscheidung von dreierlei Distanzen D , D'' und D' auch für Ungeübte leicht zur Ursache von Rechenfehlern werden.

Beispiel 2.

$P = 54' 0''$
 $h = 44^\circ 0' \quad H = 29^\circ 0' \quad D = 104^\circ 0' 0''$
 Refr. u. Par. $- 1' 0'' \quad + 45' 31''$
 Die Berechnung giebt $A = 7^\circ 55'$ und damit
 $s = + 0' 56''$
 $m = - 43' 33''$
 3. Korr. $= 0$
 4. Korr. $= 0$
 $D = 104^\circ 0' 0''$
 $D' = 103^\circ 17' 23''$

Beispiel 3.

$P = 58' 0''$
 $h = 33^\circ 0' \quad H = 63^\circ 0' \quad D = 83^\circ 59' 58''$
 Refr. u. Par. $- 1' 28'' \quad + 25' 51''$
 woraus sich ergibt $A = 15^\circ 0'$ und ferner
 $s = + 1' 28''$
 $m = - 25' 51''$
 3. Korr. 0
 4. Korr. 0
 $D = 83^\circ 39' 58''$
 $D' = 83^\circ 35' 35''$

Beispiel 4.

$P = 57' 30''$
 $h = 6^\circ 0' \quad H = 12^\circ 0' \quad D = 24^\circ 0' 0''$
 Refr. u. Par. $- 8' 22'' \quad + 51' 51''$
 $6^\circ 0'$
 $12^\circ 0'$

Σ		
Summe $18^\circ 0'$	$9^\circ 0'$	$\log \cot g 0,8003$
Differ. $6^\circ 0'$	$3^\circ 0'$	$tg 8,7194$
$D = 24^\circ 0'$	$12^\circ 0'$	$\cot g 0,6725 \dots 12^\circ 0'$
$A = 57^\circ 17'$		$\log tg A 0,1922 \dots 57^\circ 17'$
Summe $69^\circ 17'$		$\log tg 0,4223$
Kleinste Höhe $6^\circ 0'$		$tg 9,0216$
Zugehör. Korr. $8' 22''$		$\log 2,7007$
$s = + 2' 19''$		$\log s 2,1446$
$m = + 11' 8''$		$m = + 11' 8'' \quad \log m 2,8247$
3. Korr. $= + 50''$		
4. Korr. $= + 18''$		
$D = 24^\circ 0' 0''$		
$D' = 24^\circ 14' 35''$		

$H' - H = 51' 51''$
 $m = 11' 8''$

Summe $62' 59'' \quad \log 3,577$
 Differ. $40' 43'' \quad \log 3,388$
 $D = 24^\circ 0' 0'' \quad \log \cot g 0,351$
 $\frac{1}{2} \sin 1'' \dots \log 4,385$

$1,701 \dots 50,2'' = 3. \text{Korr.}$

$\log \cos \beta = 9,442 \quad \log \cos \alpha = 9,332$, als Summe
 der beiden Tangenten.

$\log \sin \beta = 9,983$
 $\log \sin \alpha = 9,900$
 $\log \operatorname{cosec} D = 0,391$
 $\log (h - h') \dots 2,701$
 $\log (H' - H) \dots 3,493$
 $\log \sin 1'' \dots 4,686$

$1,244 \dots 17,5'' = 4. \text{Korr.}$

Hätte man also hier, wie es gewöhnlich geschieht, die 4. Korr. weggelassen, da sie in der Regel fast verschwindend gering ist, so würde die wahre Distanz um 18'' zu klein berechnet sein. Man kann diese 4. Korr. auch schon nahe genug aus der 3. Korr. finden, für welche seit mehr als 100 Jahren die angezeigte Hülftafel im Gebrauch ist. Das Verhältniss der beiden Korr. (3) und (4) ist nämlich

$$\frac{(4)}{(3)} = \frac{(h-h')(H'-H) \sin \alpha \sin \beta}{\frac{1}{2}(H'-H)^2 \sin^2 \alpha \cotg D \sin D} = \frac{2(h-h') \sin \beta}{(H'-H) \sin \alpha \cos D}$$

und wenn im Nenner angenähert $H' - H = P \cos H$ gesetzt wird, also mit Weglassung der Refraktion, so ist wegen

$$\cos H \sin \alpha = \cos h \sin \beta \text{ auch } \frac{(4)}{(3)} = \frac{2(h-h')}{P \cos h \cos D}, \text{ also}$$

$$4. \text{ Korr.} = 3. \text{ Korr.} \cdot \frac{2}{P} (h-h') \cdot \sec h \sec D.$$

Das würde im obigen Falle gegeben haben:

$$4. \text{ Korr.} = 50,2'' \cdot \frac{2}{57' 30''} \cdot 8' 22'' \cdot \sec h \sec D = 16,1'',$$

welches nur 1,4'' von der genauen Rechnung abweicht, und in den meisten Fällen, wenn die 4. Korr. überhaupt merklich ist, genügen wird.

Setzt man genähert $h-h' = 57'' \cotg h$ und $P = 57'$ als mittleren Werth, so wird zufolge der obigen Formel:

$$4. \text{ Korr.} = 3. \text{ Korr.} \cdot \frac{1}{30} \cdot \sec D \operatorname{cosec} h.$$

Hiernach ist die auf Tafel X des Anhangs enthaltene Faktoren-Tabelle zur Bestimmung der 4. Korrektion berechnet, welche

den Faktor $\frac{1}{30} \sec D \operatorname{cosec} h$ giebt, womit die aus der vorausgehenden Tafel entnommene 3. Korrektion zu multipliciren ist, um die 4. stets positive Korrektion zu erhalten.

Beispiel, worin die 3. und 4. Korrektion ungewöhnlich stark hervortreten und grösser sind, als die beiden sonstigen Hauptkorrektionen.

$$\begin{array}{llll} h = 6^\circ & H = 6^\circ & D = 10^\circ & P = 57' 0'' \\ r = 8' 22'' & p = 48' 20'' & & D = 10^\circ 0' 0'' \\ & & & s = + 4'' \\ & & & m = - 22'' \\ & & & 3. \text{ K.} = + 1' 56'' \\ & & & 4. \text{ K.} = + 37'' \\ & & & \hline & & & D' = 10^\circ 2' 15'' \end{array}$$

Beispiel, worin die 4. Korrektion den Betrag der dritten übersteigt

$$\begin{array}{rcl}
 h = 6^\circ & H = 6^\circ & D = 95^\circ 0' 0'' \\
 r = 8' 22'' & p = 48' 20'' & s = + 58'' \\
 & & m = - 5' 33'' \\
 & & 3. K. = + 2'' \\
 & & 4. K. = + 7'' = 2 \times 3,66 \\
 & & D' = 94^\circ 55' 30''
 \end{array}$$

6. Die kürzeste Berechnung der Mondsdistanzen geschieht im nautischen Gebrauch durch eine Formel, welche sich zunächst auf den Haupttheil beschränkt, nämlich die genäherte Bestimmung der Parallaxenwirkung des Mondes auf die Distanz. Alles Uebrige, also die Refractionswirkung, mit Einschluss der kleinen Korrekturen für die genäherte Parallaxenrechnung, wird dann einer Hülftafel entnommen, und diese Korrektion ist stets zu addiren, da die Refraktion beständig die scheinbare Distanz verkleinert. Die gewöhnliche Berechnung der Höhenkorrekturen fällt damit weg, und die Bestimmung der wahren Distanz erfordert kaum fünf Minuten Zeit, wenn die scheinbaren Höhen gegeben sind. Diese Methode ist für den Seegebrauch im Allgemeinen ausreichend, da sie die Distanz innerhalb 10'' genau giebt und in den meisten Fällen innerhalb 5'', wenn die Einschaltung aus der Hülftafel sicher genug ist. Auch kann sie als leicht zu erhaltende Kontrolle dienen, neben einer Rechnung nach irgend einer anderen Methode.

Die genäherte Parallaxenrechnung ergibt sich aus der Höhenparallaxe des Mondes $= P \cos H$. Ist α der Winkel am Monde (Fig. 104 Seite 326), so wird genähert

$$(H' - H) \cos \alpha = P \cos H \cos \alpha$$

das Stück, welches von der scheinbaren Distanz abzuziehen ist (so lange α spitz bleibt, oder zu addiren, wenn α stumpf wird), um die Distanz für die Hauptwirkung der Parallaxe zu berichtigen. Damit wird nun

$$D' = D - P \cos H \cos \alpha + K,$$

wo K die aus der Hülftafel (Tafel XI des Anhanges) zu entnehmende Korrektion für alles Uebrige bezeichnet. Diese Korrektion K wurde dadurch gefunden und in Tafeln gebracht, dass man die wahre Distanz streng berechnete und von dem Resultate die Grösse $D - P \cos H \cos \alpha$ abzog. (David Thomson's Lunar Tables, auch wieder abgedruckt in den Schriften von Bowditch, Tegner, Tuxen u. A. — Sie ist hier im Aus-

zuge beigegeben, in dem Umfange der früheren, nicht so genauen Tafel von Elford, der zuerst diese Rechnungsform einführte.) Zur Bestimmung von $\cos \alpha$ bedient man sich hierbei gewöhnlich der bekannten Formel

$$\cos \alpha = \frac{\sin h - \sin H \cos D}{\cos H \sin D}. \text{ Damit wird also}$$

$$D' = D - P \cdot \frac{\sin h}{\sin D} + P \cdot \frac{\sin H}{\operatorname{tg} D} + K$$

$$= D - I \quad + \text{II} \quad + \text{III}$$

und es ist I immer minus, II auch minus, wenn D grösser als 90° ist, sonst plus, und endlich III immer plus.

Beispiel 1. (Seite 333.)

$P = 56' 47''$	$\log 3,5324$	.....	$3,5324$
$h = 36^\circ 58''$	$\log \sin 9,7791$	$H = 65^\circ 19'$	$\log \sin 9,9584$
$D = 66^\circ 53' 36''$	$\operatorname{cosec} 0,0363$	.....	$\operatorname{cotg} 9,6300$
$I = - 37' 7''$	$\log 13,3478$		$\log \text{II } 3,1208$
	$66^\circ 16' 29''$		
	$\text{II} = + 22' 1''$		
$K = \text{III} = + 1' 26''$			
$D' = 66^\circ 39' 56''$			

Beispiel 2.

$P = 54' 0''$	$\log 3,5105$	.....	$3,5105$
$h = 44^\circ 0'$	$\log \sin 9,8418$	$H = 29^\circ 0'$	$\log \sin 9,6856$
$D = 104^\circ 0' 0''$	$\operatorname{cosec} 0,0131$	.....	$\operatorname{cotg} 9,3968$
$I = - 38' 40''$	$\log 13,3654$		$\log \text{II } 2,5929$
	$103^\circ 21' 20''$		
	$\text{II} = - 6' 32''$		
	$103^\circ 14' 48''$		
$K = \text{III} = + 2' 33''$			
$D' = 103^\circ 17' 21''$			

Beispiel 3.

$P = 58' 0''$	$\log 3,5416$	.....	$3,5416$
$h = 33^\circ 0'$	$\log \sin 9,7361$	$H = 63^\circ 0'$	$\log \sin 9,9499$
$D = 83^\circ 59' 58''$	$\operatorname{cosec} 0,0024$	.....	$\operatorname{cotg} 9,0216$
$I = - 31' 46''$	$\log 13,2801$		$\log \text{II } 2,5131$
	$83^\circ 28' 12''$		
	$\text{II} = + 5' 26''$		
$K = \text{III} = + 1' 56''$			
$D' = 83^\circ 35' 34''$			

Beispiel 4.

$$\begin{array}{r}
 P = 57' 30'' \quad \log 3,5378 \quad \dots\dots\dots 3,5378 \\
 h = 6^\circ 0' 0'' \quad \log \sin 9,0192 \quad H = 12^\circ 0' \quad \log \sin 9,3179 \\
 D = 24^\circ 0' 0'' \quad \operatorname{cosec} 0,3907 \quad \dots\dots\dots \operatorname{cotg} 0,3514 \\
 I = - 14' 47'' \quad \log I 2,9477 \quad \dots\dots\dots \log II 3,2078 \\
 \quad \quad \quad 23^\circ 45' 13'' \\
 II = + 26' 51'' \\
 III = + 2' 36'' \\
 D' = 24^\circ 14' 40''
 \end{array}$$

Zur Berücksichtigung des Barometerstandes = B in Millimetern und des Thermometerstandes = T in Centesimalgraden ist die in der Tafel gegebene Zahl noch zu multiplizieren mit dem Faktor:

$$\frac{B}{762} \left(1 - \frac{T - 13}{273} \right).$$

XV. Kapitel.

Längenbestimmung durch Beobachtung von Sternbedeckungen.

§ 107. Die absolute Längenbestimmung durch Beobachtung der Bedeckung anderer Gestirne durch den Mond ist insofern der Methode der Mondstrecken verwandt, als auch hier das schnelle Fortschreiten des Mondes in seiner Bahn benutzt wird, um den Zeitpunkt der Beobachtung mit grosser Genauigkeit aus den Koordinaten des Mondorts abzuleiten. Da der Mond das der Erde bei weitem nächste Gestirn ist, so muss er auch successive alle diejenigen Gestirne einmal unserm Anblick entziehen, welche sich in der Zone seiner Bewegung an der Himmelskugel befinden.

Der Moment des Verschwindens eines Sterns hinter der Mondscheibe wird wegen der beträchtlichen Mondparallaxe nicht an allen Orten auf der Erdoberfläche zu gleicher Zeit

gesehen. Da aber der Werth dieser Parallaxe genau genug bekannt ist, so kann man den Einfluss derselben auf die Koordinaten des beobachteten (scheinbaren) Mondortes bestimmen. Man stellt die Relation fest zwischen Rektascension und Deklination des Ortes, welchen der Mond, vom Beobachter aus gesehen, an der Himmelskugel zur Zeit des Phänomens einnimmt, und Rektascension und Deklination des wahren Mondortes für denselben Zeitpunkt (d. h. des Mondortes an der Himmelskugel, vom Erdmittelpunkt aus gesehen). Im Folgenden ist dies in den Gleichungen I und II geschehen.

Wenn man nun die Gleichungen aufstellt, welche die Bedingungen der Berührung des Sterns mit der Mondscheibe, vom Beobachter aus gesehen, enthalten (im Folgenden die Gleichungen III und IV), so kann man mit Hülfe der vorher ermittelten Relation die scheinbare Rektascension und Deklination des Mondortes in diesen Gleichungen durch dieselben wahren Koordinaten ausdrücken. (Im Folgenden ist dies in den Gleichungen V und VI geschehen.) Durch die so gewonnenen Gleichungen sind die Bedingungen präcisirt, welche für eine Berührung der beiden Gestirne allgemein gelten. Man muss also die Beobachtungsepoche angenähert kennen und kann dann mit Hülfe der Ephemeriden des Mondes in einem astronomischen Jahrbuch durch Annäherung zurückschliessen auf die genaue Zeit, für welche die in der Bedingungsgleichung gegebenen Werthe der Mondkoordinaten gelten. Die so ermittelte Zeit ist nach Einrichtung der Ephemeriden die mittlere Zeit des zu Grunde liegenden Nullmeridians und ergiebt durch Vergleichung mit der bekannten Ortszeit der Beobachtung die Länge in Zeit für den Beobachtungsort.

Ueber die Anwendbarkeit dieser Methode zur See sagt Raper (*Practice of Navigation*): „Diese Beobachtung liefert bei günstigen Beobachtungsverhältnissen äusserst zuverlässige Resultate, weil dieselbe sowohl momentan, als auch unabhängig von Instrumentenfehlern ist. An Bord hindert die Schiffsbewegung das Fernrohr, welches fast immer nöthig ist, ruhig nach dem Monde gerichtet zu halten; in Folge dessen ist die Methode an Bord selten angewendet. Der genaue Moment ist aber nicht unter allen Umständen nothwendig, es genügt, wenn der Beobachter gewiss ist, dass er in einem Augenblick den Stern gesehen hat und in einem anderen nicht mehr. Der Gesamtfehler in der Beobachtungszeit und

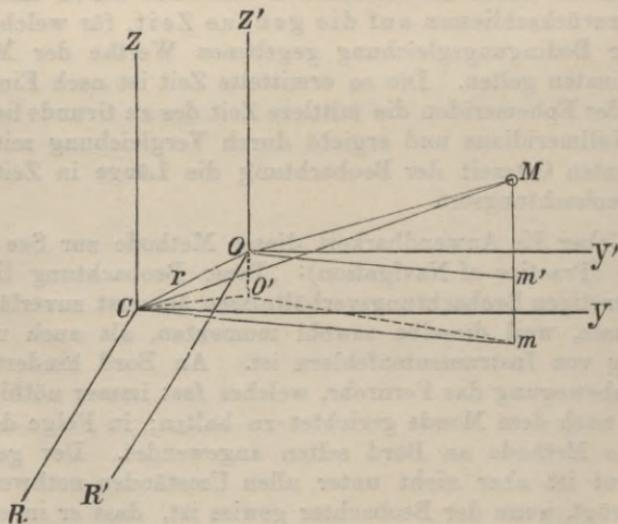
daher in der Länge selbst kann nämlich die Zeitdifferenz dieser beiden Momente nicht überschreiten.“

Die günstigsten Verhältnisse für die Beobachtung finden statt, wenn der Eintritt des Sterns nahe dem der Mondbahn parallelen Durchmesser des Mondes stattfindet; da die Unsicherheit der Mondtafeln dann den geringsten Einfluss ausübt. Man nimmt den Werth der Beobachtung einer Sternbedeckung der Länge der Sehne proportional an, welche der Stern hinter der Mondscheibe zurücklegt.

Die Bedeckung durch den dunklen Mondrand ist am günstigsten, weil die Lichtstärke des Mondes nicht immer gestattet, den Stern in unmittelbarer Nähe des erleuchteten Randes zu sehen. Hat man eine feste Fernrohraufstellung, so ist der Sternaustritt beim letzten Viertel am vortheilhaftesten. Man verfolgt dann leicht den Stern bis zum Eintritt in den hellen Rand und kann den plötzlichen Austritt aus dem dunklen Rande sehr scharf beobachten.*)

Die folgende kurze Darstellung der Bessel'schen Rechenmethode ist entnommen aus Dubois, „Cours d'Astronomie“, jedoch sind die Rechnungsvorschriften der in dem „Nautischen Jahrbuch“ angegebenen Methode angepasst, ohne indess überall die dort gebrauchte Bezeichnung zu adoptiren.

Fig. 105.



*) Sawitsch, Praktische Astronomie.

Es sei in Figur 105 C der Mittelpunkt der Erde, RCY die Ebene des Aequators, RC die Richtung nach dem Frühlingspunkte, CZ und CY die zu dieser rechtwinkligen Koordinatenachsen. Es sei ferner O der Beobachtungspunkt an der Erdoberfläche, also $CO = r$ der Erdhalbmesser für diesen Ort. OZ' , OY' und OR' seien parallel den Richtungen CZ , CY und CR . Endlich sei M der Ort des Mondes und m und m' seine Projektion in den Ebenen RCY und $R'OY'$. Dann ist:

$$\begin{aligned} \angle MCm &= \delta \text{ (wahre Deklination des Mondes),} \\ \angle MOm' &= \delta' \text{ (scheinbare Deklination des Mondes),} \\ \angle R Cm &= \alpha \text{ (wahre Rektascension des Mondes),} \\ \angle R'O m' &= \alpha' \text{ (scheinbare Rektascension des Mondes)} \end{aligned}$$

und wenn O' die Projektion des Beobachtungsortes auf die Ebene RCY ist:

$$\begin{aligned} \angle COO' &= \varphi' \text{ (geocentrische Breite),} \\ \angle O'CR &= \gamma \text{ (die Sternzeit der Beobachtung).} \end{aligned}$$

Die Entfernung CO des Beobachtungsortes vom Mittelpunkt des Erdsphäroids sei $= r$ und es sei für alle Entfernungen der Aequatorial-Halbmesser der Erde als Einheit angenommen.

Man sieht leicht ein, dass die Koordinaten des Beobachtungsortes in Bezug auf die 3 Koordinatenachsen CR , CY und CZ gleich der Differenz der entsprechenden Koordinaten des Mondes mit Bezug auf dieselben Axen und derjenigen mit Bezug auf die Axen OR' , OY' und OZ' sind, so dass:

$$\begin{aligned} r \cos \varphi' \sin \gamma &= CM \cos \delta \sin \alpha - OM \cos \delta' \sin \alpha' \\ r \cos \varphi' \cos \gamma &= CM \cos \delta \cos \alpha - OM \cos \delta' \cos \alpha' \\ r \sin \varphi' &= CM \sin \delta - OM \sin \delta'. \end{aligned}$$

Dividiren wir durch CM und bedenken, dass der Quotient

$$\frac{1}{CM} = \sin P,$$

d. h. gleich dem Sinus der Horizontal-Aequatorial-Parallaxe ist, und bezeichnen wir $\frac{OM}{CM}$ mit Δ , so erhalten wir die

3 Gleichungen:

$$\begin{aligned} \text{I. } \Delta \cos \delta' \sin \alpha' &= \cos \delta \sin \alpha - r \cos \varphi' \sin \gamma \sin P \\ \text{II. } \Delta \cos \delta' \cos \alpha' &= \cos \delta \cos \alpha - r \cos \varphi' \cos \gamma \sin P \\ \text{III. } \Delta \sin \delta' &= \sin \delta - r \sin \varphi' \sin P. \end{aligned}$$

Diese Gleichungen gestatten, die scheinbare Rektascension und Deklination des Mondes durch die wahre auszudrücken.

Bei der Beobachtung der Berührung des Sterns mit dem Mondrande hat man das sphärische Dreieck am Pol zu be-

trachten, dessen Seiten die scheinbaren Poldistanzen des Sterns und des Mondmittelpunkts und der scheinbare Radius der Mondscheibe am Berührungspunkte sind.

Es bezeichne:*)

D die Deklination des Sterns,

A die Rektascension des Sterns,

q' den scheinbaren Mondradius des Berührungspunktes,

S den Winkel am Stern in diesem Dreieck.

Der Winkel S ist kleiner als 180° und α' kleiner als A beim Verschwinden des Sterns hinter der Mondscheibe, aber grösser als 180° und α' grösser als A beim Wiedererscheinen des Sterns.

In dem sphärischen Dreieck MSP (Fig. 106) hat man die bekannten Gleichungen des sphärischen Dreiecks:

$$\text{IV. } \sin q' \sin S = -\cos \delta' \sin (\alpha' - A)$$

$$\text{V. } \sin q' \cos S = \sin \delta' \cos D - \cos \delta' \sin D \cos (\alpha' - A).$$

Löst man $\sin (\alpha' - A)$ und $\cos (\alpha' - A)$ auf und substituirt für $\cos \delta' \sin \alpha'$, $\cos \delta' \cos \alpha'$ und $\sin \delta'$ ihre Werthe aus I, II und III, so erhält man:

$$\text{VI. } \Delta \sin q' \sin S = -\cos \delta \sin (\alpha - A) + r \cos \varphi' \sin P \sin (\gamma - A)$$

$$\text{VII. } \Delta \sin q' \cos S = \sin \delta \cos D - \cos \delta \sin D \cos (\alpha - A) - \sin P [r \sin \varphi' \cos D - r \cos \varphi' \sin D \cos (\gamma - A)].$$

Zwischen dem scheinbaren und dem wahren Mondradius besteht die Relation:

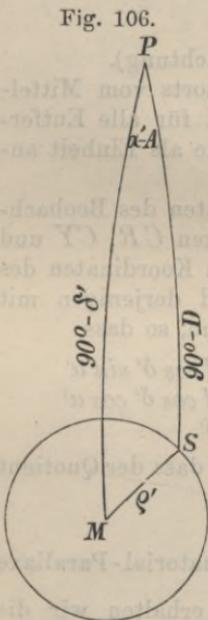
$$\frac{\sin q'}{\sin q} = \frac{CM}{OM} = \frac{1}{\Delta}$$

daher:

$$\Delta \sin q' = \sin q.$$

Die absolute Grösse des Mondradius ist $= CM \sin q$, (z. B. in Kilometern, wenn CM in Kilometern ausgedrückt

*) Im Nautischen Jahrbuch wird die Rektascension und Deklination des Sterns mit α und δ bezeichnet, während die Kenntniss der gleichen Grössen für den Mond, wie wir sehen werden, nicht erforderlich ist.



ist). Wir haben als Einheit des Längenmaasses den Aequatorial-Halbmesser der Erde angenommen, und in diesem Maasse ist $CM = \frac{1}{\sin P}$, also ist der Mondradius in dieser Einheit ausgedrückt $= \frac{\sin \varrho}{\sin P}$. Diese Grösse ist naturgemäss eine

Konstante, und wir bezeichnen sie mit k , so dass $\frac{\sin \varrho}{\sin P} = k = 0,2725$ ($\log k = 9,43606$) ist. Führen wir diesen Werth in VI und VII ein, so gehen diese Gleichungen über in:

$$\text{VIII. } k \sin S = -\frac{\cos \delta \sin (\alpha - A)}{\sin P} + r \cos \varphi' \sin (\gamma - A)$$

$$\text{IX. } k \cos S = \frac{\sin \delta \cos D - \cos \delta \sin D \cos (\alpha - A)}{\sin P} - [r \sin \varphi' \cos D - r \cos \varphi' \sin D \cos (\gamma - A)].$$

In diesen Formeln enthält nur das zweite Glied der rechten Seite Grössen, welche vom Ort der Beobachtung abhängig sind.

Um den Winkel S zu eliminiren, quadriren wir VIII und IX und addiren sie; dies giebt:

$$\text{X. } k^2 = \left[\frac{\cos \delta \sin (\alpha - A)}{\sin P} - r \cos \varphi' \sin (\gamma - A) \right]^2 + \left[\frac{\sin \delta \cos D - \cos \delta \sin D \cos (\alpha - A)}{\sin P} - r \sin \varphi' \cos D + r \cos \varphi' \sin D \cos (\gamma - A) \right]^2$$

Setzt man hierin:*)

$$1. \quad p = \frac{\cos \delta \sin (\alpha - A)}{\sin P}$$

$$2. \quad q = \frac{\sin \delta \cos D - \cos \delta \sin D \cos (\alpha - A)}{\sin P}$$

$$3. \quad u = r \cos \varphi' \sin (\gamma - A)$$

$$4. \quad v = r \sin \varphi' \cos D - r \cos \varphi' \sin D \cos (\gamma - A)$$

so ist:

$$\text{XI. } k^2 = (p - u)^2 + (q - v)^2.$$

*) Sonst wurde in diesem Buche mit p die Höhenparallaxe bezeichnet, es wird wohl keine Verwechslung hervorrufen, dass dieser Buchstabe hier in einer anderen Bedeutung erscheint.

Die Grössen $r \sin \varphi'$ und $r \cos \varphi'$ findet man aus der geographischen Breite φ durch folgende Formeln, welche sich aus der Mittelpunktsgleichung der Ellipse ergeben, wenn wir die Excentricität des Erdmeridians mit e bezeichnen:

$$r \sin \varphi' = \frac{(1 - e^2) \sin \varphi}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}}, \quad r \cos \varphi' = \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}}$$

Setzen wir hierin $e \sin \varphi = \sin \vartheta$, so wird:

$$r \sin \varphi' = (1 - e^2) \sec \vartheta \sin \varphi, \quad r \cos \varphi' = \cos \varphi \sec \vartheta.$$

$$\log e = 8,912205, \quad \log(1 - e^2) = 9,997092.$$

Auf Seite XXII der „Erklärung“ zu dem Nautischen Jahrbuch findet sich eine kleine Hülftabelle, durch welche die Berechnung von $\log r \sin \varphi'$ und $\log r \cos \varphi'$ sehr erleichtert wird. Dieselbe enthält nämlich für das Argument φ die Grössen:

$$c = \log \sec \vartheta$$

und $s = \log \cos \vartheta - \log(1 - e^2)$

Dann ist:

$$\log r \cos \varphi' = \log \cos \varphi + c$$

$$\log r \sin \varphi' = \log \sin \varphi - s$$

Die Grössen p und q stellen den (in Theilen des Radius ausgedrückten) Unterschied resp. der Rektascension und Declination des wahren Mond- und Sternorts zur Beobachtungszeit dar. Man kann nun annehmen, dass während einer kurzen Zeit die Bewegung des Mondes gleichmässig vor sich gehe, dass daher p und q sich ebenfalls gleichmässig ändern werden. Bezeichnen wir die Aenderung dieser Grössen in 1^h mittlerer Zeit resp. mit p' und q' und haben p und q zur Zeit T_0 die Werthe p_0 und q_0 , so werden sie zur Zeit $T_0 + t$ die Werthe

$$p = p_0 + p' t$$

$$q = q_0 + q' t$$

annehmen.

Da $\alpha - A$ immer eine sehr kleine Grösse ist und ebenfalls δ von D niemals viel verschieden sein kann, so können wir ohne erheblichen Fehler setzen $\sin(\alpha - A) = \alpha - A$, $\cos(\alpha - A) = 1$, $\sin(\delta - D) = \delta - D$ und $\sin P = P$, dann wird aber:

$$p = \frac{\cos \delta}{P} (\alpha - A), \quad q = \frac{\delta - D}{P}$$

woraus folgt:

$$p' = \frac{\cos \delta}{P} \frac{d\alpha}{dt}, \quad q' = \frac{1}{P} \frac{d\delta}{dt}$$

wenn $\frac{d\alpha}{dt}$ und $\frac{d\delta}{dt}$ die stündlichen Aenderungen der Rektascension und Deklination des Mondes bedeuten (in Bogensekunden ausgedrückt, wenn P in solchen gegeben ist).

Setzen wir $p' = n \sin N$ und $q' = n \cos N$, so ist die ganze Bewegung des Mondes in seiner Bahn $= n = \sqrt{p'^2 + q'^2}$ und ihre Richtung bildet mit dem Stundenkreise durch den Mondmittelpunkt den Winkel N .

Im Nautischen Jahrbuch finden sich nun unter der Rubrik „Elemente der Sternbedeckungen“ für alle Sterne der 1. bis 4. Grösse, welche im Laufe des Jahres an irgend einem Orte der Erde vom Monde bedeckt gesehen werden können, die folgenden Angaben: 1. Datum, Name und Grösse des Sterns, 2. der scheinbare Ort des Sterns (A und D), 3. die Breitenparallelen, innerhalb welcher allein die Bedeckung gesehen werden kann, 4. die mittlere Greenwicher Zeit T_0 der Konjunktion von Mond und Stern in Rektascension, wie sie vom Mittelpunkt der Erde gesehen wird, 5. die Grösse q_0 , der Deklinationsunterschied des Mondmittelpunkts und des Sterns in dem Augenblicke der Konjunktion (T_0), gleichfalls vom Mittelpunkt der Erde gesehen, 6. die Grössen $\log n$ und N , welche den Betrag und die Richtung der Bewegung des Mondes in 1^h mittlerer Zeit angeben.

Unter Benutzung dieser Grössen wird nun im Augenblicke der Beobachtung, ausgedrückt in Greenwicher Zeit $= T_0 + t$, sein:

$$p = p' t = n \sin N \cdot t$$

$$q = q_0 + q' t = q_0 + n \cos N \cdot t$$

und wenn wir diese Grössen in XI einsetzen, so erhalten wir

$$k^2 = (n \sin N \cdot t - u)^2 + (q_0 - v + n \cos N \cdot t)^2$$

und wenn wir hierin noch setzen:

$$m \sin M = -u$$

$$m \cos M = q_0 - v$$

so ist:

$$k^2 = (n \sin N \cdot t + m \sin M)^2 + (m \cos M + n \cos N \cdot t)^2$$

$$= n^2 t^2 + m^2 + 2 m n \cos (M - N) \cdot t$$

woraus sich zur Bestimmung der Unbekannten t die quadratische Gleichung:

$$t^2 + 2 \frac{m}{n} \cos(M-N) t = \frac{k^2 - m^2}{n^2}$$

ergiebt. Die Auflösung dieser Gleichung giebt:

$$\begin{aligned} t &= -\frac{m}{n} \cos(M-N) \pm \frac{k}{n} \sqrt{1 - \frac{m^2}{k^2} \sin^2(M-N)} \\ &= -\frac{m}{n} \cos(M-N) \pm \frac{k}{n} \sin \psi \\ &= -\tau \pm \Delta T \end{aligned}$$

wenn wir setzen:

$$\tau = \frac{m}{n} \cos(M-N)$$

$$\cos \psi = \frac{m}{k} \sin(M-N)$$

$$\Delta T = \frac{k}{n} \sin \psi$$

Endlich ist

a) die mittlere Greenwicher Zeit des Eintritts

$$= T_0 - \tau - \Delta T$$

b) die mittlere Greenwicher Zeit des Austritts

$$= T_0 - \tau + \Delta T$$

und die Differenz dieser Zeit gegen die mittlere Ortszeit der Beobachtung giebt die Länge.

Um kurz zu rekapituliren ist der Gang der Rechnung demnach folgender:

1. Aus der mittleren Ortszeit der Beobachtung bestimme man mit Hülfe der genäherten Länge die Sternzeit γ der Beobachtung und hieraus den Stundenwinkel $(\gamma - A)$ des Sterns zur Zeit der beobachteten Bedeckung. Der Stundenwinkel westlich vom Meridian ist mit $+$, östlich mit $-$ zu bezeichnen.

2. Aus der Ortsbreite und den Zahlen des Täfelchens auf S. XXII des Nautischen Jahrbuchs berechne man:

$$\log r \cos \varphi' = \log \cos \varphi + c$$

$$\log r \sin \varphi' = \log \sin \varphi - s$$

3. Mit dem Stundenwinkel $(\gamma - A)$ und der Deklination D des Sterns, sowie den nach 2. bestimmten Werthen berechne man:

$$\begin{aligned} u &= r \cos \varphi' \sin (\gamma - A) \\ v &= r \sin \varphi' \cos D - r \cos \varphi' \sin D \cos (\gamma - A) \\ m \sin M &= -u = -r \cos \varphi' \sin (\gamma - A) \\ m \cos M &= q_0 - v \end{aligned}$$

(q_0 aus den „Elementen der Sternbedeckungen“ zu entnehmen) und bestimme

$$M \text{ aus } \operatorname{tg} M = \frac{m \sin M}{m \cos M} = -\frac{u}{q_0 - v}$$

so dass $\sin M$ dasselbe Vorzeichen wie $-u$ und $\cos M$ dasselbe Vorzeichen wie $q_0 - v$ erhält, und

$$m \text{ aus } \frac{m \sin M}{\sin M} \text{ oder } \frac{m \cos M}{\cos M}$$

4. Mit den aus den „Elementen der Sternbedeckungen“ zu entnehmenden Werthen $\log n$ und N , sowie den nach 3. ermittelten Werthen $\log m$ und M und dem Werthe $\log k = 9,4361$ berechne man nunmehr:

$$\tau = \frac{m}{n} \cos (M - N)$$

$$\cos \psi = \frac{m}{k} \sin (M - N)$$

$$\Delta T = \frac{k}{n} \sin \psi$$

ψ ist hierbei zwischen 0 und 180° zu nehmen, so dass $\sin \psi$ stets positiv wird.

5. Hiernach hat man:

a) Mittlere Greenwicher Zeit des Eintritts

$$T_1 = T_0 - \tau - \Delta T$$

b) Mittlere Greenwicher Zeit des Austritts

$$T_2 = T_0 - \tau + \Delta T$$

(T_0 ist den „Elementen der Sternbedeckungen“ zu entnehmen).

Die Differenz der gefundenen mittleren Greenwicher Zeit der Bedeckung und der mittleren Ortszeit der beobachteten Bedeckung giebt die Länge in bekannter Weise. Die Rechnung ist zu wiederholen, falls die ermittelte Länge von der in Rechnung genommenen genäherten Länge so beträchtlich abweicht, dass hierdurch der nach 1. berechnete Stundenwinkel eine bedeutende Aenderung erfährt.

Noch ist zu bemerken, dass durch die Formeln unter 4 τ und ΔT in Stunden und Bruchtheilen mittlerer Zeit gefunden werden.

Beispiel.

An Bord S. M. S. „Gazelle“ wurde am 23. August 1874 um 10^h 19^m 25,8^s mittlerer Ortszeit, als man sich nach dem Besteck in etwa 4° 43,6' S-Br und 7° 45,3' W-Lg befand, der Eintritt von τ Sagittarii in den Mondrand beobachtet. Gesucht wird hieraus die wahre Länge.

Da das Nautische Jahrbuch im Jahre 1874 die Elemente der Sternbedeckungen noch nicht brachte, so müssen wir dieselben selbst ermitteln. Hierzu dienen folgende dem Nautical Almanac entnommene Zahlen:

Für $T_0 = 10^h 32^m 43^s$: $\delta = -27^\circ 42' 3,9''$
 $D = -27^\circ 51' 12,7''$

$\delta - D = + 9' 8,8''$ (s. auch N. A. S. 457, wo $\delta - D = 9' 9'' N$ angegeben wird.)
 $= + 548,8''$

$\frac{d\alpha}{dt} = + 2^m 29,53^s = + 2242,95''$

$\frac{d\delta}{dt} = + 2' 35,7'' = + 155,7''$

$P = 57' 20,9'' = 3440,9''$

$\log(\delta - D) = 2,73941$ $\log \frac{d\alpha}{dt} = 3,35082$ ($\log Pp' = 3,29796$)

$\log P = 3,53667$ $\log \cos \delta = 9,94714$ $\log \sin N = 9,99867$

$\log q_0 = 9,20274$ ($\log Pp' = 3,29796$) $3,29929$

$q_0 = +0,1595$ $\log \frac{d\delta}{dt} = 2,19229$ $\log P = 3,53667$

$\log \operatorname{tg} N = 1,10567$ $\log n = 9,76262$
 $N = 85^\circ 31'$

Wir können nunmehr zur Berechnung der Länge übergehen.

Mittl. Ortszt. d. Beob. =	10 ^h 19 ^m 25,8 ^s	Gegeben:	
W-Lg in Zeit =	+ 31 ^m 2 ^s	$A =$	18 ^h 59 ^m 7,3 ^s
Mittl. Greenw. Zeit =	10 ^h 50 ^m 27,8 ^s	$D =$	-27° 51' 13''
Reduktion auf Sternzeit =	+ 1 ^m 46,9 ^s	$T_0 =$	10 ^h 32 ^m 43 ^s
Sternzt. im mittl. Mittage =	10 ^h 6 ^m 26,2 ^s	$q_0 =$	+0,1595
Greenw. Sternzeit =	20 ^h 58 ^m 40,9 ^s	$\log n =$	9,7626
W-Lg in Zeit =	- 31 ^m 2 ^s	$N =$	85° 31'
Orts-Sternzeit = $\gamma =$	20 ^h 27 ^m 38,9 ^s		
Rektasc. d. Sterns = $A =$	18 ^h 59 ^m 7,3 ^s		
Sidnw.d.Sterns = $\gamma - A =$	+ 1 ^h 28 ^m 31,6 ^s		
	= + 22° 7,9'		

CHAPTER I
THE EARLY HISTORY OF THE UNITED STATES
FROM 1492 TO 1776

THE EARLY HISTORY OF THE UNITED STATES
FROM 1492 TO 1776

THE EARLY HISTORY OF THE UNITED STATES
FROM 1492 TO 1776

THE EARLY HISTORY OF THE UNITED STATES

THE EARLY HISTORY OF THE UNITED STATES
FROM 1492 TO 1776

THE EARLY HISTORY OF THE UNITED STATES
FROM 1492 TO 1776

... ..

...

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

$\varphi = -4^{\circ} 43,6'$. . . $\log \cos \varphi = 9,99852$ Naut. J. S. XXII . . . $c = 2$ $\log r \cos \varphi' = 9,99854$ $\log \sin D = 9,66951n$ $\log \sin (\gamma - A) = 9,57604$ $\log \cos (\gamma - A) = 9,96676$ $\log r \cos \varphi' \sin D \cos (\gamma - A) = 9,63481n$ $\log r \cos \varphi' \sin (\gamma - A) = \log u = 9,57458$ $\log m \sin M = \log (-u) = 9,57458n$ $\log m \cos M = \log (q_0 - v) = 9,29973n$ $\log \operatorname{tg} M = 0,27485$ $\log \sin M = 9,94607n$ $\log m = 9,6285$	$\log \sin \varphi = 8,91594n$ $s = 288$ $\log r \sin \varphi' = 8,91306n$ $\log \cos D = 9,94653$ $\log r \sin \varphi' \cos D = 8,85959n$ $r \sin \varphi' \cos D = 0,0724$ $r \cos \varphi' \sin D \cos (\gamma - A) = -0,4313$ $v = +0,3589$ $q_0 = +0,1595$ $m \cos M = q_0 - v = -0,1994$ $M = 242^{\circ} 2'$ $N = 85^{\circ} 31'$ $M - N = 156^{\circ} 31'$
---	---

$\log m = 9,6285$ $\log k = 9,4361$ $\log n = 9,7626$ $\log \frac{m}{n} = 9,8659$ $\log \cos (M - N) = 9,9624n$ $\log \tau = 9,8283n$ $\tau = -0,6734$ Stunden $\quad = 0^h 40^m 24^s$ $T_0 = 10^h 32^m 43^s$ $\tau = -0^h 40^m 24^s$ $T_0 - \tau = 11^h 13^m 7^s$ $\Delta T = 22^m 11^s$	$\log \sin (M - N) = 9,6004$ $\log \frac{m}{k} = 0,1924$ $\log \cos \psi = 9,7928$ $\psi = 51^{\circ} 38'$ $\log \sin \psi = 9,8944$ $\log \frac{k}{n} = 9,6735$ $\log \Delta T = 9,5679$ $\Delta T = 0,3697$ Stdn. $\quad = 0^h 22^m 11^s$
--	---

Mittl. Grw. Zt. d. Eintritts = $10^h 50^m 56^s$
 Ortszt. d. beob. Eintr. = $10^h 19^m 26^s$
 Länge = $0^h 31^m 30^s = 7^{\circ} 52,5' W$ v. Greenwich.

Eine Wiederholung der Rechnung mit dieser Länge würde keine Aenderung hervorbringen.

Will man eine Sternbedeckung beobachten, so ist es immer nützlich, ja eigentlich, wenn man nicht lange vergeblich warten oder auch zu spät kommen will, nothwendig, den Augenblick des Ein- oder Austritts des Sterns angenähert (auf einige Minuten genau vorher zu kennen). Zu dieser Vorausberechnung dient dasselbe Schema wie für die Berechnung der Länge. Man geht dabei von der Greenwicher Zeit der Konjunktion aus, und es bedeutet daher bei der Vorausberechnung $\gamma - A$ den Orts-Stundenwinkel des Sterns für den Augenblick der Konjunktion von Mond und Stern in Rektascension. Alles Uebrig bleibt dasselbe wie für die Berechnung der Länge.

Eine andere Rechnungsform der Längenbestimmung aus Sternbedeckungen, welche sich den gewöhnlichen nautischen Rechnungen möglichst anschliesst, kann in folgender Weise dargestellt werden. Beobachtet hatte man nach dem vorigen Beispiel sehr genau, durch den Eintritt eines Sterns 4. Grösse

am dunkeln Mondrande, dass die scheinbare Distanz vom Stern bis zum Mittelpunkte des Mondes gerade gleich dem vergrösserten Mondhalbmesser war. Hieraus könnte man zwar die wahre Distanz nach dem Princip der Mondstanz-Rechnung bestimmen, aber so kleine Distanzen sind nicht vorausgerechnet im Jahrbuche vorhanden, weil sie sich gewöhnlich zu ungleichförmig ändern würden, wie alle Grössen, die sich ihrem Minimum nähern und von dort erst allmählig wieder ins Wachsen übergehen. Die Beobachtung kann indessen sehr gut zur Längenbestimmung dienen, indem man daraus eine der am stärksten veränderlichen Koordinaten des Mondes, z. B. seine Rektascension, herleitet, und wenn diese gefunden ist, die dazu gehörige M. G. Z. aus dem Jahrbuche entnimmt, welche, verglichen mit der M. O. Z. die gesuchte Länge ergibt. Als sichere Grundlage ist dabei die bekannte R. A. des Sterns anzunehmen, und die Berechnung der Beobachtung ist demnach auf die Bestimmung des Unterschiedes zwischen der R. A. des Sterns und der wahren R. A. des Mondes zu richten. Mit Beziehung auf das angegebene Beispiel liesse sich daher wie folgt verfahren:

1. Mit der gegebenen M. O. Z. $10^h 19^m 25,8^s$ und der geschätzten Länge $7^\circ 45,3'$ W wird die M. G. Z. $10^h 50^m 27^s$. Für diese Zeit ist die M. $\odot \alpha$ $10^h 8^m 13,1^s$ und die hier nur als Näherungsgrösse zur Höhenbestimmung dienende R. A. des Mondes $18^h 59^m 51,5^s$. Daraus folgt der Stundenwinkel des Mondes $1^h 27^m 47,4^s$, und mit der \odot Dec. $27^\circ 41' 17''$ S nebst der geocentrischen Breite des Beobachtungsortes $4^\circ 41,7' S$ ergibt sich die wahre \odot Höhe $58^\circ 56'$ wie auch der parallaktische Winkel $46^\circ 13'$. Die für die Breite reducirte Horizontalparallaxe wurde $57' 20,8''$ und somit die Höhenparallaxe $30' 1,0''$.

2. Die Höhenparallaxe multiplicirt mit dem cos des parallaktischen Winkels giebt die Parallaxe in Deklination $20' 46''$, und zur wahren Deklination $27^\circ 41' 17''$ S gelegt, die scheinbare \odot Dec. $28^\circ 2' 3''$ S. Ferner findet sich die Parallaxe in R. A. durch Multiplikation der Höhenparallaxe mit dem sin des parallaktischen Winkels und mit der sec der mittleren Deklination aus den beiden vorhergehenden (ähnlich wie bei der Rechnung nach Mittelbreite), so dass die Parallaxe in R. A. $1^m 38,0^s$ wird.

3. Aus den drei gegebenen Seiten, nämlich dem vergrösserten Mondhalbmesser $15' 52,7''$ und der Polardistanz des Sterns $62^\circ 8' 47,3''$ nebst dem Komplement der scheinbaren \odot Dec.

61° 57' 57", ist der Winkel 52,54^s, welcher der ersten Seite gegenüberliegt, zu berechnen, als Unterschied zwischen der R. A. des Sterns und der scheinbaren R. A. des Mondes. Diese Berechnung des Winkels aus den drei gegebenen Seiten, etwa nach der bekannten Formel:

$$\sin^2 \frac{1}{2} A = \frac{\sin(S-b)\sin(S-c)}{\sin b \sin c},$$

würde hier, wegen der Kleinheit des Winkels, sich wohl am bequemsten in folgender Form ausführen lassen, indem man $\sin \frac{1}{2} A = \frac{1}{2} A \sin 1''$ und ebenso bei den übrigen kleinen \sin gesetzt denkt.

Vergr. Mondhalbm.	0° 15' 52,7"	
☾ scheinb. Polardist.	61° 57' 57"	sin 9,94580
✕ Polardist.	62° 58' 47,3"	sin 9,94652
	2) 124° 22' 37,0"	9,89232
	62° 11' 18,5"	0,10768
	0° 13' 21,5"	log 2,90390
	0° 2' 31,2"	log 2,17955
	2) 5,19113	
	2,59556	
	log $\frac{2}{15}$. . .	9,12494
	52,54 ^s . . .	log 1,72050

Hiernach folgt die Schlussrechnung:

✕ R. A. 18 ^h 59 ^m 7,28 ^s	
Gefundener Untersch.	— 52,54 ^s
Scheinb. ☾ R. A.	18 ^h 58 ^m 14,74 ^s
Parallaxe in R. A.	+ 1 ^m 38,03 ^s
Wahre ☾ R. A.	18 ^h 59 ^m 52,77 ^s
Dazu gehört	10 ^h 50 ^m 58,4 ^s M.G.Z.
	10 ^h 19 ^m 25,8 ^s M.O.Z.
	0 ^h 31 ^m 32,6 ^s
	= 7° 53,1' W-Länge.

Ändert man die Rechnung um kleine Grössen in der ☾ R. A. (α), ☾ Dec. (δ), Horiz. Par. (P) und Halbmesser (q), so ergiebt sich der Einfluss davon auf die gefundene W-Länge, wenn man diese hier mit dem Minuszeichen versieht, in folgender Vertheilung:

— 7° 53,1' — 24,07 $d\alpha$ + 24,91 $d\delta$ — 10,11 dP + 36,83 dq ,
 so dass ein Fehler in den Mondtafeln, oder den danach berechneten Jahrbüchern, von 1" in der ☾ R. A., die Länge schon um 37" ändern würde. Ein Fehler von 1" in der ☾ Dec. würde die Länge um 24,7" ändern u. s. w. Aber Fehler von 10" und mehr kommen bei der R. A. des Mondes auch in

den gegenwärtigen Mondtafeln nicht selten vor. Nach Beobachtungen auf der Sternwarte zu Kremsmünster (Astr. Nachr. No. 2027) war im October 1874

$$da = -0,87^s = -13,35'' \text{ und } d\delta = +2,55''.$$

Durch die kombinirte Berechnung einer Sternbedeckung, nach Beobachtungen an verschiedenen Orten, hat man ein Mittel, die Fehler der Mondtafeln zu finden und für die Längenbestimmung unschädlich zu machen. Man verfährt dabei vorzugsweise so, dass aus den Beobachtungen, mittelst der stündlichen Veränderung, welche immer als hinreichend genau zu betrachten ist, die M.O.Z. der wahren Konjunktion in R. A. gefunden wird, mit den jedesmaligen verschiedenen Fehlerkoefficienten für die Beobachtungsorter, woraus durch Elimination die Fehler selbst gefunden werden können, je nach den Umständen mehr oder weniger genau.

Alle Beobachtungen von Sternbedeckungen an Küstenpunkten, deren geographische Länge noch ungenau oder auch schon genau bestimmt ist, sind daher von bleibendem Werth für spätere vergleichende Rechnungen zur allgemeinen Feststellung der geographischen Länge der Oerter.

Die Berechnung des obigen Beispiels ist strenge auszuführen, auch mit Rücksicht auf die bereits gefundene verbesserte Länge $7^\circ 53,1' W$, zugleich aber mit genauer Bestimmung der Parallaxe in R. A. und Dec., wenn anstatt des parallaktischen Winkels und der Berechnung der Katheten des kleinen geradlinigen Dreiecks die Rechnung im sphärischen Dreiecke mit Hülfe des Azimuths vorgenommen wird, was auch schon bei der ersten Rechnung hätte geschehen können. Aehnlich wie bei der gewöhnlichen Näherungsrechnung für Mondstrecken, ist nämlich zu bemerken, dass die Uebertragung des scheinbaren Mondortes, vom Vertikal auf den Stundenkreis, nicht genau durch eine gerade Linie senkrecht zum Stundenkreise, sondern durch den Kreisbogen geschieht, welcher um den Pol als Mittelpunkt und mit der scheinbaren Polardistanz als Radius beschrieben wird. Die genaue Rechnung kann daher so zerlegt werden:

1. Aus der geschätzten Länge, jetzt $7^\circ 53,1' W = 31^m 32,6^s$ und der gegebenen M. O. Z. $10^h 19^m 25,8^s$ folgt die genäherte M. G. Z. $10^h 50^m 58,4^s$, wonach die R. A. des Mondes $18^h 59^m 52,77^s$ und die \llcorner Dec. $27^\circ 41' 15,9'' S$, die reducirte Hor. Par. $57' 20,5''$ und der vergrösserte Halbmesser $15' 52,6''$ ist, ferner die M. $\odot \alpha = 10^h 8^m 13,17^s$. Zu dem hieraus folgenden

Stundenwinkel des Mondes $1^h 27^m 46,20^s$ W und seiner Dekl. nebst der geocentrischen Breite $4^\circ 41,7' S$ findet sich die wahre \odot Höhe $58^\circ 56' 22''$ und das Azimuth des Mondes $S 39^\circ 53' 26'' W$, wie auch die Höhenparallaxe $30' 1,0''$, wonach die scheinbare Höhe des Mondes $58^\circ 26' 21,0''$ ist.

2. Sodann kann aus zwei Seiten und dem eingeschlossenen Winkel, nämlich dem Breitenkomplement $85^\circ 18' 18''$, der scheinbaren Zenithdistanz $31^\circ 33' 39,0''$ und dem Azimuth $39^\circ 53' 26''$ die dritte Seite $61^\circ 58' 0,0''$ als scheinbare Polardistanz gefunden werden, wonach die Parallaxe in Dekl. also $20' 44,1''$ beträgt. Ferner lässt sich aus den drei Seiten: scheinbare und wahre Polardistanz nebst der Höhenparallaxe, der Winkel am Pol als Parallaxe in R. A. = $1^m 38,20^s$ berechnen.

3. Endlich ist noch der Unterschied in R. A. zwischen dem Stern und dem scheinbaren Mondorte als Winkel am Pol zu bestimmen aus den drei Seiten: Vergr. Halb., scheinbare \odot Polardistanz und \star Polardistanz $62^\circ 8' 47,3''$, woraus sich der gesuchte Winkel $52,74^s$ ergibt.

Die Berechnung der beiden letzten Dreiecke ist in sicherer und bequemer Form auszuführen, wie es die Kleinheit der einen Seite erfordert:

Höhen-Parallaxe $0^\circ 30' 1,0''$	.	Vergr. Halb. $0^\circ 15' 52,6''$	
{ scheinb. Polardist. $61^\circ 58' 0,0''$	<i>sin</i> 9,94580	{ scheinb. Polardist. $61^\circ 58' 0,0''$	<i>sin</i> 9,94580
{ wahre Polardist. $62^\circ 18' 44,1''$	<i>sin</i> 9,94718	{ \star Polardist. $62^\circ 8' 47,3''$	<i>sin</i> 9,94653
2. $\frac{124^\circ 46' 45,1''}{62^\circ 23' 22,55''}$	9,89298	2. $\frac{124^\circ 22' 39,9''}{62^\circ 11' 19,95''}$	9,89233
	0,10702		0,10767
	$25' 22,55'' \log 3,18257$		$13' 19,95'' \log 2,90306$
	$4' 38,45'' \log 2,44475$		$2' 32,65'' \log 2,18370$
	2. 5,73434		2. 5,19443
	2,86717		2,59721
	$\frac{2}{15} \dots \log 9,12494$		$\frac{2}{15} \dots \log 9,12494$
	98,20... 1,99211		52,74... 1,72215
Par. in R. A. = $1^m 38,20^s$		Untersch. zw. $\star \alpha$ u. schb. $\odot \alpha = 52,74^s$.	

4. Schlussrechnung: \star R. A. $18^h 59^m 7,28^s$
 untersch. zw. $\star \alpha$ u. schb. $\odot \alpha \dots - 52,74^s$
 Scheinb. $\odot \alpha \dots 18^h 58^m 14,54^s$
 Par. in R. A. + $1^m 38,20^s$
 Wahre \odot R. A. $18^h 59^m 52,74^s$
 Dazu gehörige M. G. Z. $10^h 50^m 57,73^s$
 M. O. Z. $10^h 19^m 25,8^s$

Länge in Zt. $31^m 31,93^s = 7^\circ 52' 59''$ W-Länge

und mit Rücksicht auf die möglichen Fehler:

$$- 7^\circ 52' 59'' - 24,07. d\alpha + 24,91. d\delta - 10,11. dP + 36,83. d\rho.$$

zwischen den Mitteln der Hoch- und Niedrigwasser ist der mittlere Wasserspiegel. Das Steigen des Wassers von Niedrig- zu Hochwasser heisst Fluth, das Fallen von Hoch- zu Niedrigwasser Ebbe. Die Ausdrücke Fluth und Ebbe gebraucht man auch für Bezeichnung des Stroms an Stelle der korrekteren Bezeichnung Fluthstrom und Ebbestrom. Den Uebergang von Fluthstrom zu Ebbestrom und umgekehrt bezeichnet man als Stillwasser. Stillwasser trifft in der Regel, aber nicht überall, mit Hoch- und Niedrigwasser zusammen, ebenso wie der Fluth- und der Ebbestrom nicht nothwendig vom Steigen und Fallen des Wassers für jeden Ort begleitet sind.

Die Gezeitenerscheinungen weisen auf eine Abhängigkeit von Sonne und Mond hin. Es ergeben sich nämlich folgende Beziehungen:

1. Ebenso wie der Mond täglich um 50 Minuten später in den Meridian kommt, verspätet sich auch das Hochwasser gegen das am Tage vorher um etwa 50 Minuten. Zur Zeit der Syzygien ist die wahre Sonnenzeit des Hochwassers immer nahe dieselbe.

2. Die Gezeiten treten am stärksten auf, wenn sich der Mond in der Erdnähe (grösster Mondradius, grösste Parallaxe), am schwächsten, wenn er sich in der Erdferne befindet.

3. Während der Dauer eines Mondumlaufs sind die Gezeiten am stärksten zur Zeit der Syzygien, am schwächsten zur Zeit der Quadraturen.

4. Befindet sich die Sonne in der Erdferne, so erscheinen die Gezeiten schwächer, befindet sich die Sonne in der Erdnähe, so erscheinen sie stärker.

5. Zur Zeit der Aequinoktien treten die stärksten Gezeiten auf und zwar um so entschiedener, je geringer gleichzeitig die Deklination des Mondes ist.

§ 109. Zur Erklärung dieser Beziehungen diene kurz Folgendes:

Die Gezeitenerscheinung besteht in einer Wellenbewegung, für welche die Störungen der Schwerkraft die Grundursache sind.

Denkt man sich die Erde ganz mit Wasser bedeckt, so wird die Oberfläche desselben unter dem Einfluss der Anziehung der Erde (indem man sich die Masse derselben im

Mittelpunkt vereinigt denkt) allein die Gestalt einer Kugel oder in Folge der Erdrotation die Gestalt eines Rotationssphäroides annehmen. Tritt nun aber noch die Anziehung eines außerhalb der Erde befindlichen Körpers, wie die des Mondes oder der Sonne, in Wirksamkeit, so erleidet die irdische Schwerkraft in Folge des Umstandes, dass die Anziehung jenes Körpers auf die demselben zugekehrte Oberfläche der Erde anders wirkt als auf den Erdmittelpunkt und auf diesen wieder anders als auf die abgekehrte Erdoberfläche, eine derartige Modifikation, dass sich eine Kugel oder das einfache Rotationssphäroid nicht mehr bilden kann. Wir können uns dies so vorstellen, als ob diejenigen Wassertheile, welche sich an einem Orte befinden, der den Mond im Zenith hat, stärker angezogen werden, wie die Erde als Ganzes. In geringerem Maasse gilt dasselbe von allen Wassertheilen, welche sich auf der unter dem Monde befindlichen Halbkugel befinden, und es wird daher, weil das Wasser diesem Impulse zu folgen vermag, eine Erhebung entstehen, die gerade unter dem anziehenden Gestirn am höchsten ist. Diejenigen Wassertheile nun, für welche der Mond im Nadir steht, werden von ihm weniger stark angezogen als der Mittelpunkt der Erde oder die Erde als Ganzes und sie werden daher die Tendenz haben, sich etwas weiter vom anziehenden Körper zu entfernen als der Mittelpunkt der Erde, und da dies für alle dazwischen liegenden Theile ebenfalls, wenn auch in geringerem Maasse gilt, so wird auch hier im Nadir eine Anschwellung des Wassers entstehen.

Wenn Sonne, Erde und Mond zu einander die gleiche Lage behielten, so würden also zwei Anschwellungen für den Mond und zwei für die Sonne, um je 180° von einander entfernt, entstehen, und von diesen würde die Erhebung für den Mond mehr als die doppelte Grösse der der Sonne entsprechenden haben, weil das erstere Gestirn, obgleich mit geringerer Anziehung wirkend, wegen der im Verhältniss zum Erddurchmesser geringen Entfernung, die grössere fluthergehende Kraft besitzt.

§ 110. Die Anziehungskraft, welche ein Gestirn auf die Erde ausübt, ist seiner Masse direkt und dem Quadrate seiner Entfernung umgekehrt proportional. Es sei M die Masse eines Gestirns und R die Entfernung desselben vom Erdmittelpunkt, so wirkt die Anziehung des ersteren auf den Erdmittelpunkt mit der Kraft $\frac{M}{R^2}$. Ferner sei q der Halb-

messer der Erde; dann ist $\frac{M}{(R-q)^2}$ die vom Gestirn auf einen Punkt der Erdoberfläche ausgeübte Anziehungskraft. Die flutherregende Kraft F ist gleich dem Unterschiede der beiden Anziehungskräfte, folglich

$$F = \frac{M}{(R-q)^2} - \frac{M}{R^2}.$$

Das erste Glied der rechten Seite in eine Reihe entwickelt giebt:

$$\frac{M}{R^2} + \frac{2Mq}{R^3} + \frac{3Mq^2}{R^4} + \dots$$

Von dieser Reihe ist $\frac{M}{R^2}$, das zweite Glied der obigen Gleichung, abzuziehen, um F zu erhalten. Da R im Vergleich zu q sehr gross ist, können alle Glieder, welche R^4 und höhere Potenzen von R im Divisor haben, vernachlässigt werden: Es ist also die flutherregende Kraft $F = \frac{2Mq}{R^3}$.

Für ein zweites Gestirn, wie der Mond, von der Masse m und in der Entfernung r erhält man in derselben Weise

$$F' = \frac{2mq}{r^3}.$$

Das Verhältniss der Anziehungskräfte beider Gestirne ist mithin $\frac{M r^3}{m R^3}$.

In Zahlen ausgedrückt, wenn man annimmt, dass die Masse des Mondes $\frac{1}{84}$ der Erdmasse und diese $\frac{1}{324479}$ der Sonnenmasse beträgt, erhält man $\frac{M}{m} = 324479.84$ und $\frac{R^3}{r^3}$ in Erdhalbmessern $= \frac{24000^3}{60^3} = 400^3$.

Das Verhältniss der flutherregenden Kraft der Sonne zu der des Mondes ist demnach:

$$= \frac{324479.84}{400^3} = \frac{1}{2,14}.$$

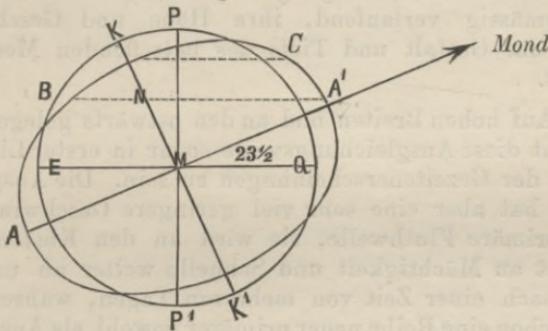
§ 111. Die weitere Entwicklung der Gezeitenerscheinung folgt nun mit Nothwendigkeit aus den Gesetzen der Wellenlehre. Da sich die Sonne in 24 Stunden, der Mond in etwa 24 Stunden 50 Minuten um die Erde bewegt, so ist das Resultat dieser Kräfte, welche eine Erhebung des Wasserspiegels erstreben, eine Wellenbewegung, welche dem Lauf der Gestirne von Osten nach Westen folgt. Da ein jeder Hebungs-kreis die halbe Erdoberfläche umfassen würde, falls eine so grosse Wasserfläche vorhanden wäre, so wird man an einem bestimmten Orte gewöhnlich nicht jede Welle für sich beobachten, sondern die Summe der Phasen beider Wellen, welche sonach nur eine Welle auszumachen scheinen, deren allgemeiner Charakter sich durch die grössere Mondwelle bestimmt und welche sich nach der Stellung der Gestirne gegeneinander periodisch in ihrer Form ändert.

Man betrachtet also die Mondwelle als die Grundform und bringt an ihr eine Korrektion für die Sonnenwelle an, welche, da nach Ablauf eines halben Mondumlaufs Sonne und Mond stets wieder in eine gemeinschaftliche Meridianebene treten (Syzygien), sich in dem Kreislauf eines halben Monats bewegt und daher die halbmonatliche Ungleichheit genannt wird. Die halbmonatliche Ungleichheit findet sowohl in Bezug auf die Eintrittszeit als auch auf Höhe des Hochwassers statt. Andere Aenderungen der Fluthwelle werden ausser durch die wechselnde Entfernung und Umlaufszeit von Sonne und Mond auch durch die Veränderung der Deklinationen beider Gestirne bedingt. Zu berücksichtigen ist, dass die gegenüberliegenden Anschwellungen nicht immer in einer dem Aequator parallelen Ebene, sondern in einer Ebene liegen, welche aus der Lage der Sonnen- und Mondbahn resultirt.

Der einfachste Fall würde der sein, wenn Sonne und Mond gleiche Deklination haben und sich in demselben Meridian befänden, wie in Figur 107 angenommen ist. In derselben sei EQ der Aequator, P, P' die beiden Pole und M der Mittelpunkt der Erde. Die Deklination der Sonne und des Mondes sei $23\frac{1}{2}^\circ$ und die Stellung beider, wie der Pfeil andeutet, in der Verlängerung der Linie AA' . Diese Linie ist folglich die grosse Axe des durch die vereinte Anziehung beider Himmelskörper erzeugten Sphäroids und KK' eine der kleinen Axen desselben. In allen Punkten desjenigen Kreises, dessen Ebene durch KK' senkrecht zum Meridian $EPQP'$ geht, ist Niedrigwasser und in dem Meridian Hochwasser. Denkt man sich nun die Erde um ihre Axe PP' rotirend und Sonne und Mond in ihrer Stellung verharrend, so würde die

Axe $A A'$ ihre Lage behalten und jeder Punkt des Aequators gleiche Hochwasser haben. Auf den meisten Punkten des Sphäroids würde aber das nächste Hochwasser verschieden von dem vorhergehenden sein, wie z. B. im Punkt B . Dieser würde nach einer halben Umdrehung der Erde nach A' gelangen und hier ein beträchtlich höheres Hochwasser als in B haben. Ferner würde ein Punkt in der Anfangslage K Niedrigwasser und während einer halben Erdumdrehung Fluth haben, welche mithin 12 Stunden andauert und, wenn der Punkt in C angelangt ist, ihren höchsten Stand erreicht. Er würde

Fig. 107.



also innerhalb zwölf Stunden statt einer Ebbe und einer Fluth nur eine Fluth, aber diese von doppelter Dauer, haben. Auf allen Punkten zwischen K und P , sowie zwischen K' und P' würde dasselbe der Fall sein, nur mit dem Unterschiede, dass der Fluthwechsel allmählich kleiner und unter den Polen gleich Null werden würde. Ausser der Verschiedenheit der Höhen der beiden aufeinander folgenden Hochwasser würde auch eine Verschiedenheit in der Dauer der beiden aufeinander folgenden Gezeitenphasen stattfinden. Der Kreis, auf der Figur durch die Linie $K K'$ dargestellt, auf welchem Niedrigwasser stattfindet, halbirt den Aequator, und daher müssten auf demselben Ebbe und Fluth von gleicher Dauer sein. Auf dem Breitenparalell $A' B$ ist aber der Bogen $B N$ viel kürzer als der Bogen $A' N$, und deshalb müssten auf demselben Ebbe und Fluth von ungleicher Dauer entstehen. Der auf diese Weise entstehende Unterschied in den Höhen der Hochwasser und der Dauer der Gezeitenphasen findet innerhalb eines Tages statt und wird daher tägliche Ungleichheit genannt. Man hat demnach eine tägliche Ungleichheit in der Höhe der auf-

einander folgenden Hochwasser und eine andere in der Eintrittszeit des Niedrigwassers.

Alle diese Erscheinungen werden verwischt und modificirt durch die Konfiguration der Meere auf der Erdoberfläche. Nicht eine einzige Welle bewegt sich über die Erde hinweg, sondern die Erregung findet in den einzelnen Meeresbecken statt, so lange das Gestirn über denselben steht, wachsend, bis der vom Lande entfernteste Zenithpunkt erreicht ist, abnehmend und ganz erlöschend, indem sich das Gestirn von dem betreffenden Meeresbecken entfernt. Der Erregung einer primären Fluthwelle folgt nun die ausgleichende Wellenbewegung, welche, nach allen Seiten hin gleichmässig verlaufend, ihre Höhe und Geschwindigkeit nach der Gestalt und Tiefe des betreffenden Meeresbeckens regelt.

Auf hohen Breiten und an den ostwärts gelegenen Küsten scheint diese Ausgleichungswelle sogar in erster Linie die Ursache der Gezeitenerscheinungen zu sein. Die Ausgleichungswelle hat aber eine sehr viel geringere Geschwindigkeit als die primäre Fluthwelle, sie wird an den Küsten reflektirt, nimmt an Mächtigkeit und Schnelle weiter ab und verläuft erst nach einer Zeit von mehreren Tagen, während welcher sich schon eine Reihe neuer primärer sowohl als Ausgleichungswellen gebildet hat. Die Gezeitenerscheinungen, so wie sie die Beobachtung ergiebt, sind also eine Zusammensetzung einer Reihe von Wellen verschiedener Höhe, Richtung und Geschwindigkeit, deren ursprünglicher Erregungsort obendrein periodisch schwankt. Alles vereinigt sich, um eine der complicirtesten Naturerscheinungen hervorzurufen, deren Gesetzmässigkeit allgemein zu erforschen, kaum je zu ermöglichen sein kann. Es bleibt daher nichts übrig, als auf empirischem Wege die grösstmögliche Uebereinstimmung mit der Beobachtung anzustreben.

Dies lässt sich in einigermaassen erschöpfender Weise nur thun, indem man die Beobachtungen, welche lange Zeit an einem Ort angestellt sind, für eine Formel benutzt, aus welcher die Erscheinungen im Voraus berechnet werden können.

Solche Vorausberechnungen sind für die bedeutendsten Küstenplätze, namentlich an der deutschen, englischen, französischen und nordamerikanischen Küste, organisirt und

werden in Gezeiten-Tafeln in den verschiedenen Ländern alljährlich veröffentlicht.*)

§ 112. Für eine angenäherte Vorausbestimmung der Gezeiten bedient man sich des erfahrungsmässigen Umstandes, dass der Zeitraum zwischen dem Meridiandurchgange des Mondes und dem Zeitpunkt des nächsten Hochwassers in mässigen Grenzen schwankt (wegen der halbmonatlichen Ungleichheit) und vom Alter des Mondes, also von der Zeit des Meridiandurchganges, abhängig ist. Um ein bestimmtes Maass zu fixiren, hat man das Zeitintervall angenommen am Tage des Voll- und Neumondes (full and change days), und man bezeichnet mit Hafenzzeit**) die wahre astronomische Ortszeit des ersten Hochwassers nach Voll- und Neumond unter der Annahme, dass Sonne und Mond in mittlerer Entfernung von der Erde im Aequator stehen. Diese Hafenzzeit ist in der Regel in den Karten und Segelanweisungen angegeben. Wenn die Fluthwelle eine rein primäre wäre oder wenn bei der Entstehung der Fluthwelle keine anderen, als die Anziehungskräfte mitwirkten, so müsste diese Hafenzzeit das Mittel für die Zeitintervalle zwischen Mondkulmination und Hochwasser während eines halben Mondumlaufs sein, da die Sonne bald verspätend, bald verfrühend während dieser Zeit wirken muss. Nun ergibt sich aber, dass das Mittel dieser täglichen Zeitintervalle gewöhnlich nicht mit dem beobachteten Zeitintervalle am Tage der Syzygien, also der oben definirten Hafenzzeit, zusammenfällt, sondern eine Verspätung erleidet, welche für verschiedene Orte verschieden ist.

Man hat es daher von verschiedenen Seiten für genauer und sicherer erachtet, statt der gewöhnlichen Hafenzzeit eine korrigirte oder mittlere***) Hafenzzeit einzuführen.

*) Seit 1879 werden vom Hydrographischen Amte deutsche Gezeiten-Tafeln herausgegeben, die in der Königlichen Hofbuchhandlung von E. S. Mittler & Sohn in Berlin erscheinen. Dieselben geben im ersten Theile zunächst ein Kalendarium, welches die für Fluthberechnungen erforderlichen astronomischen Daten enthält, demnächst eine Vorausberechnung der Hochwasser der bedeutendsten europäischen Hafenplätze, weiterhin die auf diese Hochwasserzeiten anzuwendenden Fluthkonstanten für minder wichtige europäische Häfen und schliesslich die Hafenzzeiten der wichtigeren Plätze der ganzen Erde. Der zweite Theil enthält Abhandlungen über Gezeitenströmungen in europäischen Meerestheilen, durch Karten erläutert.

**) Établissement d'un port, establishment, tide-hour.

***) Corrected oder mean establishment, zum Unterschiede von vulgar establishment.

Wenn man mit Mondfluthintervall (lunitidal intervall) das Zeitintervall bezeichnet, welches zwischen einem Monds-Meridiandurchgange und dem nächsten Hochwasser liegt, so versteht man unter korrigirter Hafenzeit oder mittlerer Hafenzeit das Mittel aus den Mondfluthintervallen eines halben Monats oder eines Wechsels der Durchgangszeit durch den Meridian von $0^h 0^m$ bis $12^h 0^m$.

§113. Man findet das Mondfluthintervall eines bestimmten Tages, indem man die Hafenzeit für die halbmonatliche Ungleichheit korrigirt. Das Mondfluthintervall, zur Meridiandurchgangszeit des Mondes addirt, giebt die Zeit des Hochwassers, abgesehen von kleineren Korrekturen. Diese Regel setzt voraus, dass die Angabe der Hafenzeit so genau bekannt ist, wie die Angaben der Korrekctionstafel für die halbmonatliche Ungleichheit. Für die korrigirte Hafenzeit würde eine andere Korrekction nöthig sein, als für die gewöhnliche Hafenzeit. Die Korrekction müsste ausserdem für den betreffenden Ort ermittelt sein, um die lokalen Werthe der Schwankungen in der Zeit zu berücksichtigen. Von solcher Genauigkeit sind indessen die vorhandenen Tafeln noch weit entfernt. Die Verzeichnisse der Hafenzeiten geben die Hafenzeiten nach den verschiedensten Quellen und auf sehr verschiedene Weise ermittelt an. Wahre Zeit und mittlere Zeit, Vormittags- und Nachmittags-Hochwasser, endlich gewöhnliche und korrigirte Hafenzeiten finden sich in den Verzeichnissen zusammengestellt. Beim Gebrauch betrachtet man sie aber alle als gewöhnliche Hafenzeiten nach obiger Definition. Zur Korrekction dieser Angaben bedient man sich in der Regel einer Tafel der halbmonatlichen Ungleichheit, welcher die für den Hafen von Brest ermittelten Konstanten zu Grunde gelegt sind^{*)} oder einer etwas abweichenden neueren,^{**)} welche zuerst in Raper's Navigation aufgenommen ist und für welche eine grosse Anzahl von Beobachtungen in englischen Häfen, sowie in Brest und in St. Helena zu Grunde gelegt sind. Diese Tafeln sind zur Anwendung auf die gewöhnliche Hafenzeit eingerichtet. Man hat also bei der Berechnung der Hochwasserzeit folgende Regel zu befolgen:

1. Man entnimmt aus den Gezeitentafeln oder dem Nautischen Jahrbuch die Zeit des Monds-Meridiandurchganges und berichtigt dieselbe für Länge, indem man für je eine

^{*)} Domke LI. Breusing XXV.

^{**)} Rümker XXXIX. Ligowsky 46.

Stunde Westlänge zwei Minuten hinzufügt, für jede Stunde Ostlänge zwei Minuten abzieht.

2. Aus dem Verzeichniss der Hafenzeiten entnimmt man die Hafenzzeit des Orts und aus der Tafel für halbmonatliche Ungleichheit mit dem Argument der wahren Zeit des Meridiandurchganges des Mondes die Korrektion (unter Berücksichtigung des Zeichens). Die Addition dieser drei Daten ergibt die Zeit des Hochwassers.

3. Bei dieser Berechnung fällt die Tageszeit, welche man erhält, häufig auf den folgenden Tag. Dieser Umstand ist zu berücksichtigen in folgender Weise:

Wenn die erhaltene Hochwasserzeit 12^h übersteigt, so fällt sie auf den Vormittag des folgenden Tages, daher ist statt des oberen Meridiandurchganges der vorhergehende untere anzuwenden, welchen man aus dem Mittel zwischen dem oberen des gegebenen und des vorhergehenden Tages erhält.

Ist die Zeit des Meridiandurchganges für den gegebenen Tag grösser, als zwölf Stunden, so muss der Meridiandurchgang des vorhergehenden Tages in der Rechnung benutzt werden.

Beispiele.

1. Am 11. April 1875 Nachmittags will man wissen, wann Hochwasser bei Norderney eintritt. Die Hafenzzeit ist $11^h 32^m$. Die Länge von Norderney $7,2^\circ$ O.

Den 11. 4. Durchgang durch den Meridian: $5^h 10,2^m$. Hierzu $11^h 32^m$ addirt, würde das Hochwasser am Vormittag des 12. April ergeben, daher ist der untere Meridiandurchgang vorher zu wählen, nämlich

$$\begin{array}{r}
 4^h 7,2^m + 5^h 10,2^m \\
 \hline
 2 \\
 \text{Korr. für Lg.} = - 1 \\
 \text{ber. Merid.-Durchg.} = 4^h 38^m \\
 \text{Hafenzzeit} = 11^h 32^m \\
 \text{Korr. für halbmonatliche Ungleich-} \\
 \text{heit (N. J. Taf. XXI)} = - 1^h 1^m \\
 \text{Mondfluth-Intervall} = 10^h 31^m \\
 \text{Zeit des Hochwassers} = 4^h 38^m \text{ Vm.} + 10^h 31^m \\
 = 3^h 9^m \text{ Nm. den 11. 4.}
 \end{array}$$

2. Am 25. April 1875 will man wissen, wann Hochwasser bei Santander eintritt. Hafenzzeit $3^h 30^m$. West-Lg $3^\circ 47'$.

Den 25. 4. Meridiandurchgang $16^h 9,4^m$, daher zu nehmen:

$$\begin{array}{r}
 \text{Den 24. 4. Meridiandurchgang} = 15^h 17,1^m \\
 \text{Korr. f. Lg} = 0^h 0^m \\
 \text{Hafenzzeit} = 3^h 30^m \\
 \text{Korr. für halbmonatl. Ungleichheit} = - 0^h 46^m \\
 \text{Zeit des Hochwassers} = 6^h 1^m \text{ Vm. den 25. 4.}
 \end{array}$$

Zeit des Meridian- durchganges des Mondes	Halbmonatliche Ungleichheit		
	Aus der Tabelle in Raper, Rümker und Ligowsky Naut. Tafeln	für Boston Massachusetts (Nach den Angaben der U.S.C.Survey)	für San Francisco
h m	h m	h m	h m
0 0	0 0	0 0	0 0
0 30	-0 6	-0 5	-0 6
1 0	-0 13	-0 10	-0 12
1 30	-0 20	-0 14	-0 18
2 0	-0 28	-0 18	-0 24
2 30	-0 36	-0 22	-0 29
3 0	-0 43	-0 25	-0 32
3 30	-0 49	-0 28	-0 32
4 0	-0 55	-0 31	-0 27
4 30	-1 0	-0 32	-0 19
5 0	-1 3	-0 32	-0 10
5 30	-1 5	-0 29	-0 2
6 0	-1 3	-0 25	+0 6
6 30	-0 56	-0 19	+0 11
7 0	-0 44	-0 13	+0 18
7 30	-0 30	-0 6	+0 24
8 0	-0 15	-0 0	+0 29
8 30	+0 1	+0 5	+0 32
9 0	+0 9	+0 9	+0 31
9 30	+0 15	+0 10	+0 29
10 0	+0 16	+0 11	+0 25
10 30	+0 15	+0 10	+0 19
11 0	+0 11	+0 5	+0 12
11 30	+0 6	+0 9	+0 4

Das obige Verfahren wird am allgemeinsten angewendet. Man täuscht sich aber in der Regel sehr in der Beurtheilung der Genauigkeit desselben. Für Küstenpunkte ausserhalb der europäischen Gewässer kann man nicht auf einigermaßen genaue Bestimmung der Hochwasserzeit rechnen, wenn nichts weiter bekannt ist, als die Hafenzzeit. Um hierfür einen Beleg zu bieten, ist in der vorstehenden Tabelle die halbmonatliche Ungleichheit von Boston und San Francisco mit derjenigen der oben angewendeten Korrektions-Tabellen verglichen.

Gegenüber dieser Unsicherheit, welche durch die Verschiedenheit der halbmonatlichen Ungleichheit bedingt ist, und bei der gar nicht berücksichtigten täglichen Ungleichheit (welche ebenfalls eine Stunde und mehr betragen kann, aber in europäischen Gewässern zu vernachlässigen ist) fällt die Ungenauigkeit in den Angaben der Hafenzeiten-Tabellen kaum ins Gewicht.

The first part of the report deals with the general situation of the country and the progress of the work done during the year.

The second part of the report deals with the details of the work done in the various departments of the country.

The third part of the report deals with the financial statement of the country and the progress of the work done during the year.

The fourth part of the report deals with the general situation of the country and the progress of the work done during the year.

The fifth part of the report deals with the details of the work done in the various departments of the country.

The sixth part of the report deals with the financial statement of the country and the progress of the work done during the year.

Die Elemente für eine ganz genaue Berechnung der Hochwasserzeiten können daher nicht in allgemeinen Tafeln und Anweisungen gegeben, sondern müssen von den speciellen Segelanweisungen nachgewiesen werden.

§ 114. Aus den vorstehenden Erörterungen geht die Zulässigkeit des folgenden vereinfachten Verfahrens für angenäherte Vorausbestimmung der Hochwasserzeit hervor.

Die verschiedenen Gezeiten-Tafeln, welche in Deutschland, England, Frankreich und Nordamerika alljährlich veröffentlicht werden, enthalten für eine grössere Zahl von Häfen die Vorausberechnung der Zeit und Höhe des Hochwassers sowie theilweise auch des Niedrigwassers für das laufende Jahr. Diesen in Tabellenform gebrachten Angaben schliessen sich für die benachbarten Häfen und Küstenpunkte Konstanten an, welche der Angabe der Tabelle hinzuzufügen sind, um die betreffende Angabe für diese weiteren Häfen und Küstenpunkte zu erhalten. Nur die französischen Tafeln enthalten bis jetzt Konstanten für Häfen und Küstenpunkte aller Meere der Erde, sämmtlich (mit Ausnahme der Nordeuropäischen Häfen) auf Brest bezogen und zwar schon für die Länge korrigirt.

In den Karten der Vereinigten Staaten von Nordamerika ist nicht die gewöhnliche Hafenzzeit, sondern die oben erklärte korrigirte Hafenzzeit angegeben und genau bezeichnet als „mean interval between time of moon's transit and time of high water“. Die nordamerikanischen Gezeiten-Tafeln sind besonders ausführlich und geben in tabellarischer Form eine ganze Anzahl werthvoller Daten für die amerikanischen Küstenplätze.*)

Mit Hülfe der Gezeiten-Tafeln erhält man demnach für alle in denselben aufgeführten Orte die Hochwasserzeiten entweder direkt oder nach Anwendung der angegebenen Konstanten auf die Hochwasserzeiten des betreffenden Basisortes. Für einzelne Plätze ist die Zeitdauer des Fallens und Steigens des Wassers angegeben; durch Anwendung derselben auf die Hochwasserzeit erhält man die Zeit des Niedrigwassers; sonst nehme man als Niedrigwasserzeit die Mitte zwischen zwei auf einander folgenden Hochwasserzeiten.

Im Nautischen Jahrbuch sind die täglichen Hoch- und Niedrigwasserzeiten in Cuxhaven (Tafel 23) und die Hochwasserzeiten an der London-Brücke (Tafel 25), sowie die Zeitunterschiede, um welche das Hochwasser anderer in der Nähe gelegener Küstenpunkte früher oder später stattfindet, als an

*) Siehe auch Bowditch Tafel LV.

den beiden genannten Punkten, angegeben (Tafel 24 und 26), und findet man mittelst derselben für die aufgeführten Orte die Hoch- und Niedrigwasserzeiten in derselben Weise, wie mit Hilfe der Gezeiten-Tafeln.

Für andere von den Basisorten nicht zu entfernt liegende Orte, für welche der Unterschied der Hochwasserzeiten nicht angegeben ist, kann man sich dadurch helfen, dass man statt dessen den Unterschied der Hafenzeiten zwischen beiden Orten nimmt. Ist der Ort, dessen Gezeiten gesucht werden, in Länge verschieden von dem Basisort, so ist wie bei der Berechnung der Mondkulminationszeit eine Korrektion wegen des Längenunterschiedes anzubringen (bei ungefährrer Rechnung zwei Minuten pro Stunde Längenunterschied, bei Ostlänge mit +, bei Westlänge mit — anzuwenden). Bei der Bildung der Differenz der Hafenzeiten ist darauf zu achten, ob dieselbe positiv oder negativ anzuwenden ist. — Die Hafenzzeit von Cuxhaven ist $0^h 49^m$, die Länge $8^\circ 42'$ Ost, von London-Brücke ist die Hafenzzeit $1^h 58^m$, die Länge $0^\circ 6'$ West.

Beispiel 1.

Am 21. April 1885 soll nach den Gezeiten-Tafeln die Vormittags-Hochwasserzeit in Elsfleth ermittelt werden.

21. April Hochwasser zu Cuxhaven $5^h 0^m$ a. m.

Konstante für Elsfleth (Seite 118) + $2^h 21^m$

Hochwasser zu Elsfleth $7^h 21^m$ a. m.

Beispiel 2.

Wann findet am 10. September 1885 Hoch- und Niedrigwasser bei Helgoland statt?

Nach Nautischem Jahrbuch:

10. Septbr. Cuxhaven Hochwasser $1^h 52^m$ $14^h 14^m$

Unterschied für Helgoland . . — $1^h 19^m$ — $1^h 19^m$

Hochwasser in Helgoland $0^h 33^m$ p. m. $12^h 55^m$ = $0^h 55^m$
a. m. d. 11. Septbr.

Da das zweite Hochwasser auf den 11. September fällt, so ist das vorhergehende zu nehmen.

9. Septbr. Cuxhaven Hochwasser $13^h 29^m$

Unterschied für Helgoland . . — $1^h 19^m$

Hochwasser in Helgoland $12^h 10^m$ a. m. d. 10. Sptbr.

Ebenso

Cuxhaven Niedrigwasser d. 9./9. $20^h 27^m$; d. 10./9. $8^h 49^m$

Unterschied für Helgoland — $1^h 19^m$; — $1^h 19^m$

Niedrigwasser in Helgoland d. 10./9. $7^h 8^m$ a. m. $7^h 30^m$ p. m.

Beispiel 3.

Wann findet am 8. September 1885 Hochwasser bei Cherbourg statt?

Cherbourg . . .	Länge = $1^{\circ} 37' W$	Hafenzeit $7^h 58^m$
London-Brücke -	= $0^{\circ} 6' W$	- $1^h 58^m$
	Unterschied $1^{\circ} 31' W$	+ $6^h 0^m$
Hochwasser an der London-Brücke		
	d. 9./9. $14^h 33^m$; d. 10./9.	$2^h 55^m$
	+ $6^h 0^m$;	+ $6^h 0^m$
Korrektion f. Längenunterschied 0		
		0
Hochwasser in Cherbourg		
	d. 10./9. $8^h 33^m$ a. m.;	$8^h 55^m$ p. m.

§ 115. Die Höhe der Gezeiten.

Die im Laufe eines Mondumlaufs auftretenden höchsten Wasserstände nennt man Springfluthen (die Zeit ihres Auftretens Springzeit), die niedrigsten Nipfluthen oder taube Fluthen (die Zeit ihres Auftretens Nipzeit). Gewöhnlich werden nur die ersteren, welche kurz nach den Syzygien eintreten, in den Karten und Tabellen angegeben.

Die Höhe der Gezeiten, wie sie an der Küste zur Beobachtung gelangt, ist nicht unmittelbar von der Anziehung der Gestirne abzuleiten, sondern wird durch die Gestaltung der Küsten, Eindringen in Flussmündungen und andere Umstände (Winde, Luftdruck) in sehr erheblichem Maasse beeinflusst.

Sehr hohe Fluthen sind überall da zu erwarten, in grösserem oder geringerem Maasse, wo die Fluthwelle in einen längeren, breiten, an seinem inneren Ende geschlossenen Meeresarm eintritt, welcher nahezu parallele oder langsam konvergierende Ufer besitzt. Die Amplitude der Gezeiten wächst vom Eingange der Bucht bis ins Innere. Mündet in dem innersten Theile derselben ein Fluss, so tritt die Fluthwelle in diesen ein, nimmt zwar an Höhe ziemlich rasch ab, wird aber an der Vorderseite immer steiler, an der Rückseite immer flacher. In Verbindung hiermit steht der Umstand, dass das Steigen des Wassers immer kürzere Zeit, das Fallen immer längere Zeit in Anspruch nimmt, bis endlich das Steigen so rasch erfolgt, dass ein Brechen des Wassers über den flacheren Stellen des Flussbettes erfolgt. Diese Erscheinung nennt man Fluthbrandung (engl. bore, französisch mascaret), sie findet sich z. B. im Severn (bei Newnham), in der Seine, Gironde, Amazonenstrom, Hugly und an vielen anderen Stellen. Sehr hohe Gezeiten bieten die Bucht von St. Malo, der Bristol-Kanal, Fundy-Bai, Hang-tschen-Bai u. s. w.

Die Flusstiden bieten bisweilen noch andere Erscheinungen dar, welche von Interesse sind. Im Firth of Forth z. B. treten zwei bisweilen drei Hochwasser auf, d. h. nachdem das Wasser, nach Erreichung des ersten Hochwassers, eine Zeit lang gefallen ist, hört das Fallen auf und es beginnt wieder zu steigen, erreicht jedoch in der Regel nicht wieder die frühere Höhe. Bisweilen wiederholt sich dies noch einmal, bis endlich das Wasser seinen niedrigsten Stand erreicht, von wo es dann in einem Zuge wieder ohne Unterbrechung bis zum Haupthochwasser emporsteigt. Aehnlich ist das doppelte Hochwasser, welches am Helder (wo das zweite Hochwasser „Agger“ heisst), in Southampton, Poole, Christchurch etc. beobachtet wird; auch das verlängerte Hochwasser, welches Havre den Vortheil eines über $1\frac{1}{2}$ Stunden dauernden, sehr nahe gleichbleibenden Hochwasserstandes gewährt, gehört in diese Kategorie.

§ 116. Gezeitenströmungen.

Es ist eine allgemein bekannte Thatsache, dass das Steigen und Fallen des Wassers mit einer horizontalen Bewegung desselben, einer Strömung, verbunden ist, welche zuerst in einer bestimmten Richtung, darauf in der entgegengesetzten stattfindet. Zwischen dem Wechsel der Richtung tritt eine kurze Zeit ein, in welcher keine oder eine nur wenig bemerkbare Strömung stattfindet, das Stau- oder Stillwasser. In Häfen und dicht unter der Küste pflegt der Wechsel der Stromrichtung bei oder kurze Zeit nach Hoch- und Niedrigwasser einzutreten, und man pflegt daher die Strömung, welche Hochwasser bringt, die Fluthströmung, diejenige, welche Niedrigwasser bringt, die Ebbeströmung zu nennen. Aus dieser Thatsache hat sich die Vorstellung gebildet, dass überall Stillwasser oder der Wechsel der Stromrichtung nahe gleichzeitig mit Hoch- und Niedrigwasser stattfindet, und es ist daher öfter in Ermangelung anderer Beobachtung aus der Zeit des Stromwechsels auf die Zeit des Hochwassers geschlossen worden, jedoch kann nicht dringend genug vor solchen Schlüssen gewarnt werden, denn thatsächlich kann der Stromwechsel bis über drei Stunden nach Hoch- und Niedrigwasser eintreten, und dies wird sogar im freien Meere stets der Fall sein müssen, wie sich aus der Natur der Wellenbewegung ergibt, welche gerade bei den extremen Phasen (Hoch- und Niedrigwasser) die stärkste Strömung erzeugt. Mit der Annäherung an die Küste und beim Eindringen der Fluthwelle in Flussmündungen verschiebt sich

aber die Zeit des Stromwechsels immer näher nach Hoch- und Niedrigwasser, um in geschlossenen Buchten und ganz dicht unter der Küste ganz mit diesen Phasen zusammenzufallen.

Die Stärke der Strömung hängt von der Höhe der Gezeiten und der Tiefe des Wassers ab und kann unter Umständen sehr erheblich sein. In Häfen und Buchten geht der Wechsel der Stromrichtung in der Regel so vor sich, dass die eine Stromrichtung allmählich aufhört, dann eine kurze Pause ohne wahrnehmbaren Strom eintritt, und dann der Strom aus entgegengesetzter Richtung wieder einsetzt und bald in voller Stärke auftritt. Es kommt aber in der Nähe der Küsten häufig vor, dass ein derartiges, so zu sagen plötzliches Uebergehen der einen Richtung in die andere nicht stattfindet, sondern dass der Strom allmählich, ohne jemals ganz aufzuhören, aus einer anderen Richtung kommt, so dass im Laufe einer ganzen Tide, d. h. von Hochwasser bis Hochwasser, ein verankertes Schiff (Windstille natürlich vorausgesetzt) auf allen Kursen im Strom von wechselnder Stärke gelegen hat. In der Regel wird der Strom auf zwei entgegengesetzten Richtungen nahe gleiche Stärke haben, und zwei Richtungen werden sich durch besonders kräftigen Strom auszeichnen, während derselbe auf allen anderen Kursen schwächer und am schwächsten auf den zu der Maximalrichtung senkrechten Kursen sein wird; es kommen auch Fälle vor, wo die Geschwindigkeit des Stromes auf allen Kursen die gleiche ist, doch ist dies wohl eine Ausnahme. Die Drehungsrichtung des Stromes richtet sich nach der Regel: Denken wir uns längs einer Küste segelnd und zwar **mit** dem Fluthstrom, so dreht der Strom mit dem Uhrzeiger, wenn das Land an der linken Seite, und gegen den Uhrzeiger, wenn das Land auf der rechten Seite ist.

An vorspringenden Kaps, wenn der Fluthwechsel in den hinter liegenden Buchten ein grosser ist, pflegt eine sehr starke Strömung aufzutreten, die unter Umständen gefährlich werden kann.

Als Beispiel, von welcher Wichtigkeit die Kenntniss der Gezeitenströmungen für die Navigation sein kann, mögen hier noch die Strömungen im Englischen Kanal und dem südlichen Theile der Nordsee nach den Untersuchungen des Kapitäns Beechey*) Erwähnung finden, welche durch die diesem Werke angehängten Karten erläutert werden. Auf der Strecke von

*) Eine Erklärung dieser Erscheinung nach den Principien der Wellentheorie s. Annalen der Hydrographie 1880 S. 1 ff.

Start Point—Guernsey bis Cromer—Vlissingen richtet sich die Stromrichtung nach dem Wasserstand bei Dover. Bei Niedrigwasser zu Dover fließt der Fluthstrom im Englischen Kanal nach Osten, in der südlichen Nordsee nach Westen; beide Strömungen treffen sich auf einer ziemlich scharf begrenzten Linie, die von Beachey-Head nach Pointe d'Ailly führt. Dies bleibt so bis zur Zeit von Hochwasser bei Dover, nur verschiebt sich die Linie, auf der sich die Strömungen treffen, allmählich bis nach North-Foreland-Dunkerque. Bald nach Hochwasser bei Dover tritt im Kanal und dem in Rede stehenden Theile der Nordsee Stillwasser ein, mit Ausnahme des Theiles des in Frage stehenden Gebietes, welcher zwischen Beachey-Head und North-Foreland einerseits und Pointe d'Ailly und Dunkerque andererseits liegt, wo die Strömung aus Westen sich noch fortsetzt. Diese wird von Beechey „intermediate current“ (Zwischenstrom) genannt. Im Englischen Kanal beginnt sodann der Ebbestrom mit rasch zunehmender Geschwindigkeit aus Osten, in der Nordsee aber aus Westen zu laufen, der letztere vereinigt sich mit dem noch aus Westen laufenden Zwischenstrom, und die Scheide beider Strömungen liegt wieder auf der Linie Beachey-head—Pointe d'Ailly. Die Stromscheide verschiebt sich nun wiederum nach Osten bis zu der obengenannten Grenze, es herrscht also jetzt in der Strasse von Dover ein Zwischenstrom aus Osten, der auch noch fort dauert, nachdem bei Dover Niedrigwasser, im Kanal sowohl wie in der Nordsee Stillwasser eingetreten ist. Im Kanal beginnt dann der Fluthstrom wieder aus Westen, in der Nordsee aus Osten zu laufen, letzterer vereinigt sich mit dem östlichen Zwischenstrom in der Strasse von Dover, und die Stromscheide liegt wieder wie zu Anfang in der Linie Beachey-head—Pointe d'Ailly. Die Geschwindigkeit der Strömung ist eine sehr erhebliche (über 3 bis stellenweise 5 bis 6 Knoten), so dass, wie man sieht, die Kenntniss dieser Verhältnisse für die Navigation von grosser Wichtigkeit sein kann.

§ 117. Beobachtung der Gezeiten.

Um die für die Vorausberechnung der Eintrittszeit und der Höhe von Hoch- und Niedrigwasser wichtigen Grössen: Hafenzzeit, mittlerer Fluthwechsel, halbmonatliche Ungleichheit in Zeit und Höhe, tägliche Ungleichheit, sowie die für genauere Rechnungen nothwendigen kleinen Korrekturen, welche von der Deklination und Parallaxe der Gestirne abhängen, für

irgend einen Hafen zu erhalten, ist es nothwendig, den Verlauf der Gezeiten durch längere Zeit zu beobachten.

Es ist bisher meistens als genügend angesehen worden, nur die Eintrittszeit und Höhe des Hoch- und Niedrigwassers zu beobachten, und zwar pflegt dies in der Weise zu geschehen, dass von 5 zu 5 oder von 10 zu 10 Minuten, während der Zeit von einer halben Stunde vor bis eine halbe Stunde nach der betreffenden Phase der Wasserstand an einem Pegel abgelesen und notirt wird. Dies giebt die Zeit und Höhe dieser Phasen mit recht grosser Schärfe, und solche Beobachtungen, über eine längere Zeit fortgesetzt, genügen zur Ermittlung der gewünschten Grössen. Der Werth dieser Beobachtungen wird aber sehr vermehrt, wenn man zu beliebigen aber genau notirten Zeiten zwischen der Maximal- und Minimalphase den Wasserstand notirt, weil man dann im Stande ist, die Wasserstandskurve nachträglich zu konstruiren und diese nach der Methode der harmonischen Analyse, welche wir hier jedoch nicht näher auseinandersetzen können, zu bearbeiten.

Sehr viel werthvollere Resultate erhält man, wenn man jede Stunde (Tag und Nacht hindurch) den Wasserstand ablesen lässt, auch wenn dies nur über einen ganz kurzen Zeitraum, z. B. 14 Tage, fortgesetzt werden kann. Das werthvollste, weil vollständigste, Material wird aber durch selbstregistrirende Fluthmesser geliefert, wie solche an vielen Küstenpunkten in Thätigkeit sind.

Sind Besonderheiten in dem Verlauf der Gezeiten vorhanden, wie sie in § 115 angedeutet sind, so werden dieselben durch den registrirenden Fluthmesser unmittelbar zur Anschauung gebracht, während man bei Beobachtung an einem Pegel sehr viel häufigere Ablesungen machen muss, um dieselben zu ermitteln.

Wie man auch immer die Gezeitenbeobachtungen anstellen mag, so sollte niemals versäumt werden, den zur Ablesung oder zur Kontrolle des Registrirapparats benutzten Pegel an eine feste Höhenmarke, die man z. B. an einem Hause oder einem Felsen einmeisselt, anzuschliessen, weil solche Marken zur Entscheidung der Frage nach der Hebung und Senkung der Landmassen von grosser Wichtigkeit sind.

§ 118. Reduktion der Beobachtungen.

Der theoretische Ausdruck für die Höhe des Wasserstandes über Mittelwasser ist nach der Theorie von Laplace oder Airy folgender:

$$(1) H = \frac{M_1}{r^3} \sin 2 \delta \cos (\Theta - \lambda) + \frac{S_1}{r_1^3} \sin 2 \delta_1 \cos (\Theta_1 - \lambda_1) \\ + \frac{M_2}{r^3} \cos \delta^2 \cos 2 (\Theta - \mu) + \frac{S_2}{r_1^3} \cos \delta_1^2 \cos 2 (\Theta_1 - \mu_1)$$

Hierin bedeuten M_1 , M_2 , S_1 , S_2 konstante Grössen, welche resp. der Masse des Mondes und der Sonne proportional sind, ebenso sind λ , λ_1 , μ , μ_1 konstante Winkelgrössen, die von der Lage des Beobachtungsortes abhängen. Ferner bezeichnen r , r_1 die Entfernungen von Mond und Sonne von der Erde, δ , δ_1 die Deklination dieser beiden Gestirne und Θ und Θ_1 ihren Stundenwinkel im Augenblicke der Beobachtung.

Die beiden ersten Glieder stellen eine Gezeit dar, welche alle ihre Phasen innerhalb eines ganzen Tages durchläuft (daher eintägige Tide genannt), während die beiden Glieder der letzten Zeile eine Gezeit repräsentiren, welche ihre Phasen in einem halben Tage durchläuft (daher halbtägige Tide). Der obige Ausdruck ergibt, dass alle Glieder veränderlich sind, weil sie mit veränderlichen Faktoren, Funktionen der Distanzen und der Deklinationen multiplicirt sind.

Die Aufgabe der Reduktion von Gezeitenbeobachtungen ist nun die, die Konstanten zu ermitteln, und sind hierzu verschiedene Methoden erdnen worden, von denen wir hier nur eine erwähnen wollen, welche (besonders von Lubbock und Whewell ausgebildet) den früher allein vorhandenen Beobachtungen von Zeit und Höhe, von Hoch- und Niedrigwasser angepasst ist. Beschränkt man sich zunächst auf die halbtägigen Tiden, weil die eintägigen meist hinreichend klein sind, um nur als Korrekptionsgrössen der ersteren behandelt zu werden, so lassen sich die beiden Glieder, durch welche dieselben ausgedrückt werden, in ein einziges zusammenfassen, nämlich:

$$(2) \frac{M_2}{r^3} \cos \delta^2 \cos 2 (\Theta - \mu) + \frac{S_2}{r_1^3} \cos \delta_1^2 \cos 2 (\Theta_1 - \mu_1) \\ = H \cos 2 (\Theta - \mu - \varphi)$$

worin:

$$(3) \left\{ \begin{array}{l} \operatorname{tg} 2 \varphi = \frac{-\frac{S_2}{r_1^3} \cos \delta_1^2 \sin 2 (\Theta_1 - \Theta - \mu_1 + \mu)}{\frac{M_2}{r^3} \cos \delta^2 + \frac{S_2}{r_1^3} \cos \delta_1^2 \cos 2 (\Theta_1 - \Theta - \mu_1 + \mu)} \\ H = \sqrt{\left(\frac{M_2}{r^3} \cos \delta^2\right)^2 + \left(\frac{S_2}{r_1^3} \cos \delta_1^2\right)^2 + 2 \frac{M_2}{r^3} \cos \delta^2 \cdot \frac{S_2}{r_1^3} \cos \delta_1^2 \cos 2 (\Theta_1 - \Theta - \mu_1 + \mu)} \end{array} \right.$$

Die Grösse $\Theta_1 - \Theta$, der Unterschied der Stundenwinkel von Sonne und Mond, ist gleich dem Unterschiede ihrer Rektascensionen und dieser wiederum, in Zeit ausgedrückt, ist im Augenblicke der Kulmination des Mondes der wahren Sonnenzeit T dieser Kulmination gleich, wir können daher alles auf die Kulminationszeit des Mondes beziehen, was deshalb bequem ist, weil diese Grösse in allen nautischen Jahrbüchern und auch in den „Gezeitentafeln“ gegeben wird. Da $\Theta_1 - \Theta$ in einem halben Monate von 0° bis 180° wächst, so ergibt sich aus (3), dass sowohl φ als auch H in einem halben Monat zu ihrem Anfangswerth zurückkehren, deshalb stellt φ die halbmonatliche Ungleichheit in Zeit und die Abweichung des Werthes von H von dem Mittelwerth H_0 die halbmonatliche Ungleichheit in Höhe oder ΔH dar.

Es ist Hochwasser, wenn (2) sein Maximum erreicht, was der Fall ist, wenn:

$$\Theta - \mu - \varphi = 0 \text{ oder } \Theta = \mu + \varphi$$

ist. Es ist nun $\Theta_1 - \Theta = T$, also $\Theta = \Theta_1 - T$ und da $\Theta_1 =$ wahre Sonnenzeit ist, so erhalten wir die wahre Zeit des Hochwassers

$$(4) \Theta_1 = T + \mu + \varphi,$$

woraus sich die mittlere Zeit durch Hinzufügung der Zeitgleichung findet. Die Höhe des Hochwassers über dem mittleren Niveau ist:

$$(5) H = H_0 + \Delta H$$

und wenn A_0 die Höhe des Mittelwassers über Null des Pegels bedeutet, so ist die Pegelablesung, h , der Hochwasserhöhe, welche beobachtet wird:

$$(5a) h = A_0 + H_0 + \Delta H.$$

Man ersieht aus (3), dass φ und H resp. ΔH mit der Deklination und der Parallaxe der Gestirne veränderlich sind. Da diese Veränderlichkeit jedoch nicht sehr erheblich ist, so kann man sie in Gestalt von Korrekturen an einen Mittelwerth darstellen und hat demnach zu obigen Werthen von Θ_1 und h noch diese kleinen Korrekturen hinzuzufügen, um die richtige Zeit und Höhe des Hochwassers zu erhalten. Für Niedrigwasser gelten ganz analoge Ausdrücke.

Die Methode nun, aus den beobachteten Zeiten und Höhen von Hoch- und Niedrigwasser die Konstanten μ sowie φ , ΔH und die Korrekturen wegen Deklination und Parallaxe

der Gestirne zu ermitteln, ergibt sich aus (4), (5a) und (3) einfach.

Man bildet zunächst nach (4) für alle beobachteten Zeiten von Hoch- und Niedrigwasser die Differenz $\Theta_1 - T$ oder die Differenz zwischen der wahren Zeit der Beobachtung und der wahren Zeit der nächst vorhergehenden Mondkulmination, d. h. die Mondfluthintervalle. Das Mittel aus allen Mondfluthintervallen, welche sich über eine volle Anzahl von halben Mondmonaten erstrecken, ist $= \mu$ dem mittleren Mondfluthintervall, weil die positiven und negativen Werthe von φ sich in jedem halben Monat, mindestens sehr nahe, gegenseitig aufheben. Das so gefundene mittlere Mondfluthintervall wird um so näher dem wahren Werthe entsprechen, je länger der Zeitraum ist, den die Beobachtungen umfassen. Das mittlere Mondfluthintervall, welches wir so erhalten haben, ist aber noch mit den Abweichungen der Mittelwerthe der kleinen Korrekturen für Deklination und Parallaxe der Gestirne von denjenigen, welche für die mittlere Deklination und Parallaxe gelten, behaftet, und sind daher dem entsprechende kleine Korrekturen an das gefundene μ anzubringen.

In gleicher Weise wird das Mittel aus allen beobachteten Höhen genommen, und erhalten wir für Hochwasser als Resultat die Grösse $A_0 + H_0$ und für Niedrigwasser $A_0 - H_0$, das Mittel aus beiden ergibt also die Pegelhöhe des Mittelwassers A_0 . Auch hier gilt das eben Gesagte bezüglich der Reduktion auf die mittlere Deklination und Parallaxe.

Um die halbmonatliche Ungleichheit zu erhalten, gruppirt man die Mondfluthintervalle und Höhen in der Weise, dass man alle Mondfluthintervalle und Höhen, welche den Mondkulminationszeiten entsprechen, die eine Viertelstunde vor bis eine Viertelstunde nach jeder halben Stunde von $0^h 0^m$ bis $11^h 30^m$ fallen, zu einem Mittelwerth zusammenfasst. Man erhält also 24 Mittelwerthe, die successive den Mond-Culminationszeiten, $(\Theta_1 - \Theta)$: $0^h 0^m$, $0^h 30^m$, $1^h 0^m$ u. s. w. angehören. Dann giebt die Abweichung dieser Mittelwerthe von dem mittleren Mondfluthintervall und der mittleren Höhe die mittlere halbmonatliche Ungleichheit in Zeit und Höhe. Hat man nur wenige Beobachtungen zur Verfügung, so wird man die Zusammenfassung anstatt für die halben Stunden für jede Stunde der Mond-Kulmination machen.

Die halbmonatliche Ungleichheit in Zeit ist $= 0$ und in Höhe ein Maximum, wenn $\Theta_1 - \Theta - \mu_1 + \mu = 0$ ist; $\Theta_1 - \Theta$ ist $= 0$ bei Neumond und $= 180^\circ$ bei Vollmond, die halb-

monatliche Ungleichheit in Zeit verschwindet also nicht und es ist nicht Springzeit bei diesen Phasen, sondern eine gewisse Zeit später, welche gefunden wird, wenn wir $\mu_1 - \mu$ durch die Bewegung des Mondes in die Zeiteinheit dividiren. Man nennt diese Verspätung das Alter der Gezeit.

Um die kleinen Korrekturen für Deklination und Parallaxe der Gestirne zu finden, wird man am besten thun, zunächst mit der soeben gefundenen mittleren halbmonatlichen Ungleichheit die sämmtlichen beobachteten Mondfluthintervalle und Höhen zu verbessern, d. h. sie auf das mittlere Mondfluthintervall und die mittlere Höhe bei Hoch- und Niedrigwasser zu reduciren und sie dann nach folgenden Gesichtspunkten zu gruppiren. Behufs Ableitung z. B. der Deklinations-Korrektur werden alle verbesserten Mondfluthintervalle und Höhen in Gruppen, welche den Deklinationen 0° bis 6° , 6° bis 12° , 12° bis 18° , 18° bis 24° und über 24° (ohne Rücksicht auf das Vorzeichen) entsprechen und innerhalb jeder Gruppe in Untergruppen, die den verschiedenen Stunden der Mond-Kulmination entsprechen in Mittelwerthe zusammengefasst, dann giebt die Abweichung dieser Mittelwerthe von dem mittleren Mondfluthintervall resp. der mittleren Höhe die, der mittleren Deklination jeder Gruppe und der betreffenden Stunde der Mond-Kulmination entsprechende Deklinations-Korrektur in Zeit und Höhe. Ganz analog ist das Verfahren für die Parallaxen-Korrektur. Hierbei ist zu beachten, dass man die beobachteten Mondfluthintervalle und Höhen mit denjenigen Deklinationen, Parallaxen und Mond-Kulminationen zu kombiniren hat, welche um das Alter der Gezeit früher als die Beobachtung stattgefunden haben. Da die Parallaxen-Korrektur meistens die grössere ist, so wird man diese am besten zuerst ableiten, dann die Beobachtungen wegen derselben verbessern und hierauf die Deklinations-Korrektur ermitteln.

Bis jetzt haben wir vorausgesetzt, dass die tägliche Tide so klein ist, dass sie vernachlässigt werden könne. Dies ist vielfach auch der Fall und wo sie sich bemerklich macht, wird meistens das im Nachfolgenden skizzirte Verfahren ausreichen, um die dieserhalb nothwendigen Korrekturen, die unter dem Namen „tägliche Ungleichheit“ bekannt sind, zu ermitteln. Man bildet, nachdem man die beobachteten Mondfluthintervalle und Höhen wegen der halbmonatlichen Ungleichheit und der kleinen Korrekturen verbessert hat, die Differenz zwischen dem Mondfluthintervall (und Höhe), welches dem Vormittags-

Hochwasser und demjenigen, welches dem Nachmittags-Hochwasser entspricht, und ebenso die Differenz zwischen den dem letzteren und den dem folgenden Vormittags-Hochwasser entsprechenden Grössen und giebt der letzteren Differenz das entgegengesetzte Vorzeichen. Aus diesen Differenzen werden alsdann Gruppen gebildet, welche den Deklinationen -3° bis $+3^\circ$, $\pm 3^\circ$, bis $\pm 6^\circ$, $\pm 6^\circ$ bis $\pm 9^\circ$ u. s. w. (nördliche und südliche Deklinationen getrennt) entsprechen, und in jeder Gruppe die Mittel gebildet. Diese geben dann die doppelte tägliche Ungleichheit in Zeit und Höhe für das Mittel der betreffenden Deklinationen. Das Alter der Gezeit für die tägliche Tidewelle ist in der Regel erheblich grösser als für die halbtägige Welle (beträgt es für die letztere $2\frac{1}{2}$ Tage, so kann es für die erste auf 6 bis 7 Tage steigen); wir haben daher bei der Bildung der Gruppen die Differenzen der Mondfluthintervalle und Höhen mit den Deklinationen zu kombiniren, welche um das Alter der Gezeit früher stattgefunden haben. Das Alter der Gezeit findet man mit genügender Annäherung dadurch, dass man an einer Reihe von Fällen konstatirt, wie lange Zeit später als die Deklination 0° die Differenz der Mondfluthintervalle und Höhen $= 0$ wird. Für Niedrigwasser wird ebenso verfahren.

Hiermit haben wir die wichtigsten Grössen gefunden. Das Mondfluthintervall für die Kulminationszeit $0^h 0^m$ ist die Hafenzzeit, der Unterschied der mittleren Mondfluthintervalle für Hoch- und Niedrigwasser giebt die mittlere Dauer des Steigens oder Fallens des Wassers, je nachdem das Intervall für Niedrigwasser kleiner oder grösser ist als das für Hochwasser. Aus der Spring- und Nipfluthhöhe von Hoch- und Niedrigwasser ergeben sich M_2 und S_2 , denn es ist die Pegelhöhe:

$$\begin{aligned} \text{bei Springfluth - Hochwasser} &= A_0 + M_2 + S_2 = H_1 \\ \text{ - - - Niedrigwasser} &= A_0 - M_2 - S_2 = h_1 \\ \text{ - Nipfluth-Hochwasser} &= A_0 + M_2 - S_2 = H_2 \\ \text{ - - - Niedrigwasser} &= A_0 - M_2 + S_2 = h_2 \end{aligned}$$

daher:

$$M_2 = \frac{1}{4} (H_1 - h_1 + H_2 - h_2)$$

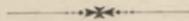
$$S_2 = \frac{1}{4} (H_1 - h_1 - H_2 - h_2)$$

und

$$A_0 = \frac{1}{4} (H_1 + h_1 + H_2 + h_2)$$

die Höhe des Mittelwassers über Null des Pegels.

Eine zweite, oben schon erwähnte Methode, die der harmonischen Analyse, können wir hier nur erwähnen. Sie beruht auf der Entwicklung des Ausdrucks (1) in eine Reihe von Gliedern, welche aus konstanten Koeffizienten multiplicirt mit den Cosinus von Winkeln, welche sich gleichförmig mit der Zeit ändern, bestehen, und erfordert zu ihrer Anwendung stündliche Wasserstandsbeobachtungen. Näheres über diese Methode ist nachzulesen in: „Die harmonische Analyse der Gezeitenbeobachtungen“ von Prof. Börgen in „Annalen der Hydrographie 1884“ (auch separat erschienen) und in: „Die internationale Polarforschung, Ergebnisse der deutschen Stationen“ Bd. II, wo das Verfahren bei kurzen Beobachtungsreihen dargelegt ist. (Auch in: Forschungsreise S. M. S. „Gazelle“ Bd. II.)



Anhang.

Hülftafeln.

Tafel I.

Grösse eines Grades der Länge auf den Breitenparallelen $0^{\circ} - 89^{\circ}$.

Breite	Grössen- Ver- hältniss. Aequator = 1	Differenz	Anzahl See- meilen	Diffe- renz	Anzahl Meter	Differenz
0°	1,00000		60,10		111306,6	
1°	0,99985	0,00015	60,09	0,01	111289,7	16,9
2°	0,99939	0,00046	60,06	0,03	111239,2	50,5
3°	0,99864	0,00075	60,02	0,04	111155,0	84,2
4°	0,99758	0,00106	59,96	0,06	111037,2	117,8
5°	0,99622	0,00136	59,87	0,09	110885,8	151,4
6°	0,99456	0,00166	59,77	0,10	110700,9	184,9
7°	0,99259	0,00197	59,66	0,11	110482,4	218,5
8°	0,99033	0,00226	59,52	0,14	110230,5	251,9
9°	0,98777	0,00256	59,37	0,15	109945,2	285,3
10°	0,98491	0,00286	59,19	0,18	109626,6	318,6
11°	0,98175	0,00316	59,00	0,19	109274,8	351,8
12°	0,97829	0,00346	58,79	0,21	108889,9	384,9
13°	0,97453	0,00376	58,57	0,22	108472,1	417,8
14°	0,97049	0,00404	58,33	0,24	108021,4	450,7
15°	0,96614	0,00435	58,07	0,26	107538,0	483,4
16°	0,96151	0,00463	57,79	0,28	107021,9	516,1
17°	0,95658	0,00493	57,49	0,30	106473,4	548,5
18°	0,95136	0,00522	57,18	0,31	105892,6	580,8
19°	0,94585	0,00551	56,85	0,33	105279,7	612,9
20°	0,94006	0,00579	56,50	0,35	104634,8	644,9
21°	0,93398	0,00608	56,13	0,37	103958,2	676,6
22°	0,92762	0,00636	55,75	0,38	103250,0	708,2
23°	0,92097	0,00665	55,35	0,40	102510,5	739,5
24°	0,91405	0,00692	54,94	0,41	101739,8	770,7
25°	0,90685	0,00720	54,50	0,44	100938,2	801,6
26°	0,89937	0,00748	54,05	0,45	100105,9	832,3

Breite	Größen- Ver- hältniss. Aequator = 1	Differenz	Anzahl See- meilen	Diffe- renz	Anzahl Meter	Differenz
26°	0,89937		54,05		100105,9	
27°	0,89162	0,00775	53,59	0,46	99243,2	862,7
28°	0,88360	0,00802	53,10	0,49	98350,3	892,9
29°	0,87531	0,00829	52,61	0,49	97427,4	922,9
30°	0,86675	0,00856	52,09	0,52	96474,8	952,6
31°	0,85793	0,00882	51,56	0,53	95492,9	981,9
32°	0,84884	0,00909	51,02	0,54	94481,9	1011,0
33°	0,83950	0,00934	50,45	0,57	93442,1	1039,8
34°	0,82990	0,00960	49,88	0,57	92373,8	1068,3
35°	0,82005	0,00985	49,29	0,59	91277,3	1096,5
36°	0,80995	0,01010	48,68	0,61	90152,9	1124,4
37°	0,79960	0,01035	48,06	0,62	89001,0	1151,9
38°	0,78901	0,01059	47,42	0,64	87821,9	1179,1
39°	0,77818	0,01083	46,77	0,65	86616,0	1205,9
40°	0,76710	0,01108	46,10	0,67	85383,6	1232,4
41°	0,75580	0,01130	45,42	0,68	84125,1	1258,5
42°	0,74426	0,01154	44,73	0,69	82840,8	1284,3
43°	0,73249	0,01177	44,02	0,71	81531,1	1309,7
44°	0,72050	0,01199	43,30	0,72	80196,5	1334,6
45°	0,70829	0,01221	42,57	0,73	78837,3	1359,2
46°	0,69586	0,01243	41,82	0,75	77453,9	1383,4
47°	0,68322	0,01264	41,06	0,76	76046,8	1407,1
48°	0,67037	0,01285	40,29	0,77	74616,3	1430,5
49°	0,65731	0,01306	39,50	0,79	73162,9	1453,4
50°	0,64405	0,01326	38,71	0,79	71687,0	1475,9
51°	0,63059	0,01346	37,90	0,81	70189,1	1497,9
52°	0,61694	0,01365	37,08	0,82	68669,6	1519,5
53°	0,60310	0,01384	36,25	0,83	67129,0	1540,6
54°	0,58907	0,01403	35,40	0,85	65567,7	1561,3
55°	0,57487	0,01420	34,55	0,85	63986,3	1581,4
56°	0,56048	0,01439	33,69	0,86	62385,1	1601,2
57°	0,54592	0,01456	32,81	0,88	60764,7	1620,4
58°	0,53120	0,01472	31,93	0,88	59125,6	1639,1
59°	0,51631	0,01489	31,03	0,90	57468,2	1657,4
60°	0,50126	0,01505	30,13	0,90	55793,1	1675,1
61°	0,48605	0,01521	29,21	0,92	54100,8	1692,3
62°	0,47070	0,01535	28,29	0,92	52391,7	1709,1
63°	0,45520	0,01550	27,36	0,93	50666,5	1725,2
64°	0,43956	0,01564	26,42	0,94	48925,7	1740,8
65°	0,42378	0,01578	25,47	0,95	47169,7	1756,0
66°	0,40787	0,01591	24,51	0,96	45399,1	1770,6
67°	0,39184	0,01603	23,55	0,96	43614,5	1784,6
68°	0,37569	0,01615	22,58	0,97	41816,3	1798,2
69°	0,35941	0,01628	21,60	0,98	40005,2	1811,1
70°	0,34303	0,01638	20,62	0,98	38181,8	1823,4
71°	0,32654	0,01649	19,63	0,99	36346,5	1835,3
72°	0,30995	0,01659	18,63	1,00	34499,9	1846,6

Breite	Größen- Ver- hältniss. Aequator = 1	Differenz	Anzahl See- meilen	Diffe- renz	Anzahl Meter	Differenz
72°	0,30995		18,63		34499,9	
73°	0,29327	0,01668	17,63	1,00	32642,7	1857,2
74°	0,27649	0,01678	16,62	1,01	30775,3	1867,4
75°	0,25963	0,01686	15,60	1,02	28898,4	1876,9
76°	0,24269	0,01694	14,59	1,01	27012,5	1885,9
77°	0,22567	0,01702	13,56	1,03	25118,2	1894,3
78°	0,20858	0,01709	12,54	1,02	23216,2	1902,0
79°	0,19143	0,01715	11,50	1,04	21306,9	1909,3
80°	0,17421	0,01722	10,48	1,02	19391,0	1915,9
81°	0,15695	0,01726	9,43	1,05	17469,1	1921,9
82°	0,13963	0,01732	8,39	1,04	15541,8	1927,3
83°	0,12227	0,01736	7,35	1,04	13609,7	1932,1
84°	0,10488	0,01739	6,30	1,05	11673,3	1936,4
85°	0,08745	0,01743	5,26	1,04	9733,3	1940,0
86°	0,06999	0,01746	4,21	1,05	7790,3	1943,0
87°	0,05251	0,01748	3,16	1,05	5844,8	1945,5
88°	0,03502	0,01749	2,10	1,06	3897,6	1947,2
89°	0,01751	0,01751	1,05	1,05	1949,1	1948,5

Tafel II.

Azimuth des Polarsternes.

+ östlich — westlich.

Bord Sternzeit	Zeichen des Azimuths	Breite							Zeichen des Azimuths	Bord Sternzeit
		10°	20°	30°	40°	45°	50°	60°		
h										h
0	+	0,4°	0,4°	0,5°	0,6°	0,6°	0,7°	0,8°	—	12
1	+	0,1°	0,1°	0,1°	0,1°	0,1°	0,1°	0,1°	—	13
2	—	0,3°	0,3°	0,3°	0,4°	0,4°	0,4°	0,6°	+	14
3	—	0,6°	0,7°	0,7°	0,8°	0,9°	1,0°	1,2°	+	15
4	—	0,9°	1,0°	1,1°	1,2°	1,3°	1,4°	1,8°	+	16
5	—	1,1°	1,2°	1,3°	1,5°	1,6°	1,8°	2,3°	+	17
6	—	1,3°	1,4°	1,5°	1,7°	1,8°	2,0°	2,6°	+	18
7	—	1,4°	1,5°	1,6°	1,8°	1,9°	2,1°	2,7°	+	19
8	—	1,3°	1,4°	1,5°	1,7°	1,8°	2,0°	2,6°	+	20
9	—	1,2°	1,3°	1,4°	1,6°	1,7°	1,9°	2,4°	+	21
10	—	1,0°	1,1°	1,2°	1,3°	1,4°	1,6°	2,0°	+	22
11	—	0,7°	0,7°	0,8°	0,9°	1,0°	1,2°	1,5°	+	23

Tafel III.

Tabelle der Produkte jedes Zehntelgrades mit den Sinussen der Kompassstriche.

	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	
0,0°	0,0°	0,0°	0,0°	0,0°	0,0°	0,0°	0,0°	0,0°
0,1°	0,02°	0,04°	0,06°	0,07°	0,08°	0,09°	0,10°	0,1°
0,2°	0,04°	0,08°	0,11°	0,14°	0,17°	0,18°	0,20°	0,2°
0,3°	0,06°	0,11°	0,17°	0,21°	0,25°	0,28°	0,29°	0,3°
0,4°	0,08°	0,15°	0,22°	0,28°	0,33°	0,37°	0,39°	0,4°
0,5°	0,10°	0,19°	0,28°	0,35°	0,42°	0,46°	0,49°	0,5°
0,6°	0,12°	0,23°	0,33°	0,42°	0,50°	0,55°	0,59°	0,6°
0,7°	0,14°	0,27°	0,39°	0,49°	0,58°	0,65°	0,69°	0,7°
0,8°	0,16°	0,31°	0,44°	0,57°	0,67°	0,74°	0,78°	0,8°
0,9°	0,18°	0,34°	0,50°	0,64°	0,75°	0,83°	0,88°	0,9°
1,0°	0,20°	0,38°	0,56°	0,71°	0,83°	0,92°	0,98°	1,0°
1,1°	0,21°	0,42°	0,61°	0,78°	0,91°	1,02°	1,08°	1,1°
1,2°	0,23°	0,46°	0,67°	0,85°	1,00°	1,11°	1,18°	1,2°
1,3°	0,25°	0,50°	0,72°	0,92°	1,08°	1,20°	1,28°	1,3°
1,4°	0,27°	0,54°	0,78°	0,99°	1,16°	1,29°	1,37°	1,4°
1,5°	0,29°	0,57°	0,83°	1,06°	1,25°	1,39°	1,47°	1,5°
1,6°	0,31°	0,61°	0,89°	1,13°	1,33°	1,48°	1,57°	1,6°
1,7°	0,33°	0,65°	0,94°	1,20°	1,41°	1,57°	1,67°	1,7°
1,8°	0,35°	0,69°	1,00°	1,27°	1,50°	1,66°	1,77°	1,8°
1,9°	0,37°	0,73°	1,06°	1,34°	1,58°	1,76°	1,86°	1,9°
2,0°	0,39°	0,77°	1,11°	1,41°	1,66°	1,85°	1,96°	2,0°
2,1°	0,41°	0,80°	1,17°	1,48°	1,75°	1,94°	2,06°	2,1°
2,2°	0,43°	0,84°	1,22°	1,56°	1,83°	2,03°	2,16°	2,2°
2,3°	0,45°	0,88°	1,28°	1,63°	1,91°	2,12°	2,26°	2,3°
2,4°	0,47°	0,92°	1,33°	1,70°	1,99°	2,22°	2,35°	2,4°
2,5°	0,49°	0,96°	1,39°	1,77°	2,08°	2,31°	2,45°	2,5°
2,6°	0,51°	0,99°	1,44°	1,84°	2,16°	2,40°	2,55°	2,6°
2,7°	0,53°	1,03°	1,50°	1,91°	2,24°	2,49°	2,65°	2,7°
2,8°	0,55°	1,07°	1,56°	1,98°	2,33°	2,59°	2,75°	2,8°
2,9°	0,57°	1,11°	1,61°	2,05°	2,41°	2,68°	2,84°	2,9°
3,0°	0,59°	1,15°	1,67°	2,12°	2,49°	2,77°	2,94°	3,0°
3,1°	0,60°	1,19°	1,72°	2,19°	2,58°	2,86°	3,04°	3,1°
3,2°	0,62°	1,22°	1,78°	2,26°	2,66°	2,96°	3,14°	3,2°
3,3°	0,64°	1,26°	1,83°	2,33°	2,74°	3,05°	3,24°	3,3°
3,4°	0,66°	1,30°	1,89°	2,40°	2,83°	3,14°	3,33°	3,4°
3,5°	0,68°	1,34°	1,95°	2,47°	2,91°	3,23°	3,43°	3,5°
3,6°	0,70°	1,38°	2,00°	2,55°	2,99°	3,33°	3,53°	3,6°
3,7°	0,72°	1,42°	2,06°	2,62°	3,08°	3,42°	3,63°	3,7°
3,8°	0,74°	1,45°	2,11°	2,69°	3,16°	3,51°	3,73°	3,8°
3,9°	0,76°	1,49°	2,17°	2,76°	3,24°	3,60°	3,83°	3,9°

	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	
4,0°	0,78°	1,53°	2,22°	2,83°	3,33°	3,70°	3,92°	4,0°
4,1°	0,80°	1,57°	2,28°	2,90°	3,41°	3,79°	4,02°	4,1°
4,2°	0,82°	1,61°	2,33°	2,97°	3,49°	3,88°	4,12°	4,2°
4,3°	0,84°	1,65°	2,39°	3,04°	3,58°	3,97°	4,22°	4,3°
4,4°	0,86°	1,68°	2,44°	3,11°	3,66°	4,07°	4,32°	4,4°
4,5°	0,88°	1,72°	2,50°	3,18°	3,74°	4,16°	4,41°	4,5°
4,6°	0,90°	1,76°	2,56°	3,25°	3,82°	4,25°	4,51°	4,6°
4,7°	0,92°	1,80°	2,61°	3,32°	3,91°	4,34°	4,61°	4,7°
4,8°	0,94°	1,84°	2,67°	3,39°	3,99°	4,43°	4,71°	4,8°
4,9°	0,96°	1,88°	2,72°	3,46°	4,07°	4,53°	4,81°	4,9°
5,0°	0,98°	1,91°	2,78°	3,54°	4,16°	4,62°	4,90°	5,0°
5,1°	0,99°	1,95°	2,83°	3,61°	4,24°	4,71°	5,00°	5,1°
5,2°	1,01°	1,99°	2,89°	3,68°	4,32°	4,80°	5,10°	5,2°
5,3°	1,03°	2,03°	2,95°	3,75°	4,41°	4,90°	5,20°	5,3°
5,4°	1,05°	2,07°	3,00°	3,82°	4,49°	4,99°	5,30°	5,4°
5,5°	1,07°	2,10°	3,06°	3,89°	4,57°	5,08°	5,39°	5,5°
5,6°	1,09°	2,14°	3,11°	3,96°	4,66°	5,17°	5,49°	5,6°
5,7°	1,11°	2,18°	3,17°	4,03°	4,74°	5,27°	5,59°	5,7°
5,8°	1,13°	2,22°	3,22°	4,10°	4,82°	5,36°	5,69°	5,8°
5,9°	1,15°	2,26°	3,28°	4,17°	4,91°	5,45°	5,79°	5,9°
6,0°	1,17°	2,30°	3,33°	4,24°	4,99°	5,54°	5,88°	6,0°
6,1°	1,19°	2,33°	3,39°	4,31°	5,07°	5,64°	5,98°	6,1°
6,2°	1,21°	2,37°	3,44°	4,38°	5,16°	5,73°	6,08°	6,2°
6,3°	1,23°	2,41°	3,50°	4,45°	5,24°	5,82°	6,18°	6,3°
6,4°	1,25°	2,45°	3,56°	4,53°	5,32°	5,91°	6,28°	6,4°
6,5°	1,27°	2,49°	3,61°	4,60°	5,40°	6,01°	6,38°	6,5°
6,6°	1,29°	2,53°	3,67°	4,67°	5,49°	6,10°	6,47°	6,6°
6,7°	1,31°	2,57°	3,72°	4,74°	5,57°	6,19°	6,57°	6,7°
6,8°	1,33°	2,60°	3,78°	4,81°	5,65°	6,28°	6,67°	6,8°
6,9°	1,35°	2,64°	3,83°	4,88°	5,74°	6,37°	6,77°	6,9°
7,0°	1,37°	2,68°	3,89°	4,95°	5,82°	6,47°	6,87°	7,0°
7,1°	1,39°	2,72°	3,94°	5,02°	5,90°	6,56°	6,96°	7,1°
7,2°	1,40°	2,76°	4,00°	5,09°	5,99°	6,65°	7,06°	7,2°
7,3°	1,42°	2,79°	4,06°	5,16°	6,07°	6,74°	7,16°	7,3°
7,4°	1,44°	2,83°	4,11°	5,23°	6,15°	6,84°	7,26°	7,4°
7,5°	1,46°	2,87°	4,17°	5,30°	6,24°	7,93°	7,36°	7,5°
7,6°	1,48°	2,91°	4,22°	5,37°	6,32°	7,02°	7,45°	7,6°
7,7°	1,50°	2,95°	4,28°	5,44°	6,40°	7,11°	7,55°	7,7°
7,8°	1,52°	2,99°	4,33°	5,52°	6,49°	7,21°	7,65°	7,8°
7,9°	1,54°	3,02°	4,39°	5,59°	6,57°	7,30°	7,75°	7,9°
8,0°	1,56°	3,06°	4,44°	5,66°	6,65°	7,39°	7,85°	8,0°
8,1°	1,58°	3,10°	4,50°	5,73°	6,73°	7,48°	7,94°	8,1°
8,2°	1,60°	3,14°	4,56°	5,80°	6,82°	7,58°	8,04°	8,2°
8,3°	1,62°	3,18°	4,61°	5,87°	6,90°	7,67°	8,14°	8,3°
8,4°	1,64°	3,22°	4,67°	5,94°	6,98°	7,76°	8,24°	8,4°
8,5°	1,66°	3,25°	4,72°	6,01°	7,07°	7,85°	8,34°	8,5°
8,6°	1,68°	3,29°	4,78°	6,08°	7,15°	7,95°	8,43°	8,6°
8,7°	1,70°	3,33°	4,83°	6,15°	7,23°	8,04°	8,53°	8,7°
8,8°	1,72°	3,37°	4,89°	6,22°	7,32°	8,13°	8,63°	8,8°
8,9°	1,74°	3,41°	4,94°	6,29°	7,40°	8,22°	8,73°	8,9°

	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	
9,0°	1,76°	3,44°	5,00°	6,36°	7,48°	8,31°	8,83°	9,0°
9,1°	1,78°	3,48°	5,06°	6,43°	7,57°	8,41°	8,93°	9,1°
9,2°	1,80°	3,52°	5,11°	6,51°	7,65°	8,50°	9,02°	9,2°
9,3°	1,81°	3,56°	5,17°	6,58°	7,73°	8,59°	9,12°	9,3°
9,4°	1,83°	3,60°	5,22°	6,65°	7,82°	8,68°	9,22°	9,4°
9,5°	1,85°	3,64°	5,28°	6,72°	7,90°	8,78°	9,32°	9,5°
9,6°	1,87°	3,67°	5,33°	6,79°	7,98°	8,87°	9,42°	9,6°
9,7°	1,89°	3,71°	5,39°	6,86°	8,07°	8,96°	9,51°	9,7°
9,8°	1,91°	3,75°	5,44°	6,93°	8,15°	9,05°	9,61°	9,8°
9,9°	1,93°	3,79°	5,50°	7,00°	8,23°	9,15°	9,71°	9,9°
10,0°	1,95°	3,83°	5,56°	7,07°	8,31°	9,24°	9,81°	10,0°
10,1°	1,97°	3,87°	5,61°	7,14°	8,40°	9,33°	9,91°	10,1°
10,2°	1,99°	3,90°	5,67°	7,21°	8,48°	9,42°	10,00°	10,2°
10,3°	2,01°	3,94°	5,72°	7,28°	8,56°	9,52°	10,10°	10,3°
10,4°	2,03°	3,98°	5,78°	7,35°	8,65°	9,61°	10,20°	10,4°
10,5°	2,05°	4,02°	5,83°	7,42°	8,73°	9,70°	10,30°	10,5°
10,6°	2,07°	4,06°	5,89°	7,50°	8,81°	9,79°	10,40°	10,6°
10,7°	2,09°	4,10°	5,94°	7,57°	8,90°	9,89°	10,49°	10,7°
10,8°	2,11°	4,13°	6,00°	7,64°	8,98°	9,98°	10,59°	10,8°
10,9°	2,13°	4,17°	6,06°	7,71°	9,06°	10,07°	10,69°	10,9°
11,0°	2,15°	4,21°	6,11°	7,78°	9,15°	10,16°	10,79°	11,0°
11,1°	2,17°	4,25°	6,17°	7,85°	9,23°	10,26°	10,89°	11,1°
11,2°	2,19°	4,29°	6,22°	7,92°	9,31°	10,35°	10,98°	11,2°
11,3°	2,20°	4,32°	6,28°	7,99°	9,40°	10,44°	11,08°	11,3°
11,4°	2,22°	4,36°	6,33°	8,06°	9,48°	10,53°	11,18°	11,4°
11,5°	2,24°	4,40°	6,39°	8,13°	9,56°	10,62°	11,28°	11,5°
11,6°	2,26°	4,44°	6,44°	8,20°	9,64°	10,72°	11,38°	11,6°
11,7°	2,28°	4,48°	6,50°	8,27°	9,73°	10,81°	11,48°	11,7°
11,8°	2,30°	4,52°	6,56°	8,34°	9,81°	10,90°	11,57°	11,8°
11,9°	2,32°	4,55°	6,61°	8,41°	9,89°	10,99°	11,67°	11,9°
12,0°	2,34°	4,59°	6,67°	8,49°	9,98°	11,09°	11,77°	12,0°
12,1°	2,36°	4,63°	6,72°	8,56°	10,06°	11,18°	11,87°	12,1°
12,2°	2,38°	4,67°	6,78°	8,63°	10,14°	11,27°	11,97°	12,2°
12,3°	2,40°	4,71°	6,83°	8,70°	10,23°	11,36°	12,06°	12,3°
12,4°	2,42°	4,75°	6,89°	8,77°	10,31°	11,46°	12,16°	12,4°
12,5°	2,44°	4,78°	6,95°	8,84°	10,39°	11,55°	12,26°	12,5°
12,6°	2,46°	4,82°	7,00°	8,91°	10,48°	11,64°	12,36°	12,6°
12,7°	2,48°	4,86°	7,06°	8,98°	10,56°	11,73°	12,46°	12,7°
12,8°	2,50°	4,90°	7,11°	9,05°	10,64°	11,83°	12,55°	12,8°
12,9°	2,52°	4,94°	7,17°	9,12°	10,73°	11,92°	12,65°	12,9°
13,0°	2,54°	4,98°	7,22°	9,19°	10,81°	12,01°	12,75°	13,0°
13,1°	2,56°	5,01°	7,28°	9,26°	10,89°	12,10°	12,85°	13,1°
13,2°	2,58°	5,05°	7,33°	9,33°	10,97°	12,20°	12,95°	13,2°
13,3°	2,59°	5,09°	7,39°	9,40°	11,06°	12,29°	13,04°	13,3°
13,4°	2,61°	5,13°	7,44°	9,48°	11,14°	12,38°	13,14°	13,4°
13,5°	2,63°	5,17°	7,50°	9,55°	11,22°	12,47°	13,24°	13,5°
13,6°	2,65°	5,21°	7,56°	9,62°	11,31°	12,56°	13,34°	13,6°
13,7°	2,67°	5,25°	7,61°	9,69°	11,39°	12,66°	13,44°	13,7°
13,8°	2,69°	5,29°	7,67°	9,76°	11,47°	12,75°	13,53°	13,8°
13,9°	2,71°	5,32°	7,72°	9,83°	11,56°	12,84°	13,63°	13,9°

	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	
14,0°	2,73°	5,36°	7,78°	9,90°	11,64°	12,93°	13,73°	14,0°
14,1°	2,75°	5,40°	7,83°	9,97°	11,72°	13,03°	13,83°	14,1°
14,2°	2,77°	5,43°	7,89°	10,04°	11,81°	13,12°	13,93°	14,2°
14,3°	2,79°	5,47°	7,95°	10,11°	11,89°	13,21°	14,03°	14,3°
14,4°	2,81°	5,51°	8,00°	10,18°	11,97°	13,30°	14,12°	14,4°
14,5°	2,83°	5,55°	8,06°	10,25°	12,06°	13,40°	14,22°	14,5°
14,6°	2,85°	5,59°	8,11°	10,32°	12,14°	13,49°	14,32°	14,6°
14,7°	2,87°	5,63°	8,17°	10,39°	12,22°	13,58°	14,42°	14,7°
14,8°	2,89°	5,66°	8,22°	10,47°	12,31°	13,67°	14,52°	14,8°
14,9°	2,91°	5,70°	8,28°	10,54°	12,39°	13,77°	14,61°	14,9°
15,0°	2,92°	5,74°	8,33°	10,61°	12,47°	13,86°	14,71°	15,0°
15,1°	2,94°	5,78°	8,39°	10,68°	12,56°	13,95°	14,81°	15,1°
15,2°	2,96°	5,82°	8,44°	10,75°	12,64°	14,04°	14,91°	15,2°
15,3°	2,98°	5,85°	8,50°	10,82°	12,72°	14,14°	15,01°	15,3°
15,4°	3,00°	5,89°	8,56°	10,89°	12,80°	14,23°	15,10°	15,4°
15,5°	3,02°	5,93°	8,61°	10,96°	12,89°	14,32°	15,20°	15,5°
15,6°	3,04°	5,97°	8,67°	11,03°	12,97°	14,41°	15,30°	15,6°
15,7°	3,06°	6,01°	8,72°	11,10°	13,05°	14,50°	15,40°	15,7°
15,8°	3,08°	6,05°	8,78°	11,17°	13,14°	14,60°	15,50°	15,8°
15,9°	3,10°	6,08°	8,83°	11,24°	13,22°	14,69°	15,59°	15,9°
16,0°	3,12°	6,12°	8,89°	11,31°	13,30°	14,78°	15,69°	16,0°
16,1°	3,14°	6,16°	8,94°	11,38°	13,39°	14,87°	15,79°	16,1°
16,2°	3,16°	6,20°	9,00°	11,46°	13,47°	14,97°	15,89°	16,2°
16,3°	3,18°	6,24°	9,06°	11,53°	13,55°	15,06°	15,99°	16,3°
16,4°	3,20°	6,28°	9,11°	11,60°	13,64°	15,15°	16,08°	16,4°
16,5°	3,22°	6,31°	9,17°	11,67°	13,72°	15,24°	16,18°	16,5°
16,6°	3,24°	6,35°	9,22°	11,74°	13,80°	15,34°	16,28°	16,6°
16,7°	3,26°	6,39°	9,28°	11,81°	13,89°	15,43°	16,38°	16,7°
16,8°	3,28°	6,43°	9,33°	11,88°	13,97°	15,52°	16,48°	16,8°
16,9°	3,30°	6,47°	9,39°	11,95°	14,05°	15,61°	16,58°	16,9°
17,0°	3,32°	6,51°	9,44°	12,02°	14,13°	15,71°	16,67°	17,0°
17,1°	3,34°	6,54°	9,50°	12,09°	14,22°	15,80°	16,77°	17,1°
17,2°	3,36°	6,58°	9,56°	12,16°	14,30°	15,89°	16,87°	17,2°
17,3°	3,37°	6,62°	9,61°	12,23°	14,38°	15,98°	16,97°	17,3°
17,4°	3,39°	6,66°	9,67°	12,30°	14,47°	16,08°	17,07°	17,4°
17,5°	3,41°	6,70°	9,72°	12,37°	14,55°	16,17°	17,17°	17,5°
17,6°	3,43°	6,74°	9,78°	12,45°	14,63°	16,26°	17,26°	17,6°
17,7°	3,45°	6,78°	9,83°	12,52°	14,72°	16,35°	17,36°	17,7°
17,8°	3,47°	6,81°	9,89°	12,59°	14,80°	16,45°	17,46°	17,8°
17,9°	3,49°	6,85°	9,94°	12,66°	14,88°	16,54°	17,56°	17,9°
18,0°	3,51°	6,89°	10,00°	12,73°	14,97°	16,63°	17,65°	18,0°
18,1°	3,53°	6,93°	10,06°	12,80°	15,05°	16,72°	17,75°	18,1°
18,2°	3,55°	6,97°	10,11°	12,87°	15,13°	16,81°	17,85°	18,2°
18,3°	3,57°	7,00°	10,17°	12,94°	15,22°	16,91°	17,95°	18,3°
18,4°	3,59°	7,04°	10,22°	13,01°	15,30°	17,00°	18,05°	18,4°
18,5°	3,61°	7,08°	10,28°	13,08°	15,38°	17,09°	18,14°	18,5°
18,6°	3,63°	7,12°	10,33°	13,15°	15,47°	17,18°	18,24°	18,6°
18,7°	3,65°	7,16°	10,39°	13,22°	15,55°	17,28°	18,34°	18,7°
18,8°	3,67°	7,20°	10,44°	13,29°	15,63°	17,37°	18,44°	18,8°
18,9°	3,69°	7,23°	10,50°	13,36°	15,72°	17,46°	18,54°	18,9°

	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	
19,0°	3,71°	7,27°	10,56°	13,44°	15,80°	17,55°	18,63°	19,0°
19,1°	3,73°	7,31°	10,61°	13,51°	15,88°	17,65°	18,73°	19,1°
19,2°	3,75°	7,35°	10,67°	13,58°	15,96°	17,74°	18,83°	19,2°
19,3°	3,77°	7,39°	10,72°	13,65°	16,05°	17,83°	18,93°	19,3°
19,4°	3,79°	7,42°	10,78°	13,72°	16,13°	17,92°	19,03°	19,4°
19,5°	3,80°	7,46°	10,83°	13,79°	16,21°	18,02°	19,13°	19,5°
19,6°	3,82°	7,50°	10,89°	13,86°	16,30°	18,11°	19,22°	19,6°
19,7°	3,84°	7,54°	10,94°	13,93°	16,38°	18,20°	19,32°	19,7°
19,8°	3,86°	7,58°	11,00°	14,00°	16,46°	18,29°	19,42°	19,8°
19,9°	3,88°	7,62°	11,06°	14,07°	16,55°	18,38°	19,52°	19,9°
20,0°	3,90°	7,65°	11,11°	14,14°	16,63°	18,48°	19,62°	20,0°
20,1°	3,92°	7,69°	11,17°	14,21°	16,71°	18,57°	19,71°	20,1°
20,2°	3,94°	7,73°	11,22°	14,28°	16,80°	18,66°	19,81°	20,2°
20,3°	3,96°	7,77°	11,28°	14,35°	16,88°	18,75°	19,91°	20,3°
20,4°	3,98°	7,81°	11,33°	14,43°	16,96°	18,85°	20,01°	20,4°
20,5°	4,00°	7,84°	11,39°	14,50°	17,05°	18,94°	20,11°	20,5°
20,6°	4,02°	7,88°	11,44°	14,57°	17,13°	19,03°	20,20°	20,6°
20,7°	4,04°	7,92°	11,50°	14,64°	17,21°	19,12°	20,30°	20,7°
20,8°	4,06°	7,96°	11,56°	14,71°	17,30°	19,22°	20,40°	20,8°
20,9°	4,08°	8,00°	11,61°	14,78°	17,38°	19,31°	20,50°	20,9°
21,0°	4,10°	8,04°	11,67°	14,85°	17,46°	19,40°	20,60°	21,0°
21,1°	4,12°	8,07°	11,72°	14,92°	17,54°	19,49°	20,69°	21,1°
21,2°	4,14°	8,11°	11,78°	14,99°	17,63°	19,59°	20,79°	21,2°
21,3°	4,16°	8,15°	11,83°	15,06°	17,71°	19,68°	20,89°	21,3°
21,4°	4,18°	8,19°	11,89°	15,13°	17,79°	19,77°	20,99°	21,4°
21,5°	4,19°	8,23°	11,95°	15,20°	17,88°	19,86°	21,09°	21,5°
21,6°	4,21°	8,27°	12,00°	15,27°	17,96°	19,96°	21,18°	21,6°
21,7°	4,23°	8,31°	12,06°	15,34°	18,04°	20,05°	21,28°	21,7°
21,8°	4,25°	8,34°	12,11°	15,41°	18,13°	20,14°	21,38°	21,8°
21,9°	4,27°	8,38°	12,17°	15,49°	18,21°	20,23°	21,48°	21,9°
22,0°	4,29°	8,42°	12,22°	15,56°	18,29°	20,33°	21,58°	22,0°
22,1°	4,31°	8,46°	12,28°	15,63°	18,37°	20,42°	21,68°	22,1°
22,2°	4,33°	8,50°	12,33°	15,70°	18,46°	20,51°	21,77°	22,2°
22,3°	4,35°	8,53°	12,39°	15,77°	18,54°	20,60°	21,87°	22,3°
22,4°	4,37°	8,57°	12,44°	15,84°	18,62°	20,69°	21,97°	22,4°
22,5°	4,39°	8,61°	12,50°	15,91°	18,71°	20,79°	22,07°	22,5°
22,6°	4,41°	8,65°	12,56°	15,98°	18,79°	20,88°	22,17°	22,6°
22,7°	4,43°	8,69°	12,61°	16,05°	18,87°	20,97°	22,26°	22,7°
22,8°	4,45°	8,72°	12,67°	16,12°	18,96°	21,06°	22,36°	22,8°
22,9°	4,47°	8,76°	12,72°	16,19°	19,04°	21,16°	22,46°	22,9°
23,0°	4,49°	8,80°	12,78°	16,26°	19,12°	21,25°	22,56°	23,0°
23,1°	4,51°	8,84°	12,83°	16,33°	19,21°	21,34°	22,66°	23,1°
23,2°	4,53°	8,88°	12,89°	16,40°	19,29°	21,43°	22,75°	23,2°
23,3°	4,55°	8,92°	12,95°	16,48°	19,37°	21,53°	22,85°	23,3°
23,4°	4,57°	8,96°	13,00°	16,55°	19,46°	21,62°	22,95°	23,4°
23,5°	4,58°	8,99°	13,06°	16,62°	19,54°	21,71°	23,05°	23,5°
23,6°	4,60°	9,03°	13,11°	16,69°	19,62°	21,80°	23,15°	23,6°
23,7°	4,62°	9,07°	13,17°	16,76°	19,71°	21,90°	23,24°	23,7°
23,8°	4,64°	9,11°	13,22°	16,83°	19,79°	21,99°	23,34°	23,8°
23,9°	4,66°	9,15°	13,28°	16,90°	19,87°	22,08°	23,44°	23,9°

	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	
24,0°	4,68°	9,18°	13,33°	16,97°	19,96°	22,17°	23,54°	24,0°
24,1°	4,70°	9,22°	13,39°	17,04°	20,04°	22,27°	23,64°	24,1°
24,2°	4,72°	9,26°	13,44°	17,11°	20,12°	22,36°	23,74°	24,2°
24,3°	4,74°	9,30°	13,50°	17,18°	20,20°	22,45°	23,83°	24,3°
24,4°	4,76°	9,34°	13,56°	17,25°	20,29°	22,54°	23,93°	24,4°
24,5°	4,78°	9,38°	13,61°	17,32°	20,37°	22,64°	24,03°	24,5°
24,6°	4,80°	9,41°	13,67°	17,39°	20,45°	22,73°	24,13°	24,6°
24,7°	4,82°	9,45°	13,72°	17,46°	20,54°	22,82°	24,23°	24,7°
24,8°	4,84°	9,49°	13,78°	17,54°	20,62°	22,91°	24,32°	24,8°
24,9°	4,86°	9,53°	13,83°	17,61°	20,70°	23,07°	24,42°	24,9°
25,0°	4,88°	9,57°	13,89°	17,68°	20,79°	23,10°	24,52°	25,0°
25,1°	4,90°	9,60°	13,94°	17,75°	20,87°	23,19°	24,62°	25,1°
25,2°	4,92°	9,64°	14,00°	17,82°	20,95°	23,28°	24,72°	25,2°
25,3°	4,94°	9,68°	14,06°	17,89°	21,04°	23,37°	24,81°	25,3°
25,4°	4,96°	9,72°	14,11°	17,96°	21,12°	23,47°	24,91°	25,4°
25,5°	4,98°	9,76°	14,17°	18,03°	21,20°	23,56°	25,01°	25,5°
25,6°	4,99°	9,80°	14,22°	18,10°	21,29°	23,65°	25,11°	25,6°
25,7°	5,01°	9,84°	14,28°	18,17°	21,37°	23,74°	25,21°	25,7°
25,8°	5,03°	9,87°	14,33°	18,24°	21,45°	23,84°	25,30°	25,8°
25,9°	5,05°	9,91°	14,39°	18,31°	21,54°	23,93°	25,40°	25,9°
26,0°	5,07°	9,95°	14,44°	18,38°	21,62°	24,02°	25,50°	26,0°
26,1°	5,09°	9,99°	14,50°	18,46°	21,70°	24,11°	25,60°	26,1°
26,2°	5,11°	10,03°	14,56°	18,53°	21,78°	24,21°	25,70°	26,2°
26,3°	5,13°	10,06°	14,61°	18,60°	21,87°	24,30°	25,79°	26,3°
26,4°	5,15°	10,10°	14,67°	18,67°	21,95°	24,39°	25,89°	26,4°
26,5°	5,17°	10,14°	14,72°	18,74°	22,03°	24,48°	25,99°	26,5°
26,6°	5,19°	10,18°	14,78°	18,81°	22,12°	24,58°	26,09°	26,6°
26,7°	5,21°	10,22°	14,83°	18,88°	22,20°	24,67°	26,19°	26,7°
26,8°	5,23°	10,26°	14,89°	18,95°	22,28°	24,76°	26,28°	26,8°
26,9°	5,25°	10,29°	14,94°	19,02°	22,37°	24,85°	26,38°	26,9°
27,0°	5,27°	10,33°	15,00°	19,09°	22,45°	24,94°	26,48°	27,0°
27,1°	5,29°	10,37°	15,06°	19,16°	22,53°	25,04°	26,58°	27,1°
27,2°	5,31°	10,41°	15,11°	19,23°	22,62°	25,13°	26,68°	27,2°
27,3°	5,33°	10,45°	15,17°	19,30°	22,70°	25,22°	26,78°	27,3°
27,4°	5,35°	10,49°	15,22°	19,37°	22,78°	25,31°	26,87°	27,4°
27,5°	5,37°	10,52°	15,28°	19,45°	22,87°	25,41°	26,97°	27,5°
27,6°	5,38°	10,56°	15,33°	19,52°	22,95°	25,50°	27,07°	27,6°
27,7°	5,40°	10,60°	15,39°	19,59°	23,03°	25,59°	27,17°	27,7°
27,8°	5,42°	10,64°	15,44°	19,66°	23,11°	25,68°	27,27°	27,8°
27,9°	5,44°	10,68°	15,50°	19,73°	23,20°	25,78°	27,36°	27,9°
28,0°	5,46°	10,72°	15,56°	19,80°	23,28°	25,87°	27,46°	28,0°
28,1°	5,48°	10,75°	15,61°	19,87°	23,36°	25,96°	27,56°	28,1°
28,2°	5,50°	10,79°	15,67°	19,94°	23,45°	26,05°	27,66°	28,2°
28,3°	5,52°	10,83°	15,72°	20,01°	23,53°	26,15°	27,76°	28,3°
28,4°	5,54°	10,87°	15,78°	20,08°	23,61°	26,24°	27,85°	28,4°
28,5°	5,56°	10,91°	15,83°	20,15°	23,70°	26,33°	27,95°	28,5°
28,6°	5,58°	10,94°	15,89°	20,22°	23,78°	26,42°	28,05°	28,6°
28,7°	5,60°	10,98°	15,94°	20,29°	23,86°	26,52°	28,15°	28,7°
28,8°	5,62°	11,02°	16,00°	20,36°	23,95°	26,61°	28,25°	28,8°
28,9°	5,64°	11,06°	16,06°	20,44°	24,03°	26,70°	28,34°	28,9°

	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	
29,0°	5,66°	11,10°	16,11°	20,51°	24,11°	26,79°	28,44°	29,0°
29,1°	5,68°	11,14°	16,17°	20,58°	24,20°	26,88°	28,54°	29,1°
29,2°	5,70°	11,17°	16,22°	20,65°	24,28°	26,98°	28,64°	29,2°
29,3°	5,72°	11,21°	16,28°	20,72°	24,36°	27,07°	28,74°	29,3°
29,4°	5,74°	11,25°	16,33°	20,79°	24,45°	27,16°	28,83°	29,4°
29,5°	5,76°	11,29°	16,39°	20,86°	24,53°	27,25°	28,93°	29,5°
29,6°	5,78°	11,33°	16,44°	20,93°	24,61°	27,34°	29,03°	29,6°
29,7°	5,79°	11,37°	16,50°	21,00°	24,69°	27,44°	29,13°	29,7°
29,8°	5,82°	11,40°	16,56°	21,07°	24,78°	27,53°	29,23°	29,8°
29,9°	5,83°	11,44°	16,61°	21,14°	24,86°	27,62°	29,33°	29,9°
30,0°	5,85°	11,48°	16,67°	21,21°	24,94°	27,72°	29,42°	30,0°
30,1°	5,87°	11,52°	16,72°	21,28°	25,03°	27,81°	29,52°	30,1°
30,2°	5,89°	11,56°	16,78°	21,35°	25,11°	27,90°	29,62°	30,2°
30,3°	5,91°	11,59°	16,83°	21,42°	25,19°	27,99°	29,72°	30,3°
30,4°	5,93°	11,63°	16,89°	21,50°	25,28°	28,09°	29,82°	30,4°
30,5°	5,95°	11,67°	16,95°	21,57°	25,36°	28,18°	29,91°	30,5°
30,6°	5,97°	11,71°	17,00°	21,64°	25,44°	28,27°	30,01°	30,6°
30,7°	5,99°	11,75°	17,06°	21,71°	25,53°	28,36°	30,11°	30,7°
30,8°	6,01°	11,79°	17,11°	21,78°	25,61°	28,46°	30,21°	30,8°
30,9°	6,03°	11,82°	17,17°	21,85°	25,69°	28,55°	30,31°	30,9°
31,0°	6,05°	11,86°	17,22°	21,92°	25,78°	28,64°	30,40°	31,0°
31,1°	6,07°	11,90°	17,28°	21,99°	25,86°	28,73°	30,50°	31,1°
31,2°	6,09°	11,94°	17,33°	22,06°	25,94°	28,82°	30,60°	31,2°
31,3°	6,11°	11,98°	17,39°	22,13°	26,03°	28,92°	30,70°	31,3°
31,4°	6,13°	12,02°	17,44°	22,20°	26,11°	29,01°	30,80°	31,4°
31,5°	6,15°	12,05°	17,50°	22,27°	26,19°	29,10°	30,89°	31,5°
31,6°	6,17°	12,09°	17,56°	22,34°	26,27°	29,19°	30,99°	31,6°
31,7°	6,18°	12,13°	17,61°	22,42°	26,36°	29,29°	31,09°	31,7°
31,8°	6,20°	12,17°	17,67°	22,49°	26,44°	29,38°	31,19°	31,8°
31,9°	6,22°	12,21°	17,72°	22,56°	26,52°	29,47°	31,29°	31,9°
32,0°	6,24°	12,25°	17,78°	22,63°	26,60°	29,56°	31,39°	32,0°
32,1°	6,26°	12,28°	17,83°	22,70°	26,69°	29,66°	31,48°	32,1°
32,2°	6,28°	12,32°	17,89°	22,77°	26,77°	29,75°	31,58°	32,2°
32,3°	6,30°	12,36°	17,95°	22,84°	26,85°	29,84°	31,68°	32,3°
32,4°	6,32°	12,40°	18,00°	22,91°	26,94°	29,93°	31,78°	32,4°
32,5°	6,34°	12,44°	18,06°	22,98°	27,02°	30,03°	31,88°	32,5°
32,6°	6,36°	12,48°	18,11°	23,05°	27,10°	30,12°	31,97°	32,6°
32,7°	6,38°	12,51°	18,17°	23,12°	27,19°	30,21°	32,07°	32,7°
32,8°	6,40°	12,55°	18,22°	23,19°	27,27°	30,30°	32,17°	32,8°
32,9°	6,42°	12,59°	18,28°	23,26°	27,35°	30,40°	32,27°	32,9°
33,0°	6,44°	12,63°	18,33°	23,33°	27,44°	30,49°	32,37°	33,0°
33,1°	6,46°	12,67°	18,39°	23,41°	27,52°	30,58°	32,46°	33,1°
33,2°	6,48°	12,70°	18,44°	23,48°	27,60°	30,67°	32,56°	33,2°
33,3°	6,50°	12,74°	18,50°	23,55°	27,68°	30,77°	32,66°	33,3°
33,4°	6,52°	12,78°	18,56°	23,62°	27,77°	30,86°	32,76°	33,4°
33,5°	6,54°	12,82°	18,61°	23,69°	27,85°	30,95°	32,86°	33,5°
33,6°	6,55°	12,86°	18,67°	23,76°	27,93°	31,04°	32,95°	33,6°
33,7°	6,57°	12,90°	18,72°	23,83°	28,02°	31,13°	33,05°	33,7°
33,8°	6,59°	12,94°	18,78°	23,90°	28,10°	31,23°	33,15°	33,8°
33,9°	6,61°	12,97°	18,83°	23,97°	28,18°	31,32°	33,25°	33,9°

	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	
34,0°	6,63°	13,01°	18,89°	24,04°	28,27°	31,41°	33,35°	34,0°
34,1°	6,65°	13,05°	18,94°	24,11°	28,35°	31,50°	33,45°	34,1°
34,2°	6,67°	13,09°	19,00°	24,18°	28,44°	31,60°	33,54°	34,2°
34,3°	6,69°	13,13°	19,06°	24,25°	28,52°	31,69°	33,64°	34,3°
34,4°	6,71°	13,16°	19,11°	24,32°	28,60°	31,78°	33,74°	34,4°
34,5°	6,73°	13,20°	19,17°	24,40°	28,69°	31,87°	33,84°	34,5°
34,6°	6,75°	13,24°	19,22°	24,47°	28,77°	31,97°	33,94°	34,6°
34,7°	6,77°	13,28°	19,28°	24,54°	28,85°	32,06°	34,03°	34,7°
34,8°	6,79°	13,32°	19,33°	24,61°	28,94°	32,15°	34,13°	34,8°
34,9°	6,81°	13,36°	19,39°	24,68°	29,02°	32,24°	34,23°	34,9°
35,0°	6,83°	13,39°	19,44°	24,75°	29,10°	32,34°	34,33°	35,0°
35,1°	6,85°	13,43°	19,50°	24,82°	29,18°	32,43°	34,43°	35,1°
35,2°	6,87°	13,47°	19,56°	24,89°	29,27°	32,52°	34,52°	35,2°
35,3°	6,89°	13,51°	19,61°	24,96°	29,35°	32,61°	34,62°	35,3°
35,4°	6,91°	13,55°	18,67°	25,03°	29,43°	32,71°	34,72°	35,4°
35,5°	6,93°	13,59°	19,72°	25,10°	29,52°	32,80°	34,82°	35,5°
35,6°	6,95°	13,62°	19,78°	25,17°	29,60°	32,89°	34,92°	35,6°
35,7°	6,96°	13,66°	19,83°	25,24°	29,68°	32,98°	35,01°	35,7°
35,8°	6,98°	13,70°	19,89°	25,31°	29,77°	33,07°	35,11°	35,8°
35,9°	7,00°	13,74°	19,94°	25,39°	29,85°	33,17°	35,21°	35,9°
36,0°	7,02°	13,78°	20,00°	25,46°	29,93°	33,26°	35,31°	36,0°
36,1°	7,04°	13,81°	20,06°	25,53°	30,02°	33,35°	35,41°	36,1°
36,2°	7,06°	13,85°	20,11°	25,60°	30,10°	33,44°	35,50°	36,2°
36,3°	7,08°	13,89°	20,17°	25,67°	30,18°	33,54°	35,60°	36,3°
36,4°	7,10°	13,93°	20,22°	25,74°	30,27°	33,63°	35,70°	36,4°
36,5°	7,12°	13,97°	20,28°	25,81°	30,35°	33,72°	35,80°	36,5°
36,6°	7,14°	14,01°	20,33°	25,88°	30,43°	33,81°	35,90°	36,6°
36,7°	7,16°	14,04°	20,39°	25,95°	30,51°	33,91°	35,99°	36,7°
36,8°	7,18°	14,08°	20,44°	26,02°	30,60°	34,00°	36,09°	36,8°
36,9°	7,20°	14,12°	20,50°	26,09°	30,68°	34,09°	36,19°	36,9°
37,0°	7,22°	14,16°	20,56°	26,16°	30,76°	34,18°	36,29°	37,0°
37,1°	7,24°	14,20°	20,61°	26,23°	30,85°	34,28°	36,39°	37,1°
37,2°	7,26°	14,24°	20,67°	26,30°	30,93°	34,37°	36,49°	37,2°
37,3°	7,28°	14,27°	20,72°	26,38°	31,01°	34,46°	36,58°	37,3°
37,4°	7,30°	14,31°	20,78°	26,45°	31,10°	34,55°	36,68°	37,4°
37,5°	7,32°	14,35°	20,83°	26,52°	31,18°	34,65°	36,78°	37,5°
37,6°	7,34°	14,39°	20,89°	26,59°	31,26°	34,74°	36,88°	37,6°
37,7°	7,35°	14,43°	20,94°	26,66°	31,35°	34,83°	36,98°	37,7°
37,8°	7,37°	14,47°	21,00°	26,73°	31,43°	34,92°	37,07°	37,8°
37,9°	7,39°	14,50°	21,06°	26,80°	31,51°	35,02°	37,17°	37,9°
38,0°	7,41°	14,54°	21,11°	26,87°	31,60°	35,11°	37,27°	38,0°
38,1°	7,43°	14,58°	21,17°	26,94°	31,68°	35,20°	37,37°	38,1°
38,2°	7,45°	14,62°	21,22°	27,01°	31,76°	35,29°	37,47°	38,2°
38,3°	7,47°	14,66°	21,28°	27,08°	31,85°	35,38°	37,56°	38,3°
38,4°	7,49°	14,69°	21,33°	27,15°	31,93°	35,48°	37,66°	38,4°
38,5°	7,51°	14,73°	21,39°	27,22°	32,01°	35,57°	37,76°	38,5°
38,6°	7,53°	14,77°	21,45°	27,29°	32,09°	35,66°	37,86°	38,6°
38,7°	7,55°	14,81°	21,50°	27,37°	32,18°	35,75°	37,96°	38,7°
38,8°	7,57°	14,85°	21,56°	27,44°	32,26°	35,85°	38,05°	38,8°
38,9°	7,59°	14,89°	21,61°	27,51°	32,34°	35,94°	38,15°	38,9°

Tafel IV.

Winkel zwischen Kurs
und zweiter PeilungTafel zur Bestimmung der Distanz in Seemeilen durch
zweimalige Peilung eines festen Objekts im Vorüber-
segeln.

Winkel zwischen Kurs und erster Peilung.

	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°	95°	100°	105°	110°	115°
45°	1,24																		
50°	1,00	1,46																	
55°	0,84	1,18	1,68																
60°	0,74	1,00	1,36	1,88															
65°	0,66	0,87	1,15	1,52	2,07														
70°	0,60	0,78	1,00	1,29	1,67	2,24													
75°	0,55	0,71	0,89	1,12	1,41	1,81	2,40												
80°	0,52	0,65	0,81	1,00	1,23	1,53	1,94	2,53											
85°	0,49	0,61	0,75	0,91	1,10	1,34	1,64	2,05	2,65										
90°	0,47	0,58	0,70	0,84	1,00	1,19	1,43	1,73	2,14	2,74									
95°	0,45	0,55	0,66	0,78	0,92	1,08	1,27	1,51	1,81	2,22	2,82								
100°	0,44	0,53	0,63	0,74	0,86	1,00	1,16	1,35	1,58	1,88	2,29	2,88							
105°	0,43	0,52	0,61	0,71	0,81	0,94	1,07	1,23	1,41	1,64	1,93	2,33	2,91						
110°	0,42	0,51	0,59	0,68	0,78	0,89	1,00	1,13	1,28	1,46	1,68	1,97	2,36	2,92					
115°	0,42	0,50	0,58	0,67	0,75	0,85	0,95	1,06	1,18	1,33	1,50	1,72	1,99	2,37	2,91				
120°	0,42	0,50	0,58	0,65	0,73	0,82	0,90	1,00	1,11	1,23	1,37	1,53	1,74	2,00	2,36	2,88			
125°	0,43	0,50	0,57	0,65	0,72	0,79	0,87	0,96	1,05	1,15	1,26	1,39	1,55	1,74	1,99	2,33	2,82		
130°	0,44	0,51	0,58	0,64	0,71	0,78	0,85	0,92	1,00	1,09	1,18	1,29	1,41	1,56	1,74	1,97	2,29	2,74	
135°	0,45	0,52	0,58	0,65	0,71	0,77	0,83	0,90	0,96	1,04	1,12	1,20	1,30	1,41	1,55	1,72	1,93	2,22	2,65

Tafel V.

Entfernung der Kimm in Seemeilen.

(Unter Berücksichtigung einer mittleren terrestrischen Refraktion.)

Auges- höhe	Sicht- weite	Auges- höhe	Sicht- weite	Auges- höhe	Sicht- weite	Auges- höhe	Sicht- weite
m	Sm	m	Sm	m	Sm	m	Sm
1	2,08	39	13,00	77	18,26	175	27,53
2	2,94	40	13,16	78	18,38	180	27,92
3	3,60	41	13,32	79	18,50	185	28,30
4	4,16	42	13,49	80	18,61	190	28,68
5	4,65	43	13,65	81	18,73	195	29,06
6	5,10	44	13,80	82	18,84	200	29,43
7	5,51	45	13,96	83	18,96		
8	5,89	46	14,11	84	19,07		
9	6,24	47	14,27	85	19,19		
10	6,58	48	14,42	86	19,30		
11	6,90	49	14,57	87	19,41		
12	7,21	50	14,71	88	19,52		
13	7,50	51	14,86	89	19,63		
14	7,79	52	15,01	90	19,74		
15	8,06	53	15,15	91	19,85		
16	8,32	54	15,29	92	19,96		
17	8,58	55	15,43	93	20,07		
18	8,83	56	15,57	94	20,18		
19	9,07	57	15,71	95	20,29		
20	9,31	58	15,85	96	20,39		
21	9,54	59	15,98	97	20,49		
22	9,76	60	16,12	98	20,60		
23	9,98	61	16,25	99	20,70		
24	10,19	62	16,39	100	20,81		
25	10,41	63	16,52	105	21,32		
26	10,61	64	16,65	110	21,82		
27	10,81	65	16,78	115	22,31		
28	11,01	66	16,91	120	22,80		
29	11,21	67	17,03	125	23,27		
30	11,40	68	17,16	130	23,73		
31	11,59	69	17,29	135	24,18		
32	11,77	70	17,41	140	24,62		
33	11,95	71	17,53	145	25,06		
34	12,13	72	17,66	150	25,49		
35	12,31	73	17,78	155	25,91		
36	12,49	74	17,90	160	26,32		
37	12,66	75	18,02	165	26,73		
38	12,83	76	18,14	170	27,13		

Tafel VI.

Tabelle zur Verwandlung der Stunden, Minuten und Sekunden in Hunderththeile des Tages.

Tag	h	m	s	Tag	h	m	s	Tag	h	m	s	Tag	h	m	s
0,01	0	14	24	0,26	6	14	24	0,51	12	14	24	0,76	18	14	24
0,02	0	28	48	0,27	6	28	48	0,52	12	28	48	0,77	18	28	48
0,03	0	43	12	0,28	6	43	12	0,53	12	43	12	0,78	18	43	12
0,04	0	57	36	0,29	6	57	36	0,54	12	57	36	0,79	18	57	36
0,05	1	12	0	0,30	7	12	0	0,55	13	12	0	0,80	19	12	0
0,06	1	26	24	0,31	7	26	24	0,56	13	26	24	0,81	19	26	24
0,07	1	40	48	0,32	7	40	48	0,57	13	40	48	0,82	19	40	48
0,08	1	55	12	0,33	7	55	12	0,58	13	55	12	0,83	19	55	12
0,09	2	9	36	0,34	8	9	36	0,59	14	9	36	0,84	20	9	36
0,10	2	24	0	0,35	8	24	0	0,60	14	24	0	0,85	20	24	0
0,11	2	38	24	0,36	8	38	24	0,61	14	38	24	0,86	20	38	24
0,12	2	52	48	0,37	8	52	48	0,62	14	52	48	0,87	20	52	48
0,13	3	7	12	0,38	9	7	12	0,63	15	7	12	0,88	21	7	12
0,14	3	21	36	0,39	9	21	36	0,64	15	21	36	0,89	21	21	36
0,15	3	36	0	0,40	9	36	0	0,65	15	36	0	0,90	21	36	0
0,16	3	50	24	0,41	9	50	24	0,66	15	50	24	0,91	21	50	24
0,17	4	4	48	0,42	10	4	48	0,67	16	4	48	0,92	22	4	48
0,18	4	19	12	0,43	10	19	12	0,68	16	19	12	0,93	22	19	12
0,19	4	33	36	0,44	10	33	36	0,69	16	33	36	0,94	22	33	36
0,20	4	48	0	0,45	10	48	0	0,70	16	48	0	0,95	22	48	0
0,21	5	2	24	0,46	11	2	24	0,71	17	2	24	0,96	23	2	24
0,22	5	16	48	0,47	11	16	48	0,72	17	16	48	0,97	23	16	48
0,23	5	31	12	0,48	11	31	12	0,73	17	31	12	0,98	23	31	12
0,24	5	45	36	0,49	11	45	36	0,74	17	45	36	0,99	23	45	36
0,25	6	0	0	0,50	12	0	0	0,75	18	0	0	1,00	24	0	0

Tafel VII.

Positive Korrektion (+) für die beobachtete Höhe des Unter-
randes der Sonne zur wahren Mittelpunktshöhe.

(Enthaltend Kimmtiefe, Refraktion, Parallaxe und Radius.)

Beob- achtete Höhe ☉	Augeshöhe über dem Meere in Metern.																
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	7	8	9	10	11	12
8°	7,8	7,4	7,1	6,8	6,6	6,4	6,1	5,9	5,7	5,5	5,3	5,0	4,7	4,4	4,1	3,8	3,6
8° 20'	8,1	7,7	7,4	7,1	6,8	6,6	6,4	6,1	5,9	5,7	5,6	5,3	4,9	4,6	4,4	4,1	3,8
8° 40'	8,3	7,9	7,6	7,3	7,1	6,8	6,6	6,4	6,2	6,0	5,8	5,5	5,2	4,9	4,6	4,3	4,1
9°	8,5	8,1	7,8	7,5	7,3	7,0	6,8	6,6	6,4	6,2	6,0	5,7	5,4	5,1	4,8	4,5	4,3
9° 20'	8,7	8,3	8,0	7,7	7,5	7,3	7,0	6,8	6,6	6,4	6,2	5,9	5,6	5,3	5,0	4,7	4,5
9° 40'	8,9	8,5	8,2	7,9	7,7	7,4	7,2	7,0	6,8	6,6	6,4	6,1	5,8	5,5	5,2	4,9	4,7
10°	9,1	8,7	8,4	8,1	7,8	7,6	7,4	7,1	6,9	6,7	6,6	6,2	5,9	5,6	5,4	5,1	4,8
10° 30'	9,3	8,9	8,6	8,3	8,1	7,8	7,6	7,4	7,2	7,0	6,8	6,5	6,2	5,9	5,6	5,3	5,1
11°	9,5	9,1	8,8	8,5	8,3	8,0	7,8	7,6	7,4	7,2	7,0	6,7	6,4	6,1	5,8	5,6	5,3
12°	9,9	9,5	9,2	8,9	8,7	8,5	8,2	8,0	7,8	7,6	7,4	7,1	6,8	6,5	6,2	6,0	5,7
13°	10,3	9,8	9,6	9,3	9,0	8,8	8,5	8,3	8,1	7,9	7,8	7,4	7,1	6,8	6,5	6,3	6,0
14°	10,6	10,1	9,9	9,6	9,3	9,1	8,8	8,6	8,4	8,2	8,1	7,7	7,4	7,1	6,8	6,6	6,3
15°	10,8	10,4	10,1	9,8	9,6	9,4	9,1	8,9	8,7	8,5	8,3	8,0	7,7	7,4	7,1	6,9	6,6
17°	11,2	10,8	10,5	10,3	10,0	9,8	9,5	9,3	9,1	8,9	8,8	8,4	8,1	7,8	7,5	7,3	7,0
19°	11,6	11,2	10,9	10,6	10,4	10,1	9,9	9,7	9,5	9,3	9,1	8,8	8,5	8,2	7,9	7,6	7,3
22°	12,0	11,6	11,3	11,0	10,8	10,5	10,3	10,1	9,9	9,7	9,5	9,2	8,9	8,6	8,3	8,0	7,8
26°	12,4	12,0	11,7	11,4	11,2	10,9	10,7	10,5	10,3	10,1	9,9	9,6	9,3	9,0	8,7	8,4	8,2
30°	12,7	12,3	12,0	11,7	11,4	11,2	11,0	10,8	10,6	10,4	10,2	9,9	9,6	9,3	9,0	8,7	8,4
34°	12,9	12,6	12,2	11,9	11,7	11,5	11,2	11,0	10,8	10,6	10,4	10,1	9,8	9,5	9,2	9,0	8,7
38°	13,1	12,7	12,4	12,1	11,9	11,7	11,4	11,2	11,0	10,8	10,6	10,3	10,0	9,7	9,4	9,2	8,9
42°	13,3	12,9	12,6	12,3	12,0	11,8	11,6	11,4	11,2	11,0	10,8	10,5	10,1	9,8	9,6	9,3	9,0
46°	13,4	13,0	12,7	12,4	12,2	12,0	11,7	11,5	11,3	11,1	10,9	10,6	10,3	10,0	9,7	9,4	9,2
50°	13,6	13,1	12,8	12,6	12,3	12,1	11,8	11,6	11,4	11,2	11,0	10,7	10,4	10,1	9,8	9,6	9,3
60°	13,8	13,3	13,0	12,8	12,5	12,3	12,0	11,8	11,6	11,4	11,3	10,9	10,6	10,3	10,0	9,8	9,5
70°	14,0	13,5	13,2	13,0	12,7	12,5	12,2	12,0	11,8	11,6	11,5	11,1	10,8	10,5	10,2	10,0	9,7
80°	14,1	13,7	13,4	13,1	12,9	12,7	12,4	12,2	12,0	11,8	11,6	11,3	11,0	10,7	10,4	10,1	9,9
90°	14,3	13,8	13,5	13,3	13,0	12,8	12,5	12,3	12,1	11,9	11,8	11,4	11,1	10,8	10,5	10,3	10,0

(Entnommen aus Hommey „Tables d'angles horaires“.)

Bei Beobachtung des Oberrandes sind 32' von der Höhe abzuziehen.

Korrektion für Aenderung des Halbmessers:

Januar	+ 0,3	Mai 1.—15.	— 0,1	Septbr. 1.—15.	— 0,1
Februar	+ 0,2	„ 16.—31.	— 0,2	„ 16.—30.	0
März	+ 0,1	Juni	— 0,2	Oktober	+ 0,1
April 1—15.	0	Juli	— 0,2	November	+ 0,2
„ 16.—30.	— 0,1	August	— 0,2	Dezember	+ 0,3

Zur Berechnung der Längenänderung für

Tafel

Breite	Stunden-																					
	0 Stunde						Eine Stunde														Zwei	
	30m	35m	40m	45m	50m	55m	0m	5m	10m	15m	20m	25m	30m	35m	40m	45m	50m	55m	0m	5m		
0°	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
2°	0,27	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06		
4°	0,53	0,45	0,40	0,35	0,31	0,29	0,26	0,24	0,22	0,21	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12		
6°	0,80	0,68	0,60	0,53	0,48	0,43	0,39	0,36	0,33	0,31	0,29	0,27	0,25	0,24	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17		
8°	1,07	0,92	0,80	0,71	0,63	0,58	0,52	0,48	0,45	0,41	0,39	0,36	0,34	0,32	0,30	0,29	0,27	0,26	0,24	0,23		
10°	1,32	1,15	1,00	0,88	0,79	0,71	0,66	0,60	0,56	0,52	0,48	0,45	0,43	0,40	0,38	0,36	0,34	0,32	0,30	0,29		
12°	1,61	1,38	1,21	1,07	0,96	0,87	0,79	0,73	0,67	0,63	0,58	0,55	0,51	0,48	0,46	0,43	0,41	0,39	0,37	0,35		
14°	1,89	1,62	1,41	1,25	1,12	1,02	0,93	0,86	0,79	0,73	0,68	0,64	0,60	0,57	0,53	0,51	0,48	0,46	0,43	0,41		
16°	2,18	1,86	1,63	1,44	1,29	1,17	1,07	0,99	0,91	0,85	0,79	0,74	0,69	0,65	0,61	0,58	0,55	0,52	0,49	0,47		
18°	2,47	2,11	1,84	1,63	1,47	1,33	1,21	1,12	1,03	0,96	0,89	0,84	0,78	0,74	0,69	0,66	0,62	0,59	0,56	0,54		
20°	2,77	2,37	2,07	1,83	1,64	1,49	1,36	1,25	1,15	1,08	1,00	0,94	0,88	0,83	0,78	0,74	0,70	0,66	0,63	0,60		
22°	3,07	2,62	2,29	2,03	1,82	1,65	1,51	1,39	1,28	1,19	1,11	1,04	0,97	0,92	0,86	0,82	0,78	0,74	0,70	0,67		
24°	3,38	2,89	2,53	2,24	2,01	1,82	1,66	1,53	1,41	1,31	1,22	1,15	1,07	1,01	0,95	0,90	0,86	0,81	0,77	0,74		
26°	3,70	3,17	2,77	2,46	2,20	2,00	1,82	1,68	1,55	1,45	1,34	1,25	1,18	1,11	1,05	0,99	0,94	0,89	0,84	0,80		
28°	4,04	3,45	3,01	2,67	2,40	2,17	1,98	1,82	1,69	1,57	1,46	1,37	1,28	1,21	1,14	1,08	1,02	0,97	0,92	0,88		
30°	4,38	3,75	3,27	2,90	2,61	2,36	2,15	1,98	1,83	1,70	1,59	1,48	1,39	1,31	1,24	1,17	1,11	1,05	1,00	0,95		
31°	4,56	3,90	3,40	3,02	2,71	2,46	2,24	2,06	1,90	1,77	1,65	1,54	1,45	1,36	1,29	1,22	1,15	1,10	1,04	0,99		
32°	4,74	4,06	3,54	3,14	2,82	2,55	2,33	2,14	1,98	1,84	1,72	1,61	1,51	1,42	1,34	1,27	1,20	1,14	1,08	1,03		
33°	4,93	4,22	3,68	3,26	2,93	2,65	2,42	2,23	2,06	1,91	1,78	1,67	1,57	1,48	1,39	1,32	1,25	1,18	1,12	1,07		
34°	5,12	4,38	3,82	3,39	3,04	2,76	2,52	2,31	2,14	1,99	1,85	1,73	1,63	1,53	1,45	1,37	1,30	1,23	1,17	1,11		
35°	5,32	4,55	3,97	3,52	3,16	2,86	2,61	2,40	2,22	2,06	1,92	1,80	1,69	1,59	1,50	1,42	1,35	1,28	1,21	1,15		
36°	5,51	4,72	4,12	3,65	3,27	2,96	2,71	2,49	2,30	2,14	2,00	1,87	1,75	1,65	1,56	1,47	1,40	1,33	1,26	1,20		
37°	5,72	4,90	4,27	3,79	3,40	3,08	2,81	2,58	2,39	2,22	2,07	1,94	1,82	1,71	1,62	1,53	1,45	1,37	1,30	1,25		
38°	5,93	5,08	4,43	3,93	3,52	3,19	2,91	2,68	2,48	2,30	2,15	2,01	1,89	1,77	1,68	1,59	1,50	1,42	1,35	1,29		
39°	6,15	5,26	4,59	4,07	3,66	3,31	3,02	2,78	2,57	2,39	2,23	2,08	1,96	1,84	1,74	1,64	1,55	1,48	1,40	1,34		
40°	6,37	5,45	4,76	4,22	3,79	3,43	3,13	2,88	2,66	2,47	2,31	2,16	2,03	1,91	1,80	1,70	1,61	1,53	1,45	1,39		
41°	6,60	5,65	4,93	4,37	3,92	3,56	3,24	2,99	2,76	2,56	2,39	2,24	2,10	1,98	1,86	1,77	1,66	1,59	1,50	1,44		
42°	6,84	5,85	5,10	4,53	4,06	3,68	3,36	3,09	2,86	2,65	2,47	2,32	2,17	2,05	1,93	1,83	1,73	1,64	1,56	1,49		
43°	7,08	6,06	5,29	4,69	4,21	3,81	3,48	3,20	2,96	2,75	2,56	2,40	2,25	2,12	2,00	1,89	1,79	1,70	1,61	1,54		
44°	7,34	6,27	5,48	4,85	4,35	3,95	3,60	3,31	3,06	2,84	2,65	2,48	2,33	2,19	2,07	1,96	1,86	1,76	1,67	1,59		
45°	7,59	6,50	5,68	5,03	4,51	4,09	3,72	3,43	3,16	2,95	2,74	2,57	2,41	2,27	2,14	2,03	1,92	1,82	1,73	1,65		
46°	7,86	6,73	5,88	5,21	4,67	4,23	3,85	3,55	3,27	3,05	2,84	2,66	2,50	2,35	2,22	2,10	1,99	1,88	1,79	1,71		
47°	8,15	6,97	6,08	5,39	4,84	4,38	3,99	3,68	3,39	3,16	2,94	2,76	2,59	2,44	2,30	2,18	2,06	1,95	1,85	1,77		
48°	8,44	7,22	6,30	5,58	5,01	4,54	4,14	3,81	3,52	3,27	3,05	2,86	2,68	2,52	2,38	2,25	2,14	2,02	1,92	1,83		
49°	8,74	7,47	6,52	5,78	5,19	4,70	4,29	3,94	3,65	3,39	3,16	2,96	2,78	2,61	2,47	2,33	2,21	2,10	1,99	1,90		
50°	9,05	7,73	6,76	5,99	5,37	4,87	4,45	4,04	3,78	3,51	3,27	3,06	2,88	2,70	2,56	2,42	2,29	2,17	2,06	1,96		
51°	9,38	8,02	7,00	6,21	5,57	5,05	4,61	4,24	3,92	3,65	3,38	3,17	2,98	2,81	2,65	2,51	2,37	2,25	2,14	2,04		
52°	9,72	8,32	7,26	6,43	5,77	5,23	4,78	4,39	4,06	3,77	3,50	3,29	3,09	2,91	2,74	2,59	2,46	2,33	2,22	2,11		
53°	10,08		7,52	6,67	5,98	5,42	4,95	4,55	4,21	3,91	3,62	3,41	3,20	3,02	2,84	2,69	2,55	2,42	2,30	2,19		
54°			7,81	6,92	6,21	5,62	5,14	4,72	4,37	4,06	3,75	3,54	3,32	3,13	2,95	2,79	2,64	2,51	2,38	2,27		
55°			8,10	7,18	6,44	5,84	5,33	4,90	4,53	4,21	3,89	3,67	3,45	3,25	3,06	2,90	2,74	2,61	2,47	2,36		
56°				7,45	6,69	6,06	5,53	5,09	4,70	4,36	4,03	3,81	3,58	3,37	3,18	3,01	2,84	2,71	2,56	2,44		
57°				7,74	6,95	6,29	5,75	5,28	4,88	4,53	4,23	3,95	3,72	3,50	3,30	3,12	2,95	2,81	2,66	2,54		
58°				8,04	7,22	6,54	5,97	5,49	5,08	4,71	4,40	4,12	3,86	3,64	3,43	3,24	3,07	2,92	2,77	2,64		
59°				8,37	7,50	6,80	6,21	5,71	5,28	4,90	4,58	4,28	4,02	3,79	3,57	3,37	3,19	3,03	2,88	2,74		
60°					7,81	7,08	6,46	5,94	5,49	5,10	4,76	4,45	4,18	3,94	3,71	3,52	3,33	3,16	3,00	2,86		
61°					8,14	7,37	6,73	6,19	5,72	5,31	4,96	4,64	4,35	4,10	3,86	3,66	3,47	3,29	3,13	2,98		
62°						7,69	7,02	6,45	5,96	5,54	5,17	4,84	4,54	4,27	4,03	3,82	3,61	3,43	3,26	3,10		
63°						8,02	7,32	6,73	6,22	5,78	5,39	5,05	4,74	4,46	4,20	3,98	3,78	3,57	3,40	3,24		
64°						8,38	7,65	7,03	6,50	6,04	5,63	5,27	4,95	4,66	4,40	4,16	3,94	3,73	3,55	3,38		
65°							8,00	7,36	6,80	6,32	5,89	5,51	5,18	4,87	4,60	4,36	4,12	3,91	3,71	3,54		
66°								7,70	7,12	6,62	6,17	5,78	5,42	5,10	4,82	4,56	4,31	4,10	3,89	3,71		
67°								8,08	7,47	6,94	6,47	6,06	5,69	5,35	5,05	4,78	4,53	4,29	4,09	3,89		
68°								8,49	7,85	7,29	6,80	6,36	5,98	5,62	5,31	5,02	4,76	4,51	4,30	4,08		
69°								8,26	7,67	7,16	6,70			5,92	5,59	5,28	5,00	4,75	4,51	4,30		
Dekli- nation	30m	35m	40m	45m	50m	55m	0m	5m	10m	15m	20m	25m	30m	35m	40m	45m	50m	55m	0m	5m		
	0 Stunde						Eine Stunde														Zwei	
	Halbe																					

Tafel

Zur Berechnung der Mittags- resp.

VIII.

eine Aenderung der Breite um eine Minute.

A.

winkel																		Breite		
Stunden						Drei Stunden					Vier Stunden				5 Stunden	6Std.				
10m	15m	20m	25m	30m	40m	50m	0m	10m	20m	30m	40m	50m	0m	15m	30m	45m	0m		30m	0m
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,00	0
0,11	0,10	0,10	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0	0
0,16	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,11	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,01	0	0
0,22	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,02	0	0
0,27	0,26	0,25	0,24	0,23	0,21	0,19	0,18	0,16	0,15	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,06	0,05	0,02	0	0
0,33	0,32	0,30	0,29	0,28	0,25	0,21	0,21	0,20	0,18	0,16	0,15	0,14	0,12	0,10	0,09	0,07	0,06	0,03	0	0
0,39	0,37	0,35	0,34	0,32	0,30	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10	0,09	0,07	0,03	0	0
0,45	0,43	0,41	0,39	0,37	0,34	0,31	0,28	0,26	0,24	0,22	0,20	0,18	0,17	0,14	0,12	0,10	0,08	0,04	0	0
0,51	0,49	0,46	0,44	0,42	0,39	0,35	0,32	0,30	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,16	0,14	0,11	0,09	0,04	0	0
0,57	0,55	0,52	0,50	0,47	0,43	0,40	0,36	0,33	0,31	0,28	0,25	0,23	0,21	0,18	0,15	0,12	0,10	0,05	0	0
0,63	0,60	0,58	0,55	0,53	0,48	0,44	0,40	0,37	0,34	0,31	0,28	0,26	0,23	0,20	0,17	0,14	0,11	0,05	0	0
0,70	0,67	0,64	0,61	0,59	0,53	0,49	0,44	0,41	0,37	0,34	0,31	0,28	0,25	0,22	0,18	0,15	0,12	0,06	0	0
0,77	0,73	0,70	0,67	0,64	0,58	0,53	0,49	0,45	0,41	0,37	0,34	0,31	0,28	0,24	0,20	0,17	0,13	0,06	0	0
0,83	0,80	0,76	0,73	0,69	0,63	0,58	0,53	0,49	0,45	0,41	0,37	0,34	0,31	0,26	0,22	0,18	0,14	0,07	0	0
0,90	0,87	0,82	0,78	0,75	0,69	0,63	0,57	0,53	0,48	0,44	0,41	0,37	0,33	0,28	0,24	0,20	0,16	0,08	0	0
0,94	0,90	0,85	0,82	0,78	0,72	0,66	0,59	0,55	0,50	0,46	0,42	0,38	0,34	0,30	0,25	0,20	0,16	0,08	0	0
0,98	0,94	0,89	0,85	0,81	0,75	0,68	0,62	0,57	0,52	0,48	0,44	0,40	0,36	0,31	0,26	0,21	0,17	0,08	0	0
1,02	0,97	0,92	0,89	0,84	0,78	0,71	0,64	0,59	0,54	0,50	0,46	0,41	0,37	0,32	0,27	0,22	0,17	0,09	0	0
1,06	1,01	0,96	0,92	0,88	0,80	0,74	0,67	0,62	0,57	0,52	0,47	0,43	0,39	0,33	0,28	0,23	0,18	0,09	0	0
1,10	1,05	1,00	0,96	0,91	0,83	0,77	0,69	0,64	0,59	0,54	0,49	0,45	0,40	0,35	0,29	0,24	0,18	0,09	0	0
1,14	1,09	1,04	0,99	0,95	0,87	0,80	0,72	0,66	0,61	0,56	0,51	0,46	0,42	0,36	0,30	0,25	0,19	0,10	0	0
1,18	1,13	1,08	1,03	0,98	0,90	0,82	0,75	0,69	0,63	0,58	0,53	0,48	0,43	0,37	0,31	0,26	0,20	0,10	0	0
1,23	1,17	1,12	1,07	1,02	0,93	0,85	0,78	0,72	0,66	0,60	0,55	0,50	0,45	0,39	0,32	0,26	0,21	0,10	0	0
1,27	1,21	1,16	1,11	1,05	0,97	0,89	0,81	0,74	0,68	0,62	0,57	0,52	0,46	0,40	0,33	0,27	0,21	0,11	0	0
1,32	1,26	1,20	1,14	1,09	1,00	0,92	0,84	0,77	0,71	0,65	0,59	0,53	0,48	0,41	0,35	0,28	0,22	0,11	0	0
1,37	1,30	1,24	1,19	1,13	1,04	0,95	0,87	0,80	0,73	0,67	0,61	0,55	0,50	0,43	0,36	0,30	0,23	0,11	0	0
1,42	1,35	1,29	1,23	1,17	1,07	0,98	0,89	0,83	0,76	0,69	0,63	0,57	0,52	0,44	0,37	0,31	0,24	0,12	0	0
1,47	1,40	1,33	1,27	1,21	1,11	1,02	0,93	0,85	0,78	0,71	0,65	0,59	0,54	0,46	0,38	0,32	0,25	0,12	0	0
1,52	1,45	1,38	1,32	1,26	1,15	1,05	0,97	0,88	0,81	0,74	0,68	0,63	0,56	0,48	0,40	0,33	0,26	0,13	0	0
1,57	1,50	1,43	1,36	1,30	1,19	1,09	1,00	0,92	0,84	0,76	0,70	0,64	0,58	0,49	0,41	0,34	0,27	0,13	0	0
1,63	1,55	1,48	1,41	1,35	1,24	1,13	1,04	0,95	0,85	0,79	0,73	0,66	0,60	0,51	0,43	0,35	0,28	0,14	0	0
1,68	1,61	1,53	1,47	1,40	1,28	1,17	1,07	0,98	0,89	0,82	0,75	0,68	0,62	0,53	0,44	0,36	0,29	0,14	0	0
1,74	1,67	1,59	1,52	1,45	1,33	1,21	1,11	1,02	0,94	0,85	0,78	0,71	0,64	0,55	0,46	0,38	0,30	0,15	0	0
1,80	1,72	1,65	1,57	1,50	1,37	1,26	1,15	1,05	0,97	0,88	0,81	0,73	0,66	0,57	0,47	0,39	0,31	0,15	0	0
1,87	1,78	1,71	1,63	1,56	1,42	1,30	1,19	1,09	1,00	0,91	0,83	0,76	0,69	0,59	0,49	0,40	0,32	0,16	0	0
1,94	1,86	1,77	1,69	1,61	1,47	1,35	1,23	1,13	1,04	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61	0,51	0,42	0,33	0,16	0	0
2,01	1,91	1,83	1,75	1,67	1,53	1,40	1,28	1,17	1,08	0,98	0,90	0,81	0,74	0,63	0,53	0,43	0,34	0,17	0	0
2,08	1,99	1,90	1,81	1,73	1,59	1,45	1,33	1,22	1,11	1,01	0,93	0,85	0,76	0,65	0,55	0,45	0,35	0,17	0	0
2,16	2,06	1,97	1,88	1,80	1,64	1,50	1,38	1,26	1,16	1,05	0,97	0,88	0,79	0,68	0,57	0,47	0,37	0,18	0	0
2,24	2,14	2,04	1,95	1,87	1,71	1,56	1,43	1,31	1,20	1,09	1,00	0,91	0,82	0,70	0,59	0,49	0,38	0,19	0	0
2,33	2,21	2,12	2,02	1,94	1,77	1,62	1,49	1,36	1,24	1,13	1,04	0,94	0,85	0,73	0,62	0,50	0,40	0,20	0	0
2,42	2,30	2,20	2,10	2,01	1,84	1,68	1,54	1,41	1,29	1,18	1,08	0,98	0,88	0,76	0,64	0,52	0,41	0,20	0	0
2,51	2,39	2,29	2,18	2,09	1,91	1,75	1,60	1,47	1,34	1,23	1,12	1,02	0,92	0,79	0,66	0,54	0,43	0,21	0	0
2,61	2,50	2,38	2,26	2,17	1,99	1,82	1,66	1,52	1,40	1,28	1,17	1,06	0,96	0,82	0,69	0,56	0,44	0,22	0	0
2,71	2,59	2,48	2,36	2,26	2,07	1,89	1,73	1,59	1,45	1,33	1,21	1,11	1,00	0,85	0,72	0,59	0,46	0,23	0	0
2,83	2,70	2,58	2,45	2,35	2,15	1,97	1,80	1,66	1,51	1,38	1,26	1,15	1,04	0,89	0,75	0,61	0,48	0,24	0	0
2,95	2,82	2,69	2,56	2,45	2,24	2,06	1,88	1,72	1,58	1,44	1,32	1,20	1,09	0,93	0,78	0,64	0,50	0,25	0	0
3,08	2,94	2,81	2,67	2,56	2,34	2,14	1,96	1,80	1,64	1,50	1,38	1,25	1,13	0,97	0,81	0,67	0,52	0,26	0	0
3,22	3,07	2,93	2,79	2,67	2,44	2,24	2,05	1,88	1,72	1,57	1,44	1,31	1,18	1,02	0,85	0,70	0,55	0,27	0	0
3,37	3,21	3,07	2,92	2,80	2,56	2,34	2,15	1,97	1,80	1,64	1,50	1,37	1,24	1,06	0,89	0,73	0,57	0,28	0	0
3,53	3,37	3,21	3,06	2,93	2,68	2,45	2,25	2,06	1,88	1,72	1,57	1,43	1,30	1,11	0,93	0,76	0,60	0,30	0	0
3,70	3,53	3,36	3,21	3,08	2,81	2,58	2,36	2,16	1,98	1,81	1,65	1,50	1,36	1,17	0,97	0,80	0,63	0,31	0	0
3,88	3,71	3,53	3,37	3,23	2,95	2,70	2,47	2,27	2,07	1,90	1,74	1,58	1,43	1,22	1,02	0,84	0,66	0,33	0	0
4,08	3,90	3,71	3,56	3,39	3,11	2,84	2,58	2,39	2,19	2,00	1,82	1,66	1,50	1,29	1,07	0,89	0,69	0,34	0	0
10m	15m	20m	25m	30m	40m	50m	0m	10m	20m	30m	40m	50m	0m	15m	30m	45m	0m	30m	0m	
Stunden								Drei Stunden						Vier Stunden			5 Stunden	6Std.		Dekli-
Zwischenzeit																				nation

B.

Mitternachtskorrektur (Unterer Eingang).

Zur Berechnung der Längenänderung für

Tafel

Dekli- nation	Stunden-																			
	0 Stunde						Eine Stunde										Zwei			
	30m	35m	40m	45m	50m	55m	0m	5m	10m	15m	20m	25m	30m	35m	40m	45m	50m	55m	0m	5m
0°	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1°	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03
2°	0,27	0,23	0,20	0,18	0,16	0,15	0,13	0,12	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07
3°	0,40	0,34	0,30	0,27	0,24	0,22	0,20	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10
4°	0,53	0,46	0,40	0,36	0,32	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13
5°	0,66	0,57	0,50	0,45	0,40	0,36	0,34	0,31	0,29	0,27	0,25	0,24	0,22	0,21	0,20	0,19	0,19	0,18	0,17	0,16
6°	0,80	0,69	0,60	0,53	0,48	0,44	0,41	0,38	0,35	0,33	0,31	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20
7°	0,94	0,80	0,70	0,62	0,56	0,51	0,47	0,44	0,41	0,38	0,36	0,34	0,32	0,30	0,29	0,28	0,26	0,25	0,24	0,23
8°	1,08	0,92	0,81	0,72	0,65	0,59	0,54	0,50	0,47	0,44	0,41	0,39	0,37	0,35	0,33	0,32	0,30	0,29	0,28	0,27
9°	1,21	1,04	0,91	0,81	0,73	0,66	0,59	0,56	0,53	0,49	0,46	0,44	0,41	0,39	0,37	0,36	0,34	0,32	0,31	0,30
10°	1,35	1,16	1,02	0,90	0,81	0,74	0,68	0,63	0,59	0,55	0,52	0,49	0,46	0,44	0,42	0,40	0,38	0,36	0,35	0,34
11°	1,49	1,28	1,12	0,99	0,89	0,82	0,75	0,69	0,65	0,60	0,57	0,53	0,50	0,48	0,46	0,44	0,42	0,40	0,38	0,37
12°	1,63	1,40	1,22	1,08	0,98	0,90	0,82	0,76	0,71	0,66	0,62	0,58	0,55	0,52	0,50	0,48	0,46	0,44	0,42	0,41
13°	1,77	1,52	1,32	1,18	1,06	0,97	0,89	0,82	0,77	0,72	0,67	0,63	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,48	0,46	0,44
14°	1,91	1,64	1,42	1,28	1,15	1,05	0,96	0,89	0,83	0,78	0,73	0,69	0,65	0,62	0,59	0,56	0,54	0,52	0,50	0,48
15°	2,05	1,76	1,53	1,38	1,23	1,13	1,03	0,95	0,89	0,83	0,78	0,74	0,70	0,66	0,63	0,60	0,58	0,56	0,53	0,51
16°	2,20	1,88	1,65	1,48	1,32	1,21	1,11	1,02	0,95	0,89	0,84	0,79	0,75	0,71	0,68	0,65	0,62	0,59	0,57	0,55
17°	2,34	2,01	1,76	1,57	1,41	1,29	1,18	1,09	1,01	0,95	0,89	0,84	0,80	0,75	0,72	0,69	0,66	0,63	0,61	0,58
18°	2,49	2,14	1,87	1,67	1,50	1,37	1,26	1,16	1,08	1,01	0,95	0,90	0,85	0,80	0,77	0,73	0,70	0,67	0,65	0,62
19°	2,64	2,26	1,98	1,77	1,59	1,45	1,33	1,23	1,14	1,07	1,00	0,95	0,90	0,85	0,81	0,77	0,74	0,71	0,69	0,66
20°	2,79	2,39	2,10	1,87	1,68	1,53	1,41	1,30	1,21	1,13	1,06	1,00	0,95	0,90	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,70
21°	2,94	2,52	2,21	1,97	1,77	1,61	1,48	1,37	1,27	1,19	1,12	1,06	1,00	0,95	0,91	0,86	0,83	0,80	0,77	0,74
22°	3,10	2,65	2,33	2,07	1,87	1,70	1,56	1,44	1,34	1,26	1,18	1,12	1,06	1,01	0,96	0,91	0,87	0,84	0,81	0,78
23°	3,25	2,79	2,49	2,17	1,96	1,78	1,64	1,51	1,41	1,31	1,24	1,17	1,11	1,06	1,01	0,96	0,91	0,88	0,85	0,82
24°	3,41	2,92	2,56	2,28	2,06	1,87	1,72	1,59	1,48	1,36	1,30	1,23	1,16	1,11	1,06	1,01	0,96	0,92	0,89	0,86
25°	3,57	3,06	2,68	2,39	2,15	1,96	1,80	1,66	1,55	1,43	1,36	1,29	1,21	1,16	1,11	1,05	1,01	0,96	0,93	0,90
26°	3,74	3,21	2,81	2,50	2,25	2,06	1,89	1,74	1,62	1,51	1,43	1,35	1,27	1,21	1,16	1,10	1,06	1,01	0,97	0,94
27°	3,91	3,35	2,93	2,61	2,35	2,15	1,97	1,82	1,69	1,58	1,49	1,41	1,33	1,26	1,21	1,15	1,10	1,06	1,01	0,98
28°	4,08	3,50	3,06	2,72	2,45	2,24	2,06	1,90	1,77	1,66	1,56	1,47	1,39	1,32	1,26	1,20	1,15	1,11	1,06	1,03
29°	4,25	3,65	3,19	2,84	2,56	2,33	2,14	1,98	1,84	1,73	1,62	1,53	1,45	1,37	1,31	1,25	1,20	1,16	1,10	1,07
30°	4,43	3,80	3,33	2,96	2,67	2,43	2,23	2,06	1,92	1,80	1,69	1,60	1,51	1,43	1,37	1,31	1,25	1,20	1,15	1,12
32°	4,79	4,11	3,60	3,21	2,88	2,63	2,42	2,23	2,08	1,95	1,83	1,73	1,63	1,55	1,48	1,42	1,35	1,30	1,25	1,21
34°	5,17	4,44	3,88	3,46	3,12	2,84	2,61	2,41	2,25	2,10	1,97	1,86	1,76	1,67	1,60	1,53	1,46	1,40	1,35	1,30
36°	5,57	4,78	4,19	3,73	3,36	3,06	2,80	2,59	2,42	2,26	2,12	2,00	1,90	1,80	1,72	1,64	1,57	1,51	1,45	1,40
38°	5,99	5,14	4,50	4,01	3,61	3,29	3,01	2,78	2,60	2,43	2,28	2,15	2,04	1,94	1,85	1,77	1,69	1,63	1,56	1,51
40°	6,43	5,52	4,83	4,30	3,87	3,53	3,24	2,99	2,79	2,61	2,45	2,32	2,19	2,08	1,99	1,90	1,82	1,75	1,68	1,62
42°	6,90	5,92	5,19	4,62	4,16	3,78	3,48	3,21	2,99	2,80	2,63	2,49	2,35	2,24	2,14	2,04	1,95	1,88	1,80	1,73
44°	7,40	6,35	5,56	4,95	4,47	4,06	3,73	3,44	3,21	3,01	2,83	2,67	2,52	2,40	2,29	2,18	2,09	2,01	1,93	1,86
46°	7,93	6,81	5,96	5,31	4,79	4,36	4,00	3,69	3,44	3,23	3,03	2,86	2,70	2,57	2,46	2,34	2,24	2,16	2,07	2,00
48°	8,51	7,30	6,40	5,69	5,13	4,67	4,30	3,96	3,69	3,46	3,25	3,06	2,90	2,76	2,63	2,52	2,40	2,31	2,22	2,14
50°	9,13	7,83	6,86	6,11	5,50	5,01	4,61	4,25	3,96	3,71	3,49	3,28	3,12	2,96	2,82	2,69	2,58	2,48	2,38	2,29
52°	9,81	8,41	7,37	6,56	5,91	5,38	4,95	4,56	4,26	3,98	3,74	3,53	3,34	3,18	3,03	2,90	2,77	2,66	2,56	2,47
54°	10,55	9,05	7,93	7,05	6,36	5,79	5,32	4,91	4,58	4,28	4,02	3,80	3,59	3,42	3,26	3,12	2,98	2,86	2,75	2,66
56°	11,36	9,74	8,56	7,60	6,85	6,24	5,73	5,30	4,93	4,61	4,34	4,09	3,87	3,68	3,51	3,35	3,21	3,08	2,96	2,86
58°	12,26	10,52	9,22	8,20	7,39	6,73	6,18	5,72	5,32	4,98	4,68	4,42	4,19	3,97	3,78	3,61	3,47	3,33	3,20	3,08
Breite	30m	35m	40m	45m	50m	55m	0m	5m	10m	15m	20m	25m	30m	35m	40m	45m	50m	55m	0m	5m
	0 Stunde						Eine Stunde										Zwei			
	Halbe																			

Tafel

Zur Berechnung der Mittags- resp.

eine Aenderung der Breite um eine Minute.

B.

winkel																		Dekli- nation												
Stunden						Drei Stunden					Vier Stunden				5 Stund.		6 Std.													
10m	15m	20m	25m	30m	40m	50m	0m	10m	20m	30m	40m	50m	0m	15m	30m	45m	0m		30m	0m										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0°									
0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	1°									
0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	2°									
0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	3°									
0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	4°									
0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	5°									
0.20	0.19	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	6°									
0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.19	0.18	0.17	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	7°									
0.26	0.25	0.24	0.23	0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.19	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	8°									
0.29	0.28	0.27	0.26	0.26	0.24	0.23	0.22	0.21	0.21	0.20	0.19	0.19	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	9°									
0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.27	0.26	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.21	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	10°									
0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.30	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24	0.23	0.23	0.22	0.21	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19	11°									
0.40	0.38	0.37	0.36	0.35	0.33	0.31	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26	0.25	0.25	0.24	0.23	0.22	0.22	0.21	0.21	0.21	12°									
0.43	0.41	0.40	0.39	0.38	0.36	0.34	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.27	0.27	0.26	0.25	0.24	0.24	0.23	0.23	0.23	13°									
0.46	0.45	0.44	0.42	0.41	0.39	0.37	0.35	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.29	0.28	0.27	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	14°									
0.49	0.48	0.47	0.45	0.44	0.42	0.40	0.37	0.36	0.34	0.33	0.32	0.31	0.31	0.30	0.29	0.28	0.28	0.27	0.27	0.27	15°									
0.53	0.51	0.50	0.48	0.47	0.45	0.43	0.41	0.39	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.30	0.29	0.29	0.29	16°									
0.56	0.54	0.53	0.51	0.50	0.47	0.45	0.43	0.41	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31	17°									
0.60	0.58	0.57	0.55	0.53	0.50	0.48	0.46	0.44	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.36	0.35	0.34	0.34	0.33	0.33	0.33	18°									
0.64	0.61	0.60	0.58	0.56	0.53	0.51	0.48	0.46	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40	0.38	0.37	0.36	0.36	0.35	0.35	0.35	19°									
0.68	0.65	0.63	0.61	0.60	0.57	0.54	0.51	0.49	0.47	0.46	0.44	0.43	0.42	0.40	0.39	0.38	0.38	0.37	0.37	0.37	20°									
0.71	0.68	0.66	0.64	0.63	0.60	0.57	0.54	0.52	0.50	0.48	0.46	0.45	0.44	0.42	0.41	0.40	0.40	0.39	0.39	0.39	21°									
0.75	0.72	0.70	0.68	0.66	0.63	0.60	0.57	0.55	0.53	0.51	0.49	0.48	0.47	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.41	0.41	22°									
0.79	0.76	0.74	0.71	0.69	0.66	0.63	0.60	0.57	0.55	0.53	0.51	0.50	0.49	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.43	0.43	23°									
0.83	0.80	0.78	0.75	0.73	0.69	0.66	0.63	0.60	0.58	0.56	0.54	0.53	0.51	0.50	0.48	0.47	0.46	0.45	0.45	0.45	24°									
0.87	0.84	0.82	0.78	0.76	0.73	0.69	0.66	0.63	0.60	0.58	0.56	0.55	0.53	0.52	0.50	0.49	0.48	0.47	0.47	0.47	25°									
0.91	0.88	0.85	0.82	0.80	0.76	0.72	0.69	0.66	0.63	0.61	0.59	0.58	0.56	0.54	0.53	0.51	0.50	0.49	0.49	0.49	26°									
0.95	0.92	0.89	0.86	0.83	0.80	0.75	0.72	0.69	0.66	0.64	0.62	0.60	0.58	0.56	0.55	0.53	0.52	0.51	0.51	0.51	27°									
0.99	0.96	0.93	0.90	0.87	0.83	0.79	0.75	0.72	0.69	0.67	0.65	0.63	0.61	0.59	0.58	0.56	0.55	0.54	0.53	0.53	28°									
1.04	1.00	0.97	0.94	0.91	0.86	0.82	0.78	0.75	0.72	0.70	0.68	0.65	0.63	0.61	0.60	0.58	0.57	0.56	0.55	0.55	29°									
1.08	1.04	1.01	0.98	0.95	0.90	0.86	0.81	0.78	0.75	0.73	0.70	0.68	0.66	0.64	0.63	0.61	0.60	0.58	0.58	0.58	30°									
1.16	1.13	1.09	1.06	1.03	0.97	0.93	0.88	0.85	0.82	0.79	0.76	0.74	0.72	0.70	0.68	0.66	0.65	0.63	0.63	0.63	32°									
1.25	1.22	1.18	1.14	1.11	1.05	1.00	0.95	0.92	0.87	0.85	0.82	0.80	0.78	0.75	0.73	0.71	0.70	0.68	0.68	0.68	34°									
1.35	1.31	1.27	1.23	1.19	1.13	1.08	1.03	0.99	0.95	0.92	0.89	0.86	0.84	0.81	0.79	0.77	0.75	0.73	0.73	0.73	36°									
1.45	1.41	1.36	1.32	1.28	1.22	1.16	1.11	1.06	1.02	0.99	0.96	0.93	0.90	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79	0.78	0.78	38°									
1.56	1.51	1.46	1.42	1.38	1.31	1.24	1.19	1.14	1.10	1.06	1.03	1.00	0.98	0.94	0.91	0.89	0.87	0.85	0.84	0.84	40°									
1.68	1.62	1.57	1.52	1.48	1.40	1.33	1.27	1.22	1.18	1.14	1.10	1.07	1.04	1.01	0.97	0.95	0.93	0.92	0.90	0.90	42°									
1.80	1.74	1.68	1.63	1.59	1.50	1.43	1.36	1.31	1.26	1.22	1.18	1.15	1.11	1.08	1.04	1.02	1.00	0.98	0.97	0.97	44°									
1.93	1.87	1.80	1.75	1.71	1.61	1.53	1.46	1.41	1.35	1.31	1.27	1.23	1.20	1.16	1.12	1.09	1.07	1.05	1.04	1.04	46°									
2.07	2.00	1.94	1.88	1.83	1.73	1.64	1.57	1.51	1.45	1.40	1.36	1.32	1.29	1.24	1.20	1.17	1.15	1.12	1.11	1.11	48°									
2.22	2.15	2.08	2.02	1.96	1.86	1.77	1.69	1.62	1.56	1.50	1.46	1.42	1.38	1.33	1.29	1.26	1.23	1.20	1.19	1.19	50°									
2.38	2.30	2.23	2.16	2.10	1.99	1.90	1.81	1.74	1.67	1.61	1.56	1.52	1.48	1.43	1.39	1.35	1.32	1.29	1.28	1.28	52°									
2.56	2.47	2.40	2.32	2.25	2.15	2.04	1.95	1.87	1.80	1.74	1.68	1.64	1.60	1.54	1.49	1.46	1.42	1.39	1.38	1.38	54°									
2.76	2.67	2.59	2.50	2.43	2.31	2.19	2.10	2.01	1.94	1.87	1.81	1.76	1.72	1.65	1.60	1.57	1.53	1.50	1.48	1.48	56°									
2.98	2.88	2.79	2.70	2.63	2.49	2.37	2.26	2.17	2.11	2.02	1.95	1.90	1.85	1.79	1.73	1.69	1.66	1.61	1.60	1.60	58°									
10m	15m	20m	25m	30m	40m	50m	0m	10m	20m	30m	40m	50m	0m	15m	30m	45m	0m	30m	0m		Breite									
Stunden																		Drei Stunden					Vier Stunden				5 Stund.		6 Std.	
Zwischenzeit																														

A.

Mitternachtskorrektur (Unterer Eingang).

IX.

Korrektion

die Mondsdistanzen, welche auf der Rechnungsform beruhen:

+ 3 Korr. + 4 Korr.*)

Distanzen.

Korr. in Höhe oder Dist.	32°			34°			36°			40°			44°			48°			52°			56°			60°			65°			70°			75°			80°			85°			90°			Korr. in Höhe oder Dist.
	148	146	144	140	136	132	128	124	120	115	110	105	100	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0	0	0	0	0	0								
5/	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''	0''	0''	0''	0''	0''	0''	0''	0''	0''	0''	0''	5'									
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8									
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10									
12	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	12									
14	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	14									
16	4	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16									
18	5	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	18									
20	6	5	5	4	4	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	20									
22	7	6	6	5	4	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	22									
24	8	7	7	6	5	5	4	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24									
26	9	9	8	7	6	5	5	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	26									
28	11	10	9	8	7	6	5	5	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	28									
30	13	12	11	9	8	7	6	5	5	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	30									
31	13	12	12	10	9	8	7	6	5	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	31									
32	14	13	12	11	9	8	7	6	5	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	32									
33	15	14	13	11	10	9	7	6	5	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	33									
34	16	15	14	12	10	9	8	7	6	5	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	34									
35	17	16	15	13	11	10	8	7	6	5	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	35									
36	18	17	16	13	12	10	9	8	7	5	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	36									
37	19	18	16	14	12	11	9	8	7	6	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	37									
38	20	19	17	15	13	11	10	9	7	6	5	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	38									
39	21	20	18	16	14	12	10	9	8	6	5	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	39									
40	22	21	19	17	14	13	11	9	8	7	5	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	40									
41	23	22	20	17	15	13	11	10	8	7	5	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	41									
42	25	23	21	18	16	14	12	10	9	7	6	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	42									
43	26	24	22	19	17	15	13	11	9	8	6	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	43									
44	27	25	23	20	17	15	13	11	10	8	6	5	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	44									
45	28	26	24	21	18	16	14	12	10	8	6	5	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	45									
46	30	27	25	22	19	17	14	12	11	9	7	5	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	46									
47	31	29	27	23	20	17	15	13	11	9	7	5	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	47									
48	32	30	28	24	21	18	16	14	12	9	7	5	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	48									
49	34	31	29	25	22	19	16	14	12	10	8	6	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	49									
50	35	32	30	26	23	20	17	15	13	10	8	6	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	50									
51	36	34	31	27	24	20	18	15	13	11	8	6	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	51									
52	38	35	32	28	24	21	18	16	14	11	8	6	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	52									
53	39	36	34	29	25	22	19	17	14	11	9	7	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	53									
54	41	38	35	30	26	23	20	17	15	12	9	7	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	54									
55	42	39	36	31	27	24	21	18	15	12	10	7	5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	55									
56	44	41	38	33	28	25	21	18	16	13	10	7	5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	56									
57	45	42	39	34	29	26	22	19	16	13	10	8	5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	57									
58	47	44	40	35	30	26	23	20	17	14	11	8	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58										
59	49	45	42	36	31	27	24	21	18	14	11	8	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59										
60	50	47	43	37	33	28	25	21	18	15	11	8	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60										
61	52	48	45	39	34	29	25	22	19	15	12	9	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61										
62	54	50	46	40	35	30	26	23	19	16	12	9	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62										

baren Distanz und den Vertikalkreisen.

Parallaxe für die Sonne,

Refraktion des Mondes,

D' die wahre Distanz.

Tafel X.

Faktoren-Tabelle

zur Bestimmung der 4. Korrektion, durch Multiplikation
mit der dritten.

Scheinbare Distanzen										
Scheinb. ☉ oder ★ Höhe <i>h</i>	10°	20°	30°	40° 140	50° 130	60° 120	70° 110	80° 100	85° 95	Scheinb. ☉ oder ★ Höhe <i>h</i>
5°	0,38	0,40	0,44	0,49	0,59	0,77	1,12	2,20	4,39	5°
6	0,32	0,34	0,37	0,42	0,50	0,64	0,93	1,84	3,66	6
7	0,30	0,29	0,32	0,36	0,43	0,55	0,80	1,57	3,14	7
10	0,19	0,20	0,22	0,25	0,30	0,38	0,55	1,11	2,20	10
15	0,13	0,14	0,15	0,17	0,20	0,26	0,38	0,74	1,48	15
20	0,10	0,10	0,11	0,13	0,15	0,19	0,28	0,55	1,12	20
30	0,07	0,07	0,08	0,09	0,10	0,13	0,19	0,38	0,77	30
40	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10	0,15	0,30	0,59	40
50	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,09	0,13	0,25	0,49	50
60	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,08	0,11	0,22	0,44	60
70	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,07	0,10	0,20	0,40	70
80	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,07	0,10	0,19	0,38	80

Beispiele.

- Es sei die 3. Korr., aus der vorhergehenden Tafel gefunden,
= + 12''
und die Sonnenhöhe 7°, die Distanz 60°, so wird die 4. Korr.
= 0,55 × 12'' = + 7''.
- Wenn die gefundene 3. Korr. = - 16''
und die Sonnenhöhe 10°, die Distanz 130° war, so wird die
4. Korr. = 0,30 × 16'' = + 5''.

Diese 4. Korrektion ist immer zur Distanz zu addiren, also ohne Zeichenwechsel.

Die obige Faktorentafel wird unbestimmt, wenn die Distanz sehr nahe an 90° ist, wo die Berechnung nach der Formel einzutreten hätte:

$$4. \text{ Korr.} = r p \frac{\sin S \sin M}{\sin D} \cdot \sin 1'',$$

und r die Korr. der Sonnen- oder Sternhöhe,

p - - - - - Mondhöhe bezeichnet,
 S und M die Winkel an Sonne und Mond,
 D die scheinbare Distanz.

Tafel XI.

Dritte Korrektion (K) zu Elford's Methode für die genäherte Berechnung der Mondsdistanzen nach der Formel:

$$D' = D - \frac{P \sin h}{\sin D} + \frac{P \sin H}{\operatorname{tg} D} + 3. \text{Korr.}^*)$$

Scheinbare		Scheinbare Distanzen												
Höhe	kleinere grössere	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°
		6°	6°	2' 46"	1' 38"	1' 19"	1' 16"	1' 17"	1' 22"	1' 31"	1' 38"	1' 56"	2' 13"	2' 35"	3' 1"	3' 38"
	10	3 33	2 15	1 44	1 35	1 33	1 36	1 45	1 55	2 8	2 26	2 50	3 17	4 0
	20		4 58	3 52	3 17	3 1	2 54	2 56	3 5	3 17	3 35	4 3	4 40	5 30
	30			6 1	5 6	4 33	4 19	4 14	4 19	4 31	4 51	5 23	6 7	7 13
	40				6 40	6 0	5 36	5 28	5 28	5 41	6 3	6 38	7 31	8 46
	50					7 13	6 45	6 30	6 29	6 41	7 4	7 44	8 44	
	60						7 38	7 20	7 18	7 30	7 55	8 38		
	70							7 58	7 55	8 8	8 34			
	80								8 16	8 29				
7	7	2 46	1 37	1 19	1 16	1 17	1 22	1 31	1 41	1 56	2 13	2 35	3 2	3 42
	10	3 8	1 56	1 30	1 26	1 25	1 30	1 38	1 49	2 3	2 21	2 44	3 11	3 55
	20		4 1	3 10	2 45	2 34	2 30	2 35	2 44	2 56	3 15	3 41	4 16	5 7
	30			5 0	4 15	3 51	3 40	3 40	3 46	3 58	4 18	4 48	5 30	6 32
	40				5 36	5 4	4 48	4 42	4 44	4 58	5 19	5 54	6 43	7 56
	50					6 6	5 46	5 35	5 36	5 50	6 13	6 51	7 45	
	60						6 31	6 18	6 20	6 33	6 58	7 38		
	70							6 50	6 50	7 5	7 30			
	80								7 9	7 23				
10	10	2 42	1 36	1 19	1 16	1 17	1 23	1 31	1 41	1 56	2 13	2 36	3 5	3 46
	20	2 37	2 27	2 4	1 50	1 49	1 51	1 56	2 8	2 22	2 40	3 5	3 38	4 24
	30		3 37	3 9	2 47	2 38	2 36	2 38	2 48	3 2	3 22	3 50	4 27	5 22
	40			4 6	3 41	3 26	3 19	3 20	3 29	3 43	4 3	4 33	5 17	6 23
	50				4 27	4 8	3 59	3 58	4 5	4 20	4 40	5 14	6 3	
	60					4 43	4 30	4 27	4 34	4 48	5 11	5 47		
	70						4 54	4 51	4 56	5 11	5 36			
	80							5 5	5 9	5 25				
	90								5 15					

*) Diese dritte Korrektion enthält den Betrag der Refraktion nebst der Verbesserung der durch die beiden ersten Korrekturen berechneten Wirkung der Mondparallaxe. Die Parallaxe der Sonne ist dabei als zu gering vernachlässigt.

P ist die Horizontalparallaxe des Mondes,
 h die scheinbare Sterns- oder Sonnenhöhe,
 H die scheinbare Mondshöhe,
 D die scheinbare und D' die wahre Distanz.

Scheinbare		Scheinbare Distanzen												
kleinere Höhe	grössere Höhe	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°
		15°	15°	2' 42"	1' 34"	1' 18"	1' 16"	1' 17"	1' 24"	1' 32"	1' 42"	1' 57"	2' 14'	2' 39"	3' 7"	3' 54"
	20	2 21	1 40	1 22	1 22	1 23	1 27	1 35	1 47	2 1	2 20	2 45	3 14	3 57
	30		2 2	1 52	1 46	1 43	1 49	1 55	2 7	2 21	2 40	3 6	3 40	4 34
	40			2 22	2 14	2 11	2 14	2 19	2 30	2 45	3 5	3 32	4 11	
	50				2 40	2 36	2 37	2 42	2 53	3 8	3 29	4 0		
	60					2 57	2 57	3 0	3 11	3 26	3 49			
	70						3 12	3 15	3 26	3 41				
	80							3 23	3 33					
20	20	2 31	1 28	1 14	1 12	1 14	1 20	1 30	1 41	1 55	2 13	2 38	3 10	3 58
	30	0 58	1 32	1 23	1 20	1 23	1 28	1 38	1 50	2 4	2 24	2 50	3 23	4 16
	40		1 27	1 36	1 35	1 37	1 42	1 51	2 2	2 18	2 38	3 6	3 43	
	50			1 47	1 51	1 53	1 57	2 6	2 18	2 33	2 54	3 22		
	60				2 2	2 6	2 11	2 20	2 30	2 47	3 8			
	70					2 15	2 20	2 28	2 40	2 56				
	80						2 25	2 34	2 45					
	90							2 37						
25	25	2 22	1 24	1 11	1 9	1 13	1 20	1 29	1 40	1 55	2 14	2 39	3 13	4 6
	30	1 54	1 22	1 12	1 10	1 14	1 20	1 30	1 43	1 57	2 17	2 42	3 16	
	40		1 12	1 16	1 16	1 21	1 28	1 38	1 50	2 4	2 26	2 52		
	50			1 20	1 26	1 30	1 37	1 47	1 59	2 15	2 36			
	60				1 34	1 38	1 46	1 55	2 8	2 24				
	70					1 44	1 51	2 2	2 14					
	80						1 56	2 5						
30	30	2 10	1 19	1 7	1 6	1 10	1 18	1 28	1 39	1 55	2 14	2 40	3 16	
	40	0 31	1 10	1 7	1 7	1 13	1 20	1 30	1 42	1 59	2 19	2 46		
	50		0 50	1 7	1 11	1 17	1 24	1 36	1 48	2 5	2 26			
	60			1 6	1 15	1 22	1 30	1 41	1 54	2 10				
	70				1 17	1 26	1 34	1 46	1 59					
	80					1 28	1 36	1 48						
	90						1 39							
35	35	1 58	1 13	1 4	1 4	1 8	1 16	1 26	1 39	1 54	2 15	2 42		
	40	1 30	1 9	1 1	1 4	1 9	1 16	1 27	1 40	1 56	2 16			
	50		0 53	0 59	1 3	1 10	1 17	1 29	1 43	2 0				
	60			0 56	1 4	1 12	1 21	1 32	1 46					
	70				1 6	1 14	1 24	1 34						
	80					1 15	1 26							
40	40	1 44	1 5	0 59	1 0	1 5	1 14	1 25	1 38	1 54	2 16			
	50	0 20	0 55	0 55	0 59	1 5	1 13	1 26	1 39	1 56				
	60		0 35	0 50	0 58	1 6	1 15	1 27	1 40					
	70			0 46	0 57	1 7	1 15	1 28						
	80				0 58	1 7	1 17							
	90					1 8								

Tafel XII.

Tabelle zur Umwandlung der Kompassstriche in Grade und umgekehrt.

Striche	No.	Grade etc.	No.	Striche
N	0	0° 0' 0"	0	S
	1/8	1° 24' 22"	1/8	
	1/4 . .	2° 48' 45"	. . 1/4	
	3/8	4° 13' 7"	3/8	
	1/2 . .	5° 37' 30"	. . 1/2	
	5/8	7° 1' 52"	5/8	
	3/4 . .	8° 26' 15"	. . 3/4	
	7/8	9° 50' 37"	7/8	
NzO . NzW	1	11° 15' 0"	1	SzW . SzO
	1/8	12° 39' 21"	1/8	
	1/4 . .	14° 3' 45"	. . 1/4	
	3/8	15° 28' 7"	3/8	
	1/2 . .	16° 52' 30"	. . 1/2	
	5/8	18° 16' 52"	5/8	
	3/4 . .	19° 41' 15"	. . 3/4	
	7/8	21° 5' 37"	7/8	
NNO . NNW	2	22° 30' 0"	2	SSW . SSO
	1/8	23° 54' 22"	1/8	
	1/4 . .	25° 18' 45"	. . 1/4	
	3/8	26° 43' 7"	3/8	
	1/2 . .	28° 7' 30"	. . 1/2	
	5/8	29° 31' 52"	5/8	
	3/4 . .	30° 56' 15"	. . 3/4	
	7/8	32° 20' 37"	7/8	
NOzN . NWzN	3	33° 45' 0"	3	SWzS . SOzO
	1/8	35° 9' 22"	1/8	
	1/4 . .	36° 33' 45"	. . 1/4	
	3/8	37° 58' 7"	3/8	
	1/2 . .	39° 22' 30"	. . 1/2	
	5/8	40° 46' 52"	5/8	
	3/4 . .	42° 11' 15"	. . 3/4	
	7/8	43° 35' 37"	7/8	
NO . NW	4	45° 0' 0"	4	SW . SO
	1/8	46° 44' 22"	1/8	
	1/4 . .	47° 48' 45"	. . 1/4	
	3/8	49° 13' 7"	3/8	
	1/2 . .	50° 37' 30"	. . 1/2	
	5/8	52° 1' 52"	5/8	
	3/4 . .	53° 26' 15"	. . 3/4	
	7/8	54° 50' 37"	7/8	
NOzO . NWzW	5	56° 15' 0"	5	SWzW . SOzO
	1/8	57° 39' 22"	1/8	
	1/4 . .	59° 3' 45"	. . 1/4	

Striche	No.	Grade etc.	No.	Striche
	$\frac{3}{8}$	60° 28' 7"	$\frac{3}{8}$	
	$\frac{1}{2}$..	61° 52' 30"	.. $\frac{1}{2}$	
	$\frac{5}{8}$	63° 16' 52"	$\frac{5}{8}$	
	$\frac{3}{4}$..	64° 41' 15"	.. $\frac{3}{4}$	
	$\frac{7}{8}$	66° 5' 37"	$\frac{7}{8}$	
ONO . WNW	6	67° 30' 0"	6	WSW . OSO
	$\frac{1}{8}$	68° 54' 22"	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{4}$..	70° 18' 45"	.. $\frac{1}{4}$	
	$\frac{3}{8}$	71° 43' 7"	$\frac{3}{8}$	
	$\frac{1}{2}$..	73° 7' 30"	.. $\frac{1}{2}$	
	$\frac{5}{8}$	74° 31' 52"	$\frac{5}{8}$	
	$\frac{3}{4}$..	75° 56' 15"	.. $\frac{3}{4}$	
	$\frac{7}{8}$	77° 20' 37"	$\frac{7}{8}$	
OzN . WzN	7	78° 45' 0"	7	WzS . OzS
	$\frac{1}{8}$	80° 9' 22"	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{4}$..	81° 33' 45"	.. $\frac{1}{4}$	
	$\frac{3}{8}$	82° 58' 7"	$\frac{3}{8}$	
	$\frac{1}{2}$..	84° 22' 30"	.. $\frac{1}{2}$	
	$\frac{5}{8}$	85° 46' 52"	$\frac{5}{8}$	
	$\frac{3}{4}$..	87° 11' 15"	.. $\frac{3}{4}$	
	$\frac{7}{8}$	88° 35' 37"	$\frac{7}{8}$	
Ost . West	8	90° 0' 0"	8	West . Ost



nr	tytuł	nr	tytuł	nr	tytuł
1	...	2	...	3	...
4	...	5	...	6	...
7	...	8	...	9	...
10	...	11	...	12	...
13	...	14	...	15	...
16	...	17	...	18	...
19	...	20	...	21	...
22	...	23	...	24	...
25	...	26	...	27	...
28	...	29	...	30	...
31	...	32	...	33	...
34	...	35	...	36	...
37	...	38	...	39	...
40	...	41	...	42	...
43	...	44	...	45	...
46	...	47	...	48	...
49	...	50	...	51	...
52	...	53	...	54	...
55	...	56	...	57	...
58	...	59	...	60	...
61	...	62	...	63	...
64	...	65	...	66	...
67	...	68	...	69	...
70	...	71	...	72	...
73	...	74	...	75	...
76	...	77	...	78	...
79	...	80	...	81	...
82	...	83	...	84	...
85	...	86	...	87	...
88	...	89	...	90	...
91	...	92	...	93	...
94	...	95	...	96	...
97	...	98	...	99	...
100	...	101	...	102	...

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

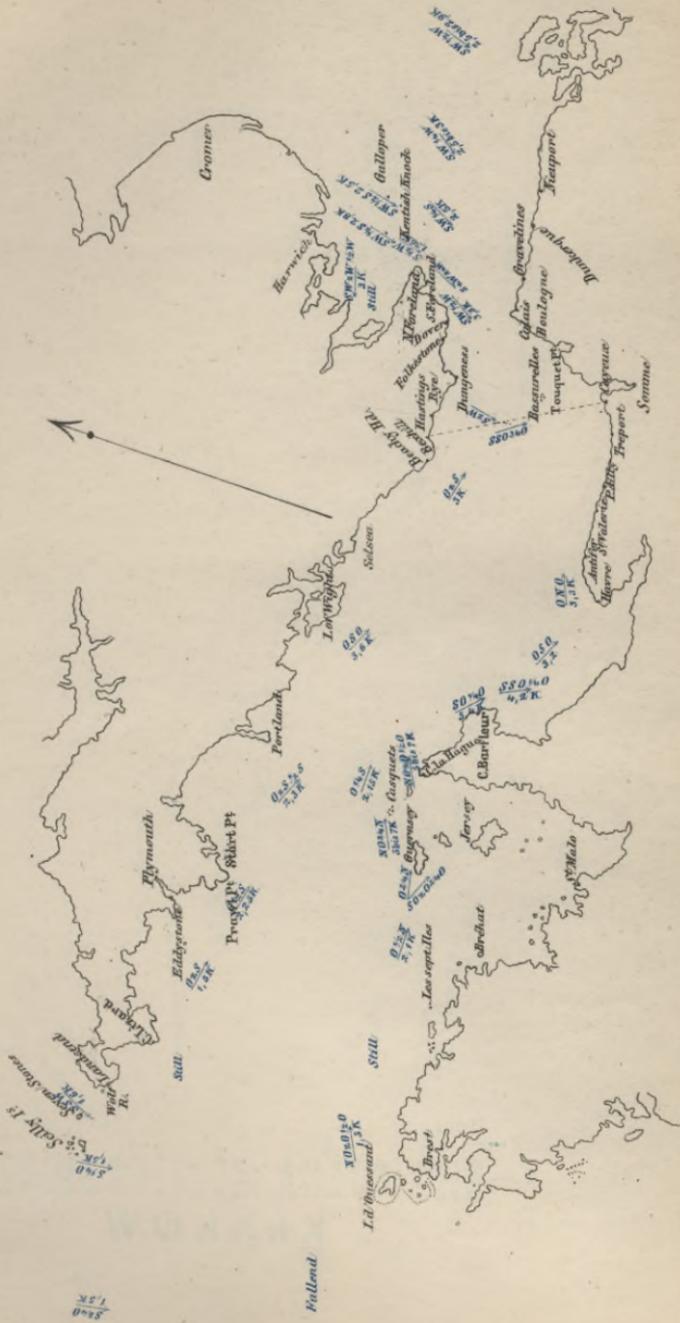
Berichtigungen.

Seite	V	Zeile	9 von oben	lies „erforderten“	statt „erforderte“
- 15	- 7	- -	-	„grades in“	„gradesin“
- 239	- 21	- -	-	„ r der scheinbare, „ r_1 der wahre“	„ r der wahre, „ r_1 der scheinbare“
- 239	- 26	- -	-	„ $\sin z_1$ und $\cos h_1$ “	„ $\sin z^1$ und $\cos h^1$ “
- 318	- 12	- -	-	„0,76 ^s “	„0,76''“
- 318	- 14	- -	-	„12,6 ^s “	„12,6''“
- 377	- 1	von unten	-	„Hang-tscheu-Bai“	„Hang-tschen-Bai“.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

4 Stunden vor Dover Hochwasser.

Die Stromrichtungen sind magnetisch zu verstehen.
Die Angaben der Stromgeschwindigkeit beziehen sich auf Springzeit.



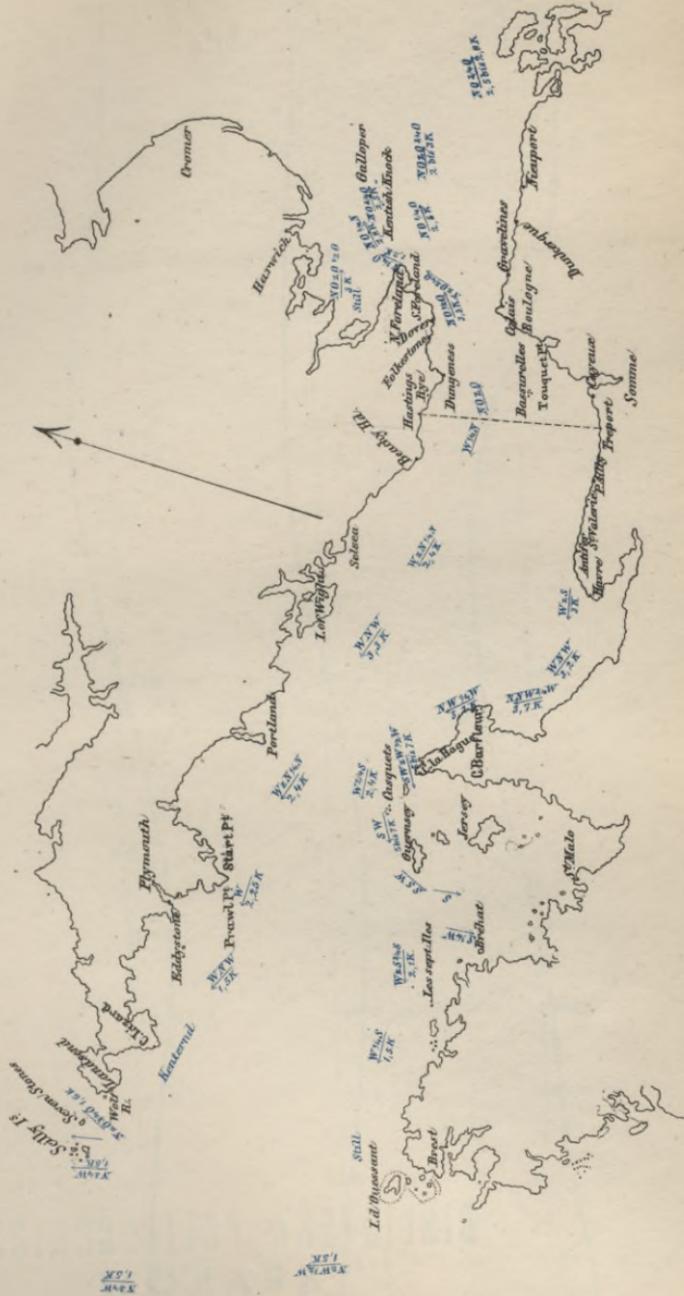
BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

Die Stromrichtungen sind magnetisch zu verstehen.
 Die Angaben der Stromgeschwindigkeit beziehen sich auf
 Springzeit.

2 Stunden nach Dover Hochwasser.



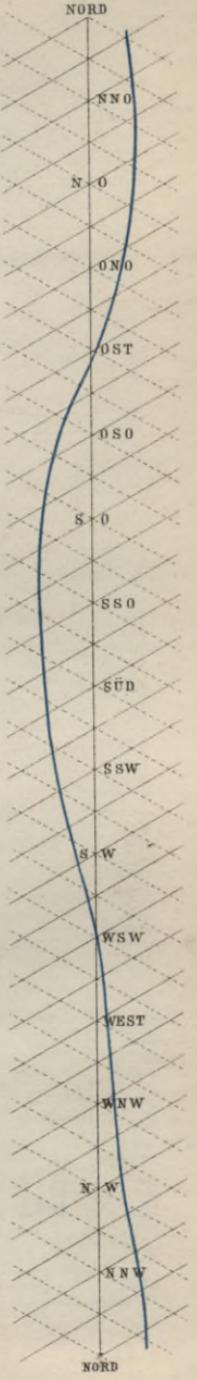
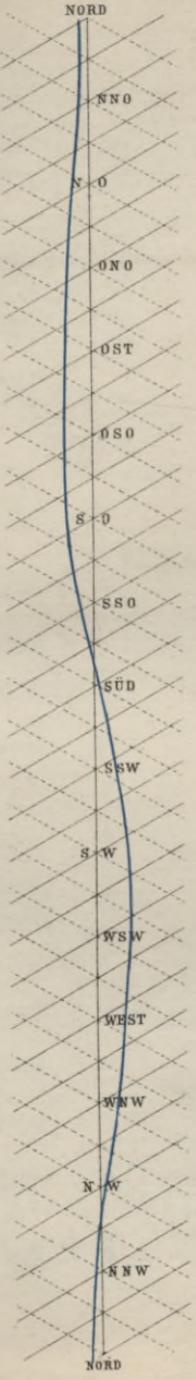
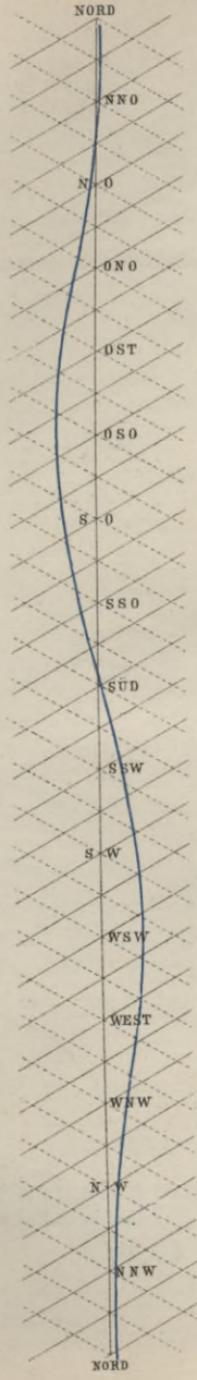
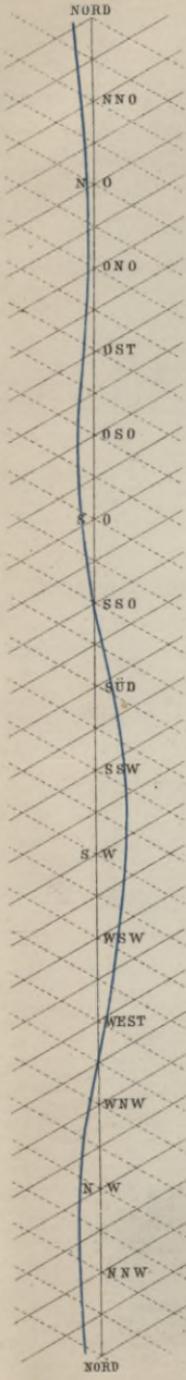
BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

Regelkompass
S. M. S. Preussen.

Backbord Steuerkompass
S. M. S. Preussen.

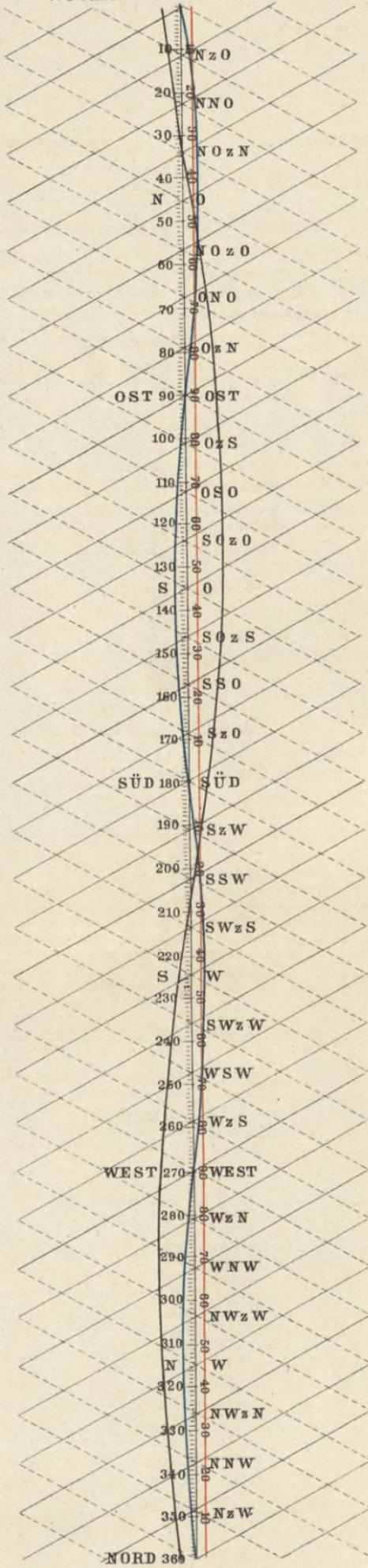
Regelkompass
S. M. Av. Loreley.

Regelkompass
S. M. S. König Wilhelm.



Regel-Kompas.
 Deviations-Kurven
 S. M. S. „Deutschland“
 am 19. Mai 1876.

(-) Westlich. **NORD** Östlich (+)

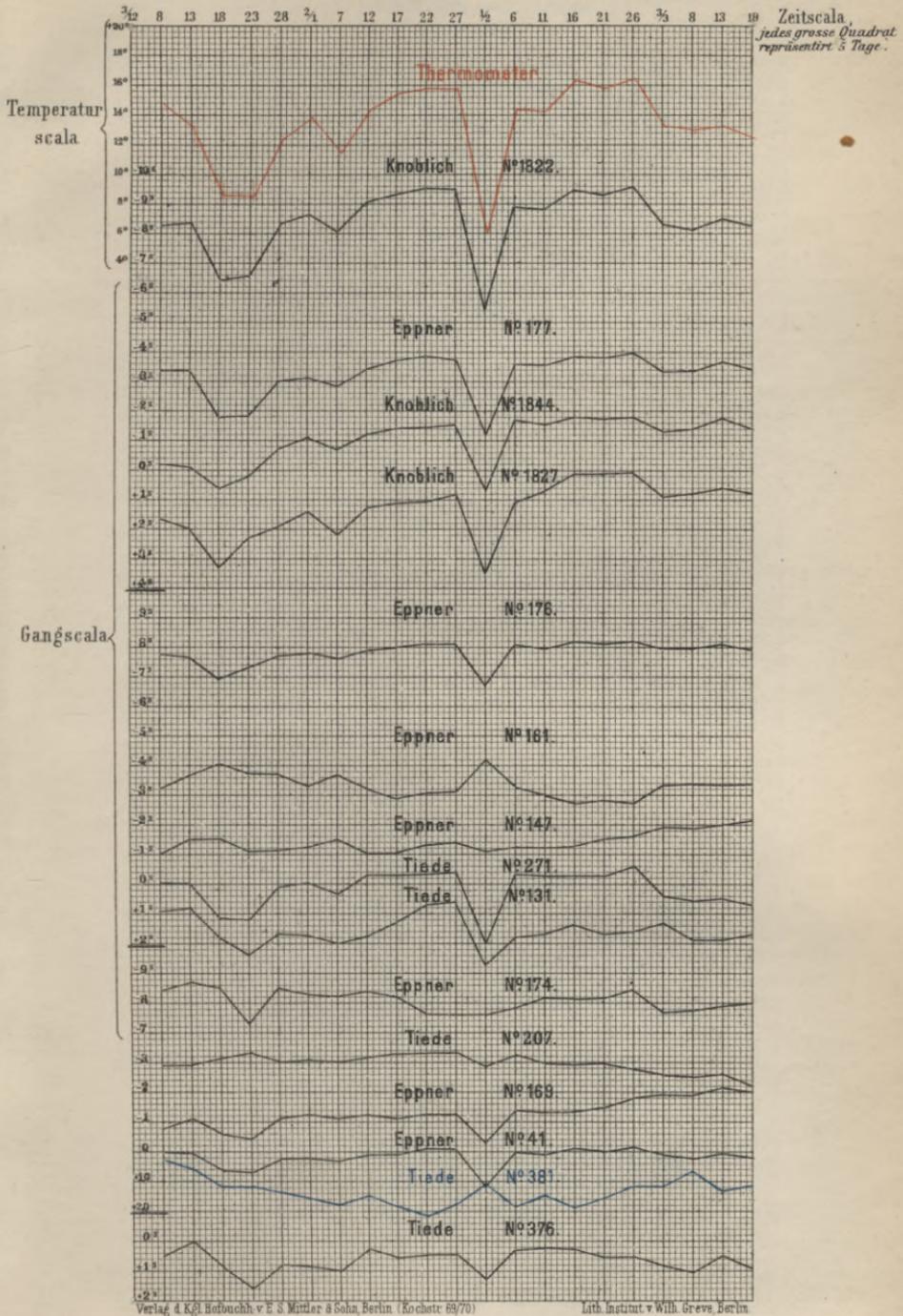


— constante Deviation.
 — quadrantale d°
 — semicircular d°

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

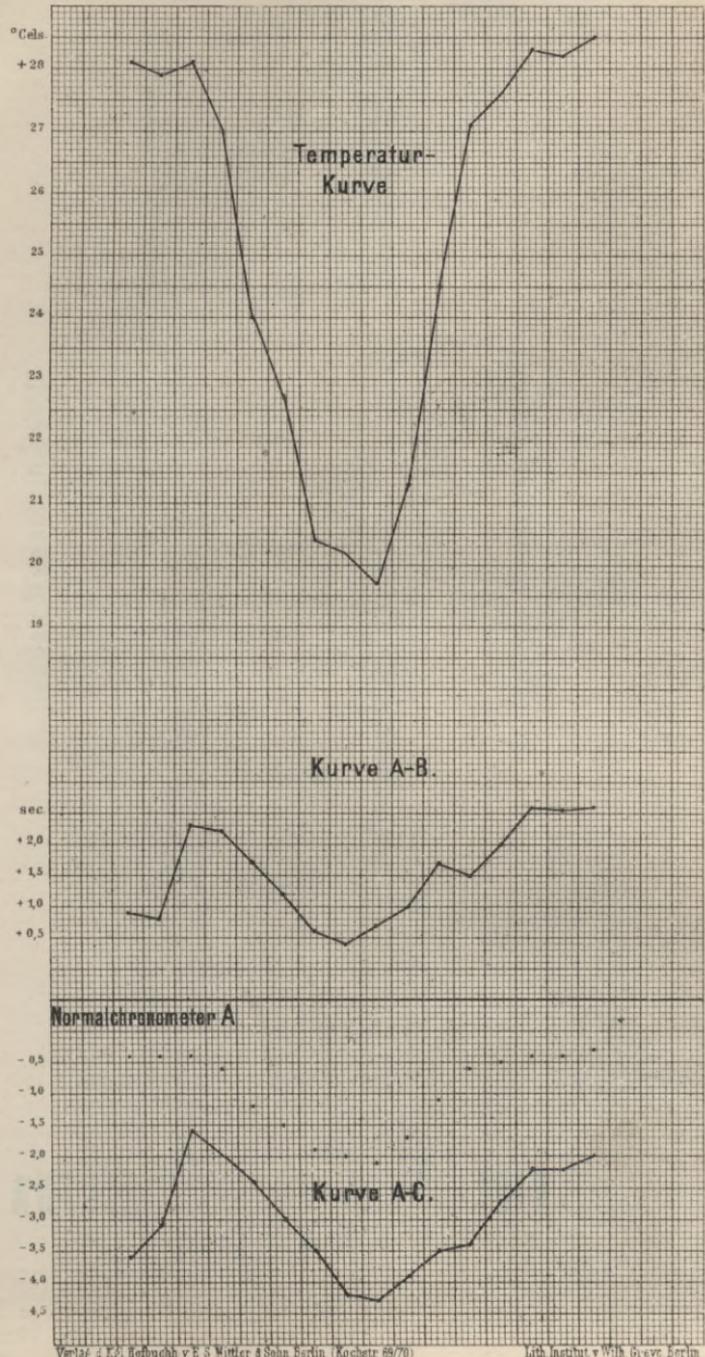
BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

Zur Veranschaulichung der Gängänderung mit der Temperatur:
 Observatorium zu Wilhelmshaven Dezbr. 1874 - März 1875.



BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

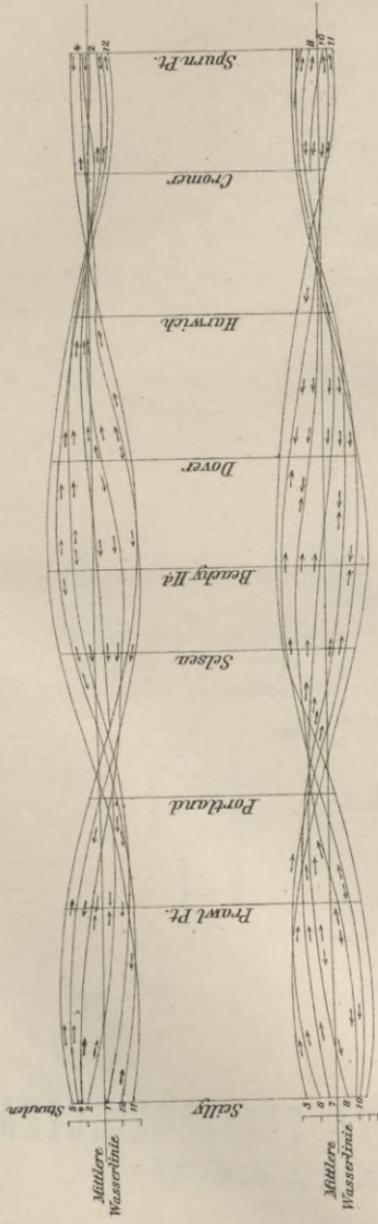
Graphische Darstellung
 der Chronometervergleiche
 auf der Reise S.M.S. Gazelle
 von Mauritius nach Amboina
 (fünftägige Mittel)



Verlag v. J. G. Herbig v. E. S. Mittler & Sohn Berlin (Kochstr. 69/70) Lith. Institut v. W. G. Greve Berlin

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

Fallendes Wasser in Dover.



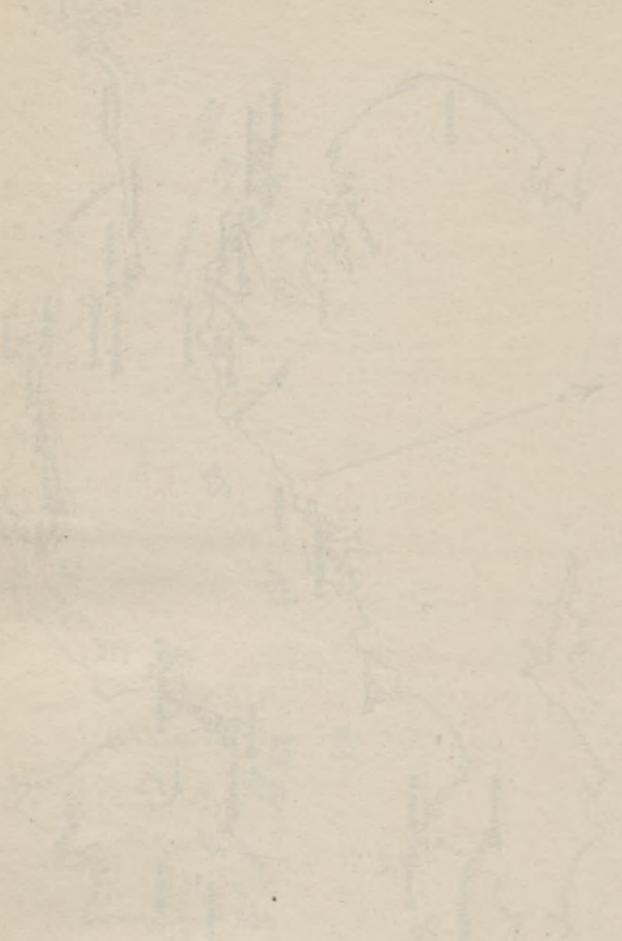
Steigendes Wasser in Dover.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

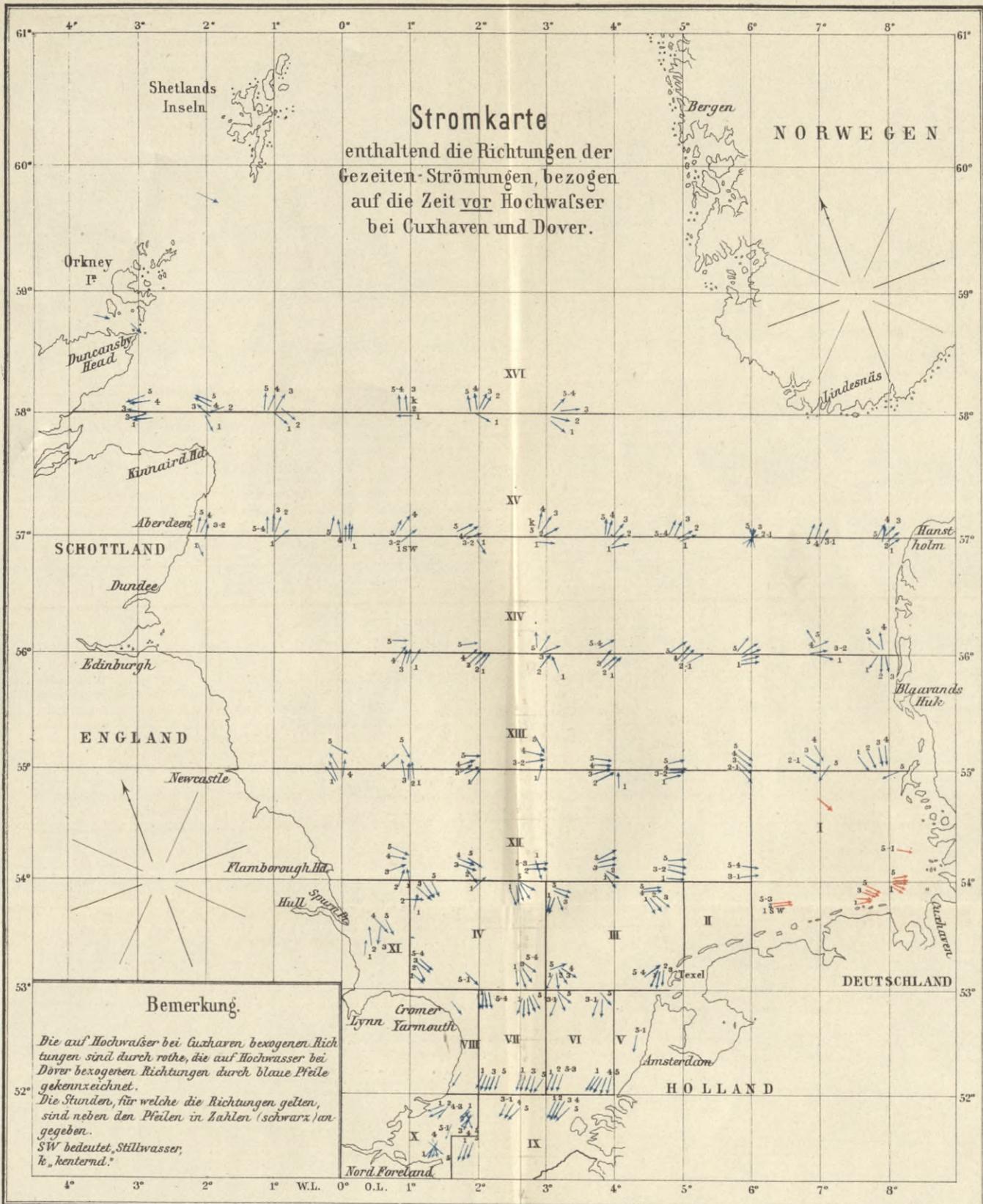
BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW



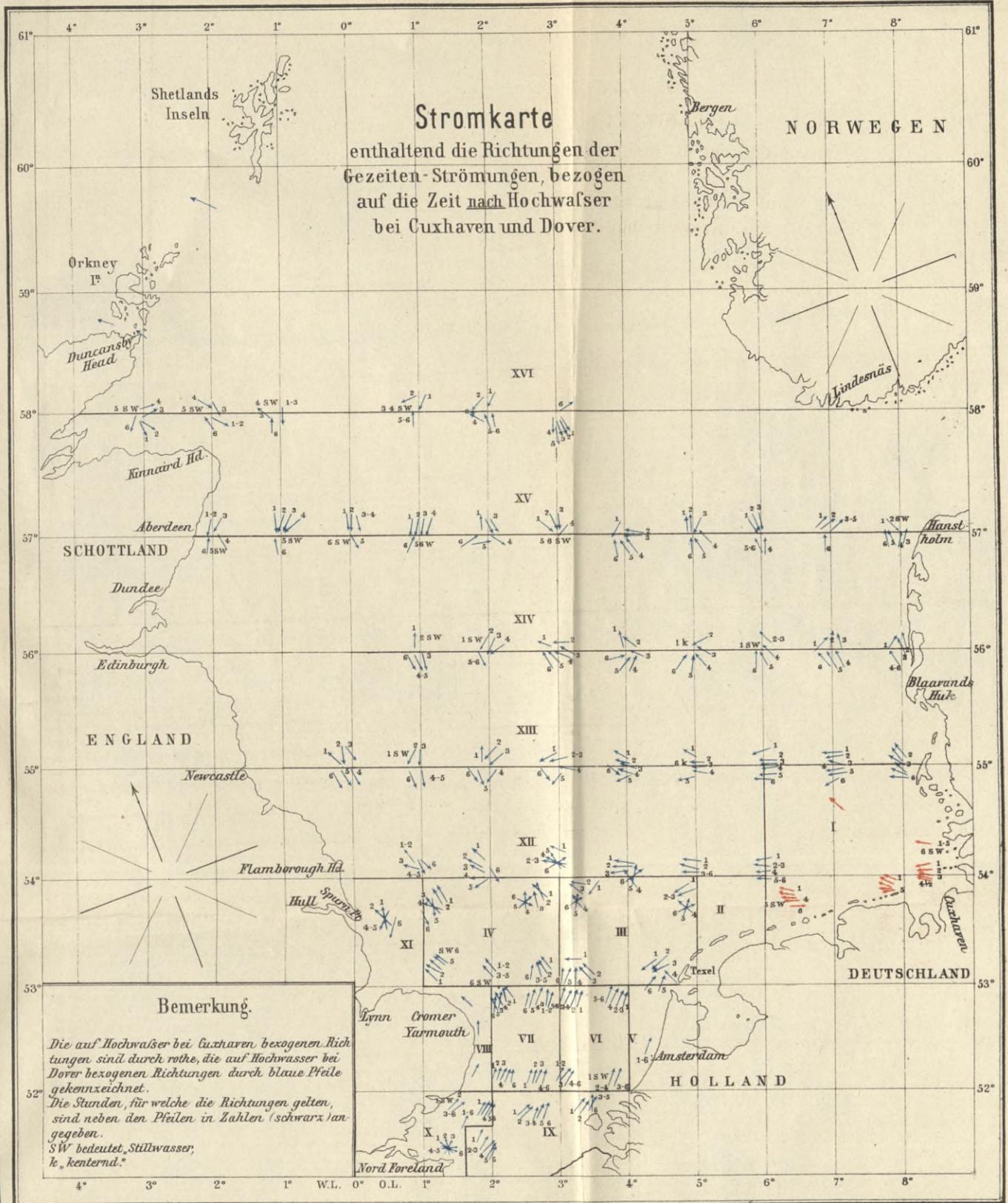
BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

S - 96



BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW



BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

S. 61





Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000297633