

20

VI. INTERNATIONALER BINNENSCHIFFFAHRTS-CONGRESS

HAAG, 1894.

6. FRAGE.

Die Beziehungen zwischen der Grundform der
Flüsse und der Tiefe der Fahrrinne

VON

R. JASMUND,

Königl. Wasserbau-Inspector zu Magdeburg.

Z. Nr. 19875



HAAG,

Druck von GEBR. BELINFANTE, A. D. SCHINKEL Nachf.,

PAVELJOENSRACHT, 19.

1894.

250



II-354134

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000318966

Sechster internationaler Binnenschiffahrts- Congress.

Im HAAG. — 1894.

Beziehungen zwischen der Grundform der Flüsse und der Tiefe der Fahrrinne.

VON

R. JASMUND,

Wasserbau-Inspector in Magdeburg.

THEIL I.

Beobachtungen betr.: Studium der Beziehungen zwischen Krümmung und Tiefe. Entfernung zwischen den Punkten der stärksten, bezw. geringsten Krümmung und den correspondirenden Stellen der Maximal- und Minimaltiefe. Anwendung der experimentellen und graphischen Methode mittels synoptischer Curven- und Tiefendiagramme. Einfluss der Breite und der Wassermenge des Flusses auf die Minimaltiefen bei nahezu gleichen Curven.

Das Studium der Beziehungen zwischen der Grundform der Flüsse und der Tiefe der Fahrrinne begegnet für die Elbe einigen Schwierigkeiten. Die Elbe bietet im Bereiche Preussens nur beschränkte Gelegenheit, diese Beziehungen eingehender und besonders mit der Schärfe zu prüfen, welche Herr FARGUE für die Garonne zu erreichen vermochte. Während die Garonne auf der untersuchten Strecke von Gironde bis Barsac durchweg mit Uferdeckwerken regulirt, und es daher möglich war, das Krümmungsverhältniss der Uferlinien an jedem Punkte mit Sicherheit zu bestimmen, ist die Elbe im Bereiche Preussens im allgemeinen durch Buhnen regulirt, die naturgemäss das Ufer nicht fortlaufend, sondern immer nur in einzelnen Punkten festlegen. Die Krümmung des Ufers ist daher nur streckenweise herleitbar.

Die Uferlinie ist ferner bei Buhnen, ihrer Construction entsprechend, nicht absolut unveränderlich, da die Dauerhaftigkeit der Buhnenköpfe abhängig ist von der Grösse des Angriffs, dem sie zufällig oder regelmässig ausgesetzt sind. Das Zurückbleiben oder Vortreten eines einzelnen Buhnenkopfes um wenige Decimeter kann das Maass der Krümmung schon

merkbar beeinflussen. In vielen Fällen sind derartige Abweichungen auch durch Uferanlagen, Ladestellen, Fähr Rampen usw. unmittelbar bedingt.

Der Stromstrich wird durch diese einzelnen Unregelmässigkeiten der Correctionslinie im allgemeinen nur wenig beeinflusst sein, seine Richtung wird sich mehr der mittleren Krümmung längerer Strecken anschliessen. Die Richtungsänderungen des Stromstrichs möchten in erster Linie für die Tiefe der Fahrrinne als maassgebend erscheinen, aber die Lage des Stromstrichs ist in noch höherem Grade veränderlich und unbekannt, als diejenige des Ufers.

Umstände, welche die Einwirkung der Grundform des Flusses auf die Tiefe der Fahrrinne störend beeinflussen.

Die Beantwortung der Frage, worin die Grundform des Stroms ihren zutreffenden Ausdruck findet, lässt noch weitere Bedenken hervortreten. Die Buhnen reichen mit ihren Kronen an der Elbe nur wenig über Mittelwasserhöhe hinauf, ihre Köpfe bilden die wirkliche Grenze der Strömung nur von Niedrigwasser bis etwa + 2,0 am Pegel, d. h. bis rund 3 Meter über die höchsten Punkte der Sohle. Von + 2,0 bis etwa + 4,0 m am Pegel reicht die Strömung bis an die alten *natürlichen Ufer* heran, die im einzelnen sich in ihrer Krümmung ganz anders entwickeln, als die Correctionslinie. Nur das Gesamtmaass der Ablenkung ist bei beiden ziemlich gleich, die Vertheilung der Krümmung auf die einzelnen Strecken innerhalb der Curve verschieden.

Bei dem grösseren Einflusse des bordvollen Stromes auf die Fahrrinne könnten Bedenken bestehen, ob nicht neben den Correctionslinien vielleicht auch die natürlichen Uferlinien auf die Tiefe der Fahrrinne Einfluss ausüben. In erhöhtem Maasse wiederholen sich diese Bedenken bei Hochwasser, welches etwa bis zu + 6,5 m am Pegel die Vorländer in 2 bis 3 m Höhe überströmt.

Bei Hochwasser ist die Kraft des Stromes am stärksten, die Bewegung des Geschiebes am grössten, die Grundform des Flusses für die Ausbildung der Flusssohle am meisten wirksam. Bei Hochwasser reicht die Strömung bis an *die Deiche*, deren Krümmungen und Richtungen mit denjenigen der Correctionslinien fast niemals übereinstimmen. Indem das Wasser der oberen Schichten den Deichlinien folgt, durchkreuzt es die Richtung des eigentlichen Flussbettes an den verschiedensten Punkten und unter den verschiedensten Neigungen. Nur in den Krümmungen werden beide Richtungen sich vorübergehend decken, während auf den Uebergängen im allgemeinen die grösste Abweichung bestehen wird. Wenn man auch annimmt, dass die Stromrichtung der Wasserfäden, welche die Umgestaltung der Stromsohle vollführen, auch bei Hochwasser vorzugsweise durch die Richtung der Correctionslinien bestimmt wird, so werden doch die Wasserfäden der oberen Schichten, welche der Richtung der Deichlinien folgen, auf die tieferen Schichten im Flussbette eine gewisse Einwir-

kung ausüben, welche je nach der Art und Grösse der Abweichung beider Stromrichtungen bald die Einwirkung der Correctionslinien auf die Lage und Tiefe der Fahrrinne verstärken, bald vermindern kann.

Dazu kommt ferner die bei *Hochwasser* veränderte Vertheilung des Stromgefälles sowohl der Länge wie der Quere nach. *Das Längengefälle* eines Stromes vertheilt sich auf den einzelnen Stromstrecken nach Maassgabe der mittleren Tiefe. Es wird um so grösser, je kleiner die mittlere Tiefe des Querprofils ist; auf den Uebergängen herrscht das grösste Gefälle. Es wird um so kleiner, je grösser die mittlere Tiefe im Querprofil ist, das kleinste Gefälle herrscht in der Curve oder in Kolken. Die Grösse des Querprofils oder die Tiefe der Fahrrinne sind für die Vertheilung des Gefälles weniger maassgebend, als die mittlere Tiefe. Diese nicht aus theoretischen Erwägungen, sondern aus einer auf speziellen Beobachtungen beruhenden Untersuchung abgeleitete Erfahrung führt zu der Folgerung, dass die Vertheilung des Gefälles bei verschiedenen Wasserständen verschieden sein kann, je nachdem die mittlere Tiefe sich stromab ändert. Bei der ausserordentlich unregelmässigen Gestaltung der Breiten bei höheren Wasserständen ist aber die Grösse und Art der Aenderung der mittleren Tiefe bei verschiedenen, hohen Wasserständen in Richtung des Stromlaufs sehr verschieden, ja oft geradezu entgegengesetzt.

Demnach wird die Vertheilung des Gefälles von der Wasserstandshöhe abhängen.

Durch das Längenprofil wird auch das *Quergefälle* mehr oder weniger beeinflusst, besonders dann, wenn der Hochwasserstrom das Niedrigwasserbett kreuzt. Der Wasserspiegel wird im Querprofil auf der Concaven nicht mehr durchweg höher liegen, als auf der convexen Seite, sondern vielfach wird das Umgekehrte eintreten können.

Durch die verschiedenartige Ausbildung der Gefällverhältnisse gewinnt das Hochwasser aber ebenfalls Einfluss auf die Gestaltung der Flusssohle, und zwar ist dieser Einfluss abhängig von der Höhe des Wasserstandes.

Diese störenden Einwirkungen höherer Wasserstände auf die Ausbildung der Fahrrinne machen sich bei der wechselnden Profilform der Elbe regelmässig geltend. Es wird erklärlich, dass neben der Grundform der Correctionslinien auch die Grundform der natürlichen Ufer, der Deiche und der Vorländer einen Einfluss auf die Tiefe der Fahrrinne ausüben werden. Die Beziehung zwischen der Grundform der Correctionslinien und der Tiefe der Fahrrinne wird Nebenwirkungen ausgesetzt und kann nicht in jedem einzelnen Falle mit der Sicherheit hervortreten, dass wenige Beispiele oder kurze Strecken für ihren Nachweis ausreichen.

Auswahl der Versuchsstrecke.

Um die ganze 485 km. lange Stromstrecke der Elbe im Bereiche der Preussischen Elbstrombauverwaltung zu untersuchen, dazu war die für dieses Referat verfügbare Zeit allerdings zu kurz. Es konnte sich nur um

die Auswahl eines bestimmten Abschnittes handeln. Diese Beschränkung war um so mehr geboten, als sich die Stromstrecke der Elbe von der Havelmündung bis zur Grenze des Fluthgebietes für diese Untersuchungen überhaupt nicht eignet.

Auf dieser 175 km. langen Strecke liegt die Fahrrinne nicht fest, sondern ist in steter Umwandlung begriffen. Die Sandbänke, zwischen denen die im übrigen einheitliche Fahrrinne sich in vielfachen Schlangenwindungen oft ohne Rücksicht auf die Gestalt und Krümmung der Correctionslinien hinschlingelt, wandern in ziemlich regelmässigem Fortschritt stromab oder bewegen sich pendelförmig hin und her. Hier sind im allgemeinen nicht die Correctionslinien, sondern die zufälligen, stetig sich verändernden Grenzlinien der Sandbänke bestimmend für die Richtung des Stromstrichs, für die Vertheilung des Gefälles und für die Tiefe der Fahrrinne. So interessant diese Stromstrecke für ein Studium der Sinkstoffbewegung im allgemeinen wäre, so kam sie für die gegenwärtige Untersuchung daher weniger in Betracht.

Auf der mittleren Elbe, von Dessau bis zur Havelmündung, liegt die Fahrrinne zwar fest, aber der Lauf der Elbe zeigt auf dieser Strecke verhältnissmässig nur wenige Krümmungen, so dass die Gelegenheit für die Herleitung der fraglichen Beziehungen hier nicht so günstig war, als auf der oberen Elbe von der Sächsisch-Preussischen Grenze bis oberhalb Dessau. In dieser letzteren 145 km. langen Stromstrecke, welche als Untersuchungsgegenstand ausgewählt wurde, ist die Elbe ebenfalls im allgemeinen mit Bühnen, nur an vereinzelt Stellen mit Deckwerken regulirt. Die überall gleichmässig ausgebaute Strombreite beträgt:

- 1) von km. 120,8 bis km. 198,5: $b = 100$ m.
- 2) von km. 198,5 bis km. 233,0: $b = 110$ m.
- 3) von km. 233,0 bis km. 259,5: $b = 130$ m.
- 4) von km. 259,5 bis km. 290,7: $b = 150$ m.

In den Krümmungen herrscht dieselbe Normalbreite wie auf den benachbarten Uebergängen. Die Grundform der Correctionslinien ist reich an Krümmungen verschiedenster Grösse und Anordnung. Einzelne Krümmungen vermitteln eine Ablenkung von mehr als 180 Grad. Schlanke Uebergänge und schroffe Krümmungswechsel, Kreisbögen und gerade Linien finden sich in vielseitigster Verbindung, da beim Ausbau der Stromstrecke auf die Beschaffenheit und Lage des scharf eingeschnittenen Flussbettes gerücksichtigt werden musste. Dass Hochwasserprofil ist fast durchweg mit Winterdeichen eingeschränkt, welche, in den fünfziger und sechziger Jahren regulirt und zusammenhängend ausgebaut, die verschiedensten Richtungen zum Stromstrich verfolgen. Die Tiefen der Fahrrinne sind sehr verschieden, gehen aber über 4,5 m. bei Niedrigwasser nicht hinaus. Die Wassermenge des Stroms ist:

- 1) bei niedrigstem Wasser, d. h. bei 0,20 am Pegel zu Torgau, = rund 60 cbm.

2) bei Mittelwasser, d. h. bei + 1,4 m. am Pegel zu Torgau, = 275 cbm.
 3) bei normalem Frühjahrshochwasser, d. h. bei + 6,0 am Pegel zu Torgau, = 2000 bis 2500 cbm.;

4) bei grösstem Hochwasser, im September 1890, d. h. bei + 7,40 am Pegel zu Torgau = 4450 cbm.

Das durchschnittliche Stromgefälle beträgt 0,000272. Das Geschiebe besteht in der oberen Hälfte der Strecke aus Kies und geht allmählich in groben Sand über.

Das Beobachtungsmaterial.

Das Beobachtungsmaterial für Untersuchung der Beziehungen zwischen der Grundform des Flusses und der Tiefe der Fahrrinne wird einerseits aus den Stromkarten zu entnehmen sein, die im Maassstabe 1 : 5000 die Correctionslinien enthalten, und andererseits aus einer Reihe von Thalwegspeilungen verschiedener Jahre.

Die Situationsaufnahmen stammen zum grössten Theil aus neuerer Zeit und gestatten, die Krümmungen der einzelnen Stromstrecken annähernd zu bestimmen. Es wurden auf Pauspapier Kreisbögen verschiedener Radien aufgezeichnet und durch Auflegen auf die Stromkarten die Grösse und Ausdehnung der einzelnen Krümmungen bestimmt.

Es liegt in diesem Ermittlungsverfahren begründet, dass die Grundform aus Kreisbögen und geraden Linien zusammengesetzt erscheint.

In Wirklichkeit ist diese Art der Zusammensetzung indess nur ausnahmsweise vorhanden. Eine bestimmte Instruction oder praktische Regel für Vertheilung der Krümmungen in einer Curve ist für die Elbe nicht vorhanden. Die Absteckung der Correctionslinien erfolgt im Felde an der Hand des Grundplanes in ihren Hauptzügen und werden die einzelnen Zwischenstrecken nach dem Augemaass allmählich in ihren Krümmungen ineinander übergeführt, wenn der Entwurf verschiedene Krümmungen in derselben Curve zu Grunde gelegt hat. Beim Entwurfe ist scheinbar das Bestreben meistens darauf gerichtet gewesen, allzulange gerade Linien zu vermeiden, besonders dann, wenn diese Gerade zwischen zwei Krümmungen in derselben Richtung eingeschaltet werden sollte, da die Erfahrung lehrt, dass an solchen Punkten der Strom zum Serpentiniren und zur Ausbildung falscher Uebergänge neigt. Ein weiteres Bestreben richtet sich scheinbar dahin, thunlichst kreisförmige Krümmungen zu verwenden, wenn die Situation dies zulässt, ohne besondere Kosten zu verursachen. Berücksichtigt wird ferner, dass keine zu kurzen Buhnen sich ergeben, da diese nur sehr schwer verlanden, dass vielmehr die Correctionslinie nur als eine parallel in den Fluss vorgeschobene Uferlinie ausgebildet wird, die Buhnen also thunlichst gleiche Länge erhalten.

Diesen verschiedenartigen Rücksichten verdankt die Grundform ein vielgestaltiges, wechselvolles Bild, das in Form zusammengesetzter Kreis-

bögen allerdings schwer ausdrückbar ist. Eine Ermittlung der Krümmungen im einzelnen könnte nur durch örtliche Aufnahmen erfolgen, welche der kurzen Zeit wegen, die verfügbar war, hier nicht in Frage kommen konnten. Um indess diese wichtige Vorbedingung aufzuklären, ist auf einer 3,66 km. langen, besonders wechsellvollen Stromstrecke eine örtliche Feststellung der Krümmungen für je 3 aufeinanderfolgende Bühnen vorgenommen, und dadurch ein Anhalt gewonnen, auf den weiterhin mehrfach näher einzugehen sein wird. Sämmtliche Krümmungsangaben beziehen sich auf die Mittellinie des Stromes.

Was die Ermittlung der Tiefen der Fahrrinne anlangt, so liegt ein ziemlich umfassendes Beobachtungsmaterial in den Thalwegspeilungen vor.

Seit dem Jahre 1883 sind fast alljährlich bei niedrigen Beharrungswasserständen Aufnahmen der Fahrtiefe mittels des Stecherschen selbstzeichnenden Peilapparats in ganzer Länge der Elbe ausgeführt. Der Apparat, welcher im Jahre 1886 im Centralblatt der Bauverwaltung ausführlich beschrieben wurde, besteht im wesentlichen darin, dass zwischen zwei gekuppelten Kähnen ein um seine Achse drehbarer, doppelarmiger Hebel befestigt ist, dessen einer, langer Arm in Cycloidenform gebogen auf der Flusssohle schleift, während der andere kürzere Arm auf einer sich abwickelnden Papierrolle die Wassertiefen selbstthätig und fortlaufend aufzeichnet. Der Verjüngungsmaassstab für die Tiefen ist 1 : 50 und entspricht dem Verhältniss der Armlängen des Hebels.

Der Maassstab der Längen hängt ab von der Geschwindigkeit der Vorwärtsbewegung der Kähne und von der Winkelgeschwindigkeit der Papierrolle.

Derselbe schwankt zwischen 1 : 3000 und 1 : 5000. In Abständen von 200 bis 500 m. werden örtliche Festpunkte, als Bühnenköpfe, Festpunktsteine usw. durch eine besondere Schreibvorrichtung auf der Papierrolle markirt, so dass hinreichende Anhaltspunkte für die nachträglich vorzunehmende Eintragung der Stationirung vorhanden sind.

Von derartigen Thalwegspeilungen wurden für die gegenwärtigen Untersuchungen diejenigen ausgewählt, die bei den niedrigsten Wasserständen ausgeführt sind. Es waren dies folgende 5 Beispiele:

N ^o .	Zeit der Ausführung.	Wasserstand am Pegel.		
		Mühlberg.	Torgau.	Wittenberg.
1,	September 1883	1,07	0,66	1,10
2,	August 1885	0,60	0,27	0,62
3,	October 1887	0,66	0,34	0,46
4,	November 1889	1,02	0,81	1,35
5,	August 1892	0,63	0,25	0,67

Durch Abgreifen wurde den einzelnen Peilungsdiagrammen in Abständen von je 50 m. ein Peilmaass entnommen und in eine Tabelle eingetragen. Für die 5 Peilungen von je 145 km. Länge wurden also zusammen 14500 Einzelmaasse verwerthet. Aus den 5 einzelnen Peilmaassen jedes Stationspunktes wurden arithmetische Mittelwerthe hergeleitet und diese der weiteren Untersuchung zu Grunde gelegt. Eine Reduction auf einen bestimmten Wasserstand fand nicht statt, die Originalmaasse sind überall unverändert beibehalten. Die gemittelten Tiefen der Fahrinne beziehen sich also nicht auf den niedrigsten, sondern nur auf einen mittleren Niedrigwasserstand.

Die aus der Mittelung hervorgegangenen grössten Tiefen geben vielleicht nicht immer die wirklich vorhandenen grössten Tiefen an, sondern etwas geringere Werthe. Bei Aufnahme der Peilung kann der zeichnende Apparat trotz aller Aufmerksamkeit und Vorsicht nicht immer mit zweifelloser Sicherheit gerade so geführt werden, dass er überall genau die tiefsten Punkte der Fahrinne verfolgt. Bald wird der vom Apparate eingeschlagene Weg der convexen Sandbank zu nahe kommen, bald auch die lokalen Kolke vor den Buhnen durchschneiden; bald wird der Apparat den Uebergang etwas weiter stromauf, bald etwas weiter stromab kreuzen. Derartige Unregelmässigkeiten und Ungenauigkeiten im einzelnen sind möglich. Um sie thunlichst zu eliminiren, wurde nicht eine einzelne Thalwegspeilung, sondern der Mittelwerth aus fünf verschiedenen zu Grunde gelegt, da gehofft werden durfte, dass diese Unregelmässigkeiten sich gegenseitig ausgleichen. In den Mittelwerthen wird die Veränderlichkeit der Tiefe einen zutreffenderen Ausdruck finden.

Die so gefundenen Tiefen der Fahrinne wurden graphisch aufgetragen, indem der Wasserspiegel als Horizont angenommen wurde. Der Maassstab der Längen war 1 : 20,000, der Höhen 1 : 20.

Sollte nun zwischen den Tiefen der Fahrinne und den Krümmungen der Mittellinie eine Beziehung bestehen, so müsste diese hervortreten, wenn in diese Darstellung das Maass der Krümmungen eingetragen wurde. Da die Grösse der Krümmung dem Werthe des Radius umgekehrt proportional ist, so wurde zur Vermeidung der vielen Decimalstellen die Grösse der kilometrischen Krümmung

$$k = \frac{1000}{r}$$

für jeden Einzelfall berechnet und in die Tiefendarstellung eingetragen. Je nachdem die Concave auf dem linken oder rechten Ufer lag, wurden die Werthe für k oberhalb oder unterhalb des Horizontes abgesetzt. So entstand das anliegende synoptische Curven- und Tiefendiagramm der Elbe von Mühlberg bis Rosslau km. 121 bis 266.

Die Fargue'schen Gesetze.

In den „Annales des ponts et chaussées“, vom Jahre 1868, Seite 49, hat Herr FARGUE für die Beziehungen zwischen Krümmung der Mittellinie und Tiefe der Fahrrinne 6 Gesetze aufgestellt, welche zunächst einzeln zu prüfen sein werden.

1. Loi de l'écart: Die grösste und kleinste Tiefe der Fahrrinne soll unterhalb der grössten und kleinsten Krümmung liegen.

In einer späteren Abhandlung der „Annales des ponts et chaussées“ vom Jahre 1882, Seite 315, hat Herr FARGUE das Maass, um welches die Stromstellen der grössten und kleinsten Tiefe stromabwärts den zugehörigen grössten und kleinsten Krümmungen gegenüber sich verschieben sollen zu *2.l.*, d. h. gleich der doppelten Strombreite des Ueberganges, angegeben.

Aus dem synoptischen Curven- und Tiefen-Diagramm geht zunächst die allerdings auch sonst wohlbekanntes Thatsache hervor, dass in den Krümmungen des Stroms eine grössere Tiefe herrscht, als auf den geraden Strecken und Krümmungswendepunkten. An den Uebergängen der Fahrrinne von einem zum anderen Ufer finden sich thatsächlich die kleinsten Tiefen. Eine Abnahme der Tiefen macht sich aber auch an den geraden Zwischenstrecken geltend, welche zwischen Krümmungen gleicher Richtung eingeschaltet sind. Mit Recht stellte daher Herr FARGUE die *points d'inflexion* und die *points de surflexion* gleichberechtigt nebeneinander.

Werden die geraden Stromstrecken, für welche im Curvendiagramm *k* gleich Null erscheint, halbirt, und diese Halbierungspunkte als Punkte der kleinsten Krümmung betrachtet, so ergibt sich aus dem Diagramm, dass die *kleinsten Tiefen der Fahrrinne* diesen Punkten der kleinsten Krümmung gegenüber thatsächlich meistens eine Verschiebung stromabwärts erfahren haben. Aber es bestehen im einzelnen noch grosse Unterschiede. Unter 97 Fällen ist 7 mal eine Verschiebung stromauf, also in negativem Sinne, bis zu 110 m. bemerkbar; viermal ist die Verschiebung gleich Null; in allen anderen Fällen, also 86 mal, lässt sich eine Verschiebung stromab wahrnehmen, bis zu 595 m. Dabei treten Verschiebungen über 400 m. nur 10 mal ein und ist hierbei in einzelnen Fällen scheinbar die grosse Ausdehnung der geraden Zwischenstrecke ursächlich betheilig.

Aber ein Versuch, an Stelle des Halbierungspunktes der geraden Strecke den unteren Tangentenpunkt derselben zum Ausgang zu nehmen, lieferte keine bessere Uebereinstimmung im ganzen. Es besteht auch hier die Hoffnung, dass die Ungleichmässigkeiten der einzelnen Ergebnisse sich ausgleichen werden bei Herleitung von Mittelwerthen, wie solches in der folgenden Tabelle streckenweise geschehen ist.

TABELLE I. Verschiebung der kleinsten und grössten Tiefen gegen die Punkte der kleinsten und grössten Krümmung.

N ^o . der Strecke.	Die Strecke reicht		Länge der Strecke. m.	Verschiebung		Länge der geraden Strecke. m.
	von km.	bis km.		der	der	
				kleinsten Tiefe. m.	grössten Tiefe. m.	
1.	120,80	122,65	1850	+ 595	+ 470	710
2.	122,65	123,47	820	+ 290	+ 310	
3.	123,47	125,10	1630	+ 545	+ 730	700
4.	125,10	126,10	1000	+ 60	+ 30	360
5.	126,10	127,55	1450	— 20	+ 260	140
6.	127,55	129,25	1700	+ 190	+ 400	140
7.	129,25	130,35	1100	+ 350	+ 60	320
8.	130,35	131,50	1150	+ 240	+ 40	200
9.	131,50	132,50	1000	+ 200	+ 90	240
10.	132,50	133,50	1000	+ 280	+ 140	200
11.	133,50	133,90	400	+ 90	—	210
12.	133,90	135,70	1800	+ 270	+ 300	480
13.	135,70	136,40	700	+ 225	+ 280	160
14.	136,40	137,03	630	+ 440	+ 220	90
15.	137,03	137,40	370	+ 75	+ 0	140
16.	137,40	138,55	1150	+ 240	+ 270	0
17.	138,55	140,45	1900	+ 185	+ 130	370
18.	140,45	141,20	750	+ 120	+ 150	490
19.	141,20	143,35	2150	+ 260	— 125	240
20.	143,35	144,55	1200	+ 200	+ 200	260
21.	144,55	146,05	1500	+ 0	— 130	240
22.	146,05	148,17	2120	+ 170	+ 190	210
23.	148,17	150,22	2050	+ 580	+ 300	250
24.	150,22	151,70	1480	+ 150	+ 300	290
25.	151,70	153,20	1500	+ 20	+ 0	550
26.	153,20	154,48	1280	—	+ 250	990
27.	154,48	156,25	1770	—	—	—
28.	156,25	157,75	1500	+ 230	+ 330	710
29.	157,75	160,00	2250	+ 350	+ 250	400
30.	160,00	160,65	650	+ 0	+ 230	500
31.	160,65	162,02	1370	+ 120	+ 440	200
31 _a .	162,02	163,45	1430	+ 375	+ 250	150
32.	163,45	164,20	750	— 110	+ 350	260
33.	164,20	165,60	1400	+ 200	+ 290	70

N ^o . der Strecke.	Die Strecke reicht		Länge der Strecke. m.	Verschiebung		Länge der geraden Strecke. m.
	von km.	bis km.		der	der	
				kleinsten Tiefe. m.	grössten Tiefe. m.	
34.	165,60	166,65	1050	+ 220	+ 0	260
35.	166,65	168,45	1800	+ 50	— 60	380
36.	168,45	170,95	2500	+ 0	+ 60	500
37.	170,95	173,35	2400	+ 210	+ 220	150
38.	173,35	174,00	650	+ 200	+ 300	150
39.	174,00	174,75	750	+ 120	+ 0	170
40.	174,75	175,95	1200	+ 70	+ 140	120
41.	175,95	177,00	1050	+ 150	+ 0	—
42.	177,00	180,25	3250	+ 110	+ 0	0
43.	180,25	181,30	1050	— 80	— 40	170
44.	181,30	183,60	2300	— 60	+ 0	510
45.	183,60	184,80	1200	—	—	—
46.	184,80	187,35	2550	+ 500	+ 300	—
47.	187,35	188,15	800	+ 450	+ 500	460
48.	188,15	188,95	800	+ 80	+ 280	390
49.	188,95	190,45	1500	+ 330	+ 370	550
50.	190,45	192,35	1900	+ 80	— 30	250
51.	192,35	193,30	950	+ 70	+ 90	230
52.	193,30	194,85	1550	+ 450	— 50	450
53.	194,85	195,50	650	+ 150	+ 120	0
54.	195,50	196,25	750	—	+ 270	1060
55.	196,25	198,45	2200	+ 380	+ 440	660
		<i>1—55: im Mittel:</i>		<i>+ 201</i>	<i>+ 187</i>	
56.	198,45	200,80	2350	+ 260	+ 100	320
57.	200,80	202,70	1900	+ 380	—	0
58.	202,70	204,15	1450	+ 340	+ 250	0
59.	204,15	205,90	1750	+ 130	—	0
60.	205,90	207,10	1200	+ 180	+ 280	0
61.	207,10	208,05	950	+ 270	+ 420	250
62.	208,05	209,00	950	+ 230	+ 200	550
63.	209,00	210,15	1150	+ 300	—	110
64.	210,15	211,40	1250	+ 250	+ 260	260
65.	211,40	212,05	650	+ 300	+ 320	520
66.	212,05	213,85	1800	+ 420	+ 320	400
67.	213,85	214,90	1050	— 60	+ 300	590
68.	214,90	215,95	1050	+ 130	—	180

N ^o . der Strecke.	Die Strecke reicht		Länge der Strecke. m.	Verschiebung		Länge der geraden Strecke. m.
	von km.	bis km.		der	der	
				kleinsten Tiefe. m.	grössten Tiefe. m.	
69.	215,95	217,25	1300	+ 230	+ 260	—
70.	217,25	219,50	2250	+ 120	+ 0	0
71.	219,50	221,90	2400	+ 100	— 160	0
72.	221,90	223,55	1650	+ 200	+ 270	0
73.	223,55	225,90	2350	+ 260	+ 260	320
74.	225,90	227,80	1900	+ 0	+ 410	200
75.	227,80	229,60	1800	+ 210	+ 0	210
76.	229,60	230,60	1000	+ 380	+ 210	270
77.	230,60	231,80	1200	+ 400	+ 560	0
78.	231,80	233,85	2050	+ 300	+ 200	340
<i>56—78: im Mittel;</i>				+ 232	+ 235	
79.	233,85	236,00	2150	+ 110	—	500
80.	236,00	238,05	2050	+ 360	+ 320	160
81.	238,05	239,35	1300	—	+ 350	810
82.	239,35	240,30	950	+ 300	+ 400	210
83.	240,30	241,65	1350	+ 120	— 260	580
84.	241,65	243,25	1600	+ 190	+ 60	460
85.	243,25	245,85	2600	— 90	+ 150	620
86.	245,85	247,85	2000	— 20	+ 280	0
87.	247,85	250,00	2150	— 290	+ 340	180
88.	250,00	251,45	1450	+ 250	+ 150	400
89.	251,45	252,25	800	+ 50	+ 220	0
90.	252,25	253,30	1050	+ 430	+ 260	0
91.	253,30	253,90	600	+ 440	+ 430	410
92.	253,90	254,50	600	+ 290	+ 260	0
93.	254,50	255,30	800	+ 300	+ 290	160
94.	255,30	255,70	400	+ 200	+ 120	0
95.	255,70	256,40	700	+ 310	+ 300	180
96.	256,40	258,05	1650	+ 250	—	840
97.	258,05	259,25	1200	+ 200	+ 260	300
<i>79—97: im Mittel:</i>				+ 221	+ 231	
98.	259,25	260,10	850	+ 300	+ 280	180
99.	260,10	260,95	850	+ 280	+ 390	—
100.	260,95	261,75	800	+ 370	+ 360	240
101.	261,75	263,25	1500	+ 80	+ 470	630
102.	263,25	264,75	1500	+ 80	+ 420	350
103.	264,75	265,45	700	+ 50	— 180	200

98—103: *im Mittel:* + 193 + 290

I—103: Gesamtmittel: 211,2 211,0

Es ist auffallend, dass der Gesamtmittelwerth fast genau das doppelte Maass der Strombreite, nämlich 211,2 m. ergibt, trotz der grossen Verschiedenheiten im einzelnen. Auf der oberen Stromstrecke von 121 km. bis 198,5 km. ist die Strombreite gleich 100 m., während auf den entsprechenden Strecken 1 bis 55 der Zusammenstellung sich das Maass der Verschiebung der kleinsten Tiefe zu 201 m. berechnet, auch hier also fast genau das doppelte der Strombreite beträgt. Von 198,5 km. bis 233,0 km. ist die Strombreite 110 m., während die Verschiebung sich zu 232 m. berechnet. Die Grösse des Mittelwerthes nähert dem Werthe der doppelten Breite sich um so mehr, je mehr Versuche zu Grunde liegen.

Dieselbe Erscheinung sehen wir bei Betrachtung der *Beziehung zwischen der grössten Tiefe und der grössten Krümmung*. Wird auch hier der Halbirungspunkt der Strecke, auf welcher die grösste Krümmung herrscht, zum Ausgangspunkt bei Bestimmung des Maasses der Verschiebung genommen, so schwankt die Entfernung dieses Punktes vom Punkte der grössten Tiefe im einzelnen zwischen — 260 und + 730 m. Im grossen und ganzen ist jedoch ebenfalls eine Verschiebung stromabwärts wahrzunehmen. Der Gesamtmittelwerth aus 94 Einzelfällen wird gleich 211,0 m., also ebenso gross wie die mittlere Verschiebung der kleinsten Tiefe.

Im Eingange sind die störenden Einwirkungen hervorgehoben, welche bei höheren Wasserständen im Einzelfalle die Regelmässigkeit der Beziehungen zwischen der Grundform des Flusses und der Tiefe der Fahrrinne beeinträchtigen. Dass der aus einer grossen Zahl von Einzelfällen abgeleitete Mittelwerth das erste Gesetz von Herrn FARGUE bestätigt, scheint darauf hinzuweisen, dass auch die Elbe das Bestreben zeigt, ihre kleinsten und grössten Tiefen um das doppelte Maass ihrer Breite unterhalb der kleinsten und grössten Krümmung auszubilden.

2. Loi de la mouille: Je grösser die Krümmung ist, desto tiefer soll der Kolk sein.

Für die Garonne findet Herr FARGUE, dass die Grösse der Krümmung sich durch eine parabolische Function dritten Grades der grössten Tiefe ausdrücken lässt. Nur bei sehr kurzen oder übermässig langen, gekrümmten Stromstrecken ergeben sich dabei Abweichungen.

Um diese Regel für die Elbe zu prüfen, sind die grössten Krümmungen nebst den entsprechenden grössten Tiefen tabellarisch zusammengestellt und zwar gruppenweise, je nachdem die kilometrische Krümmung einen Werth von 0 bis 0,25, von 0,25 bis 0,50, von 0,50 bis 0,75 u. s. w. besass.

Für jede dieser Gruppen wurden arithmetische Mittelwerthe gebildet und geprüft, ob in diesen Mittelwerthen eine regelmässige Beziehung erkennbar ist. Um diese Prüfung zu erleichtern, wurden die Mittelwerthe graphisch aufgetragen.

Es geht daraus hervor, dass mit wachsender grösster Krümmung thatsächlich eine Zunahme der grössten Tiefe vorliegt. Aber diese Beziehung ist nicht so ausgesprochen klar, dass sich nicht in einzelnen doch beträchtliche Verschiedenheiten geltend machten.

Auch Herr FARGUE hat bei seinen Zusammenstellungen für die Garonne Abweichungen im einzelnen festgestellt. Für die normale Beziehung erachtet er dabei einen parabolischen Ausdruck dritten Grades. Sollte für die Elbe die in den Mittelwerthen ausgesprochene Beziehung durch einen mathematischen Ausdruck bestimmt werden, so würde die gerade Linie berechtigter erscheinen als die Parabel.

Die Unsicherheit tritt noch deutlicher hervor, wenn nicht allein die Mittelwerthe, sondern alle Einzelbeziehungen in die graphische Darstellung aufgenommen werden.

Herr FARGUE hat die Ursache der Abweichungen in den einzelnen Fällen für die Garonne in der kürzeren oder längeren Ausdehnung der gekrümmten Stromstrecken gefunden und darauf sein drittes Gesetz gegründet:

3. Zu Gunsten der Tiefe darf die gekrümmte Stromstrecke weder zu kurz, noch zu lang sein,

wobei er für die Garonne eine mittlere Streckenlänge von 1330 m. als angemessen findet, entsprechend der gewählten mittleren Länge seiner Stromstrecken.

Für die Elbe ist in den 103 Abtheilungen die mittlere Streckenlänge 1404 m., also nur wenig grösser, als bei der Garonne.

Ein Einfluss der Streckenlänge l auf die Abweichung der grössten Tiefe vom Mittelwerth hat hier aber im einzelnen nicht nachgewiesen werden können. Die Länge der gekrümmten Stromstrecke ist für die geringere Tiefe des Kolkes anscheinend gleichgültig. Es scheinen hier vielmehr andere Gründe, wie z. B. der Abstand des Stromstrichs vom Deiche oder die Kreuzung des Hochwasserstroms mit der Stromrichtung des Flussbettes ausschlaggebend zu sein.

Für die Elbe beschränken daher diese Untersuchungen sich auf eine Bestätigung des Gesetzes, dass der Kolk thatsächlich um so tiefer ist, je grösser die stärkste Krümmung des Flusslaufes ist.

Wenn ferner, wie es den Anschein hat, das dritte Gesetz dahin aufgefasst werden soll, dass bei Gestaltung der Grundform eines Flusses zu kurze oder zu lange Krümmungen vermieden werden müssten, damit die erreichbare grösste Tiefe keine Beschränkung erfährt, so ist zu bedenken, dass die Regulierung eines Flusses im Gegentheil bestrebt sein wird, der Bildung nutzlos grosser Tiefen vorzubeugen, zu Gunsten der grössten Tiefe keine besonderen Maassnahmen zu treffen.

4. Loi de l'angle: der Aussenwinkel der Endtangente einer Curve, dividirt durch die Länge der Curve, ist maassgebend für die mittlere Tiefe der gekrümmten Stromstrecke.

Um dieses Gesetz für die Elbe zu prüfen, wurden der Situation für jede Theilstrecke die entsprechende Ablenkung der Mittellinie, der Aussenwinkel der äussersten Tangenten, mit einem Transporteur in Graden entnommen und in Bogenmaass für den Radius 1 umgerechnet. Nachdem diese einzelnen Werthe dann durch die Länge der betreffenden Stromstrecken dividirt waren, wurden sie mit den mittleren Tiefen der Stromstrecken, welche durch Addition der einzelnen Tiefen und Division der Länge erhalten waren, zusammen gestellt. Theilt man diese Zusammenstellung wieder in einzelne Gruppen, je nachdem die mittlere Krümmung der Strecke den Werth von 0 bis 0,25, von 0,25 bis 0,50, von 0,50 bis 0,75 u. s. w. annimmt, so lassen sich für jede Gruppe wieder Mittelwerthe gewinnen, welche die bestehende Beziehung klarer zum Ausdruck bringen. Eine graphische Auftragung der einzelnen Versuchspaare und der gemittelten Beziehungen wird auch hier dazu beitragen, um über die Sicherheit etwaiger Folgerungen sich ein Urtheil zu bilden.

TABELLE 3: Gruppenweise Zusammenstellung der mittleren kilometrischen Krümmung k_m und der mittleren Tiefe t_m der Stromstrecken.

I.		II.		III.		IV.		V.		VI.		VII.		VIII.		IX.	
k_m	t_m	k_m	t_m	k_m	t_m	k_m	t_m	k_m	t_m	k_m	t_m	k_m	t_m	k_m	t_m	k_m	t_m
0,215	1,863	0,400	1,671	0,700	1,918	0,770	1,835	1,148	1,746	1,371	1,844	1,526	1,856	1,841	2,106	2,069	2,421
0,079	1,469	0,437	1,854	0,636	1,987	0,924	2,042	1,146	1,887	1,300	2,011	1,524	2,135	1,933	2,216		
0,243	1,545	0,500	1,941	0,540	1,929	0,760	1,869	1,110	2,291	1,280	1,836	1,679	2,281				
0,119	1,423	0,498	1,779	0,587	1,998	0,750	1,377	1,057	2,077	1,289	1,928						
0,067	1,704	0,350	1,454	0,667	2,187	0,806	1,984	1,015	1,676	1,325	2,087						
0,200	1,829	0,458	1,828	0,561	1,936	0,861	1,743	1,058	1,939	1,293	2,216						
0,221	1,761	0,467	1,799	0,628	2,204	0,805	1,905	1,143	2,041	1,381	2,338						
0,243	1,654	0,483	1,704	0,580	2,254	0,753	1,814	1,173	1,980	1,459	2,069						
0,108	1,633	0,280	1,818	0,573	1,927	0,947	2,000	1,116	1,980								
0,086	1,646	0,430	1,900	0,656	1,936	0,831	1,899	1,134	2,031								
0,231	1,766	0,329	1,675	0,634	1,833	0,761	2,037	1,164	2,025								
0,200	2,132	0,400	2,037	0,725	1,621	0,779	1,841	1,026	1,888								
0,103	1,640			0,677	1,845	0,886	1,860	1,080	2,020								
				0,661	1,728	0,905	1,891	1,058	1,989								
				0,536	1,910	0,846	1,891	1,121	1,948								
				0,667	1,907	0,867	1,683	1,138	2,354								
				0,569	1,843	0,954	1,912	1,050	1,980								
				0,550	1,910	0,989	2,109	1,212	2,231								
				0,600	2,225	0,946	2,123	1,163	2,260								
							0,814	1,755	1,127	2,031							
							0,905	1,920	1,187	2,223							
							0,874	2,082									
							0,956	2,059									
							0,988	2,228									
							0,750	2,267									

Mittel: 0,163 | 1,697 | 0,419 | 1,788 | 0,618 | 1,952 | 0,837 | 1,925 | 1,115 | 2,029 | 1,337 | 2,041 | 1,576 | 2,091 | 1,887 | 2,161 | 2,069 | 2,421

Aus dieser Zusammenstellung geht hervor, dass allerdings eine Beziehung im Sinne des aufgestellten Gesetzes zu bestehen scheint. Aber sowohl in den Mittelwerthen, wie insbesondere in den Einzelbeziehungen giebt sich eine grosse Unsicherheit kund. Sollte für diese Beziehungen ein mathematischer Ausdruck aufgestellt werden, so würde auch hier die einfache lineare Form den Versuchen besser entsprechen, als die für die Garonne aufgestellte Curvenform. Aus den vielfachen starken Abweichungen erscheint aber die Schlussfolgerung berechtigt, dass auf die Grösse der mittleren Tiefe einer Strecke die Hochwasserbreiten einen noch maassgeblicheren Einfluss ausüben, als auf die Vertheilung der Tiefen innerhalb der einzelnen Strecken. Est ist auch vollkommen erklärlich, wenn in einer schwach gekrümmten Stromstrecke ein verhältnissmässig geringes Hochwasserprofil auf Vermehrung der mittleren Tiefe hinwirkt oder wenn dass Hochwasser in starken Krümmungen Versandungen da fördert, wo die Richtung desselben abweicht von derjenigen des Niedrigwassers. Eine besondere Genauigkeit ist unter diesen Umständen auch allgemein kaum zu erwarten.

5. Loi de la continuité: Das Thalwegsprofil bildet sich nur dann regelmässig aus, wenn die Krümmungen sich stetig ändern.

Jeder schroffen Aenderung der Krümmung soll eine schroffe Verringerung der Tiefe entsprechen.

Dass nur bei continuirlicher Aenderung der Krümmung sich das Thalwegsprofil in einer der Grundform des Flusses entsprechenden Weise ausbilde, hat sich im Jahre 1875 auch aus Experimentalversuchen zu Bordeaux ergeben. Bei einer aus Kreisbögen und geraden Zwischenstrecken zusammengesetzten Grundform war keine vorherrschende Tendenz, keine feste Beziehung zwischen Grundform und Tiefe erkennbar, während bei continuirlich veränderlichen Krümmungen der wachsenden Krümmung eine wachsende Tiefe, der abnehmenden Krümmung eine abnehmende Tiefe der Fahrrinne entsprach.

Für die Elbe macht sich in dieser Beziehung der Umstand geltend, dass die Grösse der Krümmung nicht von Punkt zu Punkt, sondern nur von Strecke zu Strecke ermittelt werden konnte. Die Krümmung ändert sich im Diagramm daher durchweg sprungweise. Vielfach mag dies thatsächlich zutreffen und lässt sich dementsprechend auch häufig eine sprungweise Aenderung der Tiefe erkennen, besonders wenn die Krümmung eine schroffe Verringerung zeigt. Aber dies ist nicht überall der Fall, und werden auch in Wirklichkeit nicht überall die Krümmungen sich sprungweise ändern. Mit vollem Rechte würde mehrfach eine sich stufenförmig ändernde Krümmung durch eine stetige Curve ersetzt werden dürfen. Aber diese Aenderung als thatsächlich bestehend vorauszusetzen, besonders wenn die Ausbildung der Tiefe dies zu rechtfertigen schien, hiesse das voraussetzen, was zu beweisen ist.

N ^o .	Bezeichnung der Buhne.	Kilo- meter.	a	b	e	k	Kilo- meter.	l	k.l	$\frac{\Sigma kl}{\Sigma l}$
15	Vor den Rosenfelder Grundstücken.	1	158,276	49	40	+ 5,04	+ 3,325			
16	" " "	1 _a	158,315	40	39	- 0,74	- 0,469	158,296	44	+ 146,30
17	" " "	2	158,351	39	91	+ 7,30	+ 1,321	158,333	37	- 17,35
18	" " "	3	158,441	91	91	+ 4,57	+ 0,570	158,396	63	+ 83,22
19	" " "	4	158,530	91	82	+ 4,10	+ 0,596	158,486	90	+ 51,30
20	" " "	5	158,608	82	80	+ 10,25	+ 1,733	158,569	83	+ 49,47
21	" " "	6	158,678	80	80	+ 13,65	+ 2,427	158,643	74	+ 128,24
22	" " "	7	158,753	80	83	+ 13,48	+ 2,247	158,716	73	+ 177,17
23	" " "	8	158,831	83	80	+ 14,44	+ 2,536	158,792	76	+ 170,77
24	" " "	9	158,905	80	80	+ 7,22	+ 1,201	158,868	76	+ 192,74
25	" " "	10	158,983	80	70	+ 5,71	+ 1,155	158,944	76	+ 91,28
26	" " "	11	159,047	70	93	+ 10,00	+ 1,402	159,015	71	+ 82,01
27	" " "	12	159,134	93	80	+ 13,23	+ 2,144	159,091	76	+ 106,55
28	" " "	13	159,205	80	102	+ 16,34	+ 1,961	159,170	79	+ 169,38
29	" " "	14	159,298	102	67	+ 12,71	+ 2,570	159,252	82	+ 160,80
30	" " "	15	159,358	67	66	+ 6,71	+ 1,665	159,328	76	+ 195,32
31	" " "	16	159,418	66	88	+ 10,50	+ 1,695	159,388	60	+ 99,90
32	" " "	17	159,505	88	86	- 3,50	- 0,457	159,462	74	+ 125,43
33	" " "	18	159,591	86	63	+ 0,62	+ 0,133	159,462	86	- 39,30
34	" " "	18 _a	159,654	63	61	- 1,18	- 0,307	159,548	75	+ 9,98
35	" " "	19	159,715	61	85	- 0,95	- 0,152	159,623	62	- 19,03
36	" " "	19 _a	159,800	85	78	- 0,57	- 0,089	159,685	73	- 11,10
37	Vor der Döhleener Hüttung.	1	159,872	78	47	+ 9,25	+ 3,801	159,758	78	- 6,94
38	" " "	1 _a	159,920	47	53	- 8,30	- 2,739	159,836	60	+ 228,06
39	" " "	2	159,970	53	58	+ 10,69	+ 4,047	159,896	49	- 134,21
40	" " "	2 _a	160,024	58	59	+ 3,00	+ 0,909	159,945	47	+ 190,21
41	" " "	3	160,078	59	59	+ 4,12	+ 1,246	159,992	59	+ 53,63
42	" " "	3 _a	160,133	59	59	+ 1,78	+ 0,525	160,051	55	+ 68,53
43	" " "	4	160,185	59	50	+ 2,48	+ 0,955	160,106	53	+ 27,82
44	" " "	4 _a	160,232	50	66	+ 3,23	+ 0,882	160,159	50	+ 47,75
45	" " "	5	160,296	66	122	+ 5,60	+ 0,501	160,209	55	+ 48,51
46	" " "	6	160,416	122	73	+ 2,12	+ 0,302	160,264	92	+ 46,09
47	" " "	7	160,488	73	65	+ 1,04	+ 0,235	160,356	96	+ 28,99
48	" " "	8	160,552	65	85	- 0,32	- 0,050	160,452	68	+ 15,98
49	" " "	8 _a	160,636	85	80	- 1,47	- 0,220	160,520	74	- 3,70
50	" " "	9	160,715	80	53	- 1,97	- 0,351	160,594	82	- 18,04
51	" " "	10	160,876	53	100	- 4,48	- 0,569	160,676	120	- 42,12
52	" " "	11	160,985	100	103	- 21,43	- 1,896	160,796	135	- 76,82
								160,931		

Die anliegende graphische Darstellung dieser rechnerischen Ermittlung lässt erkennen, dass die Uferlinien auf dieser Strecke sehr unregelmässig gestaltet sind, ein Umstand, der wie oben bereits hervorgehoben war für die Auswahl gerade dieser Stromstrecke hauptsächlich bestimmend war. Die Unregelmässigkeiten zerfallen in lokale, wenn starke Krümmungen entgegengesetzten Sinnes unmittelbar auf einander folgen und in continüirlich veränderliche. Erstere rühren her von dem durch natürliche Verhältnisse hervorgerufenen ungleichen Ausbau des Ufers, von einzelnen zu kurzen oder zu langen Bühnen, während letztere durch eine stetige Ausgleichcurve die Veränderlichkeit der Krümmungen von Punkt zu Punkt wiedergeben. In der rechnerischen Ermittlung ist die Herleitung der Ausgleichcurve durch Verbindung von je zwei aufeinanderfolgenden Krümmungen vorgenommen und in den letzten drei Rubriken wiedergegeben.

Wie aus der graphischen Darstellung auf den ersten Blick erhellt, besteht zwischen der Veränderlichkeit der Krümmung und der Tiefe der Fahrinne eine weitgehende Symmetrie.

Einer Vergrösserung der Krümmung entspricht thatsächlich eine Zunahme der Tiefe; einer Verringerung der Krümmung entspricht eine Abnahme der Tiefe. Zugleich erfahren auch die vorher erörterten Gesetze in dieser Einzeldarstellung ihre Bestätigung. Insbesondere tritt das Gesetz der Verschiebung bei den kleinsten und grössten Tiefen hier in grösserer Regelmässigkeit wie in den oben angeführten allgemeinen Ermittlungen auf. Die Grösse der Verschiebung schwankt nur zwischen + 150 und + 320 m. und ist im Mittel gleich 227 m.

6. Loi de la pente du fond: Die Tangente an die kilometrische Krümmungcurve ist bestimmend für das Gefälle der Sohle.

Mit zunehmender Krümmung soll eine entsprechende Zunahme der Tiefe eintreten, und umgekehrt mit abnehmender Krümmung eine entsprechende Abnahme der Tiefe.

Für die Elbe lässt sich auch diese Untersuchung mit Sicherheit nur an dem vorerwähnten Einzelbeispiele verfolgen, da nur für diese Strecke die Krümmungcurve, d. h. die Veränderlichkeit der kilometrischen Krümmung von Punkt zu Punkt bekannt ist. Zwischen der Grösse der Tangente q und dem Sohlengefälle p ergeben sich hier die folgenden Beziehungen:

TABELLE 5. Ermittlung von Beziehungen zwischen der Tangente der kilometrischen Krümmung und dem Gefälle der Sohle.

Kilometrische Krümmung.				Tiefe der Fahrrinne					
Station.	Kilometrische Krümmung. k	Unterschied der Krümmung. δ	Länge der Strecke. l	Tangente $q = \frac{1000 \delta}{l}$	Station.	Tiefe der Fahrrinne. t	Länge der Strecke. l_n	Unterschied der Tiefe. d	Sohlengefälle $p = \frac{1000 d}{l_n}$
157,56	0				157,75	1,38			
158,03	2,15	2,15	470	4,58	158,25	2,10	500	0,72	1,44
158,45	0,55	1,60	420	3,81	158,65	1,57	400	0,53	1,33
158,78	2,40	1,85	330	5,61	158,95	2,60	300	1,03	3,43
158,98	1,10	1,30	200	6,50	159,30	2,21	350	0,39	1,11
159,28	2,25	1,15	300	3,83	159,55	2,54	250	0,33	1,32
159,70	-0,25	2,50	420	5,95	160,00	1,39	450	1,15	2,56
160,08	1,30	1,55	380	4,08	160,30	2,19	300	0,80	2,67
160,50	0	1,30	420	3,09	160,65	1,71	350	0,48	1,37

Im allgemeinen lässt sich daraus eine Zunahme von p mit wachsendem q erkennen. Eine Ausnahme bildet vielleicht nur die 4. Beziehung, wo sich $q = 6,50$ und $p = 1,11$ entsprechen sollen. Im Uebrigen tritt sowohl bei zunehmender wie abnehmender Krümmung auch eine entsprechende Zunahme oder Abnahme der Tiefe und des Sohlengefälles ein.

Das Bestehen einer Beziehung im Sinne des aufgestellten Gesetzes scheint daher durch diese Untersuchungen bestätigt zu werden, wenn auch die wenigen Beispiele nicht ausreichen, für die Art der Beziehung einen bestimmten Ausdruck aufzustellen. Die Beziehung ist übrigens im Grunde genommen eine logische Folgerung der vorher erörterten Gesetze und bekräftigt insofern die Uebereinstimmung, die vorher constatirt werden konnte.

Bei den bisherigen Untersuchungen ergab sich im grossen und ganzen, dass die Beobachtungen des Herrn Fargue der Wirklichkeit entsprechen. Wo Abweichungen vorzuliegen schienen, zeigten genauere Einzelforschungen, dass die Ursache dieser Abweichungen vielleicht mehr der Beobachtung, als den Thatsachen zur Last fallen möchte. Für die Entwicklung eines mathematischen Ausdrucks über die Art der bestehenden Beziehungen bedarf es für die Elbe noch der sorgfältigen Beobachtungen an Ort und Stelle.

Veränderlichkeit der Uebergangstrecken bei niedrigen Wasserständen.

Dagegen wurde für die Elbe ein weiteres, hier in Betracht kommendes Ergebniss bei Erörterung der Frage erlangt, ob bei andauerndem Niedrigwasser ein Auslaufen der Sände, d. h. eine Vertiefung der Fahrrinne auf den Uebergängen nachweisbar sei.

Die örtlichen Feststellungen erfolgten im Jahre 1889 mehrere Monate hindurch bei niedrigen Wasserständen auf 8 verschiedenen Stromstrecken durch wöchentlich 2 bis 3 malige Peilung unter gleichzeitiger Beobachtung aufgestellter Hilfspegel. In den nachstehenden Ergebnissen dieser Peilungen sind einerseits die absoluten grössten Höhen der Uebergänge — als Mittelwerth aus den benachbarten kleinsten Peiltiefen hergeleitet — und andererseits die mittlere Höhenlage der ganzen Strecke des Uebergangs auf H. N. bezogen angegeben.

TABELLE 6. Höhenlage von Uebergängen bei andauerndem Niedrigwasser.

a. km. 131.3 bis km. 131,75

T A G.	Wasser- stand am Pegel.	Höhe der Fahrrinne über H. N.	
		grösste	mittlere.
16. Juli 1889	+ 1,06	+ 85,46	+ 85,20
18. Juli "	+ 1,33	+ 85,55	+ 85,17
20. Juli "	+ 1,42	+ 85,53	+ 85,15
23. Juli "	+ 1,13	+ 85,60	+ 85,08
25. Juli "	+ 1,03	+ 85,60	+ 85,00
30. Juli "	+ 1,13	+ 85,61	+ 84,96
2. August 1889	+ 1,55	+ 85,64	+ 85,16
6. August "	+ 1,38	+ 85,50	+ 85,16
9. August "	+ 1,06	+ 85,56	+ 84,99
13. August "	+ 0,97	+ 85,57	+ 85,07
16. August "	+ 0,86	+ 85,55	+ 85,06
21. August "	+ 0,86	+ 85,58	+ 85,12
24. August "	+ 0,86	+ 85,58	+ 84,97
27. August "	+ 0,78	+ 85,59	+ 84,99
30. August "	+ 0,84	+ 85,60	+ 85,03
3. September 1889	+ 0,89	+ 85,60	+ 85,02
6. September "	+ 0,77	+ 85,60	+ 84,99
11. September "	+ 0,71	+ 85,64	+ 85,05
13. September "	+ 0,71	+ 85,64	+ 85,04
17. September "	+ 0,71	+ 85,55	+ 84,96
20. September "	+ 0,74	+ 85,56	+ 85,02

b. km. 155,5 bis km. 156,0

T A G.	Wasser- stand am Pegel.	Höhe der Fahrrinne über H. N.	
		grösste	mittlere.
13. August 1889	+ 0,52	+ 79,12	+ 78,90
16. August "	+ 0,48	+ 79,20	+ 78,90
20. August "	+ 0,50	+ 79,05	+ 78,90
23. August "	+ 0,48	+ 79,13	+ 78,93
27. August "	+ 0,40	+ 79,09	+ 78,88
30. August "	+ 0,38	+ 79,02	+ 78,88
3. September 1889	+ 0,46	+ 79,10	+ 78,92
6. September "	+ 0,38	+ 79,27	+ 78,91
10. September "	+ 0,32	+ 79,10	+ 78,89
14. September "	+ 0,34	+ 79,07	+ 78,88
17. September "	+ 0,36	+ 79,08	+ 78,90
21. September "	+ 0,38	+ 79,06	+ 78,89
24. September "	+ 0,44	+ 79,19	+ 78,91
28. September "	+ 0,76	+ 79,11	+ 78,93

c. km. 210,0 bis 210,6 km.

T A G.	Wasser- stand am Pegel.	Höhe der Fahrrinne über H. N.	
		grösste	mittlere.
27. August 1889	+ 0,76	+ 67,15	+ 66,88
30. August "	+ 0,76	+ 67,03	+ 66,84
3. September 1889	+ 0,86	+ 67,10	+ 66,88
6. September "	+ 0,75	+ 66,99	+ 66,87
9. September "	+ 0,70	+ 67,19	+ 66,90
13. September "	+ 0,66	+ 66,97	+ 66,77
16. September "	+ 0,68	+ 67,04	+ 66,82
20. September "	+ 0,70	+ 67,04	+ 66,78
23. September "	+ 0,77	+ 66,86	+ 66,70
27. September "	+ 1,00	+ 67,09	+ 66,80

d. km. 283,01 bis 283,25 km.

T A G.	Wasser- stand am Pegel.	Höhe der Fahrrinne über H. N.	
		grösste	mittlere.
19. August 1889	+ 0,62	52,14	52,05
21. August „	+ 0,58	52,11	52,04
23. August „	+ 0,59	52,10	52,02
26. August „	+ 0,55	52,03	52,02
28. August „	+ 0,48	52,05	52,01
30. August „	+ 0,49	52,04	52,01
2. September 1889	+ 0,60	52,17	52,10
4. September „	+ 0,55	52,17	52,10
6. September „	+ 0,50	52,18	52,11
9. September „	+ 0,43	52,17	52,11
11. September „	+ 0,38	52,19	52,15
13. September „	+ 0,38	52,25	52,16
16. September „	+ 0,38	52,24	52,14
18. September „	+ 0,38	52,25	52,13
20. September „	+ 0,39	52,22	52,16
23. September „	+ 0,43	52,22	52,15
25. September „	+ 0,48	52,23	52,14
27. September „	+ 0,54	52,24	52,14

e. km. 302,0 bis km. 302,3

T A G.	Wasser- stand am Pegel.	Höhe der Fahrrinne über H. N.	
		grösste	mittlere.
26. August 1889	+ 0,66	+ 48,83	—
28. August „	+ 0,58	48,80	—
30. August „	+ 0,58	48,73	—
3. September 1889	+ 0,61	48,70	—
5. September „	+ 0,56	48,78	—
7. September „	+ 0,56	48,81	—
17. September „	+ 0,46	48,69	—
19. September „	+ 0,43	48,73	—
21. September „	+ 0,38	48,67	—
24. September „	+ 0,57	48,66	—
26. September „	+ 0,52	48,61	—
28. September „	+ 0,62	48,64	—

f. km. 344,6 bis km. 344,95.

T A G.	Wasser- stand am Pegel.	Höhe der Fahrrinne über H. N.	
		grösste	mittlere.
27. August 1889	+ 0,66	40,07	39,55
29. August "	+ 0,62	40,02	39,57
31. August "	+ 0,62	40,07	39,60
3. September 1889	+ 0,66	40,07	39,55
5. September "	+ 0,63	40,02	39,63
7. September "	+ 0,58	39,94	39,54
9. September "	+ 0,55	40,12	39,64
12. September "	+ 0,47	40,08	39,47
14. September "	+ 0,47	40,03	39,47
17. September "	+ 0,45	40,01	39,48
19. September "	+ 0,44	39,95	39,43
21. September "	+ 0,44	40,05	39,50
24. September "	+ 0,47	40,04	39,50
26. September "	+ 0,50	40,06	39,49
28. September "	+ 0,60	40,01	39,50
30. September "	+ 0,78	40,02	39,53
2. October 1889	+ 1,10	40,04	39,54
4. October "	+ 1,60	40,02	39,54

g. km. 326,0 bis km. 326,30.

T A G.	Wasser- stand am Pegel.	Höhe der Fahrrinne über H. N.	
		grösste	mittlere.
22. Juli 1889	+ 1,20	44,14	43,98
24. Juli "	+ 1,18	44,12	43,96
27. Juli "	+ 1,04	44,11	43,97
29. Juli "	+ 1,00	44,07	43,90
31. Juli "	+ 1,04	44,05	43,89
2. August 1889	+ 1,04	44,08	43,92
5. August "	+ 1,20	44,04	43,90
7. August "	+ 1,18	43,99	43,86
9. August "	+ 1,16	43,98	43,84
12. August "	+ 1,00	44,01	43,84
14. August "	+ 0,90	44,04	43,93
16. August "	+ 0,96	43,98	43,87
19. August "	+ 0,96	44,00	43,86
21. August "	+ 0,92	43,96	43,82

T A G.	Wasser- stand am Pegel.	Höhe der Fahrrinne über H. N.	
		grösste.	mittlere.
23. August 1889	+ 0,92	43,96	43,82
26. August „	+ 0,92	43,96	43,81
28. August „	+ 0,82	43,96	43,81
30. August „	+ 0,86	43,97	43,82
2. September 1889	+ 0,90	43,94	43,81
4. September „	+ 0,88	43,92	43,76
6. September „	+ 0,86	43,90	43,77
9. September „	+ 0,80	43,84	43,73
11. September „	+ 0,74	43,78	43,70
13. September „	+ 0,70	43,84	43,73
16. September „	+ 0,74	43,85	43,70
23. September „	+ 0,76	43,87	43,72
25. September „	+ 0,80	43,81	43,68
27. September „	+ 0,80	43,81	43,68
30. September „	+ 0,96	43,90	43,67
2. October 1889	+ 1,16	43,87	43,68
4. October „	+ 1,66	44,00	43,69

h. Am Mödlicher Werder.

T A G.	Wasser- stand am Pegel.	Höhe der Fahrrinne über H. N.	
		grösste	mittlere.
26. August 1889	+ 0,85	15,95	15,72
29. August „	+ 0,85	15,96	15,75
2. September 1889	+ 0,75	15,91	15,66
5. September „	+ 0,75	15,92	15,66
7. September „	+ 0,75	15,92	15,67
9. September „	+ 0,74	15,91	15,67
12. September „	+ 0,67	15,85	15,60
14. September „	+ 0,63	15,82	15,56
16. September „	+ 0,62	15,86	15,58
19. September „	+ 0,61	15,87	15,58
21. September „	+ 0,63	15,88	15,61

Die Vertiefung der Sohle ist demnach bei niedrigen Wasserständen eine äusserst geringe, sie ist aber in den tiefer stromab gelegenen Strecken grösser, als in dem oberen Stromgebiet, entsprechend der Abnahme des Geschiebekorns. Die Veränderlichkeit der mittleren Höhe der Fahrinne ist ferner im allgemeinen grösser, als die Veränderlichkeit der grössten Höhe. Wie aus den Einzelpeilungen hervorgeht, erklärt dieser Umstand sich aus der Thatsache, dass eine gewisse Umgestaltung des Rückens vor sich geht derart, dass die stromab gerichtete Böschung des Ueberganges bei niedrigen Wasserständen sich steiler ausbildet, als bei hohen Wasserständen. Der Rücken übt seiner Lage entsprechend eine wehrartige Wirkung aus. Je höher der Wassersturz und je mehr er sich concentrirt, desto tiefer und schroffer ist bei niedrigem Wasser der Kolk im Unterwasser. Bei wachsendem Wasser bilden die Böschungen des Rückens sich wieder in schwächerem Gefälle aus, und werden die Uebergänge ebenfalls scheinbar etwas erhöht.

Es ist dabei von Bedeutung, dass diese Vertiefung der Uebergänge vielleicht nur eine scheinbare ist und damit zusammenhängen kann, dass bei feinerem Geschiebe eine Vorwärtsbewegung des ganzen Rückens eintritt. Unterhalb der Havelmündung ist in der Elbe die Thatsache nachzuweisen, dass eine Vorwärtsbewegung der Sandbänke und Uebergänge regelmässig statt hat. Die Gestalt des Stromes und seiner Ufer macht sich dabei in eigenthümlicher Weise geltend dahin, dass an manchen Orten scheinbar die Sände und Uebergänge hin und her pendeln. Höhere Wasserstände schaffen sich schnell und kräftig das Bett in der Gestalt, wie es ihrer Höhe entspricht, während die von der Grundform der Ufer oder Correctionslinien unabhängigen Niedrigwasser langsamer, aber anhaltender wirkend, eine Verschiebung der Sände veranlassen, die um so grösser wird, je länger der Niedrigwasserstand andauert, bis beim nächsten Hochwasser sich wieder der anfängliche Zustand herstellt. So entsteht anscheinend ein Pendeln der Sände.

Die Abhängigkeit des Thalwegs von der Grundform des Flusses macht sich hier in viel deutlicherer Form geltend. Trotz Regulirung des Stroms lässt sich an vielen Stromstellen noch heute dieselbe Sandbildung und Richtung des Thalwegs erkennen, welche vor der Regulirung bestand. Die Gestalt ist dieselbe, aber die Höhe der Sandbänke und Tiefe der Kolke hat beträchtlich abgenommen.

Dieses Ergebniss liefert auch für die oben betrachtete Strecke der oberen Elbe ein Vergleich der jetzt vorhandenen Fahrinne mit Aufnahmen, die in den 20^{er} Jahren dieses Jahrhunderts vor der Regulirung bewirkt sind. Auch hier ist durch die Regulirung der Breiten im allgemeinen eine Vertiefung der Uebergänge und eine Versandung der tiefen Kolke eingetreten.

Da die Regulirung sich bisher auf eine Verringerung der Breite beschränkt hat, so ist der Einfluss der Breite auf die Minimaltiefen des

Stromes dadurch angedeutet. Auch auf dem synoptischen Curven- und Tiefendiagramm der oberen Elbe fällt es auf, dass von Km. 250 an, wo eine Verbreiterung der Normalbreite von 130 auf 150 m. beginnt, sich grössere Tiefen bemerkbar machen, als im oberen Strom.

So vielfache Hinweise sich aus diesen Beobachtungen auch für die Art der Beziehungen zwischen der Grundform und Tiefe des Flusses ergeben, so kann ein bestimmtes Maass derselben sich doch nur auf sorgfältigeren, besonders angestellten zielbewussten, Beobachtungen aufbauen.

Es empfiehlt sich daher, den Beziehungen zwischen der Grundform der Flüsse und der Tiefe der Fahrrinne im einzelnen eingehend nachzuforschen.

THEIL II.

Betrachtungen betr.: Ergebnisse einer aus geraden Linien und Kreisbögen zusammengestellten Grundform, verglichen mit einer nach dem Systeme des Herrn FARGUE entworfenen. Einfluss der hohen und niedrigen Wasserstände auf die Tiefe der Fahrrinne in der Nähe der Tangentenpunkte. Maximal-Krümmungen, welche bei einer ununterbrochenen Fahrrinne für verschiedene Wassermengen und Flussbreiten zulässig sind. Praktische Regel für die Wahl der Grundform des Stromes und für die Darstellung eines Minimal-Bettes bei Flüssen mit und ohne Fluthwirkung.

Während die Untersuchung sich bisher auf Registrirung bestimmter Thatsachen und Beobachtungen beschränkte, handelt es sich bei Behandlung der weiteren Fragen des Programms um die Bedeutung und Anwendung der aufgestellten Grundlehren bei Regulirung der Ströme. Die Untersuchung verlässt damit den rein thatsächlichen Boden und lenkt in eine mehr speculative Richtung über, wo hier und da abweichende Meinungen möglich sein werden, je nach den verfolgten Zielen und gemachten Voraussetzungen.

Herr FARGUE geht in seiner Abhandlung der „Annales des ponts et chaussées“ vom Jahre 1868, Seite 55, von der Voraussetzung aus:

„Das Sohlengefälle zwischen Kolk und Uebergang soll eine gerade Linie sein.“

Nach dem 6. Gesetze von Theil I folgt daraus, dass auch die Curve der kilometrischen Krümmung eine gerade Linie sein muss — eine Bedingung, welche für die Grundform des Ueberganges eine „Spiralvolute“ ergibt.

Die Spiralvolute als Grundform des Stroms.

Auf Grund dieser Herleitungen bringt daher Herr FARGUE für die Mittellinie des Stromes die Form einer Spiralvolute oder Lemniscate in Vorschlag.

In der Abhandlung der „Annales des ponts et chaussées“ vom Jahre 1882 erweitert er diesen Vorschlag dahin, dass die Strombreiten nicht constant, sondern in den gekrümmten Strecken um so grösser sein sollen, je schärfer die Krümmung ist. Eine derartige Gestaltung der Strombahn nennt er eine „rationelle Trace.“

Diese beiden Bedingungen haben unmittelbar nichts mit einander gemein, sondern leiten sich aus verschiedenen Gesichtspunkten her. Was zunächst die Spiralvolute als Grundform des Stromes anlangt, so bietet dieselbe zu einigen Bedenken Anlass. Die Voraussetzung eines geradlinigen Sohlengefälles und die Folgerung, dass auch die kilometrische Krümmung sich in linearer Form von Punkt zu Punkt ändert, lässt die Curve der kilometrischen Krümmung als Zickzacklinie erscheinen, deren Brechpunkte einerseits im Scheitel der gekrümmten Strecke, andererseits auf dem Wendepunkte liegen würden. An diesen Brechpunkten würde eine gewisse Discontinuität herrschen, welche dem 5. Gesetze (*loi de continuité*) nicht voll und ganz entsprechen möchte. Die Veränderlichkeit der Krümmung würde gerade an den wichtigsten Punkten der Strombahn zwar keine sprungweise Veränderung der Grösse nach, aber doch der Tendenz nach erfahren. Die Zunahme würde plötzlich in eine Abnahme, die Abnahme plötzlich in eine Zunahme überlenken. Ein derartiger plötzlicher Uebergang von der einen Richtung in die andere scheint dem im 5. Gesetze ausgesprochenen Grundgedanken der stetigen Aenderung nicht voll zu entsprechen, da in der Natur alle Uebergänge von einer Richtung in die andere einen allmählichen Verlauf zeigen.

Mag die Kraft, welche die Vermittlung zwischen Grundform und Tiefe übernimmt, eine Gestalt annehmen, wie sie will, sie wird bei plötzlich ändernder Zunahme oder Abnahme der Ursache sich nicht ebenfalls plötzlich zu ändern vermögen, sondern bedarf einer allmählichen Ueberführung ihrer Aenderung von der einen in die andere Richtung. Wo diese mangelt, ist Stosswirkung, d. h. Discontinuität, also in diesem Falle ein plötzlicher Tiefenwechsel die Folge. Die Vorbedingung eines continuirlichen Wechsels der Krümmung würde darin gipfeln müssen, dass die Tangente der kilometrischen Krümmungcurve im Scheitelpunkte sowohl, wie im Wendepunkte horizontal, bezw. der Abscissenachse parallel gerichtet wäre. Die Krümmungcurve müsste etwa einen der Sinus-Curve ähnlichen Verlauf zeigen mit Maximal und Minimalwerthen und mit Wendepunkten. Die Annahme einer gebrochenen Linie scheint den entwickelten Gesetzen nicht ganz zu entsprechen.

Ein weiteres Bedenken gegen die Form der Spiralvolute oder Lemniscate wendet sich der Grösse der Maximalkrümmung zu. Es wurde bei Besprechung des dritten Gesetzes bereits hervorgehoben, dass die Regulirung eines Flusses bestrebt sein werde, der Bildung nutzlos grosser Tiefen vorzubeugen, und zu Gunsten der grössten Tiefe keine besonderen Maassnahmen zu treffen. Einerseits wird das Gefälle bei Niedrigwasser sich um so ungleichmässiger

gestalten, je mehr Werth auf die Ausbildung und Erhaltung der möglichst grössten Tiefen gelegt wird. An Stelle eines gleichmässigen Durchschnittsgefälles wird sich eine aus Woogstrecken und Stromschnellen zusammengesetzte, treppenförmige Abstufung ausbilden.

Andrerseits wird durch die Ausbildung grosser Tiefen die Entwicklung der Breite beeinträchtigt, und eine übermässige Beschränkung derselben hervorgerufen, die dem Verkehr, der Vorfluth und dem Eisgange gleich hinderlich ist. Eisversetzungen bilden sich vorzugsweise aus Anlass sich stark verringender Breiten in Woogstrecken. Die Schifffahrt wird eine nicht unbedingt erforderliche Verschärfung der Krümmungen nur ungern hinnehmen, besonders wenn die Zahl der Anhänge beim Schleppbetriebe sich dadurch verringern müsste. Wenn Herr FARGUE in seiner rationellen Trace eine Verbreiterung des Stromes in seiner Krümmung annimmt derart, dass die Breite um so grösser sein soll, je schärfer die Krümmung ist, so steht diese Annahme mit den natürlichen Verhältnissen in Widerspruch. In Wirklichkeit ist die Strombreite überall um so kleiner, je grösser die Krümmung ist. Alle künstlichen Mittel, in einem Strome ausserhalb des Bereiches der Ebbe und Fluth eine Vergrösserung der Breite in Krümmungen herbeizuführen, sind nutzlos, wenn nicht zugleich eine Beseitigung der grossen Tiefen erfolgt. Es könnte dies durch mehrfache Beispiele belegt werden, wenn nicht diese Thatsache als bekannt gelten musste. Eine übergrosse Normalbreite in Krümmungen wirkt im Gegentheil eher schädlich und befördert das Maass der Verlandung auf der Convexen, weil auch bei mittleren Wasserständen es hier an der erforderlichen Geschwindigkeit fehlen wird. Die Grösse der Maximalkrümmung, die Herr FARGUE bei Wahl der Spiralvolute für die Mittellinie erreicht, beträgt aber das doppelte Maass derjenigen Krümmung, welche eine gleichförmige Kreiskrümmung unter denselben Verhältnissen erhalten würde. Seine grösste Tiefe würde dementsprechend grösser, seine Breite in Wirklichkeit entsprechend geringer sich gestalten — eine Entwicklung der Dinge, die in keiner Hinsicht als eine Verbesserung anzusehen ist.

Ein weiterer Umstand, der gegen die Spiralvolute zu sprechen scheint, ist die damit verbundene Verlängerung der Uebergangsstrecke aus einer gekrümmten Stromstrecke in die andere. Die Krümmung verringert sich gleichmässig abnehmend, bis sie Null erreicht. Der Kreisform gegenüber wird sie in halber Streckenlänge vergrössert — bis zur doppelten Grösse — und in halber Streckenlänge verkleinert. Sie wird bei dieser fortschreitenden Abnahme nicht nur da, wo sie gleich Null ist, sondern in den meisten Fällen, wo es sich um nur geringe Krümmungen handelt, auf längerer Strecke ihren Einfluss auf den Strom überhaupt verlieren, weil es, wie weiter unten ausgeführt werden wird, eine Grenze giebt, wo die Einwirkung der Krümmung auf den Strom verschwindet. Eine zu schwach gekrümmte Stromstrecke kommt in ihrer Wirkung einer geraden Stromstrecke gleich.

Bei hohen Wasserständen und grosser Wassermenge wird dieser Umstand sich zwar weniger geltend machen, als bei niedrigen Wasserständen, aber der etwaige Grund, dass gerade bei hohen Wasserständen sich das Thalwegsprofil gestalte, ist doch nicht stichhaltig, da gerade zur Zeit der niedrigen Wasserstände, also zur Zeit der grössten Nutzung, die Veränderlichkeit der Lage und der Tiefe der Fahrrinne schmerzlich empfunden, und die beabsichtigte Stabilität vermisst werden würde.

Die Betrachtungen führen weiter unten dazu, das eine Einschränkung der Breite auf den Uebergängen wünschenswerth sei. Mit der Verlängerung der Uebergänge und Verlängerung der Strecken mit zu schwacher Krümmung erwächst eine beträchtliche Vermehrung der für Niedrigwasser auszubauenden Stromlängen und der erforderlichen Baukosten.

Experimentelle Methode.

Diesen Bedenken gegenüber könnte nun auf die experimentellen Versuche an kleinen Gerinnen zu Bordeaux hingewiesen werden, die ergaben, dass bei einer der Spiralvolute entsprechenden Grundform die Strömung das Bestreben zeigte, eine bestimmte, und zwar stets dieselbe Gestaltung der Thalrinne auszubilden, während bei einer aus Kreisbögen und geraden Linien zusammengesetzten Grundform scheinbar vollständige Regellosigkeit in der Tiefenbildung herrschte. Es bilden diese Versuche einen gewiss schätzenswerthen Uebergang von der Theorie zu den thatsächlichen Verhältnissen. Beweisende Kraft haben sie aber ebenso wenig, wie die Versuche an Gerinnen bisher die Frage der Bewegung des Wassers im allgemeinen zu beantworten vermocht haben. Die Nachahmung der natürlichen Vorgänge in kleinem Maassstabe begegnet grossen Schwierigkeiten, weil sich die Wirksamkeit der einzelnen Kräfte nicht in einem dem Verjüngungsmaassstabe des Modells ähnlichen Verhältnisse ändert. Es würde, wenn alle Dimensionen, wie sie in Wirklichkeit bestehen, in einem bestimmten Verhältnisse verkleinert würden, sich das relative Gefälle nicht ändern. Die beschleunigende Kraft würde also einem schwächeren Widerstande des verfeinerten Geschiebekorns gegenüber sich im Vortheil befinden. Wollte man auch das Gefälle verringern, so würde es doch wohl nicht möglich sein, einerseits das richtige Verhältniss zur Grösse des Geschiebes und andererseits das richtige Verhältniss zur erzeugten lebendigen Kraft zu erreichen.

Was hier ferner besonders ins Gewicht fallen möchte, ist aber die verschiedenartige Abnahme der Geschwindigkeiten in dem fliessenden Wasser bei verschiedenen Wassertiefen. Ich habe diese Frage in der „Zeitschrift für Bauwesen, Jahrgang 1893“, eingehend untersucht, und auf Grund zahlreicher Messungen an der Elbe die Wahrscheinlichkeit nachgewiesen, dass die Geschwindigkeit des Wassers an der Sohle selbst

gleich Null ist, schon wenige Centimeter über der Sohle aber beträchtliche Zunahmen erfährt.

Die Geschwindigkeitszunahme verschiedener Schichten ist dabei dem Abstände von der Sohle umgekehrt proportional, die Geschwindigkeits-scala entspricht der logarithmischen Linie. Bei der starken Zunahme der Geschwindigkeiten von der Sohle an aufwärts herrscht in geringen Wassertiefen eine grössere Veränderlichkeit in den Geschwindigkeiten der verschiedenen Wasserfäden, als bei grösseren Wassertiefen. Es wird seltener der Fall eintreten, dass in einer Senkrechten sich in grösserer Ausdehnung gleiche Geschwindigkeiten einstellen. Dies ist aber die Vorbedingung für das Auftreten von Wirbeln und Strudeln mit senkrechter Achse. Ich möchte daher der Vermuthung Ausdruck geben, dass im Modell die Strudel mit senkrechter Achse nur an den lothrechten Wänden nicht aber im freien Strome sich so leicht bilden werden, wie dies in der Wirklichkeit geschieht. Der Strudel ist aber keine überflüssige Erscheinung, sondern im vorliegenden Falle gerade die Bewegungsform, mittels welcher die Krümmung ihre Einwirkung auf die Tiefe zum Ausdruck bringt. Es scheint mir daher, als ob das Modell nicht alle Bewegungsformen des fliessenden Wassers in gleichem Umfange möchte wiedergeben können, wie solches gerade für die beweisende Kraft der angestellten Versuche wünschenswerth wäre.

Die Entstehung der grossen Tiefen.

Die Frage, welcher Mittel und Wege sich der Strom bedient, wenn er in der Krümmung des Flusses auf eine Vertiefung der Fahrrienne hinwirkt, ist hier zu wichtig, um nicht wenigstens so weit wie möglich Erwähnung zu finden. Es steht fest, dass das Gefälle in den gekrümmten Stromstrecken geringer ist, als in der geraden Strecke. Durch die fortwährende Aenderung der Richtung erfährt die Stromkraft ebenfalls eine Schwächung. Müsste dieser Abnahme der beschleunigenden und bewegendenden Kraft nicht eine Abnahme der Tiefen entsprechen? Und doch wird in Wirklichkeit im Zuge einer gekrümmten Strecke die Tiefe um so grösser, je mehr sich die Krümmung verschärft.

Eine Beobachtung des Stromes lehrt nun, dass aussergewöhnliche Tiefen immer da vorhanden zu sein scheinen, wo sich Strudel- oder Wirbelbildungen bemerkbar machen. Der Strudel ist scheinbar kein Endzweck, in dem die lebendige Kraft des Stromes erstirbt, sondern nur Mittel zum Zweck, eine Umsetzung der Bewegung, eine Ablenkung der Kraft in veränderte Richtung.

Ein Wirbel ist ein Strom, dessen Einfluss- und Ausflussöffnung zusammenfallen. In sich selbst gewinnt oder verliert der Wirbel daher keine lebendige Kraft. Er entwickelt sich unter der Einwirkung eines einmaligen Antriebes. Jeder Wirbel ist aber geneigt, in einen Strudel

überzugehen, d. h. einen Fortschritt in Richtung seiner Achse anzunehmen.

Dann entzieht er dem Strome mittels der neu hinzutretenden Wassermengen fort und fort lebendige Kraft, welche er zum Theil auf Ueberwindung der Bewegungswiderstände an seinen äusseren Begrenzungen, grösstentheils aber auf Angriff der Sohle verwendet. Dieser Angriff ist ihm um so leichter, als er die Sohle in einer fast senkrechten Richtung erreicht. Der Strudel gewinnt in sich selbst an Kraft, da die einzelnen Wasserfäden ein stärkeres Gefälle annehmen als im Strome und daher eine grössere Beschleunigung erhalten. Die Strudelbewegung bietet einem System von Punkten eine veränderte Bewegungsrichtung. Sie bewirkt in lothrechter Richtung eine Stärkung der lebendigen Kraft und einen schnelleren Fortschritt im Sinne der wirkenden Anziehungskraft der Erde. Die Möglichkeit, dass ein Wassertheil unmittelbar der wirkenden Kraft folgen kann, entspricht dem natürlichen Bestreben des thunlichst schnellen Fortschritts in Richtung der wirkenden Kraft. Die Strudelbewegung mit lothrechter Achse wird sich daher überall da zu entwickeln streben, wo sie möglich ist.

Wenn sich ein Wirbel oder Strudel bilden soll, so müssen eine Reihe von senkrecht untereinander befindlichen Punkten der fliessenden Wassermenge gleiche Geschwindigkeiten besitzen. Bei nahezu horizontaler Oberfläche ist die Wirbelbewegung daran gebunden, dass ihre Achse parallel oder senkrecht zur Oberfläche steht. Sehen wir hier von den Wirbeln mit horizontaler Achse ab, so wird für die Bildung von Wirbeln mit senkrechter Achse die Vorbedingung bestehen, dass an dem Orte ihrer Bildung im Querprofil die Linien gleicher Geschwindigkeit einen senkrechten Verlauf zeigen müssen. Bei unendlich breitem Strom und gleicher Wassertiefe ist eine Strudelbildung unmöglich, da hier die Linien gleicher Geschwindigkeit nur horizontal verlaufen können, die Geschwindigkeit von der Sohle bis zur Oberfläche stetig zunimmt. In der Nähe des Ufers geht aus den Messungen aber fast allgemein die Thatsache hervor, dass die grösste Geschwindigkeit nicht in der Oberfläche, sondern unter Wasser, oft in bedeutender Tiefe unter der Oberfläche liegt. Die Linien gleicher Geschwindigkeit liegen hier um mehr als 90 Grad gegen den Horizont geneigt.

Es muss eine Stelle im Querprofil herrschen, wo diese Linien genau um 90 Grad geneigt sind und senkrechten Lauf, wenigstens in einiger Ausdehnung zeigen. Dies ist die Zone der Strudel. In gleicher Weise wie die Sohle auf eine zunehmende Verringerung der Geschwindigkeiten hinwirkt, je näher der Wasserfaden ihr gelegen ist, ebenso wird auch das Ufer in horizontaler Richtung auf die näher gelegenen Strömungen stärker einwirken, als auf die entfernteren.

Was für die Sohle das Gefälle ist, das ist für das Ufer die Krümmung. Wenn in der Sohle die Grösse des Geschiebes und Rauigkeit des Bo-

dens von Einfluss ist, so wird am Ufer der verschiedenartige Ausbau desselben eine Wirkung äussern müssen.

Diese ganze Sache ist indessen wenig geklärt, und wäre es gerade für die Beantwortung mancher hier sehr wichtiger Fragen sehr erwünscht, wenn die Aufmerksamkeit der Ingenieure sich dem Studium der Einwirkung des Ufers auf die Stromgeschwindigkeit zuwenden wollte. Mit diesem Studium hängt die Erforschung der Strudelbewegung eng zusammen. Diese Bewegung bildet in den Krümmungen keine Ausnahme, sondern ist die Regel. Sie ist um so kräftiger und entwickelter, je stärker die Krümmung ist. Es besteht daher eine thatsächlich begründete Vermuthung, dass der Strudel das Mittel ist, dessen sich der Strom bedient, um in gekrümmten Strecken eine grössere Tiefe zu erzeugen.

Die Grösse der Krümmung.

Wenn dies aber zutrifft, dann erscheinen die grossen Tiefen unter einer anderen Beleuchtung. Sie bilden sich dann nicht nebenbei von selbst, sondern sie sind das Ergebniss geopferter Stromkraft. Opfer für nutzlose Tiefen sind aber zweckwidrig, so lange es auf den Uebergängen an Tiefe und an ausreichender Stromkraft für Herstellung der erforderlichen Tiefen gebricht. Das Maass der kleinsten Tiefe, nicht dasjenige der grössten Tiefe, ist entscheidend für die volkswirtschaftliche Bedeutung des Stromlaufs. Es würde am vortheilhaftesten sein, überall eine gleiche Tiefe der Fahrrinne anzustreben, da es dann möglich wäre, die vorhandene Kraft des Stromes am weitgehendsten nutzbringend zu verwerthen.

Die Gesetze des I. Theiles zeigen nun zwar, dass eine überall gleiche Tiefe der Fahrrinne kaum erreichbar sein möchte. In den gekrümmten Strecken herrscht eben eine grössere Tiefe, und vermeiden lassen sich Krümmungen nicht. Sobald aber die Krümmung ein bestimmtes Maass überschreitet, werden grössere Tiefen geschaffen, als nutzbar sind. Dieselben verzehren nicht nur für ihre Unterhaltung fort und fort Stromkraft, sondern sind von Breiteneinschränkungen und Gefällwechsell begleitet, die auf Verwilderung des Stromes hinwirken. Wo die Grenze für die Maximalkrümmung liegt, würde aus der Beziehung auf Grund des 2. Gesetzes (Seite 12) entnehmbar sein und würde sich richten nach den erhobenen Ansprüchen auf Fahrtiefe. In der Krümmung liessen diese Ansprüche sich befriedigen. Sie würden aber ihre Grenze finden auf den Uebergängen von einer Krümmung in die andere, wo nicht jede beliebige Tiefe erreichbar ist, sondern eine von der Wassermenge und der Rauigkeit bedingte Grenze geboten wird. Ueber diese Grenzen hinaus zu gehen bei den Ansprüchen an Stromtiefe in den gekrümmten Strecken, wäre unzweckmässige Verwendung der Stromkraft.

Würde die Regulirung eines Flusses in der Weise erfolgen können, dass zunächst die Uebergänge corrigirt und in möglichst vollkommener Form ausgebildet würden, so wäre ein Maassstab gewonnen für die berechtigten

Ansprüche an die Grösse der Krümmung. Es würde sich dabei zeigen, dass diesen Ansprüchen bereits sehr schwache Krümmungen Genüge leisten würden. Auf der in Theil I behandelten Strecke der Elbe herrscht selbst in der kleinsten Krümmung immer eine grössere Maximaltiefe, als auf dem besten Uebergange vorhanden ist. Würde es gelingen, die Uebergänge zu vertiefen, so bestände keine Gefahr, dass die gekrümmte Stromstrecke dieser Besserung nicht zu folgen vermöchte, denn alle Correctionen gekrümmter Stromstrecken sind von unmittelbaren Erfolgen begleitet. Selbst die schwächste Krümmung würde sich mit grösserer Aussicht auf Erfolg corrigiren lassen, als der beste Uebergang, wenn die gekrümmte Strecke nicht zu kurz wird. Kurze schwach gekrümmte Strecken sind allerdings die allerungünstigste Grundform, da sie der Strömung keine bestimmte Weisung geben. Bei hohem Wasser gewinnt ein Strom mit vielen kurzen, schwach gekrümmten Strecken das unbestimmteste Aussehen, die Uferlinien stehen vollständig ausser Beziehung zur Richtung des Thalwegs, die kleinen Krümmungen und Ausbuchtungen bilden nur Unebenheiten, Rauheiten des Ufers, an denen der Stromstrich in grossen langgedehnten Hauptzügen vorüberleitet. Grössere Ausbuchtungen rufen die Bildung von Kolken auf der Convexen und von Uebergängen in der Concaven hervor, so dass zwischen der Thalrinne und den Uferlinien sich bei Niedrigwasser der unnatürlichste Contrast bemerkbar macht.

Die Krümmungen sollen also nicht zu gross, die gekrümmten Stromstrecken nicht zu kurz gehalten werden.

Für das Maass der Krümmungen bietet sich aber aus praktischen Rücksichten eine Grenze. Die Erwägung, dass es von Vortheil sei, das Maass der Krümmung möglichst gering zu wählen, würde dahin führen, gerade Stromstrecken zu bevorzugen. So wenig nun principiell dagegen zu sagen ist, wenn man mit einer constanten Wasserführung zu thun hat, so dürfte doch bei unseren Strömen im allgemeinen mit Rücksicht auf die wechselnde Wasserführung es sich in geraden Stromstrecken nicht mehr um den Ausbau von Normalbreiten sondern um die Herstellung von Normalprofilen handeln. In der gekrümmten Stromstrecke wird sich der Fluss aus eigenem Antriebe ein bestimmtes, nur wenig veränderliches Profil seiner verschiedenen Wasserführung entsprechend schaffen können, da ihm die Ausbildung des convexen Ufers freigegeben ist. Die Fahrtiefe wird sich, wenn die Krümmung nicht allzu gering bemessen ist, auf der concaven Seite halten, und es wird einer besonderen Sicherung der Lage des Stromstrichs für Niedrigwasser nicht bedürfen. In der geraden Stromstrecke wird aber der Fluss in einem Bette, das für Mittelwasser bemessen ist, bei Niedrigwasser die Führung des Ufers verlieren und je nach den Widerständen der Sohle serpentiniren. Die Ausbildung der Tiefe wäre unabhängig von der Form der Ufer, die Regulirung wäre für Niedrigwasser unwirksam. Um der Veränderlichkeit der Fahrinne vorzubeugen und die Bildung eines einheitlichen Stromes für Niedrigwasser zu fördern, müssten

Niedrigwasser-Uferlinien begradigt und festgelegt werden. *Auf geraden Stromstrecken wird also bei wechselnder Wasserführung die Regulirung für Niedrigwasser nothwendig.* Der Ausbau würde weniger den Charakter einer Einschränkung der Profilgrosse als denjenigen einer Begradigung und Umgestaltung der Profilform annehmen. Zu einer Einschränkung liegt kein Grund vor, wenn in einer geraden Stromstrecke keine bestimmte Neigung zur Ansammlung von Sandbänken an bestimmten Stellen vorhanden ist, wenn keine Wendepunkte oder Uebergänge an sich gegeben sind.

Allerdings gibt es in Wirklichkeit einzelne Fälle, welche ausnahmsweise diesem Ausbau des Niedrigwasserprofils auch den Charakter einer Einschränkung beilegen können.

Wie in Theil I hervorgehoben wurde, lässt sich an vielen Stromstellen der Elbe trotz der Regulirung noch heute dieselbe Sandbildung und dieselbe Richtung des Thalweges erkennen, welche vor der Regulirung bestand. Es geht daraus die Thatsache hervor, dass die Gestaltung der Sohle im grossen und ganzen durch höhere Wasserstände erfolgt und von der allgemeinen Oertlichkeit mitabhängt. Diesen Anzeichen wird die Regulirung mit Vorsicht Rechnung tragen, aber sie wird nicht immer dazu im Stande sein, da sie auf die Richtung der Correctionslinien für Mittelwasser und auf thunlichste Begradigung der Ufer Rücksicht nehmen muss.

Diese Collision der verschiedenen Anforderungen ist in geraden Stromstrecken leichter und wahrscheinlicher, als in gekrümmten Strecken. Es wird sich hin und wieder darum handeln können, mit dem Niedrigwasser eine vom Hochwasser begünstigte Sandansammlung zu durchbrechen. Die Verhältnisse liegen hier dann ähnlich wie bei den Uebergängen.

Im allgemeinen aber lassen sich sonst prinzipielle Bedenken gegen die Anordnung geradliniger Ufer aus den in Theil I erörterten Gesetzen wohl nicht herleiten. Auch bietet die Erfahrung direkte Beispiele, dass gerade Linien sich bewährt haben. So erwähnt z. B. der schweizerische Oberbauinspector von Salis in seinem Werke: „Das schweizersche Wasserbauwesen“; Bern 1883, Seite 62: „Als ein recht auffallendes Beispiel kann in dieser Beziehung (gerade Uferlinien) neben manchen anderen, die sich anführen lassen würden, die Plessur bei Chur erwähnt werden. Für dieselbe wurde auf der 1 Kilometer langen geraden Strecke zunächst dem Rhein vor nun 120 Jahren nach einer gewaltigen Katastrophe das jetzt bestehende Bett ausgegraben, und trotzdem die Böschungen desselben nicht versichert sind, und es sich um ein starkes, sehr schwere Geschiebe führendes Wasser von 10⁰/₀₀ Gefälle handelt, so sind diese Böschungen noch niemals beschädigt worden. Die Erklärung dafür kann aber nebst der glücklich gewählten Breite nur in der geradlinigen Richtung gefunden werden“. Allerdings liegen in diesem Beispiele Hochwasserstrom und Niedrigwasserufer in gleicher Richtung. Wo dies nicht der Fall ist —

und bei den natürlichen Flüssen mit unregelmässiger Bedeichung fast immer — da wird in geraden Stromstrecken ein Ausbau der Ufer für Niedrigwasser unentbehrlich sein.

Auch in schwach gekrümmten Strecken könnte diese Nothwendigkeit noch eintreten, wenn die Krümmung zu schwach ist, als dass sie dem Strome eine Führung bietet. Werden die in der Rauhigkeit des Ufers begründeten Unregelmässigkeiten grösser, als die von der Krümmung bewirkten Ablenkungen, so überwiegt ihr Einfluss denjenigen der Krümmung. Der Strom wird dieser von unregelmässigen Uferlinien hervorgerufenen Ablenkung um so eher folgen, je kleiner seine Wassermenge, und je geringer seine Tiefe ist. Je mächtiger dagegen die Factoren sind, aus denen der Stromangriff auf das Ufer sich zusammensetzt, desto mehr ist das Bestreben gerechtfertigt, den Angriffswinkel dieser Kraft von Punkt zu Punkt möglichst klein zu bemessen d. h. den Krümmungshalbmesser möglichst gross zu wählen. Ein bestimmtes Maass für die Grenze der Krümmung wird auch hier erst dem weiteren Studium dieser Verhältnisse entnehmbar werden.

Die Art der Krümmung.

Die in Theil I erwähnten Gesetze geben indess in anderer Hinsicht schon jetzt eine bestimmte Directive. Das 6. Gesetz (loi de la pente du fond) besagt, dass das Gefälle der Sohle abhängig ist von der Veränderlichkeit der Krümmung von Punkt zu Punkt. Einem Wachsen der Krümmung entspricht ein Wachsen der Tiefe und umgekehrt: einer schwächer werdenden Krümmung entspricht eine Abnahme der Tiefe. Der Uebergang vom Wachsen zum Abnehmen, also der Unveränderlichkeit der Krümmung, muss eine constante Tiefe entsprechen. In einer kreisförmigen Curve müsste das Bestreben des Stromes dahin gerichtet sein, eine gleichmässige Tiefe der Fahrinne auszubilden. Nach den Versuchen am Modell zu Bordeaux soll zwar die Fahrinne in kreisförmigen Bahnen einer unbestimmten Regellosigkeit unterworfen sein, soll aber auch nicht zur Ausbildung übergrosser Tiefen neigen. Auf der Elbe tritt in verschiedenen, thatsächlich kreisförmigen Krümmungen, so z. B. in der Strecke 56 des Diagrammes von km. 198,4 bis km. 199,5 auf 1100 m. Länge kein Anzeichen einer Kolkbildung auf, obwohl der Krümmungsradius nur 500 m., und die Gesamtablenkung 174 Grad beträgt. Die Sohle ist fast vollständig eben. Selbst wenn sich aber auch eine unregelmässige Ausbildung der Sohle vollziehen sollte, so sind die Tiefen, welche unter dem Einflusse der Krümmung sich entwickeln, doch immer noch weit grösser, als diejenigen auf den Uebergängen. Die Krümmung darf nur nicht so gering werden, dass sie der Rauheit des Ufers gegenüber zurücktritt und dem Strome keine Führung mehr bietet. Da die Gestaltung gleichmässiger Tiefen vorher als die nutzbringendste Verwerthung der Stromkraft hin-

gestellt wurde, so würden die *kreisförmigen Curven im allgemeinen dem Regulierungsprinzip am Besten entsprechen.*

Die Natur zeigt allerdings kreisbogenförmige Strombahnen ebensowenig wie geradlinige. Das natürliche Flussbett schlängelt sich in stetig veränderlicher Krümmung und Tiefe durch das Thal. Mit dieser Thatsache wird bei Ausführung der Regulirung in engen Stromthälern gerechnet werden müssen, wenn die Kosten nicht ins Unendliche steigen sollen. Man wird hier daher Abstand nehmen müssen von der Durchführung kreisförmiger Curven von Wendepunkt zu Wendepunkt. Auch in breiteren Stromthälern wird die Zusammensetzung von Krümmungen verschiedener Grösse vielfach nicht zu umgehen sein. In all diesen Fällen wird dem 5. Gesetze (*loi de la continuité*) entsprechend jeder schroffe Uebergang aus einer kilometrischen Krümmung in die andere vermieden werden müssen. *Die Curve der kilometrischen Krümmung muss sich continuirlich, nicht sprungweise, ändern*, so dass ihre Tangente stets einwerthig wird. Ob diese Aenderung sonst in dieser oder jener Gestalt sich vollzieht, wird davon abhängen, welche Ausbildung der Thalrinne beabsichtigt wird.

Die Gestaltung der Uebergänge.

Eine aus Kreisbögen und geraden Linien oder aus Kreisbögen verschiedener Richtung zusammengesetzte Grundform würde an den Punkten der Zusammensetzung Wendepunkte und sprungweise Krümmungswechsel zeigen. Die Fahrrinne würde schroffe Aenderungen der Tiefe erleiden, sie würde auf den Uebergängen schroff ansteigen und abfallen; es müsste der Rücken, welcher zwei benachbarte Sandbänke verbindet, steile Böschungen erhalten. Dies müsste besonders dann der Fall sein, wenn die gerade Strecke zwischen den Kreisbögen nur kurz ist. In Befolgung der oben entwickelten Regel, dass thunlichst grosse Krümmungshalbmesser und lange gekrümmte Strecken zur Anwendung gebracht werden sollen, wird dieser Fall besonders häufig eintreten, und die Länge des Ueberganges sich dementsprechend verkürzen.

In dieser *Verkürzung des Ueberganges* scheint ein weiterer Vorzug der aus Kreisbögen und geraden Linien zusammengesetzten Grundform gegenüber der Spiralvolute zu bestehen. Es lässt sich aus dem synoptischen Curven- und Tiefen-Diagramm nicht erweisen, dass bei kurzen Uebergängen von einer Krümmung unmittelbar in die entgegengesetzte Krümmung sich etwa besonders auffällige Minimaltiefen einstellen. Vielmehr erscheinen längere gerade oder schwach gekrümmte Stromstrecken und längere Uebergänge zwischen schwachen Krümmungen in ihrer Fahrtiefe mehr gefährdet zu sein. (Vergl. z. B. km. 215 und km. 223,35; oder km. 187,35 mit km. 180,4 und mit km. 190,97 u. s. w.)

Der den Uebergang bildende Rücken durchsetzt den Strom in schräger Richtung und stellt eine Verbindung zwischen den Sandbänken her. Je

tiefer der Wasserstand sinkt, desto mehr wird die Wirkung dieses Rückens derjenigen eines festen Wehres vergleichbar, und desto mehr nähert die Richtung, in der der Rücken überströmt wird, sich der Senkrechten zum Rücken. Unterstrom wirkt der Uebersturz auskolkend und schafft hier eine bei andauernd niedrigem Wasser *sich mehr und mehr vertiefende und erweiternde Abflussrinne*. In derselben wird der Erweiterung entsprechend sich das Gefälle fortschreitend verringern, und die Höhe des Absturzes vermehrt. Die Rinne gewinnt stromauf an Länge. Die tiefste Stelle in der Oberfläche des Rückens, welche anfangs auf der unteren Hälfte des Rückens lag — der Uebergang — rückt nach und nach stromauf, bis der Uebergang einen Punkt erreicht, wo die Führung der oberen Curve ihn festhält. Hier erst wird derselbe eine feste Lage annehmen und günstigen Falls vielleicht auch eine kleine Vertiefung erfahren.

Diese Verschiebung des Ueberganges aus einer schlanken Form in eine immer schärfere Richtung quer zum Strome und stromaufwärts wird um so wahrscheinlicher, je länger der Uebergang ist. Der lange Uebergang wird gerade dadurch, dass der Strom nicht mehr in Richtung seiner Mittellinie fließt, sondern quer zur Richtung des Rückens abgelenkt wird, bei Niedrigwasser gefährlich, da dem Strome in dieser Bewegungsrichtung ein viel grösseres Profil zu Gebote steht, als sein sonstiges Niedrigwasserprofil beträgt. Wo der Strom auch bei Niedrigwasser Geschiebe führt, schafft er durch Sandablagerungen in den zu grossen Profilen sich selbst die Schranken, deren er bei verschiedenen Wasserständen bedarf, die ganze Fahrrinne gestaltet sich in schärferen Serpentin. Will man dem Strome ein festes Bett geben, so wird man hierauf rücksichtigen, die Uebergangstrecken kurz ausbilden und die Fahrrinne für Niedrigwasser in schärferer Serpentine, als für Mittelwasser anordnen müssen; oder man muss die Ursache beseitigen, welche den Fluss in die schärfere Serpentine drängt, d. h. die Länge des wehrartigen Rückens verkürzen.

Die Regulirung des Ueberganges muss ihre Haupt-Aufgabe also darin suchen, dass die seitliche Rinne unterhalb des wehrartigen Rückens in ihren oberen Theilen geschlossen wird, damit nicht der Strom durch die vorzeitige seitliche Entlastung geschwächt wird, sondern vielmehr seine ganze Kraft auf dem Uebergange concentriren kann. Der Verringerung der Strombreite auf den Uebergängen, wie sie Herr FARGUE in Vorschlag bringt, kann daher nur voll und ganz zugestimmt werden. Die Wirkungsart einer Breiten-einschränkung wirkt auf Stärkung der lebendigen Kraft, ist also grundverschieden von der Wirkung der Grundform, welche immer eine Schwächung der Stromkraft zur Folge hat. Auf der Garonne sind die Uebergänge zum Theil um $\frac{1}{4}$ der Strombreite eingeschränkt, und damit beträchtliche Erfolge in Gewinnung grösserer Wassertiefen zu verzeichnen. Allerdings ist dabei zugleich eine Senkung des Niedrigwasserstandes eingetreten, die dort zwar nützlich war und im Ebbe- und Fluthgebiet mit Freude begrüsst wird, die aber für die oberen Flussgebiete im allgemeinen nicht als zulässig ange-

sehen werden kann. Für die Elbe würde auch schwerlich daran zu denken sein, diese Breiteneinschränkung bis zur Höhe der mittleren Wasserstände, also bis zur Höhe der Bühnenkronen und Deckwerke hoch zu führen. Wenn dadurch auch die Erhaltung grösserer Tiefen auf den Uebergängen gewährleistet erscheint, so würde doch eine Hebung der mittleren und Senkung der niederen Wasserstände unausbleibliche Folge sein. Die Uebergänge sind die Regulatoren des niedrigen Wasserstandes, die Breiten normiren den mittleren Wasserstand. Eine Breiteneinschränkung müsste lediglich die *Umformung des Niedrigwasserprofils* im Auge behalten, dürfte also über Niedrigwasser nicht hinaus reichen.

Dieser Einschränkung würde eine Vertiefung der Fahrrinne auf dem Uebergange ebenso sicher folgen, wie bei der Regulirung überhaupt bis her die Tiefen gewachsen sind. Das Gefälle in der Uebergangstrecke würde gemildert, in der oberen Krümmung vermehrt. Dieses vermehrte Gefälle in der oberen Krümmung droht nun eine Verstärkung der Strudelbildung und Vermehrung der Tiefen auch in den Krümmungen herbeizuführen, welcher vorzubeugen sein wird, wenn nicht der Niedrigwasserstand sich allgemein unzulässig senken soll. Der Widerstand, welcher früher auf dem Uebergange lag, wird in die Krümmung verlegt werden müssen. Erreichbar ist dies durch eine *Verbauung der grossen Tiefe mittels Grundschwellen*.

Doch müssen dieselben in ausreichender Zahl vorhanden sein, um der verstärkten Strudelbildung zu begegnen. Mit dem Einbau der Grundschwellen in den Krümmungen wird eine beträchtliche Versandung der grossen Tiefen weniger verbunden sein, als eine entsprechende Vergrösserung der Breite bei Niedrigwasser. An den Tiefen wird so lange nichts geändert werden, als die Strudelbewegung erhalten bleibt.

Ob es möglich sein wird, der Strudelbewegung durch schwächere Neigung und Abböschung des concaven Ufers, oder durch terrassenförmige Abstufung desselben zu begegnen, muss besonderen Untersuchungen und Versuchen vorbehalten bleiben. Ausgeschlossen erscheint diese Lösung nicht, da es wahrscheinlich ist, dass man in einer gegebenen Krümmung durch die Art der Uferbefestigung auf den Verlauf der Linien gleicher Geschwindigkeit im Querprofil Einwirkung zu üben vermag.

Die Beseitigung der grossen Tiefen in den Krümmungen erscheint hiernach mit einer besseren Ausbildung der Uebergänge eng verbunden.

Was die *Gestaltung der Grundform des Ueberganges* anlangt, so wird im allgemeinen damit gerechnet werden müssen, dass es sich nur um eine Nachregulirung, um einen feineren Ausbau einer fertigen Mittelwasserregulirung handelt. Aber auch wo dies nicht der Fall ist, wird die Kostenfrage und die weiteste Rücksichtnahme auf die Schiffbarkeit in Betracht kommen. Weit vorspringende Niedrigwasserwerke könnten den Schiffen vielleicht gefährlich werden. Niedrige Deckwerke in der Concaven möchten hinterspült, ihre Traversen vielleicht durchbrochen werden.

Der Hauptwerth wurde oben auf eine Verkürzung des Ueberfallrückens

gelegt und liegt hierin im allgemeinen schon die Richtung und Lage der Correctionslinien angedeutet. Ob die Verkürzung des Rückens am oberen oder am unteren Ende desselben vorgenommen wird, möchte im Grunde genommen unwesentlich sein, doch erscheint es mit Rücksicht auf die im 1. Gesetz des I. Theiles (*loi de l'écart*) ausgedrückte Verschiebung der Uebergänge richtiger, den *Uebergang auf der unteren Hälfte des Rückens zu belassen* und zunächst nur eine Verschiebung des oberen convexen Ufers bis auf die Krone des Rückens in Niedrigwasserhöhe vorzunehmen. Die Ueberführung des convexen Ufers in die Richtung des Rückens würde allmählich derart vor sich gehen, dass eine continuirliche Abnahme der Krümmung des convexen Ufers erfolgte, bis sie im Wendepunkte der Mittellinie zu Null wird. Hier würde die Richtung des Niedrigwasserufers dem jenseitigen Mittelwasserufer parallel laufen und das Niedrigwasserprofil bis zu der beabsichtigten Minimalbreite einschränken. Diese Richtung wäre zugleich die Endtangente der kreisförmigen Curve des sich stromab anschliessenden concaven Ufers für Niedrigwasser, während die Uferlinie für Mittelwasser in ihrer Krümmungsgrösse allmählich von Null bis zur Grösse der Kreiskrümmung wachsen würde. Für Niedrigwasser wären die Krümmungen der sowohl oberhalb wie unterhalb des Wendepunktes gelegenen concaven Ufer kreisförmig, der Uebergang, was diese Ufer anlangt, schroff, was die Mittellinie anlangt, allmählich und continuirlich. Die Einschränkung wäre eine einseitige, liesse sich leicht in das bestehende System einfügen, wäre der Collision mit der Schifffahrt entzogen und würde mit verhältnissmässig geringen Kosten verknüpft sein.

Lässt sich bei langgestreckten Uebergängen hierdurch noch keine hinreichende Beschränkung des Rückens erreichen, so wird in Fortsetzung der Krümmung des oberen concaven Ufers auch auf dem anderen Ufer eine besondere Correctionslinie für Niedrigwasser abgezweigt, und eine Verkürzung des Rückens in seinem Anschluss an das untere convexe Ufer erreicht werden können.

Die Einschränkung wird dann eine doppelseitige. Sie wird besonders dann angezeigt sein, wenn die untere gekrümmte Stromstrecke in ihrer Krümmung allmählich zunimmt, der Sand auf dem convexen Ufer also verhältnissmässig spät beginnt.

Wie im einzelnen Falle sich die Verhältnisse gestalten, dürfte so vielfachen Modificationen unterliegen, dass allgemeine Regeln über die Grundform und über die Darstellung des Minimalbettes die Sache nicht erschöpfen würden. Jedenfalls wird es im einzelnen Falle stets einer eingehenden Aufnahme der Stromtiefen vom tiefsten Punkte der oberen bis zum tiefsten Punkte der unteren gekrümmten Strecke bedürfen.

VORSCHLÄGE.

Die Vorschläge, welche auf Grund der vorstehenden Untersuchungen der Beschlussfassung unterbreitet werden können, sind folgende:

1. *Es empfiehlt sich, das Studium der Beziehungen zwischen der Grundform der Flüsse und der Tiefe der Fahrrinne fortzusetzen. Dabei ist dem Einflusse der verschiedenen Regulirungswerke und Uferausbildungen auf die Tiefe der Fahrrinne Aufmerksamkeit zuzuwenden.*

2. *Zur Verhinderung des Serpentinirens empfiehlt sich in geraden Stromstrecken ein Ausbau der Ufer für Niedrigwasser.*

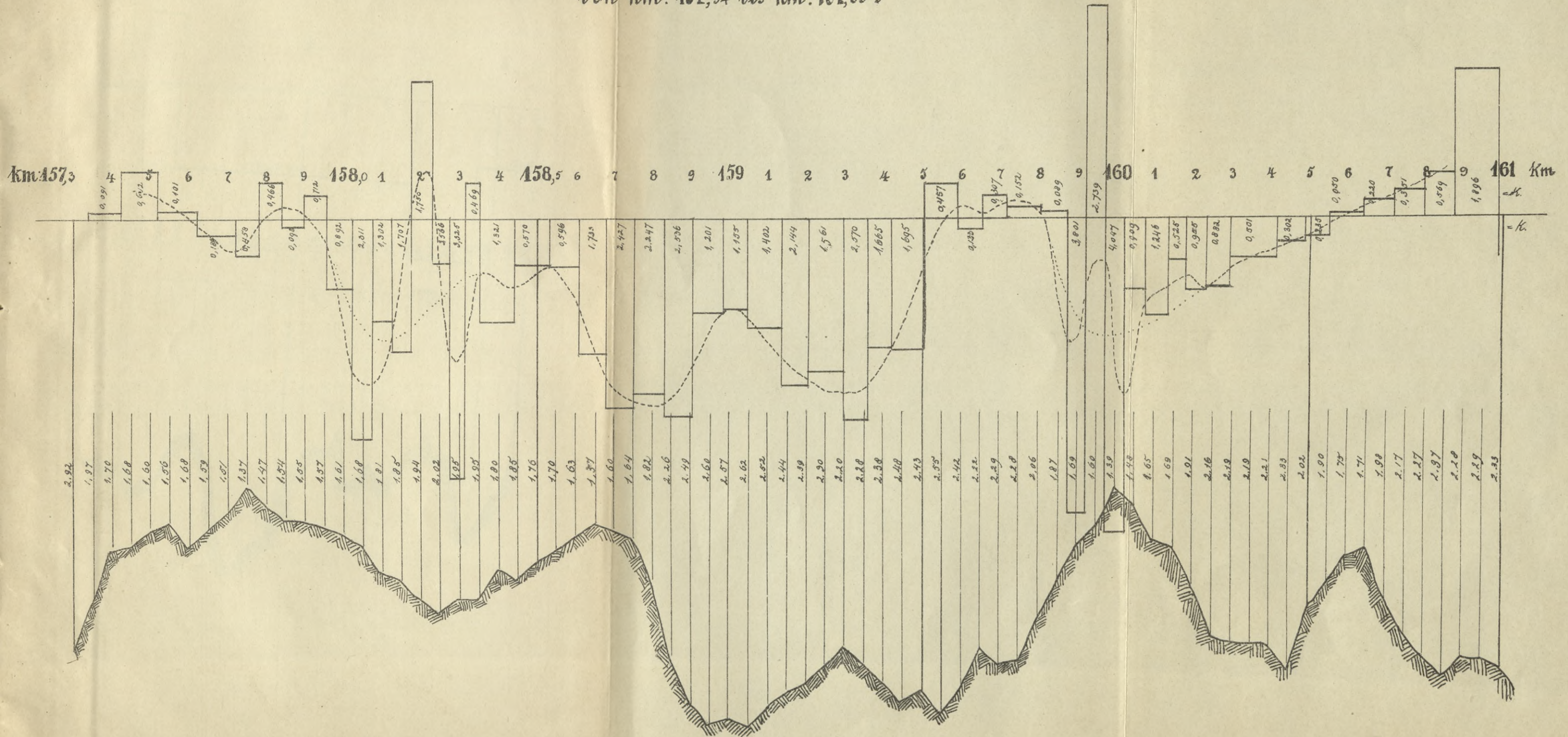
3. *Zur Vermeidung der tiefen Kolke sollen die Krümmungshalbmesser möglichst gross, aber nicht so gross gewählt werden, dass der Stromstrich seine Anlehnung an das concave Ufer verliert.*

4. *Für Ausbildung gleichmässiger Tiefen der Fahrrinne sind kreisförmige Curven geeignet. Ist innerhalb derselben Curve die Anwendung verschiedener Krümmungen durch die Oertlichkeit bedingt, so soll der Uebergang von einer Krümmung in die andere sich continuirlich, nicht sprungweise, vollziehen.*

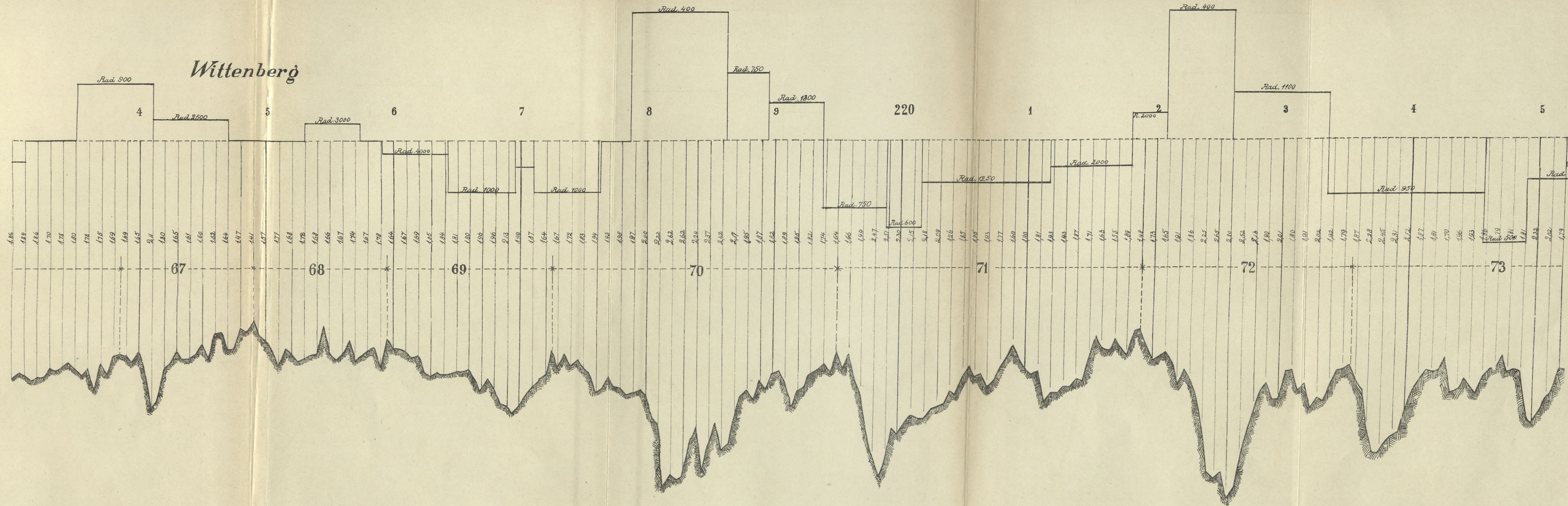
5. *Für Verbesserung der nutzbaren Fahrtiefe ist auf den Uebergängen eine Einschränkung der Niedrigwasserbreite, in den starken Krümmungen eine Verbauung der übergrossen Tiefen zu empfehlen.*

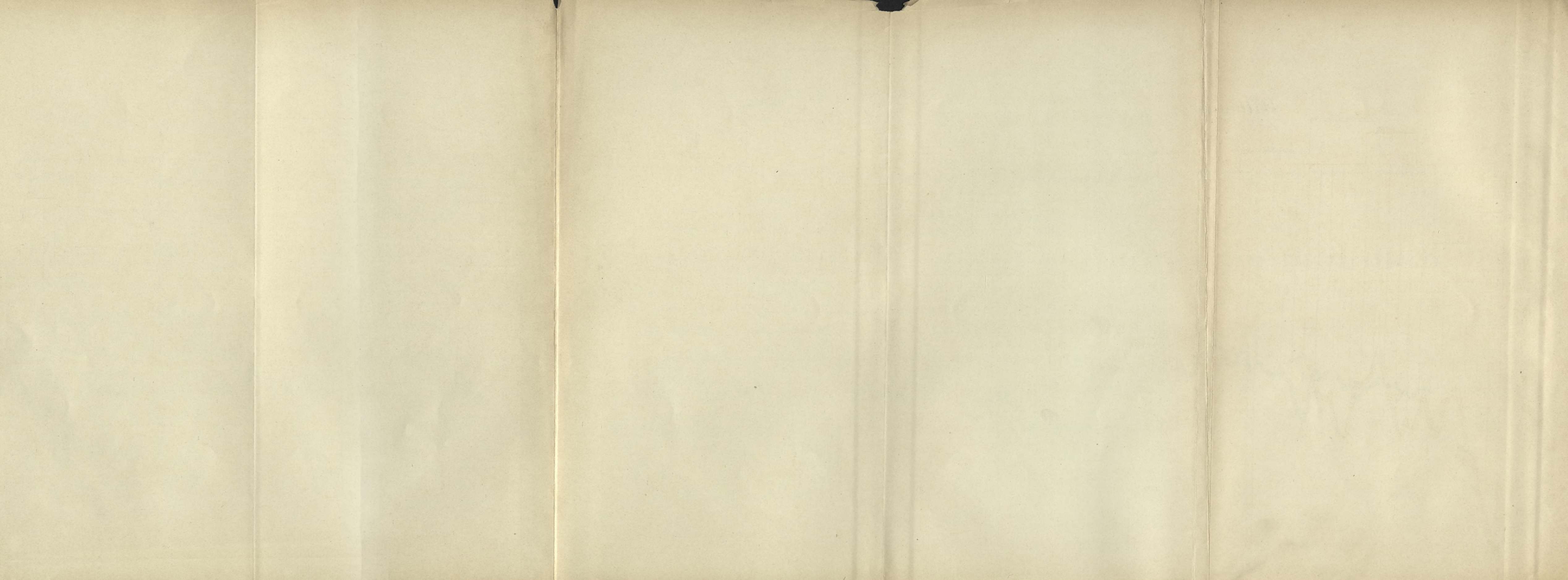
Synoptisches Curven- und Tiefendiagramm der Elbe

von km: 157,34 bis km: 161,00 :

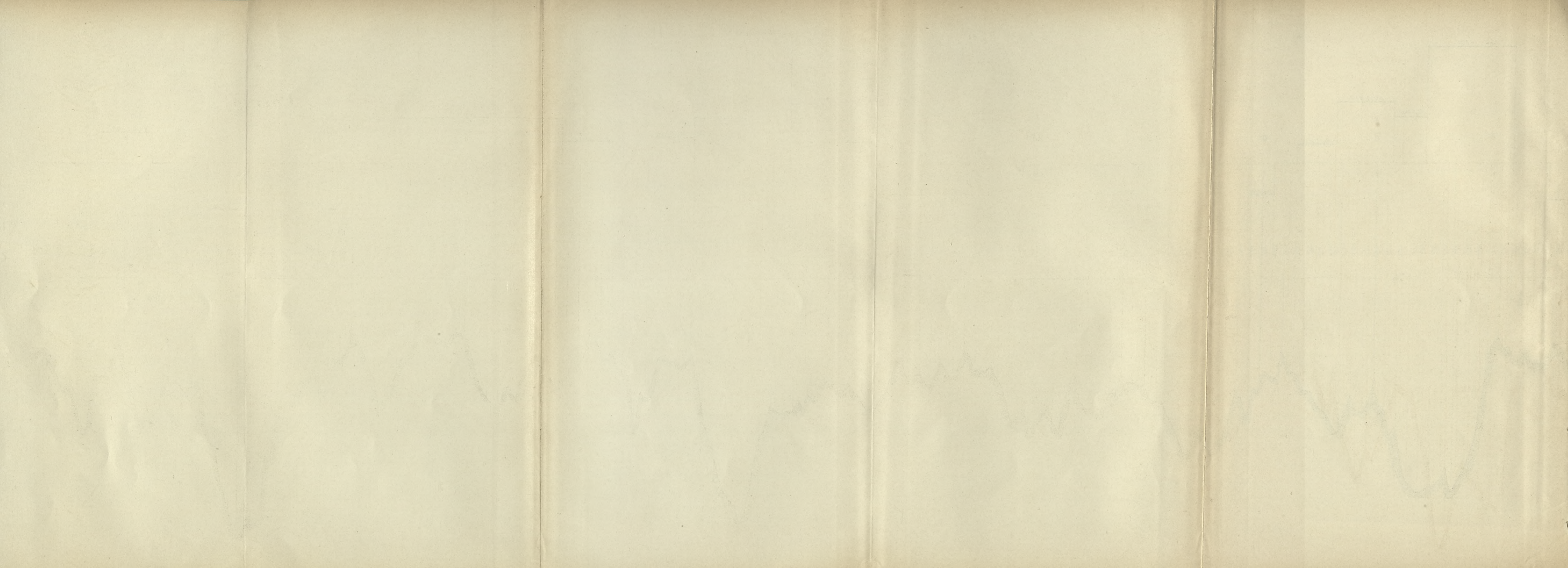


Wittenberg

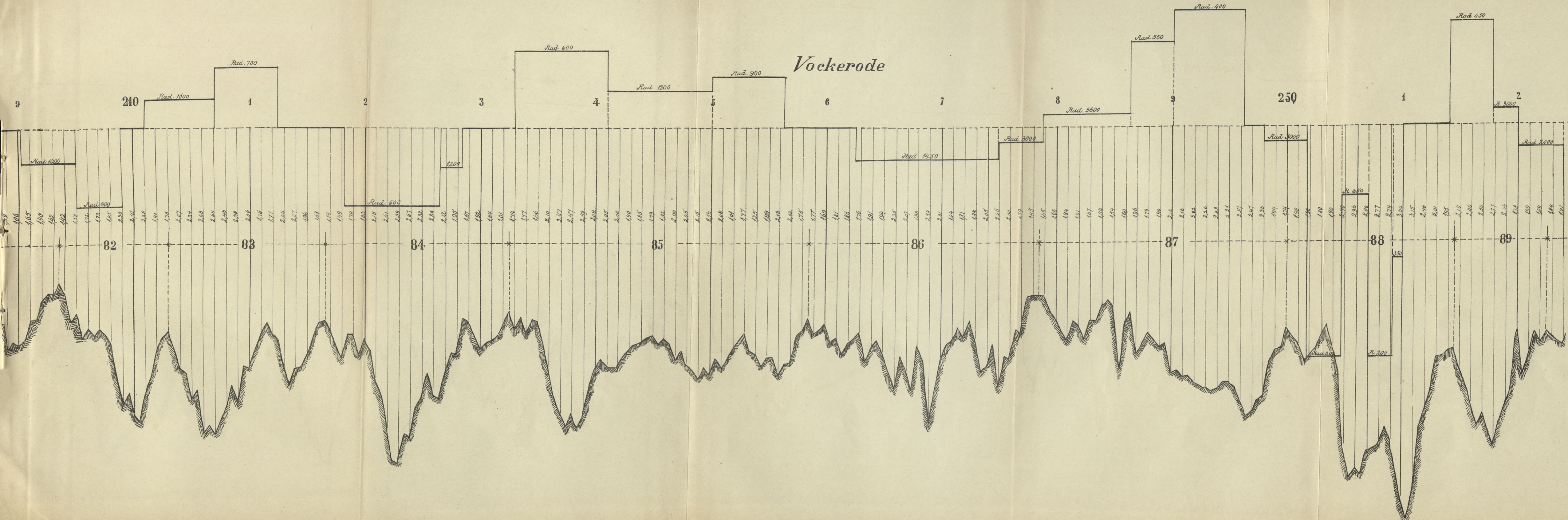








Vockerode



Rosslau

