



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000305737

REGULIERUNG  
GESCHIEBEBEFÜHRENDER FLÜSSE  
INSEKTIEN  
DER WEICHSEL

Eblers

Lehrer an der Technischen Hochschule in Danzig

Als 2. Band des Werkes "Die Weichsel" erschienen



BERLIN 1913

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN

1414





REGULIERUNG  
GESCHIEBEBEFÜHRENDER FLÜSSE  
INSBESONDERE  
DER WEICHSEL

VON

**Ehlers**

Geheimer Baurat, Professor an der Technischen Hochschule Danzig

Mit 9 Textabbildungen und einer farbigen Tafel

*F.N. 30709*



BERLIN 1913

VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN.

REGULIERUNG  
GESCHÄFTSVERGÄNGER  
DIE WIRTSCHAFT

---

Alle Rechte,  
insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen,  
vorbehalten.

---

**BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW**

III 33091



207 28.195

Akc. Nr. 2147/49



## Inhaltsverzeichnis.

---

	Seite
Einleitung . . . . .	1
Nachteile der wandernden Kiesbänke . . . . .	1
Ursachen des Auftretens der wandernden Kiesbänke . . . . .	2
Beseitigung der Übelstände durch Nachregulierung . . . . .	10
Umgestaltung des Querschnitts . . . . .	11
Umgestaltung der Regulierungsmittellinie . . . . .	14
Umgestaltung des Querschnitts in Krümmungen . . . . .	16
Aufsuchung der günstigsten Regulierungsmittellinie . . . . .	17
Verringerung der Regulierungsbreite . . . . .	17
Bauausführung . . . . .	18
Packwerksbau . . . . .	19
Bauvorgang . . . . .	21
Kosten . . . . .	23
Schlußbemerkungen . . . . .	26

---





## Einleitung.

Der Weichselstrom ist auf der preußischen Strecke seit 1835, planmäßig aber erst in der Zeit von 1879 bis 1892 reguliert, indem der bis dahin stark verwilderte, in zahlreichen Armen dahinfließende Strom ein einheitliches, seitlich fest begrenztes Bett erhalten hat. Dieses Bett hat durch Bühnenbauten eine gleichmäßige Breite von 375 m erhalten (377 m = 100 Ruten). Dieser Ausbau schützt zwar die Uferbesitzer gegen Uferabbrüche, Bettverlegungen und in wesentlichem Umfange auch gegen Deichbrüche, aber der Flußlauf zeigt, wie so manche regulierten Flüsse regelmäßig wandernde Kiesbänke. Der Stromstrich geht infolgedessen nicht mit den Streichlinien der Bühnenköpfe, sondern schlängelt sich in großer Regelmäßigkeit von einem Ufer zum andern, so daß zwischen den einzelnen Übergängen ein Abstand von durchschnittlich 922 m vorhanden ist (Abb. 1 s. Tafel, hinten eingehftet).

## Nachteile der wandernden Kiesbänke.

Diese Erscheinung erschwert den Eisabgang in erheblichem Umfange, weil das Eis an den Kiesbänken und flachen Übergängen eine Stütze findet. Auch die Herstellung einer eisfreien Rinne mit Hilfe der Eisbrecher wird infolge der Kiesbänke weit mühevoller, da die Eisbrecher bei mittleren und niedrigen Wasserständen, wie sie zur Zeit der Eisbrecharbeiten herrschen, gezwungen sind, den sämtlichen Krümmungen der Stromrinne zu folgen, also in Abständen von 922 m einen Übergang nehmen müssen und daher geringere Fortschritte zeigen.

Schon für die Entstehung der Eisdecke sind die wandernden Kiesbänke äußerst schädlich. Würden sie nicht vorhanden sein, so würde der Eisstand nur von der Mündung aus allmählich heraufwachsen, in vielen Jahren vielleicht gar nicht entstehen oder wenigstens die Eisdecke erheblich schwächer bleiben als jetzt, wo beim Eistreiben die Eisschollen an den zahlreichen Kiesbänken sich festsetzen und daher überall Eisstand hervorrufen können. Wäre statt des zwischen den Kiesbänken in starken, kurzen Krümmungen mit flachen Übergängen sich windenden Laufes ein mit angemessenen Krümmungen verlaufendes, tiefes Bett vorhanden, würde der Eisstand viel später, also nur bei lange anhaltendem Froste eintreten, die Eisdecke



würde dünner bleiben und die Eisbrecharbeiten würden außerordentlich viel schneller ausgeführt werden, also auch bei ungünstigen Witterungsverhältnissen leicht die Landesgrenze erreichen können. Durch die Herstellung einer Nachregulierung, welche das Wandern der Kiesbänke beseitigt, würde also der Landwirtschaft durch Vergrößerung der Sicherheit gegen die Eisgangsgefahren ein sehr großer Vorteil geboten werden. Aber nicht nur das Eis, sondern auch das Hochwasser findet einen günstigeren Ablauf. Die Krümmungen des Stromstriches sind zwar bei Hochwasser nicht so stark wie bei Niedrigwasser, aber sie sind vorhanden und das Hochwasser muß einen Teil seiner aus dem Gefälle und der Wassertiefe erlangten Kraft zur Umgestaltung der Kiesbänke verwenden.

Werden die Übergänge festgelegt, so erhalten sie bedeutend größere Tiefe, also das Hochwasser geringere Höhe.

Nicht allein der Eisgang und der Ablauf des Hochwassers wird durch den infolge der wandernden Kiesbänke ungünstigen Verlauf des Stromstriches erschwert, sondern in ganz erheblichem Grade leidet auch die Schifffahrt, welche die zahlreichen Untiefen der Übergänge — zwischen der Landesgrenze und Einlage etwa 230 — und die starken Krümmungen durchfahren muß. Zum Vorteil der gesamten Landeskultur muß also eine Verbesserung des Weichselbettes wie aller in ähnlicher Weise durch wandernde Kiesbänke minderwertigen Flußbetten angestrebt werden.

### Ursachen des Auftretens der wandernden Kiesbänke.

Das Auftreten der wandernden Kies- und Sandbänke ist nicht etwa eine vereinzelte Erscheinung lediglich an der Weichsel, sondern findet sich an zahlreichen regulierten Flüssen<sup>1)</sup>, z. B. am Oberrhein zwischen Basel und der Pfalz, an der Donau, dem Inn, an der Merwede, der Elbe und der Oder. Die wandernden Kiesbänke sind keineswegs eine unvermeidliche Folge starker Sinkstoffführung aus der oberen Flußstrecke, sondern sie entstehen durch unzweckmäßige bezw. ungenügende Regulierungsarbeiten.

Auch an der Weichsel ist die Meinung weit verbreitet, daß die wandernden Sandbänke sich nicht beseitigen ließen, weil die unregulierte russische Weichsel zu viel Sand zuführe. Dieses ist ein Trugschluß.

Jeder Flußlauf kann nur so viel Sand führen, wie seiner Schleppkraft entspricht. Die Größe der Schleppkraft ist aber bedingt durch das Gefälle und die Wassertiefe. Das Gefälle der Weichsel ist oberhalb und unterhalb der Landesgrenze gleich groß, dagegen ist die Wassertiefe infolge der Regulierung auf der preußischen Weichsel erheblich größer als auf der russischen Weichsel, daher kann der preußische, regulierte Flußlauf mit Leichtigkeit den durch die unregulierte Weichsel zugeführten Sand abführen.

Weit schwieriger als an der Weichsel lagen die Verhältnisse an der Oder. Dort mußten die aus den wenig oder gar nicht regulierten Gebirgsnebenflüssen wegen des großen Gefälles in erheblichem Umfange ankommenden Sinkstoffe in dem mit weit schwächerem Gefälle fließenden Hauptflusse abgeführt werden. Der stärkste

<sup>1)</sup> Engels, Zeitschr. f. Bauwesen, Jahrg. 1905, S. 663 ff.



Gebirgsnebenfluß der Oder, der Bober, mündete bis vor einigen Jahren rechtwinklig in die Oder. Dabei hatte die Oder unterhalb der Bobermündung ein Gefälle von 1:4000, der Bober aber in der Mündungsstrecke bei Mittelwasser ein Gefälle von 1:1500 und bei Hochwasser von 1:800.

Unter diesen höchst ungünstigen Umständen war die Oder allerdings nicht imstande die aus der Mündung des Bobers austretenden Sandmassen gleichmäßig fortzuführen. Sie lagerten sich daher unmittelbar vor der Mündung im Oderbette ab und verengten es zu einem am rechten Ufer entlanggehenden, vielleicht nur 30 m breiten, aber sehr tiefen Stromschlauche. Beim Eintritt einer Anschwellung der Oder wurde die ganze Sandablagerung beseitigt und ohne Schaden abgeführt. Zwar zeigten sich unterhalb in den stark begradigten Strecken wandernde Sandablagerungen, aber diese erreichten dank der Niedrigwasserregulierung der Oder nur höchstens 0,5 m Höhe über den Rücken der Übergänge und nicht 2 bis 3 m Höhe, wie dieses an der Weichsel und an anderen Flüssen der Fall ist.

Zur Untersuchung der Sandbankbewegung in der Weichsel stand mir zur Verfügung die Sammlung der Tiefenkurvenpläne der Weichselstrombauverwaltung für die Strecke von km 140 bis 148 (Ältere Messung). Auf dieser Stromstrecke werden seit 1897 im Herbst jeden Jahres nach Aufnahme der Querprofile Tiefenpläne hergestellt (s. Tafel). Diese Tiefenpläne lagen dem Verfasser für die Zeit von 1897 bis 1911 vor.

Zunächst zeigte sich, daß die Ablagerung der Sandmassen in einzelnen Bänken mit großer Regelmäßigkeit an beiden Ufern abwechselnd stattfindet. In der Beobachtungsstrecke treten in jedem Jahre 9 Übergänge auf. In wasserreichen Jahren sind diese Übergänge weniger tief ausgelaufen, als in wasserarmen Jahren. Im allgemeinen liegt die Sohle des Flusses auf den Übergängen wenig über oder unter — 1,28 m am Pegel von Kurzebrack = 3 m Wassertiefe bei G. W. = 1,72 m a. P. Da das Ziel der Weichselregulierung eine Sohlenlage von — 1,17 m anstrebt, würde das Ziel als vollständig erreicht anzusehen sein, wenn nicht durch die Sandbänke Eisgang und Schiffahrt erschwert würden. Aber das Ziel ist auch sehr niedrig gesteckt, denn weit kleinere Flüsse zeigen infolge der Regulierung größere Tiefe, z. B. Oder und Elbe.

Da mir zur Aufsuchung von Beziehungen zwischen der Größe der Kiesbankwanderungen und den Wasserständen der Weichsel nur die Wasserstandsbeobachtungen seit 1901<sup>1)</sup> zur Verfügung standen, sind in der Zusammenstellung I die Ermittlungen für die Zeit von 1900 bis 1911 aufgenommen.

Aus der Zusammenstellung I und den Tiefenplänen (Tafel) geht hervor, daß der Kleinstwert der Übergangsentfernung, wie es auch zu erwarten ist, meistens eintritt, wenn die Kiesbank am einspringenden Ufer anliegt, z. B. bei Kilometer 142 sowohl in den Jahren 1900 wie 1903 mit je 820 m und in dem Jahre 1904 sogar mit 770 m, oder bei Kilometer 146 im Jahre 1902 mit 820 m und im Jahre 1907 mit nur 750 m. Umgekehrt treten die größten Längen auf, wenn sich die Kiesbank dem vorspringenden Ufer anschließt, z. B. bei Kilometer 142 im Jahre 1901 mit 1000 m, ferner 1904 mit 1130 m, 1906 mit 1080 m, 1909 mit 1190, 1910 mit 1150 und 1911 sogar mit 1250 m.

<sup>1)</sup> Jahrbücher der Gewässerkunde Norddeutschlands.



Zusammen  
Lage und Vorrücken

Richtung nach	August 1900			September 1901			September 1902			September 1903			Oktober 1904			September 1905		
	Lage	Entfernung	Vorrücken	Lage	Entfernung	Vorrücken	Lage	Entfernung	Vorrücken	Lage	Entfernung	Vorrücken	Lage	Entfernung	Vorrücken	Lage	Entfernung	Vorrücken
	km	10 m	10 m	km	10 m	10 m	km	10 m	10 m	km	10 m	10 m	km	10 m	10 m	km	10 m	10 m
r	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
l	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
r	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	140,16	—	—	51
l	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
r	—	—	—	140,02	—	60	140,62	—	88	141,50	90	40	141,90	113	20	142,10	101	48
l	140,53	—	39	140,92	90	70	141,62	100	70	142,32	82	35	142,67	77	39	143,06	96	53
r	141,47	94	45	141,92	100	70	142,62	100	64	143,26	94	29	143,55	88	33	143,93	87	54
l	142,29	82	58	142,87	95	64	143,51	89	67	144,18	92	33	144,51	96	39	144,90	97	52
r	143,25	96	56	143,81	94	58	144,39	88	66	145,05	87	38	145,43	92	27	145,70	80	56
l	144,22	97	48	144,70	89	68	145,38	99	55	145,93	88	45	146,38	95	23	146,61	91	55
r	145,14	92	49	145,63	93	57	146,20	82	68	146,88	95	32	147,20	82	30	147,50	89	—
l	146,00	86	50	146,50	87	67	147,17	97	74	147,91	103	—	—	—	—	—	—	—
r	146,92	92	40	147,32	82	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Summe . . .	—	639	385	—	730	514	—	655	552	—	731	269	—	643	248	—	734	410
Anzahl . . .	—	7	8	—	8	8	—	7	8	—	8	8	—	7	8	—	8	8
Durchschnitt	—	91,3	48,1	—	91,3	64,3	—	93,6	69,0	—	91,4	33,6	—	91,9	31,0	—	91,8	51,3

Zusammenstellung II.  
Abstand der Übergänge.

Jahr	Zahl der Abstände	Gesamtlänge	Abstand der Übergänge in m		
			Abstand		Mittelwert
			Kleinster	Größter	
1900	7	6 390	860	970	913
1901	8	7 300	820	1 000	913
1902	7	6 550	820	1 000	936
1903	8	7 310	820	1 030	914
1904	7	6 430	820	1 130	919
1905	8	7 340	800	1 010	918
1906	7	6 490	830	1 080	927
1907	8	7 500	750	1 080	938
1908	7	6 810	800	1 170	973
1909	7	6 950	850	1 190	993
1910	7	7 340	900	1 150	1 049
1911	6	6 160	910	1 250	1 027
Summe . . . . .	87	82 570	9 980	13 060	11 420
Durchschnitt . . .	—	949,1	832	1 088	951,7
Summe 1900—1907	60	55 310	6 520	8 300	7 378
Durchschnitt . . .	—	921,8	815	1 038	922,2
Summe 1908—1911	27	27 260	3 460	4 760	4 042
Durchschnitt . . .	—	1 009,6	865	1 190	1 010,5

stellung I.  
der Übergänge.

Richtung nach	September 1906			Oktober 1907			September 1908			Oktober 1909			September 1910			August 1911	
	Lage	Entfernung	Vorrücken	Lage	Entfernung	Vorrücken	Lage	Entfernung	Vorrücken	Lage	Entfernung	Vorrücken	Lage	Entfernung	Vorrücken	Lage	Entfernung
	km	10 m	10 m	km	10 m	10 m	km	10 m	10 m	km	10 m	10 m	km	10 m	10 m	km	10 m
r	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
l	—	—	—	140,07	—	55	140,62	—	38	141,0	—	30	141,30	108	40	141,70	93
r	140,67	—	46	141,13	106	53	141,66	104	53	142,19	119	26	142,45	115	50	142,95	125
l	141,50	83	46	141,96	83	50	142,46	80	64	143,10	91	45	143,55	110	44	143,99	104
r	142,58	108	36	142,94	98	50	143,44	98	53	143,97	87	48	144,45	90	57	145,02	103
l	143,59	101	43	144,02	108	59	144,61	117	51	145,12	115	28	145,40	95	53	145,93	91
r	144,47	88	63	145,10	108	48	145,58	97	53	146,11	99	35	146,46	106	47	146,93	100
l	145,42	95	61	146,03	93	60	146,63	105	47	147,10	99	66	147,56	110	—	—	—
r	146,26	84	52	146,78	75	65	147,43	80	52	147,95	85	—	—	—	—	—	—
l	147,16	90	41	147,57	79	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
r	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
l	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
r	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Summe . . .	—	649	388	—	750	440	—	681	411	—	695	278	—	734	346	—	616
Anzahl . . .	—	7	8	—	8	8	—	7	8	—	7	7	—	7	7	—	6
Durchschnitt	—	92,7	48,5	—	93,8	55,0	—	97,3	51,4	—	99,3	39,7	—	104,9	49,4	—	102,7

Zusammenstellung III.  
Vorrücken der Kiesbänke.

Peilung	1901	1902	1903	1904	1905	1906	1907	1908	1909	1910	1911
	Sept.	Sept.	Sept.	Okt.	Sept.	Sept.	Okt.	Sept.	Okt.	Sept.	August
WHW . . . . .	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
SHW . . . . .	470	380	554	364	444	470	562	566	646	324	552
SMW . . . . .	476	438	623	188	310	490	370	522	592	312	254
SNW . . . . .	141	181	246	49	107	158	183	196	149	130	66
MW Juli . . . . .	54	90	106	—26	38	76	72	74	46	26	7
„ August . . . . .	183	231	399	15	90	228	193	138	179	103	55
„ September . . . . .	131	151	301	—16	58	104	166	300	93	194	22
„ Oktober . . . . .	96	135	155	34	79	131	178	189	59	176	13
Mittlere Kolktiefe	81	165	139	57	96	134	97	115	90	107	27
Vorrücken d. Bänke seit der letzten Peilung . . . . .	822	822	764	889	878	867	913	867	900	875	888
Peilung . . . . .	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
Anzahl der Monate Vorrücken umgerechnet für 12 Monate . . . . .	481	643	690	336	310	513	485	550	514	397	494
	Mon.	Mon.	Mon.	Mon.	Mon.	Mon.	Mon.	Mon.	Mon.	Mon.	Mon.
	13	12	12	13	11	12	13	11	13	11	10
	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
	444	643	690	310	338	513	448	600	474	443	593



Die Zusammenstellung II zeigt für das Jahr 1908 eine plötzliche Vergrößerung der Übergangsabstände, denn in den 8 Jahren vor 1908 beträgt der mittlere Abstand 922 m, dagegen in den folgenden 4 Jahren 1010 m. Vermutlich liegt der Grund dieser auffälligen Erscheinung in der Erbauung der Pfeiler der neuen Eisenbahnbrücke bei Kilometer 146,17 im Jahre 1908, indem dadurch das freie Pendeln des Stromstriches etwas eingeschränkt wurde. Ist diese Vermutung richtig, zeigt sich daraus, wie leicht es ist, das Pendeln des Stromstriches zu beeinflussen. Da sich der Einfluß dieser Brücke aber nicht auf größere Stromlänge erstrecken dürfte, kann man für die ganze preußische Weichsel den Durchschnittswert von 1900 bis 1907 als wahrscheinlich richtig annehmen, mithin die mittlere Entfernung der Übergänge zu 922 m.

Die Zusammenstellung III enthält zunächst diejenigen Wasserstände, welche vielleicht auf das Vorrücken der Kiesbänke von wesentlichem Einflusse sein könnten. Darunter sind die mittleren Kolkstiefen angegeben. Diese Angabe ist allerdings sehr ungenau, da die Tiefenkurven nur in Abständen von 1 m in die Pläne eingetragen sind. Immerhin scheint sich die an der Oder gefundene Regel zu bestätigen, daß die Kolke bei längerem Anhalten des Wasserstandes in Höhe der Bühnenkronen am tiefsten sind, z. B. bei der Peilung im Jahre 1907, dagegen bei andauernd höheren Wasserständen sich erheblich verflachen, wie dieses 1903 der Fall war.

In der folgenden Spalte der Zusammenstellung III sind aus der Zusammenstellung I die Zahlenwerte für das Vorrücken der Übergänge seit der vorhergehenden Peilung eingeschrieben.

Während die Entfernung der Übergänge, abgesehen von den Jahren nach 1908, sehr gleichmäßig war und in den einzelnen Jahren nur wenig von dem Mittelwerte 922 abwich, zeigt das Vorrücken sehr große Verschiedenheit, nämlich 310 bis 690 m. Der Mittelwert würde 492,1 sein. Ein Vergleich mit den Wasserständen zeigt, daß namentlich höhere Sommerwasserstände, wie im Jahre 1903, ein starkes Vorrücken der Sandbänke herbeiführen. Aber auch bei niedrigen Wasserständen findet durch das Einschneiden des Überganges unter gleichzeitigem Abkanten der unteren Sandbank ein Vorrücken des Überganges statt. Da also das Wasser wohl jederzeit, wenn auch in verschiedener Stärke, am Vorschieben der Übergänge arbeitet und demgemäß das Vorschieben auch von der Länge der Arbeitszeit abhängt, ist in der letzten Spalte die beobachtete Länge des Vorrückens auf die Dauer eines Jahres umgerechnet. Der Mittelwert aus diesen umgerechneten Zahlen beträgt 499,6 m, also nahezu 500 m. Wenn auch diese Zahlen keineswegs Anspruch auf völlige Richtigkeit haben, so nähern sie sich der Wirklichkeit doch vielleicht noch etwas mehr als die für 10 bis 13 Monate beobachteten Größen. Aufklärung können nur erst noch anzustellende genaue Peilungen schaffen. Erwünscht würde die Vornahme genauer Peilungen während mehrerer Jahre etwa alle 2 Monate sein, wenn auch zur Verringerung der Kosten nur für eine kürzere Strecke von etwa 3 bis 4 km. Die Entfernung der Querprofile dürfte nicht weiter als etwa 30 m sein. Für die einzelnen Peilungen im Querprofil wird der Abstand von 2,5 m in Vorschlag gebracht statt der üblichen 5 m Entfernung. Der Mehraufwand an Zeit ist außerordentlich gering, denn die Hauptarbeit besteht in dem Ausbringen des Peilseiles und des Halteseiles. Beim Peilen ist sorgfältig darauf zu achten, daß der Vorarbeiter nur Peilstangen mit Teller verwendet.



Die auf Grund dieser mit der größten Sorgfalt aufgenommenen Querprofile in einem größeren Maßstabe (1:2500) hergestellten Tiefenpläne müßten Tiefenlinien in Höhenabständen von 20 oder 25 cm erhalten.

Ferner würde es erwünscht sein, aus den Kolken zur Zeit ihrer größten Tiefenausbildung mit einem Greifbagger Proben zu entnehmen, um zu ersehen, in welchem Umfange durch die schwer zu bewegenden größten Geschiebe eine Selbstbefestigung des Strombettes gegen die Angriffe der Strömung stattfindet.

Die große Gleichmäßigkeit der Kolktiefe legt die Vermutung nahe, daß der Strom sich nicht tiefer einfressen kann, weil seine Sohle durch die aus den fortbewegten Kiesmassen ausgeschiedenen größten Geschiebe befestigt ist. Diese Geschiebe kann der Strom bei größter Kraftentfaltung zwar noch fortwälzen, aber nicht mehr aus der Tiefe der Kolke herausbefördern.

Die Sohle eines Flusses zeigt stets Kolkbildung, wo die Strömung ein steiles Ufer trifft und abgelenkt wird. Hinter oder neben dem Kolke liegen regelmäßige Anlandungen. Kolk und Anlandung gehören stets zusammen. Je tiefer der Kolk ist, je größer ist die Anlandung. Die gegen die Bühnenköpfe von den Übergängen her in Richtung von 40 bis 60° anprallenden Wasserfäden, s. Abb. 1, waschen infolge der entstehenden Wirbelbewegungen die Sohle tief aus (8 bis 12 m unter dem Normalwasserstand). Die bei der Kolkbildung ausgewaschenen Sandmassen bleiben im allgemeinen auf demselben Ufer. Solange die Sandbank vom Wasser überströmt wird, bewegt sich der Sand auf der flußabwärts ansteigenden Oberfläche der Bank fort. Dabei ist die Oberfläche keineswegs glatt, sondern der Sand lagert sich ebenso wie bei der Bewegung durch Wind schuppenförmig ab. Die ganze Sandbank und auch jede einzelne Schuppe sind in der Nähe des unteren Endes am höchsten. Das untere Ende bildet einen allmählich vorrückenden Steilabsturz. Die auf der sanft ansteigenden schrägen Oberfläche der Sandbank rollend und hüpfend sich entlangbewegenden Kies- und Sandkörner werden beim Hinabgleiten auf dem steilen Abhange nach der Größe geordnet, wobei die größten Körner in die unterste Lage gelangen. Bei steigendem Hochwasser wird der Rücken der Sandbank, ganz besonders wohl an der Kolkseite von der in gestreckterer Linie fließenden Strömung abgerissen und die Sandmassen in den Kolken und auf den Übergängen abgelagert. Bei abfallendem Hochwasser erhöhen sich die Sandbänke und die Kolke vertiefen sich wieder, bis sie bei einem Wasserstande in Höhe der Krone der Regulierungswerke ihre größte Tiefe erhalten. Die Übergänge fangen an sich wieder zu vertiefen, ganz besonders wirkungsvoll geschieht dieses, wenn beim Abfallen des Wasserstandes die Oberfläche der Sandbank trocken oder nahezu trocken wird. Dabei erhält die Sandablagerung an ihrer oberen Seite eine steile, abbrüchige Kante. Da der Sand nun nicht mehr über die Sandbank fortgespült werden kann, weil dort die Strömung zu schwach ist, wird er bei Vertiefung des Überganges zum nächsten Kolke abgeführt.

Bei lange anhaltendem Niedrigwasser wird die am Kolk entlanglaufende Seitenböschung der Sandbank in Höhe des Wasserspiegels eingeschliffen. Der auf diesem Absatze sich fortbewegende Sand kann dann auch bei Niedrigwasser auf dem Übergange eine krebsscherenartige Fortsetzung der Sandbank bilden. Engt dieses Horn den Übergang zu sehr ein, so daß die Strömung an der oberen Kante der unterhalb gelegenen Sandbank nicht hinreichend Platz schaffen kann, so verliert sich die Spitze des Hornes und der dort überlaufende Sand wird zur Füllung des oberen Kolkteiles mit fortgerissen.



Da die Entfernung der Übergänge 922 m und das durchschnittliche Vorrücken der Sandbänke 500 m beträgt, ist jeder Teil des Kolkes etwa 2 Jahr offen, dann aber 2 Jahr verschüttet, um darauf wieder als Kolk aufzutreten. In der Mitte des Strombettes befindet sich ein wallartiger Kern, der bei der jetzigen Bewegung der Geschiebe unangetastet stets an seiner Stelle bestehen bleibt, während der Strom zu beiden Seiten die tiefen Gräben auspflügt und wieder zuschüttet. Die hierbei durch den Querschnitt fortbewegte Masse beträgt etwa 150 000 cbm im Jahre. Bemerkenswert ist die große Ähnlichkeit der Erscheinung der wandernden Kiesbänke an den verschiedenen regulierten Flüssen. Nach Jasmund<sup>1)</sup> beträgt das Wandern der Kiesbänke des Rheines unterhalb Straßburg bei 225 m Regulierungsbreite durchschnittlich 500 m im Jahr, also dieselbe Strecke, die vorstehend (S. 6) auch für die Weichsel bei 375 m Regulierungsbreite gefunden wurde. Bei Rheinau soll das jährliche Wandern allerdings 700 m betragen.

Der Abstand der Übergänge beträgt am Rhein durchschnittlich 957 m, nach der von Doell<sup>2)</sup> angegebenen Zusammenstellung zwischen Straßburg und Lauterburg:  $59\,300 : 60 = 988$  m.

Von Lauterburg bis Dettenheim, wo die wandernden Kiesbänke aufhören, betrug die Entfernung der Übergänge nach Faber<sup>3)</sup> in den Jahren 1895 bis 1900 im Mittel 860 m bei einer Normalbreite von 240 m. Der Mittelwert zwischen beiden Werten würde sein  $(988 + 860) : 2 = 924$ . Für die Weichsel ist vorstehend (S. 6) hierfür der fast gleichgroße Wert von 922 m gefunden.

An der oberen Merwe, welche 600 m Breite hat und ebenfalls wie der Oberrhein durch Längsdämme begrenzt wird, beträgt nach der von Jasmund wiedergegebenen Abbildung<sup>4)</sup> die Entfernung der Übergänge rd. 1350 m und das durchschnittliche Vorrücken im Jahr rd. 390 m.

Fragt man nun nach der Ursache dieser höchst unwillkommenen Erscheinung der wandernden Kiesbänke in regulierten Flüssen, so stehen die Ursachen ohne Zweifel mit der bisher üblichen Art der Regulierung im innigen Zusammenhange. Meistens erblickt man die Schuld lediglich in der zu starken Begradigung der Flußläufe, weil dadurch

1. das Gefälle vermehrt wird,
2. das Wasser am einbuchtenden Ufer geringere Führung erhält,
3. die regelmäßig benutzten Ablagerungsstellen des Geschiebes am vorspringenden Ufer der früheren Krümmungen fortfallen.

Die Ursache zu 1 ist sichlich nicht die wichtigste. Wenn auch der Oberrhein um 22,8 v. H. und die Oder um 20 v. H. verkürzt sind, so ist doch das gegenwärtig vorhandene Gefälle bei den die Erscheinung des Pendelns der Stromrinne zeigenden Flüssen noch recht verschieden. Von der Größe des Gefälles und der damit steigenden Schleppekraft hängt die Korngröße des Geschiebes und die allmähliche Senkung des Wasserspiegels durch das Einschneiden des Bettes ab. Während im Oberrhein unterhalb Straßburg mit einem Gefälle von 1:1500 die dort Wacken genannten Kiesstücke Faustgröße haben, zeigen die Kiesbänke der Oder bei einem Gefälle von 1:4000, bezw. der Weichsel mit 1:5800 nur groben Flußsand.

<sup>1)</sup> Handb. d. Ing. T. 3 Bd. 1. 4. Aufl. S. 351 ff.

<sup>2)</sup> Doell: Flußregulierungen, Leipzig, Engelmann, 1896, S. 15.

<sup>3)</sup> Faber, Schiffbarkeit der Donau 1903.

<sup>4)</sup> A. a. O. S. 355.



Die vorstehend unter 2 und 3 erwähnten Ursachen hängen ab von der Größe der Halbmesser der bei der Begradigung verbleibenden Stromkrümmungen. Bei hinreichend kleinem Halbmesser behält der Strom in der Krümmung dauernd seine Lage am einbuchtenden Ufer, und auch unterhalb der Krümmung in einer längeren geraden Strecke bleibt zwar das Pendeln des Talweges bestehen, aber die Übergänge liegen dauernd an derselben Stelle. Es findet also kein Wandern der Kiesbänke statt. Die Wassertiefe auf den festliegenden Übergängen ist infolgedessen erheblich größer (nach Faber 80 v. H.).

Ist aber die grade Strecke sehr lang, tritt allmählich wieder ein Wandern der Kiesbänke ein.

An dem Wandern der Kiesbänke trägt aber die in zu großem Umfange ausgeführte Begradigung keineswegs allein die Schuld, sondern ohne Zweifel hat auch die Form der Strombauwerke viel dazu beigetragen. Der Umstand, daß bei der früher allgemein gewählten Trapezform des Querschnittes die Wasserspiegelbreite des Querschnittes bei N. W. nur wenig schmaler ist, als bei G. W., daß also das Bett für N. W. zu breit ist, kann nicht allein das Schlingeln des Stromstriches veranlassen. Die Breite der geteilten Weichsel ist auf  $\frac{2}{3}$  der ungeteilten Weichsel, also auf 250 m festgesetzt und ausgebaut in der Annahme, daß die Nogat  $\frac{1}{3}$  der Wassermassen dauernd aufnehmen werde. Dieses ist aber gegenwärtig vor Abschluß der Nogat schon längst nicht mehr der Fall<sup>1)</sup>. Schon vor 1899 betrug nach dem Kellerschen Weichselwerke der Anteil der Nogat an der Gesamtwasserführung der Weichsel nur noch 21 v. H., gegenwärtig bei G. W. sogar nur noch 15 v. H. Trotz der gegenwärtig verhältnismäßig schon weit stärkeren Wasserbelastung der geteilten Weichsel zeigt aber diese Flußstrecke die Erscheinung der wandernden Kiesbänke etwa in derselben Weise wie die ungeteilte Weichsel, woraus zu ersehen ist, daß eine Verringerung der Regulierungsbreite für sich allein auf das Auftreten der wandernden Kiesbänke wirkungslos ist.

Kiesbank und Kolk gehören auf das innigste zusammen, wie Tag und Nacht oder Sonnenaufgang und Sonnenuntergang. Keines kann ohne das andere bestehen. Wenn in Flußläufen die Wasserströmung ein steiles Ufer trifft, entsteht ein Kolk, der um so tiefer wird, je größer der Winkel zwischen der Richtung der Wasserströmung und derjenigen des Ufers ist. Ferner wird die Tiefe des Kolkes um so größer, je steiler die Böschung ist, welche durch die Strömung getroffen wird.

Bei der Ermittlung der Regulierungsbreite der Flußläufe hatte man früher stets trapezförmige Querschnitte mit recht steilen Seitenböschungen zugrunde gelegt. An den zahlreichen durch Seitendämme regulierten Flußläufen (Oberrhein, Merwede, Inn, Donau usw.) beträgt dabei das Böschungsverhältnis 1:1 $\frac{1}{2}$  bis 1:2, bei den durch Bühnen regulierten Flußläufen Norddeutschlands dagegen 1:3 bis 1:5. An so steilen Böschungen entstehen Wirbelbewegungen und infolgedessen Austiefungen der Sohle. Eigentlich mußte dadurch in der geraden Strecke ein Querschnitt entstehen, der an beiden Seiten tiefe Rinnen und in der Mitte eine durchlaufende Geschiebeablagerung zeigt. (Abb. 2.) Aber dieser Zustand kann unmöglich von Bestand sein, denn sobald einmal durch einen Zufall in der einen Rinne ein kleines Abflußhindernis etwa durch feste Bodenart oder hineingestürzten Baumstamm auftritt, wird die Strömung von dort abgelenkt und der gegenüberliegenden Rinne zugeführt.

<sup>1)</sup> Ehlers, Zeitschrift. f. d. ges. Wasserwirtschaft. Jahrg. 1908. S. 222 ff.



Die von seitwärts kommende Strömung drückt das in dieser Rinne fließende Wasser schräg gegen das Ufer und schafft dort einen tiefen Kolk, welcher das Wasser noch stärker von der anderen Seite heranzieht. Es bildet sich also dort von der einen

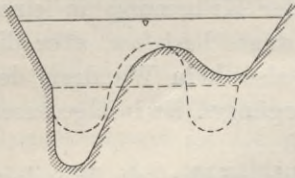


Abb. 2.

Seite zur anderen ein Übergang aus. Das schräg gegen das Ufer anstoßende Wasser wird zurückgeschleudert und kommt somit unter Ausbildung eines zweiten Überganges nun wieder zu der verlassenen Rinne zurück, dort findet wieder Anprallen, Austiefen der Sohle und Zurückprallen des Wassers statt. Sobald die Bewegung einmal eingeleitet ist, wird sie fortgesetzt, bis durch eine stärkere Krümmung der Stromstrich an dem einbuchtenden Ufer festgehalten wird. Je steiler die Böschung ist, je eher wird das Wasser bestrebt sein, an beiden Ufern eine Rinne zu erhalten und so unter Beibehaltung des Pendelns des Stromstriches und des Wanderns der Kiesbänke eine Haupt- und eine Nebenrinne herzustellen. Dieses ist natürlich höchst unangenehm, weil das durch die Nebenrinne abfließende Wasser für die Austiefung der benachbarten beiden Übergänge gänzlich verloren geht. Während an der Weichsel mit ihren flacheren Böschungen von 1:5 die Ausbildung der Nebenrinne nur in geringem Umfange stattfindet, tritt sie am Oberrhein mit seinen viel steileren Böschungen von 1:1½ bis 1:2 fast durchweg auf.

Je kleiner der Anfallswinkel ist, um so länger wird der Stromstrich an dem getroffenen Ufer verbleiben. Je breiter nun das Niedrigwasserbett ist, um so steiler kann der Stromstrich gegen das Ufer anprallen, und um so eher wird er auch wieder zurückgeworfen. In der so geschilderten Weise wird das Pendeln des Stromstriches durch die bei den Flußregulierungen angenommenen trapezförmigen Profile mit steilen Böschungen hervorgerufen.

Würde die zu starke Begradigung des Flußlaufes die einzige Ursache der wandernden Kiesbänke bilden, so würden einer nachträglichen Verbesserung erhebliche Schwierigkeiten im Wege stehen, da ja nur mit sehr großen Kosten eine Wiederherstellung der früheren Krümmungen ausführbar sein würde, immerhin ist aber dieses Mittel an groben Knickpunkten des jetzigen Bettes nicht aus den Augen zu lassen. M. E. liegt die Hauptschuld an der Form, nicht an der Breite des Flussbettes. Dann lassen sich aber durch zweckmäßigen Umbau der Regulierungswerke die Ursachen der Entstehung der tiefen Kolke und damit auch die starken Kiesablagerungen leicht beseitigen.

## Beseitigung der Übelstände durch Nachregulierung.

Nunmehr kommen wir zur Hauptaufgabe dieses Schriftchens, einen Weg zu finden, durch weiteren Ausbau der Regulierung die bestehenden groben Mißstände zu heben, d. h. die wandernden Kiesbänke zu beseitigen.

Zunächst wurde für den Pegel von Kurzebrack nach den Wassermengemessungen der Weichselstrombauverwaltung<sup>1)</sup> die Wassermengenkurve aufgetragen. (Abb. 3 stark ausgezogene Linie.) Alsdann galt es, für die Übergänge einen passenden Querschnitt zu finden. Hierbei mußte natürlich das veraltete Trapezprofil verlassen werden, da dessen durch die Bühnenköpfe von 1:5 gebildeten Böschungen viel zu steil sind und dadurch Auskolkungen hervorrufen.

<sup>1)</sup> Keller, Weichselwerk. Bd. 4. S. 268 ff. und Jahrbücher der Gewässerkunde.



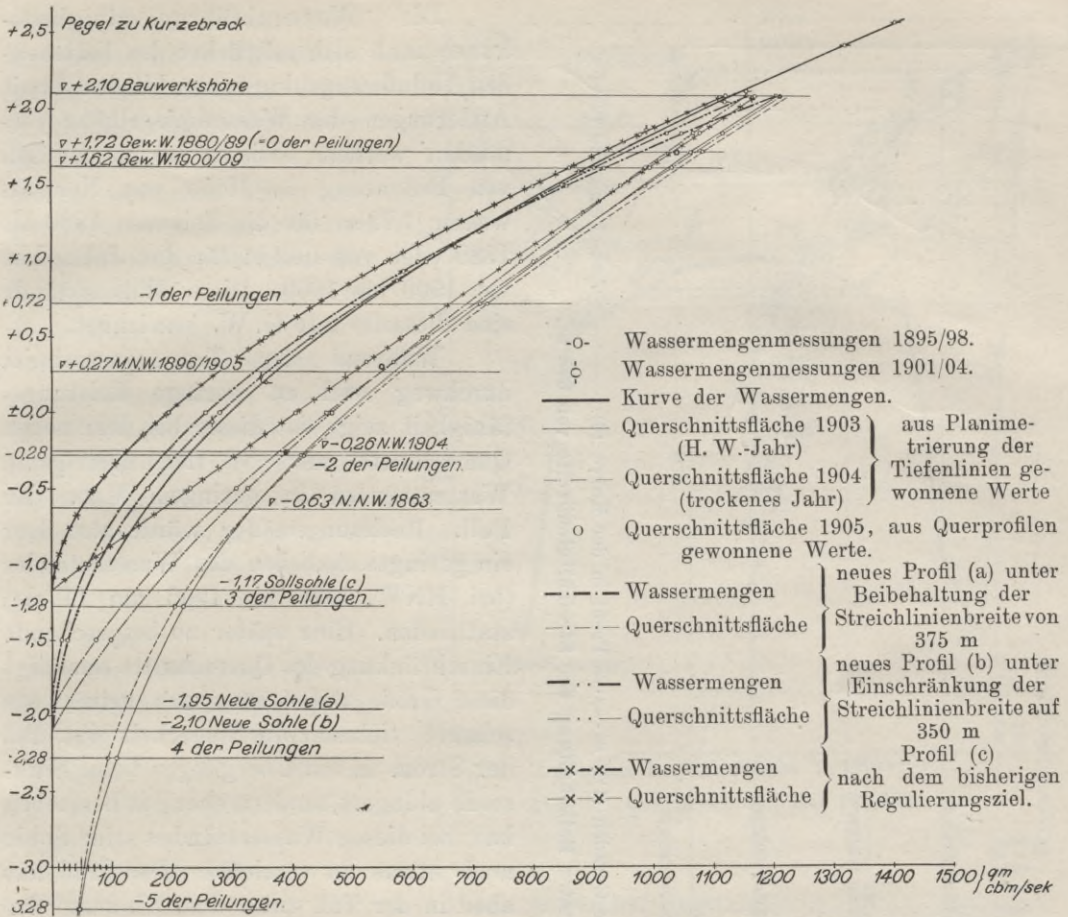


Abb. 3. Wassermengen und Querschnittsflächen bezogen auf den Pegel zu Kurzebrack.

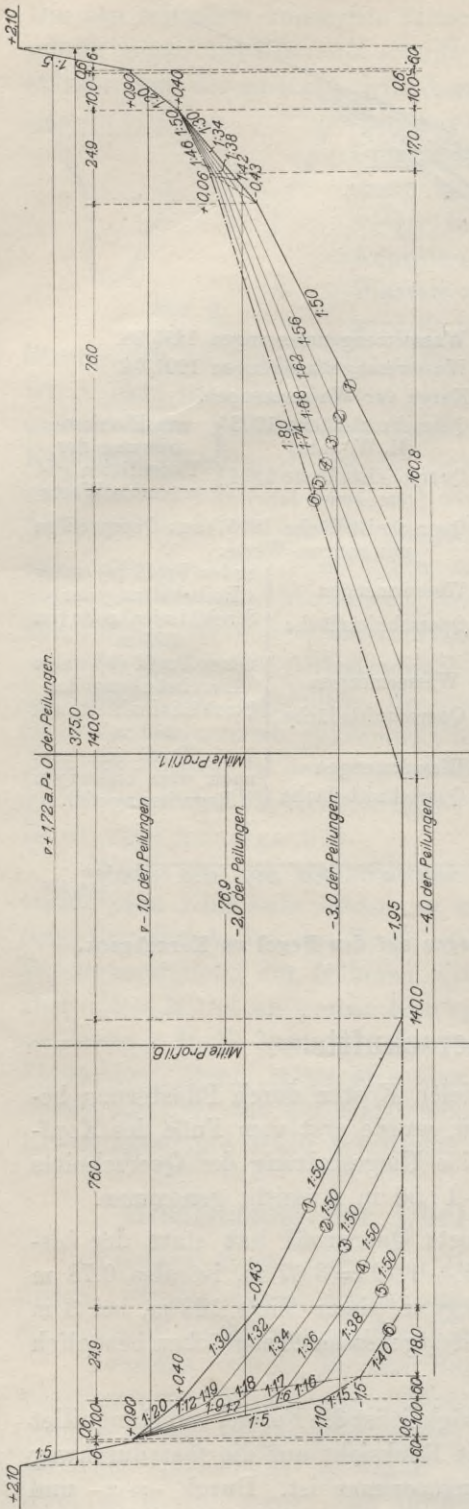
### Umgestaltung des Querschnitts.

Um in gut ausgebauten Strecken die mit vielen Kosten durch Pflasterung befestigten Köpfe der Buhnen beibehalten zu können, wurde erst vom Fuße des Kopfplasters (+ 0,9 am Pegel von Kurzebrack) ab eine Umgestaltung des Querschnitts durch Wahl flacherer Böschungen 1 : 20—1 : 30—1 : 50 in Aussicht genommen.

Das in Abb. 4 dargestellte mit 1 bezeichnete Querprofil hat statt der bisherigen Sohltiefe von 2,89 m eine Tiefe von 1,95 + 1,72 = 3,67 m, ist also 0,78 m tiefer als das Trapezprofil. Die Sohlbreite beträgt in dieser Tiefe 140 m, bei 3 m Wassertiefe aber schon 207 m, genügt also den weitestgehenden Ansprüchen bezüglich Schifffahrt und Eisgang.

Bei der Berechnung der Wasserabführungsfähigkeit ist die Formel von Ganguillet und Kutter in Anwendung gebracht, wobei  $n$  mit Rücksicht auf die fast durchweg vorhandenen Buhnen groß, nämlich zu 0,031 angenommen ist. Durch  $-x-x-$  und  $-x-x-$  Linien ist auf Abb. 3 die Größe und die Abführungsfähigkeit des der bisherigen Regulierung zugrunde gelegten trapezförmigen Querschnitts ebenfalls dargestellt.





Längen 1:2000, Höhen 1:80. — Profil in der Geraden (1). - - - - Profil in der Kurve (2). — Zwischenprofile (2—5).

Abb. 4. Neues Profil (a) unter Beibehaltung der Streichlinienbreite von 375 m.

Die Wasserabführungsfähigkeitskurve muß sich möglichst der bestehenden Abflußmengenkurve anschließen, damit Änderungen der Wasserspiegelhöhe vermieden werden. Dieses ist namentlich von Bedeutung in Höhe von Normalwasser 1,72 m für die Zeit von 1880 bis 1889 oder von 1,62 m für das Jahrzehnt von 1900 bis 1909. Diese Wasserstände sind diesseits mit G. W. bezeichnet.

Während der Trapezquerschnitt durchweg viel zu geringe Leistungsfähigkeit zeigt, ist dieses bei dem neuen Querschnitte nur bei den niedrigsten Wasserständen in geringem Maße der Fall. Rechnungsmäßig würde also dort ein geringes Anheben des Wasserstandes (bei MNW. 1896 bis 1905 um 11 cm) stattfinden. Eine später zu besprechende Einschränkung des Querschnitts ermäßigt diese Größe auf 4 cm, was keineswegs schadet, vielmehr die Sicherheit gibt, daß der Strom in den Übergängen keine Sinkstoffe ablagert, sondern eher das Bestreben hat, bei diesen Wasserständen seine Sohle noch etwas zu vertiefen. Der Fluß hat aber in der Tat unter dem Einflusse der Regulierungsbauten keinen Trapezquerschnitt ausgebildet, sondern fast durchweg einen weit schmäleren und tieferen Querschnitt. (Abb. 5.) Die große Tiefe ist aber für die Erhaltung der Bauwerke sehr schädlich, gibt dem Fahrwasser geringere Breite und enthält vielfach statt des fließenden nur wirbelndes Wasser.

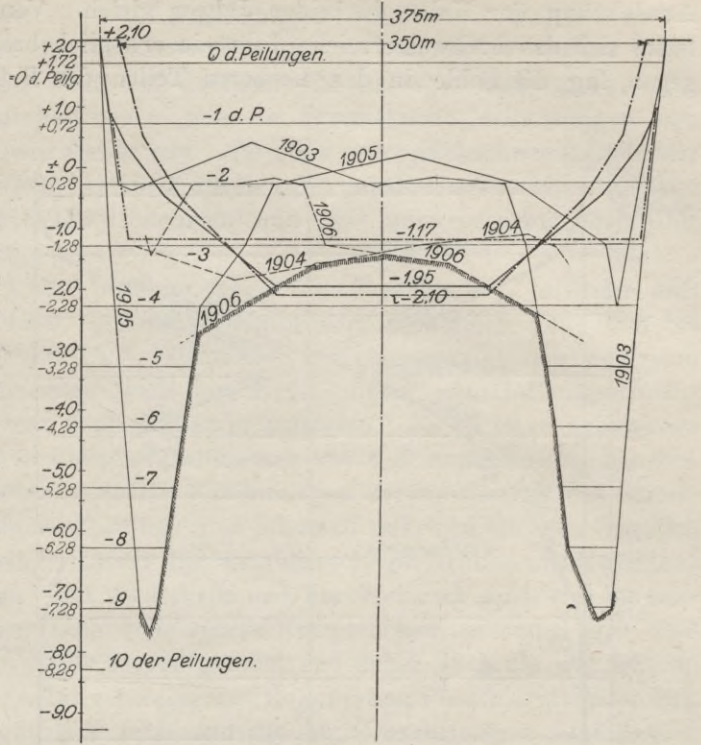
Zur Ermittlung des wirklich vorhandenen mittleren Querschnitts wurden aus den Tiefenplänen für das Jahr 1905 für die Strecke von km 141,34 bis km 145,47 im ganzen 35 Querprofile herausgezeichnet und durch Auftragung in Abb. 6 der mittlere Wert für  $F$  und  $p$  für einzelne Wasserstände ermittelt. Da aber dieses umständliche Verfahren zur Ermittlung der mittleren Querschnittsgrößen geringere

Genauigkeit zeigt, als das weit einfachere Verfahren durch Planimetrierung der Kurven gleicher Wassertiefe und Auftragung der gefundenen Größe von einer senk-



rechten Linie aus in Höhe der betreffenden Tiefenlinie, wobei die Endpunkte durch einen Linienzug verbunden sind, ist dieses genauere Verfahren weiterhin allein angewandt. Die Wasserflächen hinter den Streichlinien der Bühnen sind fortgelassen. Auf diese Weise wurde in Abb. 7 der mittlere Querschnitt der ganzen Strecke von Km 140 bis Km 148 (alte Stationierung) für das Jahr 1903 und 1904 ermittelt. Diese beiden Jahre wurden gewählt, weil das eine Jahr sehr hochwasserreich (1903) und das andere sehr wasserarm war (1904).

Die Kolktiefe war in dem wasserarmen Jahre größer als in dem hochwasserreichen Jahre. Aber schon bei 6,5 m Wassertiefe war die



Längen 1 : 5000, Höhen 1 : 125.

Abb. 5. Querprofil bei Km 145,332.

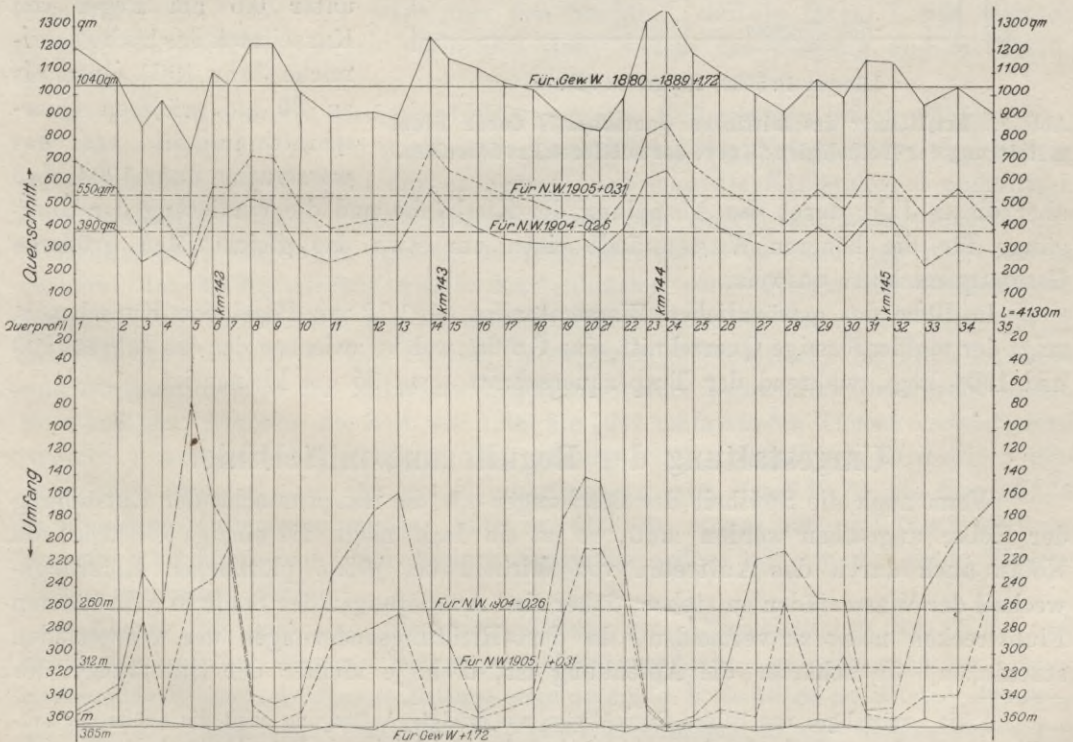
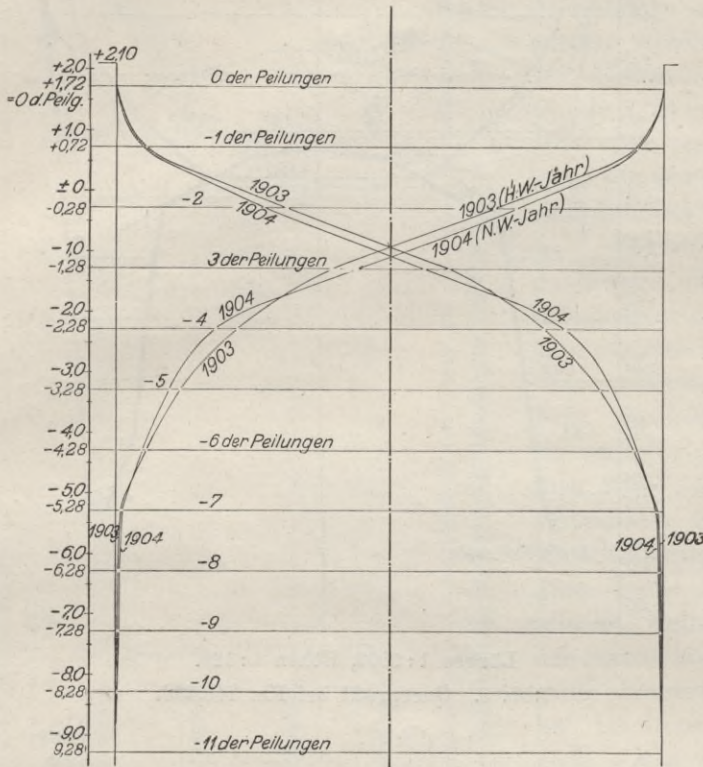


Abb. 6. Ermittlung des mittleren Querschnitts und mittleren Umfangs aus Querprofilen.



Ausdehnung der Kolke in beiden Jahren gleich. Von hier ab bis zu 3,5 m Tiefe hatte sich das hochwasserreiche Jahr ein erheblich breiteres Bett ausgefressen, dagegen lag die Sohle in den flacheren Teilen des Bettes im Jahre 1904 erheblich tiefer als 1903.



Längen 1 : 5000, Höhen 1 : 125.

Abb. 7. Ermittlung des mittleren Querschnitts durch Planimetrierung der Tiefenlinien: Kurve der mittleren Profllbreiten.<sup>1)</sup>

aber dieses Jahr durch die Abspülung der Kiesbänke und die Vertiefung der Übergänge für die höheren Wasserstände einen um etwa das gleiche Maß größeren Gesamtquerschnitt aufweist.

In Höhe des gewöhnlichen Wasserstandes, + 1,72 am Pegel von Kurzebrack, zeigt der muldenförmige Querschnitt eine Größe, welche zwischen der des Jahres 1903 und 1904 liegt, während der Trapezquerschnitt etwa 35 qm kleiner ist.

## Umgestaltung der Regulierungsmittellinie.

Wenn auch die Steilheit der Böschungen als die Hauptursache der Entstehung der Kolke angesehen werden muß, so ist sie doch nicht die einzige Ursache, da Kolke auch durch das Auftreten von Wirbeln bei jedem plötzlichen Richtungswechsel der Wasserfäden entstehen, daher sind Austiefungen der Sohle in gekrümmten Flußstrecken nicht zu vermeiden, da dort Richtungsänderungen der Wasserfäden stattfinden. Je schärfer die Ablenkung ist, d. h. je kleiner der Halbmesser der

<sup>1)</sup> Die zweimalige, von beiden Streichlinien aus erfolgte Auftragung zeigt die Größe der zeitweilig wandernden und die der dauernd zwischen den Steichlinien in Ruhe bleibenden, also nicht wandernden Bodenmassen.

Die durch die Mittellinie der Abb. 7 dargestellte gewöhnliche Wassertiefe, d. h. diejenige Grenzlinie, bei welcher die Hälfte des Bettes größere Wassertiefe und die andere Hälfte kleinere Wassertiefe zeigt, ist im Hochwasserjahr 1903 auf - 2,64 und im wasserarmen Jahre 1904 auf - 2,81, also 17 cm tiefer.

Die durch Flächenermittlung aus der Abb. 7 ermittelte Flächengröße des mittleren Querschnitts für 1903 und 1904 ist durch ——— und — — — Linien in Abb. 3 eingezeichnet. Daraus ist zu ersehen, daß unter 0,6 am Pegel von Kurzebrack das hochwasserreiche Jahr 1903 einen bis zu 20 qm größeren Querschnitt freihält als das wasserarme Jahr 1904, daß



Krümmung ist, um so größer sind die Austiefungen der Sohle. Wollte man die Krümmungen zur Vermeidung der Sohlenaustiefungen mit möglichst großem Halbmesser herstellen, so würde der Fluß sich durch die Krümmungen nicht mehr leiten lassen, sondern pendeln. Hierbei treten aber im Stromstriche Krümmungen auf, deren Halbmesser eine sehr kleine Größe hat. Als günstigster Krümmungshalbmesser kann wohl  $6 B$  angesehen werden, wobei  $B$  die Regulierungsbreite bezeichnet. Diese Krümmung schafft nicht zu große Übertiefen und gibt am vorspringenden Ufer gute Ablagerungsstellen für die Sinkstoffe.

Bei Dettenheim in der Pfalz hört im Rhein das Pendeln des Talweges auf, weil dort Krümmungen von 1500 bis 1620 m Halbmesser vorhanden sind, d. i. bei 240 m Regulierungsbreite 6,3 bis 6,75  $B$ . Unterhalb Dettenheim zeigt sich wiederum unregelmäßige Geschiebeablagerung, weil dort Krümmungen mit Halbmessern bis 4500 m = 19  $B$  und Gerade von 2000 m Länge auftreten. Es ist aber keineswegs nötig, nur Krümmungen mit so kleinem Halbmesser von 6  $B$  anzuwenden, sondern es genügt, wenn hin und wieder so starke Krümmungen zur Festlegung des Stromstriches vorhanden und die dazwischenliegenden schwach gekrümmten oder geraden Strecken nicht gar zu lang sind. Leider hat man diese Regel früher nicht gekannt und daher auch nicht befolgt. Der Oberrhein und die Weichsel sind viel zu sehr begradigt. Die Oder hat zwar noch viele starke Krümmungen, es finden sich aber auch lange Strecken, welche zu sehr begradigt sind und daher auch die wandernden Kiesbänke zeigen. Da aber die Oder bereits eine Regulierung für Niedrigwasser hat, welche der Weichsel noch gänzlich fehlt und die der Oberrhein erst jetzt erhält, erheben sich die Sandablagerungen der Oder nur wenig über die mittlere Sohle, werden daher auch bei Niedrigwasser nicht sichtbar, wie bei der Weichsel und dem Oberrhein. Die Oder zeigt aber den Nachteil, daß in ihrem Laufe vielfach noch zu starke Krümmungen vorhanden sind, welche den Eisgang und die Schifffahrt erschweren.

Unter 4,5  $B$  sollte man den Halbmesser der Krümmungen nicht wählen.

Wie wenig früher die regelmäßige Ausbildung der Krümmungen des Strombettes beachtet wurde, geht daraus hervor, daß man die Krümmungen nicht nach einer bestimmten Kurve (Kreisbogen, Parabel oder dergl.) ausbaute, sondern die Streichlinien in die Pläne beliebig einzeichnete, wobei es dann gar nicht selten vorkam, daß an der Grenze zweier Kartenblätter grobe Knicke der Streichlinien auftraten, wie dieses auch auf der vorliegenden Weichselstrecke z. B. bei Km 141,7 (Abb. 1) der Fall ist. In den älteren Tiefenplänen dieser Strecke bis 1905 ist wohl eine Stationierung in der Mitte des Flußlaufes, aber keine Mittellinie eingetragen. Erst auf den jüngeren, die Zeit von 1906 bis 1911 umfassenden Tiefenkurvenblättern ist eine aus einzelnen Kreisbögen und geraden Linien bestehende Mittellinie eingezeichnet, welche aber für die Stromkrümmung von Km 140,79 bis Km 143,74 nachfolgende Halbmesser angibt: 3200 m, 2000 m,  $\infty$  auf 120 m Länge, 5650 m. Schroffe Übergänge von einer Krümmung in die andere oder in die grade Strecke sollten vermieden werden.

Ebenso wie man bei Eisenbahngeleisen zur Abschwächung der Stöße und Schwankungen der Wagen Übergangsparabeln einschiebt, so sollte man auch beim strömenden Wasser, welches so äußerst empfindlich, d. h. so leicht zu Wirbelbildungen geneigt ist, plötzliche Übergänge aus einer Krümmung in die andere vermeiden und auch dort Übergangskurven mit allmählich wachsendem Halbmesser einschieben.



Dieses ist bei der Anfertigung der Pläne für die Nachregulierung der Oder im Crossener Bezirk 1901 geschehen. Versuchsweise wurden in die Parabelformel  $y^2 = 2px$  die Werte  $p = 0,5 B$ ,  $p = B$  und  $p = 2 B$  eingesetzt und dann die Parabeläste zwischen den Kreisbogen und die Gerade zwischengeschaltet, indem die Parabeln bei der Krümmung  $R = 20 B$  endigten und an diesem Punkte die Zwischengerade anschloß. Bei diesen Versuchen an der Oder schien eine Parabel mit  $p = B$  am zweckmäßigsten zu sein. Für die Übergangsparabeln an der Weichsel ist daher  $p = 400$  m gewählt.

Zur Aufsuchung des mit dem vorhandenen Ausbau des Strombettes am besten übereinstimmenden Krümmungsbogens sind Kurvenblätter (Abb. 8, zur Tafel gehörig) hergestellt, indem auf Pauspapier aus demselben Mittelpunkte Kreisbögen von 2000 bis 5000 Halbmesser im Maßstabe der Karte 1:10 000<sup>1)</sup> für je 100 m Unterschied, also Kreise von 20 bis 50 cm Halbmesser mit je 1 cm Abstand gezeichnet sind. An diese Kreise sind dann die betreffenden Parabelstücke bis zum Krümmungshalbmesser  $\rho = 7500$  angezeichnet und hieran die Richtung der Zwischengeraden. Auf der Zwischengeraden ist dann noch die wünschenswerte Länge derselben, nämlich  $B$  bezeichnet. Leider läßt sich diese wünschenswerte Länge der Zwischengeraden bei der bisher ausgeführten starken Begradigung unserer Flußläufe vielfach nicht erzielen. Wird die Zwischengerade zwischen zwei gleich gerichteten Krümmungen erheblich lang, so wird man zweckmäßig statt der einen Zwischengeraden eine Gegenkrümmung und 2 Gerade einschalten oder bei entgegengesetzten Krümmungen statt der einen langen Zwischengeraden 2 Gegenkrümmungen und 3 Zwischengerade. Im vorliegenden Falle war aber die Zwischengerade hierzu nicht lang genug.

## Umgestaltung des Querschnitts in Krümmungen.

Vor der Eintragung der neuen Linie für den Stromstrich (Stromregulierungslinie) ist aber noch der für die wichtigste Strecke der Regulierung, nämlich die Übergänge, ermittelte gleichmäßige Querschnitt für die Krümmungen umzugestalten. Hierbei wird der Stromstrich aus der Mitte des Bettes nach dem einspringenden Ufer verschoben. Dieses Ufer erhält eine steilere Böschung, dagegen das vorspringende Ufer eine ganz flache Böschung, welche aber im allgemeinen nicht ausgebaut wird, da man die Ausbildung den sich dort ablagernden Sinkstoffen überlassen kann. Das für die Krümmungen angenommene Profil ist in Abb. 4 durch eine mit 6 bezeichnete Linie dargestellt. Bei diesem Querschnitt beginnt die flachere Steigung von 1:15 erst bei  $-1,1$  am Pegel. Es besteht also der Ausbau in den Krümmungen am einbuchtenden Ufer in der Herstellung von Grundswellen vor den jetzigen Buhnen.

Als Achse dieses ungleichmäßigen Querschnitts könnte man die Linie ansehen, bei welcher rechts und links gleichviel Wasser abfließt. Diese Achse würde natürlich von der Mittellinie der 140 m breiten Sohle abweichen. Da nun aber in den Krümmungen Austiefungen der Sohle trotz der Buhnenunterlagen zu erwarten sind, würde sich die Wassermengensmittellinie der Mitte der 140 m Sohlfläche immer mehr nähern. Nimmt man nun die Mittellinie der 140 m breiten Sohle durchweg als Stromregulierungslinie, so werden die zeichnerischen Arbeiten dadurch erheblich erleichtert.

<sup>1)</sup> Die von der Weichselstrom-Bauverwaltung im Maßstabe 1:10 000 hergestellten Blätter sind auf 1:27 000 verkleinert.







dem eingeschränkten Querschnitte um 15 cm tiefer als bei dem uneingeschränkten Querschnitte. Es steht zu erwarten, daß bei weiterer Einschränkung auf etwa 325 oder 330 m die beiden Wassermengenkurven zur vollständigen Deckung kommen werden. Die Wassertiefe wird alsdann 1 m tiefer werden, als sie bei dem jetzigen, trapezförmigen Normalprofile angenommen ist. Um das Bild nicht undeutlich erscheinen zu lassen, ist die Ausrechnung und Eintragung dieses um etwa 50 m verschmälerten Querschnittes unterblieben. Bei dieser erheblichen Verschmälerung der Regulierungsbreite lassen sich leicht noch günstigere Regulierungsmittellinien herstellen, ohne erhebliche Rückverlegung von Bühnenköpfen, aber zur Wiederherstellung stärkerer Krümmungen dürfte eine Rückverlegung der Bühnenköpfe namentlich an groben Knickstellen nicht gänzlich aus dem Auge zu lassen sein.

Eine weitere Einschränkung über 325 bis 330 m hinaus dürfte nicht empfehlenswert sein, weil dadurch die Kosten der Nachregulierung durch das Vorziehen der hohen Bühnenköpfe erheblich vermehrt werden. Die Anlieger könnten auch leicht auf die Vermutung kommen, der Eisgang würde durch die unter Aufwendung hoher Kosten hergestellte Einschränkung möglicherweise erschwert.

In einer so tiefen Rinne — bei G. W. 4 m — entstehen so große Geschwindigkeiten, daß leicht Ausrisse der Sohle hervorgerufen werden. Die Unterhaltung der Vorlage wird dadurch verteuert. Bei MNW. würde 2,5 m Wassertiefe vorhanden sein. Eine so große Tiefe hat für die Schifffahrt keinen Wert, da voraussichtlich auf der Weichsel Schiffe mit größerem Tiefgange als 2 m niemals verkehren werden. Will man behufs Erleichterung der Herstellung schöner Regulierungslinien die Einschränkung bis auf 325 m durchführen, so wird es sich wahrscheinlich empfehlen, behufs Vermeidung größerer Wassertiefe die Sohlbreite von 140 auf 150 m zu verbreitern.

### **Bauausführung.**

Bei der Ausführung der Bauten zur Nachregulierung geschiebeführender Flüsse muß man die früher erörterten Vorgänge bezüglich der Geschiebebewegung stets beachten und die Vorlagen in der Regel erst dann erbauen, wenn die Sandablagerung für die auszuführenden Bauten günstig ist, d. h. bei der Weichsel, wenn die Sohle im gekrümmten Laufe am einbuchtenden Ufer auf etwa — 3,5 bis — 4,0 m unter G. W. (1,72 m am Pegel von Kurzebrack) liegt. An den anderen Stellen kann man schon bauen, wenn der Sand auf — 2 bis — 3 m liegt, was an der Weichsel auf den Sandbänken in der Nähe des Ufers sowie auf den Übergängen fast durchweg der Fall ist. Die Durchbauung größerer Tiefen muß man tunlichst zu vermeiden suchen, weil dadurch die Kosten unnötig vergrößert werden würden.

Am oberen Ende der Kolke, wo die Zusandung von Natur bereits im Gange ist, kann man dieselbe durch Baggern befördern. Dabei kann man Kratzbagger, Saug- und Spülbagger, sowie gewöhnliche Eimerbagger mit Klapp-Prähmen vorteilhaft verwenden.

Den Sand wird man in nächster Nähe der Verwendungsstelle tunlichst dort entnehmen, wo seine Fortnahme zur Ausbildung einer gestreckteren oder der zukünftigen Stromrinne beiträgt. Sobald nun die Oberfläche des Sandes durch Zufüllung oder Abbaggerung die gewünschte Höhenlage erreicht hat, wird mit der Herstellung der Packwerksvorlage begonnen. Im Schutz dieser Vorlage wird dann



das unterhalb gelegene Kolkstück von selbst zusanden oder zur schnelleren Vorbereitung der Baustelle für eine weitere Vorlage zugefüllt werden können. Der Strom wird mit dem Pendeln wahrscheinlich schon erheblich nachlassen, wenn auch nur erst an einzelnen Stellen das neue Bett feste Gestalt erhalten hat.

## Packwerksbau.

Der Packwerksbau muß billig und doch widerstandsfähig hergestellt werden. Dazu gehört in erster Linie, daß das Faschinenreisig mit so viel Sand ausgefüllt wird, als es aufzunehmen vermag. Am besten geschieht dieses mit Hilfe eines kleinen Pumpenbaggers. Sodann muß das Packwerk zum Schutze gegen die Angriffe der Strömung und des Eisganges mit Steinen gut abgedeckt werden.

Um die Herstellung des Packwerks möglichst zu verbilligen, muß man von der Verwendung der teuren Sinkstücke tunlichst Abstand nehmen. Bei der Ausführung des Packwerks nach der üblichen Eytelweinschen Bauweise ist dieses nicht angängig, dagegen erlaubt die vom verstorbenen Baurat Brinkmann in Steinau a. O. ausgebildete Bauweise eine schnelle und billige Ausführung ohne Anwendung des kostspieligen Sinkstückbaues.

Bei der Brinkmannschen Bauweise werden vor Beginn des Packwerksbaues auf der ganzen zu überbauenden Fläche in Entfernungen von 1,2 bis 2 m Rundpfähle von 15 bis 18 cm Stärke eingerammt, deren Köpfe bis über den während der kurzen Bauzeit zu erwartenden Wasserstand hinausragen. Alsdann wird im Schutz der Pfähle durch Herstellung von Vor- und Rücklage eine dünne Decke in der ganzen Ausdehnung des Bauwerkes hergestellt. Nach stattgefundener Bewürstung wird diese Packwerksdecke durch Aufbringen von Sand und Steinen auf die Flußsohle gesenkt. Nachdem so die Sohle gegen Ausspülen geschützt ist, kann durch Herstellung sehr flach geneigter Lagen das ganze Bauwerk schnell fertiggestellt werden. Bei der Eytelweinschen Bauweise kann man bei heftiger Strömung 1:3 oder flacher geneigte Lagen schwer herstellen. Vor Kopf des langsam vorrückenden Bauwerkes bilden sich auch schon bei anfangs schwacher Strömung leicht Ausrisse, deren Vermeidung ein vorheriges Abdecken der Sohle mit einer Lage Sinkstücke erforderlich macht. Nur wenn die Strömung sehr heftig ist, so daß das Einschlagen der Pfähle und die Anfertigung der ersten auf der Oberfläche des Wassers schwimmenden Klapplage eine erhebliche Vertiefung der Sohle befürchten läßt, muß auch bei der Brinkmannschen Bauweise die Sohle vor dem Einschlagen der Pfähle mit Sinkstücken abgedeckt werden. Während man bei der Eytelweinschen Bauweise sehr geübte Strauchleger als Vorarbeiter verwenden muß, kann man bei der Brinkmannschen Bauweise mit wenig geübten Arbeitern auskommen, wenn nur darauf geachtet wird, daß sie die Randfaschinen nicht in Richtung des Bauwerkes, sondern schräg legen. Nach Vollsandung und Bedeckung des Bauwerkes mit Steinen werden die Pfähle ausgezogen und können beim nächsten Bauwerke wiederum Verwendung finden. Statt der Verwendung von Handrammen und Wuchtebäumen zum Eintreiben und Wiederausziehen der Pfähle kann bei großem Betriebe zweckmäßig eine schwimmende Dampframme geringer Größe Verwendung finden.

Zur widerstandsfähigen Herstellung eines Bauwerkes aus Packwerk gehört außer der Vollfüllung mit Sand auch die hinreichende Abdeckung mit Schüttsteinen.



Die Gewinnung dieser Steine in genügender Menge und Beschaffenheit macht erfahrungsgemäß an den norddeutschen Strömen im Osten des Vaterlandes große Schwierigkeiten, daher empfiehlt sich eine umfangreiche Verwendung von Kunststeinen, welche leicht in beliebiger Menge an denjenigen Stellen, wo sich geeignete Kies- und Sandmassen vorfinden, hergestellt werden können. Nach hinreichender Erhärtung werden die Steine mit Baukähnen zur Verwendungsstelle befördert und unmittelbar vom Kahne aus verlegt oder verschüttet. Bei der Anfertigung der Kunststeine muß darauf geachtet werden, daß die Hohlräume des größeren Kieses vollständig mit feinerem Sande ausgefüllt sind. Dann genügt nach den im Wasserbauamt Crossen a. O. vor 15 Jahren in großem Umfange hergestellten Proben eine Mischung von 1 : 10. Als Form und Größe der Steine empfiehlt sich die Herstellung sechseckiger Prismen von 20 cm Seitenlänge und 14 cm Kantenhöhe. Die Oberfläche erhält, wenn die Steine über Wasser oder in so flachem Wasser Verwendung finden sollen, daß sie regelmäßig verlegt werden können, eine flache Wölbung von etwa 3 bis 4 cm Höhe. Die Größe der Grundfläche eines Steines beträgt 0,1 qm, das Gewicht etwa 33 kg, so daß ein Mann den Stein tragen kann.

Legt man die sechseckigen Steine nebeneinander, so entsteht von selbst eine dichtschießende Decke, welche sehr widerstandsfähig ist, da treibende Gegenstände einen Stein nicht an der Kante, sondern stets an dem Buckel treffen, ihn also nicht leicht verletzen oder umkanten können. Die sechseckigen Steine bieten den Vorteil, daß die Ecken nicht so leicht abbrechen, wie die der viereckigen Steine.

Die Formen werden gebildet durch sechseckig gebogene Flacheisen von 14 cm Breite und 3 oder 4 mm Stärke. An der einen Kante der Form ist ein Gelenk und an der entgegengesetzten Kante Hakenverschluß.

Bei der Anfertigung der Steine werden die Formen nach mit alter gebrauchter Putzwolle ausgeführter Reinigung neben die Mörtelbank auf den Sand gelegt und mit Beton ausgestampft. Nach hinreichendem Stampfen kann die Form sofort geöffnet und wiederum verwandt werden, so daß für jeden Arbeiter nur eine Form nötig ist.

Im Crossener Bezirke ergab 1 Faß Zement von 125 Liter Inhalt 67 bis 68 Steine, d. h. 1 cbm festen Stampfbeton. Die Kosten betragen 8,7 M. Rechnet man die heutigen Preise um 15 v. H. höher, so würden die jetzigen Kosten  $8,7 \cdot 1,15 = 10$  M. betragen. Da nun 1 cbm Festmasse etwa gleichwertig mit 1,4 bis 1,45 cbm aufgesetzter Steine sein dürfte, ist der Kostenbetrag der Kunststeine ebenso hoch wie der Schüttsteine, wenn dieselben einschließlich Aufmetern 7 M. für 1 cbm kosten. Dieser Preis wird aber im Osten vielfach erheblich überschritten.

Soweit man bei sehr niedrigen Wasserständen die Oberfläche der Vorlagen mit der Hand erreichen kann, wird man die Vorlagen bei Verwendung der sechseckigen Kunststeine mit einer dichtschießenden Lage Kunststeine nach vorheriger Aufbringung kleinerer Steine überdecken. Muß man die Kunststeine ebenso wie die anderen Steine im tieferen Wasser verschütten, erhalten sie natürlich keine so günstige Lage, immerhin gewähren sie aber der Vorlage einen besseren Schutz als die meist weit kleineren natürlichen Schüttsteine.



## Bauvorgang.

Es soll die Annahme gemacht werden, daß die Sohle beim Beginn der Nachregulierung dieselbe Gestalt habe wie auf Abb. 1 im Jahre 1903.

Ferner wird bei den folgenden Tiefenangaben angenommen, daß  $G.W. = 1,72$  (also Tiefenlinie 0) herrsche, und daß vier Arbeitsgruppen, ein Eimerbagger, ein Kratzbagger und ein Pumpenbagger zur Verfügung ständen. Die beiden ersten Bagger sind an jeder Stelle zu gebrauchen, der Pumpenbagger aber nur dort, wo seine Rohrleitung die Schifffahrt nicht stört.

Sämtliche Arbeitsgruppen beginnen ihre Tätigkeit mit dem Ausbau der Krümmung zwischen Km 140 und Km 143.

Der Eimerbagger vertieft zunächst die Nebenrinne links von Km 141,9. Das Baggergut wird in den unterhalb vorhandenen, bereits in Verlandung begriffenen Kolk vor den Bühnen 1—2 ausgeklappt. Pumpenbagger und Kratzbagger arbeiten auf der Sandbank bei Km 140,35 l. U. am Ende des Deckwerkes zur Vertiefung der Baustelle auf 3,5 m Wassertiefe. Am Ufer kann der Sand auch noch höher liegen bleiben. Gleich darauf stellt Arbeitsgruppe 1 die Vorlage an dieser Stelle her. Während nun der Pumpenbagger unterhalb dieser Vorlage die hohe Sandablagerung bei Km 140,5 abarbeitet, geht der Kratzbagger nach Km 140,15 und vertieft dort die Erbauungsstelle der Vorlage in gleicher Weise. Der fortgetriebene Sand lagert sich zum Teil in dem Packwerk der im Bau begriffenen Vorlage und zum Teil vereint mit dem Pumpenbaggergute in dem Kolk vor Bühne 8 ab. Nach Fertigstellung der ersten Vorlage baut Gruppe 1 auf der inzwischen hinreichend vertieften Arbeitsstelle Km 140,15 l. U. die zweite Vorlage. Inzwischen ist der Kolk vor Bühne 8 l. U. Km 140,6 durch das natürliche Eintreiben des Sandes sowie durch die Tätigkeit des Pumpenbaggers und des Kratzbaggers bis auf etwa 3,5 m Wassertiefe aufgelandet, so daß nunmehr auch dort die Vorlage erbaut werden kann.

Die Arbeitsgruppe 2 erbaut zuerst die Vorlage der Bühne 8 r. U., Km 140,6. Darauf nimmt sie die Vorlagen vor Bühne 9, 11 und 12, Km 141 r. U., in Angriff. Inzwischen ist der Kratzbagger mit der Vertiefung der Baustelle bei Bühne 140,15 l. U. fertig und verlegt sich nach Km 141,4, um Sand in den vorlandenden Kolk vor Bühne 12, Km 141,6, r. U. zu schaffen. Nach Fertigstellung der ersten drei Vorlagen baut dann Arbeitsgruppe 2 dort die vierte Vorlage mit einer Steigung 1:20, da sie am vorspringenden Ufer erbaut wird.

Die Arbeitsgruppe 3 erbaut die tiefliegenden Vorlagen am linken Ufer, Km 141,5 vor Bühne 12 und 13 sowie Km 142,05 vor Bühne 1 und auf der dann hinreichend (d. h. 3,5 m Wassertiefe) emporgewachsenen Anschüttung vor Bühne 2, Km 142,3. Nach Fertigstellung dieser Vorlagen überschlägt Gruppe 3 zunächst die Bühnen 3, 4 und 5 und baut die Vorlagen vor Bühne 6, 7, 8, 1 und 2 l. U. zwischen Km 143,3 und 144,1. Nachdem der Kratzbagger in der Nähe von Bühne 2 gearbeitet und dadurch den Kolk vor Bühne 3 hinreichend verflacht hat, kann auch dort die Vorlage hergestellt werden.

Die Arbeitsgruppe 4 beginnt bei Km 142,2 r. U. mit Erbauung einer Vorlage (1:20) am Anfange des Deckwerkes. Nach Fertigstellung dieser Vorlage werden an dem vorspringenden rechten Ufer bei Km 142,6 und 143,0 zwei Vorlagen, beide mit Neigungen von 1:20 und 1:30, erbaut.



Der Pumpenbagger füllt nach Fertigstellung der Zusanung des Kolkes vor Buhne 8, Km 140,6 l. U. das Packwerk der noch nicht vom Kratzbagger versorgten Vorlagen Km 140,15 l. U. und Buhne 8, Km 140,6 r. U. Darauf Buhne 9, 11 und 12 r. U. zwischen Km 140,8 und Km 141,55. Alsdann die von der Arbeitsgruppe 3 hergestellten Vorlagen von Buhne 12, 13, 1 und 2 zwischen Km 141,5 und 142,3 l. U.

Der Kratzbagger hat inzwischen den Kolk bei Km 143,3 r. U. zugebaggert und ist dann nach Km 143,8 l. U. gegangen, um dort die für die Bauten erforderliche Tiefe von etwa 2,5 m herzustellen und den Kolk vor den Bühnen 2 und 3 zuzufüllen.

Inzwischen stellt die Arbeitsgruppe 4 ihre vierte Vorlage auf dem vom Kratzbagger zugefüllten Kolke bei Km 143,3 r. U. her.

Da der am vorspringenden rechten Ufer bei Km 142 liegende Kolk zwischen den nur 500 m voneinander entfernt liegenden Vorlagen eingeengt ist und zwar von oben her zuzusanden, aber nach unten zu nicht weiter vorrücken kann, und auch der Eimerbagger auf dem anderen Ufer die Nebenrinne nunmehr hinreichend erweitert haben dürfte, wird der Fluß voraussichtlich das einbuchtende Ufer trotz des großen Halbmessers (2100 m) der Krümmung festhalten und die beiden falschen Übergänge Km 141,5 und Km 142,32 nicht mehr benutzen, so daß nunmehr der Kolk am rechten Ufer bei Km 142 der Versandung anheimfällt.

Infolge des Eingehens des falschen Überganges bei Km 142,32 prallt die Strömung nicht mehr gegen Buhne 3 l. U., Km 142,6, sondern geht glatt vor den Bühnenköpfen entlang. Dadurch werden sich die Kolkiefen an dieser Stelle verringern, und man kann nun versuchen, im Schutze der Vorlage vor Buhne 2 den Kolk mit Baggergut zu füllen. Hat dieses zu geringen Erfolg, muß unterhalb jeder noch zu erbauenden Vorlage (Buhne 3, 4 und 5) aus schmalen Sinkstücken eine kleine Rippe hergestellt und dann im Schutze dieser nach und nach zu erhöhenden Packwerksrippen das Baggergut ausgeklappt werden. Ist der Kolk bis zu 3,5 m Tiefe verfüllt, werden auch dort durch die Gruppe 3 die drei Vorlagen hergestellt.

Inzwischen sind Gruppe 1 und 2 auf ihren ersten Baustellen mit ihren Arbeiten, nämlich 3 bzw. 4 Vorlagen, längst fertig geworden, und hat Gruppe 1 zwischen Km 144,9 und 146,05 l. U. die Bühnenvorlagen 7, 1, 2, 3, 4 und 5 in Arbeit genommen. Gruppe 2 arbeitet nun an den Vorlagen am Anfange der zweiten Krümmung am rechten Ufer zwischen Km 145,9 und 147 vor den Bühnen 13a, 13b, 15, 17 und 18. Vor den Bühnen 14 und 16 kann die Ausführung der Vorlagen als vielleicht entbehrlich zunächst fortbleiben.

Der Eimerbagger arbeitet nun schon längere Zeit an der Erweiterung der Nebenrinne am rechten Ufer bei Km 146,7.

Die Arbeitsgruppe 4 hat nach Fertigstellung der 4 Vorlagen am rechten Ufer zwischen Km 142,2 und 143,3 zunächst den Ausbau des Kolkes zwischen 143,3 und 144,2 überschlagen und setzt unterhalb des Kolkes die Arbeiten mit dem Ausbau der Vorlagen der Bühnen 4, 5, 7, 8, 9 fort.

Haben die Gruppen 1 und 2 mit Unterstützung des Eimerbaggers dann die Arbeiten in der zweiten Krümmung so weit gefördert, daß auch dort die Strömung an dem einbuchtenden Ufer verbleibt und die falschen Übergänge bei Km 145,93 und 146,88 aufgibt, so wird sich auch der Stromstrich zwischen Km 143 und 145 unter dem Einflusse der schon zahlreich ausgebauten Vorlagen strecken, so daß die



Arbeitsgruppen 3 und 4 unter Zuhilfenahme der Bagger die noch fehlenden Vorlagen leicht ausbauen können.

Die Vorlagen in den beiden Kolken bei Km 140 und Km 141 werden erst nach Ausbau der Stromstrecke oberhalb Km 140 hergestellt.

## Kosten.

Für die Verringerung der Unterhaltungskosten der Vorlagen ist es neben der guten Abdeckung von der größten Wichtigkeit, daß nicht nur die Krone, sondern auch die Seitenböschungen möglichst flach hergestellt werden. Diese Vorlagen können aber nur dann mit flachen Böschungen ohne übermäßige Kosten erbaut werden, wenn die Krone nicht hoch über der Sohle liegt. Müssen ausnahmsweise Vorlagen auf einem tiefer liegenden Sandgrunde erbaut werden, kann man ohne Schaden den unteren Teil der Böschungen steil herstellen in der Erwartung, daß die Sandoberfläche in den Bühnenfeldern nach der Erbauung der Vorlagen sich schnell aufhöhen wird.

In den Übergängen und an dem einbuchtenden Ufer der Krümmungen wird die Oberfläche des Sandes in den durch die Vorlagen desselben Ufers gebildeten Feldern sich stets etwas tiefer halten als die Oberfläche der Bauwerke. Am vorspringenden Ufer wird der Sand sich von selbst stärker ablagern, sobald das Wandern mit der Herstellung der flachgeböschten Vorlagen aufhört. Es brauchen also dort nur leichte Bauwerke in großen Entfernungen hergestellt zu werden. Diese Bauwerke können auch kurz sein, da sie nur dazu dienen, die Bildung von Nebenrinnen durch Abflachung der Bühnenköpfe (1 : 20) zu verhüten.

Unter der Annahme, die Bühnenvorlagen der Übergänge müßten im allgemeinen bei einer Sohlenlage von  $-1,5$  m am Pegel von Kurzebrack =  $3,22$  m Wassertiefe erbaut werden, dann würde bei einer Seitenböschung von 1 : 8 und 5 m Kronenbreite am Übergange zwischen den Neigungen 1 : 50 und 1 : 30 — Bauwerkshöhe  $1,07$  m — die Sohle der Vorlage eine Breite von  $22$  m haben und am Übergange zwischen 1 : 30 und 1 : 20 — Bauwerkshöhe  $1,9$  m — die Breite  $35$  m betragen. Dort würde aber bereits die Böschung des jetzigen Bühnenkopfes eingreifen. Die Vorlage würde diesen Kopf umklammern und dann allmählich in die steilere Böschung des jetzigen Bühnenkopfes verlaufen.

Zum besseren Anschlusse der Vorlage würde die Kronenbreite auf  $10$  m Länge von  $5$  auf  $10$  m zunehmen. Der Inhalt dieser in außergewöhnlich kräftigen Abmessungen gehaltenen, aber darum auch lange Dauer und geringe Unterhaltungskosten versprechenden Vorlage würde rund  $1100$  cbm betragen. In der Tat können die Bühnenvorlagen meistens auf viel höherer Sandablagerung gebaut werden, und kann dadurch erheblich namentlich an Länge gespart werden. Es dürfte sich aber empfehlen, die letzte Lage des Packwerkes, d. h. die Decklage, welche die Steinschüttung trägt, doch nahezu in voller Breite herzustellen, damit diese Klapplage etwaige Auskolkungen und Unterwaschungen gleich beim Entstehen wieder schließt und somit Beschädigungen der Vorlage möglichst vermieden werden.

Sollten sich vor Kopf der bei höherer Sandlage erbauten Vorlagen unzulässige Auswaschungen zeigen, welche so groß sind, daß sie durch die gleichzeitig erscheinenden Sandanhäufungen das Bett in zu großem Maße unregelmäßig gestalten,



so können diese Auswaschungen bei guter Überwachung vor Erreichung größerer Tiefe nachträglich leicht geschlossen werden.

Die tief liegenden Buhnenvorlagen des einspringenden Ufers in Krümmungen können bei einer Wassertiefe von 3 bis 3,5 m (—1,28 bis —1,78 am Pegel von Kurzebrack) hergestellt werden. Trotz ihrer geringen Höhe erhalten sie eine Breite von mindestens 15 m.

Für die Durchführung der Regulierung genügt im Durchschnitt die Herstellung von 8 Vorlagen für 1 km.

Unter der höchst ungünstigen Annahme, daß alle 8 Buhnen bei einer Sandoberfläche —1,5 am Pegel d. i. 3,22 m Wassertiefe bei G.W. (Normalwasser) herzustellen wären und daß sämtliche Buhnen in den großen Abmessungen der Buhnen des Überganges auszubauen wären, würden  $8 \cdot 1100 = 8800$  cbm Packwerk für den km auszuführen sein. Rechnet man 1 cbm Packwerk unter Anwendung der Brinkmannschen Bauweise bei starker Steinabdeckung mit 5 M. so kosten die Vorlagen für 1 km 44 000 M.

Macht man zur Ermittlung der Baggerungskosten nun ebenfalls sehr ungünstige Annahmen, nämlich, daß die Kolke, obgleich die Strömung am Übergange durch Einbau der Vorlagen gebrochen sei, dennoch durch Baggergut gänzlich bis zur Pegelhöhe —1,5 = 3,22 m Wassertiefe auszufüllen seien und daß gar kein Sand während der Bauzeit von selbst eingetrieben würde, nimmt man ferner an, daß die Kolke die größten Abmessungen, wie im Jahre 1903 hätten, so erhält man nach Abb. 3 eine Menge von  $190 \cdot 1000 = 190\,000$  cbm. Da nun aber das Baggergut nur auf sehr kurze Entfernung durch außerordentlich billig arbeitende Kratz-, Saug- und Eimerbagger zu befördern ist, genügt es, die Kosten mit 0,12 M. für 1 cbm anzunehmen.

Da m. E. die Hauptschuld an dem Auftreten der wandernden Kiesbänke der steilen Böschung der Regulierungswerke beizumessen ist, muß man auch auf der geteilten Weichsel mit nur 250 m Breite flachere Böschungen herstellen, wobei man aber sich jetzt auf das geringste Maß beschränken muß, um diese schon so stark eingeschränkte Strecke nicht zu sehr zu verengen, damit nicht zu große Wassertiefen und damit zu große Wassergeschwindigkeit auftreten. Bevor nicht genauere Querschnittsaufnahmen dieser Strecke nach Abschluß der Nogat vorliegen, würde ich vorschlagen, nur tiefliegende Vorlagen vor den Buhnen herzustellen, welche vielleicht bei —0,8 am Pegel von Dirschau beginnen und eine Kopfneigung von 1:20 erhalten. Die dadurch verhütete Bildung der Kolke wird auch die wandernden Kiesbänke beseitigen.

Die Kosten dieser Bauten kann man doch aber höchstens zu  $\frac{3}{5}$  der oberen Strecke annehmen. Da die ungeteilte Weichsel 171 und die geteilte Weichsel 48 km Länge hat, würden die für den Ausbau nach den vorstehenden Ausführungen aufzuwendenden Kosten betragen:

I. Packwerk . . . . .	$8 \cdot 1\,100 \cdot 171 = 1\,504\,800$	cbm
	$\frac{3}{5} 8 \cdot 1\,100 \cdot 48 = 253\,440$	„
	zusammen <u>1 758 240</u> cbm.	

Dazu für Verlust, Mehrverbrauch und zur

Abrundung rund 10 v. H.	171 760	„
	zusammen <u>1 930 000</u> cbm.	

1 930 000 cbm Packwerk je 5 M. = 9 650 000 M.



## II. Baggerarbeiten.

	190 000 · 171 =	32 490 000	cbm
	$\frac{3}{5}$ · 190 000 · 48 =	5 472 000	"
	dazu wie oben 10 v. H.	3 738 000	"
		<u>41 700 000</u>	cbm.

41 700 000 cbm Baggermasse zu bewegen je 0,12 M. = 5 004 000 M.

III. Als Insgemeinsumme zum Ausgleich der Steigerung der Preise und Löhne bis zum Beginn des Baues und während der Bauzeit, für Wiederherstellung bei Beschädigung durch Naturereignisse und für Unvorhergesehenes

rund 10 v. H. der Summe I und II = 1 446 000 M.

## IV. Für persönliche und sächliche Bauleitungs-

kosten 6 v. H. der Summe I bis III 906 000 M.

## Wiederholung.

I. Packwerksbauten . . . . .	9 650 000	M.
II. Baggerarbeiten . . . . .	5 004 000	"
III. Insgemein . . . . .	1 446 000	"
IV. Bauleitungskosten . . . . .	906 000	"

Gesamtkosten 17 006 000 M.

Diese Kosten werden sich voraussichtlich noch erheblich vermindern, wenn zunächst nur 1 Million M. für den Ausbau einer etwa 10 km langen Probestrecke bewilligt würden.

Bei der Herstellung der Probestrecke dürfte aber die Bauleitung nicht lediglich jungen im Strombau unerfahrenen Ingenieuren überlassen werden, sondern es müßte deren Tätigkeit und die bei den Arbeiten auftretenden Erscheinungen auf das sorgfältigste durch im Wasserbau erfahrene Beamte überwacht werden. In der Probestrecke müßten mehrere Meßgruppen ständig mit der Aufnahme von Querprofilen beschäftigt werden, um die Wirkung der Bauarbeiten durch Herstellung genauer Tiefenkurvenpläne deutlich erkennen zu können. Von besonderer Wichtigkeit ist, daß nur Leute beschäftigt werden, welche auf die Arbeit die größte Aufmerksamkeit und Liebe verwenden.

Der alsdann auf vielleicht 12 bis 15 Millionen sich verringernde einmalige Aufwand würde schon allein durch Verringerung der Unterhaltungskosten der jetzigen Strombauwerke gerechtfertigt sein.

Unmittelbar vor den jetzigen Strombauwerken liegt durchschnittlich alle zwei Jahre ein rd. 10 m tiefer Kolk, wodurch sie infolge Unterspülung leicht versacken und außergewöhnlich hohe Unterhaltungskosten verursachen. Werden die Vorlagen in der geschilderten Weise mit flachen Böschungen hergestellt und die Oberfläche mit großen Steinen (Kunststeinen) abgedeckt, dann sind die jetzigen Strombauwerke durch die Vorlagen vollständig geschützt.

Behufs guter Unterhaltung müßte die Flußsohle neben den Bühnen, Parallelwerken und rings um die Vorlagen alljährlich mehrmals sorgfältig abgepeilt werden, um Auskolkungen kurze Zeit nach ihrer Entstehung aufzufinden und baldmöglichst durch die an der Elbe und am Oberrhein viel angewandten Senkmaschinen zu schließen. Will man statt dessen kleine Sinkstücke verwenden, würde es sich empfehlen, zu ihrer Anfertigung Baukähne mit umklappbarer Arbeitsbühne zu benutzen. Die-



selben müßten in solcher Zahl vorhanden sein, daß sie stromabfahrend jede Strecke in jedem Jahre mindestens einmal behufs Ausführung der etwa notwendigen Ausbesserungen aufsuchen können. Bei guter Ausführung der Vorlagen und sorgfältiger Ueberwachung werden die Unterhaltungskosten nach dem Aufhören des Pendelns des Stromstriches ganz gering sein.

### Schlußbemerkungen.

Die Aufwendung der sicherlich weniger als 15 Millionen M. betragenden Kosten für die Fertigstellung der jetzt höchst unvollkommenen Stromregulierung würde nicht nur durch die Verringerung der Unterhaltungskosten der Strombauwerke gerechtfertigt erscheinen, sondern auch durch die sehr erhebliche Verminderung der Kosten der Eisbrecharbeiten sowie durch die bedeutende Verminderung der Eisgangsgefahren für die angrenzenden Niederungen.

Sehr groß würde auch der Vorteil für die Schifffahrt sein. Während jetzt die Schiffe die enge, stark gewundene Fahrrinne mit den vielen flachen Uebergängen nur mit Mühe durchfahren, würden in Zukunft Schiffe von mehr als 1000 t Tragfähigkeit ohne jede Schwierigkeit wie auf dem Rhein auch auf der Weichsel verkehren können.

Man könnte nun einwenden, daß ja für eine so vorzügliche Wasserstraße gar keine Güter vorhanden sein würden, aber dagegen läßt sich anführen, daß die jetzige höchst minderwertige Schifffahrtsstraße für die russische Regierung nur einen sehr geringen Ansporn bildet, ihrerseits das Regulierungswerk in gleicher Weise fortzusetzen. Wird aber diesseits die Weichsel mit geringen Kosten aus dem jetzigen unvollkommenen Zustande zu einer Schifffahrtsstraße ersten Ranges ausgebaut, so spornt dieses Vorbild eher zur Nacheiferung an. Wahrscheinlich würden allerdings noch viele Jahrzehnte vergehen, bis die russische Weichsel in gleicher Weise ausgebaut würde. Auch die Zollschranken bilden für den Handel nach Rußland ein schweres Hindernis. Aber wenn man kein langes Absatzgebiet hat, muß man ein breites zu erlangen suchen und hierfür sind die Geländebeziehungen höchst günstig. Durch Herstellung des Ostkanals<sup>1)</sup> mit 10 Schleusen kann der größte Teil von West- und Ostpreußen mit den Städten Deutsch-Eylau, Liebmühl, Osterode, Allenstein, Passenheim und die Masurischen Seen mit den Städten Angerburg, Lötzen, Nikolaiken und Johannisburg bei einem Kostenaufwande von 56 Millionen M. durch einen Schifffahrtsweg von weit über 300 km Länge an die Weichsel angeschlossen werden. Wendet man weitere 25 Millionen M. an, so können auch die Städte Kulmsee, Gollub, Briesen, Strasburg, Neumark, Wartenburg und Ortelsburg mit dem Ostkanal durch Zweigkanäle verbunden und somit auch an die Weichsel angeschlossen werden. Vom Spirdingsee aus kann durch einen leicht herzustellenden Kanal mit nur 2 Schleusen Arys, Lyck und die russische Stadt Raygrad durch eine für Schiffe von 400 t Tragfähigkeit brauchbare Schifffahrtsstraße von 70 km Länge an die Ostkanalwasserstrasse angeschlossen werden. Die Kosten vom Spirdingsee bis Raygrad würden nur 6 Millionen M. betragen. Auf dem linken Ufer der Weichsel wird im nächsten Jahre der Umbau des Bromberger Kanals für Schiffe von 400 t Tragfähigkeit fertiggestellt, wodurch Danzigs Absatzgebiet erheblich erweitert wird.

<sup>1)</sup> Ehlers, Der Ostkanal. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1912.



Noch mehr läßt sich Danzigs Hinterland vergrößern, wenn durch einen 60,5 km langen Schiffahrtskanal mit 4 Schleusen durch den Margonin-See die Netze 23 km unterhalb Gromaden mit der Warthe 3,5 km oberhalb Obornik verbunden wird. Hierdurch würde der Wasserweg von Bromberg nach Posen von 386 auf 159 km d. i. um 227 km abgekürzt. Der Schiffahrtsweg von Danzig nach der wichtigen Stadt Posen würde dann 361 km betragen d. h. um 6 km kürzer sein, als der Weg von Posen auf der Warthe und Oder nach Stettin.

Baut man aber die kurze Strecke der Warthe von Obornik bis Posen (37 km) gut aus, so würde die Schiffahrtsstraße von Posen nach Danzig nach Fertigstellung der Regulierung der Weichsel weit besser sein, als die nach Stettin.

Werden die reichen Wasserkräfte der Provinz Westpreußen zu beiden Seiten der Weichsel planmäßig ausgebaut, so wird voraussichtlich, da die Wasserkräfte<sup>1)</sup> hier außergewöhnlich billig gewonnen werden können, bald eine lebhaft

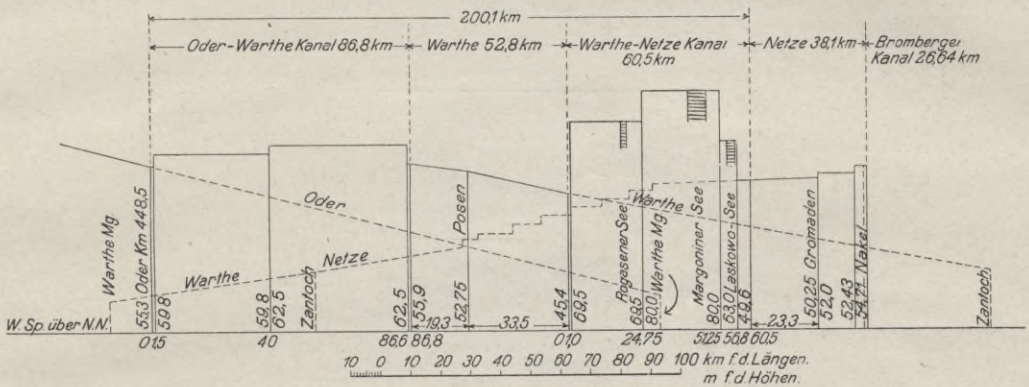


Abb. 10. Längenschnitt des Oder-Netze-Kanals.

Industrieentwicklung an der guten Schiffahrtsstraße einsetzen. Alsdann würde ein Kanal von 87 km Länge mit 3 Schleusen durch das Urstromtal der Obra von der Warthe bei Kosten zur Oder bei Boyadel mit Abzweigung nach Tschicherzig hohe Bedeutung gewinnen, weil dadurch der Wasserweg von Bromberg nach Breslau und Oberschlesien um 185 km abgekürzt würde, s. Abb. 10. Die jetzige und zukünftige Länge des Binnenwasserweges zwischen einigen Orten ist in der nachfolgenden Zusammenstellung 4 angegeben.

#### Zusammenstellung 4.

Wasserstraße	Länge		Abkürzung km
	gegenwärtig km	zukünftig km	
Bromberg-Posen . . .	386	159	227
Posen-Glogau . . .	465	159	306
Thorn-Posen . . .	436	209	227
Thorn-Cosel . . .	846	661	185
Danzig-Posen . . .	588	361	227
Danzig-Glogau . . .	705	520	185
Danzig-Breslau . . .	845	660	185
Danzig-Cosel . . .	998	813	185

<sup>1)</sup> Ehlers, Entwicklung der Wasserwirtschaft in Preußen während der bisherigen Regierungszeit Wilhelm II. Danzig, Kafemann, 1913, S. 11 ff.



Diese Wasserstraßen des Ostens würden in Zukunft sämtlich mit 400-t-Kähnen befahren werden können und außerdem würden die Städte Danzig, Dirschau, Meve, Neuenburg, Graudenz, Schwetz, Kulm, Bromberg und Thorn durch eine Wasserstraße für Kähne von mehr als 1000 t Tragfähigkeit verbunden sein.

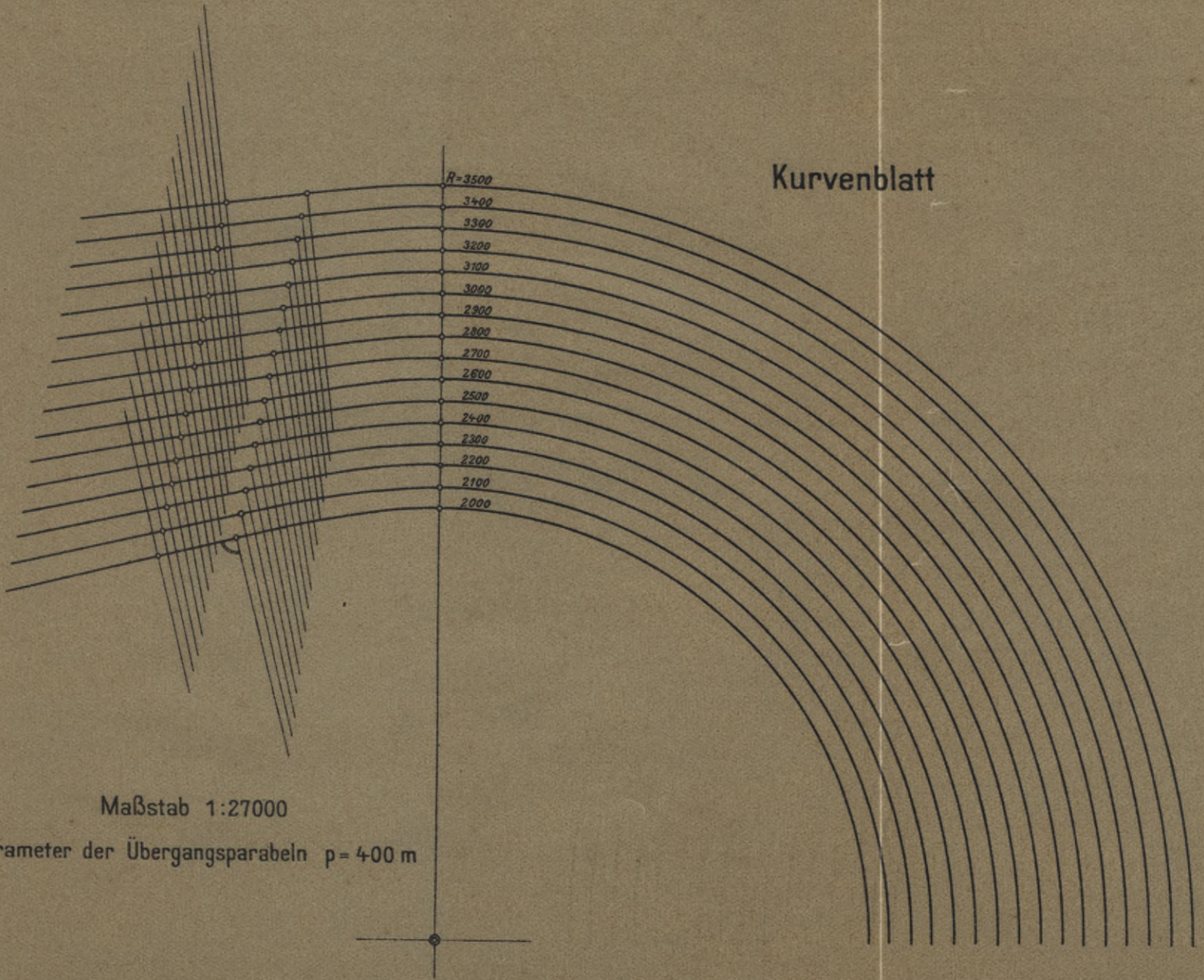
Der erste Schritt zur Durchführung dieses Zukunftsbildes ist die Fertigstellung der Regulierung der Weichsel.

Bei der Ausarbeitung des vorliegenden Schriftchens haben mich die Herren Diplom-Ingenieure Bahr und Beger durch die Anfertigung der Zeichnungen und Berechnungen unterstützt, wofür ich ihnen an dieser Stelle besonderen Dank ausspreche.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW



Kurvenblatt



Maßstab 1:27000

Parameter der Übergangspareln  $p = 400$  m

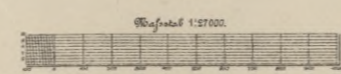
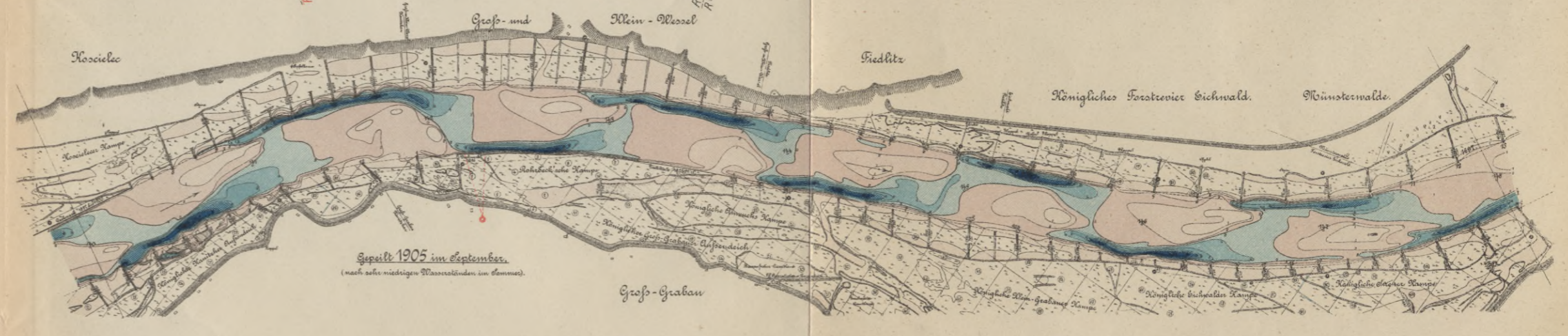
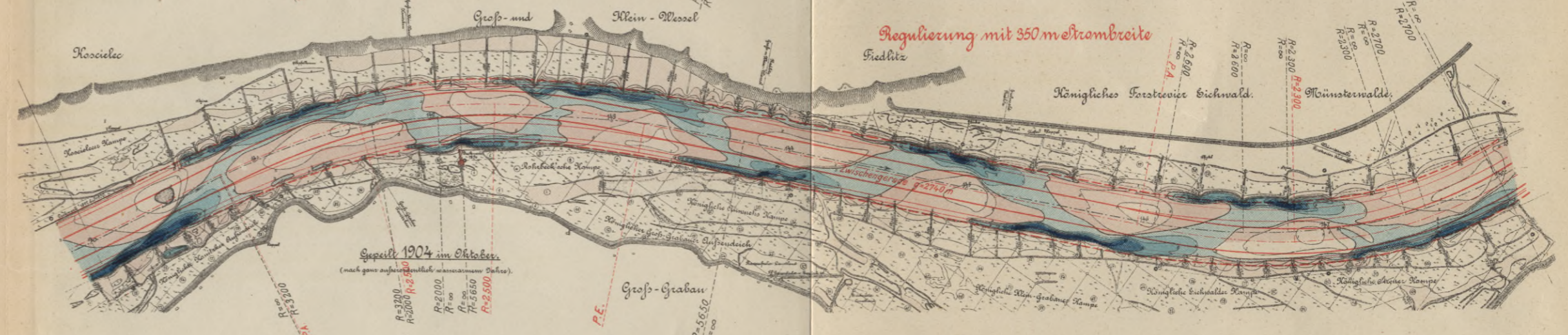
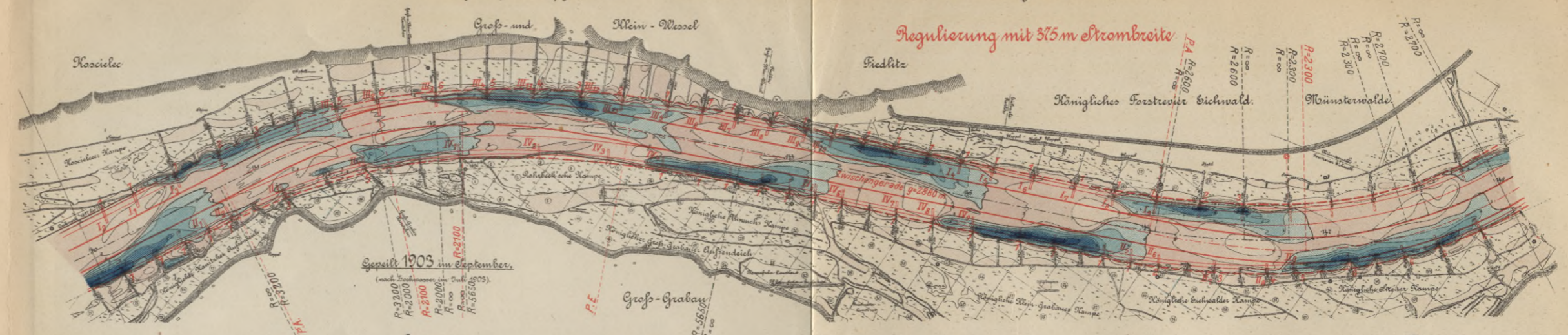






# Tiefenkurven der Weichsel von Km 140 bis 148.

Bezogen auf das Häufigkeitsmittel der Wasserstände von 1850-1859 (Normalwasser) = 1,72 m am Pegel zu Kurzebrack.



Bemerkung:  
Nach dem Ziel der Fließregulierung soll die Sohle im Längs im Längs auf -1,72 m + P  
Die Falllinie der Leitung geht durch  
Die Sohle der Sohle entspricht also der Horizontalen von  
oder um 3,0 Meter











S. 61







WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

33091

Kdn., Czapskich 4 — 678. 1. XII. 52. 10,000

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000305737