

41
4a

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000305759

UNTERSUCHUNGEN

ÜBER DIE

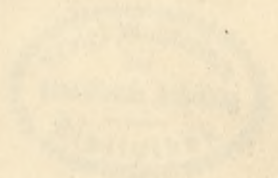
WIRKUNG DER STRÖMUNG AUF SANDIGEN BÖDEN
UNTER DEM EINFLUSSE VON QUERRÄUTEN.

VON H. ENGELS

MIT 12 TAFELN VON H. ENGELS

BERLIN 1832

2. Aufl. 26 v. 12



BERLIN 1832

x
1832/d

UNTERSUCHUNGEN

ÜBER DIE

WIRKUNG DER STRÖMUNG AUF SANDIGEN BODEN

UNTER DEM EINFLUSSE VON QUERBAUTEN

VON

H. ENGELS

GEH. HOFRAT, PROFESSOR AN DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE IN DRESDEN.

MIT 2 ABBILDUNGEN UND 3 TAFELN

F. No. 26 012



BERLIN 1904

VERLAG VON WILHELM ERNST u. SOHN

GRÖPIUS'SCHE BUCH- UND KUNSTHANDLUNG

9.38

9.41 / 340

*X
1832/d*

Alle Rechte vorbehalten.

Sonderdruck aus der Zeitschrift für Bauwesen,
Jahrgang 1904.

**BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW**

III 33066

1910 10 27

Akc. Nr. 2024/49

1. Buhnen.

Wenn eine bei Flußregelungen notwendige Breitenbeschränkung durch Buhnen bewirkt wird, so kommt es darauf an, die Buhnen so anzulegen, daß sie zwischen sich eine solche Verlandung bewirken, daß in der Streichlinie ein neues Ufer gebildet wird oder doch ohne erhebliche Kosten ausgebaut werden kann. Das Endergebnis sollte dann ein solches sein, daß das neue Ufer eine fortlaufende Böschung darstellt, die auch nicht durch die Buhnenköpfe unterbrochen werden dürfte. Wenn wir bei unseren mit Buhnen ausgebauten Flüssen ein solches Neuufer in der Regel nicht aufzuweisen haben, so liegt das daran, daß man sich meistens darauf beschränkt, die Verlandung der Buhnenfelder der Strömungswirkung zu überlassen und nur ausnahmsweise dieser Verlandung durch Ablagerung von Baggerboden soweit zu Hilfe kommt, daß die Befestigung des neuen Ufers durch Deckwerke vorgenommen werden kann. Man sieht vielmehr meistens mit Recht den Erfolg der Buhnenbauten als eingetreten an, wenn durch die Verlandung den Buhnenkörpern und dem hinterliegenden Altufer ein Schutz gebildet und überdies die Strömung zwischen je zwei Buhnen in dem eigentlichen Flußbett zusammengehalten wird, so daß die beabsichtigte Bettausbildung eintritt.

Der Verlandungserfolg hängt unter sonst gleichen Umständen ab von der Richtung und Höhe der Buhnen, von der Form der Buhnenköpfe und von dem Abstände der Buhnen untereinander. Da nun die bedingenden sonstigen Umstände, wie Stromgefälle, Wasserführung, Eisgang, Beschaffenheit des Flußbettes, Sinkstoffe nach Art und Menge, Führung der Streichlinie in gerader, ein- oder ausbiegender Linie, sehr mannigfaltige sind, da die Bauweisen und Bauformen mit bedingt werden durch die Art der in Frage kommenden Baustoffe: so sehen wir nicht nur auf dem Gebiete des Buhnenbaues eine große Mannigfaltigkeit sondern auch eine ebenso große Verschiedenheit in der Wirkung der Buhnen. Angesichts der vielseitigen und langjährigen Erfahrungen, die man in diesem Zweige des Wasserbaus gemacht hat, könnte es überflüssig erscheinen, einen Beitrag zu der Frage über die Wirkungsweise der Buhnen zu liefern. Wenn man aber genauer zusieht und die Ansichten sowohl der Fachmänner als auch der Lehrbücher und des sonstigen Schrifttums über diesen Gegenstand einholt, dann kommt man zu der Überzeugung, daß selbst über die Wirkungen der Buhnen sehr auseinandergehende Meinungen herrschen und daß wir erst recht weit davon entfernt sind, die Naturvorgänge selbst, die diese Wirkungen veranlassen, vollständig zu erkennen. Man wird es mir erlassen, das Gesagte, was leicht sein würde, durch Beispiele zu belegen, und ich weiß mich auch darin des Einverständnisses der Fachgenossen sicher, daß die Grundlage, auf der unsere weitere Erkenntnis aufgebaut werden muß, nur durch Beobachtung der Naturvorgänge selbst und der von ihnen hervorgebrachten Wirkungen erlangt werden

kann. Nun hat schon G. Hagen¹⁾ es ausgesprochen, daß die hier anzustellenden Beobachtungen im großen wesentlich dadurch erschwert werden, daß in den Strömen weder der Wasserstand noch die Geschwindigkeit dauernd dieselben bleiben, man also nicht mit Sicherheit angeben kann, unter welchen Umständen dieser und jener Erfolg eingetreten ist. Er hat daher, wie an genannter Stelle von ihm beschrieben, versucht, die Wirkungen der Buhnen dadurch zu prüfen, daß er in einem kleinen künstlichen Kanale die Ablagerung und das Abtreiben des Sandes beobachtete. Seine Einbauten bestanden aus metallenen dreiseitigen Pyramiden, die auf einer der drei Seiten ruhten und daher solche Werke vorstellten, deren Krone von der Wurzel nach dem Kopfe stark abfällt und im Flußbette ausläuft.

Leider macht Hagen keine Angaben über die von ihm gewählten Abmessungen, auch sind die mitgeteilten Versuchsergebnisse,²⁾ wie er selbst hervorhebt, deshalb nicht einwandfrei, weil „während der Versuche manche Anomalien eintraten, woher die Wirkung sich nicht so gleichmäßig zeigte, wie die Zeichnung es angibt.“ Und doch sind es nur Versuche im kleinen, die hier zum Ziele führen können und das um so sicherer tun werden, je planmäßiger und folgerichtiger sie durchgeführt werden und je größer der Versuchsmaßstab genommen wird. Hagen sagt im Anschluß an seine eben erwähnten Versuche:³⁾

„Bei der großen Beweglichkeit des Wassers darf man wohl erwarten, daß die Wirkungen, die in dem kleinen Kanale beobachtet wurden, ungefähr denjenigen entsprechen, die in Strömen und Flüssen eintreten. Zwischen beiden zeigt sich in der Tat ein unverkennbarer Zusammenhang, doch darf man nicht unbeachtet lassen, daß die viel größeren Massen im letzteren Falle die inneren Bewegungen wesentlich fördern und demnach bei gleicher mittlerer Geschwindigkeit auch viel auffallendere Wirkungen veranlassen.“

Daß gerade zu solchen Versuchen das Flußbaulaboratorium bestimmt ist, habe ich an dieser Stelle bereits ausgesprochen:⁴⁾ es soll hauptsächlich ermöglichen, die Wirkungen des fließenden Wassers auf die Gestaltung der beweglichen Flußsohle mit und ohne Einwirkung von Flußbauwerken zu erforschen. Damals schon habe ich den Ausspruch Hagens angeführt, daß vorzugsweise die Erfolge derjenigen baulichen Anlagen noch sehr unsicher seien, welche die dabei beabsichtigten Zwecke nicht unmittelbar herbeiführen, die vielmehr das Wasser zu gewissen Wirkungen veranlassen sollen. Ich habe weiter den Hinweis Hagens auf die Buhnen wiedergegeben, daß die Erfahrung zwar auch bei ihnen zu manchen Regeln geführt habe, daß man aber noch keineswegs zur klaren

1) Handbuch der Wasserbaukunst, 3. Auflage, 2. Teil 1. Band Seite 397.

2) a. a. O. Taf. XI Fig. 86.

3) a. a. O. S. 397.

4) Zeitschr. f. Bauw. 1900 S. 343 ff.

Einsicht in ihre Wirkungen und dadurch zur Entscheidung über ihre zweckmäßigste Anordnung gelangt sei. Nicht unterlassen möchte ich es endlich, auf die Ausführungen Rehbocks über den Zweck der Flußbaulaboratorien und ihre Bedeutung für Theorie und Praxis hinzuweisen.⁵⁾

Die nachfolgend beschriebenen Versuche über die Wirkung von Buhnen wurden dadurch veranlaßt, daß ich bei Versuchen über das Verhalten der Weichselstrecke zwischen Kil. 140 und 148⁶⁾ darauf geführt wurde, der Wirkung der hier befindlichen Buhnen besonders nachzugehen. Sehr bald erweiterte sich dieser anfänglich beschränkte Arbeitsplan zu einer größeren und umfassenden Untersuchung der bei Querbauten in strömendem Wasser auftretenden Wirkungen, die ich im Sommer 1902 begonnen und mit durch den Lehrbetrieb verursachten kurzen Unterbrechungen im Januar d. J. zu Ende geführt oder richtiger zu einem vorläufigen Abschlusse gebracht habe. Zu einem vorläufigen Abschlusse: denn ich hoffe, daß meine Mitteilungen einen Meinungs austausch veranlassen und mir neue Anregungen und Gesichtspunkte bringen und so nicht nur eine Fortführung meiner Versuche, sondern auch eine Wiederholung derselben in anderen Versuchsanstalten bewirken werden.⁷⁾

Um die zu untersuchenden Buhnenwirkungen unter möglichst einfachen und möglichst klar zu übersehenden Verhältnissen zu erhalten — die Einführung weiterer Einflüsse würde die Aufgabe nur verwickelt haben und kann, wenn angezeigt, besonderen späteren Untersuchungen vorbehalten bleiben —, wurden die Buhnen (Abb. 1 bis 5 Bl. 1) in einer geradlinigen Flußstrecke und nur an einer, der rechten, Uferseite eingebaut. Indem die mit Buhnen verbaute Uferstrecke auf den mittleren Teil des Gerinnes, von Stat. 6 bis Stat. 9, beschränkt wurde, wurden die störenden Einflüsse sowohl des Zuflusses als auch des Abflusses erheblich abgeschwächt. Um sie ganz zu beseitigen, machte sich jedoch noch eine besondere Anordnung zunächst am oberen Einlaufe notwendig. Wegen der sehr kleinen Abmessungen der Vorkammer kann das Wasser, falls es in größerer Menge in das Gerinne eintritt, nicht genügend beruhigt werden, so daß dann tiefe Auskolkungen des Sandbettes am Anfange der Flußstrecke hervorgerufen werden. Da nun aber, wie man weiter sehen wird, der Wert und das Wesen der Versuche darin besteht, daß sie sämtlich unter genau den gleichen äußeren Umständen ausgeführt werden müssen, um unter sich vergleichbar zu sein, diese Auskolkungen aber trotz größter Sorgfalt und Vorsicht bei der Ausführung der Versuche jedesmal ein verschiedenes Gepräge zeigten, so kam es darauf an, dieselben möglichst zu verhindern. Das ist dadurch geschehen, daß, wie Abb. 1 Bl. 1 zeigt, unmittelbar am oberen Einlaufe unter dem Sandbette ein sich allmählich verlaufendes Grundbett aus Grobkies angeordnet wurde. Überdies wurde durch die Einfügung eines schwimmenden Brettes bei *a* eine weitere Beruhigung des Wassers in der Vorkammer herbeigeführt. Am unteren Auslaufe machte sich,

worauf auch Rehbock⁸⁾ hingewiesen hat, der Rückstau störend bemerklich, der durch die Querrippen des Sandfanges hervorgerufen wurde. Diesen Rückstau habe ich einfach dadurch beseitigt, daß ich dem Gerinne ein größeres Gefälle gab als der Bettsohle (vgl. Abb. 1 Bl. 1), so daß die Bettschicht, die oben stets mit 10 cm Stärke beginnt, nach unten an Stärke entsprechend zunimmt. Das bringt auch den weiteren sehr beachtenswerten Vorteil mit sich, daß die Sandwanderung durch die untere Abschlußrippe *r* nicht behindert wird.⁹⁾

Während das Gerinne ein Gefälle von 0,00893 erhielt, erschien es zweckmäßig, das Sandbett mit einem solchen Gefälle einzubauen, daß sich unter der Wirkung des strömenden Wassers die entsprechenden Gleichgewichtsgefälle von selbst ausbildeten. Auf Grund von Vorversuchen wurde deshalb bei jedem Versuche die Sandschicht nach einem Gefälle von 0,00234 abgeglichen, das sich während des Durchflusses durch Auswaschung oben und Ablagerung unten im Mittel auf 0,00126 verminderte.

Die in das Gerinne eingebrachte Sandschicht bestand aus gesiebtem und ausgewaschenem Elbsande von folgender durch sorgfältige Siebversuche ermittelten Zusammensetzung. In 200 cbcm sind enthalten:

50	cbcm Sand mit einer Korngröße von 1,20 mm
92	„ „ „ „ „ „ 0,95 „
36	„ „ „ „ „ „ 0,50 „
18	„ „ „ „ „ „ 0,30 „
4	„ „ „ „ „ „ 0,10 „
	mittlere Korngröße 0,76 mm.

Bei der geringen Größtwassermenge von 30 sec/l konnte die besonders wichtige hohe Überströmung der Buhnen nur durch eine möglichst weitgehende Einengung des Durchflußquerschnittes herbeigeführt werden. Es wurde daher (Abb. 2 und 3 Bl. 1) das mit Schrotsäckchen befestigte linke Ufer hochwasserfrei angelegt und so weit vorgeschoben, daß zwischen ihm und den Buhnenköpfen eine N.W.-Breite von 76 cm verblieb. Die Buhnen selbst aber wurden so tief eingebaut, daß ihre Krone am Kopf auf N.W.-Höhe gleich 2,7 cm über Bettsohle zu liegen kam und sie bei H.W. bei einer Kronenneigung 1:50 im Mittel 3,5 cm hoch überströmt wurden. Hierbei stürzte aber das vor den Buhnen angestaute Wasser sehr heftig über die Kronen

8) a. a. O. S. 117.

9) In dieser Weise arbeite ich schon einige Jahre, ohne daß ich das Gefälle der Rinne verändere: ich bewirke vielmehr die Gefälleänderung lediglich durch die Neigung der Sandschicht, selbstredend unter entsprechender Stellung der Abflußklappe *k*. Das hat mir den Gedanken nahe gebracht, bei einer etwaigen neuen Anlage — die wegen der unzureichenden Länge meines Gerinnes in absehbarer Zeit nötig werden wird — die bewegliche eiserne Rinne durch einen festen Kanal zu ersetzen. Nach meinen bisherigen Erfahrungen braucht man auf Gefälle von mehr wie 0,01 nicht Rücksicht zu nehmen. Ich stelle daher hiermit für etwaige Neueinrichtungen den Vorschlag zur Erwägung, anstatt eines beweglichen Gerinnes einen festen Kanal mit etwa dem genannten Gefälle anzulegen und die Gefälleänderung lediglich durch die Sandschicht zu bewirken. Nehme ich dabei die von Rehbock mit Recht vorgeschlagene, da genügende, Kanaltiefe zu 30 cm an, dann würde bei 2000 cm Kanallänge und bei wagerechter Kanaloberkante die größte Kanaltiefe am unteren Ende sich zu 50 cm ergeben, von der mindestens 10 cm für die Sandschicht in Abzug zu bringen sein würden. Daß eine festliegende Gerinneoberkante, namentlich wenn sie genau wagerecht liegt, für alle Messungen von großem Vorteile sein würde, liegt auf der Hand. Ich bin z. Zt. mit der Aufstellung eines dahingehenden Entwurfes beschäftigt.

5) Zeitschr. f. Bauwesen 1903 S. 103 ff.

6) Zentralbl. d. Bauverw. 1901 S. 50.

7) Bei den nachfolgenden Ausführungen setze ich die Bekanntheit mit meiner vorerwähnten Beschreibung des hiesigen Flußbaulaboratoriums (S. 343 Jahrg. 1900 d. Zeitschr.) voraus und verweise behufs etwaiger Erläuterungen auf die angegebene Quelle.

und verursachte in den Bühnenfeldern solche Wirkungen, wie sie in der Natur bei mäßiger Überströmung entstehen. Nachdem eine große Zahl derartiger Versuche durchgeführt war, kam es darauf an, auch noch solche Versuche anzustellen, die den Verhältnissen bei H.W., also einer hohen Überströmung der Bühnen möglichst entsprechen würden. Eine noch weitergehende Breitenbeschränkung war nicht angezeigt, da dann der Versuchsmaßstab zu klein ausgefallen sein würde. Somit blieben nur zwei Wege übrig, um solche Erscheinungen im Gerinne hervorzurufen, die hoher Überströmung entsprechen: einmal die Vergrößerung der durchfließenden Wassermenge und dann die Verminderung des Gefälles, d. h. der Stromgeschwindigkeit. Zu ersterem Zwecke wurde der vierpferdige Elektromotor durch einen sechspferdigen ersetzt und gleichzeitig die Kreiselpumpe mit einer kleineren Riemenscheibe versehen, also ihre Umlaufzahl vergrößert. Wegen des großen Widerstandes des Druckrohres konnte aber mit diesen Mitteln die Größtwassermenge nur auf 31,1 sec/l gesteigert werden. Die Gefälleverminderung wurde dadurch bewirkt, daß die Bettsohle wagerecht abgeglichen wurde. Endlich wurden die Bühnen etwas tiefer eingebaut. Nunmehr ging das H.W. mit geringerer Geschwindigkeit und in einer um reichlich 1,4 cm höheren Wasserschicht (Abb. 4 Bl. 1) über die Bühnenkörper, gleichzeitig aber unterblieb auch wegen der jetzt mangelnden Stromkraft die allgemeine Wanderung der Sinkstoffe. Trotzdem zeigten sich an den Bühnen die kennzeichnenden H.W.-Wirkungen in voller Schärfe, wie sie später zu besprechen sein werden.

Der senkrechte Abstand der Bühnenköpfe vom rechten Ufer — hier die lotrechte Gerinnenwand — wurde für alle Versuche (Abb. 3 und 4 Bl. 1) zu 40 cm. festgesetzt. Der Abstand der Bühnen unter sich wurde gleich der „Normalbreite“, 76 cm, angenommen (vgl. Abb. 2 Bl. 1). Die Anzahl der Bühnen wurde auf vier beschränkt: so erhielt man wenigstens ein Bühnenfeld, das zwischen zwei andern lag. Um den Einfluß des Bühnenabstandes auf die Bühnenfelder zu erforschen, wurde bei den dahingehenden Versuchen die dritte Bühne fortgelassen.

Oberhalb der Bühnenstrecke war das ebenfalls mit Schrotsäckchen gedeckte rechte Ufer (Abb. 2 Bl. 1) bis zur Streichlinie vorgeschoben, in Höhe der Bühnenkronen abgeglichen und die dahinter liegende Überschwemmungsfläche mit Feinkies so befestigt, daß sie dem darüber streichenden H.W. genügenden Widerstand darbot. Sowohl dieses N.W.-Ufer als auch das gegenüberliegende H.W.-Ufer wurden in sanfter Krümmung bis zum oberen Einlaufe erweitert, um auch hierdurch den Wassereintritt möglichst ruhig zu gestalten. Nur bei den H.W.-Versuchen mit wagerecht abgeglicherer Sohle wurde das rechtsufrige Schutzgelände nicht eingebaut, so daß die erste Bühne in ihrer ganzen Länge gleichmäßig von der allerdings nur schwachen Strömung getroffen wurde.

Die Bühnen wurden in Zementmörtel 1:3 genau nach Zeichnung in Holzformen hergestellt. Ihre Formen und Abmessungen gehen aus den Abb. 10 bis 21 Bl. 2 hervor. Sie wurden, wie erwähnt, für die Versuche ohne Überströmung (N.W.) und bei mäßiger Überströmung (M.H.W.) nach Abb. 3 Bl. 1 und für die bei hoher Überströmung

(H.W.) nach Abb. 4 Bl. 1 eingebaut. Sie reichten daher so tief in das Sandbett, daß erst bei verhältnismäßig tiefer Auskolkung die Köpfe unterspült wurden. Der durchgeführte Arbeitsplan war der folgende.

Untersuchung der Wirkung der Bühnen:

1. Nach ihrer Höhenlage zum Wasserspiegel
 - a) ohne Überströmung (N.W.),
 - b) bei mäßiger Überströmung (M.H.W.)
 - c) bei hoher Überströmung (H.W.).
2. Nach ihrer Richtung zur Strömung
 - a) stromaufwärts gekehrte Bühnen,
 - b) senkrechte Bühnen,
 - c) stromabwärts gekehrte Bühnen.
3. Nach ihrem gegenseitigen Abstände
 - Verbauung ein und derselben Uferstrecke
 - a) mit vier Bühnen,
 - b) mit drei Bühnen (unter Fortlassung der dritten Bühne).
4. Nach ihrer Form
 - die zwölf Bühnenformen A bis L.

Über die Ausführung der Versuche ist im einzelnen folgendes zu bemerken:

Zu 1a. Die Wassermenge wurde so bemessen, daß der Wasserspiegel genau bis zur Oberkante der Bühnenköpfe, die unter sich in entsprechendem Gefälle lagen, reichte. Das war der Fall bei einem Durchflusse von 5 sec/l, dessen Dauer bei jedem Versuche zehn Stunden betrug. Während dieses N.W.-Durchflusses wurden bei jedem Versuche mit kleinen Hollunderkügelchen die Strömungserscheinungen in den Bühnenfeldern aufgenommen. Unmittelbar vor Abstellung des Durchflusses wurde das Wasserspiegelgefälle einnivelliert. Nach Schluß des Schiebers wurde das Wasser sorgfältig abgelassen, so daß die eingetretenen Bettformen keinerlei Änderung erlitten, das Flußbett über Nacht austrocknete und am nächsten Morgen die Querschnitte mit dem Querschnittzeichner aufgenommen werden konnten.

Zu 1b. Nunmehr wurde das Wasser wieder zugelassen und in genau einstündigen Zeitabschnitten durch entsprechende und bei jedem Versuche in genau demselben Maße bewirkte Mehröffnung des Zuflussschiebers in seiner Menge so gesteigert, daß nach genau fünf Stunden die Größtwassermenge von 30 sec/l erreicht war. Nach zweistündigem Durchflusse dieser Wassermenge wurde der Schieber geschlossen. Unmittelbar vorher war das Spiegelgefälle durch Nivellement aufgenommen. Am Tage darauf wurde nach Aufnahme der Querschnitte das Bett für den nächsten Versuch wieder eingebaut.

Zu 1c. Nach Abschluß aller vorbeschriebenen Versuche wurden die H.W.-Versuche so ausgeführt, daß zunächst das Gerinne in sehr sorgfältiger Weise von unten her mit Wasser angefüllt wurde bis zu der durch Vorversuche ermittelten H.W.-Höhe. Alsdann wurde während zehn Minuten ein Durchfluß von 31,1 sec/l bewirkt. Während dieser Zeit wurden mit Sohlenschwimmern und durch Einstreuen feinen Formsandes die eigenartigen und besonders wichtigen Strömungserscheinungen auf der Sohle der Bühnenfelder gemessen. Am folgenden Tage wurden, da das Bett inzwischen ausgetrocknet war, die Neubildungen in den Bühnenfeldern durch Lichtbildaufnahmen festgelegt.

Zusammenstellung und Zahl der ausgeführten Versuche.

Richtung der Bühnen	N. W.						M. H. W.						H. W.						Summe
	stromaufwärts		senkrecht		stromabwärts		stromaufwärts		senkrecht		stromabwärts		stromaufwärts		senkrecht		stromabwärts		
	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	
Bühne A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						13
" B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1						14
" C	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						13
" D	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1						14
" E	1		1		1		1		1		1		1						7
" F	1		1		1		1		2		1		1						8
" G	1						1						2		1				5
" G'													1						1
" H	1						2												3
" I	1						1						1						3
" K	1						1						1						3
" L	1						1						2						4

Insgesamt 88 Aufnahmen,
davon 14 Lichtbildaufnahmen.

Zu 2a. Die Bühnen wurden unter 70° stromaufwärts eingebaut. Da diese Bühnenrichtung für die praktische Anwendung — soweit es sich um Ströme oberhalb des Flutgebietes handelt — vorzugsweise in Frage kommt, so sind die Versuche für alle Wasserverhältnisse und alle Bühnenformen vollständig durchgeführt worden.

Zu 2b. Wie die Zusammenstellung zeigt, sind die Versuche nur für sechs Bühnenformen und nur für 1a und 1b sowie 3a und 3b zur Ausführung gekommen, da schon diese Versuche die erforderlichen Unterlagen für den Vergleich mit den anders gerichteten Bühnen ergaben und es zweckmäßig erschien, das Beobachtungsmaterial nicht unnütz zu vermehren.

Zu 2c. Auch die Versuche mit den unter 70° stromabwärts eingebauten Bühnen konnten beschränkt werden und zwar auf vier Bühnenformen und auf die Verhältnisse 1a 1b, 3a und 3b.

Zu 3a und 3b. Eine Ausdehnung der aus der Zusammenstellung ersichtlichen Versuche auf alle Bühnenformen und auf 1c würde neue Gesichtspunkte nicht erbracht haben.

Zu 4. Die zwölf Bühnenformen sind mit Ausnahme der Form G' sämtlich für den praktisch wichtigsten Fall 2a und für alle Wasserverhältnisse untersucht worden. Die Bühnen G sind bei hoher Überströmung sowohl unter 70° als auch unter 45° stromaufwärts untersucht worden, um wenigstens an einem Beispiele den Einfluß des Grades der Richtung stromaufwärts darzulegen. Ich unterlasse aber nicht, auf den akademischen Charakter eines Teils dieser Versuche hinzuweisen, insofern es nicht möglich ist, in Wirklichkeit die unter N.W. liegenden Teile der Bühnenköpfe genau nach solchen Formen herzustellen. Trotzdem haben gerade diese Versuche, wie man sehen wird, zu Ergebnissen geführt, die für die Praxis besonders wichtig sind.

Die Versuchsergebnisse zu 1a und 1b sind sämtlich zeichnerisch im Maßstabe 1:10 aufgetragen, und zwar ist jedesmal die Modellstrecke von Stat. 3,95 bis Stat. 10,95 unter Eintragung der in Abständen von je 0,5 cm ermittelten Linien gleicher Wassertiefen dargestellt worden. In den verkleinerten Abb. 1 bis 9 Bl. 2 sind zur Vermeidung übermäßiger Raumbeanspruchung die Modellstrecken nur von Stat. 5,8 bis Stat. 10,2 wiedergegeben worden. Die Tiefenlinien beziehen sich in allen Aufnahmen auf N.W. Die bei diesem Wasserstande beobachteten Strömungserscheinungen

in den Bühnenfeldern sind für alle Versuche zeichnerisch dargestellt. Endlich liegen von allen Versuchsergebnissen zu 1c Lichtbildaufnahmen vor. Es ist nun wegen der hier gebotenen räumlichen Beschränkung leider unmöglich, diese Aufnahmen in ganzem Umfange hier wiederzugeben, würde das doch bedeuten die Wiedergabe von nicht weniger denn 74 Grund- und Höhenplänen. Nur die besonders wichtigen Lichtbildaufnahmen sind sämtlich zum Abdrucke gelangt (Bl. 3), wenn auch unter Beschränkung auf das dritte Bühnenfeld. Um den Lesern jedoch eine Vorstellung von den alle Bühnenfelder umfassenden Lichtbildaufnahmen zu bieten, gebe ich in Abb. 9 Bl. 3 ein vollständiges Beispiel.

Ich muß mich daher auf die Vorführung einer Auswahl von besonders kennzeichnenden Versuchsergebnissen beschränken, so daß auch der Leser, der das gesamte Material nicht studieren kann, in den Stand gesetzt wird, sich selbst ein Urteil zu bilden und meine Schlußfolgerungen kritisch zu prüfen. Bevor in eine Erörterung der letzteren eingetreten wird, die aus den auf den Atlasblättern 1 bis 3 dargestellten und den sonstigen hier nicht wiedergegebenen Versuchsergebnissen abzuleiten sind, erscheint es zweckmäßig, eine Erörterung allgemeiner Natur über die Wirkung von Bühnen voranzuschicken.

Jede Querschnittverengung vermehrt die Widerstände, die das strömende Wasser zu überwinden hat, bewirkt daher einen Aufstau des Wassers von solcher Höhe, daß eine der Widerstandsvermehrung entsprechende Vergrößerung der Geschwindigkeit erzeugt wird. Folgt der Querschnittverengung plötzlich eine Erweiterung des Abflußquerschnittes, wie solches bei jeder Bühne der Fall ist, dann entsteht eine ebenso plötzliche Verminderung der Geschwindigkeit und damit ein Überschuß an lebendiger Kraft des strömenden Wassers, der sich in inneren, schädlichen Wirbelbewegungen verzehrt, anstatt in eine für die anschließende Stromstrecke nutzbringende Arbeit umgesetzt zu werden. Aber nicht nur deshalb sind diese inneren Bewegungen schädlich. Sie sind vor allem vom Übel, weil sie in der Nähe der Bühnenköpfe mehr oder minder tiefe, anfänglich voneinander getrennte, aber bald sich vereinigende Kolke erzeugen, die der Schifffahrt in keiner Weise zu gute kommen, dahingegen den Bestand der Bühnen, insbesondere der Bühnenköpfe gefährden und die Ausbildung einer in genügendem Abstände von diesen liegenden Fahr-

rinne verhindern. Sie sind es, die die bei N.W. schon an und für sich schwache Stromkraft dadurch noch mehr vermindern, daß das Wasser, anstatt in einer geschlossenen Rinne abzufließen, sich in diese örtlichen Ausfurchungen des Strombettes hineinwirft, wobei oft schroffe Übergänge von einem Ufer zum andern sich bilden, oder gar, was für Vorflut und Schifffahrt noch schlechter, das Flußbett sich in mehrere kleinere Rinnsale spaltet. So lange die Bühnenfelder nicht verlandet sind, können diese Kolke auch nicht verschwinden, da ja die Ursache zu ihrer Bildung, die plötzliche Querschnittserweiterung, noch bestehen bleibt. Erst mit zunehmender Verlandung der Bühnenfelder legen sich auch die Kolke mehr und mehr zu, und ihre Neubildung wird nicht zu fürchten sein, sobald die Verlandung bis zur Bühnenhöhe und zur Streichlinie angewachsen ist oder auch durch Ablagerung von Baggerboden künstlich bewirkt worden ist.¹⁰⁾

Nun bieten sich zunächst zwei Mittel dar, um die Bildung der Wirbel vor den Bühnenköpfen und die durch

Deckung des zwischen zwei Bühnenköpfen gebildeten Neuufers. Dieses Mittel führt aber nur dann zum Ziele, d. h. zur Ausbildung eines guten Stromschlauches, wenn einmal die Normalbreite von vornherein richtig gewählt und zum anderen durch die Baggerung selbst die Austiefung oder Umformung des Flußbettes genau entsprechend dieser Normalbreite bewirkt werden könnte. Denn beim Nichtzutreffen der ersten Bedingung würde die dann nötig werdende Veränderung der Normalbreite ein Aufgeben des Uferdeckwerks bedingen, während beim Versagen der letzten Bedingung von der Strömung die den neuen Verhältnissen entsprechende richtige Umformung des Stromschlauches herbeigeführt werden müßte. Alsdann aber würden die von den Erosionsstrecken ausgewaschenen Sinkstoffe wegen Mangels natürlicher Ablagerungsplätze weiter unterhalb im Flußbette selbst sich ablagern: es würde also auf Kosten der unteren Flußstrecke die Verbesserung der oberen bewirkt worden sein. Denn nicht nur darin besteht die Überlegenheit des Bühnensystems,

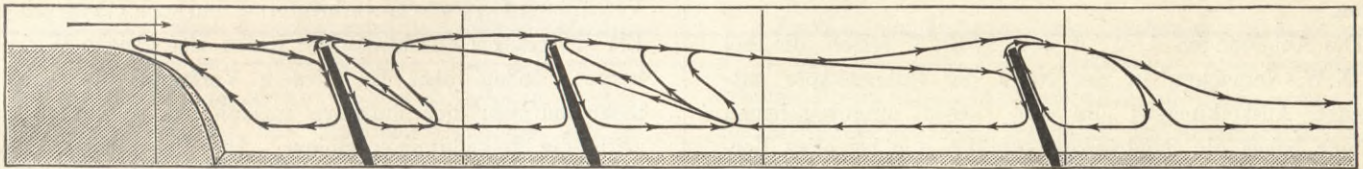


Abb. 1. G-Bühnen.

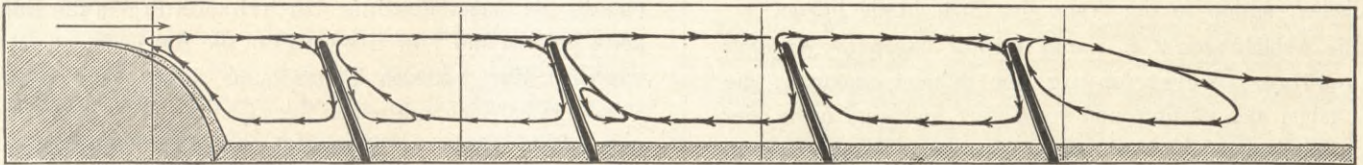


Abb. 2. A-Bühnen.

sie hervorgerufenen tiefen Auskolkungen abzuschwächen: das erste besteht darin, daß man die Bühnen nicht sogleich in ihrer ganzen Höhe erbaut, sondern sie anfangs sehr niedrig hält und sie nur in dem Maße langsam erhöht, wie die Verlandung zwischen ihnen fortschreitet. Der andere Weg ist der, daß man vor Erbauung der Bühnen die Flußsohle in der Gegend der zukünftigen Bühnenköpfe befestigt und dadurch den Wirbeln die Möglichkeit nimmt, die Flußsohle in der Nähe der Bühnenköpfe auszukolken. Während der Befolgung der letzteren sehr wichtigen Maßnahme keinerlei Bedenken entgegenstehen, sobald sie richtig ausgeführt wird, ist dem nicht immer so hinsichtlich der allmählichen und mit Unterbrechungen zu bewirkenden Aufhöhung der Bühnen. Abgesehen davon, daß es in manchen Fällen erwünscht sein kann, den beabsichtigten Regulierungserfolg möglichst bald herbeizuführen, wird sich bei einer derartigen Ausführung meistens die jedesmalige Sicherung des Kopfes und der Krone des anfänglichen Unterwasserwerks erforderlich machen, die jedenfalls hinsichtlich der Krone bei jeder nachfolgenden Erhöhung verloren gegeben werden muß.

Ein drittes sehr wirksames, ja das wirksamste aller Mittel besteht darin, daß man unverzüglich nach Fertigstellung der Bühnen die Bühnenfelder bis zur vollen Höhe und in ihrer ganzen Ausdehnung mit Baggerboden hinterfüllt unter leichter

„daß die Anpassung an das erst nachträglich erkannte Bedürfnis bezüglich der Größe des Durchflußprofils und an die definitive Lage des Flußbettes, wenn diese der Voraussicht nicht ganz entspricht, leicht und mit geringen Kosten verbunden ist.“¹¹⁾ Seine Vorzüge sind vornehmlich auch darin zu erblicken, daß bei ihm das Flußbett lediglich durch die Wirkung des strömenden Wassers so umgeformt werden kann, wie es dem angestrebten Gleichgewichtszustande zwischen dieser Angriffskraft und dem Widerstandsvermögen der Flußsohle entspricht, ohne daß die unteren Strecken verschlechtert werden, da den ausgewaschenen Sinkstoffen in den Bühnenfeldern natürliche Ablagerungsplätze geboten sind, deren Verlandung, wie wir nunmehr erkennen, in doppelter Hinsicht der gestellten Aufgabe zu Nutzen kommt. Die Bühnen müssen mithin so angelegt werden, daß sie die an sie zu stellende wichtige Aufgabe, das ist die möglichst rasche, regelmäßige und vollständige Verlandung ihrer Zwischenfelder erfüllen können.

Die Wirkungen der Bühnen sind zunächst verschieden je nach ihrer Höhenlage zum Wasserspiegel. Sie sind von G. Hagen¹²⁾ so ausführlich und lichtvoll geschildert, daß ich im großen und ganzen mich darauf beschränken kann, auf diese wichtige Quelle hinzuweisen und hier meine Versuchs-

10) Vergl. auch J. Dalman, Über Stromkorrekturen im Flutgebiet. Hamburg 1856. S. 18.

11) v. Salis, Das Schweizerische Wasserbauwesen. Bern 1883. S. 65.

12) a. a. O. 2. Teil, 1. Band S. 277 ff., S. 361 ff. und 2. Band S. 36 ff.

ergebnisse nur soweit zu beleuchten, als es sich um die Aufstellung neuer Gesichtspunkte handelt.

So lange die Bühnen nicht überströmt wurden, zeigten sich in den Bühnenfeldern bei allen Versuchen die in Text-Abb. 1 u. 2 dargestellten Nehrungs- oder Gegenströmungen. Wie man sieht, tritt die ausgehende Strömung an der Unterwasserseite der Bühnen erst in der Nähe der Bühnenköpfe an diese heran, während in der Nähe der Bühnenwurzeln sich allenthalben eine eingehende Strömung zeigt, deren Mächtigkeit mit dem Bühnenabstande zunimmt und längs des oberen Teiles des Altufers eine mit der allgemeinen Abflußrichtung zusammenfallende Strömung hervorruft. Im übrigen kommen diese Strömungserscheinungen für die Beurteilung der Verlandungswirkungen erst in letzter Linie in Betracht. Dazu ist vielmehr lediglich die Frage zu beantworten: wie gelangen die Sinkstoffe aus dem Flußbette in die Bühnenfelder? Zu dem Ende betrachten wir an Hand der mitgeteilten Versuchsergebnisse die Verlandungswirkungen bei den verschiedenen Wasserständen.

Die Abbildungen 1, 4, 6 und 8 Bl. 2 zeigen die bei allen N.W.-Versuchen in der Nähe der Bühnenköpfe entstandenen Auskolkungen: die aus diesen ausgewaschenen Sinkstoffe haben die Sandrücken gebildet, die bei aller Verschiedenheit in ihrer Form und Größe das gemeinsam haben, daß sie sich stromabwärts und etwas uferwärts an die Kolke anschließen, mithin in der Nähe der Streichlinie liegen.

Die Abbildungen 2, 5, 7 und 9 Bl. 2 lassen die Wirkung nach mäßiger Überströmung der Bühnen erkennen: die Kolke haben sich vertieft und verlängert und sind mehr oder minder miteinander in Verbindung getreten. Unmittelbar an den Unterwasserseiten der Bühnen erblicken wir die durch das übergestürzte Wasser hervorgerufenen Auswaschungsrinnen. Die Sandrücken sind stromabwärts getrieben, haben sich mithin den Oberwasserseiten der Bühnen genähert oder diesen ganz angeschlossen. Das Flußbett zeigt ein wirres Durcheinander der Linien gleicher Wassertiefen, wie wir es bei unseren Aufnahmen draußen nicht zu erhalten pflegen. Das ist darauf zurückzuführen, daß meine Aufnahmen ein Augenblicksbild bei höheren Wasserständen darstellen, während wir draußen unsere Peilungen nach Ablauf des Hochwassers machen, nachdem das dem H.W. folgende M.W. und N.W. ein Strecken der Tiefenlinien bewirkt hat. Das geht auch hervor aus der Aufnahme Abb. 3 Bl. 2, die gemacht wurde, nachdem durch die Strecke der Abb. 2 Bl. 2 während eines fünfständigen Durchflusses das M.H.W. bis auf N.W. gefallen war. Man erkennt durch einen Vergleich der beiden Abbildungen diese streckende Wirkung der dem H.W. folgenden Kleinwässer.

Die Lichtbildaufnahmen auf Atlasblatt 3 endlich zeigen die Wirkung einer hohen Überströmung.

Aus diesen geht zunächst hervor, daß, wie schon erwähnt, während des H.W.-Durchflusses die Bettsohle nicht ins Wandern geraten ist: sie ist vollkommen glatt geblieben. Man könnte daher diesen Versuchen vorhalten, daß sie keine mit der Natur übereinstimmenden Vorgänge zeigen, da es doch in unseren natürlichen Wasserläufen die bei H.W. auf der Flußsohle wandernden Sinkstoffe sind, die die Verlandung der Bühnenfelder bewirken, wenn man von den feineren

Sinkstoffen absieht, die, schwebend im Wasser davongetragen, über die Bühnenkronen in die Bühnenfelder gelangen und bei fallendem Wasser hier zur Ablagerung kommen.¹³⁾ Zur Prüfung dieses Einwandes ist es nötig, die Vorgänge zu schildern, die bei diesen Versuchen beobachtet wurden. Unmittelbar nach Beginn des Durchflusses bildeten sich die aus den Abbildungen ersichtlichen Kolke an den Bühnenköpfen, indem der ausgewaschene Sand in sehr ausgesprochener Weise längs der stromabwärts liegenden Bühnenseiten uferwärts getragen wurde, um sich in einem gewissen Abstände vom Bühnenkopfe, aber stets in engem Anschlusse an die Bühne, abzulagern. Sobald die Kolke sich völlig ausgebildet hatten, hörte auch diese Verlandungswirkung auf, da ja außerhalb des Bereiches der Bühnenköpfe die Flußsohle sich im Ruhezustande befand, also neue Sinkstoffe in die einmal gebildeten Kolke nicht hineingerieten. Wenn ich aber die Kolke wieder zuwarf, dann wurde sofort der Sand aufs neue aus ihnen herausgewirbelt, auf der Sohle rollend und in dem wirbelnden Wasser schwebend uferwärts getragen, so die Verlandung flußwärts verbreiternd und auch etwas erhöhend. Ein abermaliges Zuschütten der Kolke rief gleiche Wirkungen hervor. Indem aber bei diesem Verfahren die Sandfelder mehr und mehr sich flußwärts ausdehnten, so wurden gleichzeitig die Kolkbildungen kleiner. Der Unterschied zwischen meinen Versuchen und den Vorgängen draußen besteht mithin darin, daß in Wirklichkeit, solange das Hochwasser andauert, die Sinkstoffe ohne Unterbrechung in die Bühnenkolke geraten und von hier aus in die Bühnenfelder getragen werden. Zur weiteren Erforschung dieser sehr wichtigen Vorgänge habe ich zahlreiche Versuche mit Sohlenschwimmern und feinem Sande — Formsand — in der Weise angestellt, daß ich sie unmittelbar oberhalb der Bühnenköpfe in der Streichlinie einbrachte und nunmehr die von ihnen eingeschlagenen Wege verfolgte. Letztere sind in Abb. 10 Bl. 1 durch gestrichelte Linien wiedergegeben: man sieht, daß die Hochwasserverlandung so vor sich geht, daß die Sinkstoffe lediglich vom Kopfe der oberen Bühne aus in die Bühnenfelder gelangen, und daß die Linie *ab* die flußseitige Begrenzung dieser Verlandung darstellt. Man erkennt ferner die eingehende Sohlenströmung an beiden Seiten einer jeden Bühne. Diese ist so zu erklären, daß das über die Bühne mit großer Geschwindigkeit strömende Wasser der oberen Schichten das im Schutze der Bühnenkörper befindliche Wasser der unteren Schichten mit sich reißt: zum Ersatze fließt unmittelbar über der Sohle das Wasser vom Bühnenkopfe her nach, wobei die im Kolke aufgewirbelten Sandkörner rollend und schwebend uferwärts getragen werden. Je ungehinderter dieser untere Ersatzstrom nachfließen kann, um so energischer werden die Sinkstoffe vom Bühnenkopfe her in das Bühnenfeld hineingetragen, aber nur die Sinkstoffe, die in der Nähe der Streichlinie wandern.

Bei wieder fallendem Wasser stellt sich zunächst die mäßige Überströmung der Bühnen ein. Der vorher im engen Anschluß an die obere Bühne abgelagerte Sand wird von dem überstürzenden Wasser angegriffen. Es bildet sich längs der Unterwasserseite der Bühne eine Auswaschungs-

13) Bei tief liegenden und mit Weidenwuchs bestandenen Bühnen kann allerdings diese Verlandung die überwiegende sein.

rinne, während der Sandhügel im Bühnenfeld stromabwärts getrieben wird, um bei N.W. oberhalb der unteren Buhne zur Ruhe zu kommen. Die geschilderten Vorgänge lassen sich kurz dahin zusammenfassen, daß bei N.W. und bei mäßiger Überströmung der Bühnen der stromseitige und stromabwärts gelegene, bei H.W. der uferseitige und stromaufwärts gelegene Teil der Bühnenfelder verlandet. Da die letztere Verlandung lediglich vom Kopf der oberen Buhne ausgeht, so wird sie keineswegs von dem bei N.W. ausgeworfenen und bei M.H.W. erhöhten Rücken (Abb. 10 Bl. 1) behindert, während die bei diesem Wasserstande entstehende Auswaschungsrinne längs der Unterwasserseite der Buhne die Verlandungsfähigkeit für das nächste H.W. wieder herbeiführt. So schädlich daher auch diese Rinne für den Bestand des Bühnenkörpers sein mag, so nützlich ist sie in bezug auf die Verlandungswirkung bei H.W.

Wenn man die Bettsohle in der Umgebung der Bühnenköpfe — natürlich vor der Erbauung der Bühnen — so befestigt, daß hier keine Auskolkungen sich bilden können, dann entstehen diese nur weiter abwärts, aber stets in der Nähe der Streichlinie: die ausgeworfenen Sandrücken werden sich dann noch mehr von der Unterwasserseite der Bühnen entfernen und daher das Eintreten des Sandes bei H.W. nur erleichtern.

Die Ergebnisse der Versuche über die Wirkung der Bühnen je nach ihrer Richtung zur Strömung bieten nichts Neues dar: sie bestätigen die bekannte Überlegenheit der stromaufwärts gekehrten Bühnen gegenüber den senkrechten und besonders den stromabwärts gerichteten. Sie zeigen jedoch, in wie hohem Maße die richtige Verlandung, also die vom Altufer nach dem Strom zu fortschreitende, durch die Vermehrung der Richtung stromaufwärts begünstigt wird. Man vergleiche die Abb. 7, 8 und 9 Bl. 3 miteinander: bei ein und derselben Bühnenform und bei gleichem Abstände der Streichlinie vom Altufer hat sich die Verlandung am meisten der Bühnenwurzel genähert bei den um 45° stromaufwärts gekehrten Bühnen, während eine solche bei den stromabwärts gerichteten Bühnen gar nicht eingetreten ist. Nun steht einer so starken Richtung stromaufwärts der Umstand entgegen, daß dann die Bühnen sehr lang werden. Da es aber darauf ankommt, den Sinkstoffen bei H.W. den Eintritt in die Bühnenfelder zu erleichtern, so könnte man an gekrümmte Bühnen nach Abb. 10 Bl. 3 denken. Bei diesen bildet z. B. die Endtangente mit der Streichlinie einen Winkel von 45° , trotzdem ist die Buhne nur unwesentlich länger als die der Abb. 7 Bl. 3, unter 70° geneigten. Andererseits ist zuzugeben, daß solche gekrümmten Bühnen bei einer etwa erforderlich werdenden späteren Verlängerung gegenüber geraden Bühnen im Nachteile sein würden.

Für die Beurteilung des Einflusses des Bühnenabstandes haben meine Versuche mit nur drei Bühnen, von denen ich nur zwei mitteile (Abb. 8 und 9 Bl. 2), neue Unterlagen nicht erbracht, vielmehr nur das bestätigt, daß es nicht angezeigt erscheint, diesen Abstand in geraden Flußstrecken größer zu machen als die Normalbreite.¹⁴⁾

¹⁴⁾ Es wird aber die Aufgabe besonderer Versuche sein, diesen Punkt weiter aufzuhellen.

Dahingegen haben sich neue Gesichtspunkte und Auffassungen ergeben hinsichtlich des Einflusses der Form sowohl des Bühnenkörpers als auch insbesondere des Bühnenkopfes. Was den ersteren angeht, so spielt er nur eine Rolle bei der Überströmung der Bühnen. Der im allgemeinen trapezförmige Querschnitt der Bühnenkörper kann entweder auf beiden Seiten gleiche Böschung aufweisen, Form *A* (Abb. 10 Bl. 2), oder die Seitenböschungen haben verschiedene Neigungen; entweder ist die stromabwärts liegende flacher als die andere, Form *E* (Abb. 14 Bl. 2), oder das umgekehrte ist der Fall: Formen *D*, *I* und *K* (Abb. 13, 20 und 21, Bl. 2). Vergleichen wir zunächst die Bühnen *D* und *E*, die sich ja nur in der Querschnittsform voneinander unterscheiden, miteinander (Abb. 4 und 5 Bl. 3), so sehen wir, daß die H.W.-Verlandung bei den ersteren besser ist wie bei den letzteren. Das rührt offenbar davon her, daß bei Buhne *E* die stromabwärts flach vortretende Böschung den Eintritt der Sinkstoffe und zugleich eine hohe Auflandung im engen Anschlusse an den Bühnenkörper erschwert.

Auch bei den Bühnen *I* und *K* sehen wir (Abb. 12 und 13 Bl. 3) die sehr gute H.W.-Verlandung. Die Versuche bei mäßiger Überströmung haben ebenfalls die Überlegenheit dieser Bühnenformen erwiesen: die durch das überstürzende Wasser gebildete Auswaschungsrinne liegt bei den anderen Bühnenformen — eben wegen der flachen von ihm getroffenen Böschung — in verhältnismäßig großem Abstände von der Bühnenkrone. Dadurch wird freilich die Standsicherheit des Bühnenkörpers vermehrt, aber auch gleichzeitig das Wiedereintreten der Sinkstoffe vom Bühnenkopfe her beim nächsten H.W. erschwert. Je steiler also die stromabwärts liegende Böschung des Bühnenkörpers ist, um so kräftiger wird die H.W.-Verlandung sein. Es empfiehlt sich daher, diese Böschung so steil zu machen, als dieses mit Rücksicht auf die Art der Baustoffe, die Bauweise und die Standsicherheit der Buhne möglich ist.

Die Neigung der der Strömung zugekehrten Böschung ist ohne Einfluß auf die H.W.-Verlandung. Je flacher sie ist, um so kleiner wird bei allen Wasserständen die Auskolkung oberhalb des Bühnenkopfes, um so enger legen sich gleichzeitig die Verlandungsrücken an sie an.

Die Versuchsergebnisse hinsichtlich des Einflusses der Form des Bühnenkopfes führen zu nachstehenden wichtigen Schlußfolgerungen. Je flacher die Kopfböschung ist, um so mehr entfernen sich die Kolke stromabwärts vom Kopfe, um so flacher und langgestreckter werden sie; und umgekehrt: je steiler die Kopfböschung, um so engerem Anschluß an den Kopf, um so mehr stromaufwärts um denselben sich herumlegend, um so tiefer und kürzer bilden sich die Kolke aus. Das gilt für alle Wasserstände. Je steiler also die Köpfe sind, um so mehr werden die Kolke voneinander getrennt bleiben, um so weniger ist zu befürchten, daß diese miteinander in Verbindung treten und in der Nähe der Streichlinie eine durchlaufende, die Ausbildung einer guten Fahrinne behindernde, Kolkrinne bilden. Zu diesem Vorzuge der steilen Köpfe gesellt sich der sehr gewichtige, daß sie die H.W.-Verlandung gegenüber den flachen Köpfen, namentlich wenn diese stromabwärts flach auslaufen, wesentlich begünstigen. Zum Beweise des gesagten vergleiche man z. B. die H.W.-Wirkungen der Bühnen *B* und *C* oder *G* und *H*

(Abb. 2 und 3 sowie 7 und 11 Bl. 3) miteinander, die sich ja nur in der Neigung ihrer Köpfe voneinander unterscheiden. Man sieht, daß bei *C* und *G* die Sinkstoffe weiter in die Bühnenfelder eingetrieben sind, sich näher den Bühnenwurzeln abgelagert haben als bei *B* und *H*. Hierbei ist nochmals darauf hinzuweisen, daß die Aufnahmen die Verlandungen in ihrem Anfangszustande zeigen und daß diese Verlandungen bei ihrer weiteren Entwicklung flußwärts vorschreiten. Endlich ist den steilen Köpfen der Vorzug eigen, daß sie bei dem gleichen Abstände der Streichlinie vom Ufer eine geringere Querschnittsbeschränkung herbeiführen als die flachen weit vortretenden Köpfe. So wird beispielsweise nach Abb. 8 und 9 Bl. 1 der 1:5 geneigte Kopf den Querschnitt um die Fläche *ABC* mehr einschränken als der unter 1:1 geböschte. Je kleiner aber die plötzliche Querschnittsbeschränkung, um so mehr entfallen die Ursachen der Kolkbildung. Andererseits darf freilich nicht übersehen werden, daß trotzdem, da sie eine freiere Ausbildung der Wirbel gestatten, die steilen Köpfe tiefere Kolke, insbesondere auch stromaufwärts vor sich, hervorrufen als die flachen, sie daher mehr gefährdet sind als diese. Dem läßt sich aber meistens wirksam vorbeugen durch eine vorhergehende Befestigung der Stromsohle, wie solches in der Abbildung angedeutet ist. Die für diese Befestigung, die sich möglichst nicht über die Flußsohle erheben, vielmehr in diese hinabreichen sollte, aufzuwendenden Kosten werden sich mit den Mehrkosten für den flachen Kopf etwa ausgleichen, so daß auch vom wirtschaftlichen Standpunkte aus gegen die Anordnung steiler Köpfe Bedenken nicht erhoben werden können. — Hat sich die Verlandung in genügendem Umfange ausgebildet, dann könnte man, falls solches sich als notwendig erweisen sollte, durch nachträgliche flach auslaufende Vorlagen den allmählichen sanften Übergang vom Neuufer oder vom Bühnenkopfe in die Flußsohle bewirken.

Daß eine solche Notwendigkeit nicht immer sich einstellt, das beweist das Beispiel der Rhonekorrektur im Kanton Wallis, auf das ich durch v. Salis¹⁵⁾ aufmerksam gemacht wurde. Die dort verwendeten Bühnen haben die Form *L* (Abb. 15 Bl. 2), also einen senkrecht abfallenden Kopf. Indem ich in der Abb. 6 Bl. 1 nach der genannten Quelle den Querschnitt der Rhonekorrektur wiedergebe, lasse ich auszugsweise die v. Salissche Beschreibung folgen.

„Das zur Anwendung gebrachte System besteht aus zwei das Profil auf Hochwasser abschließenden Paralleldämmen und an diesen angelehnten, gegen das Flußbett geneigten Traversen, welche, immer zwei einander gegenüberliegend, sich in Abständen von 30 m folgen. — —

Die Traversen bestehen aus Bruchsteinmauerwerk,¹⁶⁾ laufen etwa 0,50 m unter der Krone an den Damm an und stehen an der Mittelprofilinie etwa 0,50 m über Niedrigwasser. Die daraus sich ergebende Neigung und geringe Höhe des Kopfes, woraus sich bei Hochwasser die Überströmung in der ganzen Länge ergibt, nebst den kleinen Abständen im Sinne der Flußrichtung, verhindert die Wirkung, derentwegen die Traversensysteme in Mißkredit

gekommen sind und bei manchen sich noch befinden. Es ist nämlich ganz richtig, daß zu hohe horizontale und auf größeren Distanzen voneinander abliegende Traversen infolge des durch sie verursachten Staues Kolke an den Köpfen und überhaupt unregelmäßige und daher für den Zustand des Flußbettes ungünstige Strömungen veranlassen. Ebenso richtig ist es aber, daß solche Nachteile bei besagter Anordnung nicht bestehen, sondern damit im allgemeinen eine sehr gute Strömung und daher eine gute Wirkung erzielt wird, sowohl bezüglich Verlandung des beiderseits von den Traversen eingenommenen, als besonders bezüglich Reinhaltung des mittleren Teiles des Profiles.“

Da ich nun bei meinen mit der Form *L* vorgenommenen Versuchen im Gegensatz zu diesen Ausführungen rings um die Köpfe herum sehr tiefe, wenn auch kurze Auskolkungen erhielt, die v. Salisschen Zeichnungen aber die Wirkung der Traversen nicht erkennen lassen, so wendete ich mich behufs Herbeiführung einer Aufklärung im Frühjahr 1903 an den leitenden eidgenössischen Beamten, Herrn Oberbauinspektor A. v. Morlot in Bern. Unter Übersendung meiner Aufnahmen wies ich darauf hin, daß bei meinen Modellversuchen der gegenseitige Abstand der Bühnen im Verhältnis zu ihrer Eigenlänge allerdings etwas größer sei als an der Rhone. Daß aber die Verkleinerung dieses Abstandes auf das Rhonemaß die tiefen Auskolkungen an den Bühnenköpfen nicht verhindert haben würde, das zeige das Beispiel meiner obersten Bühne, die, trotzdem sie im Schutze des Vorlandes liege, auch tiefgehende Auskolkungen verursacht habe. Der Umstand, daß meine Traversen stromauf geneigt seien, während sie in der Rhone senkrecht zum Ufer wären, könnte nach meinen bei den Modellversuchen gemachten Erfahrungen das verschiedenartige Verhalten der Traversen nicht begründen. Meiner weiter gestellten Bitte, mir über die Wirkung der Rhonetraversen und insbesondere über die Kolkbildungen an denselben, womöglich unter Beifügung einiger Aufnahmen eine Mitteilung zukommen zu lassen, hat Herr v. Morlot in der zuvorkommendsten und ausgiebigsten Weise entsprochen, so daß ich gerne Gelegenheit nehme, ihm auch an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank auszusprechen. Die von mir gewünschten Aufnahmen sind im November 1903, nach Ablauf der Hochwässer, bewirkt worden.

Ich gebe in Abb. 7 Bl. 1 den mit Tiefenlinien versehenen Plan der aufgenommenen Strecke wieder, aus dem in voller Bestätigung der v. Salisschen Ausführungen die überraschend gute Wirkung der Traversen, namentlich das Fehlen von tiefen Auskolkungen an den Köpfen derselben, hervorgeht. Diese Wirkung ist um so überraschender, als das mittlere Spiegelgefälle der betreffenden Strecke 0,0011 beträgt. Sie kann m. E., abgesehen von dem günstigen Einflusse der geringen Erhebung der Bühnenköpfe über der Flußsohle, nur durch eine besonders große Festigkeit der Bettsohle erklärt werden. Das bestätigt auch Herr v. Morlot, indem er unter Übersendung von Geschiebeprobe[n] darauf hinweist, daß das in der betreffenden Rhonestrecke zwischen den Bühnenköpfen wandernde Geschiebe ziemlich grob und mit Sand untermischt sei, sich sehr fest ablagere und der Auskolkung bedeutenden Widerstand entgegensetze. Die Ausmessungen des Geschiebes haben ergeben, daß es besteht zu einem Raumteile aus Steinen von 40 bis zu 200 mm Länge, 30 bis

15) a. a. O. S. 64ff.

16) Richtiger aus trocken aufgeschichteten Steinen, die am Kopfe innerhalb einer Umzäunung von eingetriebenen Pfählen liegen. Anmerkung des Verfassers.

80 mm Breite und 20 bis 80 mm Dicke und zu drei Raumteilen aus Geschiebesteinen kleinerer Abmessungen bis zur Sandgröße. Die kleinsten ausgeschlammten Sandkörner haben eine Korngröße von 0,15 mm.

Eine so große Verschiedenheit in den Korngrößen bedingt bekanntlich eine sehr große Dichte und Lagerungsfestigkeit, während die plattenförmige Gestalt der Geschiebe ihren Widerstand gegen Auswaschungen weiter begünstigt.

2. Hafendämme.

Schon G. Hagen hat in seinem Handbuche¹⁷⁾ nach dem Vorgange Minards¹⁸⁾ auf die Zulässigkeit des Vergleichs zwischen den Wirkungen einer Buhne und eines Hafendammes hingewiesen, sobald eine Küstenströmung stattfindet, vergift aber nicht die einschränkende Bemerkung zu machen, daß man bei Einbauten am Meeresufer im allgemeinen nicht so starke Wirkungen wie am Stromufer erwarten dürfe, weil an der Meeresküste die Hauptveranlassung zu solchen, nämlich die Beschränkung des Profils, nicht in Betracht komme. Auch dürfe man, wie er weiter in Übereinstimmung mit Minard hervorhebt, die Hafendämme nicht mehr nach den Wirkungen der Buhnen beurteilen, wenn eine sehr kräftige ein- und ausgehende Strömung im Hafen vorhanden sei. Wo aber die Vorbedingungen erfüllt sind, also einmal das Vorhandensein einer ausgesprochenen und nach einer Richtung überwiegenden Küstenströmung und gleichzeitig das Fehlen einer ungefähr senkrecht zu dieser gerichteten starken ein- und ausgehenden Strömung, wo ferner die Küste einen sandigen Strand darstellt, da kann man bis zu einem gewissen Grade diesen Vergleich nicht nur gutheißen, sondern auch mit Aussicht auf praktischen Erfolg aus ihm Nutzen ziehen. So hat bereits Minard empfohlen, unter solchen Verhältnissen die Hafendämme so anzulegen, daß ihre Richtung an die des Küstenstroms sich anschließe: ein Vorschlag, der sich ohne weiteres aus dem Vergleich zwischen einem Hafendamm und einer Buhne ergibt, insofern die letztere bei stromabwärtsgekehrter Richtung die geringste Verlandung hervorruft. Wir finden diesen Vergleich häufig wiederkehrend und naturgemäß besonders dort, wo die vorgenannten Verhältnisse vorliegen, wie das z. B. bei der belgisch-holländischen Küste der Fall ist. So u. a. in einem Berichte des holländischen Ingenieurs G. Waldorp¹⁹⁾ zu dem Entwurfe eines Seehafens für den Haag. Es lag daher nahe, die vorbeschriebenen Versuche auf die Erforschung der Wirkungen von Hafendämmen auszudehnen.

Man hat die Hafendämme so anzulegen, daß, unter steter Rücksichtnahme auf die Bedingungen der Schifffahrt, d. h. auf das jederzeit und insbesondere bei stürmischem Wetter mögliche Einlaufen der Schiffe, die Versandung, die sich vor den Molenköpfen bildet, die Barre, eine möglichst kleine Ausdehnung annimmt und tunlichst außerhalb des Fahrwassers zu liegen kommt. Behufs Gewinnung eines richtigen Urteils über die zu diesem Zweck zu treffenden Maßnahmen ist es nötig, zunächst die Ursachen aufzusuchen, die bei der Barrenbildung mitwirken.

Die durch vortretende Hafendämme unterbrochenen Küstenströmungen tragen zunächst den von ihnen mitgeführten Sand in die äußeren Winkel, die durch den sandigen Strand und die Hafendämme gebildet werden und zwar vorzugsweise auf der Seite, die von der vorherrschenden Strömung getroffen wird. Nehmen wir als Beispiel die belgisch-holländische Küste, so ist hier der vorherrschende Strom der von S. nach N. gehende Flutstrom; die Ebbeströmung ist entgegengesetzt gerichtet. Hier stößt also der Flutstrom gegen den südlichen, der Ebbestrom gegen den nördlichen Damm eines von O. nach W. gerichteten Außenhafens. Verfolgen wir die weitere Wirkung des Flutstroms. Er wird durch den südlichen Hafendamm nicht nur unterbrochen sondern auch abgelenkt und gezwungen, längs der Außenseite dieses Damms seewärts zu laufen. Durch diese Ablenkung werden Wirbel hervorgerufen, die den Sand emporheben und seine Beförderung seewärts erleichtern. Nachdem die abgelenkte Strömung den südlichen Hafendamm verlassen hat, trifft sie auf die Küstenströmung, hält sich aber zunächst noch in der Richtung der Verlängerung des See-Endes dieses Damms, um bald darauf die Richtung der allgemeinen Küstenströmung anzunehmen. Dadurch werden Nehrungsströmungen in dem Raume zwischen der Verbindungslinie der beiden Molenköpfe — die gleich weit vorspringend vor- ausgesetzt werden — und der Verlängerungslinie der Südermole hervorgerufen, vermöge welcher ein Teil des längs dieses Werkes emporgehobenen Sandes vor und um den nördlichen Molenkopf sich niederschlägt. Gleichzeitig findet eine Einströmung des Flutwassers in den Hafen statt, indem es sich mit Macht um den südlichen Molenkopf umbiegt, um sich darauf längs der Innenseite der Nordermole weiter einwärts zu bewegen. Der Ebbestrom stößt in derselben Weise gegen die Nordermole, aber da nach unserer Voraussetzung seine Geschwindigkeit kleiner ist als die des Flutstroms, so hat er nicht die Kraft, die von der abgelenkten Flutströmung verursachte Ansandung wirksam anzugreifen.

Die hier geschilderten Vorgänge spielen sich z. B. bei den Molen des Seehafens von Ymuiden ab und zwar so, daß die längs der Hafendämme abgelenkten Strömungen eine nicht unbedeutende Zunahme ihrer Geschwindigkeit seewärts erfahren, wodurch sich anfangs längs der Seeseiten dieser Dämme tiefe Auswaschungen gebildet hatten.²⁰⁾

In der Abb. 14 Bl. 1 sind die Vorgänge und die Lage der Barre am Kopfe der Nordermole nach der v. Hornschen Veröffentlichung zur Anschauung gebracht. Die Barrenbildung ist namentlich sehr bedeutend bei Sturmfluten, und zwar nicht nur deshalb, weil dann ihre Ursache, die Ablenkung und Verstärkung des Flutstroms sowie weiter die Abschwächung desselben vor und hinter der Hafenmündung am bedeutendsten ist, sondern weil dann auch die Wirkung der Wellen besonders sich fühlbar macht. Bei ruhigem Wetter und leichten Winden²¹⁾ führen die von See anlaufenden Wellen Sand heran und häufen ihn in den äußeren Winkeln der Hafendämme an, so daß namentlich hier die Uferlinie des N.W. seewärts vorrückt, am ausgesprochensten auf der

17) 3. Teil, 2. Bd. S. 439, 2. Auflage.

18) Cours de construction des ouvrages hydrauliques des ports de mer, Paris 1846. S. 122.

19) Vegaderingen v. h. Koninglyk Instituut v. Ingenieurs, 1878/79. S. 33ff.

20) v. Horn, der Seehafen von Ymuiden, Zeitschr. des Architekten- und Ingenieur-Vereins zu Hannover, 1885 S. 353ff und P. De Mey, Étude sur l'amélioration et l'entretien des ports en plage de sable. Paris 1894. S. 411ff.

21) De Mey, a. a. O. S. 195ff.

Seite der herrschenden Winde. Aber bei stürmischem Wetter und noch mehr bei Stürmen, die mit hohen Fluten zusammenfallen, häuft sich das Wasser am Ufer an, so daß hier bei fallendem Wasser mächtige Senkungsströmungen entstehen, deren Wirkungen sich mit denen der rücklaufenden Wellen vereinigen, um eine mehr oder minder beträchtliche Menge des auf dem oberen Teile des Strandes angehäuften Sandes seewärts und nach den Molenköpfen hin fortzureißen.

Ich habe diesen letzteren Punkt hier deshalb erwähnt, weil er bei der Beurteilung der Maßnahmen, die man zu treffen hat, um die Versandung der Fluthäfen zu bekämpfen, eine sehr bedeutsame Rolle spielt und weil ich mir wohl bewußt bin, daß, da ich bei meinen Versuchen die Wirkungen der Wellen und Sturmfluten nicht berücksichtigen konnte, diese Versuche nicht dazu angetan sind, die hier auftretenden Fragen erschöpfend zu erledigen.

Ende der 70er Jahre gaben die Entwürfe zu einem Seehafen für den Haag den beteiligten Ingenieuren Veranlassung, sich insbesondere auch mit der Frage zu beschäftigen, welche Richtung und Form die hier nötig werdenden Hafendämme erhalten müßten. Ich verweise auf den bereits erwähnten Entwurf von Waldorp, auf die Vorschläge von Caland und Dirks²²⁾ und auf einen Aufsatz v. Horns,²³⁾ zu dem er vermutlich durch die Erörterungen angeregt worden ist, die diese Entwürfe in dem Koninklyk Instituut van Ingenieurs hervorgerufen haben.

Nach Waldorp muß man die durch die Gegenströmungen hervorgebrachten Wirkungen zu mildern suchen, ohne das Einlaufen der Schiffe zu schädigen. Er schlägt zu diesem Ende vor, den Molenköpfen eine gebogene Form zu geben, so daß die Richtung, in der die Strömungen diese verlassen, um sich mit der allgemeinen Strömung außerhalb des Hafens zu vereinigen, der Küstenlinie möglichst parallel sei. Die durch den Flutstrom längs der Südermole mitgerissenen Sandmassen würden sich noch nördlich der gegenüberliegenden Mole niederschlagen, aber näher dieser, etwa fast innerhalb der an das Ende der Südermole gelegten Tangente. Die Ablagerungen würden daher die Hafeneinfahrt freier lassen und die daselbst erzeugten Brecher würden weniger gefährlich sein. Andererseits würde der — außer dem allgemeinen durch das Bauwerk hervorgerufenen Hauptwirbel — entstehende Nebenwirbel, den der Flutstrom jenseits des südlichen Molenkopfs bewirkt, sich auf ein Kleinmaß vermindern, weil dieser Strom das letzte Ende der Mole fast tangential und weniger

schröff verlassen würde als gerade Molenenden, die, wie in Ymuiden, unter 45° gegen die Richtung der Strömung geneigt sein würden. v. Horn hat sich im wesentlichen diesen Ansichten Waldorps angeschlossen und kommt bei der Erörterung der drei in Abb. 11 bis 13 Bl. 1 wiedergegebenen Molenanordnungen ebenfalls zu dem Schlusse, daß bezüglich der Versandung der Hafeneinfahrt der Anordnung nach Abb. 13 Bl. 1 der Vorzug zu geben sei. Auf die Frage, welchen Einfluß Richtung und Form der See-Enden der Hafendämme auf deren Standsicherheit und auf die Wellenbildung in ihrer Umgebung ausüben, gehe ich hier nicht ein, da sie in meinen Versuchen keine Berücksichtigung finden konnte.

Ich habe vielmehr die drei von v. Horn miteinander in Vergleich gestellten Molenanordnungen im Flußbaulaboratorium nur einer vergleichenden Untersuchung hinsichtlich ihrer Versandungswirkungen unterworfen, wobei allerdings die Anordnung nach Abb. 12 Bl. 1 nicht ganz mit Abb. 2 des v. Hornschen Aufsatzes übereinstimmt, übrigens ein Umstand, der an dem Gesamtergebnis nichts ändert. Die in Zementmörtel 1:3 hergestellten Molen sind in den aus den Abbildungen ersichtlichen Abmessungen an der bezeichneten Gerinnestelle und im Anschlusse an die rechtseitige Gerinnewand nach Abb. 5 Bl. 1 eingebaut. Das Sandbett wurde wagerecht abgeglichen und — da es hier auf die Erzielung einer möglichst großen Querschnittsbreite ankam — bis zur gegenüberliegenden Gerinnewand ausgedehnt, so daß zwischen den Molenköpfen und dieser eine Lichtweite von 150 cm verblieb. Die Molen reichten etwa 2 cm über den Wasserspiegel. Bei jedem Versuche dauerte der Durchfluß drei Stunden, indem in der ersten halben Stunde in genau der gleichen Steigerung der Zufluß allmählich bis auf die Größtwassermenge von 31,1 sec/l vermehrt wurde. Die während des Durchflusses beobachteten Strömungserscheinungen sind in Abb. 12 Bl. 1 dargestellt. Die in Abb. 15, 16 und 17 Bl. 3 wiedergegebenen Lichtbildaufnahmen zeigen in großer Schärfe die Versandungen. Aus ihnen geht nicht nur überzeugend die von Waldorp behauptete Überlegenheit der Anordnung Abb. 17 Bl. 3 hervor, sondern Abb. 16 Bl. 3 zeigt auch — und das ist besonders wichtig — eine unverkennbare Ähnlichkeit mit der in Ymuiden tatsächlich eintretenden Versandung der Hafeneinfahrt.²⁴⁾ Ich glaube daher, daß diese Ergebnisse für sich sprechen und wohl geeignet sind, den Wert von Flußbaulaboratorien auch für gewisse im Seebau auftretende Fragen darzutun.

22) De Mey, a. a. O. Pl. XIX, Fig. 2, Pl. XXXVII, Fig. 2 und Fig. 3.

23) v. Horn, Über Richtung und Form der Seeenden von Hafendämmen an flachen und sandigen Seeküsten. Deutsche Bauzeitung 1892, S. 302 ff.

24) Diese Ähnlichkeit würde eine noch größere geworden sein, wenn ich bei meinen Versuchen die Gegenwirkung der Ebbeströmung hätte veranlassen können. In dem erwähnten Entwurfe zu einem neuen Laboratorium soll auf die Möglichkeit der Erzeugung von Ebbe- und Flutströmungen Bedacht genommen werden.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

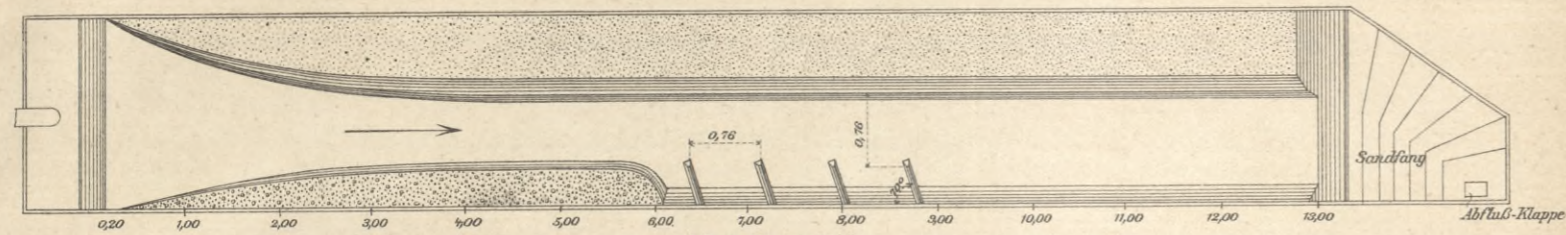
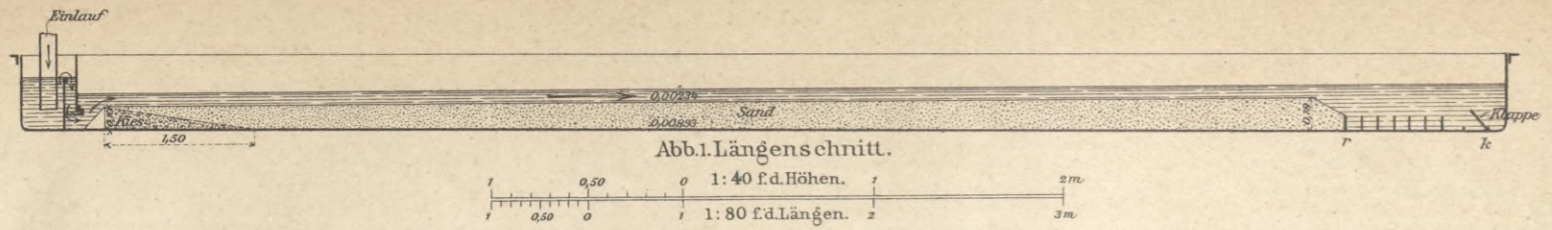


Abb. 1-5. Gerinne mit eingebauter Versuchstrecke.

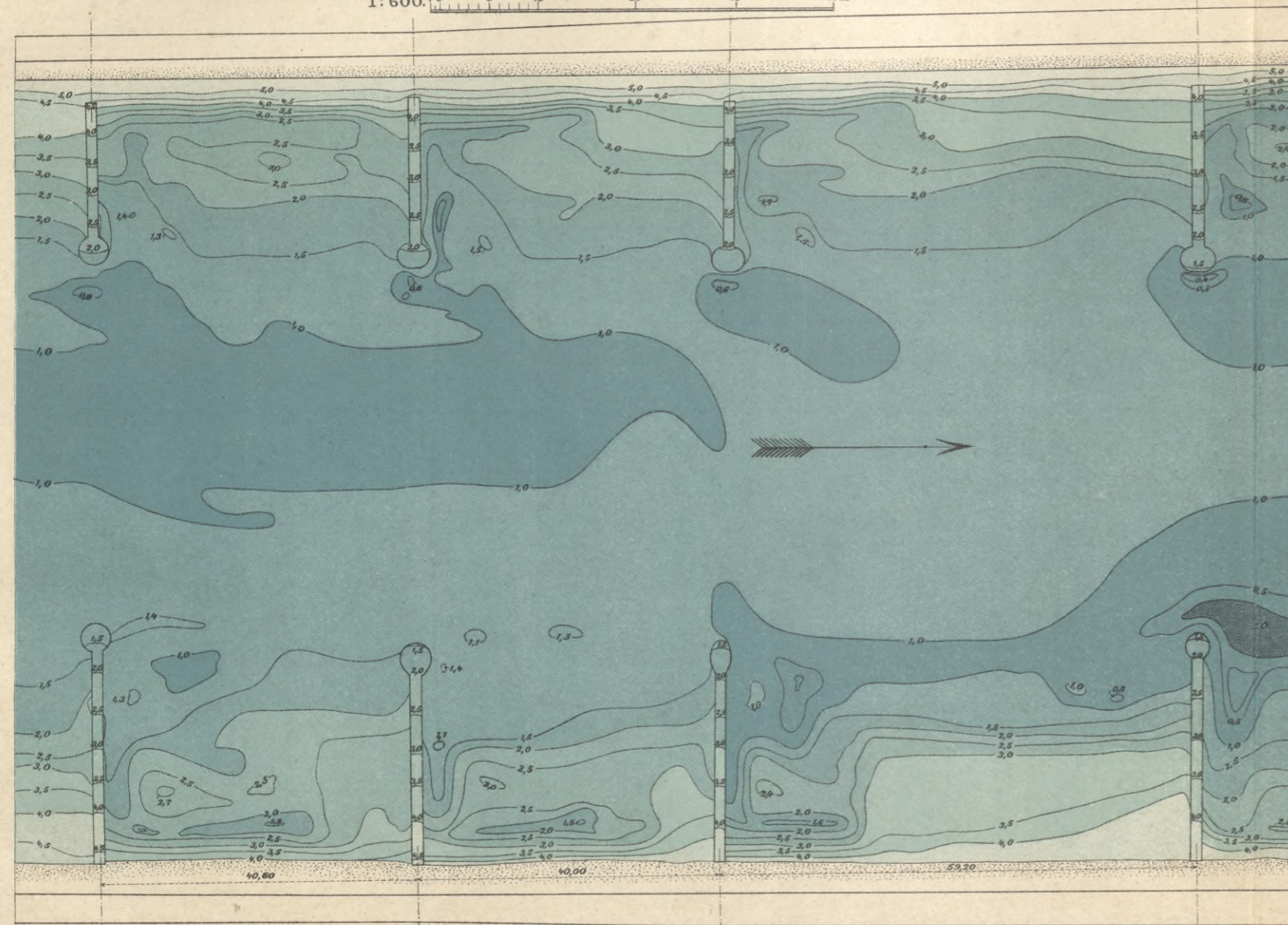


Abb. 7. Die Rhone in Wallis.
Ausbildung der Flußsohle einer Strecke mit beiderseitigen senkrechten Buhnen.
1: 750.

Wilhelm Ernst u. Sohn, Berlin.

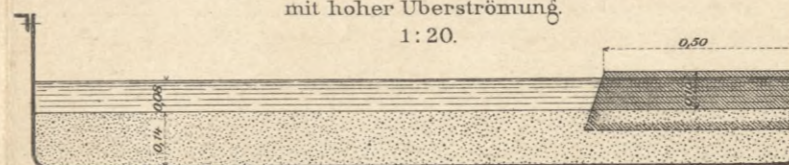
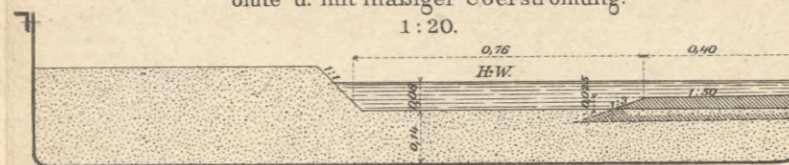
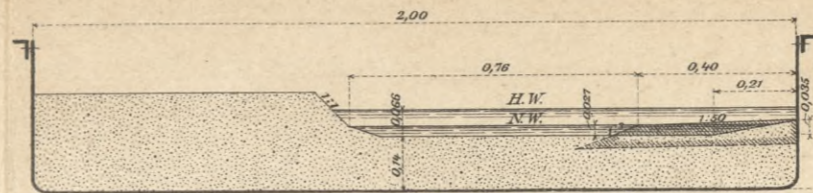


Abb. 3-5. Querschnitt mit eingebauter Mole. 1: 20.

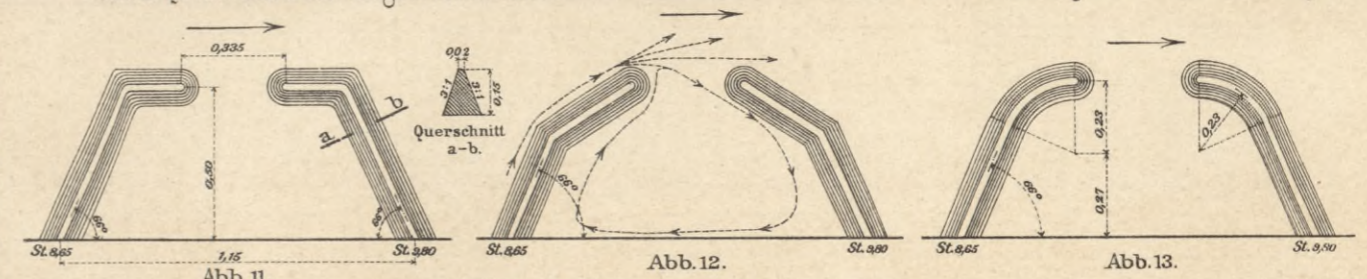
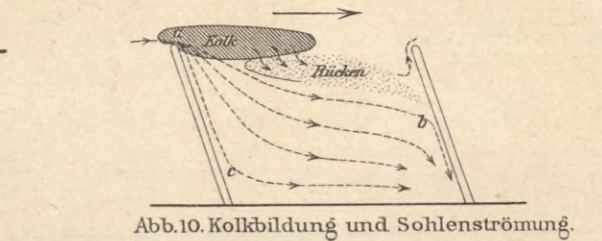
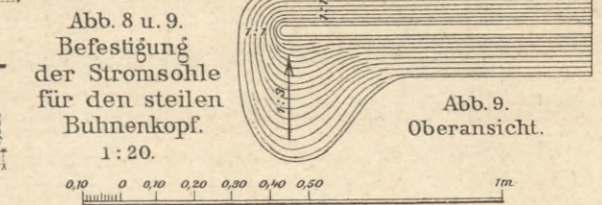
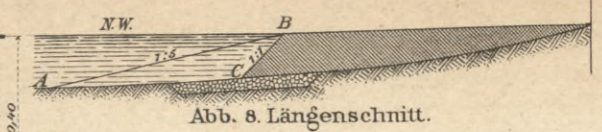


Abb. 11-13. Molenanordnungen. 1: 25.

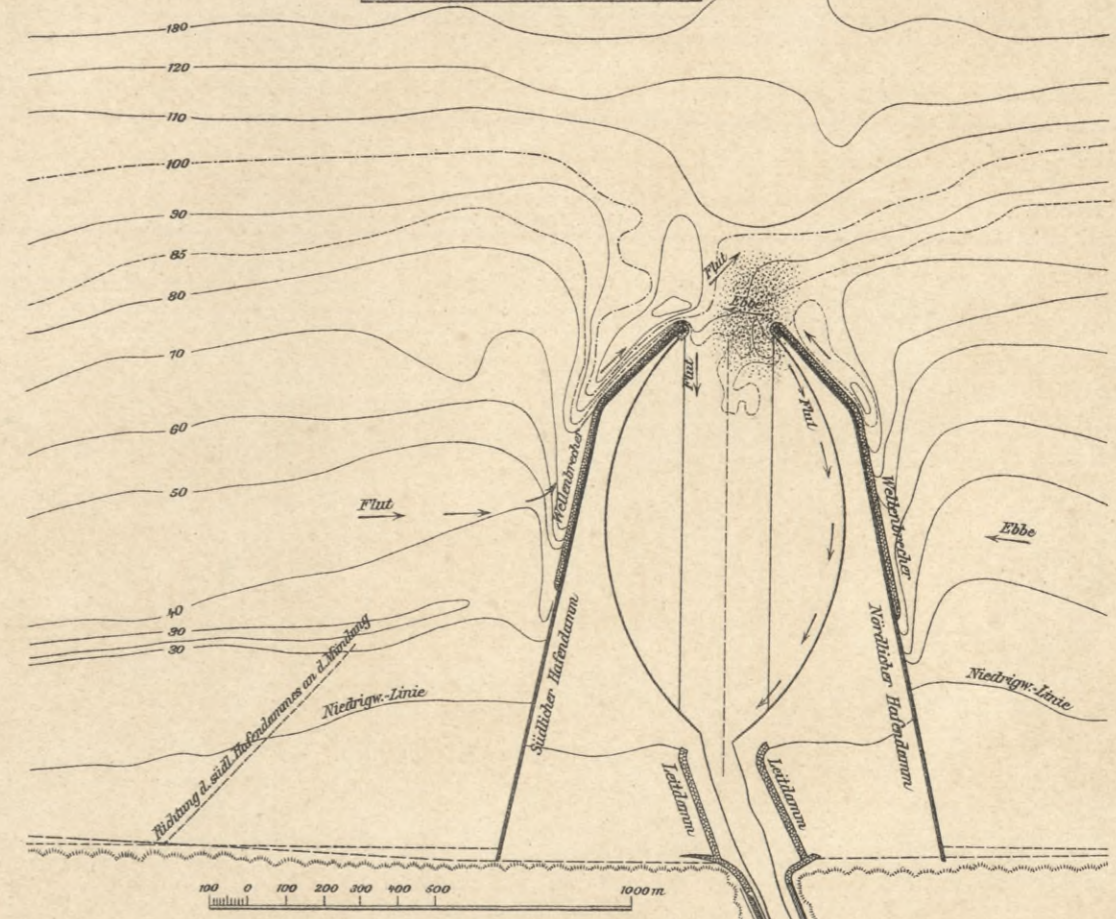


Abb. 14. Seehafen von Ymuiden. 1: 20000.

Abb. 1-9. Zeichnerische Aufnahmen von Modellstrecken.

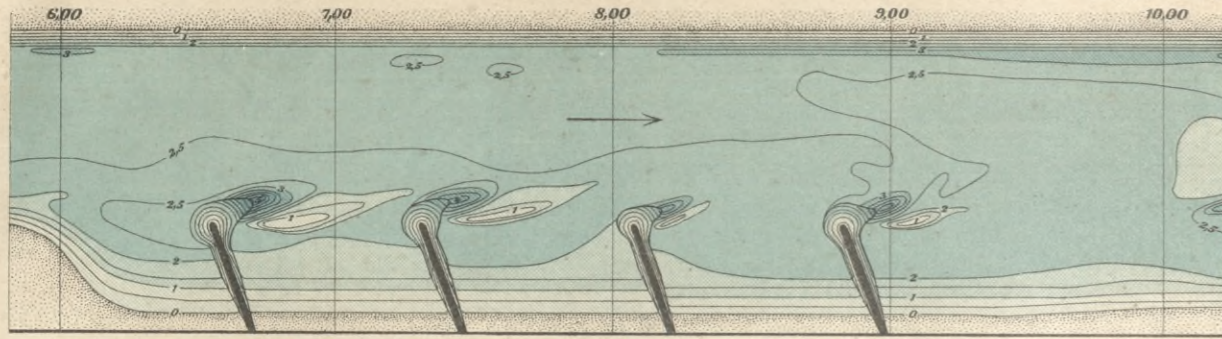


Abb. 1. Wirkung der H-Buhne ohne Überströmung (bei Niedrigwasser).

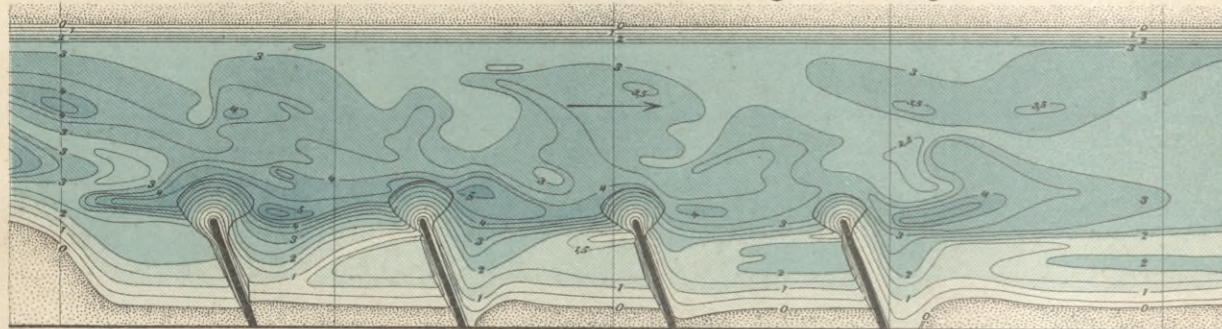


Abb. 2. Wirkung der H-Buhne nach mäßiger Überströmung (Mittelwasser).

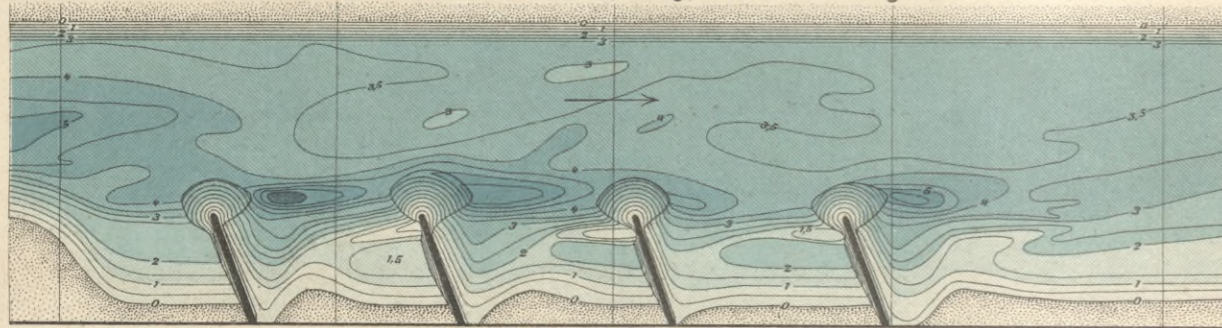


Abb. 3. Wirkung der H-Buhne nach mäßiger Überströmung und Fallen des M.H.W. auf N.W.

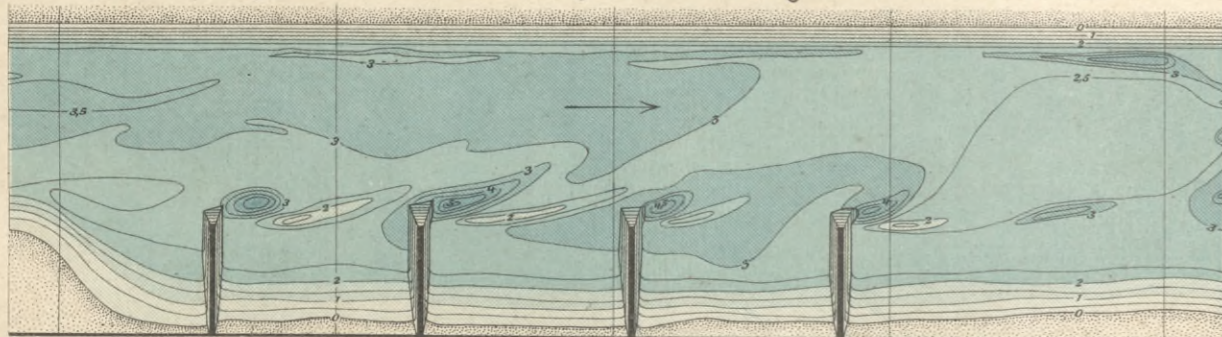


Abb. 4. Wirkung der B-Buhne ohne Überströmung (bei Niedrigwasser).

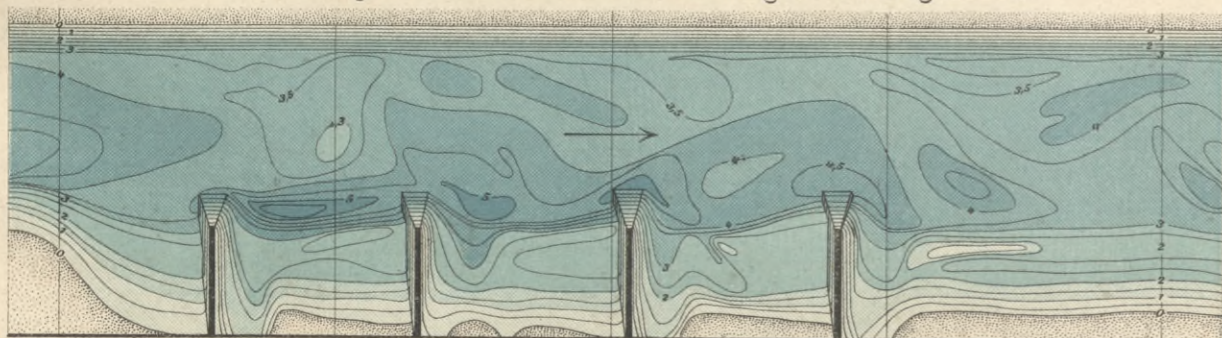


Abb. 5. Wirkung der B-Buhne nach mäßiger Überströmung (Mittelwasser).

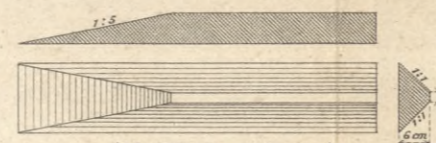


Abb. 10. Buhnenform A.

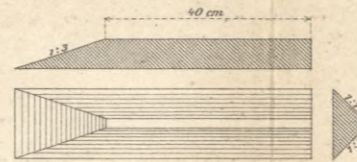


Abb. 11. Buhnenform B.

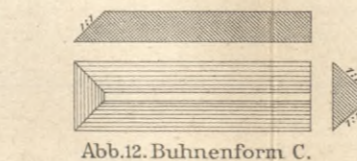


Abb. 12. Buhnenform C.

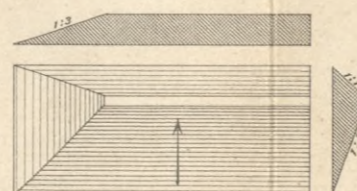


Abb. 13. Buhnenform D.

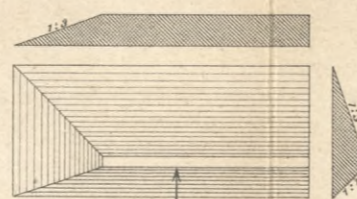


Abb. 14. Buhnenform E.

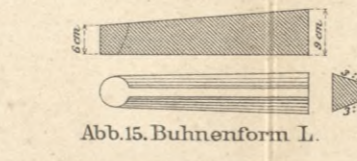


Abb. 15. Buhnenform I.

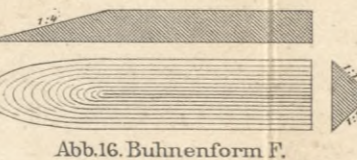


Abb. 16. Buhnenform F.

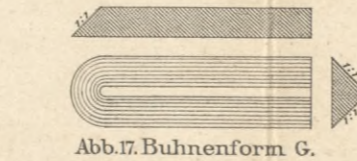


Abb. 17. Buhnenform G.



Abb. 18. Buhnenform G'.

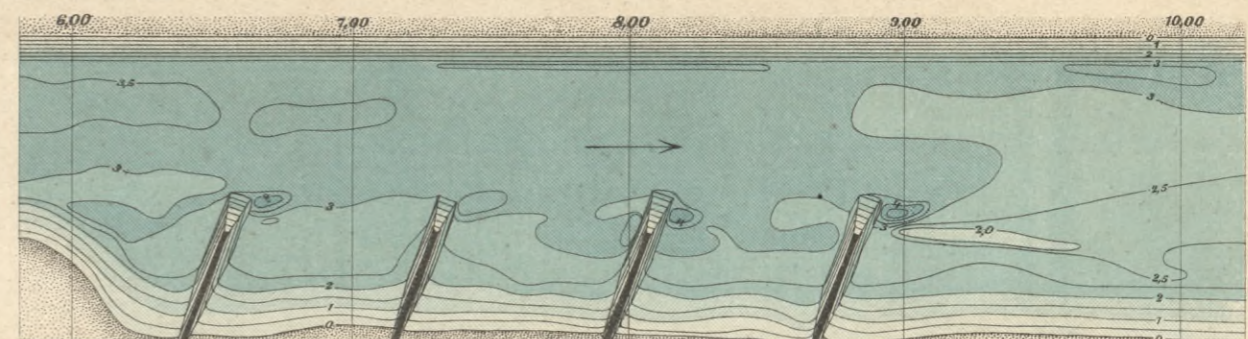


Abb. 6. Wirkung der stromabwärts gerichteten A-Buhne ohne Überströmung.

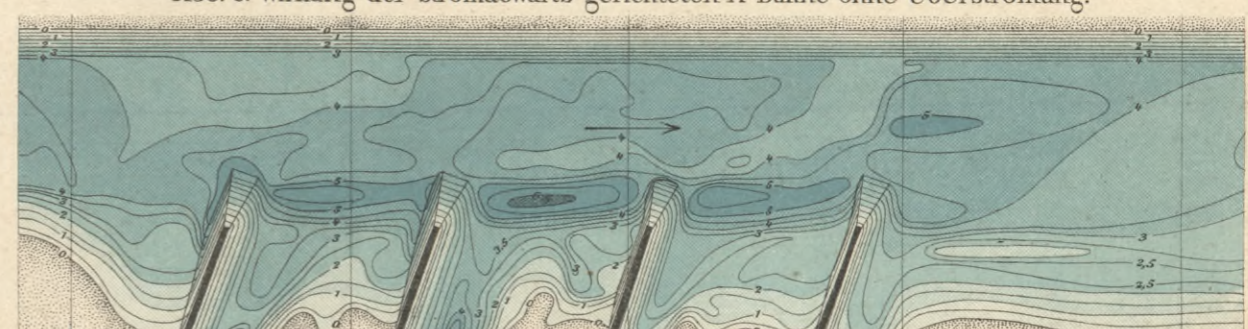


Abb. 7. Wirkung der stromabwärts gerichteten A-Buhne nach mäßiger Überströmung.



Abb. 8. Wirkung der stromaufwärts gerichteten A-Buhne ohne Überströmung.



Abb. 9. Wirkung der stromaufwärts gerichteten A-Buhne nach mäßiger Überströmung.

Abb. 10-21. Formen von Buhnen. 1:15.

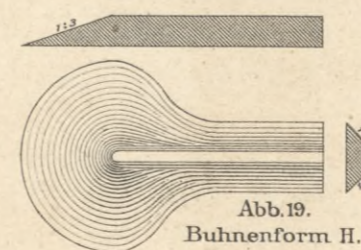


Abb. 19. Buhnenform H.

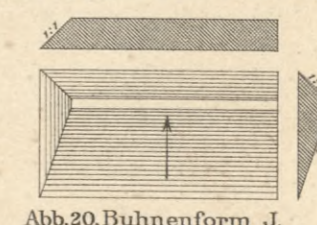


Abb. 20. Buhnenform J.

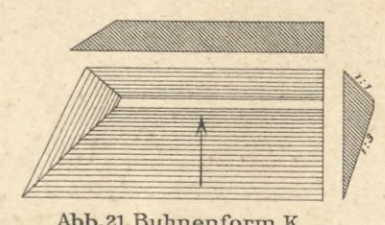


Abb. 21. Buhnenform K.

Untersuchungen über die Wirkung der Strömung auf sandigen Boden unter dem Einflusse von Querbauten.

Abb. 1-14. Wirkung von Buhnen nach hoher Überströmung (Hochwasser).



Abb. 1. Buhne A.



Abb. 2. Buhne B.



Abb. 3. Buhne C.



Abb. 4. Buhne D.



Abb. 5. Buhne E.



Abb. 6. Buhne F.



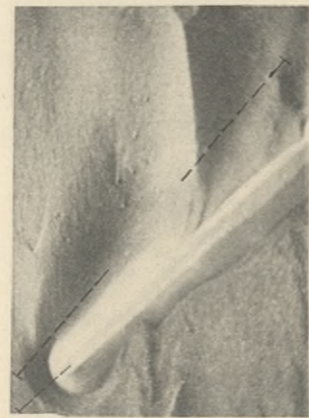
Abb. 7. Buhne G.



Abb. 8. Buhne H.



1. Feld.



2. Feld.



2. Feld.



4. Feld.

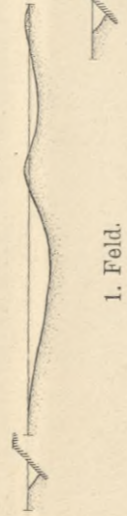


Abb. 9. Buhne G.

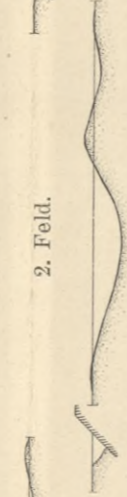


Abb. 10. Buhne H.

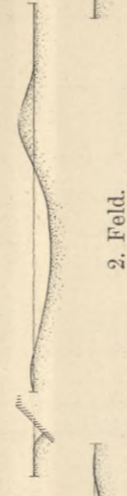


Abb. 11. Buhne I.

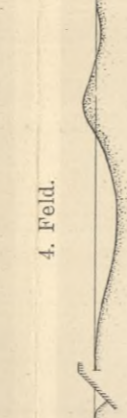


Abb. 12. Buhne J.



Abb. 13. Buhne K.



Abb. 14. Buhne L.



Abb. 15. Buhne M.



Abb. 16. Buhne N.

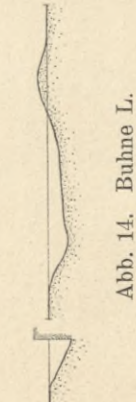
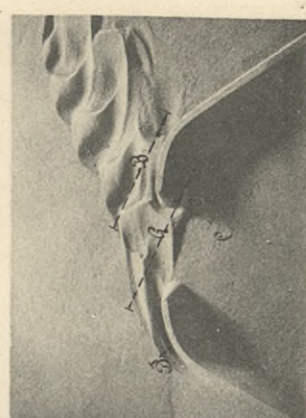
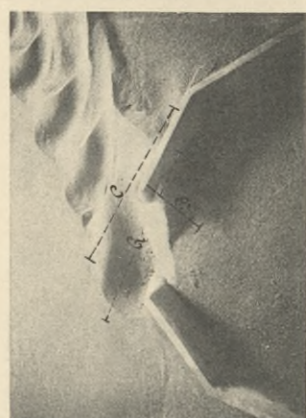
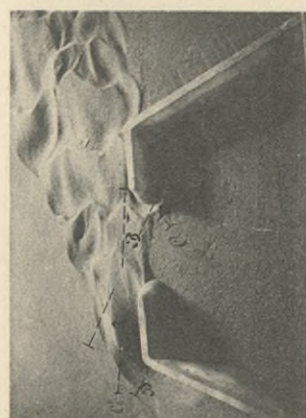
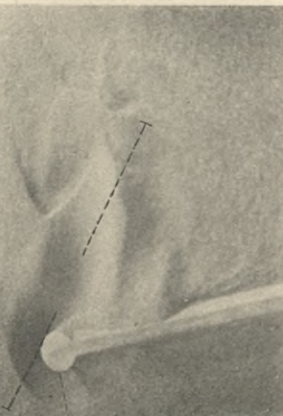
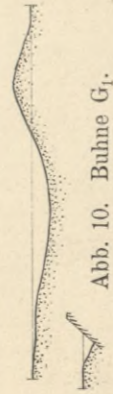


Abb. 17. Buhne R.



Abb. 18. Buhne S.



Abb. 19. Buhne T.



Abb. 20. Buhne U.

Bemerkung: Die Strömung ist in allen Abbildungen von links nach rechts gerichtet.

Abb. 15-17. Wirkung von Molen.

S. 61

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

33066

Kdn., Czapskich 4 — 678. 1. XII. 52. 10.000

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000305759