

Geschwindigkeitsverlagerungen im Querschnitt
mittels Buhnen oder Leitwerken.

Von o.Prof.z.Wv. Dr.-Ing. Ernst Schleiermacher

Die Wirkung von Buhnen oder Leitwerken wird vor allem darin gesehen, daß durch diese Einbauten der wasserführende Querschnitt eingeengt, die Geschwindigkeit im verbleibenden Flußbett und damit Schleppspannung, Räumkraft und Fahrwassertiefe vergrößert werden. Daneben werden beide Einbauarten als Mittel zur Festlegung einer neuen Uferlinie - das Leitwerk als durchlaufende Begrenzung, die Buhnenköpfe als punktweise Sichtbarmachung der zunächst nur gedachten Streichlinie - angeführt. Weiter werden die technischen Vor- und Nachteile einander gegenübergestellt: Buhnenreihen sind leichter abzuändern als Leitwerke, dafür besteht an den Buhnenköpfen Kolkgefahr usw. (Lit.1). Auf die zweite hydrodynamische Wirkung einer Buhnenreihe, die wie die Querschnittseingengungen eine Vermehrung des Wasserspiegelgefälles und damit eine erwünschte Vergrößerung der Wassertiefe bringt, hat allerdings schon Hubert Engels hingewiesen, wenn er von inneren Wirbelbewegungen spricht (Lit.2). Er hat sie als "schädlich" bezeichnet, weil er in ihnen mit Recht die alleinige Ursache für die Auskolkungen an den Buhnenköpfen sah. Die hydrodynamische Erklärung für die Entstehung dieser Ablösungswirbel als Folge der Grenzschicht-Ablösung und-Aufrolung kannte Engels noch nicht. Nicht daß 1914 (1.Auflage seines Handbuches) oder 1921 (2.Auflage seines Handbuches) diese physikalischen Vorgänge noch nicht bekannt gewesen wären: schon 1868 hat Heinrich von Helmholtz in seiner Abhandlung "Über diskontinuierliche Flüssigkeitsbewegungen" auf die Erscheinung hingewiesen, daß ein Strahl beim Austritt in einen erweiterten Raum sich in Wirbel aufzulösen pflegt. Aber auch noch 1921 überliess der Wasserbau-Ingenieur die Feststellung und Erklärung dieser Vorgänge dem Physiker oder dem Aerodynamiker und begnügte sich selbst mit seiner "Praktischen Hydraulik". Infolgedessen hat Engels den Vorteil übersehen, den Grenzschichtablösung, Bildung von Ablösungswirbeln

und, von beiden verursacht, Entstehung von Wasserwalzen in den Bühnenfeldern bieten, nämlich die Energievernichtung oder besser gesagt den Energieentzug.

Wohl als erster Wasserbau-Ingenieur hat Theodor Rehbock darauf hingewiesen, daß der Einfluß der Wasserwalzen auf den Energiehaushalt des Wasserstromes sehr wichtig ist, da die für die Bewegung des Wassers der Walzen und für die Überwindung der dabei zu leistenden Reibungsarbeit sowie zur Deckung der bei der Mischung verschieden schnell fließender Wasserteile eintretenden Energieverluste erforderliche Energie dem Wasserstrom entnommen werden muß, da keine andere Energiequelle hierfür zur Verfügung steht (Lit.3). Rehbock betonte, daß bei einem schnell fließenden Wasserstrom und entsprechend lebhaft bewegten Wasserwalzen die Energieabgabe vom Wasserstrom an die Walzen oft beträchtlich ist. Rehbock hat dabei allerdings noch nicht unterschieden zwischen dem primären Vorgang der Grenzschichtaufrollung und der Entstehung von Ablösungswirbeln und dem sekundären Vorgang der Entstehung von Wasserwalzen.

Auf Grund dieser Feststellung des Entzuges von kinetischer Energie aus der Strömung hat dann Richard Winkel die Vorgänge in den Bühnenfeldern, an deren flußseitigem Rande sich Ablösungswirbel von der Strömung trennen und in denen sich Wasserwalzen langsam drehen, als Bremskammerwirkung bezeichnet (Lit.4).

Dieser Entzug von kinetischer Energie, der durch die Ablösungswirbel und Wasserwalzen bedingt wird, stellt den sehr bedeutenden Unterschied zwischen der Wirkung von Bühnenfeldern, bei denen er auftritt, und der Wirkung von Leitwerken, bei denen er fehlt, dar, auch wenn beide Einbauarten den wasserführenden Querschnitt um das gleiche Maß einschränken, wenn also das geometrische Verbauungsverhältnis gleich groß ist.

Die Bundesanstalt für Wasserbau hat bei zwei Untersuchungen diesen Unterschied in der Wirkung der Einbauten feststellen bzw. zur Erreichung des angestrebten Zieles einer bestimmten Sohlenumbildung ausnützen können.

Zur Sicherung der Schiffahrtsrinne in der Donau im Bereiche der Innmündung bei Passau (Lit.5) gegen die Verlandungen durch die Schottermassen des Inn wurde zunächst versucht, durch den Einbau von 8 inklinanten Bühnen vor dem linken Ufer der Donau diese Ufer-

strecke, die offenbar durch den Anprall des Innwassers ausgehöhlt worden ist, zu schützen. Vor allem sollte diese Bühnenreihe den Donauquerschnitt einengen, die Räumungskraft der Donau vergrößern und sie gegen den donauseitigen Rand der grossen Kiesbank lenken (vgl. Abb. 1). Der Erfolg war gering. Es zeigten sich keine nennenswerten Verbesserungen des bestehenden Zustandes. Deshalb wurden die Bühnenköpfe entlang der Streichlinie durch ein gleichhohes Leitwerk verbunden, um ein etwaiges Ausweichen des Donauwassers in die Bühnenfelder zu verhindern. Die Bühnen blieben dabei als Traversen eingebaut (vgl. Abb. 2). Die Wirkung dieser Baumaßnahme war trotz des dreifachen Bauaufwandes ausgesprochen schlecht, wie die nachstehenden Zahlen zeigen.

Kronenlänge d. Bauwerke in m	Geringste Fahrwasserbreite bei NSW in m		Verlandete Flächen innerhalb der Schifffahrtsrinne in 1000 m ²			Inhalt der Verlandung in 1000 m ³
	+ 0 m	- 2 m	über + 0 m	+ 0 m bis - 1 m	- 1 m bis - 2 m	
	8 Bühnen					
440	60	20	40,8	14,4	13,3	130,3
	Leitwerk mit 8 Traversen					
1240	50	38	58,7	21,3	11,3	184,6

Die Erklärung musste in folgender, durch die schematische Skizze Abb. 3 erläuterten Ueberlegung gesehen werden. Die Ablösungswirbel an den Bühnenköpfen entziehen dem Wasser Energie und bremsen die Fließgeschwindigkeit. Da Abflussmenge und wasserführender Querschnitt gleich bleiben, muss in der nicht gebremsten rechten Hälfte des Querschnittes die Geschwindigkeit vergrößert werden, um durch den ganzen Querschnitt die gleiche Wassermenge durchzulassen. Dadurch wird gerade auf der Seite, die vom Donauwasser angegriffen werden soll, die Geschwindigkeit und damit zugleich die Räumkraft vergrößert. Das Leitwerk dagegen besitzt dieselbe Rauigkeit wie der leeseitige Steilrand der

Innbank und die symmetrische Verteilung der Geschwindigkeiten über den Querschnitt wird wieder hergestellt.

Auf der Rheinstrecke am Anfang der ersten Krümmung der grossen S-Schleife bei Düsseldorf bilden sich immer wieder Fehltiefen der Stromsohle, durch die die Abladetiefe der Rheinschiffahrt massgebend beeinflusst wird. Ursache für diese Fehltiefen sind die Stauwirkung der Krümmungswiderstände und der noch ungenügende MW-Ausbau dieser Strecke, verbunden mit der Möglichkeit des Ausuferns der höheren Wasserstände auf das flache Gelände links des Stromes. Um die Bekämpfung dieser Fehltiefen durch immer wiederholte grössere Baggerungen zu sparen, sollten durch Einbau von Buhnen vor dem inneren Ufer von km 739,6 bis km 740,7 der wasserführende Querschnitt eingeeengt und der Stromstrich möglichst in die vor dem äusseren Ufer liegende Fahrwasserrinne abgedrängt werden. Als Variante wurde ein Leitwerk entlang der vorgesehenen neuen Streichlinie vorgeschlagen. Die Bundesanstalt für Wasserbau wurde auch hier beauftragt, durch den Modellversuch festzustellen, mit welcher Baumaßnahme das angestrebte Ziel besser erreicht würde.

Die folgenden Zahlen ebenso wie die graphischen Auftragungen der Abb. 4 sind Mittelwerte aus den Ergebnissen von je 3 Parallelversuchen, d.h. von je 3 unter genau gleichen Bedingungen durchgeführten Versuchen im Modell. Sie sind ebenfalls auf die Natur umgerechnet. Zwischen den Querschnitten km 739,5 und km 740,5 wurden gemessen:

	Flächen unter Gl W -2 m	Flächen unter Gl W -4 m
beim bestehenden Zustand	157 941 m ²	20 910 m ²
nach Einbau der 6 Buhnen	186 597 "	27 778 "
nach Einbau des Leitwerkes	159 975 "	38 721 "

Das Leitwerk hat zwar die von der Schifffahrt nicht benötigten Flächen unter Gl W -4 m vergrössert, kaum aber diejenigen unter Gl W -2 m, die für die Schifffahrt von besonderer Bedeutung sind, während die Buhnenreihe gerade hier eine wesentliche Verbesserung gebracht hat. Deutlicher noch wird die bessere Wirkung der Buhnenreihe aus den Zahlen der mittleren Fahrwassertiefe

innerhalb der Auswertungsstrecke erkennbar:

beim bestehenden Zustand	=	G1 W - 2,98 m
nach Einbau der 6 Bühnen	=	G1 W - 3,57 "
nach Einbau des Leitwerkes	=	G1 W - 3,29 " .

Auch die Querschnitte Rhein-km 740,0, die nach den Versuchen mit den verschiedenen Einbauten aufgenommen und in der Abb. 4 aufgetragen sind, lassen sehr gut die bessere Wirkung der Bühnenreihe auf die Sohlenlage innerhalb der Fahrwasserrinne erkennen.

Die Ursache für diese bessere Wirkung ist die Geschwindigkeitsverlagerung im Querschnitt, wie durch die Abb.5 und 6 bewiesen wird. Während die vorstehend mitgeteilten Zahlen (Flächen und Fahrwassertiefen) an einem Vollmodell im Maßstab 1:150 ermittelt worden sind, sind die Geschwindigkeiten, die den beiden Isotachenplänen zu Grunde liegen, an einem Teilmodell im Maßstab 1:50 gemessen worden. Wie die Abb. 5 und 6 erkennen lassen, war an diesem Modell das linke Ufer des Mittelwasserbettes nicht voll dargestellt worden, so dass etwa 3 v.H. des wasserführenden Querschnittes fehlte (Lit.6). Ausserdem ist die Lücke zwischen den beiden, von der Linie $v = 2,0$ m/s begrenzten Flächen auf Abb. 5 bzw. die Ausbuchtung der Linie $v = 1,75$ m/s nach oben auf Abb. 6 modelltechnisch begründet als Strömungsschatten eines 100 m oberhalb angeordneten, 1 m breiten Dalbens (= Pegelträgers im Modell). Trotzdem zeigen die beiden Isotachenpläne sehr eindrucksvoll die Verlagerung der Geschwindigkeiten aus der rechten Stromhälfte (Einbau des Leitwerkes) in die linke Stromhälfte (Einbau der Bühnenreihe).

Literatur:

- 1) Tolkmitt-Paxmann, Grundlagen der Wasserbaukunst. 5.Auflage Berlin 1948 bei W.Ernst & Sohn, Fr. Schaffernak, Flußmorphologie und Flussbau, Wien 1950 im Springer-Verlag
A. Schoklitsch, Handbuch des Wasserbaues, 2.Band, 2.Auflage Wien 1952 im Springer-Verlag
- 2) H. Engels, Handbuch des Wasserbaues für das Studium und die Praxis. 1.Band, 2.Auflage, Leipzig 1921 bei Wilh. Engelmann

- 3) Th. Rehbock, Betrachtungen über Abfluss, Stau und Walzenbildung bei fliessenden Gewässern. Festschrift der Technischen Hochschule Karlsruhe zur Feier des 60. Geburtstages Seiner Königlichen Hoheit des Grossherzogs Friedrich II von Baden. Berlin 1917 bei Julius Springer.
- 4) R. Winkel, Die Bühnenwirkung. Die Bautechnik 1928, Heft 27
- 5) Vgl. auch das Referat des Verfassers "Sicherung der Schiffahrtsrinne in der Donau im Bereiche der Innmündung bei Passau" in Heft 1 des Mitteilungsblattes der Bundesanstalt für Wasserbau.
- 6) Dies war für den Zweck dieses Modelles, nämlich die Untersuchung eines Kühlwasserauslasses vor dem rechten Ufer, dessen Wirkung schon bei MW nicht mehr über die Stromachse hinaus bemerkbar war, völlig ausreichend. Weiteres im Bericht der Bundesanstalt für Wasserbau vom November 1955: Einbau des Kühlwasserauslasses für das Kraftwerk Düsseldorf-Lausward vor dem rechten Ufer des Rheins Strom-km 739,62, Modellversuche Maßstab 1:50, erstattet an die Stadtwerke Düsseldorf sowie an die zuständigen Dienststellen der Wasser- und Schiffahrtsverwaltung.

Stromgrundkarten der Innmündung bei Passau.

M. = 1:10 000

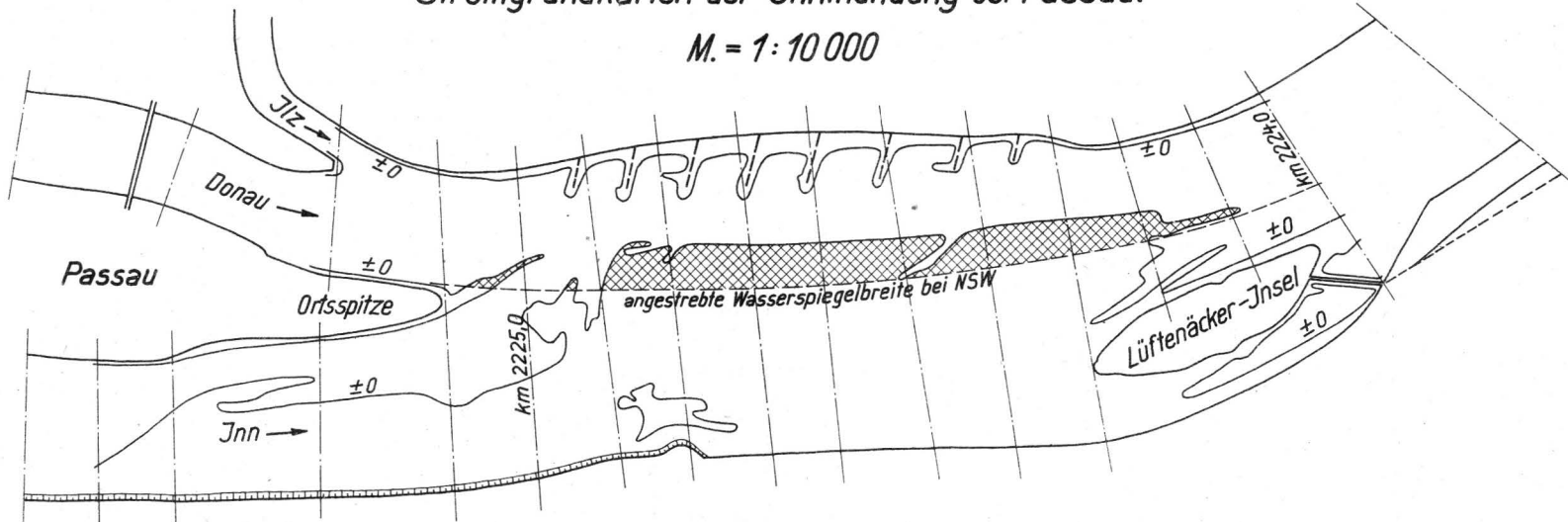


Abb. 1 Einbau von 8 Buhnen.

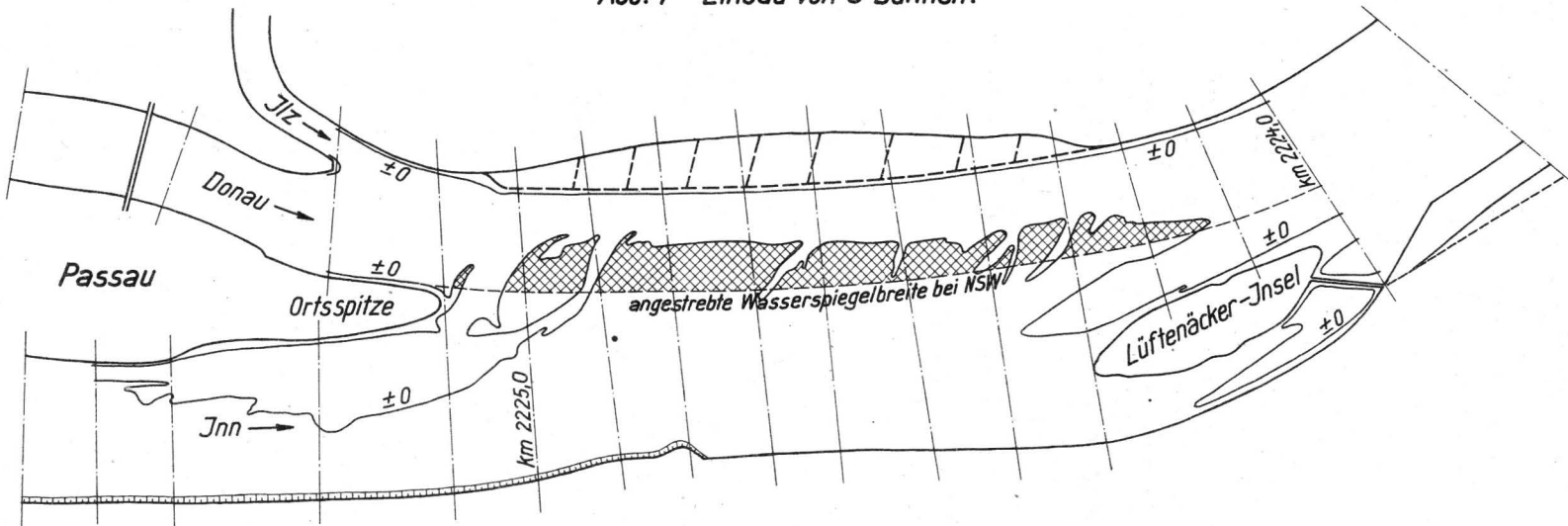


Abb. 2 Einbau eines Leitwerkes mit 8 Traversen.

Schleiermacher, Geschwindigkeitsverlagerungen im Querschnitt

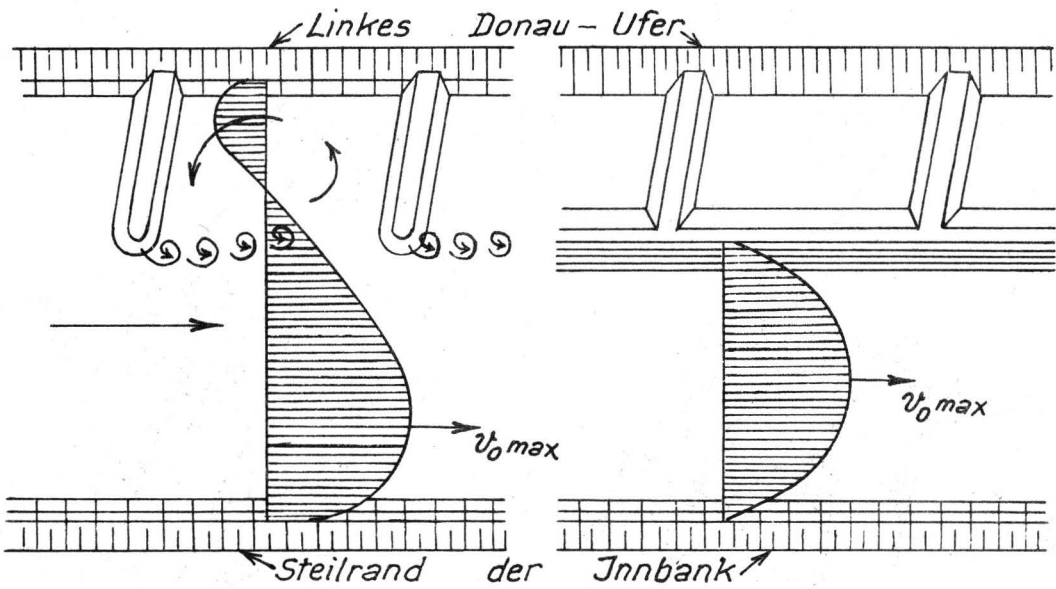


Abb. 3 Schematische Darstellung der Geschwindigkeitsverteilung.
a) an Bühnenfeldern b) an Leitwerken

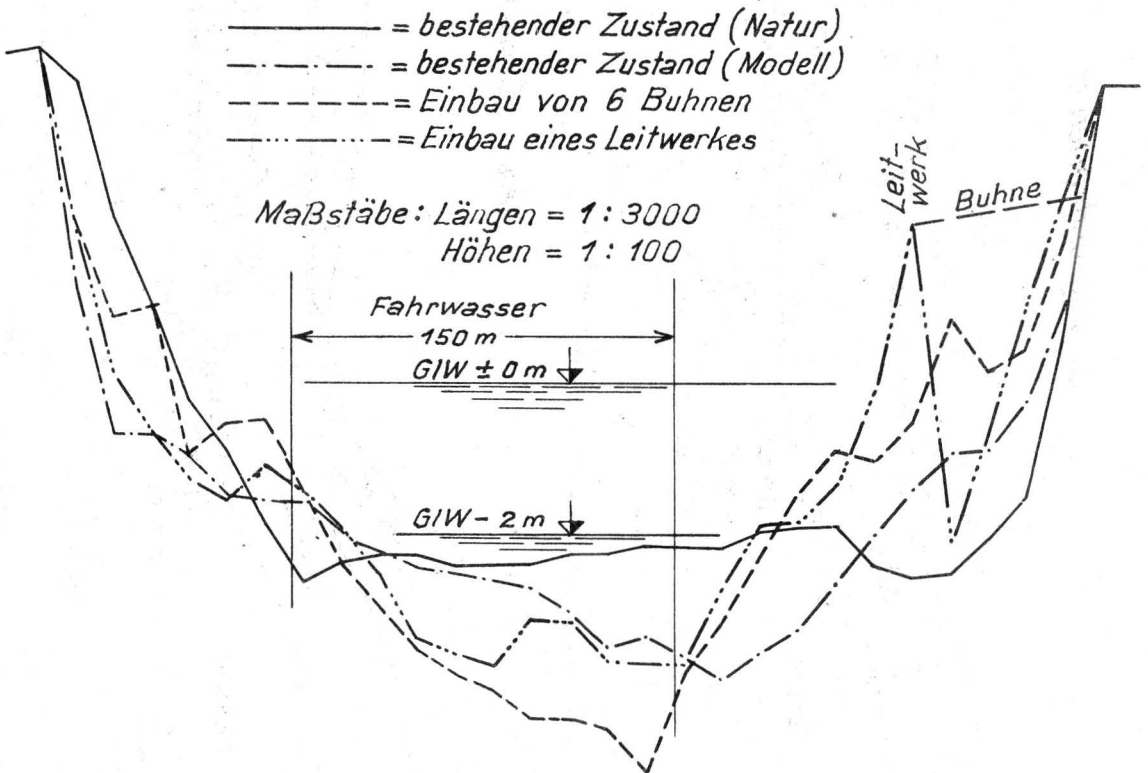


Abb. 4 Querschnitte Rhein - km 740,0.

Schleiermacher, Geschwindigkeitsverlagerungen im Querschnitt

*Isotachenpläne (Querschnitt Rhein-Km 740,1)
Abfluß in der Natur = 2395 m³/s (MW)*

*Maßstäbe :
Längen = 1:3000
Höhen = 1:100*

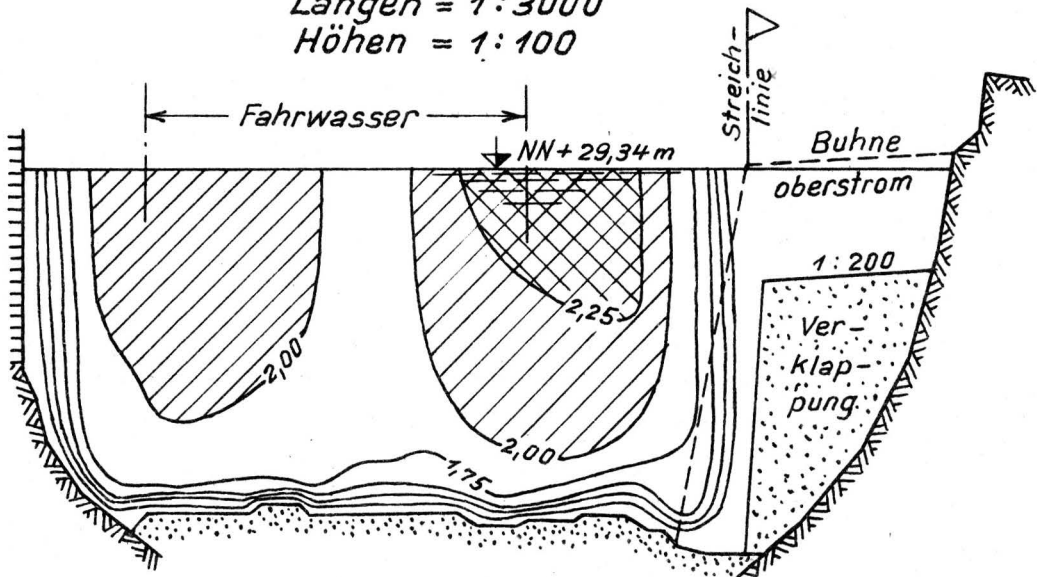


Abb. 5 Einbau einer Buhnenreihe.

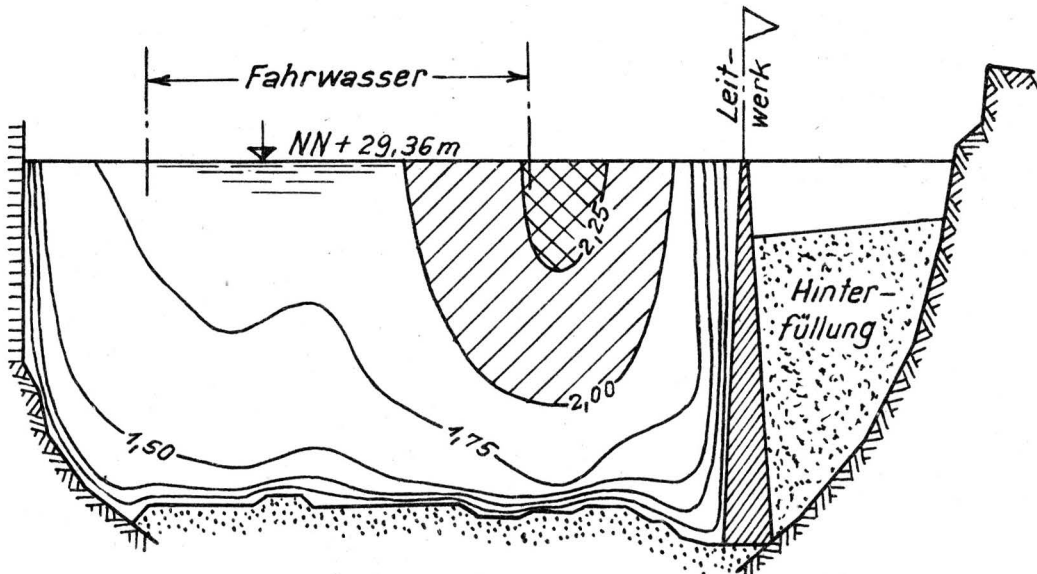


Abb. 6 Einbau eines Leitwerkes.

*Schleiermacher, Geschwindigkeits-
verlagerungen im Querschnitt*