

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Schleiermacher, Ernst

Gestaltung schräg angeströmter Brückenpfeiler

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103219>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Schleiermacher, Ernst (1954): Gestaltung schräg angeströmter Brückenpfeiler. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 3. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 24-34.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Messwehr eine Teilwassermenge so gleichmässig abgezweigt werden, dass bei den verschiedensten Abflussmengen die abgeteilte Menge stets den gleichen Anteil der Gesamtmenge ausmacht. Die gleichbleibende Genauigkeit der Teilung erlaubt, beide Abflussmengen durch Feststellung der Überfallhöhe am Wehr zu messen.

Die vorgeschlagene Einrichtung zur Teilung ist nicht nur für die besondere Aufgabe, die Anlass der Untersuchungen war, verwendbar, sondern wird auch für andere Aufgaben, bei denen eine Teilung und Messung von Abflussmengen verlangt wird, benutzt werden können. Die Soll- und Istwerte der Teilwassermenge stimmten so gut überein, dass auch bei anderem Teilungsverhältnis eine besondere Eichung meist entbehrt und die Teilmenge mit praktisch ausreichender Genauigkeit errechnet werden kann. Das vorgeschlagene Verfahren dürfte vielfältig anwendbar sein. Für Sonderfälle können in der vorhandenen Anlage in der Bundesanstalt für Wasserbau Untersuchungen und Eichungen durchgeführt werden.

Gestaltung schräg angeströmter Brückenpfeiler.

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

Die starke Zunahme der Fahrgeschwindigkeiten auf Bahnen und Strassen bedingt immer flachere Ausrundungen, immer grössere Krümmungshalbmesser bei Richtungsänderungen des Verkehrsweges. Bei einem Seiten- oder Uferwechsel des kreuzenden Verkehrsweges sind seine Absprungpunkte, d.h. die Brückenwiderlager durch die Ufer oder seitlichen Fahrbahnbegrenzungen des zu kreuzenden Verkehrsweges festgelegt. An diese Absprungpunkte muss der kreuzende Verkehrsweg in möglichst flacher Ausrundung herangeführt werden. Das macht beim Seitenwechsel von Verkehrswegen, die oberhalb und unterhalb der Kreuzung mehr oder weniger mit dem zu kreuzenden Hindernis gleich laufen, ein weites Ausholen in das beiderseitige Binnenland erforderlich, wenn die Kreuzung rechtwinklig erfolgen soll. Ist dieses Ausholen wegen dichter Bebauung des Binnenlandes oder wegen begleitender Höhenzüge nicht

möglich, so wird eine schiefe Kreuzung gewählt werden müssen. Dann ist besonders bei grossen Brücken zu fordern, dass die Luftseiten der Widerlager und die Pfeilerachsen mit der Fahrbahnachse einen rechten Winkel bilden, da sonst beachtliche statische, bautechnische und wirtschaftliche Schwierigkeiten überwunden werden müssen. Ausserdem würden Hauptträger, die über die Fahrbahn emporragen (Bogenbrücken mit unten liegender Fahrbahn, Hängebrücken), wenn sie je in der Querrichtung gegeneinander versetzt angeordnet werden könnten, einen unschönen, zum mindesten sehr ungewohnten Anblick bieten.

Nun ergibt sich aus der Forderung, dass bei schiefen Brücken die Pfeiler im rechten Winkel zur Brückenachse stehen, eine Stellung der Pfeiler schief zu der zu kreuzenden Linie. Ist diese Linie ein Fluss oder Strom, so ist mit schiffahrtstechnischen und strömungstechnischen Schwierigkeiten zu rechnen: Beeinträchtigung der Sichtverhältnisse, Steigerung des Brückenstaues, Vergrösserung der Auskolkungen an den Pfeilerhäuptern.

Die heute üblichen grossen Spannweiten der Brücken erlauben es, mit einem oder höchstens zwei Stropfpfeilern auszukommen. Dadurch wird auch die Verbauung α , d.h. das Verhältnis des durch die Einbauten ausgefüllten Teiles f des wasserführenden Querschnittes F im ungestauten Fluss zu diesem Querschnitt F sehr klein. Ebenso wird in diesem Falle die Verbauung α' der Sicht sehr klein, wenn unter der Verbauung α' das Verhältnis des vom Pfeiler verdeckten Teiles f' der freien Durchsicht F' , d.h. zu der vom Wasserspiegel, der Brückenunterkante und den ersten Vorlandpfeilern oder den Widerlagern begrenzten Sichtfläche verstanden wird.

$$\alpha = \frac{f}{F}$$

$$\alpha' = \frac{f'}{F'}$$

Das Verbaunungsverhältnis spielt bei der Berechnung des Brück-

kenstaues z nach der Rehbock'schen Formel¹⁾

$$z = \left[\sigma_0 - \alpha(\sigma_0 - 1) \right] \cdot (0,4\alpha + \alpha^2 + 9\alpha^4)(1 + 2\omega) \frac{v_0^2}{2g}$$

eine Rolle. Sie ergibt die Hebung des Wasserspiegels im Abstand von einer Pfeilerlänge oberhalb des Oberhauptes und stimmt sehr gut mit späteren Untersuchungen anderer Forscher und Messungen in der Natur überein. Ausser dem Verbaunungsverhältnis enthält die Formel noch folgende Werte:

die Geschwindigkeitshöhe im unverbauten Fluss $\frac{v_0^2}{2g}$

das Fließverhältnis des ungestauten Wasserlaufes $\omega = \frac{v_0^2}{2g \cdot t_0}$

den Grenzformwert des Pfeilers σ_0 .

Für den im folgenden mit Form I bezeichneten Pfeiler (vgl. Abb. 1) hat Rehbock den Wert $\sigma_0 = 1,84$ gefunden.

Die Rehbock'schen Formbeiwerte sind nun alle für den Fall ermittelt, dass Pfeilerachse und Strömungsrichtung parallel laufen. Steht die Pfeilerachse dagegen schräg zur Strömungsrichtung, so ändern die Verhältnisse sich beträchtlich. Es soll nun ein Beispiel besprochen werden, bei dem Strömungsrichtung und Pfeilerachse einen Winkel von etwa 35° miteinander bildeten.

In dem Bereich oberhalb von Hindernissen, Einbauten usw., von denen sich Grenzschichtablösungen stromabwärts bilden können, dürfen vielfach die Stromfäden der in der Natur fast stets vorhandenen turbulenten Bewegung den Stromlinien der laminaren und daher auch der Potential-Strömung gleichgesetzt werden. Der Engländer Hele-Shaw²⁾ hat Stromlinienbilder von Potentialströmungen um beliebige Körper ermittelt, indem er dünne Querschnitte dieser Körper zwischen 2 Glasplatten einschob, die im Abstand

- 1) Th. Rehbock, Verfahren zur Bestimmung des Brückenstaues bei rein strömendem Wasserdurchfluss. Festschrift zur Einweihung des Neubaus der Bauingenieurabteilung der Techn.Hochschule "Fridericiana" zu Karlsruhe am 26. Nov. 1921. Berlin 1922 bei Julius Springer.
- 2) H.S. Hele-Shaw, Experiments of the Nature of Surface Resistance. Transactions Inst. Nav.-Architects, 29, 145, 1892, ferner Dr.-Ing. Bruno Eck, Technische Strömungslehre, 3. Aufl., Berlin-Göttingen-Heidelberg 1949 im Springer-Verlag u. Prof. Dr. Hermann Schlichting, Grenzschicht-Theorie, Karlsruhe 1950 bei G. Braun.

Maßstab = 1 : 250

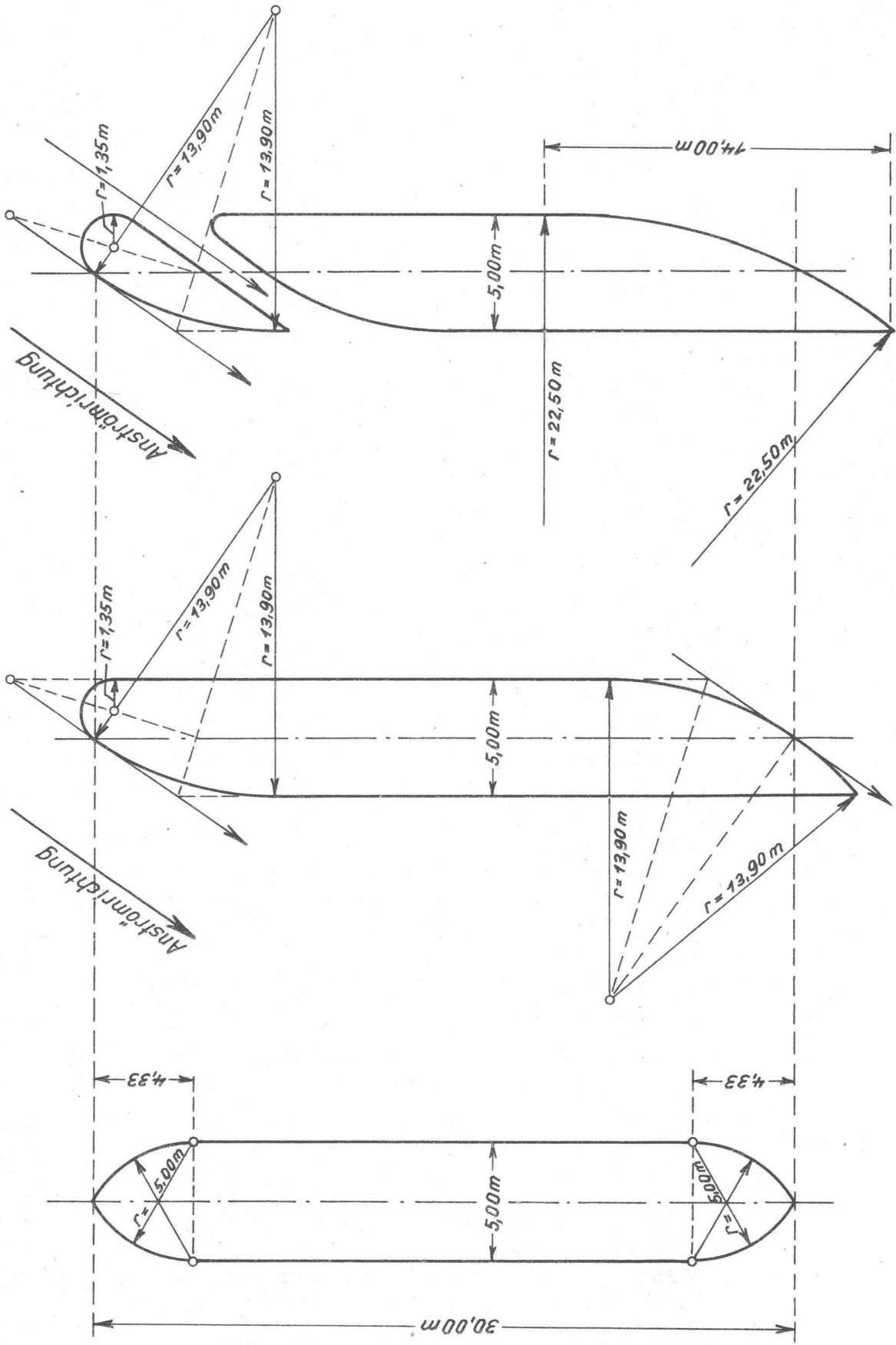


Abb. 1 Form I

Abb. 2 Form II

Abb. 3 Form III

*Die untersuchten Pfeiler in laminarer Strömung
nach Aufnahmen mit Hilfe des Pohl'schen Strömungsgerätes.*

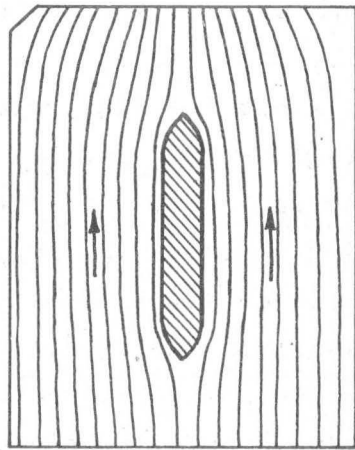


Abb. 4 Form I Parallel angeströmt

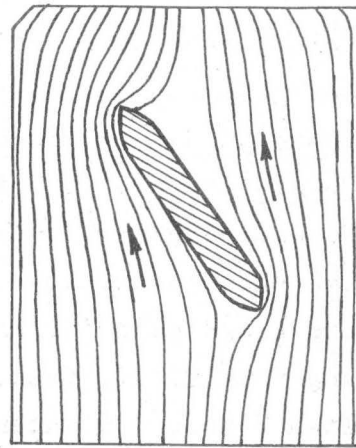


Abb. 5 Form I

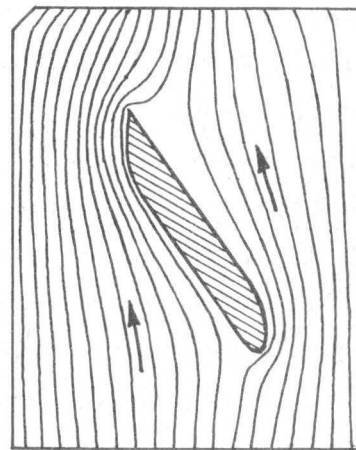


Abb. 6 Form II

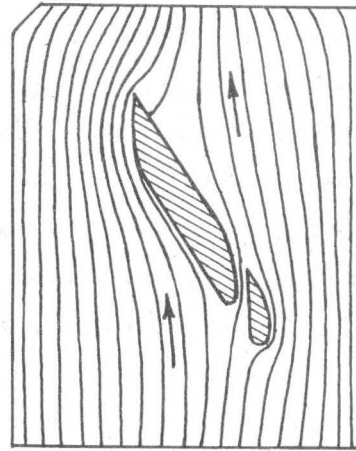


Abb. 7 Form III

Abb. 5-7 schräg angeströmt

von der Dicke dieser Querschnitte - etwa 1 mm - parallel zueinander angeordnet waren. In das Wasser, das man zwischen den Glasplatten durchfliessen lässt, wird aus feinen Öffnungen Farblösung eingeleitet, die mit dem Wasser abströmt und die Stromfäden sichtbar macht (Stromfädenapparat der Firma Pohl-Göttingen). Die Abbildungen 4 - 7 sind nach photographischen Aufnahmen am Pohl'schen Gerät gezeichnet. Ein Vergleich von Abbildung 4 mit Abbildung 5 lässt erkennen, wie stark auch bei laminarer Strömung die Stromlinien durch Schrägstellung des gleichen Pfeilers Form I abgelenkt und örtlich zusammengedrängt werden. Es darf aber als bekannt vorausgesetzt werden, dass in der Potentialströmung eine Verkleinerung des Stromlinien-Abstandes eine Vergrößerung der Strömungsgeschwindigkeit bedeutet.

Während nun in der Potentialströmung die Stromlinien sich hinter dem Hindernis wieder zusammenschliessen, so dass bei symmetrischen Staukörpern sogar ein an der Achse des Staukörpers gespiegeltes Stromlinienbild entsteht (vgl. Abb. 4 und 5), ändert sich in dem naturähnlichen turbulenten Abfluss das Strömungsbild abwärts von dem Pfeilerhäuptern vollständig. In einer Versuchsrinne wurden Pfeiler im Maßstab 1:100 der entsprechenden Naturausführungen eingebaut, die dieselben Querschnitte besaßen wie die im Stromfädenapparat untersuchten. Die photographischen Zeitaufnahmen heller Oberflächenschwimmer Abbildungen 8 - 10 lassen die Grenzschichtablösung am Oberhaupt und Unterhaupt und die Verbreiterung des wirbeldurchsetzten Totwasser- raumes auf der Leeseite der Pfeiler, die noch über die normal zur Strömung gemessene Verbauungsbreite der Pfeiler hinausgeht, deutlich erkennen.

Es ist oben darauf hingewiesen worden, dass bei den heutigen weitgespannten Brücken mit wenigen Pfeilern das Verbauungsverhältnis und folglich auch der Brücken- oder richtiger der Pfeilerstau vernachlässigbar klein sind. Dagegen spielt nach wie vor die Frage nach der Entstehung und der Verhütung von Kolkbildungen am Pfeilerfuss eine bedeutende Rolle. Die hier mitgeteilten Versuche dienten zur Beantwortung dieser Frage

Die untersuchten Pfeiler in turbulenter Strömung

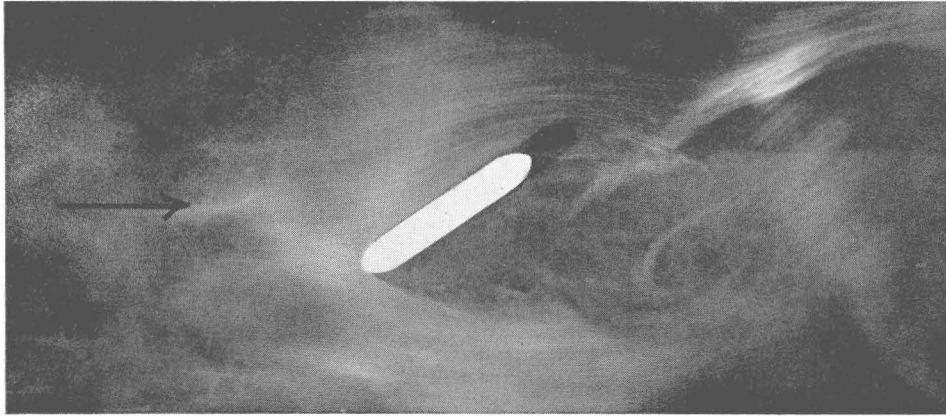


Abb. 8. Form. I.



Abb. 9. Form. II.

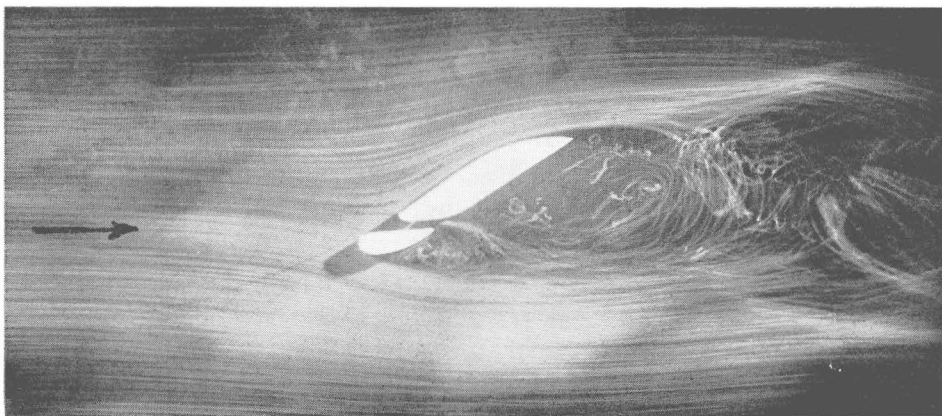


Abb. 10. Form. III.

für den besonderen Fall der neuen Kniebrücke in Düsseldorf³⁾. Sie wurden von Reg.-Bauref. Burghart und Dipl.-Ing. Gehrig durchgeführt.

Die Betrachtung der Potentialströmung, die den untersuchten Pfeiler schräg anströmt, lässt die starke Geschwindigkeitszunahme beim Umströmen der Pfeilerhäupter erkennen. Der Verlauf der beiden Stromlinien, von denen die eine in scharfer Krümmung das Pfeileroberhaupt rechts umströmt, die nächste dagegen nach links entlang der luvseitigen Pfeilerflanke fließt, weist auf den dazwischen liegenden Staupunkt an der Pfeilerwand hin. Dieser Punkt, an dem sich also die Strömung teilt, liegt bei schräger Anströmung (Abb. 5 - 7) nicht vor der Spitze des Pfeileroberhauptes, sondern ein Stück zur Mitte der Pfeilerflanke verschoben. In der turbulenten, naturgleichen Strömung wird der Staupunkt in der bekannten Stauwelle, die der Bugwelle am Schiff gleich ist, sichtbar. Die Bilder der Oberflächenströmung bei turbulentem Abfluss (Abb. 8 - 10) zeigen deutlich die Grenzschichtablösung an den Pfeilerhäuptern und die Grenzschichtaufröhlung zu Wirbeln mit lotrechten Drehachsen, die in den Totwasserraum hinter dem Pfeiler (in die Pfeilerwalze nach der Terminologie Rehbocks) hineindreihen und dann in der von Karman'schen Wirbelschleppe abschwimmen. Damit sind alle hydrodynamischen Ursachen der Kolkbildung festgelegt.

Es handelte sich nun darum, im Modellversuch ihre Wirkung auf die bewegliche Sohle zu prüfen und durch Vergleichsversuche unter denselben Bedingungen der Wassertiefe, der Wassergeschwindigkeit, des Sohlenmaterials, der Sohlenausgangslage die günstigste Gestaltung des Pfeilerquerschnittes zu ermitteln.

Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 11 - 13 festgehalten. Durch unsymmetrische, dem Strömungsverlauf besser angepasste Ge-

3) Wasserbauliche Untersuchungen zum Entwurf der neuen Kniebrücke Düsseldorf. Modellversuche und Bericht der Bundesanstalt für Wasser-, Erd- und Grundbau in Karlsruhe vom Februar 1952.

staltung der Pfeilerköpfe wird bei gleicher Länge der Pfeilerachse (Form II) eine Verkleinerung des Kolkinhaltes um 1 Drittel seiner Ausdehnung am Pfeiler mit symmetrischen, spitzbogenförmig ausgebildeten Köpfen erreicht. Wird aber dazu noch nach einem Vorschlag von Reg.-Bauref. Burghart in der Art des Hilfsflügels oder Spaltflügels von Lachmann und Handley-Page, der sich in der Flugzeugtechnik bewährt hat⁴⁾, am Staupunkt dem Wasser mit einem Schlitz im Pfeiler der Durchfluss von der Luv- zur Leeseite freigegeben (Form III), so sinkt der Kolkinhalt auf weniger als 1 Viertel des Kolkinhaltes bei Form I.

Aus diesen Modellversuchen ergeben sich entsprechende bautechnische Folgerungen. Ist mit Schräganströmung zu rechnen, so ist zunächst in der Natur oder im Modell der Winkel zwischen Strömungsrichtung und Pfeilerflanke β oder zwischen Strömungsrichtung und geplanter Brückenachse $90^\circ - \beta$ zu messen. Dann können im Pohl'schen Stromfädenapparat die unsymmetrische Ausrundung der Pfeilerhäupter und vor allem die Lage des Staupunktes genügend genau ermittelt werden. Der Staupunkt wandert mit wachsendem Anströmwinkel β immer mehr nach innen, bis er für $\beta = 90^\circ$ vor der Mitte der Pfeilerlängsachse liegt. Durch die Lage des Staupunktes ist die Lage des Schlitzes im Pfeiler festgelegt. Eine statische Untersuchung muss dann ergeben, ob das durch den Schlitz vom Pfeiler abgesetzte Oberhaupt zur Lastaufnahme mit heranzuziehen ist. Das ist anzustreben, da beide Teile des Pfeilers ohnedies unterhalb der Flußsohle schon aus konstruktiven Gründen auf einer gemeinsamen Fundamentschwelle, dem Caisson aufgesetzt werden müssen und dadurch unterhalb der Sohle miteinander verbunden sind. Ebenso können beide Pfeilerteile oberhalb der Wasserspiegellage bei HHW durch eine kräftige, holmartige Gesimsplatte miteinander verbunden werden. Das Kolkbild Abbildung 13 zeigt, dass und wo auch beim geschlitzten Pfeiler noch ein Kolkenschutz durch Sohlenpflasterung oder Steinwurf angebracht werden muss. Der Umfang dieses Schutzes ist allerdings wesentlich geringer als bei den Pfeilerformen II oder gar I.

In der Staatlichen Universität von Iowa, USA sind von Emmet M. Laursen und Arthur Toch ebenfalls Modellversuche über schräg

4) Dr.-Ing. Bruno Eck, Technische Strömungslehre, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1949 bei J. Springer, S. 323 ff.

Einfluß der Pfeilerform auf die Ausmaße der Kolke.

Tiefenlinien nach den Versuchen
Ausgangslage der Sohle vor den Versuchen
= ± 0 -Ebene

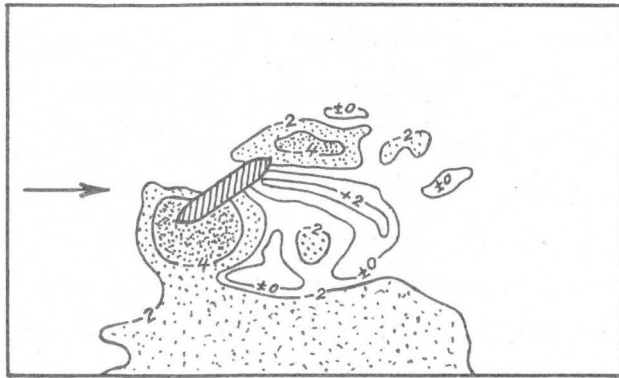


Abb.11 Pfeilerform I Kolkinhalt = 2425 m^3

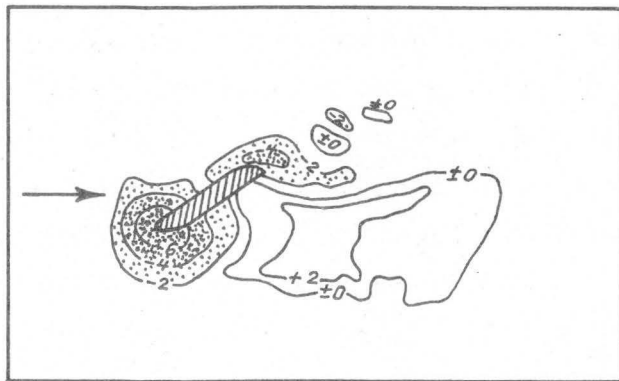


Abb.12 Pfeilerform II Kolkinhalt = 1635 m^3

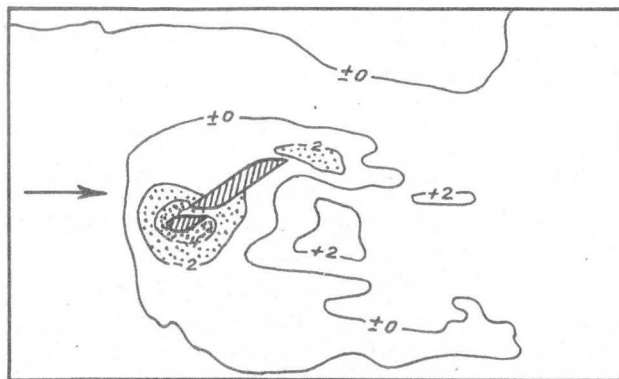


Abb.13 Pfeilerform III Kolkinhalt = 530 m^3

angeströmte Brückenpfeiler gemacht worden. Die Verfasser berichten darüber in den Verhandlungen des Internationalen Hydrauliker-Kongresses in Minneapolis, Minnesota 1953.⁵⁾ Die Verfasser haben eine ungewöhnliche Pfeilerform untersucht, von der sie allerdings angeben, dass sie typisch für neuzeitliche Ausführungen im Staate Jowa sei. Leider sind dem Bericht keine Masszeichnungen beigelegt, so dass nur aus Tiefenlinienskizzen der Kolke auf die Abmessungen dieses Pfeilers geschlossen werden kann. Der Pfeiler besteht aus 2 Säulen von rechteckigem, dreieckigem oder kreisförmigem Querschnitt, auf denen die Hauptträger der Brücke ruhen. Zur Querversteifung ist eine dünne Wand zwischen die Säulen eingefügt. Die Wandstärke s beträgt etwa $1/6$ des Säulendurchmessers d . Da nach der Skizze der Säulenabstand e etwa $= 10 d$ ist, scheint für die Zwischenwand bei schräger Anströmung Knickgefahr zu bestehen. Die Verfasser ermittelten die Beziehung zwischen der Kolktiefe und dem Anströmwinkel von 0° bis zum theoretischen Grenzwert 90° . Ohne Zwischenwand ist die Kolktiefe unabhängig von dem Winkel, unter dem das Säulenpaar angeströmt wird. Diese Erkenntnis ist nicht neu. Sie hat schon vor 40 Jahren Rehbock zur Anwendung von Pfeilern mit kreisförmigem Querschnitt für die schiefe Kleinbahnbrücke über das Wisentflüsschen nördlich von Nürnberg veranlasst. Auch die Feststellung von Laursen und Toch, dass die Kolktiefe hinter Pfeilern von kreisförmigem Querschnitt um rund $1/6$ kleiner ist als hinter Pfeilern mit dreieckigem oder quadratischem Querschnitt, war zu erwarten, wenn man die Widerstandsziffern derartiger angeströmter Profile zu Rate zieht. δ_0 nach Rehbock für Kreisquerschnitt = 2,29, für quadratischen Querschnitt = 4,87. Mit Zwischenwand nimmt die Kolktiefe mit wachsendem Anströmwinkel zu. Für $\beta = 45^\circ$ beträgt die Kolktiefe etwa das Doppelte der Tiefe für $\beta = 0^\circ$. Wächst der Anströmwinkel über 45° , so nimmt die Kolktiefe nicht weiter zu.

5) Emmet M. Laursen and Arthur Toch, State University of Jowa USA, A generalized model study of scour around bridge piers and abutments. Proceedings Minnesota International Hydraulics Convention, September 1 - 4, 1953, Minneapolis, Minnesota, S. 123 - 131. Der Kongress war eine Gemeinschaftsveranstaltung des Internationalen Verbandes für Wasserbauliches Versuchswesen und der Abteilung für Hydraulik der Amerikanischen Gesellschaft für Bauingenieurwesen.