

Abteilung I — Binnenschifffahrt

Thema 6

Grundsätze für Entwurf und Ausführung wirtschaftlicher Uferbefestigungen von Flüssen und Kanälen für die See- und Binnenschifffahrt

von

Dipl.-Ing. Kurt Feuerhake, Baudirektor, Behörde für Wirtschaft und Verkehr, Strom- und Hafenausbau Hamburg; Dipl.-Ing. Rudolf Hintze, Oberregierungsbaurat, Wasser- und Schifffahrtsamt Mainz; Dipl.-Ing. Werner Hofmann, Oberregierungsbaurat, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe; Dipl.-Ing. Heinrich Meyer, Regierungsbaudirektor, Wasser- und Schifffahrtsdirektion, Hannover; Dipl.-Ing. Hans Theodor Schröder, Oberregierungsbaurat, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe.

Zusammenfassung

Die Böschungen von Wasserstraßen unterliegen erheblichen Beanspruchungen durch die Schifffahrt. Bei Flüssen kommen die natürlichen Strömungskräfte des durchfließenden Wassers hinzu.

Die Schifffahrtskanäle sind wegen ihrer erheblichen Baukosten fast durchweg mit einem Mindestquerschnitt ausgebaut, der den Erfordernissen der sich weiterentwickelnden Schifffahrt — größere Schiffe (größere Wasserverdrängung und größerer Eintauchquerschnitt), höhere Durchfahrtsgeschwindigkeit, Steigerung der Anzahl der Schiffsdurchfahrten — nicht mehr gerecht wird. Das Kräftespiel in Flüssen und Kanälen erfordert die Befestigung von Böschungen mit Deckwerken.

Für die Gestaltung wirtschaftlicher Uferbefestigungen ist die Kenntnis der die Böschungen beanspruchenden Kräfte und ihre Größenordnung sowie ihre Auswirkungen unerlässlich.

Naturversuche am Main-Donau-Kanal und am Nord-Ostsee-Kanal sowie Modellversuche für eine zweckmäßige Dimensionierung des Querschnitts des Nord-Ostsee-Kanals, welche bei der Wasserbauversuchsanstalt „Sogréah“ in Grenoble durchgeführt sind, haben zu wertvollen Erkenntnissen geführt. Alle Versuche besagen übereinstimmend, daß die schädlichen Kräfte in einem Kanalbett progressiv anwachsen mit zunehmender Schiffsgeschwindigkeit und mit abnehmendem Querschnittsverhältnis n (Verhältnis Kanalquerschnitt zu Eintauchquerschnitt des Schiffes). Versuche mit Schiffsgeschwindigkeiten bis 15 km/h haben ergeben, daß das Querschnittsverhältnis n mindestens 7 betragen sollte. Die dann noch auftretenden Kräfteauswirkungen können mit wirtschaftlichen Uferbefestigungen abgewehrt werden. Dies gilt sowohl für Binnen- als auch für Seekanäle.

Bei Schiffsdurchfahrten sind als schädlichste Kräfte, die sich im gesamten Böschungsbereich auswirken, Absenk des Wasserspiegels und Rückströmung anzusehen. Beide durchlaufen die Wasserstraße mit dem fahrenden Schiff. Absenktiefen bis zu 90 cm mit Wassergeschwindigkeiten der Rückströmung von $\sim 1,5$ m/s und Beschleunigungen der Rückströmung von $2,0$ m/s² sind im Main-Donau-Kanal gemessen worden. Vom Nord-Ostsee-Kanal liegen ähnliche Ergebnisse vor.

Schnellfahrende Motorschiffe erzeugen Bug- und Heckwellen, die sich nur im engeren Bereich der Wasserspiegellinie schädlich auswirken.

Weitere beobachtete Wellenarten, wie beispielsweise Stauwellen, die sich ständig vom Bug des fahrenden Schiffes ablösen und diesem vorausseilen, haben keine schädigende Wirkung gezeigt.

Außergewöhnliche Belastungen eines Kanal- und Flußbettes sind besonders durch Böschungserosion und Schiffsschraubenstrom gegeben.

Neben den genannten Natur- und Modellversuchen geben natürlich allgemeine Beobachtungen und Messungen an natürlichen und künstlichen Wasserstraßen einen Anhalt über weitere auftretende Kräfte. Hier sind zu nennen die natürlichen Strömungen in Flüssen und Tideflüssen bei wechselnden Wasserständen, weiter die Beeinflussungen durch Wind und schließlich die mechanischen Beanspruchungen an den Ufern durch Eisgang.

Die Auswirkungen der schädlichen Kräfte sind bei Flüssen abhängig von der Wasserführung mit ihren besonderen Charakteristiken und der Querschnittsgestalt, bei Kanälen neben der Verhältnisgröße n und der Geschwindigkeit der durchfahrenden Schiffe von der Häufigkeit der Durchfahrten und schließlich von den geologisch-morphologischen Verhältnissen entlang der Wasserstraße.

Eine Uferbefestigung soll derart gestaltet sein, daß sie die vielfältig auftretenden Kräfte im Gewässer schadlos aufzunehmen vermag. Dabei ist zu fordern:

Rauhigkeit zur wirkungsvollen Brechung der Wellen und zur Begehbarkeit für Mensch und Tier,

Wasserdurchlässigkeit unter Verhinderung des Auslaufens von Bodenbestandteilen aus dem Untergrund,

Flexibilität in erosionsanfälligen Böden sowie bei weichem nachgiebigem und setzungsempfindlichem Untergrund,

großflächiger Zusammenhalt bei weichem, nachgiebigem Untergrund (Lastverteilung),

Ausdehnung der Uferbefestigung in dem Maße, daß die nicht befestigten Böschungsfächen nicht zerstört werden.

Die Gestaltung eines Uferdeckwerkes wird im wesentlichen bestimmt durch

die Einbaumöglichkeit,

die zur Verfügung stehenden Baustoffe und ihre Eignung,

die Wirtschaftlichkeit des Einbauverfahrens und der Unterhaltung,

die Lebensdauer,

die Anpassung an Struktur und Nutzung der angrenzenden Landschaft und Einpassung in das Landschaftsbild.

In Deutschland sind sowohl an Flüssen als auch Kanälen, sowohl im Binnenland als auch im Seebereich Uferbefestigungen aus Natursteinen am weitesten verbreitet. Die aufgeführten Beispiele zeigen derartige Deckwerke in verschiedenen Varianten. Der Naturstein wird vorwiegend als Schüttstein eingebaut. Eine besondere Bettung übernimmt in den meisten Fällen die Funktion eines Filters. Faschinenmatten mit eingestreutem Mischkies und Bongossimatten mit Nylongeweben verbessern nicht nur in feinsandigen Bereichen die Filterwirkung, sondern sie werden auch als lastverteilendes Element in weichen nachgiebigen Böden eingebaut. Mehrere Beispiele zeigen Deckwerke, die über der Wasserlinie, also dort, wo der Einbau und die Unterhaltung im Trockenen durchgeführt werden kann, aus Setzpack oder Pflaster auf einer entsprechenden Bettung erstellt sind, während die Steinschüttung sich nur auf den Unterwasserbereich erstreckt. Während die Setzpacklage aus Naturstein besteht, findet als Pflasterstein vorwiegend der Betonformstein oder auch ein Schlackenformstein Verwendung. Gute Erfahrungen mit Pflasterungen über der Wasserlinie liegen an Rhein und Elbe vor.

Deckwerke aus Beton oder solche mit bituminöser Bindung beginnen sich durchzusetzen, insbesondere bei der Neuanlage oder der Erweiterung vorhandener Kanäle. Geschlossene Betonabdeckungen sind nicht flexibel; Betonpflastersteine sind aber nur beschränkt einbaufähig. Daher sind Plattenmatten entwickelt worden. Die Platten werden entweder durch Nylonbahnen zusammengehalten, die gleichzeitig dem Frischbeton, der an Ort und Stelle eingebracht wird, als „Schalung“ dienen oder aber bei vorgefertigten Plattenmatten durch Stahlseile aneinandergekettet. Für beide Systeme ist eine Filterschicht als Unterbau erforderlich.

Teer- und Asphaltbeton sind flexibler als Beton. Auch ist hiermit der Einbau fugenloser Abdeckungen möglich. Bisher ist Teer- und Asphaltbeton im wesentlichen in trockenen Baugruben zum Einbau gelangt. Zur Zeit werden erfolgversprechende Verfahren erarbeitet, die einen rationellen Einbau auch unter Wasser möglich machen sollen.

Inhalt

	Seite
1. Allgemeine Einführung	147
2. Die die Ufer von Wasserstraßen beanspruchenden Kräfte	148
2.1 Ergebnisse der Naturversuche am Main-Donau-Kanal	148
2.2 Ergebnisse der Naturversuche am Nord-Ostsee-Kanal (Kiel-Kanal)	153
2.3 Diskussion der Ergebnisse der Naturversuche	155
2.4 Sonstige Auswirkungen der Schifffahrt	156
2.5 Beanspruchung der Böschungen in natürlichen Wasserstraßen	157
3. Die Wirkungen der Kräfte	159
4. Folgerungen für Entwurf und Ausführung von Uferbefestigungen an Wasserstraßen	159
4.1 Allgemeine Gestaltungsmerkmale, die sich aus der Aufgabe eines Uferdeckwerks ergeben	159
4.2 Einbaumöglichkeit und Baustoff-Auswahl, Wirtschaftlichkeit der Bauverfahren und Lebensdauer	161
4.3 Weitere die Deckwerksgestaltung beeinflussende Gesichtspunkte	161
5. Entwurfs- und Ausführungsbeispiele	162
5.1 Ufersicherung aus Steinschüttung und Setzpacklage	162
5.2 Pflasterdeckwerke aus Natur- und Kunststeinen	168
5.3 Ufersicherung aus Kunststeinmatten	169
5.4 Bituminöse Deckwerke	172
5.5 Spundwandeneinfassungen	173
6. Technisch-wirtschaftliche Planungsgesichtspunkte	174

1. Allgemeine Einführung

Die Böschungen und die Sohle der schiffbaren Flüsse und der Schifffahrtskanäle werden außer durch Kräfte der Natur durch Kräfte beansprucht, die spezifisch durch den Schiffsverkehr hervorgerufen werden. Für Stillwasserkanäle, die vorwiegend der Schifffahrt dienen, sind für die Standfestigkeit der Ufer allein diese Kräfte maßgebend; bei natürlichen Wasserstraßen tritt bei zunehmendem Verkehr der Einfluß der

natürlichen Beanspruchungen gegenüber denen aus dem Verkehr zurück, insbesondere dadurch, daß die stärkeren Strömungsbeanspruchungen nur kurzzeitig, z. B. während eines Hochwassers, auftreten, die Dauerbeanspruchung durch den Schiffsverkehr jedoch ganzjährig erfolgt.

Diese Beanspruchungen sind für die hier behandelten Wasserstraßen in den letzten Jahren besonders dadurch angestiegen, daß zum einen die Schiffe mit stärkeren Motoren ausgerüstet und damit die Fahrgeschwindigkeiten wesentlich erhöht worden sind, und zum anderen infolge der größeren Dichte des Verkehrs verstärkt Begegnungen und Überholungen stattfinden. Damit kommt der Ausführung wirtschaftlicher Uferbefeestigungen an Flüssen und Kanälen eine erhebliche Bedeutung zu.

Für die sinnvolle Dimensionierung und Gestaltung der Uferbefeestigungen ist die Kenntnis des Kräftespiels an den Ufern sowie seiner Auswirkungen unerlässlich. In jüngster Zeit sind Naturmessungen in Schiffahrtskanälen durchgeführt worden (Main-Donau-Kanal und Nord-Ostsee-Kanal), die interessante Aufschlüsse, insbesondere über die von der Schifffahrt in einem Kanalbett erzeugten Kräfte gegeben haben. Die Messungen am Nord-Ostsee-Kanal sind noch ergänzt worden durch Modellversuche bei der Wasserbauversuchsanstalt „Sogréah“ in Grenoble. Im folgenden werden zunächst die Ergebnisse der Versuche kurz zusammengefaßt, dann die Auswirkungen der Kräfteangriffe auf Böschungen behandelt und die Folgerungen für Entwurf und Ausführung von Uferbefeestigungen an Hand von Beispielen gezogen.

2. Die die Ufer von Wasserstraßen beanspruchenden Kräfte

2.1 Ergebnisse der Naturversuche am Main-Donau-Kanal

Die Versuchsfahrten am Main-Donau-Kanal fanden in der Haltung Bamberg statt, dessen Regelprofil in Bild Nr. 1 dargestellt ist:

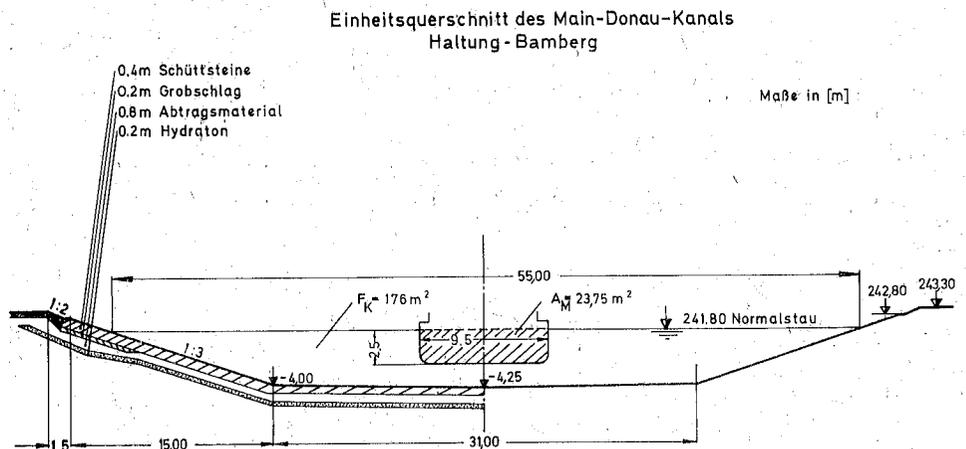


Bild Nr. 1
Regelprofil des Main-Donau-Kanals (Haltung Bamberg)

Die 1 : 3 geneigte Böschung ist mit Schüttsteinen bis zum Böschungsfuß befestigt. Die Wassertiefe beträgt am Böschungsfuß 4,0 m, in Kanalmitte 4,25 m. Das Verhältnis n , das aus dem Kanalquerschnitt (F_K) zum 2,5 m eingetauchten Schiffsquerschnitt (Hauptspanfläche A_M) gebildet wird, liegt bei 7,4. Als Versuchsschiffe dienten ein Europaschiff von 80 m Länge und 9,5 m Breite (Typ „Johann Welker“) sowie Schubverbände gleicher Breite, jedoch größerer Länge (90 m bzw. 160 m).

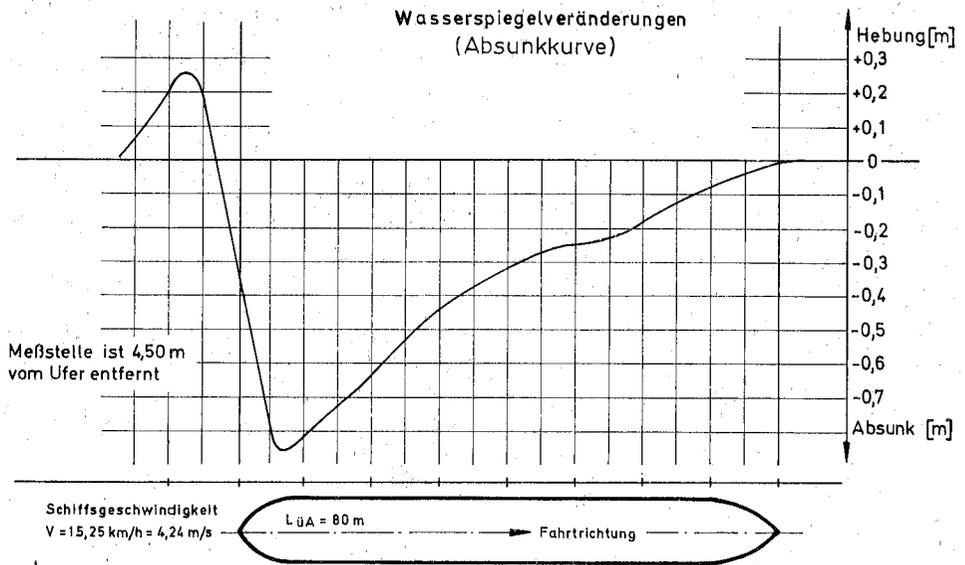


Bild Nr. 2
Wasserspiegelveränderungen (Absunkkurve)
(Leerschiff)

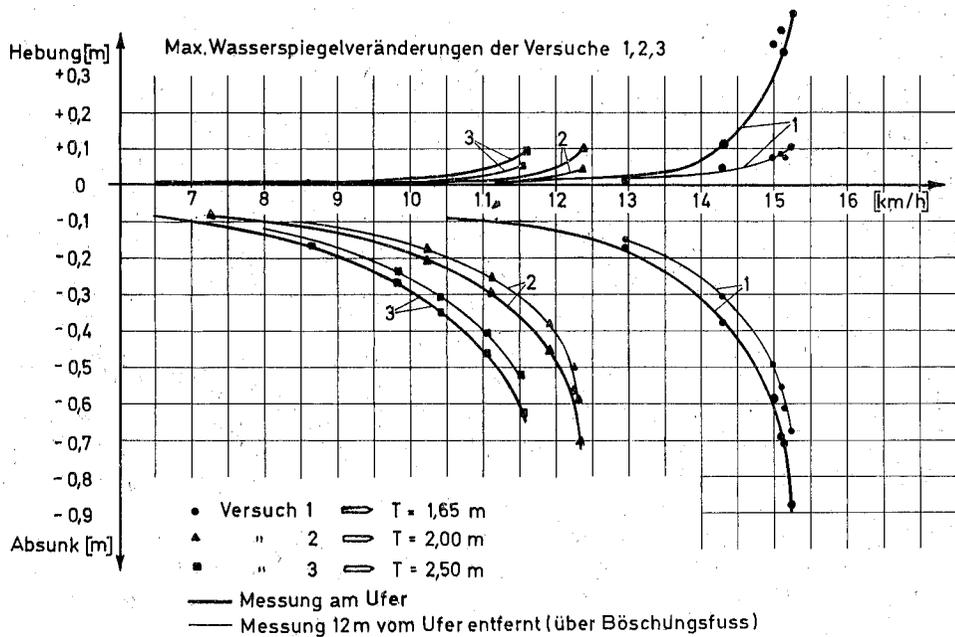


Bild Nr. 3
Max. Wasserspiegelveränderungen für das Europaschiff im Böschungsbereich

Bild Nr. 2 zeigt den Absenk des Kanalwasserspiegels bei der Fahrt des leeren Europaschiffes in Kanalachse bei 15,6 km/h Fahrtgeschwindigkeit; der Absenk wurde an 4 Stellen zwischen Kanalufer und Böschungsfuß gemessen. Rückströmung und Absenk erreichen erst oberhalb einer Mindestfahrtgeschwindigkeit meßbare Werte, diese wachsen dann jedoch schnell an. Der Wasserspiegel steigt nach schnelleren Fahrten im Heckbereich gleichzeitig an allen 4 Meßstellen sehr schnell und steil an; es bildet sich eine „Heckquerwelle“ aus. Bei größeren Fahrtgeschwindigkeiten wird diese Heckquerwelle überkritisch, sie überschlägt sich laufend und brandet am Ufer hoch. Das Versuchsschiff fuhr in Kanalmitte; jede Abweichung hiervon erhöht die Beanspruchung der Böschung. Das tritt bei jeder Überholung und Begegnung ein. Es sei bereits jetzt hervorgehoben, daß diese Vorgänge die stärksten der die Böschung angreifenden Kräfte hervorrufen.

Die Ergebnisse der Messungen der max. Wasserspiegelveränderungen sowie der max. Wassergeschwindigkeiten und -beschleunigungen für verschiedene Schiffsgeschwindigkeiten sind zusammengefaßt in Bild Nr. 3 und Bild Nr. 4:

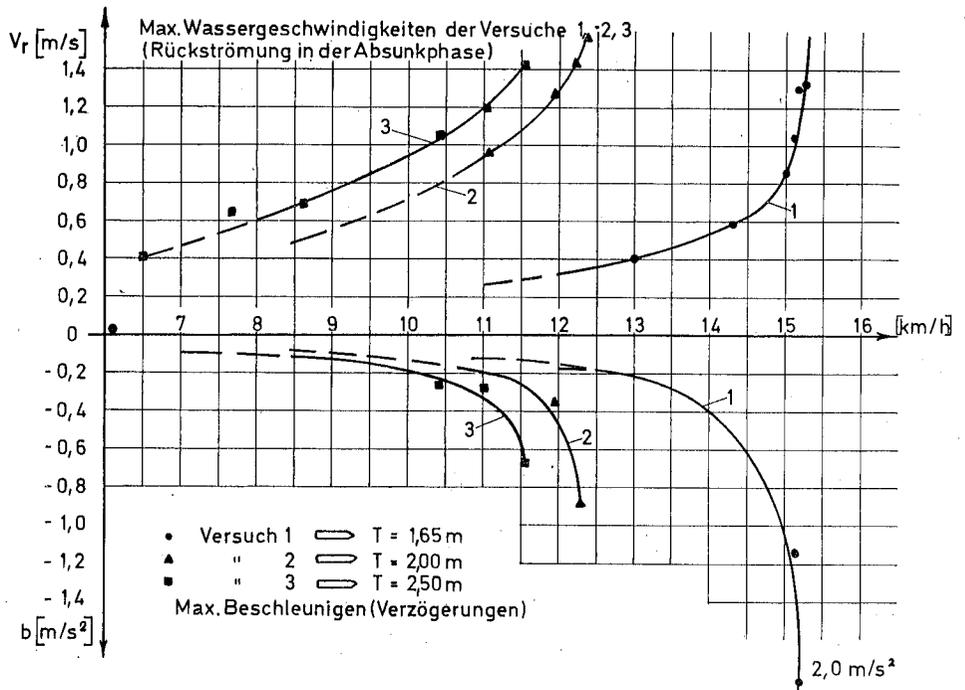


Bild Nr. 4
Max. Rückstromgeschwindigkeiten und Beschleunigungen
für das Europaschiff im Böschungsbereich

Die Fahrten fanden auf der Kanalachse, also mittig im Kanal, statt. Die max. Wasserspiegelabsenkung trat bei der schnellsten Fahrt (15,2 km/h) des Leerschiffes (1,65 m Eintauchtiefe) auf; sie betrug am Ufer ~ 90 cm, über dem Böschungsfuß ~ 70 cm. Die max. Wasserspiegelanhebung der Heckquerwelle betrug bei der gleichen Fahrt 45 cm am Ufer und 10 cm über dem Böschungsfuß. Die max. Rückströmungen traten jedoch bei den Fahrten der beladenen Schiffe (Versuchsfahrten 2 und 3) auf, und zwar mit

Werten von $\sim 1,5$ m/s. Die max. Beschleunigung (Verzögerung) der Rückströmung trat dagegen mit $\sim 2,0$ m/s² bei der schnellsten Fahrt des Leerschiffes auf. Diese Werte sind die Komponenten der Geschwindigkeiten und Beschleunigungen für die Hauptrichtung der Kanalachse. Die sich vektoriell aus den Einzelrichtungen zusammensetzenden Werte der max. Gesamtgeschwindigkeit und max. Beschleunigung liegen also höher.

Die Abhängigkeit des Absunks insbesondere vom Eintauchquerschnitt und damit vom Verhältnis n zeigt die Gegenüberstellung von Schiffsfahrten eines leeren (Versuchsfahrt 1), eines halbbeladenen (Versuchsfahrt 2) und eines voll beladenen Schiffes (Versuchsfahrt 3) bei etwa gleicher Schiffsgeschwindigkeit in Bild Nr. 5. Auch die Verschiebung der Lage des tiefsten Absunks in bezug auf das Schiff ist bemerkenswert; beim Leerschiff ist der tiefste Absunk kurz vor dem Heckdurchgang des Schiffes, das hecklastig getrimmt ist, beim beladenen Schiff, das buglastig getrimmt ist, verschiebt sich dieser Punkt weiter voraus.

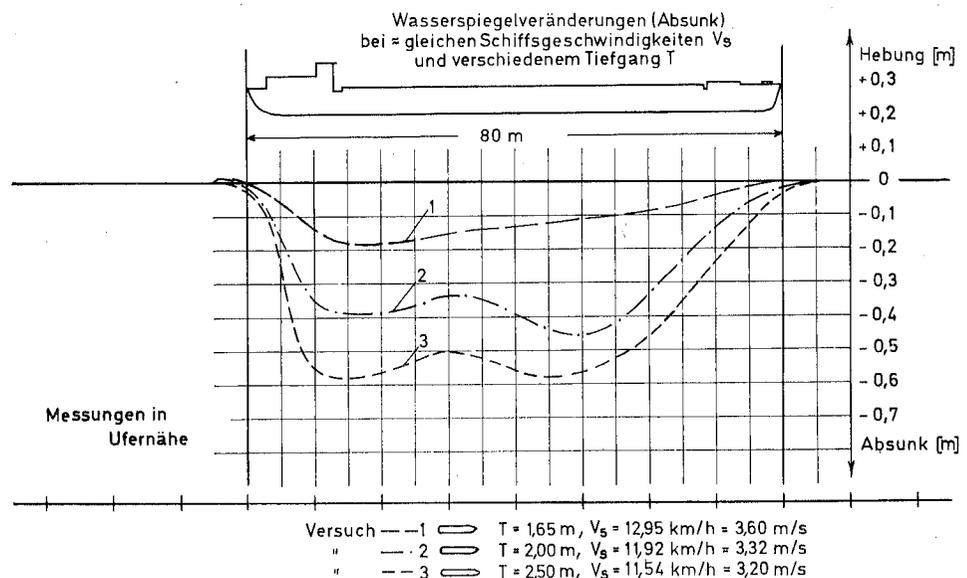


Bild Nr. 5
Wasserspiegelveränderungen (Absunk) für das Europaschiff
bei verschiedenem Tiefgang T

Die Höhenschichtliniendarstellung des Wasserspiegels und die zweidimensionale ebene Vektor-Darstellung der Rückstromgeschwindigkeiten (Leerschiffsfahrt mit $\sim 15,2$ km/h) für den Bereich der Uferböschung zeigen Bilder 6 und 7.

Man erkennt insbesondere aus der Vektor-Darstellung, wie stark die Rückströmung nach Größe und Richtung beim Heckdurchgang des Schiffes umschlägt.

Bei den Versuchen waren auch Schubverbände beteiligt. Die Versuchsfahrten zeigten, daß die von den Schubeinheiten hervorgerufenen Rückstromgeschwindigkeiten, die Absunkwerte und auch die Geschwindigkeitsänderungen (Beschleunigungswerte) geringer sind; somit bleiben die von ihnen verursachten Kräfte unter denen, die von den Motor-güterschiffen verursacht werden.

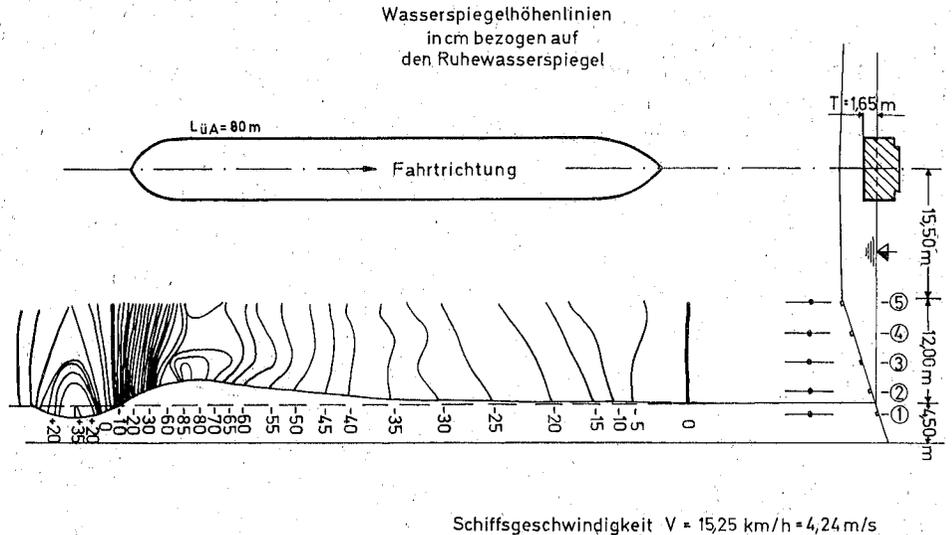


Bild Nr. 6
Wasserspiegelveränderungen (Höhenliniendarstellung) für das Europaschiff (unbeladen)
mit $V_s = 15,25 \text{ km/h}$

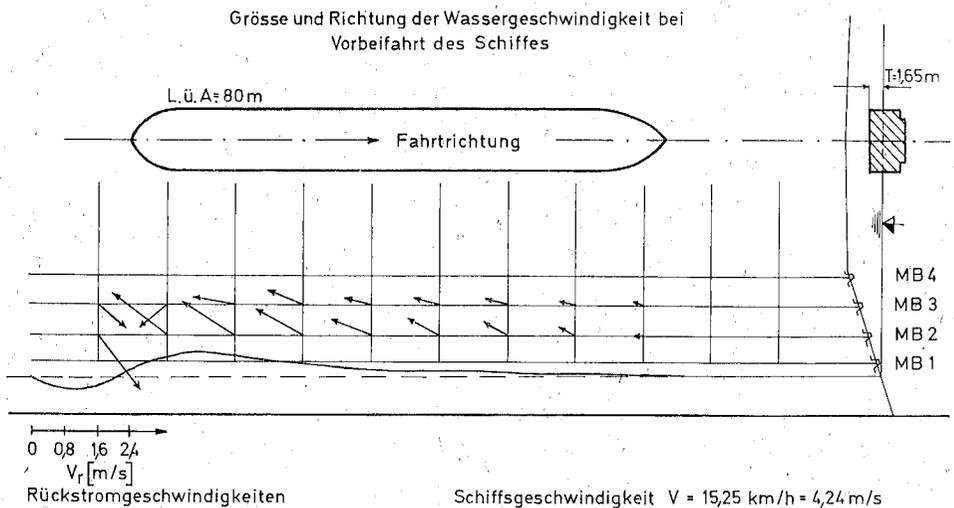


Bild Nr. 7
Rückstromgeschwindigkeiten (Vektor-Darstellung) für das Europaschiff (unbeladen)
mit $V_s = 15,25 \text{ km/h}$

Bild Nr. 8 zeigt den Absunk einer Vorbeifahrt des 160 m langen Schubverbandes mit 10,8 km/h Fahrtgeschwindigkeit.

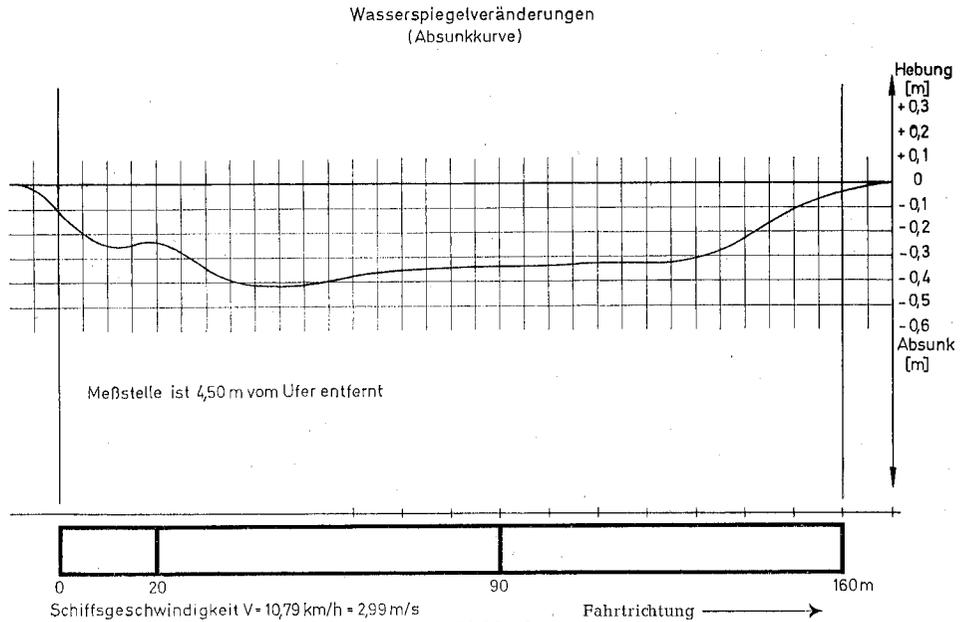


Bild Nr. 8
Wasserspiegelveränderungen (Absunk) für den 160 m Schubverband

2.2 Ergebnisse der Naturversuche am Nord-Ostsee-Kanal (Kiel-Kanal)

Auf dem Nord-Ostsee-Kanal wurden ebenfalls in ausgedehnten Meßreihen die Auswirkungen der Fahrten größerer Schiffseinheiten verfolgt. Der See-Kanal hat den auf Bild Nr. 9 dargestellten Querschnitt. Seine Wasserspiegelbreite beträgt 102,50 m, seine Sohlenbreite 44,0 m und seine Wassertiefe 11,0 m.

1914 (1. Erweiterung)

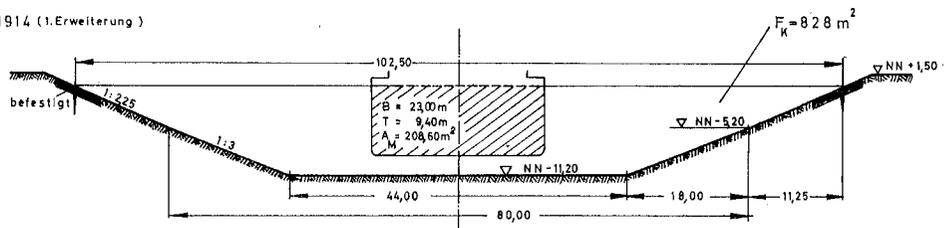


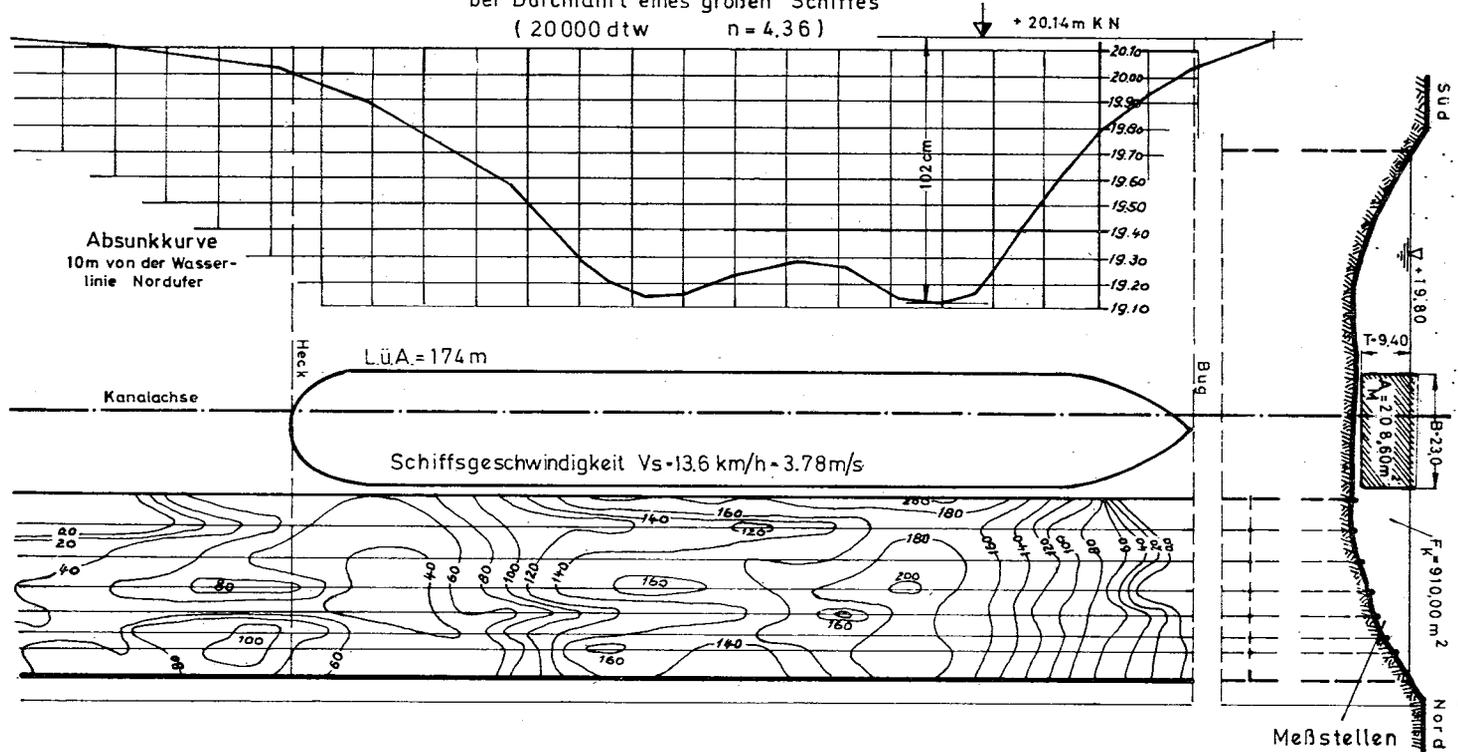
Bild Nr. 9
Regelprofil des Nord-Ostsee-Kanals

Die Böschungen sind im unteren Bereich 1 : 3 und im oberen Bereich 1 : 2,25 geneigt. Sie sind nur im Bereich um die Wasserlinie befestigt. Das Verhältnis n unterschreitet bei Schiffen größer als etwa 18 000 t Wasserverdrängung den Wert 5.

Aus der Vielzahl der untersuchten Fahrten seien die Ergebnisse der Fahrt eines 12 000 BRT-Schiffes mit etwa 20 000 t Wasserverdrängung herausgestellt. Der Absunk und die Rückstromgeschwindigkeiten bei 13,6 km/h Fahrtgeschwindigkeit sind in Bild 10 dargestellt.

Absinkkurve und Rückstromgeschwindigkeiten auf der Böschung

bei Durchfahrt eines großen Schiffes
(20000 dtw $n = 4,36$)



Linien gleicher Geschwindigkeiten

Die eingetragenen Zahlen geben die Größe der Geschwindigkeiten in cm/s an

Bild Nr. 10

Absenk- und Rückstromgeschwindigkeiten auf dem Nord-Ostsee-Kanal für ein großes Schiff (20 000 dtw) mit $V_s = 13,6$ km/h

Der größte Absunk beträgt über 1 m, die Rückstromgeschwindigkeiten erreichen im Böschungsbereich Werte bis zu 2 m/s. Man erkennt die grundsätzliche Übereinstimmung dieser Erscheinungen mit denen der Versuche Bamberg.

Kennzeichnend für den Nord-Ostsee-Kanal ist, daß der Schiffsverkehr sich aus stark unterschiedlichen Schiffsgrößen zusammensetzt, wobei die Durchfahrten der mittelgroßen und besonders der großen Schiffe mit einer Wasserverdrängung von mehr als 10 000 t sich infolge Rückströmung und Absunk auf die Kanalböschungen schädlich auswirken.

2.3 Diskussion der Ergebnisse der Naturversuche

Durch die Naturversuche wurden die bereits vorliegenden theoretischen und aus Modellversuchen übernommenen Werte über die Wechselwirkung zwischen Schiff und Wasserstraße bestätigt und ergänzt. Die Schiffsfahrten rufen außer Stau-, Bug- und Heckwellen instationäre Wasserbewegungen hervor, die nach Größe und Richtung rasch wechseln. Diese Wasserbewegung, Rückströmung genannt, da ihre Richtung hauptsächlich gegenläufig der Fahrtrichtung des Schiffes gerichtet ist, ist verbunden mit deutlich wahrnehmbarem Absunk des Wasserspiegels, die stärkste der die Uferböschung angreifenden Kräfte. Von erheblicher Bedeutung ist die Tatsache, daß die Rückströmung aus dem Stillwasserstand plötzlich mit großer Beschleunigung einsetzt, sich dann stark verzögert, beim Heckdurchgang schneller Schiffsfahrten umkehrt und dann erst abklingt. Im Bereich der Böschungen kommen Querströmungen als Folge des Absunks und der Heckquerwelle hinzu; bei flacher werdender Böschung wächst die Geschwindigkeit der Querströmung an, was bei nicht ausreichender Befestigung der Böschungen zu einer stärkeren Erosion der Böschung führen kann. Eine Böschung 1 : 4 kann daher weniger standfest sein, als eine Böschung 1 : 2,5. Ohne Zweifel treten bei den beobachteten großen Beschleunigungen der Rückströmung Turbulenzerscheinungen über der Böschung auf, die ggf. in Verbindung mit den Strömungskräften zu Bewegungen loser Steine auf einer Schüttsteinböschung führen können.

Darüber hinaus haben die kurzfristig verlaufenden Wasserspiegelabsenkungen mit Absunkgeschwindigkeiten bis zu 15 cm/s im Böschungsbereich zur Folge, daß das Wasser, das den gesättigten Untergrund füllt, infolge des Wasserüberdrucks aus dem Boden und aus der Uferbefestigung austritt (Bild Nr. 11). Ist der Boden fein und ist das Filter z. B. unter einer Steinbefestigung nicht voll wirksam, wird Boden ausgespült.

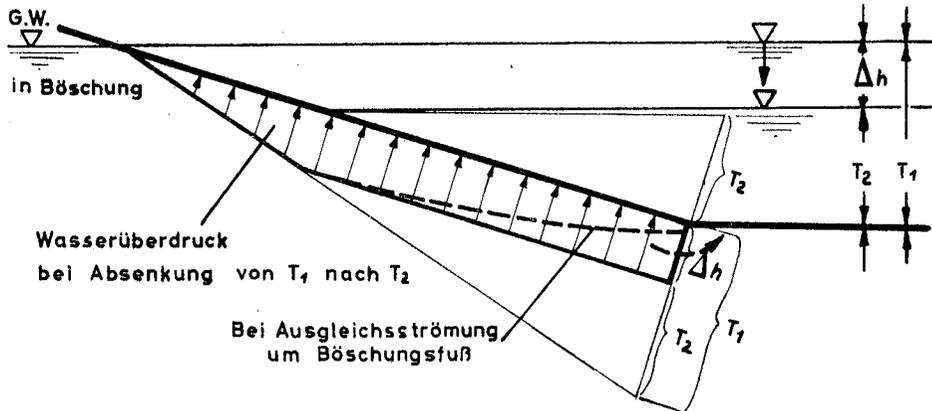


Bild Nr. 11
Schemaskizze zur Wirkung von Grundwasserüberdruck unter hohlraumarmen Böschungsbefestigungen

Bei dichter Böschungsabdeckung auf durchlässigem Untergrund kann dieser Überdruck ggf. sogar die Böschungsabdeckung abheben, wenn diese nicht das entsprechende Gegengewicht aufweist.

Die schnellen Anstiegsgeschwindigkeiten des Wasserspiegels bis zu 30 cm/s im Bereich der Heckquerwelle wirken umgekehrt. Sie belasten die Uferbefestigung, insbesondere wenn der Grundwasserstand in der Böschung tiefer abgefallen ist (Bild 12).

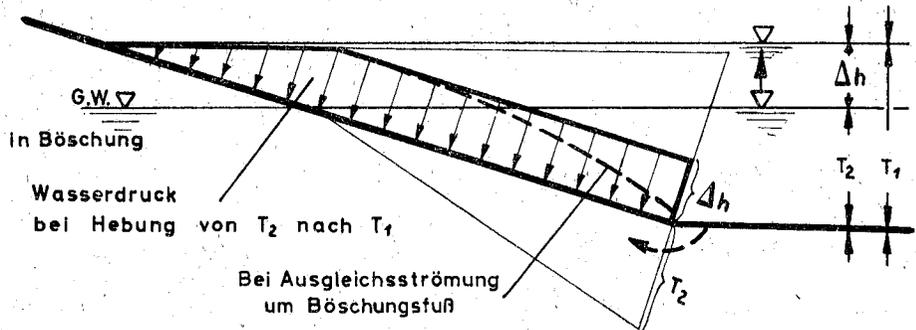


Bild Nr. 12

Schemaskizze zur Wirkung von Wasserdruck auf hohlraumarme Böschungsbefestigungen

Bei dichten Böschungsabdeckungen kann eine Pumpwirkung dadurch entstehen, daß beim Vorbeifahren des Schiffes der Wasserüberdruck hinter der Böschung nicht schnell genug abgebaut wird, also etwa rhythmisch eine Belastung von rückwärts eintritt, die u. U. zu einem Gleiten der Böschung auf der Grenzfläche zwischen dichter Böschung und Unterlage führt.

Auf Grund der bei den Naturversuchen gewonnenen Ausgangswerte sollen Dauerversuche hierfür zusätzliche Ergebnisse bringen; solche Versuche sind eingeleitet.

2.4 Sonstige Auswirkungen der Schifffahrt

Während der Absink in Verbindung mit der Heckwelle bei ungünstigen n -Verhältnissen von einer bestimmten Fahrgeschwindigkeit des Schiffes ab wirksam ist, werden brandende Bug- und Heckwellen von schnellfahrenden Motorschiffen auch bei günstigem n -Verhältnis erzeugt. Es handelt sich dabei um kurze Oberflächenwellen, die mit dem Schiff die Wasserstraße durchlaufen. Die Wirkung dieser Wellen ist daher nur in der Wasserlinie von Bedeutung. Die Angriffswirkung nimmt nach oben und unten schnell ab. Die Zone der eigentlichen Kraftwirkung kann bei den hier behandelten Wasserstraßen auf etwa $\pm 0,50$ m zum jeweiligen Wasserstand angesetzt werden (Bild 13).

Erwähnt sei noch, daß bei der Schiffsvorbeifahrt Stauwellen auftreten, die sich ständig vom Bug ablösen und dem fahrenden Schiff vorausseilen. Sie haben jedoch als langperiodische Wellen keine besondere Bedeutung als Angriffskraft auf die Ufer.

Außergewöhnliche nicht immer zu vermeidende Belastungen der Uferböschungen entstehen durch direkte Böschungsberührungen, wiederholtes Anfahren an gleicher Stelle und Laufenlassen von Schiffspropellern im Stand. Hierbei können instationäre Vorgänge mit Wassergeschwindigkeiten und Energien auftreten, die die Beanspruchungen durch die reine Schiffsvorbeifahrt übertreffen und dann erhebliche Schäden verursachen. Ihre Größe ist jedoch nur ungefähr meßbar, so daß ihre Wirkungen nur zu schätzen sind.

Schematische Darstellung der angreifenden Kräfte durch Bug- und Heckwellen

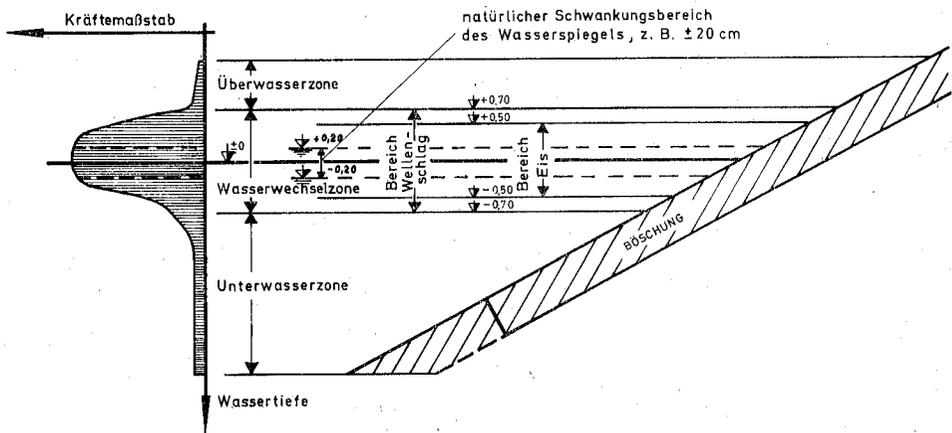


Bild Nr. 13

Schematische Darstellung der angreifenden Kräfte durch Bug- und Heckwellen

Da die Hauptangriffszone hierfür der untere Unterwasserbereich der Uferböschung ist — Höhenlage der Schiffsschraube —, ist dieser Bereich der Böschung nicht weniger gut zu sichern als der obere Bereich der Uferböschung, der vor allem den Welleneinwirkungen und Absunkeinwirkungen ausgesetzt ist.

2.5 Beanspruchung der Böschungen in natürlichen Wasserstraßen

Die vorstehend aufgezeigten Beanspruchungen der Uferböschungen von Stillwasserkanälen durch den Schiffsverkehr treten, mehr oder weniger ausgeprägt, grundsätzlich auch in den übrigen Wasserstraßen auf, und zwar um so mehr, je ähnlicher die Querschnittsverhältnisse sind. Bei großen Flüssen und Strömen mit größerem Querschnitt und insbesondere bei den Tideästuarien spielt die Lage der Schifffahrtsrinne noch eine gewisse Rolle; je näher die Schifffahrtsrinne dem Ufer, desto größer die Angriffskräfte auf das Ufer.

In den natürlichen Wasserstraßen sind die Fließgeschwindigkeit und Fließrichtung, sowie der Wasserstand in Abhängigkeit von den Abflussumengen vorgegeben und damit auch die Beanspruchungen der Ufer bzw. Böschungen durch das fließende Wasser. Je nach dem Wasserstand ändert sich der Beanspruchungsbereich auf den Böschungen.

Dieser natürliche Zustand wird überlagert durch die Angriffe der verkehrenden Schiffe; ihr Einfluß wird besonders im Bereich der normalen Wasserstände am größten sein, da in diesem Bereich die Dauer der Beanspruchung am größten ist und auch das Verhältnis n verhältnismäßig ungünstig sein kann. Oberhalb des höchsten schiffbaren Wasserstandes scheidet die Beanspruchung durch Schiffe völlig aus; die natürlichen Abflussvorgänge sind dann allein für die Uferbeanspruchung maßgebend. Während in Kanälen bei ausreichendem Wasserpolster unter dem Schiff durch die Schiffsschrauben keine unmittelbare Beanspruchung auf die Kanalsole zu erwarten ist, kann bei un-

günstigen Wasserständen in Flüssen das Wasserpolster unter dem Schiff so gering sein, daß der Schraubenstrahl eine erodierende Wirkung auf die Flußsohle ausübt; im Uferbereich kann dies zu einer Herabsetzung der Standfestigkeit der Böschung führen.

Bei den Tideflüssen sind die besonderen Auswirkungen der Tide zu berücksichtigen; zweimal täglich hebt und senkt sich der Wasserspiegel im Rhythmus der ein- und auslaufenden Flut und Ebbe innerhalb der Wasserwechselzone zwischen den Niedrig- und Hochwasserständen. Dies bedeutet, daß die Uferböschungen täglich in allen Ebenen dieser Zone den Beanspruchungen durch den Schiffsverkehr ausgesetzt sind. Hierzu kommt, daß je nach den Bodenverhältnissen der Uferzone ständig mit einem mehr oder minder großen Wasserüberdruck zu rechnen ist. Dieser kann sich erheblich verstärken, wenn nach einer Folge mehrerer Hochfluten der Untergrund der Ufer und Vorländer wassergesättigt und der Grundwasserspiegel angehoben ist, und darauf normale oder sogar tiefe Niedrigwasserstände eintreten, eine in Extremen während des Winters an der Unterelbe häufig zu beobachtende Erscheinung.

Der Wind führt zu Windstau und Wellenbildungen vor allem auf ausgedehnten Wasserflächen wie z. B. in langgezogenen Kanalhaltungen. In Tideflüssen ist er die Ursache einer unter Umständen beträchtlichen Erhöhung des Tidehochwassers, die an der Elbe 4 m und mehr betragen kann. So beträgt z. B. HHThw (allerhöchster Tidehochwasserstand) 1962 am Pegel Hamburg-St. Pauli + 5,70 m NN gegenüber MThw (mittlerer Tidehochwasserstand) = 1,70 m NN. Ferner entsteht je nach Lage der Uferböschungen zur Windrichtung und nach Größe der Wasserfläche unter Umständen in Verbindung mit örtlichem Windstau ein Wellenaufbau, der z. B. im Hamburger Elbe-Bereich maximal mit 1,30 m angesetzt wird. In beiden Fällen richtet sich der kurzfristige aber sehr intensive Angriff des Wassers im wesentlichen gegen hochgelegene Teile der Böschungen, wobei steilere mehr durch Stoß und Druck beansprucht werden, flachere mehr der Erosionswirkung auflaufender Wellen ausgesetzt sind.

Eisgang kann in Einzelfällen erheblich auf die Standfestigkeit der Uferböschungen einwirken, und zwar durch den Stoß der Eisschollen oder durch Auffrieren der Uferbefestigungen selbst. Bei Eisstauungen und -versetzungen können senkrechte Belastungen und Schubkräfte unter Umständen sehr starken Umfangs auftreten.

Im Tidebereich können sich diese Wirkungen in mannigfacher Weise verstärken. Aus den möglichen Kombinationen von Eisdicke, Luft- und Wassertemperatur, Eisgang oder -stand, Windrichtung und -stärke mit Tidehub, wechselnder Tideströmung und Sturmflutwasserständen seien zwei herausgegriffen, die für die Tideflüsse in ihrer Auswirkung typisch erscheinen:

Für die Abführung des Treibeises ist die länger dauernde Ebbtide ausschlaggebend, ihre Wirkung kann jedoch durch dagegen stehenden Wind ganz oder teilweise aufgehoben werden. Im letzten Falle kann das Eis tagelang mit der Tideströmung hin und her transportiert werden und auf die Böschungen in gesamter Höhe fortgesetzt durch Stoß und Schub einwirken. Derartige Angriffe werden freilich oft durch einen Eissaum gemildert, der sich längs der Ufer aus Kerneis oder zusammengefrorenen Schollen bildet und treibendes Eis fernhält, solange er nicht aufgebrochen wird oder sich infolge Tauwetters und von Tideeinwirkung auflöst.

Das Aufbrechen der geschlossenen Eisdecke oder des Eissaums kann in anderer Weise zu Schäden an Deckwerken, vor allem an solchen in Schüttbauweise führen. Das am Ufer gebildete Eis oder die auf die Böschungen geschobenen Schollen frieren häufig auf dem rauhen Deckwerk fest. Zerbricht nun die Eisdecke und verlassen die Schollen — meist unter dem Einfluß einer Sturmflut — ihren Platz, dann führen sie die eingefrorenen Steine mit sich fort und lagern diese beim Auftauen auf Vorländern oder im Fluß ab.

3. Die Wirkungen der Kräfte

Die vorhergehenden Ausführungen geben einen Überblick über die Vielfalt und Größenordnung der Kräfte, die auf die Böschungen von Wasserstraßen wirken. Dabei ist der Schwankungsbereich des Wasserspiegels bzw. die Wasserwechselzone besonders starken Angriffen ausgesetzt.

Ein ungeschütztes Ufer kann normalerweise derartige Kräfte nicht aufnehmen.

Während bei Kanälen in der Regel künstlich ein konstanter Wasserspiegel gehalten wird und damit die Zone des Angriffs festliegt, kann der Wasserspiegel bei Flüssen in Abhängigkeit von Wasserführung und Gefälle sehr erheblich und relativ schnell schwanken. Dementsprechend kann sich hier der Bereich der stärksten Angriffskräfte verlagern. Bei Flüssen, die zusätzlich dem Einfluß der Gezeiten unterliegen — wie z. B. die Elbe zwischen Geesthacht und Hamburg — oder bei Flußmündungen, deren Wasserstand nahezu allein durch die Gezeiten und Windverhältnisse bestimmt wird, ändert sich der Wasserspiegel sowie Richtung und Geschwindigkeit der Strömung laufend.

Auch bei natürlichen Wasserstraßen sind Querschnittsform und besonders die Art des Ufers für die Auswirkungen der auf die Ufer wirkenden Kräfte maßgebend. In der Regel sind schiffbare Flüsse im Uferbereich ausgebaut und besitzen nicht mehr ihre natürliche Form.

Bei kleineren natürlichen Wasserstraßen ist wie bei künstlichen Wasserstraßen das Verhältnis n für die durch die Schifffahrt hervorgerufenen Kräfte ausschlaggebend.

Die durch Schifffahrt in einer Wasserstraße erzeugten Kräfte und damit die schädigenden Auswirkungen auf die Ufer steigen proportional mit der Anzahl der die Wasserstraße befahrenden Schiffe an. Die Beanspruchungen steigen vor allem progressiv mit zunehmender Geschwindigkeit. Bei für die einzelnen Wasserstraßen charakteristischen Geschwindigkeiten, die abhängig sind von der Schiffsgröße und Eintauchtiefe, nehmen die Beanspruchungen so stark zu, daß solche Geschwindigkeiten wirtschaftlich nicht zulässig sind.

Schließlich ist den geologisch-morphologischen Verhältnissen an einem Flußlauf oder im Bereich eines Kanalbettes große Bedeutung hinsichtlich der Auswirkungen aus dem Kräftespiel im Gewässer beizumessen. Während beispielsweise in Felsstrecken oder aber in Strecken mit Mergel oder festem Ton die Auswirkungen von Natur aus gering sind, nehmen sie in weichen oder feinsandigen Böden, insbesondere solchen, die leicht zum Fließen neigen, recht erheblichen Umfang an. Je erosionsanfälliger ein Fluß- oder Kanalbett auf Grund der geologisch-morphologischen Gegebenheiten ist, umso mehr bedarf es baulicher Maßnahmen zur Instandhaltung. Wie einschneidend gerade die Bodenverhältnisse bei Kanälen sich auswirken können, beweisen die Modellversuche der Wasserbauversuchsanstalt „Sogréah“ über die zweckmäßige Profilgestaltung des Nord-Ostsee-Kanals. Danach steigen die Erosionsmengen aus den Unterwasserböschungen progressiv mit kleiner werdendem n .

4. Folgerungen für Entwurf und Ausführung von Uferbefestigungen an Wasserstraßen

4.1 Allgemeine Gestaltungsmerkmale, die sich aus der Aufgabe eines Uferdeckwerkes ergeben

Die an eine Ufersicherung zu stellenden Forderungen ergeben sich aus der aus Größe und Gestalt resultierenden Wirkung der angreifenden Kräfte auf die Ufer. Grundsätzlich soll eine Uferbefestigung derart gestaltet werden, daß sie die vielfältig auftretenden Kräfte im Gewässer schadlos aufzunehmen vermag. Es bietet sich an, die Wellenenergien durch große Rauigkeit und Schluckfähigkeit der Uferbefestigung umzuwandeln.

Dabei bleibt zu beachten, daß die Zerstörungsanfälligkeit eines Deckwerkes gegenüber Eisschub um so größer ist, je rauher es ist. Bei Kanal- und Flußbetten in durchlässigem Untergrund muß ein Deckwerk weiter den insbesondere beim Absunk auftretenden Wasserüberdruck im Bereich der Böschungen schnellstens abbauen können. Das hat zur Folge, daß ein Deckwerk zur Erfüllung dieser Aufgabe entweder wasserdurchlässig gestaltet oder aber mit einer wirksamen Filterschicht, die mit dem Wasser in Verbindung steht, zu versehen ist. In leicht erosionsfähigem Boden ist ein Deckwerk sehr flexibel zu gestalten, damit es sich bereits den geringsten Erosionen anpassen kann. Bei weichen, nachgiebigen und setzungsempfindlichen Böden sollte ein Deckwerk darüber hinaus einen großflächigen Zusammenhalt bekommen, um die Kräfteangriffe auf größere Flächen verteilen und ungleiche Spannungen überbrücken zu können.

Es ist bereits zum Ausdruck gekommen, daß die im Schwankungsbereich des Wasserspiegels bzw. in der Wasserwechselzone gehäuft auftretenden Kräfte hier die größten Schäden verursachen. So liegt die Frage nahe, ob es erforderlich ist, eine Ufersicherung bis zur Sohle eines Fluß- oder Kanalbettes herabzuziehen. Bei der Sicherung bestehender und neuer Binnenschiffahrtsstraßen werden die Deckwerke im allgemeinen bis zum Böschungsfußpunkt durchgehend befestigt, um eine standfeste Böschung zu erreichen. Da aber auch besonders bei Binnenkanälen Schäden an den Unterwasserböschungen durch das Laufenlassen von Schiffspropellern in Böschungsnähe wiederholt festgestellt worden sind, empfiehlt sich auch aus diesem Grunde eine Böschungsabdeckung bis zum Fußpunkt.

Die Wasserstraßen, die dem Verkehr von Seeschiffen dienen, sind erheblich tiefer als die Binnenschiffahrtsstraßen.

Soweit Flußmündungen der Seeschifffahrt dienen, werden sie nur bis in den unteren Bereich der Wasserwechselzone befestigt. Eine weitere Befestigung dürfte nicht nur unwirtschaftlich sein, sie erübrigt sich auch dadurch, daß wegen der großen Abflußquerschnitte sich hier der von der Schifffahrt erzeugte Absunk und Rückstrom nur noch gering auswirken.

Auch beim Nord-Ostsee-Kanal hat sich eine Befestigung der Unterwasserböschung unterhalb des Wasserspiegelschwankungsbereichs einschließlich eines 1 m tiefergehenden Übergangsbereichs als nicht notwendig erwiesen, sofern eine Profilerweiterung in der Art vorgenommen wird, daß sich bei größten Schiffen eine Verhältniszahl $n \geq 7$ ergibt.

Der augenblickliche katastrophale Zustand des besonders in den Sand- und Moor- gebieten stark erodierten Kanalbettes des Nord-Ostsee-Kanals ist darauf zurückzuführen, daß das derzeitige Kanalbett in hydraulischer Hinsicht nicht ausreicht. Die Verhältniszahl n beträgt bei großen Schiffen z. Z. etwa 4. Da aber z. Z. dieser Kanal erweitert wird (für große Schiffe $n = 7$), ist die Befestigung der Ufer bis etwa 2 m unter Wasserlinie vorgesehen. Die Höhenlage der Oberkante von Deckwerken wird durchweg so gewählt, daß normalerweise auch die Wellenberge noch von der Ufersicherung aufgefangen werden. Bei Schiffahrtskanälen ergibt sich bei den meistens 1:3 geneigten Böschungen eine zweckmäßige Lage der Oberkante von 0,80 bis 1,20 m über Wasserspiegel — vorausgesetzt, daß das Verhältnis n einigermaßen günstig ist —, bei Flüssen wird die Höhenlage durch die Hochwasserstände bestimmt, wobei man ein gelegentliches Überfluten der Deckwerksoberkante in Kauf nimmt. Im Tidebereich der Elbe richtet sich die Höhenlage der Deckwerksoberkante nach der Wasserstandshäufigkeit und der Lage der Böschungsstrecke zur Hauptwindrichtung. Dort wo nicht mit wesentlichem Windwellenangriff zu rechnen ist, liegt die Oberkante auf + 4 m NN, einem Maß, das bei ruhendem Wasserstand im langjährigen Mittel etwa alle drei Jahre erreicht oder überschritten wird. Andernfalls kann die Befestigung bis auf + 5 m NN verlängert wer-

den. (Wirtschaftliche Überlegungen können in solchem Falle allerdings dazu führen, die Böschung bis zur bebauten Geländeoberfläche, die im Bereich Hamburgs im allgemeinen auf + 5,70 m NN liegt, zu befestigen.)

4.2 Einbaumöglichkeit und Baustoff-Auswahl, Wirtschaftlichkeit der Bauverfahren und Lebensdauer

Neben den eigentlichen Schutz-Aufgaben bestimmen unter anderem folgende Gesichtspunkte ihre Gestaltung:

1. die Einbaumöglichkeit,
2. die zur Verfügung stehenden Baustoffe und ihre Eignung,
3. die Wirtschaftlichkeit des Einbauverfahrens und der Unterhaltung,
4. die Lebensdauer.

Der Einbau einer Uferbefestigung ist davon abhängig, ob eine Uferbefestigung in trockener Baugrube eingebracht werden kann — beispielsweise bei der Neuanlage von Schiffahrtskanälen — oder aber ob der Einbau im stehenden — Kanal — oder fließenden Gewässer erfolgen muß.

Die Baustoffe sind sehr frachtempfindlich, daher muß möglichst auf Stoffe, die in der Nähe der Baustelle angetroffen werden, zurückgegriffen werden. Natursteine in Form von Schüttsteinen oder Pflaster bieten sich an, wobei im Küstenraum z. B. auch schwedischer Granit frachtgünstig zur Verfügung steht. Es kann notwendig werden, Stoffe minderer Güte zu verwenden, z. B. Sandstein statt Granit oder Basalt; damit muß aus wirtschaftlichen Gründen eine geringere Lebensdauer in Kauf genommen werden.

Uferbefestigungen aus künstlichen Stoffen setzen sich zwar nur langsam, aber in jüngster Zeit doch in wachsendem Umfang durch. Beton wird neuerdings nicht nur als Pflasterstein, sondern auch als Betonmatte eingebaut. Auf die verschiedenen Möglichkeiten der Mattenausbildung wird noch eingegangen werden.

Uferbefestigungen aus bituminösen Stoffen sind bisher in größerem Umfang nur in trockenen Baugruben erstellt worden; z. Z. werden einige Baulose des Mittellandkanals mit Asphaltbeton, der gleichzeitig als Kanaldichtung dient, bei Einbau unter Wasser befestigt.

Zwischen Wirtschaftlichkeit des Einbauverfahrens und Ausbildung eines Uferdeckwerks besteht ein sehr enger Zusammenhang. Das hohe Lohnniveau zwingt dazu, Herstellungs- und Einbauverfahren zu entwickeln, die wenig lohnintensiv sind. Nur die Deckwerke werden sich in Zukunft durchsetzen, deren Einbau und Unterhaltung weitgehend mechanisiert werden kann.

4.3 Weitere die Deckwerksgestaltung beeinflussende Gesichtspunkte

Während bisher die Gestaltung eines Deckwerkes von der rein technischen und wirtschaftlichen Seite betrachtet wurde, darf doch nicht übersehen werden, daß noch weitere Gesichtspunkte beim Entwurf zu berücksichtigen sein können; von diesen seien einige wesentliche hervorgehoben.

Jede bauliche Maßnahme greift mehr oder weniger stark in das Landschaftsbild ein. Hier gilt es oft, die baulichen Interessen und die Erhaltung der natürlichen Landschaft gegeneinander abzuwägen. Es muß stets versucht werden, Uferbefestigungen — soweit sie sichtbar sind — in das Landschaftsbild einzupassen. Das zur Erhaltung der Wassergüte erforderliche biologische Leben auf der Böschung sollte möglichst erhalten bleiben und der natürliche Bewuchs an den Böschungen soll möglichst gefördert werden, wobei eine Schädigung der Ufersicherung infolge Begrünung zu vermeiden ist.

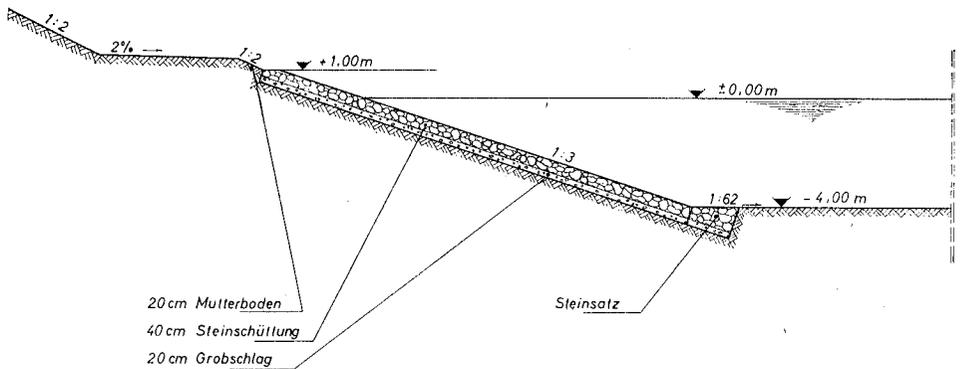
Ein Uferdeckwerk soll auch so gestaltet werden, daß Mensch und Tier ein Ersteigen des Ufers im Notfall ermöglicht wird. Während ein rauhes Natursteindeckwerk dafür von sich aus geeignet ist, bedarf es beispielsweise bei Betondeckwerken besonderer Maßnahmen, wie Aufrauhnen der Betonsteine oder aber Ausbildung besonderer Höcker, die gleichzeitig die Wellenenergie besser abbauen.

5. Entwurfs- und Ausführungsbeispiele

An Hand der folgenden Beispiele sollen in Deutschland übliche Lösungen für Ufersicherungen erläutert werden, wobei darauf eingegangen wird, wieweit sie den an sie zu stellenden Forderungen gerecht werden und worin ihre besondere Eignung besteht.

5.1 Ufersicherung aus Steinschüttung und Setzpacklage

Zu den verbreiteten Ufersicherungen an Flüssen und Schiffahrtskanälen zählt die einfache Steinschüttung. In der Regel werden Steine mit einem Stückgewicht zwischen 10—40 kg, in Flüssen sogar bis zu 80 kg eingebaut. Das Steingefüge soll derart beschaffen sein, daß die im Gewässer auftretenden Kräfte die Steine nicht verschieben. Der Einbau der Schüttsteine erfolgt mit Greifern oder von Schüttgerüsten aus. Verwendet werden im Bereich der Einbaustelle frachtgünstig verfügbares Steinmaterial. Steine mit hohem Raumgewicht, z. B. Basalt, verhalten sich günstiger als Steine geringeren Raumgewichtes — Sandsteine. Für die Ufersicherung aus Schüttsteinen ist im allgemeinen ein Unterbau, d. h. eine Filterschicht erforderlich.



Main-Donau-Kanal

Bild Nr. 14

Einfache Ufersicherung aus Schüttsteinen auf Unterbettung aus Grobschlag

Die Filterschicht kann je nach anstehendem Boden und verfügbaren Stoffen ein Gemisch von Schotter und Splitt sein oder aus Kies und Sand (Mischkies), aus Grobschlag (Bild 14) oder aus Erzschlackenschotter bestehen. Letzterer wird vorwiegend im Tidebereich der Elbe eingebaut.

Während die Dicke der Steinschüttung je nach Beanspruchung und Steinmaterial in Kanälen 30—50 cm und in Flüssen sogar bis 100 cm gewählt wird, schwankt die Dicke der Filterschicht zwischen 10—30 cm.

Diese Deckwerksart eignet sich besonders zum Schutz von Ufern in Einschnittstrecken mit vorwiegend sandigem bis kiesigem Untergrund. Der Einbau kann sowohl in trockener Baugrube als auch im Wasser erfolgen. Die Oberflächenrauigkeit und die große „Schluckfähigkeit“ sind günstig in Bezug auf den Abbau der das Deckwerk beanspruchenden Kräfte.

Bei dieser an sich sehr wirksamen Ufersicherung stellen sich immer wieder örtlich begrenzte Schäden ein, die häufigere Instandsetzung (vorwiegend Nachschütten von Steinen) erforderlich werden lassen.

Während hier zunächst das einfachste Deckwerks-System aus Schüttsteinen wiedergegeben ist, trifft man in der Praxis viele abgewandelte Formen an. So hat man beispielsweise am Dortmund-Ems-Kanal ebenso wie am Mittellandkanal den Schüttsteinen dadurch einen Zusammenhalt gegeben, daß man sie mit Maschendraht zu Steinmatten verbunden hat. Die Dicke der Steinschicht kann dadurch geringer gehalten werden. Ein solches System kann in dieser Form auch bei weicheren Böden, wo die Forderung der Lastverteilung gestellt werden muß, eingebaut werden.

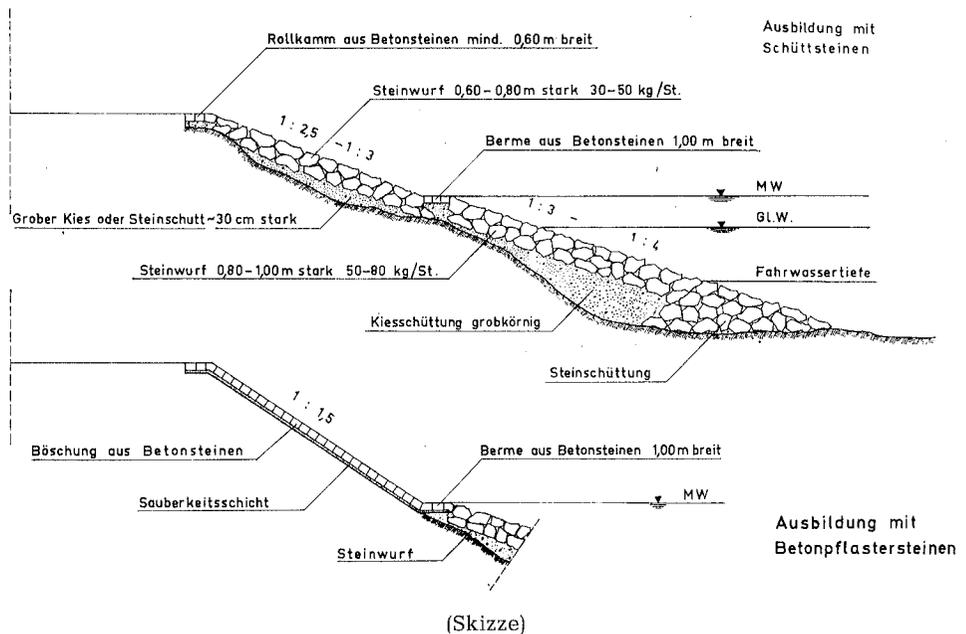


Bild Nr. 15
Angestrebtes Regelprofil des Uferausbaues am Mittelrhein

Bild Nr. 15 zeigt ein Schüttsteindeckwerk am Mittelrhein. Da ein unvollkommener Böschungsfuß häufig Ausgangspunkt für großflächige Schäden an dem darüber liegenden Deckwerk ist, wird hier besonders auf eine absolut standfeste Ausbildung des Böschungsfußes geachtet. In Abhängigkeit zu den stark wechselnden Wasserständen ist das Deckwerk entsprechend hoch gezogen, um auch bei Hochwasserführung des Flusses

noch Schutz zu geben. Alternativ wird am Mittelrhein auch oberhalb der Mittelwasserlinie eine Pflasterung aus Betonsteinen auf einer Sauberkeitsschicht ausgeführt.

Auch im Bereich der Unterelbe (Hamburger Abschnitt) sind die meisten Uferstrecken mit Natursteinen gesichert. Hier ist die Setzpacklage aus Natursteinen, die bisher viel verwendet wurde, inzwischen aus Gründen der Mechanisierung durch Steinschüttungen abgelöst worden.

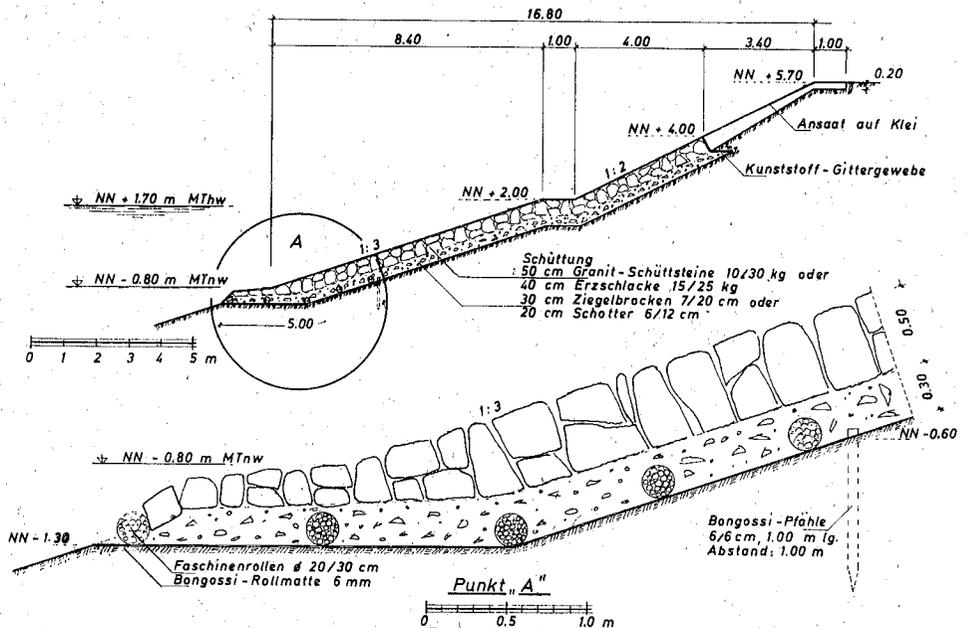


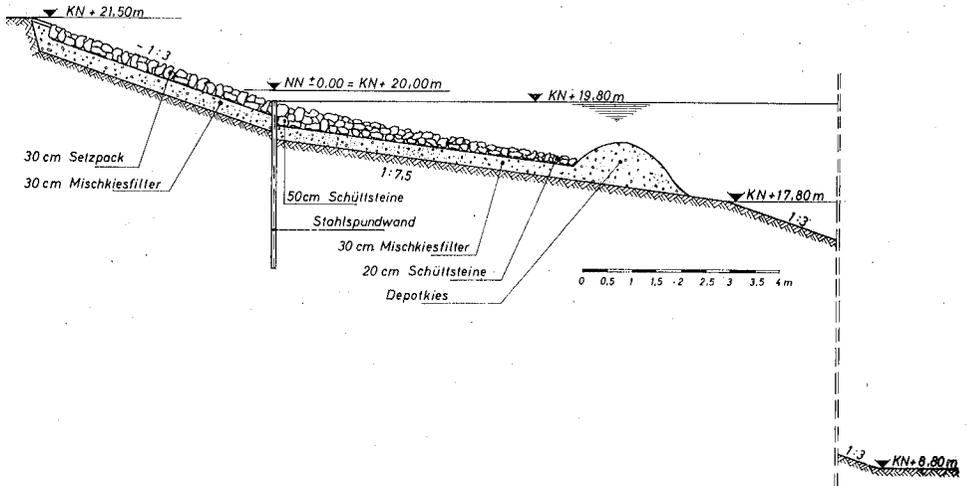
Bild Nr. 16
Steinschüttung mit Fußsicherung

Hier erhält die Steinschüttung eine Dicke von etwa 50 cm, bei einem Einzelsteingewicht zwischen 10 und 30 kg. Man verwendet aber auch neuerdings Erzschlacke, die in größeren Mengen zur Verfügung steht. Wegen des größeren Raungewichts — Einzelgewicht zwischen 15 und 25 kg — reicht dann eine Dicke von 40 cm aus.

Bild Nr. 16 zeigt eine typische „Hamburger Steinschüttung“. In den ausgedehnten Strecken des Nord-Ostsee-Kanals, die durch Geestgebiete führen, wird das in Bild Nr. 17 dargestellte Natursteindeckwerk bevorzugt:

Oberhalb des Wasserspiegels ist eine Setzpacklage bis zu 1,00 m über Wasserlinie hochgezogen, die in der Wasserlinie durch eine Stahlpundwand abgestützt wird. Unter Wasser schließt sich eine Steinschüttung an, die etwa 2,00 m unterhalb der Wasserlinie in einer Depotkiesschüttung endet. Diese Schüttung soll die Erosion im Übergangsbereich zwischen ungeschützter Böschung und der Uferbefestigung herabmindern (Filteraufbau).

Sie muß von Zeit zu Zeit ersetzt werden bzw. es sind Steine am Deckwerksauslauf nachzuschütten. Man hat hier bewußt auf einen besonderen Deckwerksfuß verzichtet, da sich erwiesen hat, daß seine Lebensdauer im Böschungsbereich sehr begrenzt ist. Das Nachschütten von Steinen wird in Kauf genommen. Hingegen soll der über der Wasserlinie liegende Deckwerksteil durch die besondere Fußsicherung mit einer Leichtspund-

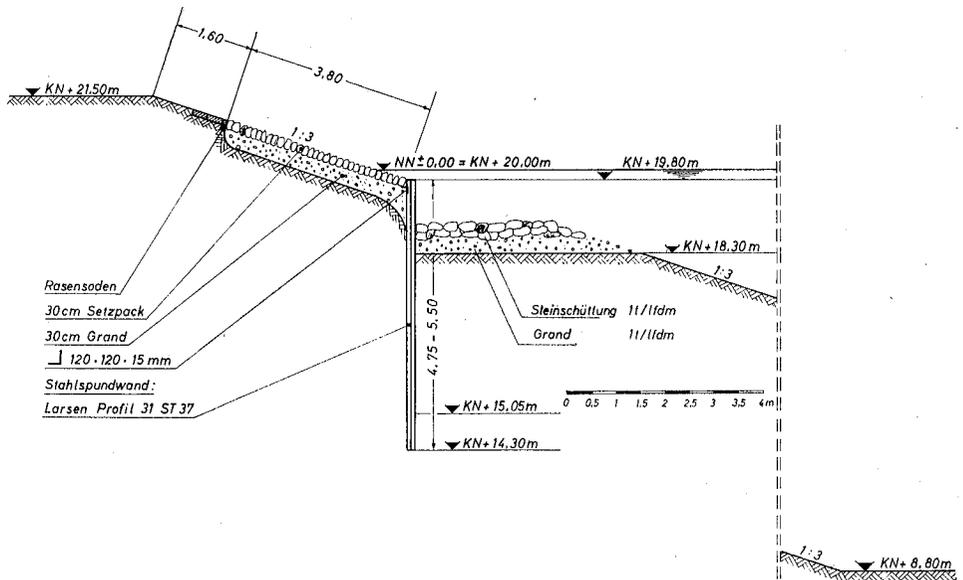


— Nord-Ostsee-Kanal —

Bild Nr. 17
Ufersicherung mit Setzpack und Steinschüttung

wand eine lange Lebensdauer mit geringem Unterhaltungsaufwand erhalten. Darüber hinaus läßt die Spundwand die Bildung eines Geländesprunges im Deckwerk bis zu etwa 0,50 m zu. Das System hat sich gut bewährt.

Eine weitere interessante Deckwerkslösung aus Natursteinen in Kombination mit einer Stahlspundwand, die am Nord-Ostsee-Kanal erprobt wurde, zeigt Bild Nr. 18.



— Nord-Ostsee-Kanal —

Bild Nr. 18
Ufersicherung mit Setzpack, Steinschüttung und Stahlspundwand

Der wesentliche Unterschied zu den bisher aufgeführten Lösungen besteht darin, daß die Böschung im Bereich der stärksten Angriffskräfte senkrecht ausgebildet wird. Einmal wird dadurch der Sickerweg des Grundwassers wesentlich verlängert und der äußere Wasserüberdruck unschädlich gemacht, zum anderen ist die auf einer Schrägböschung durch Absenkung und Welle entstehende Querströmung umso geringer, je steiler die Böschung ist. Bei senkrechten Wänden wird sie gleich Null. Auch diese Deckwerksform hat sich recht gut bewährt.

Aus den gezeigten Beispielen geht bereits hervor, daß ein kombiniertes Deckwerk aus Setzpack und Steinschüttung sehr verbreitet ist. Das standfestere Setzpack kann auch im Bereich unterhalb der Wasserlinie eingebaut werden. Diese Bauart ist dort möglich, wo beim Neubau eines Kanals oder der Erweiterung des vorhandenen das Uferdeckwerk in trockener Baugrube eingebaut werden kann. Der Setzpacklage kann durch Bitumenverguß ein noch festerer Halt gegeben werden. Diese Lösung hat sich an der Elbe bewährt und als wirtschaftlich erwiesen.

In Bereichen mit sehr feinem, gleichförmigem und damit zum Fließen neigenden Sand werden Sonderformen des Deckwerkes erforderlich, hier werden z. B. Faschinenmatten zur Verbesserung der Lastverteilung und der Filterwirkung eingebaut.

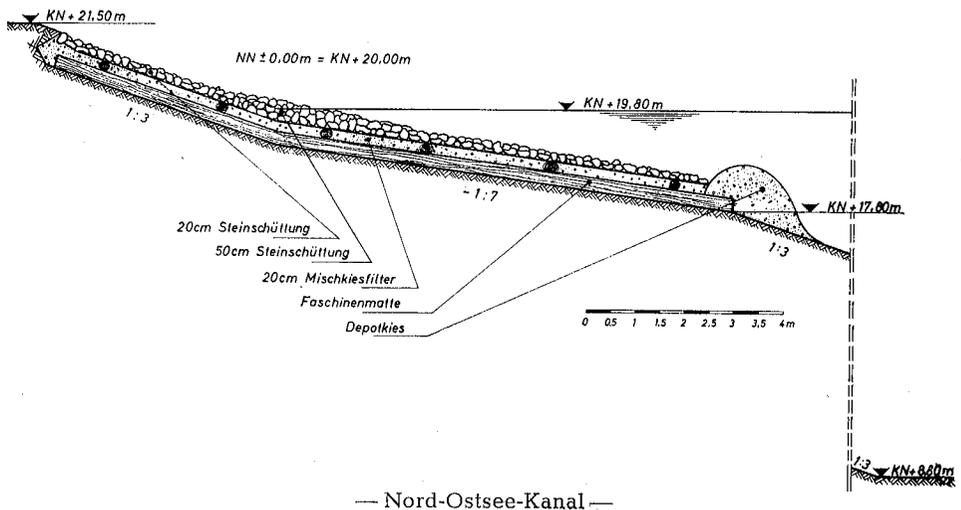
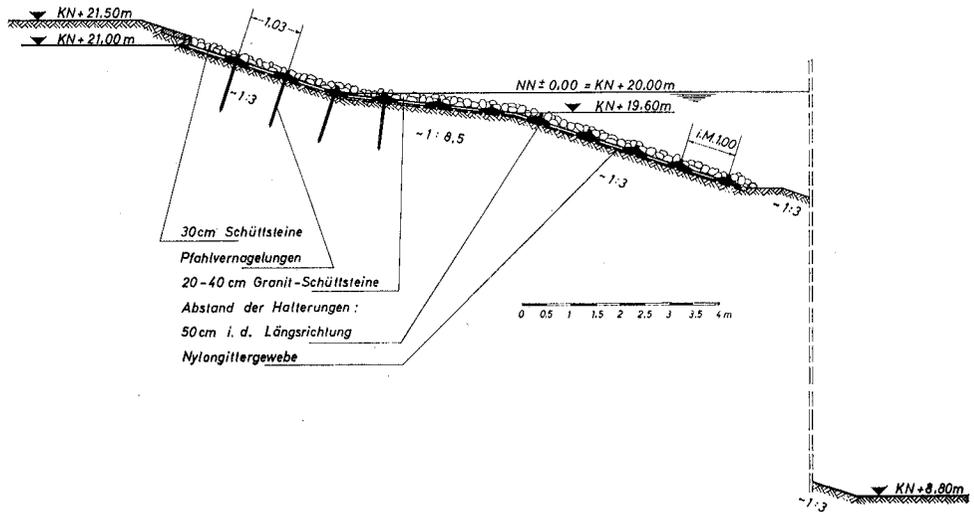


Bild Nr. 19
Ufersicherung mit Steinschüttung und Faschinenmatte

Bild Nr. 19 zeigt ein Deckwerk am Nord-Ostsee-Kanal mit einer Schüttsteinlage auf Faschinenmatten. Die Faschinenmatten mit dem darauf liegenden Filter aus Mischkies oder ähnlichen Stoffen verhindern das Auslaufen des Feinsandes; die Matte ist elastisch und folgt Austiefungen so, daß Erosionen unterhalb des Deckwerkes wenig gefährlich für den Bestand des Deckwerkes sind und auch leicht erkannt werden können.

Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang, daß die Kunststoff-Industrie inzwischen eine Matte (keine Folie) entwickelt hat, die ähnlich wie die Faschinenmatte mit einer Mischkies-Einstreuung eingebaut werden kann. Man verspricht sich von dieser Matte gerade in Fließsandbereichen eine große Wirksamkeit. Sie soll im Nord-Ostsee-Kanal und im Mittellandkanal erprobt werden.

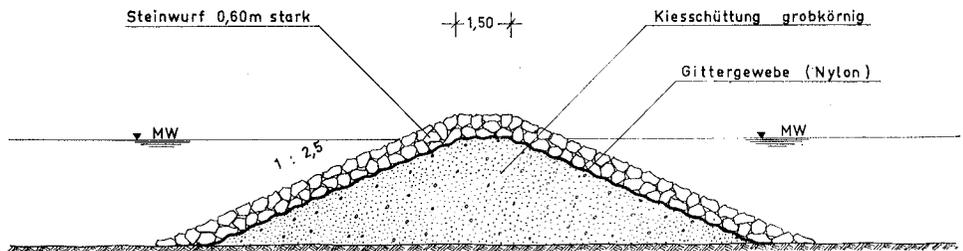
An Stelle von Faschinenmatten mit Mischkiesschicht sind auch geflochtene Matten aus Bongossi-Holz mit einer Gewebe-Plane, die die Funktion der Filterschicht übernimmt, eingebaut worden. Um ein Abrutschen der Schüttsteine zu vermeiden, sind Querrippen erforderlich.



— Nord-Ostsee-Kanal —

Bild Nr. 20
Schüttsteinsicherung aus Bongossimatte

Das auf den Bildern Nr. 21 und Nr. 22 dargestellte Längswerk ist im Mittelrhein eingebaut. Der grobkörnige Kieskern ist mit einem Nylon-Gittergewebe als Filterschicht abgedeckt, als Sicherung ist eine 60 cm dicke Steinschicht aufgebracht.



(Skizze)

Bild Nr. 21
Querschnitt eines Längswerkes am Mittelrhein mit Filteranlage aus Gittergewebe

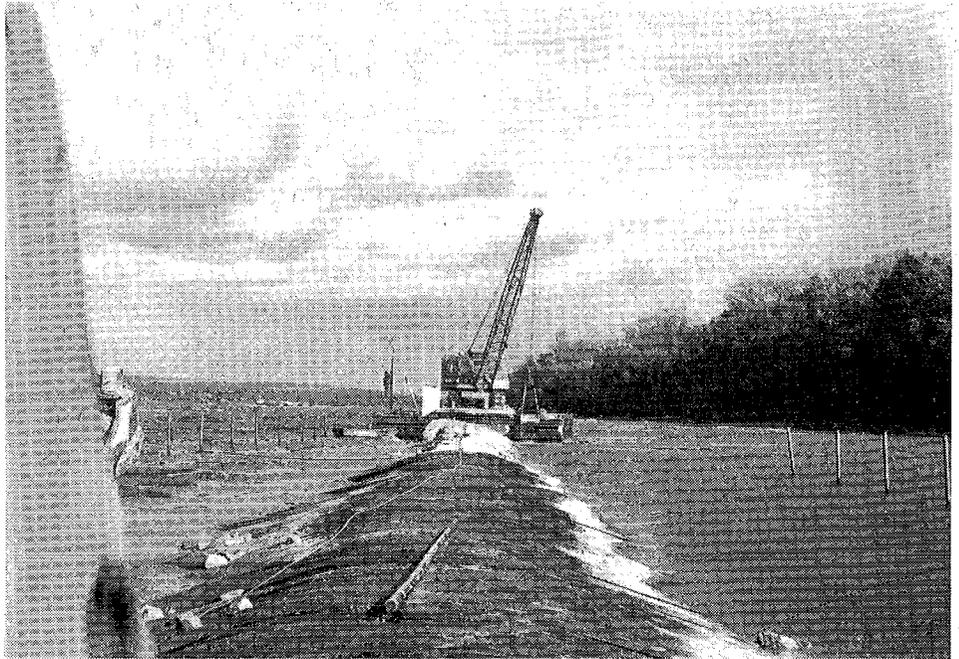


Bild Nr. 22
Bau eines Längswerkes am Mittelrhein Bauzustand mit aufgelegtem Gittergewebe

5.2 Pflasterdeckwerke aus Natur- und Kunststeinen

Pflasterdeckwerke können sowohl aus Naturstein als auch aus Kunststeinen wie Beton- und Schlackensteinen hergestellt werden. Der Verwendungsbereich des Pflasterdeckwerkes ist weit enger begrenzt als der des Schüttsteindeckwerkes.

Eine Pflasterung ist nur dort angebracht, wo nicht mit größeren unregelmäßigen Setzungen oder Sackungen des Untergrundes zu rechnen ist. Bei Pflasterungen können sonst „Brückenbildungen“ bei Erosionen auftreten, die zu plötzlichen Schäden führen können. Ein vorhandenes Pflaster laufend nachzuregulieren erfordert einen großen Arbeitsaufwand und ist daher unwirtschaftlich. Soweit ein Pflaster an Einschnittstrecken mit durchlässigem Untergrund eingebaut wird, ist eine wirksame Filterschicht ebenso erforderlich wie beim Schüttsteindeckwerk, wobei die Filterschicht eine wirksame Verbindung mit dem Wasser im Fluß- bzw. Kanalbett erhalten muß.

Über Deckwerke aus Pflastersteinen liegen fast durchweg gute Erfahrungen vor. Im hamburgischen Elbebereich beispielsweise sind derartige Deckwerke von altersher eingebaut, wo das Ufer besonders starken Angriffen durch Eis ausgesetzt ist. Hierfür gibt man jetzt den Kunststeinen, vorwiegend dem Betonformstein, neuerdings auch dem Kupferschlackenstein 20 cm × 33 cm, 20 cm dick (Gewicht 36 kg) den Vorzug. Der wesentliche Vorteil besteht in dem geringeren Lieferpreis und dem einfacheren Einbau gegenüber dem behauenen Naturstein.

Kunststeinpflaster wird auch in großem Umfange dort eingebaut, wo das Gelände, insbesondere dessen Nutzung durch Verkehrswege oder Industrie steile Böschungen erfordert. Für diesen Zweck sind bereits seit 1912 Betonformsteine verlegt worden. Jedoch ist man aus Gründen der Arbeiterleichterung von Betonsteinen 28 cm × 58 cm,

20 cm dick (Gewicht 71 kg) auf den „Stein 35“ übergegangen mit einer Deckfläche von 30×30 cm, 18 cm dick (Gewicht 35 kg). Die Steine sind schwalbenschwanzförmig verzahnt.

Ein solches Deckwerk ist auf Bild Nr. 23 dargestellt, wobei das Pflasterdeckwerk den Bereich über MThw schützt. Die an alten Deckwerken aus Betonstein festgestellte Anfälligkeit gegenüber Einwirkung von Mineralöl und Frost konnte inzwischen durch Verbesserung der Betongüte ausgeschaltet werden.

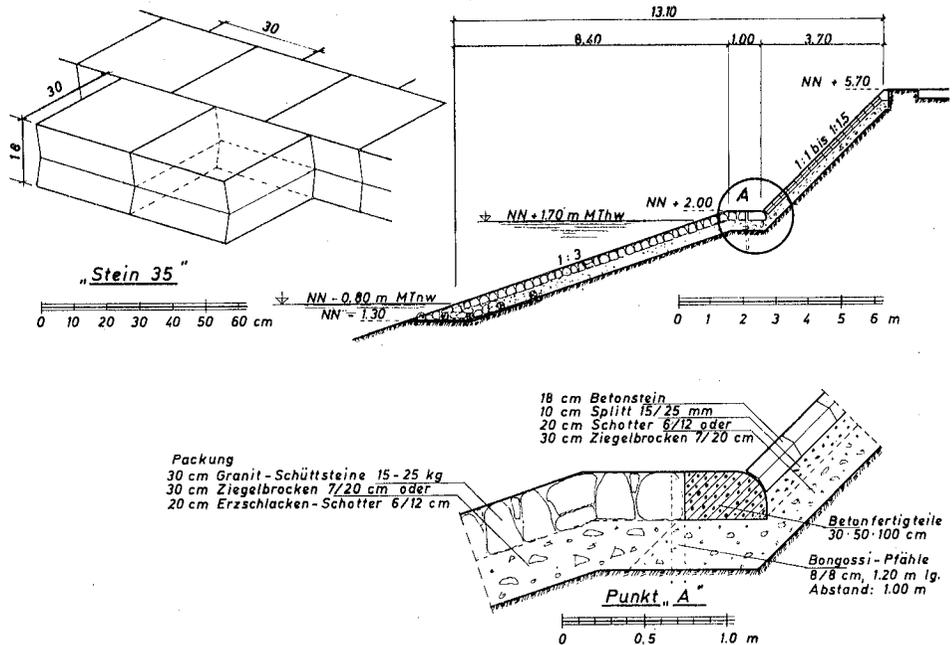


Bild Nr. 23
 Betonsteinpflaster

Bild Nr. 24 zeigt ein Betonsteinpflaster mit Höckern, das 1,50 m über MThw (mittl. Tidehochwasserstand) beginnend auf eine Länge von rd. 3,50 m angeordnet wurde; die Höcker geben dem Pflaster eine bessere „Rauhigkeit“, die hier wegen des stärkeren Wellenangriffes erforderlich ist.

Da eine Pflasterung im Schwankungsbereich des Wasserspiegels bzw. im Bereich der Wasserwechselzone wegen der höheren Kosten nur aus besonderen Gründen (Eis!) angelegt werden sollte und unterhalb dieses Bereiches nur in trockener Baugrube fortgesetzt werden kann, besteht ein Deckwerk häufig aus einer Pflasterung in Verbindung mit einer Steinschüttung, wie sie auf Bild Nr. 23 (Elbe) und auf Bild Nr. 15 (Rhein) dargestellt ist.

5.3 Ufersicherung aus Kunststeinmatten

Die laufend steigenden Lohnkosten geben zwangsläufig Anregung zur Entwicklung von Ufersicherungen, die weitgehend vorgefertigt und in mechanisierter Arbeitsweise eingebaut werden können. In jüngster Zeit sind zwei Arten von Betonmatten entwickelt worden; obwohl über deren Bewährung aber noch nichts Abschließendes ausgesagt

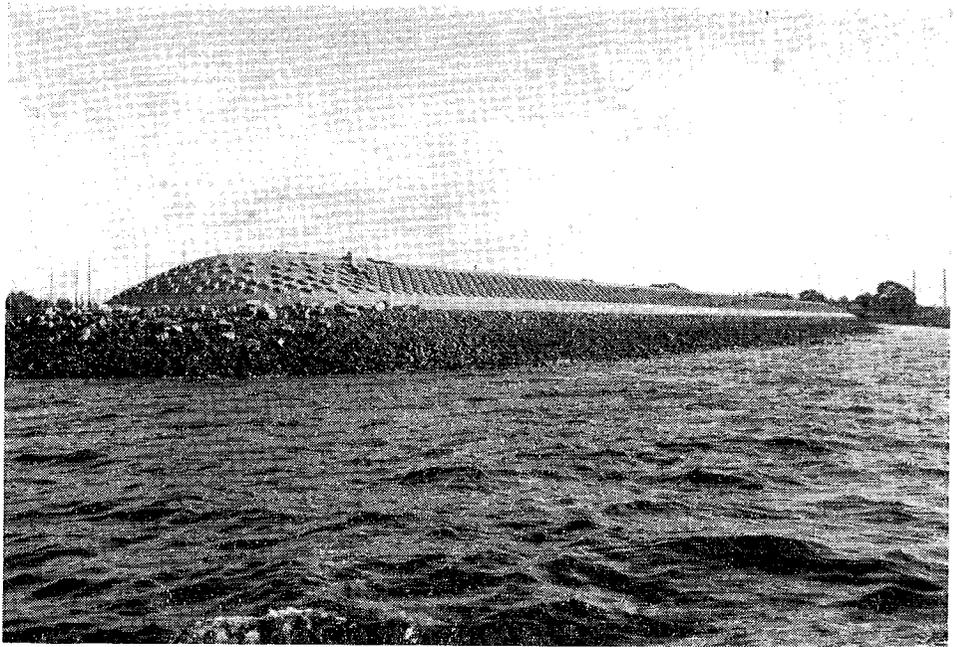
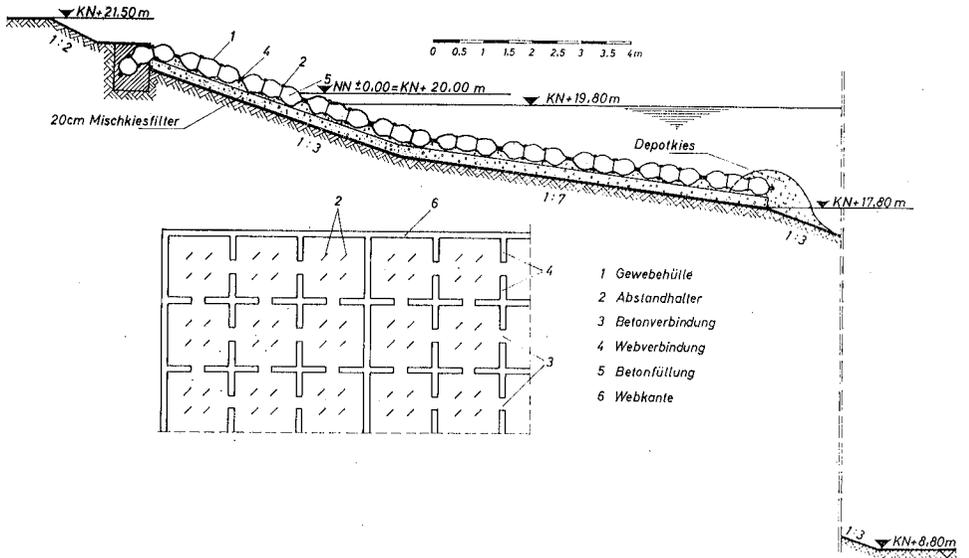


Bild Nr. 24
SF-Betonsteinpflaster mit Höckern im Hamburgischen Elbebereich



— Nord-Ostsee-Kanal —

Bild Nr. 25
Ufersicherung mit Colcrete-Plattenmatten

werden kann, dürften Hinweise auf diese Bauarten von Interesse sein. Mängel, die an diesen Matten festgestellt worden sind, lassen sich voraussichtlich durch Verbesserungen weitgehend beseitigen.

Dem ersteren Mattensystem liegt der Gedanke zugrunde, in eine „elastische verlorene Schalung“ am Einbauort Beton einzubringen. Als elastische Schalung werden steppdeckenartig zusammengenähte Nylonbahnen verlegt und mit flüssigem Beton gefüllt (Prepak-Matten, Colcrete-Matten). Bild Nr. 25 zeigt das System der Colcrete-Matten, wie sie in einer Probestrecke im Nord-Ostsee-Kanal eingebaut ist. Mit diesem System ist zweifellos eine weitgehende Mechanisierung des Herstellungsprozesses erreicht worden. Da der flüssige Beton über größere Entfernungen sowohl vom Wasser als auch vom Land aus gepumpt werden kann, ist es bedeutungslos, ob die Einbaustelle mit oder ohne Schwierigkeiten zu erreichen ist, und es ist ein Einbau im Trockenen und im Wasser möglich. Neben der Installation von Betonpumpen, die auch auf Arbeitsschiffen erfolgen kann, sind nur Kleingeräte erforderlich. Die diesen Matten vorausgesagte Flexibilität (gegeben durch die Nähte, die diesen Matten mehr oder weniger den Charakter einer Platten-Matte verleihen), hat sich nicht im gewünschten Umfang eingestellt. Weiter ist bei den bisher am Nord-Ostsee-Kanal eingebauten Matten eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit im Bereich der Steppnähte nicht vorhanden. Damit wird ein Filterunterbau notwendig, wie er allgemein bei dichten Abdeckungen ausgeführt werden muß (Herstellung einer Verbindung unterhalb des Deckwerkes mit dem Wasser im Fluß- bzw. Kanalbett).

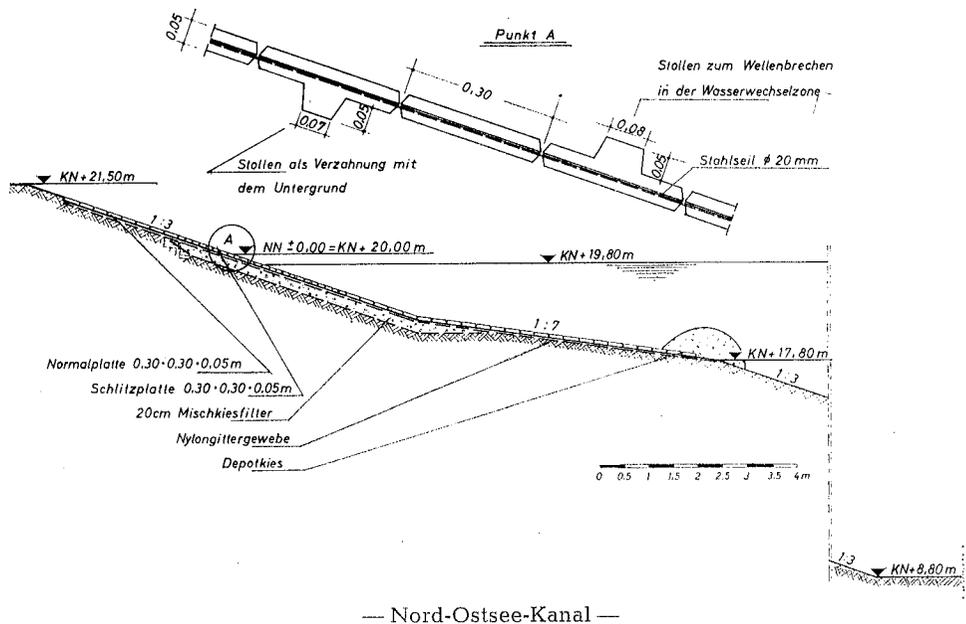


Bild Nr. 26
Ufersicherung durch Betonplattenmatten

Beim zweiten Mattensystem handelt es sich um eine Betonmatte aus 30×30 cm großen und 5 cm dicken Betonplatten, die durch korrosionssichere Stahlseile beweglich verbunden sind. Um ein Abrutschen zu verhindern, ist diese Matte auf der Unterseite mit Stollen

versehen, die eine Verzahnung mit dem Untergrund bewirken sollen. Derartige aufgesetzte Stollen sind auf der Oberfläche in dem Schwankungsbereich des Wasserspiegels vorgesehen, um hier eine größere Rauigkeit herzustellen.

Die Platten sind mit 5 cm Dicke relativ leicht — 120—130 kg/m² —; aus diesem Grunde ist ein guter Zusammenhalt zwischen den einzelnen Platten erforderlich, außerdem sind die Platten in der Wasserwechselzone durchbrochen (Schlitzplatten) und in diesem Bereich mit einer Filterkiesschicht versehen. Auf diese Weise soll ein wirksamer Abbau des Wasserüberdrucks erreicht werden. Die Plattenmatten werden zweckmäßig von einem schwimmenden Gerät aus eingebaut.

5.4 Bituminöse Deckwerke

Über die Entwicklung der bituminösen Deckwerke einschließlich der Verwendung von Teer im Wasserbau wird auf den deutschen Bericht zum internationalen Schiffahrtskongreß in Stockholm hingewiesen.

Besonders günstige langjährige Ergebnisse liegen über den Verguß von Schüttsteindeckwerken als zusätzliche Sicherungsmaßnahme im Bereich der stärksten Böschungbelastungen vor. Durch den Verguß wird erreicht, daß die Angriffe großflächig aufgenommen werden und nicht einzelne Steine aus der Böschungssicherung herausgelöst werden. Das führt mit verhältnismäßig geringem Kostenaufwand zu einer wesentlichen Herabsetzung der Unterhaltungskosten und zur Erhöhung der Lebensdauer der Uferdeckwerke.

Die Versuche zur Böschungssicherung mit Bitumen auch unter Wasser sind weitergeführt, dabei wurde außer praktisch phenolfreiem Teer auch Bitumen mit Erfolg eingesetzt. Die Versuche sind aber noch nicht abgeschlossen.

Das geschlossene Asphaltdeckwerk hat sich in Neubaustrecken, also bei trockener Baugrube, als konkurrenzfähig erwiesen. In Auftragsstrecken also beim äußeren Grundwasserstand niedriger als der Kanalwasserspiegel wurde in diesen Fällen die Abdichtung des Kanals mit dem des Böschungsschutzes gekoppelt, es konnte also die bisherige Dichtung aus Ton oder Hydraton entfallen und damit auch an Aushub gespart werden.

Während bei der ersten Ausführung noch ein Sohlenschutz von 50 cm Dicke als erforderlich erachtet wurde, soll diese bei zukünftigen Ausführungen durch eine 6—8 cm dicke Asphaltsschicht ersetzt werden. Diese Dicke reicht aus, um jedes Durchschlagen durch fallende Anker auszuschließen.

Abb. 27 zeigt die bisherige Ausführung (Main-Donau-Kanal). Auf die im Wasserschwankungsbereich eingebrachte Aufräuhung sei besonders hingewiesen.

Am Dortmund-Ems-Kanal wurde ferner ein „durchlässiges“ Asphaltdeckwerk in einer Versuchsstrecke ausgeführt, bei dem der Grundwasserspiegel etwa in Höhe Kanalwasserspiegel liegt, beim Absink durch verbeifahrende Schiffe also ein äußerer Wasserüberdruck entsteht. Grundgedanke war, ein Deckwerk mit durchgehenden Poren zu schaffen und damit den äußeren Wasserüberdruck flächenmäßig schnell abzubauen. Die bisherige kurze Liegezeit zeigt, daß der bisher beschrittene Weg kaum zu einer brauchbaren Lösung führen wird. Das Deckwerk zeigt bereits Frostschäden in Wasserspiegelhöhe, auch entspricht die Durchlässigkeit nicht der angestrebten. Es muß angenommen werden, daß diese bei längerer Liegezeit durch Verstopfung der Poren weiter abnimmt. Auch ist nicht klar, ob die Haftung des Bitumens am Gestein infolge der Durchströmung auf die Dauer erhalten bleibt.

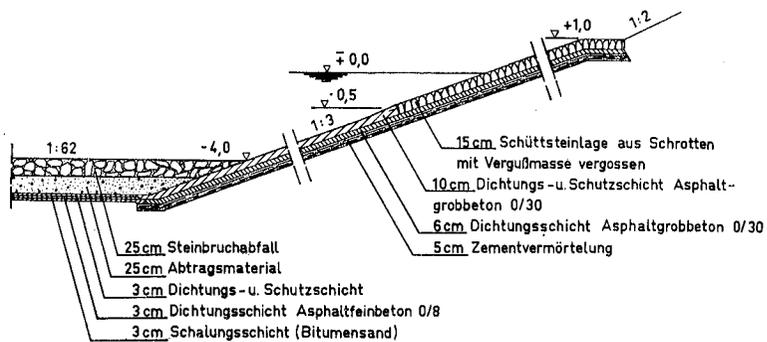


Bild Nr. 27
Dichtungs- und Deckwerkausbildung

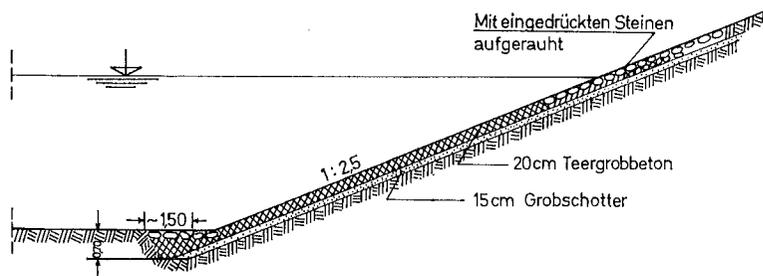


Bild Nr. 28
Böschungsschutz mit Teergrobbletondeckwerk ohne Dichtungseigenschaft

Bei dichten Asphaltdeckwerken und äußerem Wasserüberdruck sind gut wirkende Entlastungen erforderlich (Filter, Durchtrittsöffnungen) und ein ausreichendes Gewicht des Deckwerkes. Die optimalen d. h. wirtschaftlichsten Lösungen sollen in weiteren Versuchen gefunden werden.

5.5 Spundwandeinfassungen

Anstelle geneigter Kanalböschungen werden in bestimmten Fällen Spundwandeinfassungen (Bild Nr. 29) oder auch Stützmauern gewählt.

Derartige Lösungen sind im allgemeinen kostspieliger als die vorherbeschriebenen. Sie passen sich auch weniger in die Landschaft ein. Dennoch bieten sich Spundwandeinfassungen in Industrie- und dichtbesiedelten Gebieten an. Mit dieser Lösung läßt sich auf engstem Raum ein größtmöglicher Wasserquerschnitt einfassen. Spundwandeinfassungen können aber auch dort die wirtschaftlichsten und zweckmäßigsten Lösungen darstellen, wo es gilt, vorhandene Kanäle zu erweitern. So finden sie in weiten Strecken des Mittellandkanals insbesondere dort Verwendung, wo in tiefen Einschnittstrecken erheblicher Bodenabtrag über der Wasserlinie vermieden werden kann oder

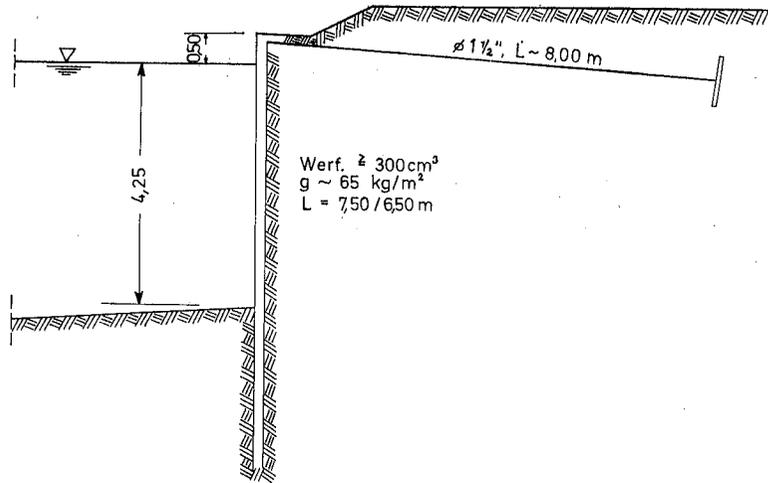


Bild Nr. 29
Spundwandsicherung

aber, wo in Auftragsstrecken hiermit sonst erforderliche wesentliche Veränderungen nicht vorgenommen zu werden brauchen. Ein weiterer Uferschutz entfällt; die Unterhaltungskosten sind sehr gering.

Für Mensch und Tier bildet diese Lösung allerdings einen unübersehbaren Gefahrenherd, da eine senkrechte Uferwand ohne besondere Einrichtungen wie Leitern, keine Möglichkeit bietet, vom Wasser her das Land zu erreichen.

6. Technisch-wirtschaftliche Planungsgesichtspunkte

Bei der Beschreibung der verschiedenen Bauweisen ist bereits auf wirtschaftliche Gesichtspunkte beim Schutz der Uferböschungen hingewiesen worden.

Für die Planung dieser Schutzmaßnahmen ist die verlangte Nutzungsdauer maßgebend, d. h. der Zeitraum für den die Uferbefestigung den technischen Erfordernissen voll entspricht. Das heißt, der Uferschutz muß, ohne daß eine Zerstörung des Kanal- bzw. Flußufers erfolgt, während dieser Zeit die von ihm erwartete Schutz Aufgabe übernehmen. Von der Nutzungsdauer ist zu unterscheiden die Lebensdauer der Schutzmaßnahme. Das ist der Zeitraum, in dem das Bauwerk durch keine vertretbare Reparatur mehr zu retten ist. Es kann aber auch vorkommen, daß z. B. ein Kanal aus technischen und wirtschaftlichen Gründen eine Änderung erfährt, bevor die Lebensdauer des Uferschutzwerkes abgelaufen ist.

Die Nutzungsdauer bzw. die Lebensdauer sind abhängig von:

den örtlichen Verhältnissen (Schiffahrt, Kanal- bzw. Flußquerschnitt, Bodenverhältnisse)

der Erstinvestition (leichter Uferschutz, lose Schüttsteine, schwere Deckwerke) dem Unterhaltungsaufwand.

Während die örtlichen Verhältnisse nicht beeinflussbar sind, ist die Abstimmung der Investitionskosten, d. h. der Baukosten und der Unterhaltungskosten Aufgabe des Planenden.

Es kann dabei der Fall eintreten, daß für eine Baumaßnahme die erforderlichen Geldmittel nicht zur Verfügung stehen, um ein Deckwerk technisch optimal anzulegen; es werden also bewußt höhere Unterhaltungskosten in Kauf genommen, um zunächst Baukosten einzusparen. Hierbei wird zu überlegen sein, ob für die Nutzungsdauer des Deckwerkes die erforderlichen Unterhaltungsarbeiten wirtschaftlich durchgeführt werden können, d. h. es muß der erforderliche Schiffspark verfügbar sein und auch das Steinmaterial für die in der Zeit der Unterhaltung notwendigen Nachschüttungen. Untersuchungen im Bereich des Dortmund-Ems-Kanals haben gezeigt, daß bei den derzeitigen Belastungen der Ufer durch die Schifffahrt die erforderlichen Unterhaltungsarbeiten nur dann wirtschaftlich durchgeführt werden können, wenn eine überregionale Planung der Unterhaltungsarbeiten für größere Kanalabschnitte erfolgt und wenn der erforderliche Schiffspark mit guter technischer Ausrüstung zur Verfügung steht. Theoretisch ist es zwar nicht aufwendiger, Steinmaterial nach den bisher angewendeten wenig mechanisierten Verfahren einzubauen, es wird aber von Jahr zu Jahr in Deutschland schwieriger, die erforderlichen Arbeitskräfte für die verhältnismäßig schwere Handarbeit zur Unterhaltung der Wasserstraßen vorzuhalten.

Die Untersuchungen haben weiter gezeigt, daß durch den Einbau spezifisch schwererer Basaltsteine die Standfestigkeit der Steindeckwerke erhöht und an Unterhaltungsarbeiten eingespart werden kann.

Wenn auch in Deutschland zur Zeit noch an den natürlichen Wasserstraßen die losen Steindeckwerke dominieren, ist die Tendenz zu einer stärkeren, d. h. weniger unterhaltungsaufwendigen Uferbefestigung festzustellen. Diese Entwicklung führt von der losen Steinschüttung und dem Setzsteindeckwerk zu dem zunächst in der Zone des stärksten Angriffes z. B. durch Verguß zusätzlich geschützten Deckwerk, das die angreifenden Kräfte großflächig aufnimmt und dadurch das Herauslösen kleiner Steine aus dem Deckwerk und damit seiner langsamen Zerstörung herabsetzt.

Die Tendenz geht weiter zu einem Deckwerk, das maschinell eingebaut werden kann und das während der Nutzungsdauer nur einen geringen Unterhaltungsaufwand erwarten läßt; hier sind z. B. Asphaltbetondeckwerke zu nennen.

Der Einbau von Deckwerken im Trockenen macht keine Schwierigkeiten; wegen der in Deutschland in großem Umfang laufenden Arbeiten zu Kanalerweiterungen und Ufersicherungen an Flüssen, d. h. für den Einbau solcher Befestigungen im Wasser sind zahlreiche Bauverfahren in Erprobung, wobei der mechanische Einbau von Deckwerken angestrebt wird; diese Deckwerke lassen unter den zu erwartenden Verkehrsbelastungen geringe Unterhaltungsarbeiten erwarten.

Insgesamt muß der ein Uferdeckwerk planende Ingenieur, wie es die Erfahrungen gezeigt haben, neben den rein wirtschaftlichen Gesichtspunkten auch die örtlichen Gegebenheiten beachten; insbesondere wird es in Zukunft immer schwieriger werden, erforderliche Unterhaltungsarbeiten an zu leicht ausgeführten Deckwerken durchzuführen; es sollte daher bei der Planung besonders darauf Rücksicht genommen werden, durch die Wahl eines geeigneten Deckwerkes die Unterhaltungsarbeiten einzuschränken.

Schriftumsverzeichnis

- [1] Glazik, G.: Beitrag zur Frage der Standardisierung von Uferbefestigungen für Binnenwasserstraßen
(Heft 1 der Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau, Berlin 1961)
- [2] Deutsche Berichte zum XXI. Internationalen Schifffahrtskongreß Stockholm 1965
Abteilung I — Binnenschifffahrt
Thema 4:
Neue Baustoffe und neue Bauausführungen für den Schutz der Böschungen und der Sohle von Kanälen, Flüssen und Häfen. Gesteinskosten und jeweilige Vorteile.
Bonn 1965 (BMV)
- [3] Studie über die Wasserspiegelbewegungen des Nord-Ostsee-Kanals
aufgestellt von der Untersuchungsstelle NOK des Wasserbauamtes Kiel-Holtenau
(Nicht veröffentlichter Eigenbericht 1966)
- [4] Schröder, H. Th. u. Hofmann, W.: „Beanspruchung der Böschung eines Schifffahrtskanals“
(Heft 27 Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 1968 Seite 46—55
und „Schiff und Hafen“ Jahrgang 20, Heft 9/1968)
- [5] Kuhn: „Verhalten der Böschungsbefestigung bei den Bamberger Kanal- und Schifffahrtsversuchen“
(Heft 27 Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 1968 Seite 42—45
und „Schiff und Hafen“ Jahrgang 20 Heft 8/1968)