

Erprobung von Deckwerken durch Schiffahrtsversuche

Von Prof. Dr.-Ing. Rudolf K u h n, München

1. Aufgabenstellung

Die Kanal- und Schiffahrtsversuche Bamberg 1967 [1] hatten gezeigt, daß lose Steinschüttungen keinen ausreichenden Schutz für die Böschung eines Schiffahrtskanals darstellen. Der Schraubenstrahl des anfahrens Motorschiffes zerstört ein derartiges Deckwerk in kürzester Zeit; auch schwere Steine werden durch die Kraft des Strahls weggeschleudert. Das zwang dazu, nach Deckwerken zu suchen, deren Elemente nicht lose gelagert sind, sondern einen ausreichenden Zusammenhang besitzen, um den konzentriert angreifenden Strahl großflächig aufnehmen zu können.

In der Haltung Hausen des Main-Donau-Kanals (MDK) wurden 7 Deckwerke dieser Art in Probestrecken eingebaut und bei den Kanal- und Schiffahrtsversuchen Hausen 1970 in gleicher Weise wie seinerzeit in Bamberg der Einwirkung des Schiffschraubenstrahls ausgesetzt.

Im folgenden wird über diese Versuche und ihre Ergebnisse berichtet. Im Sinne einer objektiven Darstellung werden die Bauweisen, die in der Mehrzahl gesetzlich geschützt sind, nur nach ihren bautechnischen Merkmalen bezeichnet.

2. Arten der Versuchsdurchführung

Die Versuche an den ausgeführten Deckwerken mit verkehrsüblichen Schiffseinheiten sind an sich absolut praxisnahe Naturversuche. Was jedoch nicht untersucht werden konnte, ist die Dauerbeanspruchung. Man mag deshalb mit Recht einwenden, daß die Ergebnisse nichts über die Bewährung im Laufe langer Betriebsjahre aussagen. Von diesem Standpunkt aus handelt es sich nicht um eine Gesamtbeurteilung, sondern in erster Linie um eine Differenzierung der Brauchbarkeiten der einzelnen Bauweisen.

Auf der anderen Seite wurde versucht, durch eine Abstufung der Erprobung eine allgemeine Gültigkeit der Ergebnisse wenigstens teilweise zu erreichen. Es wurden deshalb 4 verschiedene Arten der Versuchsdurchführung angewendet.

Versuch A

Verkehrsbeanspruchung durch dreimaliges Anfahren eines Schubbootes (erste Beanspruchungsstufe).

Das Schubboot „Metz“ mit einem beladenen Leichter legte sich so dicht an die Böschung des Versuchsdeckwerks, wie es die Sicherheit für die Antriebs- und Steuerorgane zuließ und fuhr dann mit äußerster Kraft an, wobei der Schraubenstrahl durch das gelegte Ruder fast senkrecht auf die Böschung gelenkt wurde. Von den 2 Propellern mit je 450 PS beanspruchte im wesentlichen nur der landseitige die Böschung ernstlich. Das Anfahrmanöver wurde jeweils dreimal ausgeführt.

Versuch B

Verkehrsbeanspruchung durch dreimaliges Anfahren eines Motorgüterschiffes (zweite Beanspruchungsstufe).

Das MGS „Concordia“ mit den Abmessungen $85 \times 9,5$ m und mit Abladung auf 2,0 m Tiefgang, das entspricht rd. 1400 t Gesamtgewicht, führte die gleichen Manöver wie beim Versuch A beschrieben durch. Das Schiff besitzt einen Propellerantrieb mit 800 PS. In diesem Fall wurde also ein viel stärkerer Propellerstrahl gebündelt auf die Böschung gerichtet.

Versuch C

Stationärer Verschleißversuch.

Das beim Versuch B beschriebene MGS machte fest und ließ den Schraubenstrahl 5 Minuten mit voller Wucht auf die Böschung wirken.

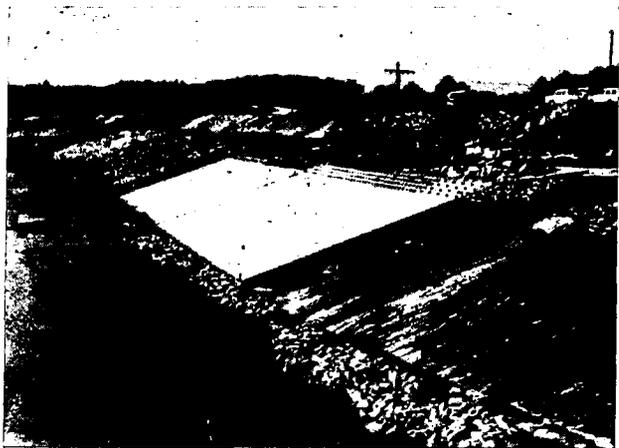


Abb. 1: Probestrecke in der Haltung Hausen mit Betonverbundsteinen und mittelgroßen Betonplatten



Abb. 2: Probestrecke im Unterhafen der Schleuse Erlangen mit 5 verschiedenen Bauweisen

Versuch D

Havarieversuch.

Der beim Versuch A beschriebene Schubverband fuhr mit einem Europa-Leichter II ($76,5 \times 11,2$ m, Eigengewicht 300 t, Ladung 1420 t) auf die Asphaltböschung der gedichteten Strecke auf.

Die beanspruchten Deckwerke wurden durch Taucher eingehend untersucht. Dabei konnten die Flächen größtenteils nach einer Wartezeit bei klar gewordenem Wasser besichtigt werden; nur an den tiefsten Stellen war der Taucher auf ein Abtasten angewiesen. Da in allen Fällen eine gewisse Subjektivität der Beurteilung nicht ausgeschlossen ist, wurde jede Stelle zweimal von verschiedenen Tauchern untersucht. Soweit es nur irgend möglich war, ergänzte eine genauere Messung die Schätzung.

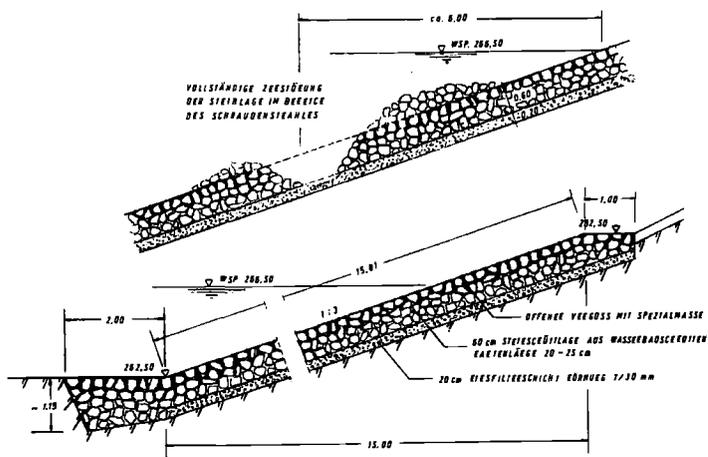


Abb. 3: Deckwerk aus einer Schüttsteinlage mit offenem Spezialverguß

3. Die Bauweise der Probendeckwerke und ihr Verhalten bei den Versuchen

Unter „Deckwerk“ wird ein Bauwerk verstanden, das die Aufgabe hat, das Kanalprofil abzugrenzen und einen Druckausgleich zwischen dem Grundwasser und dem Kanalwasser ohne Erosionsgefahr zu ermöglichen. Es besteht allgemein aus einer Filterschicht und einer darüberliegenden Deckschicht.

Beim Bau der Haltung Hausen wurden schon im Jahr 1967 zwei Probestrecken mit derartigen Deckwerken aus Betonformsteinen eingerichtet (Abb. 1). Im Jahr 1970 folgten im Unterhafen der Schleuse Erlangen 5 weitere Probestrecken (Abb. 2), welche die ganze, 1:3 geneigte Böschung des östlichen Liegeplatzes einnehmen.

Für all diese Deckwerke ist die Stützbauweise kennzeichnend [2]. Die in sich druckfeste Konstruktion stützt sich nach unten auf ein kräftiges Widerlager am Böschungsfuß ab, ist also hinsichtlich seiner Standfestigkeit nicht nur auf die Reibung mit dem Untergrund angewiesen.

3.1 Schüttsteinlage mit offenem Spezialverguß (Abb. 3)

Die 60 cm dicke Schüttsteinlage aus Wasserbauschrotten sollte durch einen vom Hersteller im einzelnen nicht bekanntgegebenen Spezialverguß auf Bitumenbasis gegen den Angriff des Schraubenstrahls gesichert sein. Doch schon vor dem Füllen des Kanals entstanden in der Vergußmasse so starke Schwindrisse, daß von einem Zusammenhalt nicht mehr die Rede sein konnte (Abb. 4).

Unten:
Abb. 4: Zerstörung des Vergusses durch Schwindrisse

Rechts:
Abb. 6: Schüttsteinlage mit offenem Mastixverguß

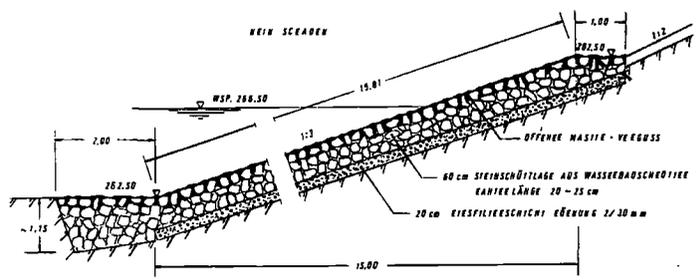


Abb. 5: Deckwerk aus einer Schüttsteinlage mit offenem Mastixverguß

Die Folge dieses Versagens der Masse war erwartungsgemäß eine vollständige Zerstörung des Deckwerks schon beim Versuch A. Die Schüttsteine wurden in einem Bereich von rd. 3 m² vom Schraubenstrahl völlig weggeblasen, und auch die darunterliegende Kiesfilterschicht war noch angegriffen.

Dieses Probendeckwerk wurde aufgrund des negativen Ergebnisses ausgeschieden und nicht mehr der stärkeren Beanspruchung des Versuches B unterworfen.

3.2 Schüttsteinlage mit offenem Mastixverguß (Abb. 5)

Die gleiche Ausführung wie unter 3.1 erhielt einen Mastixverguß, der in einfachster Weise von einem die Böschung befahrenden Schaufellader abgekippt wurde. Dadurch blieb ein großer Teil der Masse auf der Oberfläche liegen (Abb. 6). Letzten Endes waren aber doch alle Steine fest miteinander verbunden, und es verblieben noch ausreichend Öffnungen gemäß der Forderung nach einem offenen Deckwerk. Lediglich unmittelbar am Fuß der Böschung füllte die zu reichlich eingebaute Masse alle Hohlräume aus, so daß ein Streifen dichten Deckwerks entstand.

Das Deckwerk hat den Beanspruchungen beider Versuche A und B ohne erkennbaren Schaden standgehalten.

A.3 Steingefüllte Drahtkörbe (Abb. 7)

Auf einer Kiesfilterschicht liegen Drahtkörbe 2,00 × 3,00 × 0,23, gefüllt mit Kalksteinschrotten von 100 bis 120 mm Kantenlänge. Die Körbe sind an ihren Stoßfugen fest miteinander verbunden (Abb. 8).

Das Deckwerk wies schon nach dem Versuch A starke Beschädigungen auf. In 6 vom Schraubenstrahl getroffenen Körben verlagerten sich die Steine weitgehend; die Fugen zwischen den Körben öffneten sich bis auf 20 cm und mehr. Ein Korb wurde aufgerissen; etwa die Hälfte der Steine wurde herausgeschleudert.

Es wurde kein weiterer Versuch unternommen.



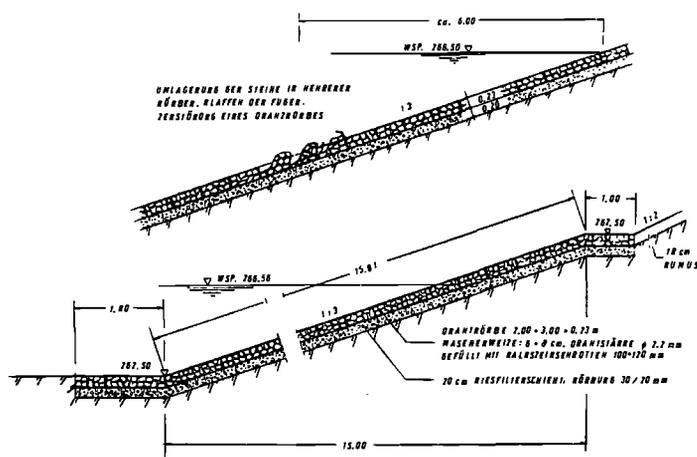


Abb. 7: Deckwerk aus steingefüllten Drahtkörben®



Abb. 8: Stoßfugen der Drahtkörbe

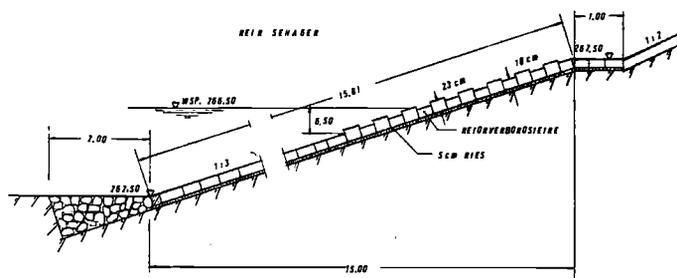


Abb. 11: Deckwerk aus Betonverbundsteinen®



Abb. 12: Oberfläche der Betonverbundsteine mit Hückern

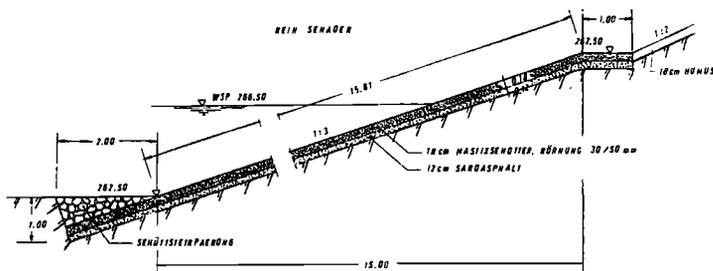


Abb. 9: Deckwerk aus Mastixschotter auf Sandasphalt®



Abb. 10: Die Oberfläche des Mastixschotters

3.4 Mastixschotter auf Sandasphalt (Abb. 9)

Die Bauweise stammt aus Holland, wo sie sich auf Versuchsstrecken bis jetzt gut bewährt hat. Auf einer Filterschicht aus Sandasphalt liegt eine Mastixschotterschicht mit der Ausfallkörnung 30/50 (Abb. 10). Die Durchlässigkeit des Deckwerks erwies sich in einem Versuch als sehr gut.

Das Deckwerk hat den Angriffen beider Versuche A und B ohne erkennbaren Schaden standgehalten.

Diese Bauweise hat neben ihrer technischen Qualität auch preislich eine günstige Position und bietet außerdem erhebliche baubetriebliche Vorteile; denn es wird keine Schwierigkeiten bereiten, beim Übergang von einer gedichteten Strecke aus Asphaltbeton zu einer Strecke mit durchlässigem Deckwerk aus Mastixschotter auf Sandasphalt dasselbe Gerät, das den dichten Asphaltbeton hergestellt hat, auch zum Einbau des Deckwerks heranzuziehen, d. h. mit anderer Beschickung einfach weiterlaufen zu lassen.

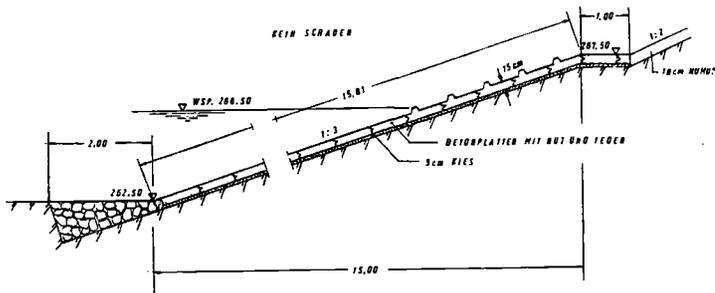
Nachdem also diese Ausführung etwas in den Vordergrund getreten war, wurde sie noch in einem dritten

Versuch (C) einer Dauerbelastung durch den kräftigen Schraubenstrahl des Motorgüterschiffes ausgesetzt, das zu diesem Zweck fest vertäut wurde. Auch dieser Beanspruchung hielt die Böschung ohne feststellbaren Schaden stand.

3.5 Beton-Verbundsteine (Abb. 11)

Die Bauweise hat nicht nur im Wegebau, sondern auch im Wasserbau schon weitgehend Eingang gefunden. Mit Rücksicht auf die zur Genüge bekannte kräftige Wirkung des Schiffsschraubenstrahls wurde die Dicke der Verbundsteine zu 18 cm gewählt. In der Uferzone brechen in Abständen eingesetzte, 23 cm dicke Steine den Auflauf der Wellen und erleichtern Mensch und Tier das Aussteigen aus dem Wasser (Abb. 12).

Das Deckwerk hat den Angriffen beider Versuche A und B ohne erkennbaren Schaden standgehalten.

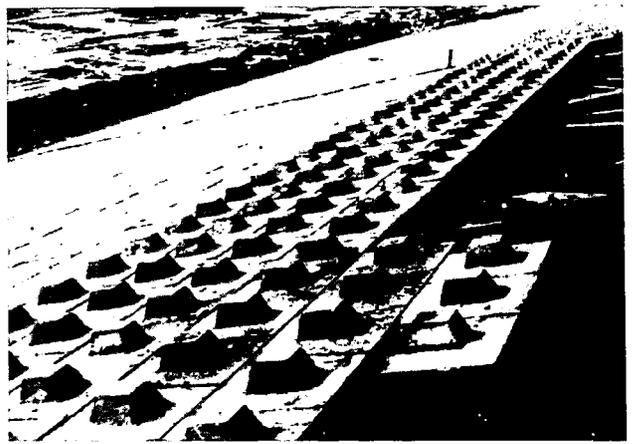


Oben:

Abb. 13: Deckwerk aus mittelgroßen Betonplatten®

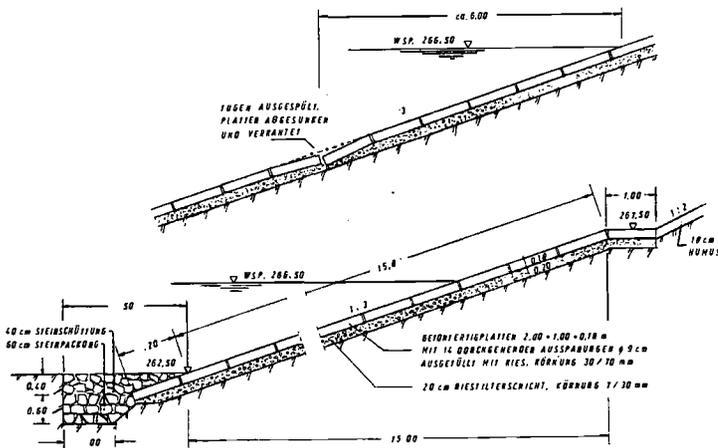
Rechts:

Abb. 14: Oberfläche der mittelgroßen Betonplatten mit Höckern



3.6 Mittelgroße Betonplatten (Abb. 13)

Die Gesteungskosten der kleinen Beton-Verbundsteine nach Absatz 3.5. sind wegen der lohnintensiven Verlegearbeit verhältnismäßig hoch. Ein etwas größeres und einfacheres Format wird der Beanspruchung im Wasserbau, die geringer ist als im Straßenbau, noch gerecht werden. Aus diesem Gedanken entstand ein Deckwerk mit 15 cm dicken Betonplatten, 50 × 50 cm, die in den waagerechten Fugen durch Nut und Feder miteinander verbunden sind.



Oben:

Abb. 15: Deckwerk aus großen Betonplatten®

Rechts:

Abb. 16: Oberfläche der großen Betonplatten mit kiesgefüllten Entlastungslöchern

4. Zusammenfassende Beurteilung der Versuchsergebnisse

Zunächst hat sich allgemein die schon bei den Bamberger Versuchen beobachtete Kraft des Schiffsschraubenstrahls wieder voll bestätigt. Es konnte in der Praxis des Schiffsbetriebs beobachtet werden, daß diese hohe Belastung keineswegs einen ungewöhnlichen Ausnahmefall darstellt, sondern durchaus als Bemessungsgrundlage gewertet werden kann [1].

Das Ergebnis des Versuchs an der Schüttsteinlage mit Spezialverguß war nach den vorher beobachteten Rissen in der Vergußmasse zu erwarten.

Dagegen überraschte das ungünstige Verhalten der Steinkörbe; sie haben sich im Flußbau unter dem Angriff von Hochwasserströmungen bewährt, sind aber doch augenscheinlich dem viel heftigeren Angriff eines Schiffsschraubenstrahls nicht gewachsen. Die beobachteten Schäden könn-



Im Uferbereich erhalten sie aus den obengenannten Gründen pyramidenstumpfförmige Höcker (Abb. 14).

Auch dieses Deckwerk hat den Angriffen beider Versuche A und B ohne erkennbaren Schaden standgehalten.

3.7 Große Betonplatten (Abb. 15)

Vom Hersteller der Betonplatten nach Absatz 3.6 wurde der Gedanke an Betonsteine großen Formats aufgegriffen, um an Verlegearbeit zu sparen und durch ein größeres Gewicht die Standfestigkeit des Deckwerks zu erhöhen. Die 18 cm dicken Platten von 2,0 × 1,0 m haben durchgehende, mit Kies gefüllte Aussparungen, ϕ 9 cm, zur Herstellung einer ausreichenden Durchlässigkeit (Abb. 16).

Schon beim Versuch A wurden im Bereich des Schraubenstrahls die Fugen zwischen 2 Platten so stark ausgespült, daß die Platten absackten und sich verkanteten.

Der Versuch wurde daraufhin abgebrochen.

ten vielleicht durch eine Füllung mit größeren Steinen vermieden werden. In diesem Fall wird aber eine Befestigung durch den Mastixverguß wirtschaftlicher als durch die Drahtkörbe.

Die Unterspülung der großen Betonsteine könnte vielleicht durch die Verwendung von Kunststoffmatten als Filter anstelle des Kiesel vermieden werden. Doch auch hier ist dann bei dem hohen Preis der Matten die Wirtschaftlichkeit der Bauweise stark gefährdet.

Die ausgezeichnete Verteilung der kleinen und mittleren Betonsteine hinterläßt eine gewisse Unsicherheit, ob nicht auch hier der Untergrund durch die Fugen teilweise ausgespült wurde, die Decke aber durch ihren guten Zusammenhalt die örtliche Unterhohlung noch überbrückt. Abge-

sehen davon müßte die äußerst lohnintensive Verlegearbeit dieser Bauweisen noch weitgehend mechanisiert werden, wenn sie wettbewerbsfähig werden soll.

Die Steinschüttlage mit offenem Mastixverguß hat eine erfreuliche Widerstandskraft gezeigt. Wichtig ist hier bei der Ausführung, daß auch bei einer arbeitssparenden Einbauweise für den Verguß einerseits alle Steine erfaßt und andererseits nicht alle Hohlräume zugeschüttet werden. Der große Hohlraumgehalt des Haufenwerks erfordert eine sorgfältige Wahl des Filters oder den Einbau einer Kunststoffmatte. In der Kalkulation überwiegen im allgemeinen die Kosten für geeignete, vor allem zuverlässig frostfreie Steine, so daß von ihrer Beschaffung die Wirtschaftlichkeit dieser Deckwerksart stark abhängt.

Technisch und wirtschaftlich am besten schneidet der Mastixschotter auf Sandasphalt ab. Filter- und Deckschicht entsprechen allen mechanischen und grundbautechnischen Anforderungen. Offen sind noch die Fragen nach der Beständigkeit des Gerüsts gegen Eis und nach der Beständigkeit des Bindemittels gegen den Einfluß der Atmosphäre und des Lichtes im Hinblick auf die dünne Mastixhaut, welche den Schotter umgibt. Hier muß erst noch die Beobachtung des Verhaltens im Laufe der kommenden 2 bis 3 Jahre bis zur nächsten Ausführung eines durchlässigen Deckwerkes am Main-Donau-Kanal abgewartet werden.

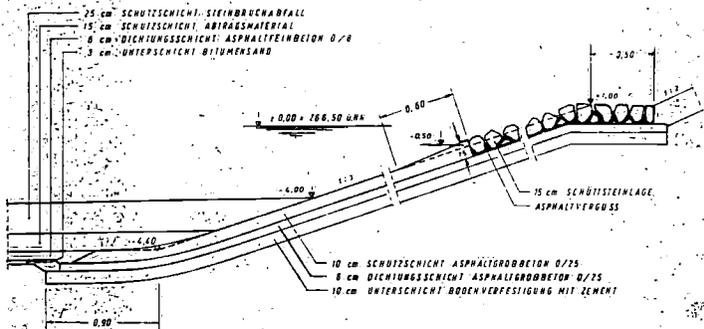


Abb. 17: Asphaltichtung in der Haltung Hausen

5. Havarie-Versuch

Die Schiffsversuche in Hausen boten noch die Möglichkeit, eine oft gestellte Frage zu untersuchen, nämlich die Frage nach der Widerstandsfähigkeit eines Asphaltbelags gegen den Stoß auflaufender Schiffe. In dankenswerter Weise erklärte sich der Schubverband „Metz“ bereit, dieses für den Leichter nicht ganz risikolose Manöver zu unternehmen. Als Versuchsort wurde das Ende der Strecke mit Asphaltichtung (Abb. 17) in der Haltung Hausen gewählt.

Der erste Versuch lief als vorsichtiger Tastversuch mit einer Schiffsgeschwindigkeit von 0,3–0,4 m/s bei einem Winkel der Verbandsachse zur Uferlinie von etwa 1:6 ab. Der rd. 1700 t schwere Leichter lief auf und rutschte

langsam wieder ab. Im zweiten Gang lief der Verband mit etwa 0,7 m/s und einem Winkel von 1:3,5 auf, löste sich jedoch wieder von der Böschung. Im dritten und stärksten Anlauf schob sich der Leichter bei 1,0–1,2 m/s und 1:2,5 so kräftig auf die Böschung, daß er sich etwa 0,9 m aus dem Wasser hob und festsaß (Abb. 18). Das anschließende Manöver dauerte viele Minuten, bis der Verband wieder flott war.

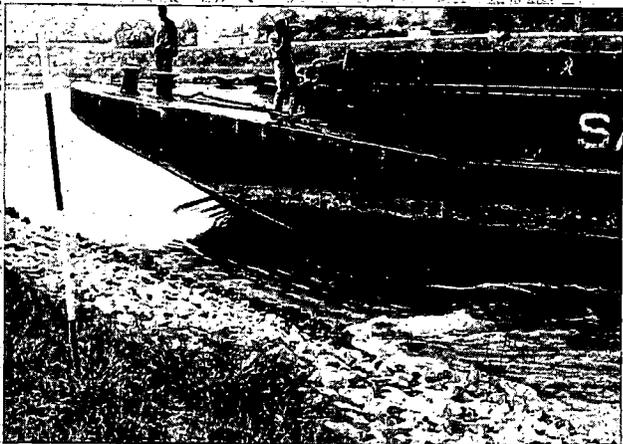


Abb. 18: Festgefahrener Leichter im dritten Versuch

Bei der Untersuchung der 3 verschiedenen Auffahrbereiche konnten die Taucher nur an der Stelle des 3. Versuchs eine Spur finden in Form einer 12–15 m langen Schramme, etwa 4 cm breit und 1–2 cm tief. Trotz sorgfältiger und mehrfacher Untersuchung war kein Riß in der Decke ausfindig zu machen.

Dieses erfreuliche Ergebnis bestätigt die schon in österreichischen Versuchen [3] ermittelte hohe Widerstandskraft und Zähigkeit einer bitumengebundene Decke.

6. Zusammenfassung

Die Naturversuche mit durchlässigen Deckwerken boten dem Wasserbauer einen sehr aufschlußreichen Einblick in das Verhalten verschiedener Bauweisen. Die zum Teil überraschenden Ergebnisse bestätigten den starken Angriff des Schiffsschraubenstrahls auf die Kanalverkleidung und unterstrichen die Notwendigkeit eines zusammenhängenden, robusten Deckwerks. Die technisch und zugleich auch wirtschaftlich günstigste Lösung ist eine bituminöse Bauweise mit Mastixschotter auf Bitumensand. Die Dauerbeständigkeit dieser Ausführung muß noch geprüft werden.

Literaturnachweis:

- [1] Kuhn, R.: Ergebnis der Bamberger Kanal- und Schiffsversuche und Folgerungen für die Verbreiterung von Kurven und für die Ausbildung der Deckwerke des Main-Donau-Kanals. Schiff und Hafen, 20. Jhg. (1968), Heft 8, S. 579–585.
- [2] Kuhn, R.: Dichtung und Deckwerk von Binnenschiffahrtskanälen. Der Bauingenieur, 44. Jhg. (1969), Heft 9, S. 322–336.
- [3] Koch, E.: Rammversuche an einem Asphaltdeckwerk Bitumen. 28. Jhg. (1966), Heft 6, S. 160–161.