

Binnenwasserstraßen – Entwurf, Bau, Betrieb und Unterhaltung (1.2)

Analyse bestehender Deckwerke für den Uferschutz an Binnenwasserstraßen

Dipl.-Ing. Petra Fleischer

Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe

Dr.-Ing. Jan Kayser

Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe

1. Einleitung

Der Schutz des Ufers an Binnenwasserstraßen ist eine wichtige Aufgabe des Verkehrswasserbaus. Das gesamte Anlagevermögen des Uferschutzes im Verkehrswasserbau in Deutschland beträgt ca. 10 Milliarden €.

Für den Uferschutz werden seit Jahrzehnten die verschiedensten Konstruktionen eingesetzt. Aufgrund der zukünftig leistungsfähigeren Schiffsantriebe und größeren Schiffsgefäße ist mit einer kontinuierlich steigenden Belastung der Ufer zu rechnen. Um diesen Belastungen Rechnung zu tragen werden die Erfahrungen mit den unterschiedlichen Konstruktionen systematisch gesammelt und ausgewertet. Ergebnisse dieser Arbeiten werden nachfolgend veröffentlicht. Ergänzend wird auf Erfahrungen in der Bemessung von Deckwerken eingegangen.

2. Deckwerke für den Uferschutz

Der Uferschutz wird üblicherweise mit einer durchlässigen oder dichten Auskleidung des Gewässerbetts ausgeführt, dem so genannten Deckwerk. Ein durchlässiges Deckwerk ermöglicht den ungehinderten Wasseraustausch zwischen Untergrund und Wasserstraße. Es besteht meist aus einer Deckschicht aus Wasserbausteinen und einem darunter liegenden geotextilen oder mineralischen Filter, welcher die Filterstabilität zwischen Untergrund und Deckschicht gewährleisten muss. Die Deckschicht besteht zumeist aus lose geschütteten Wasserbausteinen. Für eine erhöhte Stabilität des Deckwerks können die einzelnen Steine auch mit einem Vergussstoff untereinander verklammert werden. Standardbauweisen für lose und verklammerte Deckwerke zeigt Bild 1.

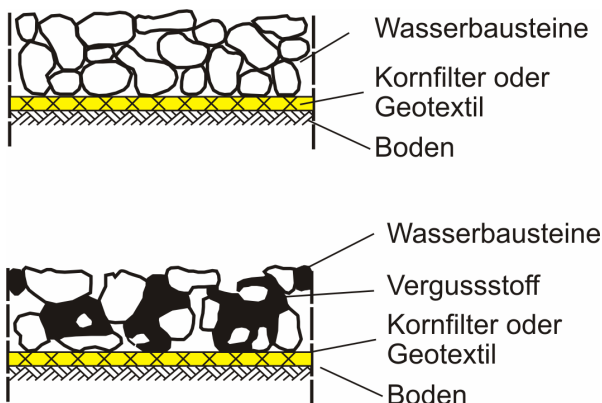


Bild 1: Standardbauweisen durchlässiger Deckwerke

Bei einem dichten Deckwerk ist unterhalb des Filters eine Dichtung (i.d.R. als mindestens 20 cm starke Tonschicht) angeordnet. Möglich ist auch ein Vollverguß des Deckwerke mit dichtem Vergussmörtel.

3. Hydraulische Einwirkungen auf Deckwerke

Deckwerke unterliegen hydraulischen Einwirkungen, die an Kanälen überwiegend schiffahrtsinduziert sind. Es treten Belastungen aus der Rückströmung des vom Schiff verdrängten Wassers neben dem Schiff, aus dem Schraubenstrahl (Antrieb und Bugstrahl), aus den Schiffswellen sowie aus dem Absink des Wasserspiegels auf (s. Bild 2, folgende Seite). Ein Wasserspiegelabsink kann auch durch Wehr-, Schleusen- und Kraftwerksbetrieb oder durch ablaufenden Hochwasser- und Tidewellen hervorgerufen werden.

Der Absink des Kanalwasserstandes erzeugt Porenwasserüberdrücke im Baugrund, welche das erforderliche Flächengewicht für ein aus geotechnischer Sicht standsicheres Deckwerk maßgeblich beeinflussen.

4. Bemessung von Deckwerken

4.1 Hydraulische Bemessung

Die erforderliche Steingröße des Einzelsteins wird in einer hydraulischen Bemessung ermittelt. Es sind nur lose Steinschüttungen zu betrachten, da ordnungsgemäß verklammerte Deckwerke eine ausreichende Stabilität im Steingerüst besitzen.

Wesentliche Eingangsgrößen bei der hydraulischen Bemessung sind die Einwirkungen:

- Heckquerwelle bzw. die Wiederauffüllungsströmung der brechenden Heckquerwelle
- Rückströmung
- Propulsionsströmung der Schiffsantriebe

Die Einwirkungsgrößen und die Bemessungswerte der Wasserbausteine werden nach den „Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlsicherungen an Binnenwasserstraßen GBB“ (BAW (2004)) ermittelt.

Als Bemessungswert für die Wasserbausteine wird die Steingröße D_{50} ermittelt. D_{50} entspricht dem Durchmesser, der von 50 % der Steine des Steinhaufwerks in einer Siebung mit Quadratlochsieben erreicht oder überschritten wird. Auf der Grundlage des Bemessungswertes D_{50} ist eine Steinklasse entsprechend der DIN EN 13383-1 (2002) zu wählen. Hinweise hierzu sind auch bei (Kayser (2005)) enthalten.

4.2 Geotechnische Bemessung

In der geotechnischen Bemessung des Deckwerks wird die erforderliche Deckwerksdicke d_D festgelegt.

Eine wesentliche Einwirkung ist die Porenwasserüberdruckkraft ΔU . Sie wird initiiert durch den Absink des Wasserspiegels im Kanal neben dem Schiff (s. auch Bild 2), der mit z_a [m] bezeichnet wird.

Das Porenwasser im Boden enthält Gas in gelöster Form oder in Bläschen, wodurch das Grundwasser kompressibel wird. Infolge dessen muss es sich bei einem Druckabfall ausdehnen. Ausdehnen kann es sich nur, wenn Wasser durch Porenraum des Bodens strömt. Die Geschwindigkeit der Strömung und damit der Abbau des Porenwasserdrucks ist abhängig von

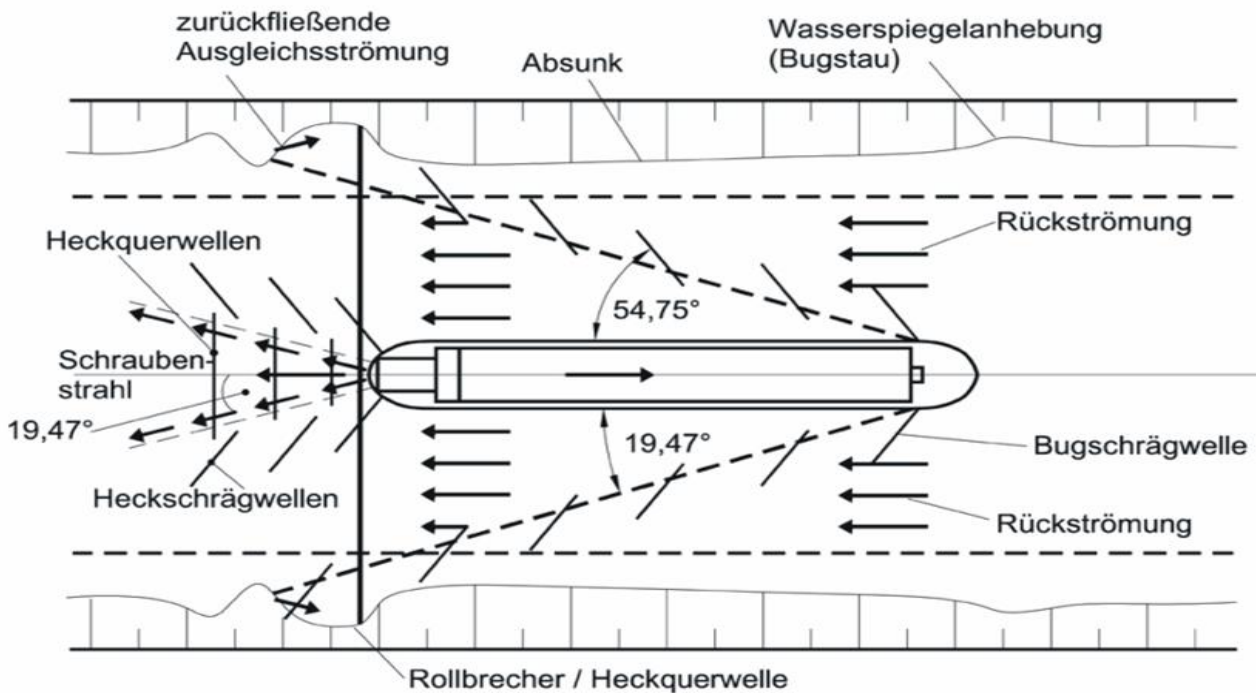


Bild 2: Belastung auf Böschung und Gewässersohle durch die Schifffahrt, (BAW (2004))

der Durchlässigkeit des Bodens (Durchlässigkeitsbeiwert k [m/s]). Besonders bei geringdurchlässigen Böden kann der Druckabbau im Porenwasser nur stark gedämpft erfolgen. Daher entsteht beim Absenk des Kanalwasserspiegels ein Porenwasserüberdruck Δu im Boden.

Dieser berechnet sich nach Formel (1) (Köhler).

$$\Delta u(z) = \gamma_w \cdot z_a \cdot (1 - e^{-bz}) \quad (1)$$

$z =$ Tiefenordinate im Boden
 $b =$ Porenwasserdruckparameter [1/m]
 $z_a =$ Absenkmaß [m]

Der Porenwasserdruckparameter b ist von der Geschwindigkeit des Absenks und der Durchlässigkeit des Bodens abhängig. Genaueres zu der geotechnischen Bemessung der Deckwerke ist in (Holfelder, Kayser (2005)) enthalten. Für die geotechnische Bemessung sind zwei Nachweise zu führen.

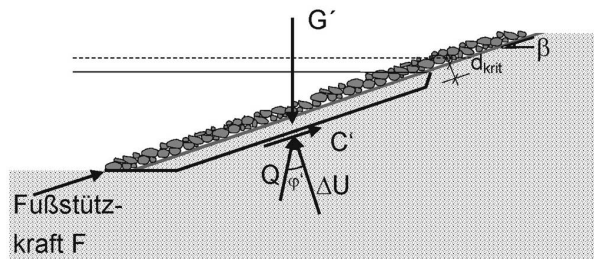


Bild 3: Oberflächennaher Bruchkörper mit angreifenden Kräften

Im ersten Nachweis ist das oberflächennahe Abgleiten der Böschung zu untersuchen. Ein entsprechender Bruchkörper ist in Bild 3 mit den angreifenden Kräften dargestellt. Die Fußstützkraft F resultiert aus einer Einbindung des Deckwerks in die Gewässersohle, die

als Deckwerksverlängerung (Fußeinbindung), als Fußvorlage oder als Fußspundwand ausführbar ist.

Der zweite Nachweis prüft den Auftrieb des Deckwerks. Es ist das Gleichgewicht der Kräfte entsprechend Bild 4 nachzuweisen. Ist keine ausreichende Auftriebssicherheit vorhanden kommt es zu hydrodynamischen Bodenverlagerungen im Boden unterhalb des Deckwerks.

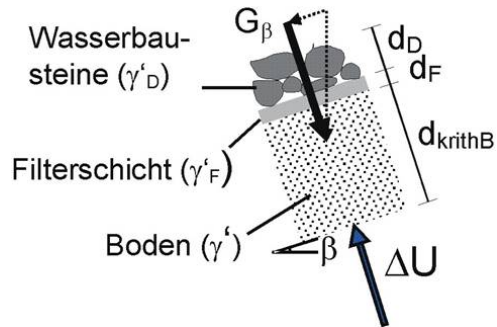


Bild 4: Nachweiskörper für hydrodynamische Bodenverlagerung

Beide Nachweise beziehen sich auf das lokale Versagen des geböschten Kanalufers. Ein lokales Versagen führt nicht zu einer Katastrophe. Schäden können im Rahmen von Unterhaltungsarbeiten nachgearbeitet werden. Daher können die Sicherheiten γ von Einwirkungen und Widerständen zu $\gamma = 1,0$ gesetzt werden.

Für verklammerte Deckwerke ist nur der 2. Nachweis (hydrodynamische Bodenverlagerung) zu führen.

4.3 Vergleich zwischen Bemessung und Praxiserfahrung

Die Ansätze zur Bemessung von Deckwerken basieren auf Naturversuchen und theoretischen Betrachtungen. Für deren Überprüfung wurden Untersuchungen an hergestellten Deckwerken angestellt.

Betrachtet wurde ein Streckenabschnitt am Dortmund-Ems-Kanal. Der Abschnitt wurde bis 1999 auf die europäische Wasserstraßenklasse Vb (Wasserspiegelsbreite $B = 55$ m, Wassertiefe 4,0 m, Böschungsneigung $1:n = 1:3$) ausgebaut. In dem Streckenabschnitt traten bereits kurze Zeit nach Fertigstellung Steinumlagerungen auf, die über das für lose Deckwerke übliche Maß hinausgehen (Bild 5). Die Steine hatten eine Gesteinsdichte $\rho_s = 2,6$ t/m³ und entsprechen der Steinklasse II nach den alten, zum Zeitpunkt der Herstellung gültigen „Technischen Lieferbedingungen für Wasserbausteine TLW“ (BMVBW (1997)). Der zugehörige Siebdurchmesser D_{50} beträgt $D_{50} = 12$ cm. Die Deckwerksdicke d_D betrug $d_D = 50$ cm auf einem Kornfilter der Dicke $d_F = 40$ cm.



Bild 5: Steinumlagerungen am Kanalufer

Für die Ermittlung der Ursachen der erhöhten Steinumlagerungen wurden mittels Druckmessdosen die schiffahrtsinduzierten Wellen gemessen, die auf das Deckwerk einwirken. Gleichzeitig wurden Schiffsposition, Schiffsgeschwindigkeit und Schiffsabmessungen ermittelt. Die Messungen wurden 1 Woche rund um die Uhr durchgeführt.

Die ermittelten und in Bild 6 dargestellten Abmessungen (Länge/Breite/Tiefe) der Schiffe charakterisieren die derzeit auf dem DEK verkehrende Schiffsflotte. Demnach fahren überwiegend Schiffe der Typen „Johan Welker“ und „Gustav Koenigs“ auf dem Kanal. Die Schiffe sind größtenteils voll zwischen 2,2 m und 2,5 m abgeladen, was einer Beladung zwischen 800 und 1250 t entspricht. Übliche Antriebsleistungen für diese Schiffstypen liegen zwischen 300 KW und 600 KW.

Abmessung Güterschiffe

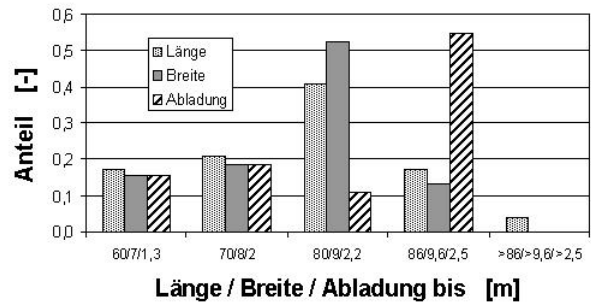


Bild 6: Abmessungen der Schiffe auf dem DEK 2002

Die Messergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

- Es wurden 396 Schiffe erfasst, wovon bei 278 Schiffen Wellen in relevanter Größe gemessen wurden.
- Über 50 % der Schiffe fuhren schneller als schiffspolizeilich zugelassen.
- Die Geschwindigkeit der Schiffe lag im wirtschaftlich optimierten Bereich zwischen 80 % und 100 % der kritischen (hydraulisch maximal möglichen) Schiffsgeschwindigkeit.
- Die maximale Wellenhöhe betrug 65 cm.

Auf der Grundlage der gemessenen Wellenhöhen H und Absenkmaße z_a wurde überprüft, ob das hergestellte Deckwerk einer Bemessung nach GBB (BAW (2004)) entspricht.

Hinsichtlich der geotechnischen Bemessung zeigte sich, dass die Deckwerksdicke $d_D = 50$ cm ausreichend dimensioniert ist.

Die erforderliche Steingröße wurde anhand der Formel (2) aus dem GBB (BAW (2004)) für jedes gemessene Wellenergebnis ermittelt.

$$D_{50} = \frac{H_{Welle}}{1,5 \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \right)^{1/3}} \quad (2)$$

$$D_{50} = \text{charakteristischer Steindurchmesser [m]}$$

$$H_{Welle} = \text{gemessene Wellenhöhe [m]}$$

$$\rho_s, \rho_w = \text{Gesteinsdichte, Wasserdichte [t/m}^3\text{]}$$

$$m = \text{Böschungsneigung}$$

(2)

Bild 7 (folgende Seite) zeigt die Steingrößen, die nach den Berechnungen bei den gemessenen Wellen für ein standsicheres Deckwerk erforderlich wären. Die vorhandene Steingröße liegt bei $D_{50} = 12$ cm.

Die Berechnungen zeigen, dass für 95 % der Wellenergebnisse die gewählte Steingröße $D_{50} \leq 12$ cm ausreichend ist. Für 5 % der Fälle sind jedoch Steingrößen $D_{50} > 12$ cm erforderlich, d.h. bei diesen Ereignissen ist mit Steinumlagerungen zu rechnen. Hochgerechnet auf die 278 beobachteten Schiffe ergibt dies ca. 15 Schiffe pro Woche, die Steinumlagerungen erzeugten. Die Erfahrungen aus dem tatsächlichen Verhalten des Deckwerks (s. Bild 5) zeigen, dass ein solches Maß

nicht toleriert werden sollte. In einer Bemessung nach dem GBB (BAW (2004)) sollte daher die gewählte Steinklasse zu annähernd 100 % die erforderlichen Steingrößen abdecken. Ansonsten ist mit erhöhten Steinumlagerungen zu rechnen.

Messungen und Berechnungen weisen weiterhin den Zusammenhang zwischen erhöhten Steinumlagerungen und den hohen Schiffsgeschwindigkeiten nach.

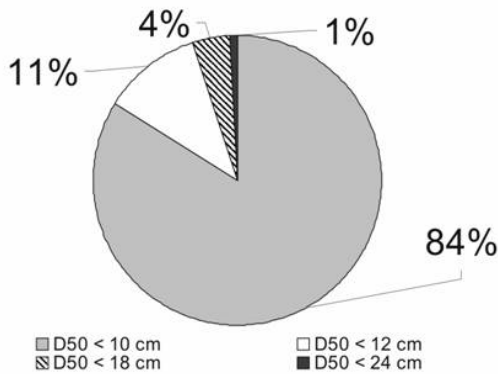


Bild 7: Ergebnis der Steingrößenbemessung

5. Erfahrungen mit hergestellten Deckwerken

5.1 Erfassung von Deckwerken in Deutschland

Das Ziel weiterer Untersuchungen ist es, Daten hinsichtlich der Stabilität und des Unterhaltungsaufwandes von Deckwerken zu gewinnen. Auf dieser Basis können die verschiedenen Bauweisen technisch und wirtschaftlich bewertet und zukunftsweisende Empfehlungen für Deckwerkskonstruktionen gegeben werden.

Der erste Schritt der Untersuchungen war eine Umfrage in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) hinsichtlich des Aufbaus und des Unterhaltungsaufwandes für Deckwerke. Insgesamt wurden 158 Streckenbereich aufgeführt. Die mittlere Streckenlänge betrug ca. 5 km. Insgesamt liegen Angaben über ca. 800 km Wasserstraße vor. Verwertbare Angaben zum Unterhaltungsaufwand gibt es nur von 30 Strecken. Das Ergebnis der Umfrage auf Basis dieser 30 Strecken ist in Bild 8 für die Unterhaltungskosten in Abhängigkeit vom Baujahr dargestellt. Zu beachten ist die relativ dünne Datenlage ($n = 3$) bei den alten Deckwerken.

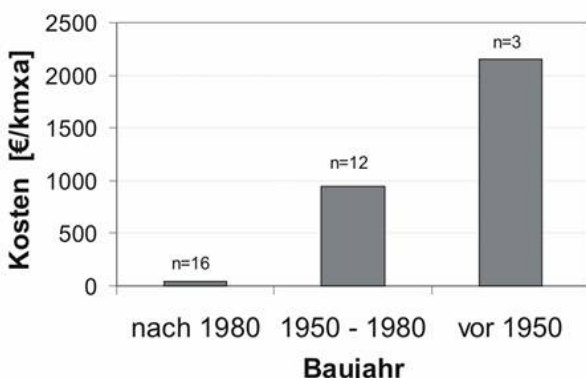


Bild 8: Jährliche Unterhaltungskosten je km Ufer bei losen Deckwerken

Anhand der Kosten konnten 3 Generationen von Deckwerken identifiziert werden. Die älteste Generation

wurde in den Jahren 1890 bis 1930 gebaut. Der Aufwand zur Unterhaltung dieser Deckwerke ist relativ hoch. Die 2. Generation entstand in der Ausbauphase nach dem 2. Weltkrieg i.W. zwischen 1950 und 1970. Der Unterhaltungsaufwand für diese Deckwerke beträgt ca. 1000 € je Ufer-km und Jahr, das entspricht ca. 0,07 [€/a m²] Deckwerk. Die 3. Generation sind die bis zu 25 Jahre alten Deckwerke, die im Zuge des Ausbaus auf die Wasserstraßenklasse Vb erstellt wurden. Diese erfordern bis jetzt kaum Unterhaltung.

Aus den in der Umfrage angegebenen Strecken wurden 12 Referenzstrecken für weitergehende Untersuchungen ausgewählt. Die Untersuchungen beinhalten:

- Ermittlung des Deckwerksaufbaus (Geometrien, Steingröße und -dichte)
- Messung der auf das Deckwerk wirkenden Wellen mittels Druckmessdosen über 2 Wochen
- Erfassung des Schiffsverkehrs (Anzahl, Flottenstruktur) zeitgleich mit den Wellenmessungen
- Erfassung des Unterhaltungsaufwandes in den Referenzstrecken in Jahresabschnitten.

Die Auswahl der Strecken erfolgte nach deren Belastung. Bei „ausgelasteten“ Strecken entspricht die zulässige Schiffsgröße dem Kanalquerschnitt. Das ist z. B. das Großmotorschiff in der Wasserstraßenklasse Vb mit einem Verhältnis von Wasserquerschnitt zu Schiffsquerschnitt $n = 5,5$. In „überlasteten“ Strecken sind größere Schiffe zugelassen als es dem Ausbauquerschnitt entspricht ($n < 5$). Dies sind Strecken, die in absehbarer Zeit ausgebaut werden und derzeit „auf Verschleiß“ gefahren werden. „Unterbelastete“ Strecken sind zwar schon auf größere Schiffe ausgebaut, aufgrund des noch fehlenden Ausbaus der Anschlußstrecken können hier jedoch die größeren Schiffe noch nicht fahren ($n > 7$).

Die ersten 2 Strecken wurden bereits untersucht. Die Ergebnisse werden nachfolgend aufgeführt.

5.2 Untersuchungen am Mittellandkanal

Untersucht wurde ein 5 km langer Abschnitt des Mittellandkanals. Der Kanal ist auf die Wasserstraßenklasse Vb ausgebaut. Die derzeitige zulässige Abladetiefe von 2,5 m nutzt die eigentlich mögliche Abladetiefe von 2,8 m noch nicht aus. Der Kanalabschnitt ist demnach unterbelastet.

Es wurden 3 verschiedene Deckwerke eingebaut:

1. Lose Wasserbausteine Kl. III, Steindichte: 2,3 t/m³, Schichtdicke: 60 cm; Geotextilfilter oder Zweistufen- oder Einstufenmineralkornfilter
2. Teilvergossene Wasserbausteine Kl. II, Steindichte: 2,3 t/m³, Schichtdicke: 40 cm; geotextiler Filter, Teilverguss mit 80 l/m² kolloidalem Mörtel
3. Vollvergossene Wasserbausteine Kl. II, Steindichte: 2,3 t/m³, Schichtdicke: 40 cm

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Das Deckwerk 1 mit losen Schüttsteinen hält den Belastungen gut stand. Vereinzelt kommt es zu Steinumlagerungen, die jedoch nicht über das für lose Deck-

werke übliche Maß hinausgehen. Wesentliche Unterhaltungsarbeiten sind hier nicht erforderlich.

Beim teilverklammerten Deckwerk 2 zeigt sich eine gute Qualität beim Einbau über Wasser. Allerdings waren unterhalb der Wasserlinie Fehlstellen im Deckwerk erkennbar, die wahrscheinlich auf Fehler bei der Herstellung zurückzuführen sind. Gleiches gilt für das vollvergossene Deckwerk 3. Auch hier lösten sich Steine aus dem nicht qualitätsgerecht hergestellten Verbund heraus. Die erforderliche Dichtungswirkung des Vollvergusses ist nicht mehr gegeben.

Beide verklammerten Deckwerke zeigen die Bedeutung einer qualitätsgerechten und sorgfältigen Ausführung von Verklammerungsarbeiten. Von anderen Stellen ist die langjährige Stabilität teilverklammerter Deckwerke bekannt.

Genauere Angaben zu den Untersuchungen am Mittelkanal enthält (Fleischer et al. (2003)).

5.3 Untersuchungen am Main-Donau-Kanal

Die untersuchte Strecke am Main-Donau-Kanal ist entsprechend der Wasserstraßenklasse Vb ausgebaut. Die Wasserspiegelbreite beträgt 55 m, die Böschungsneigung 1:n = 1:3. Abweichend von der üblichen Wassertiefe von ca. 4 m liegt die Sohle im Untersuchungsbereich ca. 6 m unter Normalstau. Über den vergrößerten Querschnitt sind auch Hochwässer der im Kanalbett verlaufenden Regnitz abführbar. Die Strömungsgeschwindigkeit bei Hochwasser ist jedoch relativ gering, so dass Hochwasserereignisse keinen Einfluss auf das Deckwerk haben. Die zulässigen Schiffsgrößen entsprechend dem Großmotorschiff bzw. dem 190 m langen Schubverband mit einer Abladetiefe von 2,7 m.

Der Kanalabschnitt und damit auch das Deckwerk wurde 1966 fertig gestellt. In vollem Umfang wird die Strecke allerdings seit der Eröffnung des gesamten Main-Donau-Kanals im Jahr 1992 befahren.

Das Deckwerk besteht aus einer 55 bis 60 cm dicken Schicht von losen Deckwerkssteinen. Nach den bis Mai 2004 gültigen Technischen Lieferbedingungen für Wasserbausteine (BMVBW (1997)) entsprechen die Steine einer Klasse IV, wobei sie am unteren Ende des Klassenspektrums liegen. Die Rohdichten liegen im Mittel bei $\rho_s = 2,3 \text{ t/m}^3$. Nach der DIN EN 13383 (2002) sind die Steine der Klasse LMB_{5/40} zuzuordnen. Unter den Deckwerk liegt eine wenige cm mächtige Filterschicht aus Schotter in Kieskorngroße.

Insgesamt wurden innerhalb von 14 Tagen 272 Schiffspassagen erfasst. Die Schiffsflotte setzt sich zu jeweils ca. 1/3 aus Großmotorschiffen, Europaschiffen und Schiffen der Klasse "Gusatav-Königs" zusammen. Ungefähr ¼ war Leerfahrer, der Rest der Schiffe war teilweise oder voll abgeladen.

In Bild 9 sind die gemessenen Wellenereignisse dargestellt. Die Wellen sind relativ flach, nur 2 % der Schiffe erzeugten Wellen mit über 50 cm Höhe.

Derzeit läuft noch die Erfassung der Unterhaltungskosten in der Strecke. Eine vorläufige Auswertung ergibt einen Aufwand von ca. 370 € pro Jahr und Ufer-km, was einem Betrag von ca. 0,02 [€/a·m²] entspricht. Dieser Wert ist sehr gering für ein fast 40 Jahre altes Deckwerk. Dies liegt zum einen in der geringen Wellen-

belastung und zum anderen in den großen Steinen begründet.

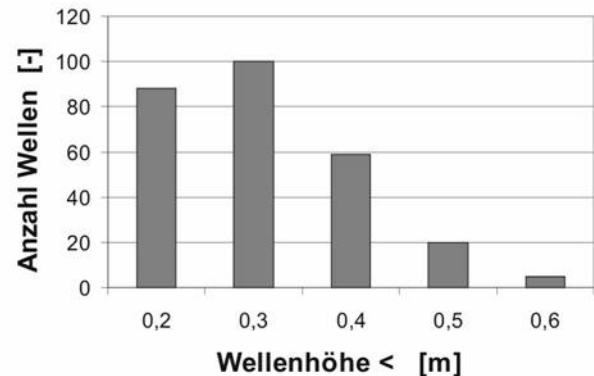


Bild 9: Häufigkeit der Wellen nach Wellenhöhe

5.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Die Bewertung der Bauweise für eine Ufersicherung muss auch die Wirtschaftlichkeit beinhalten. Diese wird im Bereich der Wasserstraße in Deutschland i.d.R. mit der Barwertmethode ermittelt. Hierbei werden alle Kosten für ein Deckwerk (Erstellungskosten I, Unterhaltungskosten h) über die Lebensdauer von n Jahren mit einem kalkulatorischen Zinssatz i (im deutschen öffentlichen Bereich derzeit i = 3 %) auf den Barwert C zum Zeitpunkt der Investitionsentscheidung abgezinst. Bezugsgröße ist i.d.R. 1 m² Deckwerk. Die Berechnung erfolgt nach Formel (3) (Fleischer et al. (2003)).

$$C = I + h \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (3)$$

Die Lebensdauer n und der Unterhaltungsaufwand h sind von den Einwirkungen auf das Deckwerk und somit vom Betrieb der Wasserstraße abhängig. Den größeren Einfluss auf den Barwert hat hierbei der Unterhaltungsaufwand.

Nach den bisherigen Untersuchungen und Erfahrungen kann für Deckwerke aus losen Steinen von einem Unterhaltungsaufwand zwischen 0,02 und 0,11 [€/a m²] ausgegangen werden. Der niedrigere Wert gilt bei ausreichender Bemessung des Deckwerks, der höhere Wert für alte, stark belastete Deckwerke. Als Mittelwert für neu hergestellte Deckwerke wird der Ansatz eines Unterhaltungsaufwandes von 0,04 [€/a m²] als Mittelwert über die gesamte Lebensdauer von 25 bis 40 Jahren vorgeschlagen.

Verklammerte Deckwerke haben höhere Investitionskosten, sind aber bei ordnungsgemäßer Ausführung i.d.R. langlebiger und unterhaltungsärmer als Deckwerke mit losen Steinen. Bei Ausführungsmängeln sind verklammerte Deckwerken allerdings unwirtschaftlich, da die Unterhaltung i.d.R. dann sehr aufwendig wird.

6. Schlussfolgerungen

Die Auswahl eines Deckwerkes zur Ufersicherung hat unter den Gesichtspunkten der langfristigen Stabilität und der Wirtschaftlichkeit zu erfolgen.

Die langfristige Stabilität wird durch eine Bemessung nach den GBB (BAW (2004)) sichergestellt. Hierbei sind hydraulische Nachweise für den Einzelstein und geotechnische Nachweise für das Zusammenwirken von Deckwerk und unterliegendem Boden zu führen. Die in der Bemessung ermittelte Steingröße D_{50} bzw. das Steingewicht G_{50} muss von der gewählten Steinklasse vollständig abgedeckt werden, ansonsten ist bereits nach relativ kurzer Zeit mit Steinumlagerungen zu rechnen.

Vorläufige Erfahrungswerte zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Deckwerkskonstruktionen wurden in dem vorliegenden Beitrag genannt. Genauere Aussagen erfordern jedoch eine verbesserte Datengrundlage. Diese wird derzeit in einem Forschungsvorhaben geschaffen.

Literatur

BMVBW (1997): Technische Lieferbedingungen Wasserbausteine, TLW 97

BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU - BAW (2004): "Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen GBB", *Mitteilung Nr. 87*, Karlsruhe

DIN EN 13383 (2002), TEIL 1: Anforderungen Wasserbausteine

FLEISCHER, KAYSER, THYßEN (2003): Erfahrungen mit Deckwerken an Bundeswasserstraßen, *Hansa, Heft 12*

HOLFELDER, KAYSER (2005): Berücksichtigung von Porenwasserüberdrücken bei der Bemessung von Deckwerken an Wasserstraßen, *Mitteilung Institut für Geotechnik der TU Dresden zum Ohde Kolloquium 2005*

KAYSER (2005): Zur Handhabung der neuen Norm DIN EN 13383 für Wasserbausteine und deren Umsetzung in einer Steinbemessung, Briefe der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe

KÖHLER (1989): Messung von Porenwasserüberdrücken im Untergrund, *Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 66*, S. 155 - 174, Karlsruhe

Verfasser

Dipl.-Ing. Petra Fleischer
Referat Erdbau und Uferschutz
Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
Kussmaulstrasse 17, 76187 Karlsruhe
Tel.: 0721 9726 – 3570
E-Mail: petra.fleischer@baw.de

Dr.-Ing. Jan Kayser
Referat Erdbau und Uferschutz
Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
Kussmaulstrasse 17, 76187 Karlsruhe
Tel.: 0721 9726 – 3100
E-Mail: jan.kayser@baw.de