

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Article, Published Version

**Lattermann, Eberhard**

## **Böschungs- und Sohlbelastung an Wasserstraßen durch Schiffahrtsbetrieb**

Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schiffahrt, Wasser- und Grundbau; Schriftenreihe Binnenschiffahrt

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/105632>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Lattermann, Eberhard (1989): Böschungs- und Sohlbelastung an Wasserstraßen durch Schiffahrtsbetrieb. In: Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schiffahrt, Wasser- und Grundbau; Schriftenreihe Binnenschiffahrt 4. Berlin: Forschungsanstalt für Schiffahrt, Wasser- und Grundbau. S. 117-124.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

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

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



## Böschungs- und Sohlbelastung an Wasserstraßen durch Schiffahrtsbetrieb

Dr. sc. techn. E. Lattermann  
Technische Universität Dresden

Bei der Fahrt eines Schiffes im begrenzten Fahrwasser entstehen die bekannten Belastungen an Böschung und Sohle: Wasserspiegeländerung, Rückstromgeschwindigkeit, Propellerstrahl als ständige Belastung, Eisbewegung, Ankerwurf und Kollision mit dem Ufer oder der Sohle als zusätzliche Belastungen. Für diese besonderen Lasten wird weder die Sohl- noch die Böschungsbefestigung bemessen. Man nimmt dafür Ausbesserungsarbeiten in Kauf.

Der Rückstrom und der Propellerstrahl belasten die Sohle und die Böschungen in bekannter Weise. Zahlreiche Untersuchungen sind dazu bekannt. Der Vortrag wird nicht diesem Problemkreis gewidmet. Somit ist das Thema eingegrenzt auf die Belastung der Böschung aus der Wasserspiegelabsenkung und die für die Bemessung der Böschungsbefestigung sich ergebenden Größen. Aus der Vielzahl möglicher Böschungsbefestigungen wird das Deckwerk aus Betonplatten hier als Beispiel ausgewählt.

Bei der Fahrt eines Schiffes im Kanal verhält sich der Außenwasserspiegel etwa so, wie in Bild 1 gezeigt.

Kritisch für die Böschungsbefestigung ist die schnelle Wasserspiegelabsenkung nach der kleinen Bugwelle.

Ein Deckwerk aus Beton wird bei dieser schnellen Wasserspiegelabsenkung durch einen Innenwasserüberdruck belastet, der seine Standsicherheit gefährdet. Zahlreiche Schadensfälle unterstreichen diese Feststellung.

Bild 2 zeigt die Belastungssituation, wobei statt der Spundwand auch eine horizontale Fußsicherung oder ein Fuß aus Beton angeordnet werden kann.

Im Bereich Wasserbau und Technische Hydromechanik der Technischen Universität Dresden wurde ein Berechnungsverfahren entwickelt, das die Ermittlung des Innenwasserüberdruckes bei sinkendem Außenwasserspiegel ermöglicht. Für die schnelle

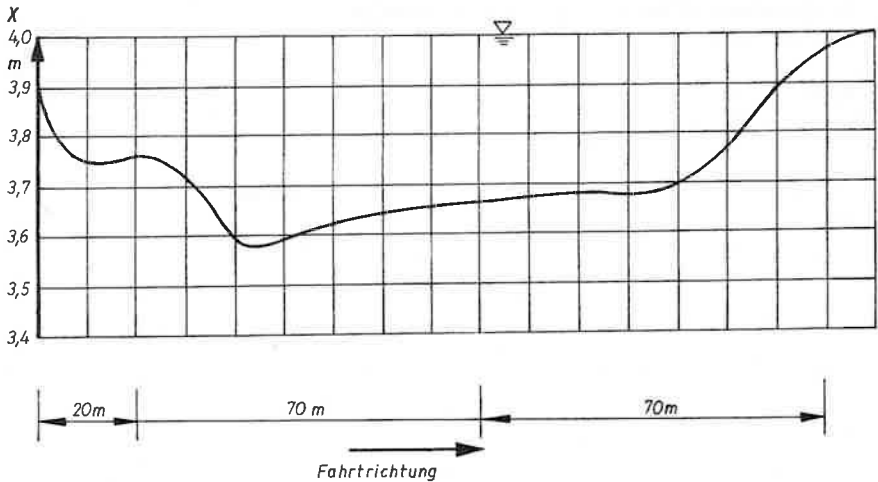


Bild 1 Wasserspiegelverlauf bei der Fahrt eines Schubverbandes mit 2,5 m Tiefgang durch einen Kanal mit Trapezquerschnitt, Wasserstraßenklasse IV, Geschwindigkeit  $v = 3$  m/s

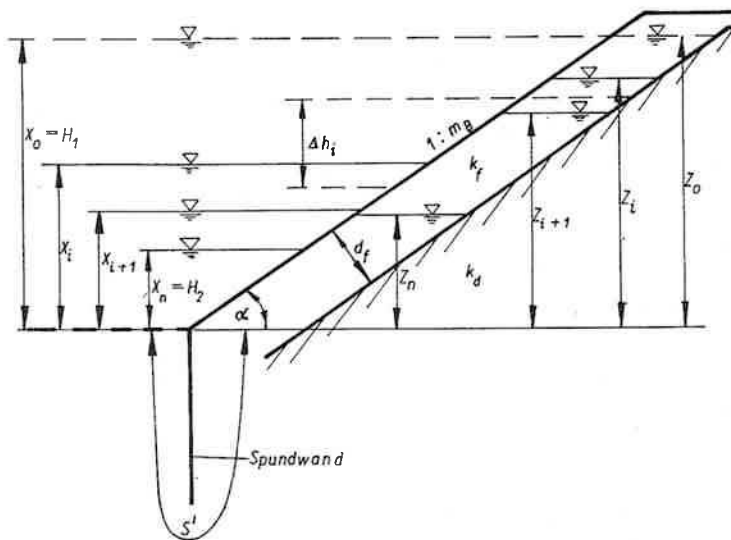


Bild 2 Belastung eines dichten Deckwerkes (z. B. aus Beton) durch Wasserspiegelabsenkung bei Schiffsdurchfahrt

Absenkung des Wasserspiegels bei Schiffsdurchfahrt muß mit vollem hydrostatischem Überdruck gerechnet werden. Für das Beispiel in Bild 1 sind das 41 cm.

Bekannt ist auch, daß die hydrostatischen Belastungen durch hydrodynamische überlagert werden; besonders bei schnell fahrenden Schiffen laufen die Wasserspiegelabsenkungen sehr turbulent ab. Qualitativ bereits bekannt, ergeben sich Druckpulsationen am Deckwerk aus Beton, die bisher bei Bemessungen nicht beachtet wurden, da sie quantitativ nicht zu ermitteln waren. Doch nun liegen Meßergebnisse aus der BRD vor, die kurz erläutert werden sollen. Mit empfindlichen Meßgebern - elektromagnetischen Sonden - wurden schnelle Druck- und Geschwindigkeitsänderungen festgestellt. Aus diesen Turbulenzmessungen ergaben sich Rückstrombeschleunigungen, deren mittlere Werte annähernd proportional mit  $\bar{v}_x$ , der mittleren Rückstromgeschwindigkeit in Kanallängsrichtung, zunehmen.

$$\frac{d \bar{v}_x}{dt} = \frac{d \bar{v}_y}{dt} = 1,5 \cdot \bar{v}_x \quad (1)$$

Werte bis 3 m/s<sup>2</sup> wurden registriert.  $\bar{v}_y$  ist die böschungsparallele Komponente der mittleren Rückstromgeschwindigkeit. Die gemessenen Druckpulsationen  $\Delta p$  sind abhängig von  $z_A$ , der Größe des Absunks, und somit auch von  $\bar{v}_x$ , der Rückstromgeschwindigkeit.

Das in Bild 3 gezeigte Diagramm zur Vorbemessung von Dichtungen und Deckwerken in Schiffahrtskanälen berücksichtigt diese Erkenntnis. Im oberen Teil werden die bereits bekannten Zusammenhänge zwischen Schiffs- und Stauwellengeschwindigkeit ( $v_{Sch}$  bzw.  $c_0$ ),  $\bar{v}_x$  und  $z_A$  ermittelt. Im unteren Teil lassen sich links aus der ermittelten Rückstromgeschwindigkeit  $\bar{v}_x$  und der für das Kanalprofil bekannten Stauwellengeschwindigkeit  $c_0$  die Druckpulsationen  $\Delta p$  in ihrer Größenordnung bestimmen. Die aus dem Absunk resultierenden Werte sind rechts abzulesen, wobei die mittlere Kanaltiefe  $\bar{T}$  als Parameter zu verwenden ist. Für die Bemessung eines dichten Deckwerkes sollte der größere  $\Delta p$ -Wert eingesetzt werden.

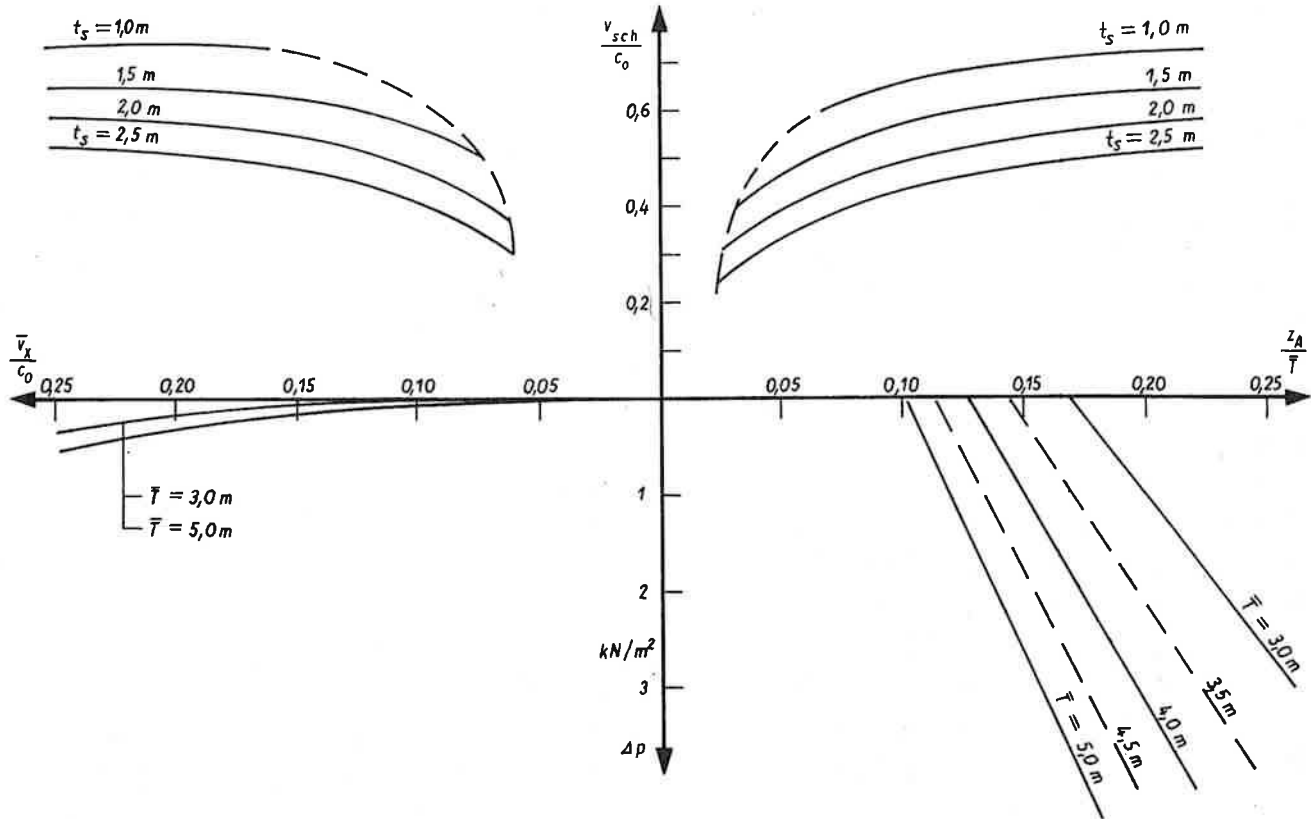


Bild 3 Diagramm zur Bemessung von Dichtungen und Deckwerken in Schifffahrtskanälen

Das wird meist der im rechten Teil abzulesende Wert sein, der auch bei den Naturmessungen festgestellt wurde.

Der  $\Delta p$ -Wert aus dem linken Teil kann vor allem dann größer werden, wenn im Kanal vorhandene Strömungen sich mit den Rückstromgeschwindigkeiten überlagern. Der maßgebliche

$\Delta p$ -Wert ist zur bereits ermittelten Belastung, vor allem aus dem Absink  $z_A$ , hinzuzuzählen und als statische Belastung mit anzusetzen.

Das vergrößert den Innenwasserüberdruck so, daß ein dichtes Deckwerk Schaden nimmt oder unwirtschaftliche Dicken haben müßte, um standsicher zu bleiben.

Als konstruktiver Ausweg können aber auch zwei andere Möglichkeiten vorgeschlagen werden. Zunächst soll die Anordnung einer Entlastungsöffnung untersucht werden. Bild 4 zeigt diese Möglichkeit in allgemeiner Form.

Wendet man das Berechnungsverfahren für die Innenwasserüberdrücke auf eine Entlastungsebene an, dann ergeben sich für das Beispiel in Bild 1 gegenüber den ermittelten 41 cm Überdruckhöhe, die ein Deckwerk ohne Entlastungsöffnung aufnehmen müßte, folgende Abminderungen:

$$\Delta h = 40 \text{ cm bei } e = 2,00 \text{ m;}$$

$$\Delta h = 33 \text{ cm bei } e = 3,58 \text{ m;}$$

$$\Delta h = 27 \text{ cm bei } e = 3,86 \text{ m (Minimum).}$$

Die größte erreichbare Abminderung beträgt also ein Drittel gegenüber dem Ausgangswert. Interessant ist auch, daß eine Entlastung am Böschungsfuß oder in halber Höhe fast unwirksam ist.

Als zweiter Ausweg soll die Möglichkeit vorgestellt werden, im oberen Böschungsteil Wabenplatten aus Beton als Deckwerk einzusetzen. Es ist nicht bekannt, ob schon einmal für eine mit Wabenplatten befestigte Böschung der Innenwasserüberdruck berechnet wurde. Vielmehr ist die Meinung sehr verbreitet, daß die Durchlässigkeit der splitt- oder schotterverfüllten Waben ausreicht, keinen Überdruck entstehen zu lassen. Daß dieser Gedanke falsch ist, geht aus der einfachen Überlegung hervor, daß nur ein Überdruck zum Durch-

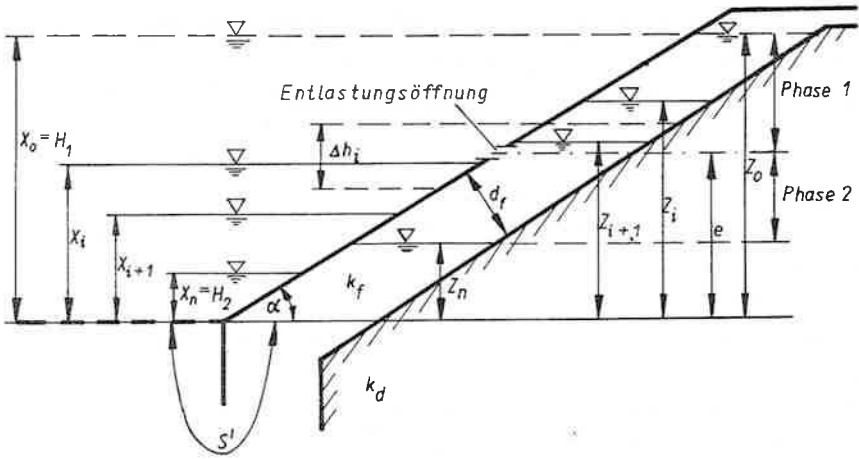


Bild 4 Deckwerk mit Entlastungsöffnung

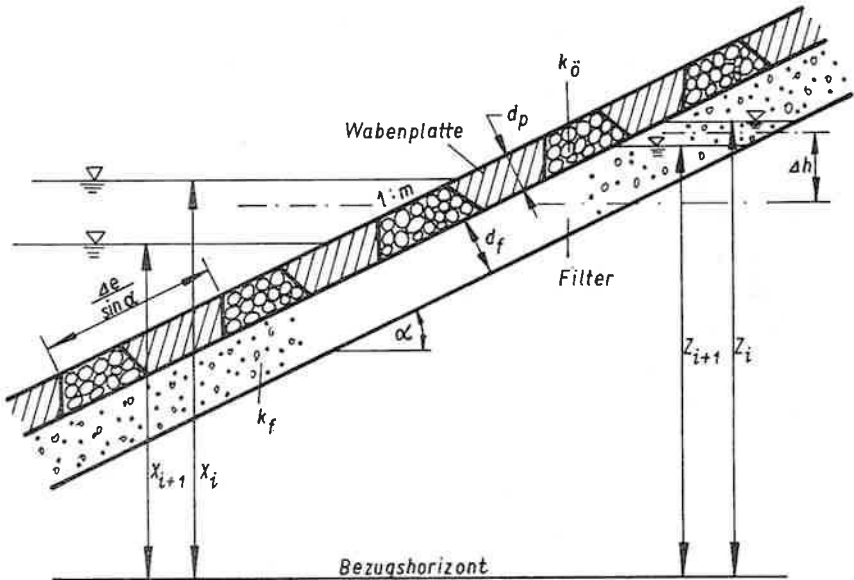


Bild 5 Detail einer Wabenplatte als Böschungsbefestigung

sickern der Waben führen kann. Zur Berechnung dieses Überdruckes soll hier ein neu entwickeltes Berechnungsverfahren vorgestellt werden.

Mit den Bezeichnungen in Bild 5 kann das Filtergesetz von DARCI in folgender Form geschrieben werden:

$$\frac{Z_i - Z_{i+1}}{t} = k_{\ddot{o}} \cdot \frac{\frac{Z_i + Z_{i+1}}{2} \cdot \frac{X_i + X_{i+1}}{2}}{L} \quad (2)$$

Multipliziert man diese Fließgeschwindigkeit mit den zugehörigen Flächen (Fließfläche im Filter bzw. durch die Waben), so setzt man die im Filter abfließende Wassermenge der durch die Waben ins Außenwasser hindurchtretenden gleich. Das beschreibt Gleichung (3).

$$\frac{Z_i - Z_{i+1}}{t} \cdot n_s \cdot \frac{d_f}{\sin} \cdot 100 = n_1 L'_w \cdot 100 \cdot k_{\ddot{o}} \cdot \frac{\frac{1}{2}(Z_i + Z_{i+1} - X_i - X_{i+1})}{L} \quad (3)$$

Es bedeuten:

- $n_s$  - der mit Wasser gefüllte Porenraum im Filter
- $\Delta t$  in [s] - kann beliebig gewählt werden
- $n_1$  - Anteil der Wabenfläche an der Gesamtoberfläche der Wabenplatte
- $L'_w$  in [cm] - Wabenplattenlänge unterhalb des Außenwasserspiegels
- $k_{\ddot{o}}$  in [cm/s] - Durchlässigkeit des Materials, mit dem die Waben verfüllt sind

Für die Sickerweglänge  $\Delta L$  in [cm] im Filter und durch die Waben muß eine Annahme getroffen werden, da sich diese Länge ständig ändert und nur schwierig zu erfassen ist.

Der Innenwasserüberdruckhöhe  $\Delta h$  (vgl. Bild 5) sind alle unter Wasser befindlichen Wabenreihen ausgesetzt. Die Entlastung wird nach unten geringer. Die jeweils drei oberen Wabenreihen werden als durchströmt angesehen. Der Anteil des durch weiter unten liegende Wabenreihen strömenden Wassers wird ausgeglichen, da die jeweils obere Reihe stärker durchströmt ist und beim Nachlassen der Druckhöhe durch eine nach



unten folgende Reihe abgelöst wird. Damit schwankt  $\Delta L$  von etwa  $0,5 \cdot L'_w$  am Anfang auf  $1,5 L'_w$  am Ende einer Absenkung; es wird deshalb  $\Delta L = L'_w$  angenommen. Mit dieser Annahme und der Zusammenfassung konstanter Werte zu

$$C = \frac{k_{\ddot{o}} \cdot \sin \alpha \cdot n_1}{n_s} \quad \text{bzw.} \quad C = \frac{k_f \cdot \sin \alpha}{n_s} \quad (4)$$

entsteht aus Gleichung (3) nach einfacher Umformung:

$$Z_{i+1} = \frac{\left( Z_i \frac{2 d_f}{t} - C \right) + C (X_i + X_{i+1})}{C + \frac{2 d_f}{t}} \quad (5)$$

Welcher Wert für  $C$  in Gleichung (5) einzusetzen ist, ergibt sich aus dem Vergleich. Ist  $n_1 \cdot k_{\ddot{o}} > k_f$ , dann ist  $k_f$  in Gleichung (4) einzusetzen, d. h., daß durch die Waben mehr abgeführt werden könnte als im Filter nachströmt. Andernfalls sind die Waben die Engstelle.

Wendet man in dem o. g. Kanal bei der Belastung durch den Schubverband Wabenplatten mit  $n_1 \cdot k_{\ddot{o}} = 1 \text{ cm/s}$  an, so wird  $\Delta h$  auf 23 cm abgemindert. Das sind 56 % von  $\Delta h$  beim dichten Deckenwerk.

Wie das durchgerechnete Beispiel zeigt, kann beim Einsatz von Wabenplatten der Innenwasserüberdruck bedeutend abgemindert werden, keinesfalls aber auf 0, was öfters angenommen wurde. Die dynamischen Belastungen, in Bild 3 näher vorgestellt, sind hier klein und noch nicht berücksichtigt. Sie steigen aber schnell an, wenn die Schiffsgeschwindigkeit erhöht wird.

### Zusammenfassung

Die Belastung von Sohlen und vor allem Böschungen von Schiffahrtskanälen wird oft nicht in ausreichender Größe angesetzt. Neue Erkenntnisse ermöglichen aber auch hier ein sicheres Bemessen. Schadensfälle traten oft bei Deckwerken aus Beton auf. Für dichte Deckwerke liegen jetzt fundierte Bemessungsgrundlagen vor. Im vorliegenden Beitrag sind sie für Wabenplatten erweitert worden.