

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Lutz, Matthias; Kiesel, Annika

Workshop „Randbedingungen für den Erhalt von Wehrsohlen bei der Instandsetzung bestehender Wehranlagen“

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/106721>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Lutz, Matthias; Kiesel, Annika (2019): Workshop „Randbedingungen für den Erhalt von Wehrsohlen bei der Instandsetzung bestehender Wehranlagen“. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Erhaltung von Wehranlagen. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 9-15.

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.



Workshop „Randbedingungen für den Erhalt von Wehrsohlen bei der Instandsetzung bestehender Wehranlagen“

Dipl.-Ing. Matthias Lutz, Annika Kiesel, M. Sc. (Bundesanstalt für Wasserbau)

1. Veranlassung

Angesichts einer alternden Infrastruktur in Deutschland ist in den letzten Jahren ein verstärkter Handlungsbedarf bei der Sicherstellung des Betriebs von Wehranlagen in den Fokus der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung gerückt. Da in der Vergangenheit beim Ausbau der Wasserstraßen oftmals ganze Wehrgruppen im selben Zeitraum gebaut wurden, müssen mitunter die Erhaltungs- oder Neubaumaßnahmen für eine größere Anzahl von Wehranlagen parallel geplant werden. Abhängig vom Erhaltungszustand und der Funktionalität der Anlage sowie der Notwendigkeit, die Wehre ggf. mit neuen, moderneren Verschlusssystemen auszustatten, sind vor dem Hintergrund der personellen und finanziellen Ressourcen verschiedene Erneuerungskonzepte abzuwägen. Der Beitrag geht in diesem Zusammenhang auf den möglichen Erhalt der Wehrsohle im Rahmen einer Erneuerungsmaßnahme ein.

Im Falle eines Wehrneubaus bestehen die geringsten Einschränkungen für geplante Neuerungen. Der Verschlusstyp und das hydraulische System können optimiert, standardisierte Anlagenteile verwendet und eine Fernsteuerbarkeit des Wehrbetriebs bei reduziertem Wartungsaufwand umgesetzt werden. Dafür müssen ausreichend Baufläche sowie Vorlauf für eine unter Umständen zeitintensive Planfeststellung vorhanden sein. Die Frage nach dem Erhalt der Sohle stellt sich hier nicht.

Bei entsprechendem Erhaltungszustand und Materialmerkmalen des Massivbaus kann eine zeit- und ressourcenschonende Instandsetzung in Erwägung gezogen werden, bei der der oft über Jahrzehnte zuverlässig funktionierende Verschlusstyp und die wesentlichen Kraftverhältnisse und Tragsysteme beibehalten werden. Die erforderlichen Teilsicherheitsbeiwerte können dann gemäß der Regelwerke für bestehende Bauwerke angepasst und zusätzlich die Beanspruchungen reduziert werden, z. B. die Einwirkung Grundwasser durch Entlastungsbohrungen.

Eine Instandsetzung kann auch bei begrenzter personeller Kapazität erfolgen, wenn dringender Handlungsbedarf an mehreren Anlagen gleichzeitig besteht. Sie gewährleistet einen sicheren Betrieb der Bestandsanlagen für die nächsten Jahrzehnte bis zur Fertigstellung eines später zu realisierenden, deutlich zeitaufwändigeren Ersatzneubaus.

Als dritte Möglichkeit ergibt sich eine Grundinstandsetzung als Alternative zum Neubau. Auch Grundinstandsetzungen werden vermehrt dazu genutzt, die alten Verschlusssysteme durch solche zu ersetzen, die Bedienung und Wartung vereinfachen oder einen ferngesteuerten Betrieb der Anlage erlauben. Solche Systemwechsel führen zu umfangreichen Eingriffen in den Bestand, da eine Erneuerung des Verschlusssystems meist Auswirkungen auf die hydraulischen Zustände und die Kräfteverhältnisse bis in den Baugrund bewirkt.

Für die beiden letztgenannten Möglichkeiten ist neben den weithin sichtbaren Anlagenteilen wie Wehrpfeilern und Wehrverschlüssen auch die dauerhaft im Wasser liegende Wehrsohle zu untersuchen. Im Rahmen der Instandsetzung oder Grundinstandsetzung muss gewährleistet werden, dass die Wehrsohle ihre Aufgaben unter den gegebenenfalls geänderten Randbedingungen dauerhaft und zuverlässig und unter Einhaltung der geforderten Sicherheiten aktuell gültiger Regelwerke erfüllen kann.

Im Rahmen der geplanten Instandsetzung der fünf vordringlichen Mainwehre wurden bereits Untersuchungen zum Erhalt der Sohlen durch die BAW durchgeführt. Ein **BAWorkshop** erarbeitet aktuell eine Zusammenstellung grundsätzlicher technischer Kriterien, die eine Hilfestellung zur Bewertung der Wehrsohlen und damit zur Lösungsfindung bei der Suche nach einer optimierten Maßnahme zur Sicherstellung eines langfristigen Betriebs der Anlagen bilden. Der Beitrag skizziert den Stand der Untersuchungen sowie wesentliche Punkte, die im Rahmen einer Planung aus bautechnischer Sicht sowie unter Beachtung hydraulischer und geotechnischer Belange zu berücksichtigen sind.

2. Anwendungsbereich und Normengrundlage

Die Überlegungen beschränken sich auf Wehranlagen mit beweglichen Verschlüssen und hier auf Verschlusstypen, bei denen der Abtrag der horizontalen Wasserlasten vornehmlich über die Wehrpfeiler erfolgt. Liniengelagerte Systeme, bei denen die Wasserdrucklasten von der Sohle aufgenommen und weitergeleitet werden müssen, erfordern vertiefte Untersuchungen und werden hier nicht betrachtet.

Die maßgebliche Normengrundlage bilden das für den Neubau geltende Regelwerk der Eurocodes sowie die Instandsetzungsrichtlinien, insbesondere die ZTV-W 219 und das **BAW** Merkblatt „Bewertung der Tragfähigkeit bestehender, massiver Wasserbauwerke (TbW)“ (BAW, 2016).

3. Aufgaben und Besonderheiten von Wehrsohlen

Die Wehrsohle umfasst den Vorboden, die eigentliche Betonschwelle sowie das Tosbecken und nimmt unterschiedliche Aufgaben und Funktionen wahr (Bild 1, DIN 4048). Dazu gehören insbesondere:

- **Sohlsicherung:** Die Wehrsohle sichert das ober- und unterwasserseitige Gewässerbett und den anstehenden Baugrund und verhindert somit Kolkbildung.
- **Abdichtung:** Die Sohle nimmt ein einbetoniertes Sohlprofil auf, das die Abdichtung der Verschlüsse gewährleistet und deren Unterströmung verhindert. Im Revisionsfall dient die Sohle der Abdichtung gegen den anstehenden Grundwasserdruck.
- **Energieumwandlung:** Im Tosbecken erfolgt die Energieumwandlung. Die Sohle wird hier durch starke Strömungskräfte und Geschiebe beansprucht. Sie muss eine ausreichend hohe Beständigkeit gegen Hydroabrasion aufweisen, die hydraulische Wirksamkeit der Wehranlage sicherstellen und den Anforderungen der Hochwasserabfuhr genügen.

- Lastabtrag: Im Revisionsfall wird die horizontale Staukraft meist von der Wehrsohle abgetragen. Die Verankerungskräfte müssen durch Stahlbauteile aufgenommen werden. Gleitsicherheit und Sicherheit gegen Aufschwimmen sowie die Nachweise der Normalkraft, Biege- und Querkraftbeanspruchungen müssen nachgewiesen werden.
- Lagesicherung: Mitunter dient die Sohle der horizontalen Lagesicherung der Wehrpfeiler quer zur Pfeilerlängsachse.

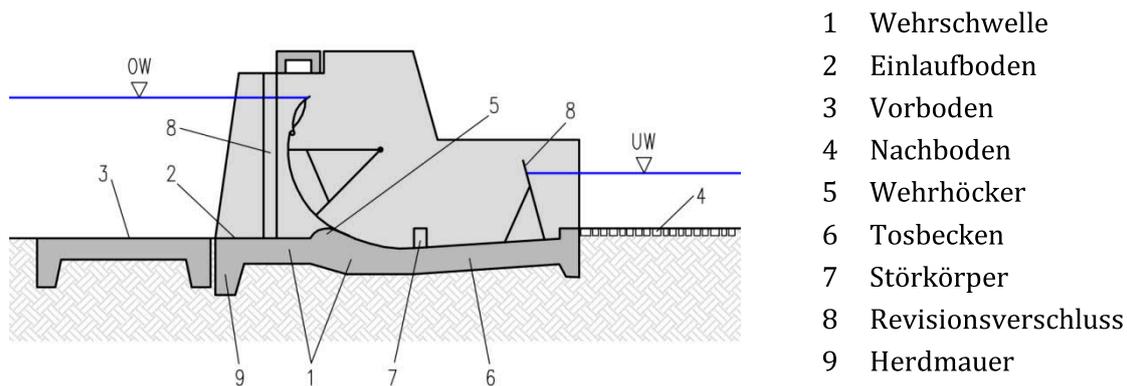


Bild 1: Wehranlage, Längsschnitt durch eine Wehrsohle mit Bezeichnung der Bauteile

Sofern der betrachteten Sohle keine statisch bedeutsame Aufgabe zugeordnet wird und ein Versagen der Sohle keine schwerwiegenden Konsequenzen hat, ist vor dem Hintergrund eines sich abbauenden Grundwasserdrucks durch Risse an überbeanspruchten Stellen die strenge Einhaltung der geforderten Tragfähigkeitsnachweise entbehrlich („Sohle nur als Sohlbefestigung“).

Bei den instandsetzungsbedürftigen Bauwerken handelt es sich um Konstruktionen aus den letzten Jahrhunderten, die nicht nach den modernen Regelwerken gebaut wurden und einige Besonderheiten aufweisen:

- Überwiegend liegen sehr schwach bewehrte bzw. unbewehrte Bauteile aus Beton vor, die in Bereichen größerer Oberflächenbeanspruchungen ggf. durch härtere Pflasterbeläge oder sogenannten „Hartbeton“ geschützt sein können.
- Es wurden der Bauzeit entsprechende Materialien und Betone verwendet, deren Zusammensetzung nicht immer den heutigen Regelwerken genügt (Bild 2).
- Die Wehrsohlen sind oft nur im Revisionsbereich trocken zugänglich und inspizierbar. Unter Wasser liegende Sohlbereiche können nur unter größerem Aufwand, z. B. durch Taucher, inspiziert werden.
- Strukturnachweise und Nachweise gegen Aufschwimmen und Gleiten wurden zur Bauzeit nicht nach den heutigen Ansätzen geführt. Dagegen wurden konstruktive Maßnahmen, wie z. B. Herdmauern, die der Verlängerung des Sickerwegs und damit der Verbesserung der Kräfteverhältnisse durch Wasserdruck dienen sollten, vorgesehen.



Bild 2: Vergleich von Bohrkernen mit hoher Betongüte (links) und geringer Betongüte (rechts)

Für die technische Bewertung der Sohle nach heutigen Maßstäben müssen diese Aspekte berücksichtigt und durch vertiefte Informationen aus Messungen, Beprobungen und labortechnische Untersuchungen ergänzt werden.

4. Bewertung bestehender Wehrsohlen

4.1 Bestandsaufnahme und Erhaltungszustand

Ein zentrales Entscheidungskriterium hinsichtlich eines möglichen Erhalts einer bestehenden Wehrsohle ist ihr Erhaltungszustand. Zu Wehranlagen an den Bundeswasserstraßen liegen oft langjährige Betriebserfahrungen der betreibenden Ämter vor, auch bei besonderen Situationen wie Hochwasser und Revisionszuständen. Vom jeweiligen Erhaltungszustand der Wehrsohle und eventuell vorliegenden Schäden, einschließlich Schäden im Umfeld der Anlage, lässt sich ableiten, ob die Konstruktion in der Vergangenheit den Anforderungen gewachsen war und ihre Funktionen erwartungsgemäß erfüllen konnte.

Die detaillierte Bestandsaufnahme schließt insbesondere folgende Punkte ein:

- Baugrunduntersuchungen zur Ermittlung von Kennwerten, die auch geohydraulische Untersuchungen und die Planung von baulichen Maßnahmen einschließt
- Ermittlung von Baustoffkennwerten und deren Beurteilung im Hinblick auf einen weiteren, langjährigen Betrieb
- Erfassung von Konstruktionsmerkmalen und wesentlichen Abmessungen der vorhandenen Sohle wie Dicke, Bewehrungsgrad, konstruktive Durchbildung, unterschiedliche Materialbereiche
- Dokumentation der Ober- und Unterwasserstände zur Ermittlung von Bemessungswasserständen
- Dokumentation von Grundwasserständen zur Ermittlung der geohydraulischen Verhältnisse und der Abhängigkeit der Grundwasserpotentiale vom Wasserstand des Ober- und Unterwassers

- Beurteilung der hydraulischen Wirksamkeit der Wehrsohle insbesondere hinsichtlich der Energieumwandlung im Tosbecken
- Untersuchung des Verbunds zwischen Einbauteilen und Sohlenbeton im Bereich der Revisionsverschlussverankerungen

4.2 Umfang der planmäßigen Erneuerungen

Tiefgreifende Veränderungen, wie z. B. der Wechsel des Verschlusssystems an der betrachteten Wehranlage, haben Auswirkungen auf die Hydraulik und erfordern Anpassungen der Sohlgeometrie und ggf. der Revisionseinrichtungen. Diese Anpassungen sind mit entsprechenden Änderungen der Beanspruchungen verbunden.

Für die Entscheidung über den Erhalt einer Wehrsohle ist daher auch der Umfang der erforderlichen Anpassungen und geometrischen Modifikationen zu ermitteln, die sich aus stahlwasserbaulicher, hydraulischer und massivbaulicher Hinsicht ergeben.

- Wird ein Wechsel des Verschlusssystems angestrebt, kann je nach Verschlusssystem eine hydraulische Optimierung mit tiefgreifenden Veränderungen des Tosbeckens und der Sohlgeometrie erforderlich werden, die neben den geometrischen Änderungen auch strukturelle Maßnahmen erfordert.
- Ein Wechsel des Verschlusssystems bedingt neue Einbauteile im Bereich der Sohldichtung und bringt geänderte Einwirkungen mit sich.
- Der Wechsel des Revisionsverschlusssystems oder eine Verschiebung des Revisionsbereichs führt zu Änderungen der Einwirkungen auf die Wehrsohle und des Lastabtrags innerhalb der Tragstruktur.

4.3 Lagesicherheit, Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit

Bei umfangreichen Eingriffen in Tragsystem und Geometrie im Rahmen einer Grundinstandsetzung muss die Wehrsohle im Endzustand die technischen Erfordernisse und das Sicherheitsniveau der für den Neubau geltenden Regelwerke erfüllen. Diese beinhalten auch die Forderung nach einer dauerhaften Konstruktion. Eine Grundinstandsetzung dient damit als Alternative zum Neubau für eine lange Nutzungsdauer.

Die Eignung des Bestandsbetons muss durch entsprechende Materialuntersuchungen bereits im Vorfeld der Maßnahme nachgewiesen werden. Neben den geotechnischen Nachweisen der Lagesicherheit (EQU) und des Aufschwimmens (UPL), müssen die Tragfähigkeit (GZT) und Gebrauchstauglichkeit (GZG) der Wehrsohle rechnerisch überprüft werden. Insbesondere bei unbewehrten Wehrsohlen ist der Nachweis der Tragfähigkeit des hauptsächlich durch den Grundwasserdruck auf Biegung und Querkraft beanspruchten Bauteils unter Berücksichtigung des Riss- und Porenwasserdrucks nur bei ausreichend großer Drucknormalkraft in axialer Richtung möglich. Bei der Ermittlung von Bemessungsschnittgrößen ist zu berücksichtigen, dass das geforderte Sicherheitsniveau für Strukturnachweise im Massivbau höher ist als für den geotechnischen Nachweis gegen Aufschwimmen. Eine Belegung ungünstiger Grundwasserdrücke mit den

geforderten Teilsicherheitsbeiwerten kann daher Zustände erzeugen, die rechnerisch zum Aufschwimmen der Sohle führen würden.

Vielfach treten Defizite in der Nachrechnung bereits bei den geotechnischen Nachweisen aufgrund eines zu hohen Grundwasserdrucks auf. Eine mögliche Kompensation dieser Defizite ist die Reduktion der Beanspruchungen mit Hilfe der Anordnung von Entlastungsbrunnen (Bild 3). Zugleich wird die maßgebliche Sohlbeanspruchung auf Biegung und Querkraft verringert.



Bild 3: Entlastungsöffnung ohne (links) und mit (rechts) Wasseraustritt

Weitere Defizite in statisch relevanten Bereichen müssen aufgezeigt und Möglichkeiten zur Kompensation durch geeignete bauliche Verstärkungen ermittelt werden. Die Verträglichkeit der Maßnahmen mit dem Bestand ist zu beachten. Zusätzliche Einflusskriterien für die Entscheidung zu Erhalt, Teilersatzneubau oder Ersatzneubau können überdies durch die Einbeziehung gegebenenfalls kritischer Bauzustände und damit baubetrieblicher, geotechnischer und geohydraulischer Aspekte berücksichtigt werden.

Liegt bei entsprechenden Materialparametern ein guter Erhaltungszustand des Bauwerks vor, können die Strukturnachweise nach dem **BAW** Merkblatt TbW (BAW 2016) geführt werden. Voraussetzung ist, dass keine Änderung des statischen Systems vorgenommen wird. Entlastungsmaßnahmen, wie Grundwasserentlastungsbohrungen, Ertüchtigungsmaßnahmen oder Erneuerungen im Stahlwasserbau und Oberflächeninstandsetzungen können bei Anwendung des Merkblatts durchgeführt werden. Eine Instandsetzung zielt auf den Erhalt des Bauwerks mit einer weiteren Nutzungsdauer ab, die formal etwas geringer als die einer Grundinstandsetzung ist.

Auf Grundlage der Untersuchungsergebnisse kann der erforderliche bauliche, baubetriebliche und wirtschaftliche Aufwand für den Erhalt der Wehrsohle abgeschätzt und mit dem eines Neubaus verglichen werden.

5. Fazit

Im Zuge der Instandsetzung und Grundinstandsetzung von Wehranlagen wird eine vertiefte Beurteilung der Wehrsohlen bislang häufig vernachlässigt und der Fokus auf Verschlussysteme und Wehrpfeiler gelegt. Jedoch ist gerade bei einer Instandsetzungsmaßnahme der Anlage, die auf eine weitere Nutzungsdauer von mehreren Jahrzehnten abzielt, das Vorhandensein einer Wehrsohle, die den Anforderungen der Lagesicherheit, Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit genügt, unabdingbar. Neben den bautechnischen und geotechnischen Aspekten bildet vor allem die hydraulische Untersuchung der Gesamtanlage eine entscheidende Grundlage für die Gesamtbeurteilung der Erhaltungswürdigkeit einer Wehrsohle.

Nur auf Grundlage einer konkreten Untersuchung des jeweiligen Bestandsbauwerks unter Berücksichtigung der vorgesehenen Systemänderungen ist eine technisch fundierte Aussage zu Erhalt oder Neubau möglich.

6. Literatur

BAW (2016): **BAW** Merkblatt „Bewertung der Tragfähigkeit bestehender, massiver Wasserbauwerke (TbW)“. Hg. v. Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe.

DIN 4048 (1987): Wasserbau Begriffe. Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin.