

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Pohl, Reinhard

Wellenumlenker in der Freibordbemessung

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103287>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Pohl, Reinhard (2017): Wellenumlenker in der Freibordbemessung. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Bemessung im Wasserbau - Klimaanpassung, Untersuchungen, Regeln, Planung, Ausführung. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 58. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 321-330.

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.



Wellenumlenker in der Freibordbemessung

Reinhard Pohl

Höhere Bemessungswasserstände bei Stauanlagen führen zu einer Freibordverminderung. Damit diese nicht zu Lasten der Stauanlagensicherheit geht, können Wellenumlenker eingesetzt werden. Der nachfolgende Beitrag beschäftigt sich mit deren Konstruktion und Bemessung.

Stichworte: Schlagwörter: Freibord, Wellenumlenker, Wellenauflauf, Ufermauer
 Key Words: Freeboard, Wave Deflector, Wave Run-up, recurved Sea Wall

1 Einführung

Wenn für Stauanlagen höhere Bemessungsabflüsse ermittelt werden oder das Stauziel auf Grund von Nutzungsänderungen erhöht werden soll, wird damit zunächst die Freibordhöhe vermindert. Auch wenn keine Freibordreserve vorhanden ist, darf dies nicht zu Lasten der Anlagensicherheit gehen. Um das Sicherheitsniveau zu halten, können die in Abb. 1 genannten Maßnahmen einzeln oder in Kombination ergriffen werden.

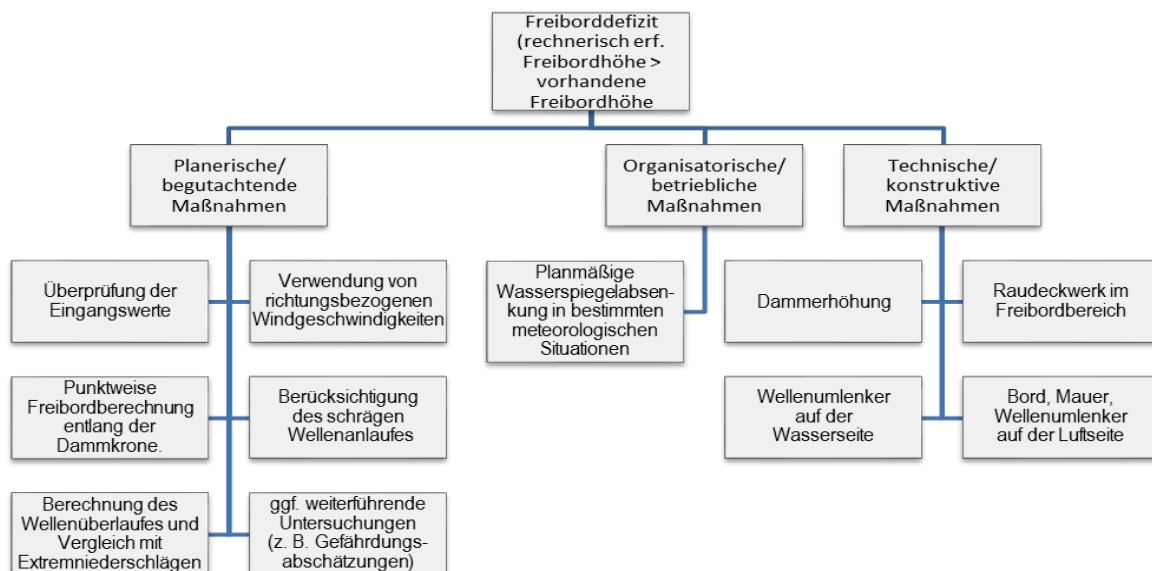


Abbildung 1: Mögliche Maßnahmen bei Freiborddefiziten (Pohl 2016)

2 Kronenelemente

Eine sehr vorteilhafte konstruktive Maßnahme zur Kompensation von Freiborddefiziten ist die Anordnung von Kronenelementen. Diese können aus Beton oder auch aus Metall hergestellt sein. Wenn sie auf die Krone aufgesetzt werden, vergrößern sie die Freibordhöhe. Wenn sie zusätzlich auf der Wasserseite konkav ausgerundet sind, können sie eventuell auflaufende Wellen (Windwellen, Schwallwellen) von der Krone ablenken und werden deshalb auch als Wellenumlenker bezeichnet. Die Anwendungsbereiche sowie die Vor- und Nachteile dieser Elemente sind ohne Anspruch auf Vollständigkeit für typische Ausführungen in der Tabelle dargestellt.

3 Wellenumlenker

Die auflaufvermindernde Wirkung von Wellenumlenkern wird schon seit längerer Zeit vor allem im Seebau und Küstenschutz genutzt. Beispiele hierfür sind neben vielen anderen weltweit die ausgerundeten Ufermauern in San Francisco, CA (USA 1930), Galveston, TX (USA 1965), in Exmouth, Devonshire (GB) und die Wellenumlenker bei Dranske, Rügen (D 1980) – s. Abb. 2.



Abbildung 2: Ausführungsbeispiele für Wellenumlenker (v. l. n. r.) 1. als Polygon ausgebildeter Wellenumlenker auf der Krone der Talsperre Bautzen (Nr. 3 in Abb. 4), 2. in den Dammkörper eingelassener Umlenker an der Talsperre Nonnweiler (Nr. 13 in Abb. 4), 3. Ausgerundete Wasserseite mit aufgesetzter Wellenschutzmauer auf dem Dammbes des oberen Großhartmannsdorfer Teiches der Revierwasserlaufanstalt Freiberg, 4. Raudeckwerk und Wellenumlenker an der Ostseite des Süßen Sees bei Eisleben, 5. Asphalttrauhdeckwerk und Wellenumlenker südlich von Dranske (Rügen), 6. Ausgerundete Ufermauer in Exmouth, Devonshire (GB). Bildquelle: Pohl



Abbildung 3: Zwischenlager der Wellenumlenker (Nr. 12 in Abb. 4) vor dem Einbau am Oberbecken des PSW Säckingen (Eggbergbecken). Bildquelle: Pohl

Die Ausrundung folgt dabei oft einem Kreisbogen, der im oberen Bereich auch durch eine Ellipse abgeschossen werden kann. Der Strahlablösungswinkel des umgelenkten Strahles kann dann zwischen 45° und 90° (horizontal) liegen.

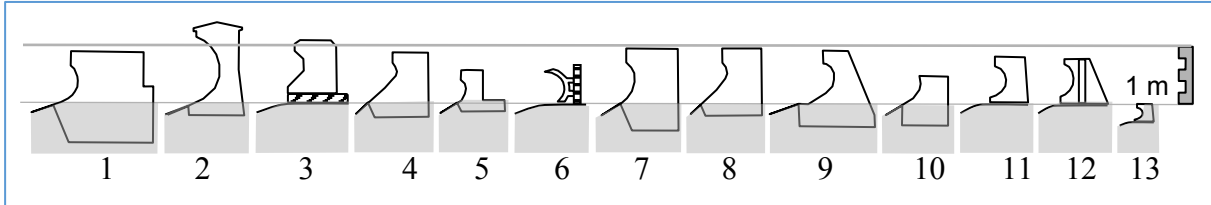


Abbildung 4: Verschiedene Wellenumlenker: 1 TS Ohra, 2/3 TS Bautzen alt/neu, 4/5/6 PSW Markersbach UB, OB alt/neu [13], 7 TS Schönbrunn, 8 TS Lichtenberg, 9 TS Ratscher, 10 TS Schömbach, 11 PSW Glems OB, 12 PSW Säckingen OB, 13 TS Nonnweiler. Bildquelle: Pohl

4 Bemessung

Die Bemessung der Wellenumlenker und anderer Kronenelemente muss aus hydraulischer und Sicht und im Hinblick auf die Tragfähigkeit (statisch-dynamisch) erfolgen.

Beim **Nachweis der hydraulischen Wirksamkeit** gilt es, die auflaufvermindernde Wirkung der Elemente zu erfassen. Die Fragestellung kann in Abhängigkeit von dem Bemessungskriterium lauten: Um wie weit verschiebt sich der Überlaufbeginn auf der Skala der relativen Freibordhöhe h_f/R in Abb. 6 gegenüber einer ansonsten gleich geneigten und gleich rauen Böschung ohne Umlenker oder wie groß ist der Wellenüberlauf q_T in Abhängigkeit von der Umlenkerhöhe h_u , der Freibordhöhe h_f und den Wellenkennwerten H , T ?

Der Bemessungsrechengang und die Festlegung der erforderlichen Freibordhöhe werden nun vom gewählten Bemessungskriterium bestimmt, welches z. B. aus den nachfolgenden Möglichkeiten gewählt werden kann:

1. Die Dammkrone wird so ausgelegt, dass nur ein bestimmter Anteil der Wellenaufläufe zu einem Überlauf führt. Bei $P = 2\%$ bzw. $F = 1 - P = 98\%$ würden z. B. die beiden größten von 100 Aufläufen überlaufen. Dieses Kriterium wird häufig in der Praxis verwendet, wobei auf das DVWK-Merkblatt 246/1996 Bezug genommen wird.
2. Ein kritisches Überlaufvolumen (z. B. $(q_T)_{\max} = 2 \text{ m}^3/\text{m}$ bei einem Seedeich – EuroTop 2016) darf nur von einem bestimmten Anteil der Überlaufereignisse überschritten werden. Bei $P = 3\%$ dürften dann 3 von 100 Überlaufvolumina größer als $(q_T)_{\max}$ sein. Dieses Kriterium geht von der Annahme aus, dass nur größere zu häufige Überläufe dem Bauwerk schaden, kleinere aber nicht.

3. Der mittlere quasistationäre spezifische Überlauf darf einen Grenzwert (z. B. $q_{\max} = 0,005 \text{ m}^2/\text{s}$ – EuroTop 2016, S. 41) nicht überschreiten. Hierbei wird von der Gesamtwassermenge als kritische Einwirkung ausgegangen, wobei seltene hohe Einzelüberläufe toleriert werden. Dieses Kriterium wird oft bei Seedeichen verwendet, bei denen höhere Schutzziele nicht wirtschaftlich realisierbar sind. Andererseits ist ein Vergleich des Wellenüberlaufes mit Starkniederschlagsereignissen deren Abfluss von der Krone sicherlich ein sinnvoller Vergleichswert, da der Damm auch dieser Belastung widerstehen können muss.
4. Eine Kombination aus den Kriterien 2 und 3, wenn seltene hohe Einzelüberläufe nicht toleriert werden können.
5. In einer bestimmten Zeit darf nur eine bestimmte Anzahl von Überläufen ein kritisches Volumen $(qT)_{\max}$ überschreiten (z. B. zweimal pro Stunde $(qT) > (qT)_{\max} = 0,25 \text{ m}^3/\text{s}$.)

Druet 1963 schlägt für die Ausrundung des Umlenkers einen Radius $r \approx 0,6 \cdot c / \cos \alpha$ vor, wobei die Höhe der Ausrundung $c = 3 \cdot d_R$ dem Dreifachen der Schwalldicke am Aufstellort entsprechen soll. Schajtan 1974 schlägt einen Wellenumlenker vor, dessen Höhe $h_u = \frac{1}{2} H$ der halben Bemessungswellenhöhe entspricht, dessen unterer Teil der Ausrundung ein Kreisbogen mit dem Radius $r = \frac{1}{3} H$ ist und dessen oberer Teil der Ausrundung eine Ellipse mit dem kleinen Halbmesser von ungefähr $\frac{H}{10}$ ist. Keberle und Kolnykow (SU Pat. 1194952 E02B 3/06) hatten eine etwa 1 m hohe Ufermauer mit nach der Wasserseite um den Betrag $0,14 \dots 0,16 \cdot H$ auskragender Rundung ($r = 0,1 \cdot H$) vorgeschlagen.

Hydraulische Berechnungsansätze wurden vom Verfasser auf der Grundlage von Modellversuchen formuliert (Pohl 1991) und zeigten, dass bei entsprechenden Verhältnissen die Freibordhöhe durch Wellenumlenker bis ungefähr auf die Hälfte reduziert werden kann, wenn sichergestellt ist, dass der Brecherstrahl auf die Böschung unterhalb des Umlenkers trifft und die Wellenhöhe nicht größer als etwa die doppelte Umlenkerhöhe ist Abb. 6).

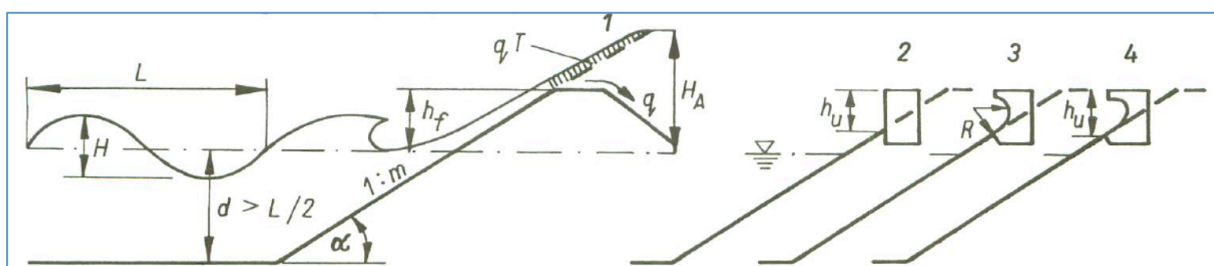


Abbildung 5: Definitionsskizze zum Wellenüberlauf: 1 ohne Kronenelement, 2 Ufermauer, 3 Wellenumlenker Kreis und Ellipse, Wellenumlenker logarithmische Spirale

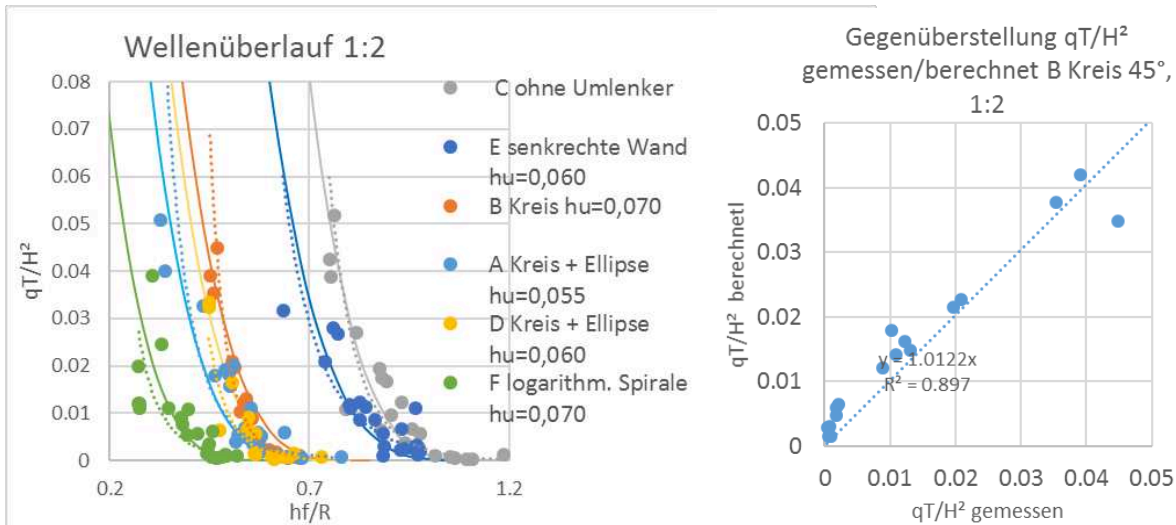


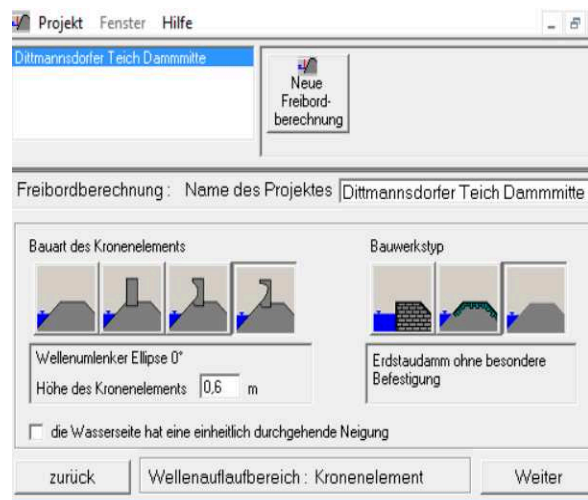
Abbildung 6: Versuchsergebnisse zum Wellenüberlauf ohne und mit verschiedenen Wellenumlenkern. Wellenüberlaufvolumen als Funktion der normierten Freibordhöhe. – Bildquelle: Pohl



Abbildung 7: Links: Wellenauf- und Überlaufversuche mit Wellenumlenkern (hier Sturzbrecher auf einer 1:3 geneigten glatten Böschung) TU Dresden 1987. Rechts: Versuchsstand zum Wellenauf- und Überlauf mit Wellenumlenker TU Dresden 2017. Bildquelle Pohl

Die Versuchsergebnisse sind auch in das Berechnungsprogramm „Freibord“ integriert worden, welches eine hohe Flexibilität in der Anpassung an konstruktive Ufergestaltungen aufweist und neben der Berücksichtigung von Kroneelementen noch weitere über das DVWK-Merkblatt 246 hinausgehende

Abbildung 8: Berechnungsprogramm „Freibord“ mit Auswahlmü für die in Abb. 5 vorgestellten Böschungs- und Ufergestaltungen. – Bildquelle: Pohl



Optionen bietet wie den schrägen Wellenauflauf, die Berechnung für steile Böschungsneigungen $> 1:2$ und die Mehrfachrechnung für probabilistische Betrachtungen (s. Abb. 8).

Beim **Nachweis der Tragfähigkeit** kommt es darauf an, dass in den maßgebenden Bemessungssituationen die widerstehenden Kräfte (Widerstand \rightarrow Gewicht, Reibung) größer sind als die einwirkenden (BeLASTung \rightarrow Wasserdruck, Auftrieb, Stützkraft, Wind). Bei der nach DIN 19700: 2004-08 noch zulässigen Anwendung des globalen (deterministischen) Sicherheitskonzeptes müssen die widerstehenden Kräfte größer sein, als die einwirkenden Kräfte multipliziert mit einem bestimmten Sicherheitsbeiwert (z. B. $\eta = 1,3$). Beim in jüngerer Zeit oft praktizierten und für bestimmte Bauwerke auch normativ geforderten Teilsicherheitskonzept müssen die mit Teilsicherheitsfaktoren erhöhten Einwirkungen kleiner sein als die entsprechend abgeminderten Widerstände, woraus sich ein Auslastungsgrad < 1 ergibt. Weil durch die verschiedenen großen Beiwerte auf beiden Seiten die klare Sicht auf den zumindest theoretisch berechenbaren Grenzzustand der Tragfähigkeit willkürlich verwischt wird, hält der Verfasser des vorliegenden Beitrages diese semiprobabilistische Methodik aus erkenntnistheoretischer Sicht für weniger vorteilhaft, wenngleich sie durchaus praktikabel erscheinen mag. In eine vollständig probabilistische Berechnung würden die Verteilungen aller Einwirkungen und Widerstände eingehen, so dass für jede potenzielle Versagensart und das Gesamtversagen eine sehr kleine Wahrscheinlichkeit $P < 10^{-3} \dots 10^{-6}$ ermittelt werden könnte. Aus psychologischen Gründen wird häufig die Zuverlässigkeit $1-P$ angegeben, die dann Werte von 99,9 ... 99,9999 % annimmt.

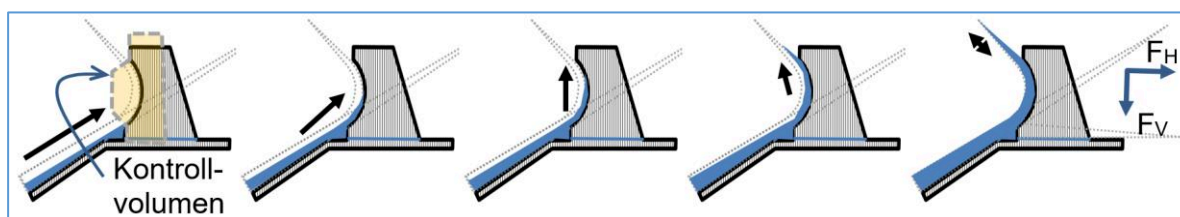


Abbildung 9: Idealisierte Wellenauflaufphasen bis zum Umkehrpunkt der Bewegung. Bildquelle Pohl

Wenn eine Bemessung für den Grenzzustand vorgenommen werden soll, kann zunächst vom sehr unwahrscheinlichen stationären Fall des bordvollen Einstaus ausgegangen werden, in dem ein im Querschnitt (ungefähr) quadratisches Beton-element ohne weitere Befestigung gleitsicher auf die Krone gestellt werden könnte. Mit einem Reibungsbeiwert $\mu = \tan\varphi = 0,45$, einer Betondichte $\rho_B = 2200 \text{ kg/m}^3$ und einem vollständigen Abbau des Sohlwasserdruckes von der Wasser- bis zur Luftseite in der Aufstandsfläche würde der Grenzzustand der Gleitsicherheit ($\eta = 1$) erreicht.

Wenn die instationäre Krafteinwirkung des Wellenauflaufes betrachtet werden soll, muss der wellenerzeugende Wind in Auflaufrichtung zusätzlich berücksichtigt werden. Für Lasteinwirkungen wird üblicherweise die mittlere Welle des höchsten Drittels aus dem Wellenspektrum, die sogenannte signifikante Welle angesetzt: $H_{m0} \approx H_S \approx H_{13\%} \approx H_{1/3}$, die zusammen mit der Peakperiode T_P der höchsten spektralen Energiedichte zugeordnet wird. Modellhaft ist es vorstellbar, dass sich der ungefähr dreieckige Auflaufkeil mit abnehmender Geschwindigkeit in den Umlenker als Schwall auf geneigter Sohle hineinschiebt, bis zum Auflaufpunkt verzögert wird und dann umkehrt. Die auf der gekrümmten Bahn verzögerte und beschleunigte Wassermasse verursacht entsprechend der jeweiligen Momentangeschwindigkeit eine Radialbeschleunigung und ruft auf Grund der Wassermasse nach dem zweiten Newtonschen Gesetz zeitlich veränderliche (instationäre) Radialkräfte im Wellenumlenker hervor, die in Vertikal- und Horizontalkräfte zerlegt werden können (Abb. 9).

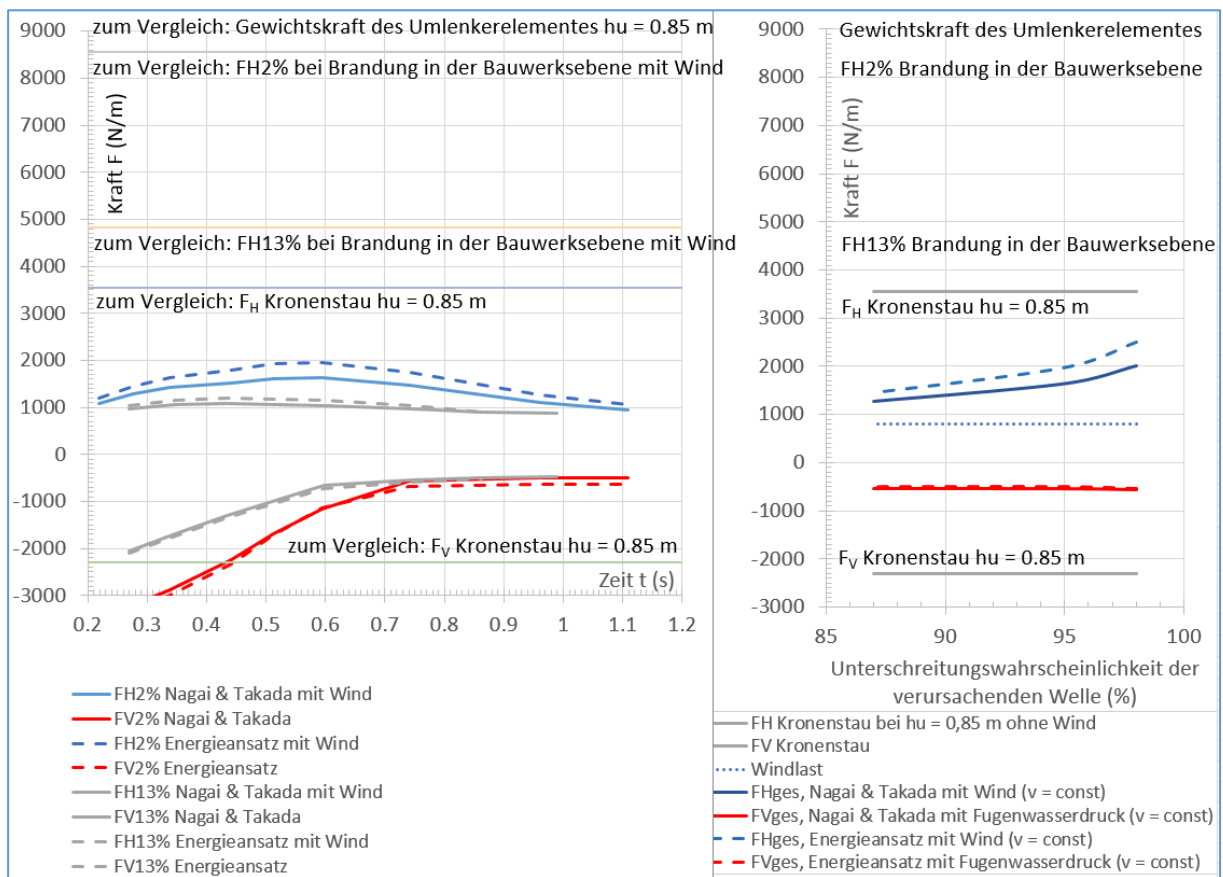

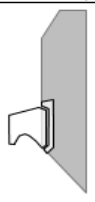
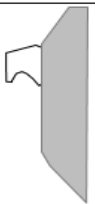
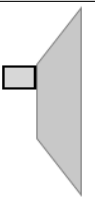
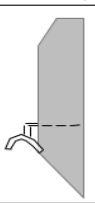
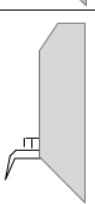



Abbildung 10: Ergebnisse einer instationären Beispielrechnung für einen 85 cm hohen Wellenumlenker: Horizontal- (FH) und Vertikal- (FV) Kräfte infolge hydrodynamischer Belastung einschließlich Windeinwirkung in Abhängigkeit von der zeit- und wegabhängigen Position des Auflaufschwalls nach verschiedenen Berechnungsansätzen für verschiedene Bemessungsereignisse. Es ist festzustellen, dass die Ergebnisse sensitiv auf Eingangswerte, wie zum Beispiel die empirisch bestimmte Dicke des Auflaufschwalls in Wasserspiegelhöhe reagieren.

Tabelle 1 Vor- und Nachteile verschiedener Bauweisen von Wellenumlenkern

<p>Varianten Skizze (nicht maßstäblich)</p>		<p>Dammerhöhung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zugang zur wasserseitigen Böschung - homogene Dammkrone - Beibehaltung der Bauwerksstruktur und Fertigungstechnologie 	<p>Wellenumlenker (teilweise) in den Dammkörper eingelassen</p> 	<p>Wellenumlenker aus Beton auf der Wasserseite der Dammkrone</p> 	<p>Bordwand an der luftseitigen Dammschulter</p> 	<p>Wellenumlenker aus Stahl auf der Wasserseite der Dammkrone</p> 	<p>Wellenabweiser aus Stahl auf der Wasserseite der Dammkrone</p> 	<p>Raudeckwerk im Freibordbereich</p> 
<p>Vorteile</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Dammschnitt nahezu unverändert - Verbreiterung der Krone trotz Beibehaltung der Dammkubatur - Keine oder geringere Kronenerhöhung 	<ul style="list-style-type: none"> - Zugang zur wasserseitigen Böschung - homogene Dammkrone - Beibehaltung der Bauwerksstruktur und Fertigungstechnologie 	<ul style="list-style-type: none"> - Dammschnitt nahezu unverändert - Keine Dammerhöhung - Verwendung abnehmbarer Kronenelemente mit gutem Böschungszugang möglich - Aufstellung des Wellenumlenkers auch direkt auf der Krone möglich (vgl. Skizze in Spalte rechts) - Brüstung erhöht Arbeitssicherheit 	<ul style="list-style-type: none"> - Zugang zur wasserseitigen Böschung - einfaches Aufsetzen - Keine Dammerhöhung - Nur geringer Eingriff in den Bestand - Querneigung der Krone zur Wasserabfuhr vorteilhaft 	<ul style="list-style-type: none"> - Dammschnitt nahezu unverändert - sehr einfaches Bauteil - einfaches Aufsetzen - nur geringer Eingriff in den Bestand - keine Dammerhöhung - Zugang zur wasserseitigen Böschung - vorh. Querneigung zur Wasserseite vorteilhaft 	<ul style="list-style-type: none"> - Dammschnitt nahezu unverändert - Keine Dammerhöhung - Verwendung von abnehmbaren Kronenelementen mit gutem Böschungszugang möglich - nur geringer Eingriff in den Bestand - einfache Herstellung (preisgünstiger als Ausrundung) - Transport einfacher 	<ul style="list-style-type: none"> - Dammschnitt nahezu unverändert - Keine Dammerhöhung - Kronenelemente ggf. abnehmbare, guter Böschungszugang - nur geringer Eingriff in den Bestand - einfache Herstellung (preisgünstiger als Ausrundung) - Transport einfacher 	<ul style="list-style-type: none"> - Zugang zur wasserseitigen Böschung - Dammschnitt nahezu unverändert
<p>Nachteile</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Bauwerkserhöhung - Querschnittsänderung - überproportionale Kubaturerhöhung - Mehrkosten 	<ul style="list-style-type: none"> - Eingriff in den Bestand - Zugang zur Außenhautdichtung erschwert - ggf. frostsichere Gründung des Betonlementes erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> - zusätzliche Nachweise für Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit - Zugang zur Außenhautdichtung erschwert - Wasserabfuhr von der Krone möglicherweise behindert 	<ul style="list-style-type: none"> - zusätzliche Nachweise für Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit - Wasser gelangt auf die Krone, muss ggf. abgeleitet werden - Verminderung der nutzbaren Kronenbreite, wenn Sicherheitsbord auf der Wasserseite erforderlich - keine Verkehrssicherung 	<ul style="list-style-type: none"> - zusätzliche Nachweise für Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit - Wasser gelangt auf die Krone, muss ggf. abgeleitet werden - Verminderung der nutzbaren Kronenbreite, wenn Sicherheitsbord auf der Wasserseite erforderlich - keine Verkehrssicherung 	<ul style="list-style-type: none"> - zusätzliche Nachweise für Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit - ggf. Korrosionsgefahr - ggf. Zugang zur Außenhautdichtung erschwert - ggf. Spaltdurchfluss - baulastmässige Nachweise, Schwingungsgefährdung - höhere Druckstöße als bei Ausrundung - Montageaufwand - ggf. Störung des Landschaftsbildes durch Lichtreflexion - Bohren von Mikropfählen im Randbereich der Dammschulter 	<ul style="list-style-type: none"> - zusätzliche Nachweise für Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit - ggf. Korrosionsgefahr - ggf. Zugang zur Außenhautdichtung erschwert - ggf. Spaltdurchfluss - baulastmässige Nachweise, Schwingungsgefährdung - höhere Druckstöße als bei Ausrundung - Montageaufwand - ggf. Störung des Landschaftsbildes durch Lichtreflexion - Mikropfähle an der Dammschulter 	<ul style="list-style-type: none"> - Eingriff in den Bestand - benötigt breiten Auflaufstreifen - aufwändige nachträgliche Embringung der Bruchsteine - geringere Wirkung als Umlenker

Eine dritte Möglichkeit für die Darstellung der Einwirkung bietet der Stützkraftsatz. Dazu wird ein Kontrollvolumen festgelegt (Abb. 9), welches die Ein- und Austrittsquerschnitte des Wasserstrahls am Umlenker einschließt. Mit Hilfe der Stützkraftkräfte kann dann die Änderung der Kraftereinwirkungen über die Zeit verfolgt werden, wenn die Fließquerschnitte und Geschwindigkeiten an den Grenzen des Kontrollraumes angegeben werden können.

Es ist zu berücksichtigen, dass auch Vertikalkräfte (nach oben gerichtet negativ) durch die aufwärts gerichteten Strömungskräfte, durch den Auftrieb im Falle einer nicht dauerhaft wasserdicht verschlossenen Aufstandsfläche und durch die sich zeitweise in der Umlenkerausrundung befindliche Wasserauflast entstehen. Die Maxima dieser vertikal gerichteten Einwirkungen treten etwas früher auf als die maximale Horizontalkraft.

Der Betrag für die nach oben gerichtete Vertikalkraft erscheint in Abb. 10 relativ groß, weil die Annahme einer wasserseitig voll geöffneten Fuge zwischen Umlenkerelement und Aufstandsfläche, in der sich die anfänglich hohe Auflaufschwallgeschwindigkeit nach dem Energieerhaltungssatz voll in den Fugendruck umwandeln kann, eine sehr konservative Annahme darstellt.

5 Zusammenfassung, Ausblick

Im vorliegenden Beitrag wurden die Möglichkeiten und Grenzen beim Einsatz von Wellenumlenkern vorgestellt. In der Regel kann mit Hilfe von Wellenumlenkern die rechnerisch erforderliche Freibordhöhe verringert werden. Die üblichen Mindestfreibordhöhen sollten aber nicht unterschritten werden.

Die verfügbaren hydromechanischen Bemessungsansätze wurden unter einschränkenden Randbedingungen im Modellversuch ermittelt, weshalb sie auf ihre Allgemeingültigkeit hin überprüft und durch weitere Modellversuche verifiziert werden sollten, die jetzt begonnen wurden.

Die Tragfähigkeit der Kronenelemente kann mit physikalisch begründeten Ansätzen abgeschätzt werden. Hierzu vorliegende neuere Versuchsergebnisse sollen demnächst ausgewertet und verglichen werden.

6 Dank

Der Verfasser dankt der Gesellschaft der Förderer des Hubert – Engels – Institutes für Wasserbau und Technische Hydromechanik an der TU Dresden e. V. für die finanzielle Unterstützung bei den laufenden Modellversuchen.

7 Literatur

- Druet, C.: Über eine wirksame Methode zur Verminderung der Staudammhöhe bei Einwirkung von Windwellen (poln.).- *Gospodarka Wodna* (1963)6, S. 217 ff.
- DVWK 1997, Merkblatt (Guideline) 246/1997. Jäger, W.; Krinitz, H.; Lehmkühler, A.; Pohl, R.; Schelp, H.: Freibordbemessung an Stauanlagen
- EurOtop-Manual 2016: Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. Van der Meer, J.W., Allsop, N.W.H., Bruce, T., De Rouck, J., Kortenhaus, A., Pullen, T., Schüttrumpf, H., Troch, P. and Zanuttigh, B., www.overtopping-manual.com.
- Heyer, T., Pohl, R.: Der Auflauf unregelmäßiger Wellen im Übergangsbereich zwischen Branden und Schwingen.- In: *Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen* 26/2003, TU Dresden, Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik ISSN 0949-5061, ISBN 3-86005-376-0 S. 95 - 104
- Pohl, R.: 2010: Neue Aspekte der Freibordbemessung an Fluss- und Ästuardeichen.- In: *Dresdner Wasserbauliche Mitteilung* 40/2010, TU Dresden, Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik S. 467-478, ISBN 978-3-86780-135-5
- Pohl, R.: 1988: Aspekte zur Freibordbemessung an Talspeichern.- In: *Wasserwirtschaft-Wassertechnik*, Berlin 38(1988)1, S. 15-17
- Pohl, R.: 1989: Die Erhöhung der Sicherheit von Dammbauwerken gegen Überströmen durch konstruktive Maßnahmen im Kronenbereich.- In: *Beiträge zur Fachtagung Talsperren- und Rohrleitungsbau*, Weimar 13.-15.6. 1989
- Pohl, R.: 1991: Der Wellenüberlauf über Dämme mit Wellenumlenkern.- In: *Wasser und Boden*, Hamburg 43(1991)1, S. 42-46
- Pohl, R.: 1997: Überflutungssicherheit von Talsperren.- In: *Mitteilungen des Institutes für Wasserbau und Technische Hydromechanik der TU Dresden*, Heft Nr. 11, 1997
- Pohl, R.: 1997: Wellenüberlauf im Übergangsbereich zwischen Brandung und Reflexion.- In: *Hansa* 134(1997)10 S. 62-64
- Pohl, R.: 2016: Dammkronenelemente zur Verminderung des Wellenauf- und Überlaufes.- In: *Wasserwirtschaft* 106(2016)5, S. 14-22, ISSN 0043-0978
- Schüttrumpf, H.: 2000: Wellenauf- und Überlauf.- *Leichtweiß-Institut der TU Braunschweig* 2000
- Steiner, J.: 2012: Methoden der Effizienz Steigerung an vorhandenen Wasserkraftanlagen am Beispiel der geplanten Beckenerweiterung des PSW Markersbach.- In: *Tagungsbericht der DWA-Landesverbandstagung Sachsen/Thüringen am 6. Juni 2012 in Dresden*, S. 59 - 77
- Waal J. P. de, Meer J. W. van der 1992. Wave run-up and overtopping on coastal structures, *Proc. 23rd International Conference on Coastal Engineering*, 1772 – 1784

Autor:

Prof. Dr.-Ing. habil. Reinhard Pohl

Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik

Technische Universität Dresden

August-Bebel-Straße 30a, 01219 Dresden

Tel.: +49 351 46333837, Fax: +49 351 46335654, E-Mail: Reinhard.Pohl@TU-Dresden.de