

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Kiesel, Annika

Ansatz von Riss- und Porenwasserdruck bei massiven Wasserbauwerken

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102294>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Kiesel, Annika (2015): Ansatz von Riss- und Porenwasserdruck bei massiven Wasserbauwerken. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Nachrechnung von (massiven) Wasserbauwerken. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 71-76.

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.



Ansatz von Riss- und Porenwasserdruck bei massiven Wasserbauwerken

M. Sc. A. Kiesel (BAW)

1 Veranlassung

Bei der Nachrechnung massiver Wasserbauwerke im Rahmen von Begutachtungen fällt häufig auf, dass in der Vergangenheit die Einwirkung Riss- und Porenwasserdruck vielfach vernachlässigt wurde. Massive Wasserbauwerke erfahren neben äußeren Einwirkungen wie beispielsweise Erddruck und Kammerwasserdruck zusätzliche Beanspruchungen aus Wasserdruck im Innern der Bauteile. Diese sind insbesondere bei Bauwerken aus Mauerwerk und unbewehrtem Beton erheblich.

Der Beitrag erläutert den normgemäßen Ansatz des Riss- und Porenwasserdrucks sowie dessen Anwendung und weist auf ergänzende Regelungen im BAW-Merkblatt „Bewertung der Tragfähigkeit bestehender, massiver Wasserbauwerke (TbW)“ hin.

2 Definition und Regelwerk

Von Wasser berührte Bauteile werden durch Risswasserdruck in offenen Fugen und Rissen sowie Porenwasserdruck in ihrem Innern beansprucht. Diese Beanspruchung durch inneren Wasserdruck führt zu einer Vergrößerung der klaffenden Fuge bei unbewehrten Bauteilen bzw. zu einer Vergrößerung der Zugzone bei Stahlbetonbauteilen.

Der Ansatz von Riss- und Porenwasserdruck bei Massivbauwerken im Wasser wird in DIN 19702 („Massivbauwerke im Wasser – Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit“) geregelt. Die DIN 19702 ist eine Grundnorm des konstruktiven Wasserbaus und regelt wasserbauliche Anforderungen, Sicherheitsnachweise und Besonderheiten für massive Wasserbauwerke [4]. Die aktuelle Ausgabe ist aus dem Jahr 2013.

3 Historie

Infolge des Versagens zweier Talsperren (Bouzey/Frankreich 1895, Johnstown/USA 1889) beschäftigten sich gegen Ende des 19. Jahrhunderts auch in Deutschland mehrere Veröffentlichungen ([1], [2], [3]) im Zentralblatt der Bauverwaltung mit der Problematik der Standsicherheit von Staumauern. Die Verfasser waren sich einig, dass infolge der Materialdurchlässigkeit (Poren) sowie nicht vollständig dichter Arbeitsfugen Wasser in den Bauwerkskörper eindringen könne und als Auftriebskraft auf den Querschnitt wirke. Sie bemängelten die Tatsache, dass bei der Berechnung von durch Wasserdruck beanspruchten Bauwerken der Auftrieb in den Fugen nicht berücksichtigt werde. Hervorzuheben ist dabei der Aufsatz von Lieckfeldt aus dem Jahre 1898.

Dieser erläutert den Sachverhalt anhand eines einzelnen Risses in einer einseitig durch Wasserdruck beanspruchten Staumauer. Das in den Riss eindringende Wasser erzeugt eine Auftriebs-

kraft, welche die Exzentrizität der Lastresultierenden und somit das Kippmoment der Mauer vergrößert. Er zeigt rechnerisch, dass die Größe der Wasserdruckfigur durch die Pressung im Mauerwerk begrenzt wird und es somit eine geschlossene Lösung für den fortschreitenden (iterativen) Prozess gibt. Die von Lieckfeldt hergeleiteten Formeln zur Berechnung der Tiefe der verbleibenden Druckzone sowie der Randspannungen im Mauerwerk sind in der DIN 19702 verankert und werden noch heute für die Berechnung von massiven Wasserbauwerken genutzt.

4 Ansatz

Gemäß DIN 19702 [6], Abschnitt 5.3.2.3.1 sind für die Bemessung von massiven Wasserbauwerken „die Beanspruchungen aus dem inneren Wasserdruck zu den Beanspruchungen aus den äußeren Lasten zu addieren“.

Dabei ist der Wasserdruck am Ende der klaffenden Fuge bzw. am geringer gedrückten Bauteilrand in der Höhe des dort anstehenden Wasserdrucks anzusetzen. Zum Druckrand hin verläuft der Wasserdruck linear bis auf null bzw. bis zum am Druckrand anstehenden Wasserdruck. Der Wasserdruck am Druckrand darf jedoch nur angesetzt werden, wenn er ständig vorhanden ist, da er die Druckspannung vermindert.

In der klaffenden Fuge von unbewehrten Betonbauteilen sowie in der Zugzone von Stahlbetonbauteilen ist der volle hydrostatische Wasserdruck anzusetzen.

Es ist dabei unbedingt zu berücksichtigen, dass eine klaffende Fuge auch infolge des inneren Wasserdrucks auftreten kann, obwohl aus den äußeren Lasten nur Druckspannungen im Querschnitt entstehen.

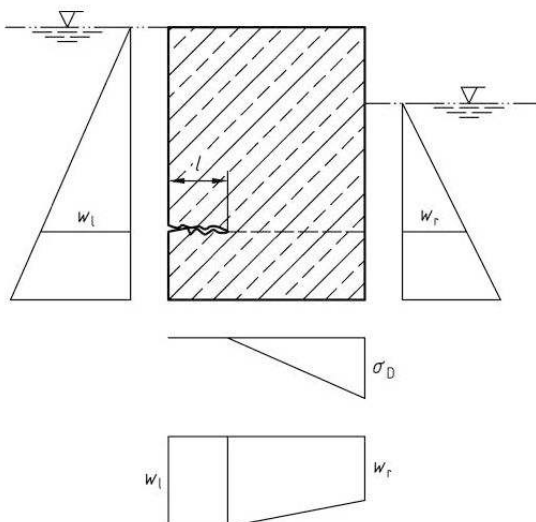


Bild 1: Ansatz des Wasserdrucks im Inneren von Bauteilen nach DIN 19702 [6]

a) Stahlbetonquerschnitte

Für die Biegebemessung von Stahlbetonbauteilen steht in der DIN 19702 eine einfache Formel zur Ermittlung der am Zugrand zusätzlich erforderlichen Biegebewehrung infolge des inneren Wasserdrucks zur Verfügung. Diese gilt für einseitig bewehrte Rechteckquerschnitte, ist aber gemäß Merkblatt TbW näherungsweise auch für beidseitig bewehrte Querschnitte anwendbar.

Gleichung (1) in DIN 19702: zusätzlich erforderliche Bewehrung infolge inneren Wasserdrucks:

$$\Delta A_s = \alpha_w \cdot h_w \cdot h \cdot b \cdot 100 \cdot \frac{\gamma_F}{f_{yd}}$$

Ansätze für Stahlbetonquerschnitte unter Querkraft- und Ermüdungsbeanspruchungen sind in DIN 19702 nicht vorhanden. Diese können unter Anwendung der im Merkblatt TbW angegebenen Näherungsansätze für die Verteilung des inneren Wasserdrucks nachgerechnet werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der innere Wasserdruck im Ermüdungsnachweis ggf. günstig wirken kann und in diesem Fall vernachlässigt werden soll.

b) unbewehrte Querschnitte

Für die Bemessung von Bauteilen aus unbewehrtem Beton und Mauerwerk enthält die DIN 19702 Gleichungen, die dem zuvor erwähnten Ansatz von Lieckfeldt entsprechen.

Gleichung (5) in DIN 19702: Tiefe der Druckzone unter Berücksichtigung des inneren Wasserdrucks:

$$\frac{x_{wd}}{h} = 3 \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{e_d/h}{1 - \bar{\sigma}_{wd}} \right)$$

Gleichungen (6) und (7) in DIN 19702: Bemessungsschnittgrößen unter Berücksichtigung des inneren Wasserdrucks:

$$N_{wd} = \left(1 - \bar{\sigma}_{wd} \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{x_{wd}}{h} \right) \right) \cdot N_d$$

$$M_{wd} = \frac{1}{1 - \bar{\sigma}_{wd}} \cdot \frac{N_{wd}}{N_d} \cdot M_d$$

Da die Gleichung für die Bemessungsnormalkraft unter Berücksichtigung des inneren Wasserdrucks N_{wd} nur für einseitig anstehenden Wasserdruck gültig ist, gibt das Merkblatt TbW ergänzend die aus einer älteren Ausgabe der DIN 19702 (Ausgabe 1966) stammende Gleichung zur Ermittlung der Randspannungen bei beidseitig anstehendem Wasserdruck an. Aus der absoluten Randspannung kann die effektive Betondruckspannung ermittelt werden.

Gleichungen (8) in TbW: absolute Randspannung und effektive Betondruckspannung bei beidseitig anstehendem Wasserdruck:

$$\sigma_{abs} = \gamma_{F1} \cdot p_{w1} + \frac{4}{3} \cdot \frac{(N_d - h \cdot \gamma_{F1} \cdot p_{w1})^2}{h \cdot (N_d - h \cdot \gamma_{F1} \cdot p_{w1}) - 2 \cdot N_d \cdot e_d}$$

$$\sigma_{cd} = \sigma_{abs} - \gamma_{F2} \cdot p_{w2}$$

Die o.g. Gleichung für die Berechnung der Druckzonentiefe $\frac{x_{wd}}{h}$ in DIN 19702 gilt dagegen sowohl für ein- als auch für beidseitigen Wasserdruck. Dennoch ist bei ihrer Anwendung Vorsicht geboten, da bestimmte Anwendungsgrenzen zu beachten sind.

Bild 2 stellt die drei voneinander abhängigen Größen bezogene Ausmitte $\frac{e_d}{h}$, bezogener Wasserdruck $\bar{\sigma}_{wd}$ und bezogene Druckzonentiefe $\frac{x_{wd}}{h}$ in einem 3D-Diagramm dar. e_d ist hierbei als Exzentrizität unter Bemessungslasten, jedoch ohne Riss- und Porenwasserdruck zu verstehen. Der Wertebereich ist zur besseren Veranschaulichung weit gefasst.

Das Schaubild zeigt deutlich, dass die mathematische Funktion nicht stetig ist, was sich durch die Lücke im Diagramm ausdrückt.

Es ist daher erforderlich, die Anwendungsgrenzen der Gleichung zu definieren und diese bei der Nachrechnung zu berücksichtigen, um Rechenfehler im Nachweis zu vermeiden.

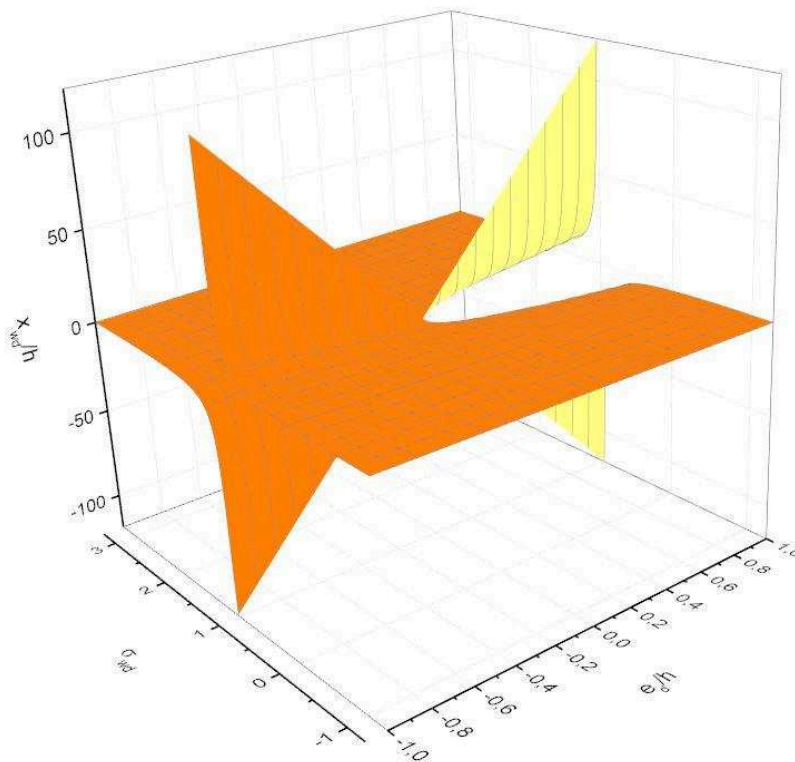


Bild 2: Darstellung der bezogenen Druckzonentiefe $\frac{x_{wd}}{h}$ in Abhängigkeit von bezogener Ausmitte $\frac{e_d}{h}$ sowie bezogenem Wasserdruck $\bar{\sigma}_{wd}$

5 Anwendungsgrenzen

In einem weiteren Diagramm (Bild 3) wird nur noch der Ausschnitt des vorigen Wertebereichs betrachtet, der für die Betrachtung unter realen Verhältnissen relevant ist. Die auf die Querschnittshöhe bezogene Ausmitte $\frac{e_d}{h}$ liegt zwischen 0 (Resultierende aus äußeren Lasten im Schwerpunkt) und 0,5 (Resultierende aus äußeren Lasten am Bauteilrand). Der bezogene Wasserdruck $\bar{\sigma}_{wd}$ beschreibt das Verhältnis des als Auftriebskraft wirkenden Wasserdrucks zu der aus äußeren Lasten resultierenden Normalkraft und liegt zwischen 0 (kein Wasserdruck) und 1,0.

Gleichung (4) in DIN 19702: bezogener Wasserdruck:

$$\bar{\sigma}_{wd} = \frac{W_d}{N_d} = \frac{\sigma_{wd} \cdot b \cdot h}{N_d}$$

Die Wertebereiche für die bezogene Druckzonentiefe $\frac{x_{wd}}{h}$ sind im Diagramm mehrfarbig dargestellt.

1. Im grünen Bereich ist der Querschnitt völlig überdrückt. Rechnerisch ergeben sich Werte für die bezogene Druckzonentiefe größer als 1,0 ($\frac{x_{wd}}{h} > 1,0$). Bei der nachfolgenden Bemessung ist mit 1,0 weiterzurechnen, da die Tiefe der Druckzone durch die Querschnittshöhe begrenzt wird.
2. Für den roten Bereich ergibt sich rechnerisch eine bezogene Druckzonentiefe kleiner als 0 ($\frac{x_{wd}}{h} < 0$). Es ist damit keine Druckzone vorhanden, der Querschnitt ist nicht im Gleichgewicht. Es können keine Nachweise erbracht werden.
3. Der gelbe Bereich erfordert besondere Aufmerksamkeit, da rechnerisch zwar eine bezogene Druckzonentiefe größer als 1,0 ($\frac{x_{wd}}{h} > 1,0$) resultiert, jedoch auch der bezogene Wasserdruck größer als 1,0 wird ($\bar{\sigma}_{wd} > 1,0$). Dadurch reißt der Querschnitt auf und es ist keine Standsicherheit gegeben. Die Gleichung ist für den Sonderfall $\bar{\sigma}_{wd} > 1,0$ nicht anwendbar!
4. Der graue Bereich stellt den Wertebereich dar, für den die Gleichung ohne Einschränkungen anwendbar ist. Die resultierenden Werte für die bezogene Druckzonentiefe zwischen 0 und 1,0 können direkt in die Nachweise übernommen werden ($0 < \frac{x_{wd}}{h} \leq 1,0$).

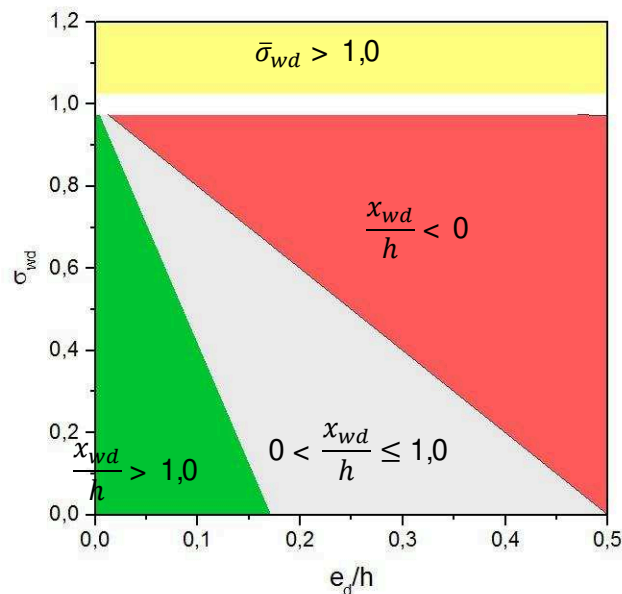


Bild 3: Darstellung der Wertebereiche für die bezogene Druckzonentiefe $\frac{x_{wd}}{h}$ in Abhängigkeit von bezogener Ausmitte $\frac{e_d}{h}$ sowie bezogenem Wasserdruck $\bar{\sigma}_{wd}$

6 Fazit

Der normgemäße Ansatz von Riss- und Porenwasserdruck bei Massivbauwerken im Wasser ist auf den Ansatz von Lieckfeldt zurückzuführen, der durch den Ausschluss der Zugfestigkeit des Betons bzw. Mauerwerks sowie durch den Ansatz des vollen Wasserdrucks im Riss bis zur Risspitze auf der sicheren Seite liegt. Die Angaben der DIN 19702 werden im Merkblatt TbW für weitere Berechnungsfälle und Nachweise ergänzt.

Bei der Anwendung der Gleichung zur Berechnung der bezogenen Druckzonentiefe ist zu beachten, dass Anwendungsgrenzen bestehen, die im Nachweis berücksichtigt werden müssen.

7 Literatur

- [1] Lieckfeldt (1898): Die Standfestigkeit von Staumauern mit offenen Lagerfugen. In: Zentralblatt der Bauverwaltung Nr. 9, S. 105-111.
- [2] Kiel (1889): Zur Berechnung von Wasserdruckmauern, insbesondere von Thalsperren. In: Zentralblatt der Bauverwaltung Nr. 42A, S. 397-398.
- [3] Fecht (1889): Über Staumauern. In: Zentralblatt der Bauverwaltung Nr. 47A, S. 443-444.
- [4] Kunz, Claus (2010): DIN 19702 – Die Norm für massive Wasserbauwerke. In: Bautechnik Heft 12/2010, S.806-809.
- [5] DIN 19702:1966-10. Massivbauwerke im Wasserbau – Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit. Fachnormenausschuss Wasserwesen im DIN. Beuth Verlag, Berlin.
- [6] DIN 19702:2013-02. Massivbauwerke im Wasserbau – Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit. Normenausschuss Wasserwesen im DIN. Beuth Verlag, Berlin.
- [7] BAW (2015): Merkblatt: „Bewertung der Tragfähigkeit bestehender, massiver Wasserbauwerke (TbW)“ (Entwurf April 2015).