

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Fäcke, A.; Schlüter, F. H.**

## **Tragfähigkeitsbewertung der Schleuse Uelzen 1 mit nicht-linearen Methoden**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102226>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Fäcke, A.; Schlüter, F. H. (2014): Tragfähigkeitsbewertung der Schleuse Uelzen 1 mit nicht-linearen Methoden. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Berechnungen und Analysen für bestehende Wasserbauwerke. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 58-63.

### **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.



## Tragfähigkeitsbewertung der Schleuse Uelzen 1 mit nicht-linearen Methoden

Dr.-Ing. A. Fäcke, Dr.-Ing. F.H. Schlüter (SMP Ingenieure im Bauwesen GmbH, Karlsruhe)

### Aufgabenstellung

Die Schleuse Uelzen I ist eines von zwei Abstiegsbauwerken des Elbe-Seitenkanals, das in den Jahren 1970 bis 1974 errichtet wurde. Seit ihrer Errichtung wurden mehrfach die Verformungen der Kammerwände gemessen. Bei der Auswertung der Messungen zeigte sich neben den elastischen Verformungen zwischen den Lastfällen Unterwasser und Oberwasser sowie den saisonalen, temperaturbedingten Verformungen eine Zunahme bleibender Verformungen. Die Zunahme dieser Verformungen nahm jedoch im Laufe der Jahre tendenziell ab.

### Frühere Untersuchungen - Modellierung

Schon im Jahr 1995 wurden in unserem Hause (damals Prof. Eibl + Partner GbR) Berechnungen durchgeführt, um zu untersuchen, ob die bleibenden Verformungen auf eine im Laufe der Zeit zunehmende Rissbildung in der Rahmenecke des Kammertroges zurückzuführen waren oder ob ein Nachgeben der Bettung im Baugrund die Ursache war. Hierfür wurde ein repräsentativer Querschnitt des Blocks 6 der Schleuse Uelzen I mit Hilfe eines 2D-Scheibenmodells abgebildet. Die Schleuse wurde dabei sehr detailliert modelliert mit diskreter Abbildung des Betons und der Bewehrung. Bei den Untersuchungen vor 20 Jahren war die Rechenleistung im Vergleich zu heute sehr begrenzt. Daher mussten in der Modellierung Vereinfachungen getroffen werden. Dies erfolgte insbesondere bei der Interaktion mit dem Baugrund, der lediglich als elastische Bettung berücksichtigt wurde. Die durchgeführten Untersuchungen hatten ergeben, dass zum damaligen Zeitpunkt keine Bedenken bzgl. der Standsicherheit bestanden, die Ursachen für die zunehmenden bleibenden Verformungen konnten jedoch nicht hinreichend geklärt werden.

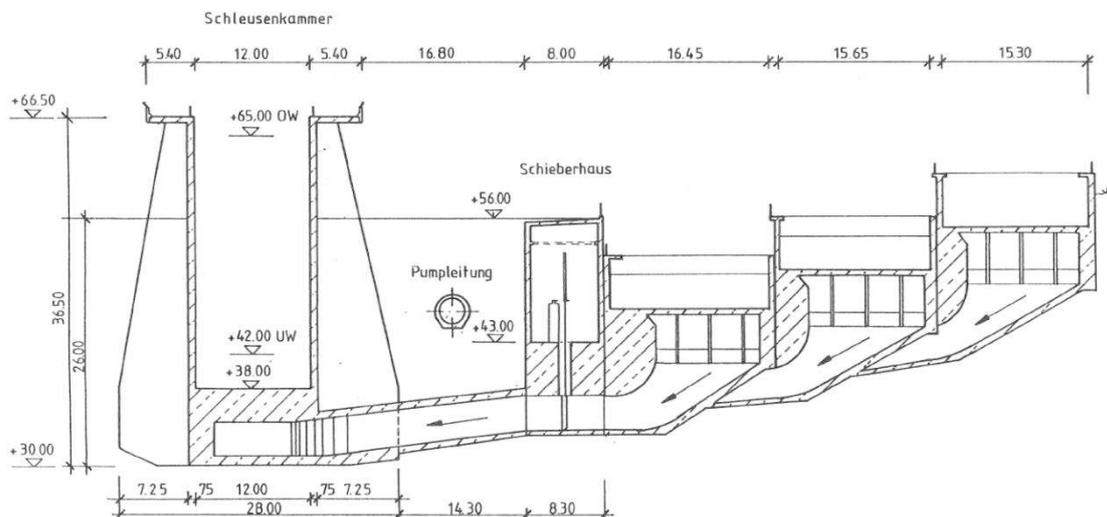


Bild 1: Querschnitt der Schleuse Uelzen 1 mit Schieberhaus und Sparbecken

## Aktuelle Untersuchungen - Modellierung

Nach der bauaufsichtlichen Einführung der Eurocodes wurde unser Büro SMP Ingenieure im Bauwesen GmbH erneut beauftragt, Berechnungen an der Schleuse Uelzen 1 auf Grundlage der aktuellen Regelwerke durchzuführen. Damit sollte bei den nichtlinearen Berechnungen nun das aktuelle Sicherheitskonzept mit Teilsicherheitsfaktoren berücksichtigt werden. Die Umsetzung dieser Aufgabe erfolgte in Anlehnung an das nichtlineare Nachweisverfahren des nationalen Anhangs der DIN EN 1992-1-1 (Eurocode 2). Mit der gestiegenen Rechenleistung und der Weiterentwicklung der numerischen Methoden konnte nun der Detaillierungsgrad deutlich erhöht werden. Im Unterschied zu den bisherigen Berechnungen wurde der Baugrund jetzt als Kontinuum abgebildet und die benachbarten Bauwerke näherungsweise erfasst (s. Bild 2). Alle maßgebenden materiellen Nichtlinearitäten, wie plastische Verformungen im Druckbereich sowie Rissbildung im Beton, Fließen der Bewehrung, plastische Verformungen im Boden und Kontakt mit Reibung zwischen Schleusenwand und Baugrund wurden im Berechnungsmodell berücksichtigt. Außerdem wurde die 3D-Tragwirkung im Bereich der Rippen im aktuellen 2D-Modell genauer abgebildet. Für die Berechnungen wurde das FE-Programm Abaqus/Standard von Simulia verwendet.

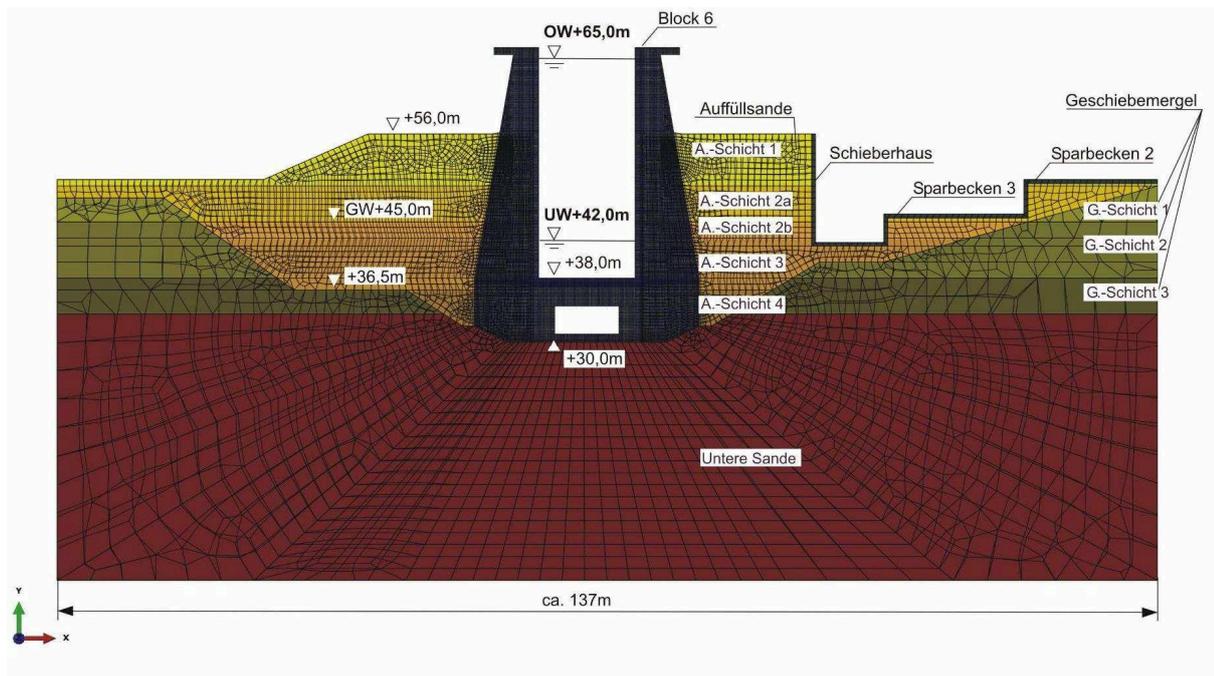


Bild 2: Gesamtmodell der Schleusenammer (Block 6) mit Baugrund und Nebengebäuden.

Für eine realitätsnahe Erfassung der Erddruckverteilung über die Höhe der Schleusenammer wurden die maßgebenden Bauzustände berücksichtigt. Hierzu wurde die Schleuse zunächst in die offene Baugrube eingesetzt und der Aushub dann lagenweise im Modell hinzugefügt. Nach jeder Modelländerung wurden so viele Berechnungsschritte durchgeführt, bis das Gleichgewicht im Modell erreicht wurde. In Bild 3 sind exemplarisch vier der acht berücksichtigten Bauzustände dargestellt. Die Wirkung des Wassers wurde als hydrostatischer Druck an den Innenseiten der Kammerwände im Modell angesetzt.

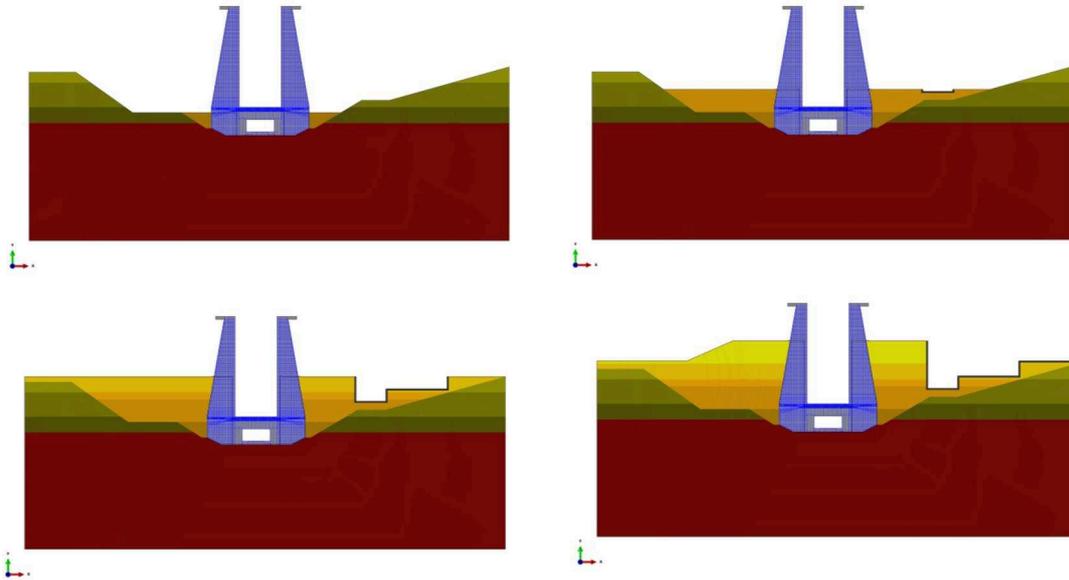


Bild 3: Vier der insgesamt acht berücksichtigten Bauzustände.

### Überprüfung der Modellierung

Bei komplexen nichtlinearen Berechnungen ist es unabdingbar, das Modell auf Plausibilität hin zu überprüfen und soweit möglich an der Realität zu kalibrieren. Hierfür konnten die an den Kammerwänden durchgeführten Verformungsmessungen zwischen den Lastzuständen Unter- und Oberwasser herangezogen werden. Der mit dem Modell berechnete Wechsel zwischen Ober- und Unterwasser ergab zunächst eine Verformung von 63 mm, während die gemessenen Verformungen mit 56 mm etwas darunter lagen. Zur Kalibrierung des Modells wurde die Bodensteifigkeit angepasst, da die Bodenkennwerte naturgemäß die größte Streuung aufweisen. Nach einer Erhöhung der Baugrundsteifigkeit um ca. 30% wurden die gemessenen Verformungen auch im Rechenmodell ungefähr erreicht. Anschließend wurde der berechnete Verlauf des Erddrucks zwischen Kammerwand und Baugrund mit den üblichen Erddruckansätzen nach DIN 4085 verglichen (Bild 4, links). Wie zu erwarten, liegt der Erddruck aufgrund der nachgiebigen Kammerwand zwischen dem aktiven Erddruck und dem Erdruhedruck. Die Verformung der Kammerwand wirkt sich insbesondere im oberen Bereich aus, weshalb der Erddruck dort teilweise sogar mit dem aktiven Erddruck übereinstimmt. Die Auswirkung der Verformungen der Schleusenwand auf den Boden erkennt man auch an den sich ausbildenden Erdkeilen mit Plastifizierungen (Bild 4, rechts).

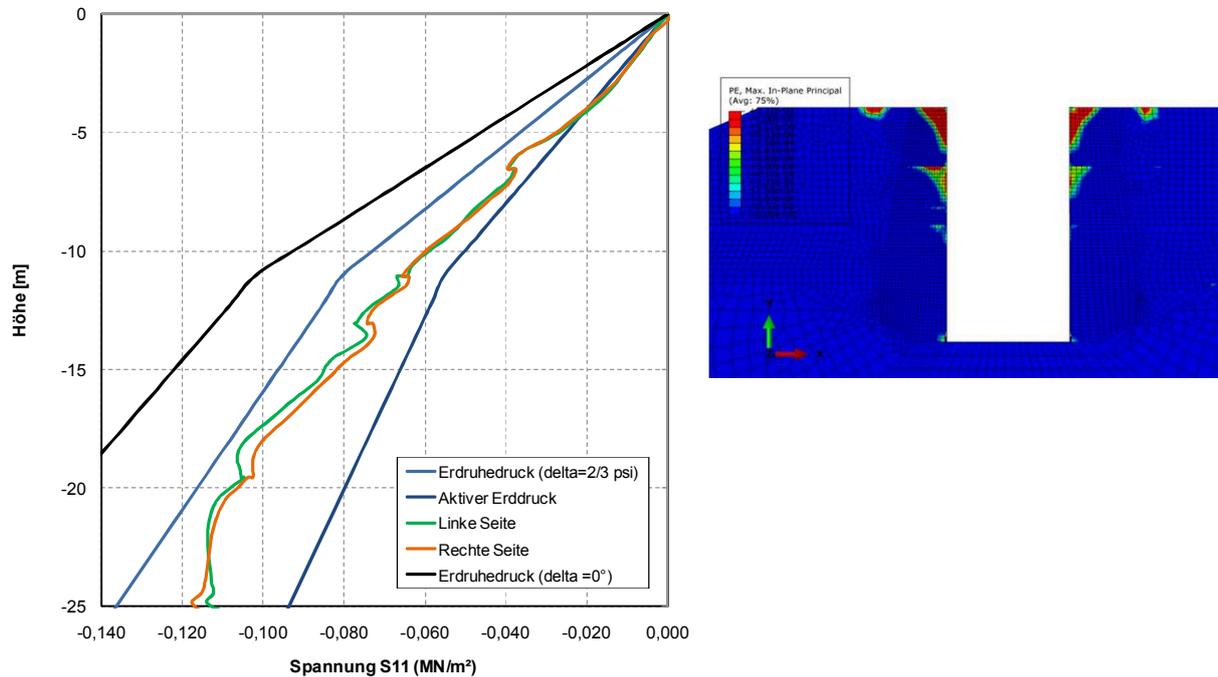


Bild 4: Vergleich zw. numerisch ermitteltem Erddruck bei UW und dem aktiven Erddruck sowie dem Erdruchdruck nach DIN 4085 (links); Detail des Bodens im Modell mit plastifizierten Erdkeilen an den oberen beiden Bodenschichten (rechts).

### Auswahl und Durchführung der Nachweise

Neben den üblichen Nachweisen im Gebrauchszustand und im Grenzzustand der Tragfähigkeit wurden Ermüdungsnachweise geführt und der Einfluss der saisonalen Temperaturlasten untersucht. Zur Kontrolle wurden neben den Nachweisen am nichtlinearen Gesamtmodell auch Nachweise an ausgewählten Querschnitten geführt. Hierfür wurden die Schnittgrößen durch Intergration der Spannungen in den betrachteten Schnitten des Gesamtmodells ermittelt und mit Hilfe von Bemessungsprogrammen auf Querschnittsebene kontrolliert. Zusätzlich wurden Berechnungen mit Laststeigerungen bis zum Versagen geführt, um vorhandene Tragreserven abschätzen zu können.

Für die Nachweise im Gebrauchszustand wurde das Modell zunächst mit den Bauzuständen initialisiert und dann solange im Wechsel mit Unterwasser und Oberwasser belastet, bis sich ein stabiliertes Rissbild einstellte. Erst danach wurden die im vorigen Kapitel genannten Plausibilitätskontrollen, die Nachweise im Gebrauchszustand und die Ermüdungsnachweise geführt. Bei dem gewählten Vorgehen für die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit werden alle auf die Schleuse einwirkenden Lasten mit Teilsicherheitsfaktoren beaufschlagt. Der Erddruck wirkt bei Unterwasser als äußere Last destabilisierend und damit ungünstig und bei Oberwasser stabilisierend in Form einer elastischen Bettung und damit günstig. Entsprechend muss die Wirkung des Baugrundes mit Teilsicherheitsbeiwerten erhöht oder abgemindert werden. Diese Erhöhung oder Abminderung kann im Rechenmodell nicht realisiert werden, wenn der den Erddruck erzeugende Baugrund im Modell direkt abgebildet wird. Aus diesem Grund wurden diese Berechnungen in Ab-

sprache mit der BAW wie folgt durchgeführt: Zunächst wurde am initialisierten Modell mit stabilisierten Rissbild der an der Schleusenwand wirkende Erddruck ausgelesen. Danach wurden die Finiten Elemente der Baugrund-Auffüllung im Modell deaktiviert und gleichzeitig die Wirkung des deaktivierten Bodens durch einen entsprechenden Druckkraftverlauf an der Schleuse und auf den nun freiliegenden Baugrund ersetzt. Im Idealfall befindet sich das Modell danach im Gleichgewicht ohne jegliche Verformungen. Im Anschluss daran können alle Lasten inklusive des Baugrundes mit entsprechenden Teilsicherheitsfaktoren multipliziert werden. Dabei ergeben sich komplexe Lastfallkombinationen, da Teile des Erddrucks, die aus dem Eigengewicht des Bodens resultieren, mit dem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_G=1,35$  und andere aus Verkehr auf dem Baugrund mit  $\gamma_G=1,5$  zu erhöhen sind. Für den maßgebenden Belastungszustand Unterwasser wurde beispielsweise folgende Kombinationsvorschrift angesetzt:

$$\lambda [1,0G + 0,8UW + 1,35GW + 1,5P_{\text{Zug}} + 1,35E_{UW0V} + 1,5 (E_{UWmV} - E_{UW0V})]$$

mit der stabilisierenden Wirkung des Eigengewichts  $G$  der Schleuse, dem Wasserdruck  $UW$ , dem Druck aus Grundwasser  $GW$ , dem Pollerzug  $P_{\text{Zug}}$ , dem Erddruckanteil aus Unterwasser ohne Verkehr  $E_{UW0V}$  und dem Erddruckanteil aus Unterwasser mit Verkehr  $E_{UWmV}$ . Der Faktor  $\lambda$  in der Kombinationsvorschrift stellt den einheitlichen Teilsicherheitsfaktor auf der Widerstandsseite dar. Dieser wurde im Grenzzustand der Tragfähigkeit mit 1,3 angesetzt.

### **Zusammenfassung der Ergebnisse und Traglastreserven**

Sowohl die Nachweise im Gebrauchszustand als auch die Ermüdungsnachweise sowie die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit konnten erbracht werden. Die vergleichenden Nachweise auf Querschnittsebene zeigten eine gute Übereinstimmung zu den globalen Nachweisen. Zur Abschätzung vorhandener Tragreserven wurde der  $\lambda$ -Wert solange erhöht, bis einer der Grenzzustände nach DIN EN 1992-1-1/NA erreicht wurde. Als Grenzzustand werden ein Überschreiten der Dehnung von 25‰ in der Bewehrung, ein Unterschreiten der Dehnung von -3,5‰ im Beton oder das Erreichen eines „kritischen Zustandes des indifferenten Gleichgewichts“ im Gesamtsystem oder in Teilen davon definiert. Die Berechnungen haben gezeigt, dass für den Belastungszustand Oberwasser einer der Grenzzustände mit  $\lambda = 2,0$  früher erreicht wird als bei Unterwasser. Während die Dehnungen in der Bewehrung noch deutlich unter dem Grenzwert von 25‰ liegen, überschreitet die Druckdehnung im Beton -2‰ (Bild 5). Da die angenetzte Spannungs-Dehnungs-Beziehung für Beton ab  $\varepsilon_{c1} = 2,25$  den abfallenden Ast erreicht, tritt ein indifferentes Gleichgewicht auf.

Somit konnte eine Tragreserve über den Grenzzustand der Tragfähigkeit von

$$\eta = 2,0 / 1,3 = 1,5$$

ermittelt werden.

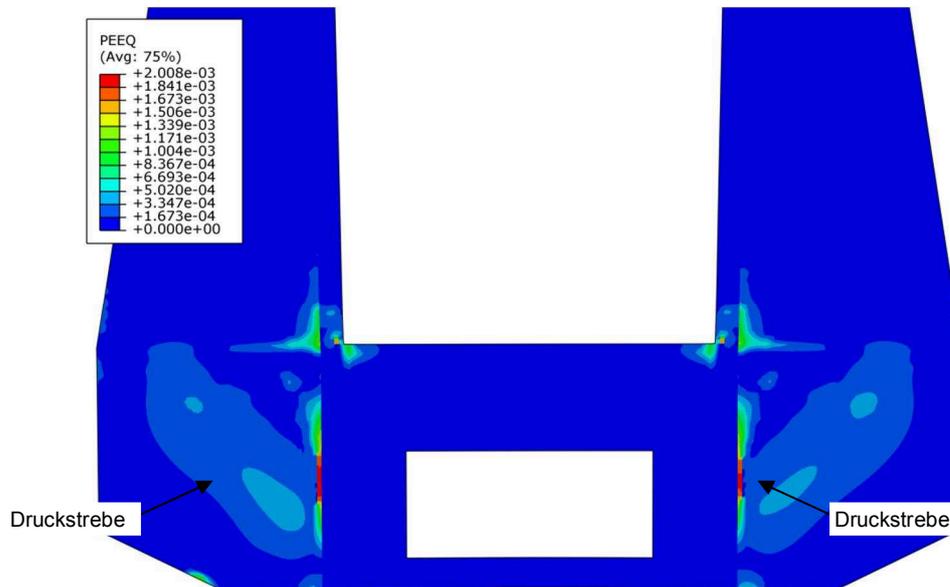


Bild 5: Plastische Dehnungen im Beton der Schleuse bei OW und  $\lambda = 2,0$ .

## Literatur

- [1] DIN EN 1992-1-1:2011-01 - Eurocode 2 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- [2] DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01 - Eurocode 2 - Nationaler Anhang
- [3] Gutachten: Finite Element Studien zu den Verformungen der Kammerwände der Schleuse Uelzen. Prof. Eibl + Partner GbR, 26. Juli 1995
- [4] Gutachten: Ergänzende Finite Element Studien zu den Verformungen der Kammerwände der Schleuse Uelzen. Prof. Eibl + Partner GbR, 28. Mai 1996.
- [5] Gutachten: Bewertung der Standsicherheit der Schleuse Eibach unter Verwendung nichtlinearer Berechnungsmethoden. Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) Karlsruhe - Hamburg - Ilmenau, 06.03.2007.