



Einsatz der FEM beim Bau von Schleusen – einige Anmerkungen

Dr.-Ing. Radu Schwab und Dipl.-Ing. Regina Kauther, BAW Karlsruhe, Abteilung Geotechnik

1 Einleitung

In den letzten beiden Jahrzehnten ist beim Bau von Schleusenbauwerken ein immer stärkerer und umfassenderer Einsatz der Finite-Element-Methode (FEM) bei der Lösung geotechnischer Fragestellungen zu beobachten. Dabei lassen sich vor allen Dingen drei Einflüsse benennen, die den Einsatz der FEM forciert haben. Diese sind:

- Viele Schleusenbauwerke werden „im Bestand“ erstellt
- Fragestellungen des Massivbaus lassen sich durch die Berechnung der Boden- Bauwerks- Interaktion „mitbeantworten“ und
- Die neue Normung, d.h. die Anwendung des Teilsicherheitskonzepts, wirkt sich auf die Lastansätze aus.

Aufgrund der ständigen Weiterentwicklung der FEM bietet sich gleichzeitig an, auch bei noch offenen Fragestellungen, wie zum Beispiel der Einfluss des zyklischen Belastungsregimes auf die Größe des Erddrucks, nach numerischen Lösungen zu suchen.

Die im vorliegenden Artikel benannten Schleusenbauwerke sind ausgewählte Beispiele aus der Tätigkeit der BAW. Der Artikel bietet damit keine vollständige Übersicht über die Anwendung der FEM bei der Erstellung von Schleusenbauwerken.

2 Einsatz der FEM beim Bau von Schleusen

2.1 Erstellung von Schleusenbauwerken im Bestand

In vielen Fällen befinden sich bestehende Schleusenbauwerke und/oder Bauwerke anderer Verkehrsträger wie Auto- oder Eisenbahnbrücken in unmittelbarer Nachbarschaft des Neubaus. Beispiele für solche Schleusenbauwerke sind

- Die Schleuse Uelzen II am Elbe-Seitenkanal, die neben der vorhandenen Schleuse Uelzen I liegt. Andere Schleusen mit gleicher Bausituation sind zum Beispiel die neue Weserschleuse in Minden sowie die Schleusen Münster, Bolzum und Dörverden.
- Die Schleuse Charlottenburg, deren Schleuseneinfahrtbereich sich unter einem Brückenfeld mit einer Spannweite von ca. 80 m befindet
- Die Schleuse Sülfeld, bei der es erforderlich war, den Einfluss der Schleusenbaumaßnahme auf mehrere benachbarte bauliche Anlagen (Sparbecken der Nordschleuse, Pumpenhaus und Eisenbahnbrückenwiderlager der ICE-Schnellbahntrasse Hannover - Berlin) zu untersuchen.
- Die Schleuse Bamberg am Rhein-Main-Donaukanal, deren Sanierung bei laufendem Schleusenbetrieb erfolgt, wobei sich das Beanspruchungsniveau für die Kammerwand der bestehenden Schleuse nicht erhöhen soll

In allen diesen Fällen war es wichtig, eine Anfangsprognose zu erstellen, auf der Grundlage der prognostizierten Werte ein baubegleitendes Messsystem zu erarbeiten und die Prognose mithilfe der ausgewerteten Messergebnisse laufend zu verbessern. Diese Vorgehensweise bietet die Möglichkeit, auch auf ungewöhnliche Messergebnisse reagieren. Als Beispiel sind in Bild 1 die Schleusen Uelzen I und II zusammen mit dem Messsystem dargestellt. Bild 2 enthält zwei Diagramme. Das Diagramm auf der linken Seite zeigt die anfängliche und die verbesserte Prognose für die Hebungen, das Diagramm rechts die horizontalen Verformungen der Baugrubenwand im Vergleich. Zu erkennen ist, dass hier die Hebungen schon mit der anfänglichen Prognose sehr gut erfasst wurden, während aufgrund der Messergebnisse für die horizontalen Verformungen eine Anpassung des Steifigkeitsparameters für den Geschiebemergels erforderlich war.

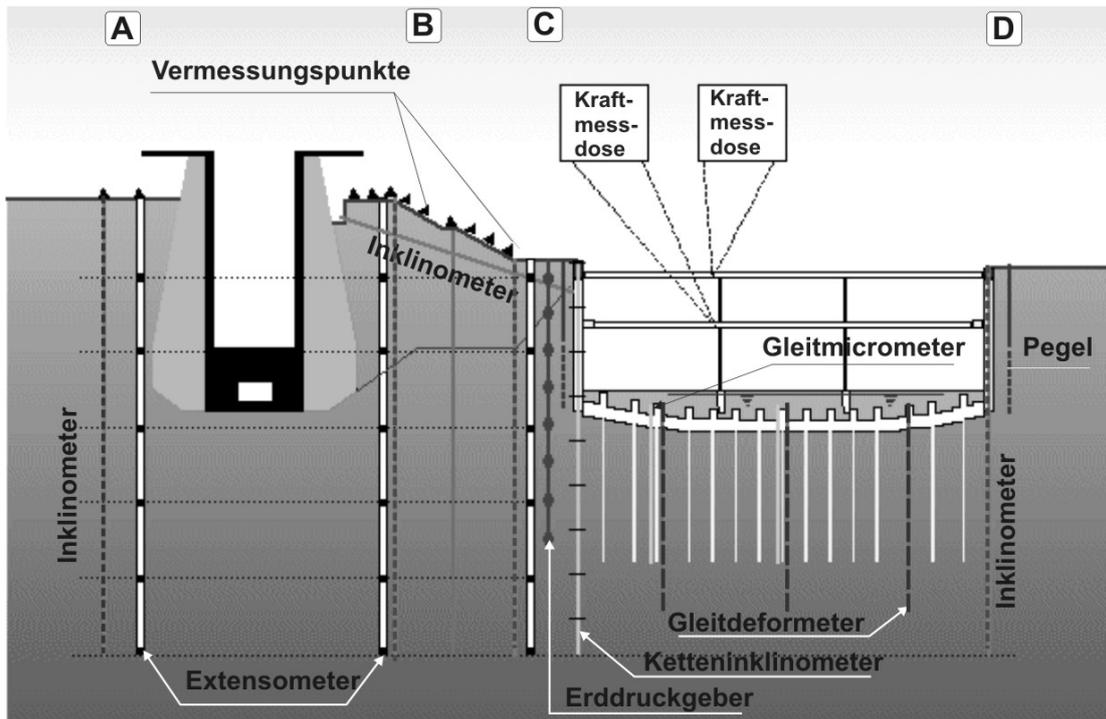


Bild 1: Schleusen Uelzen I und II - Messquerschnitt

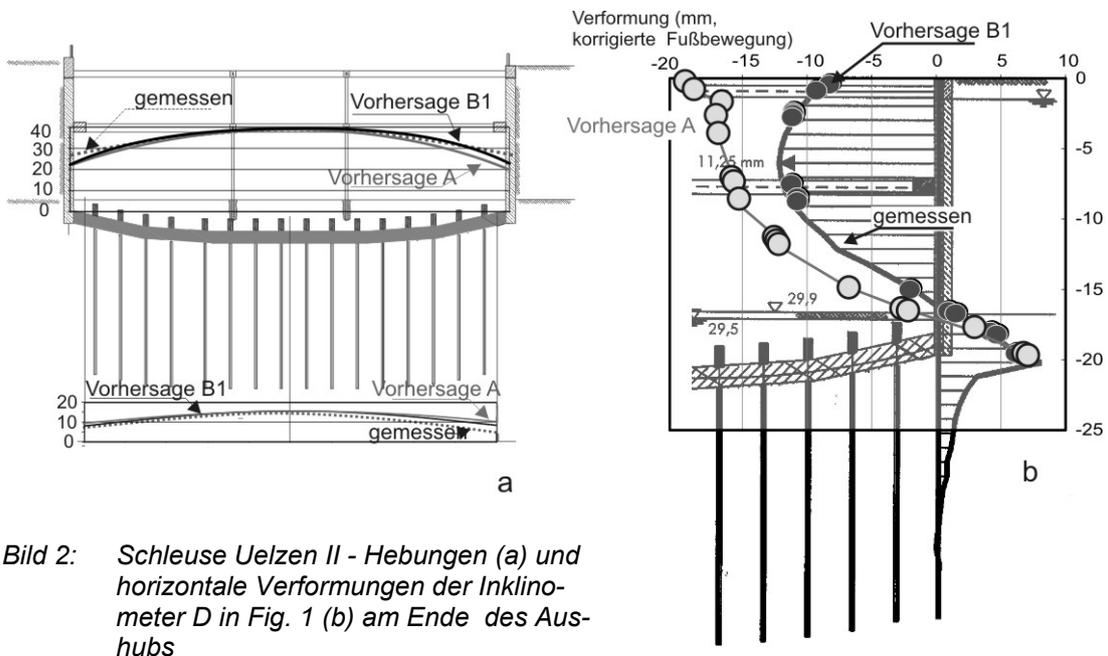


Bild 2: Schleuse Uelzen II - Hebungen (a) und horizontale Verformungen der Inklinometer D in Fig. 1 (b) am Ende des Ausschubs

2.2 Einsatz der FE- Berechnungen für die Bemessung von Schleusensohlen

Zu den typischen geotechnischen Fragestellungen beim Bau von Schleusen gehört die Ermittlung der (zeitabhängigen) Setzungen des fertig gestellten Schleusenbauwerks. Sofern Raumfugen in der Sohle

oder in den aufgehenden Kammerwänden vorhanden sind, lassen sich mithilfe der berechneten Setzungen die Öffnungsweiten der Fugen ermitteln und die erforderlichen Fugenbandgrößen dimensionieren. Für den Fall der zunehmend in der WSV angewendeten monolithischen Bauweise der Sohle bzw. des gesamten Schleusenbauwerks kann zur Bemessung der Sohle die Bettungszifferverteilung aus der Verformungen berechnet werden.

Für die Schleuse Hohenwarthe am Elbe-Havel-Kanal war die Ermittlung der Setzungen Gegenstand einer Machbarkeitsstudie, bei der die zu Beginn geplante Pfahl-Plattengründung hinsichtlich ihrer technischen Machbarkeit untersucht wurde. Durch eine optimierte Anordnung der Pfähle unter den Kriterien Abstand, Länge und Durchmesser, sollten dabei sowohl die Setzungen als auch die Spannungen in der Bauwerkssohle minimiert werden. Parallel dazu wurde eine Flachgründung mit monolithischer Sohlplatte zur Vereinheitlichung der Setzungen und Minimierung der Fugenbewegungen in den aufgehenden Kammerwänden untersucht. Das verwendete dreidimensionale FE-Modell zeigt das Bild 3.

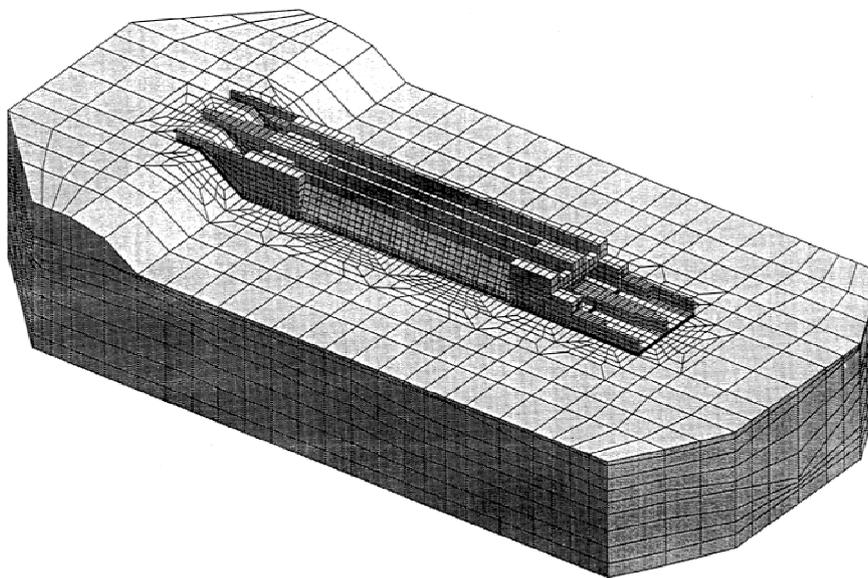


Bild 3: 3D-Modell für die Schleusenanlage Hohenwarthe (Darstellung: ARGE Schleusen Magdeburg, Juli 1997)

Gelegentlich besteht die Vorstellung einer direkten Vergleichbarkeit zwischen den Ergebnissen analytischer und numerischer Berechnungen. Es soll hier angemerkt werden, dass dies nur möglich ist, wenn die Randbedingungen des Problems sehr einfach sind. Analytische Berechnungen sollen im Vorfeld einer FE-Berechnung und/oder zu deren Plausibilisierung verwendet werden. Die Überprüfung einer FE-Berechnung erfolgt am besten mit entsprechenden Messungen im Zusammenhang mit der Herstellung des Bauwerks. Für die Prüfung einer FE-Berechnung in der Planungsphase bietet sich die Durchführung einer zweiten FE-Berechnung für ausgewählte Bereiche unter Anwendung des 4-Augen-Prinzips an.

2.3 Berechnung des Erddrucks auf Schleusenammerwände

Eine der wichtigsten geotechnischen Fragestellungen beim Bau von Schleusen ist die Ermittlung des Erddrucks. Bei der Anwendung der bis vor kurzem geltenden Normung wurden die Lastfälle, bei denen der Erddruck bemessungsrelevant war, in zwei Gruppen eingeteilt: Entweder wirkte der Erddruck belastend auf die Kammerwand oder stützend. Als Beispiel für diesen Ansatz sind in Bild 4 die Bemessungserddrücke für die Schleuse Sülfeld dargestellt.

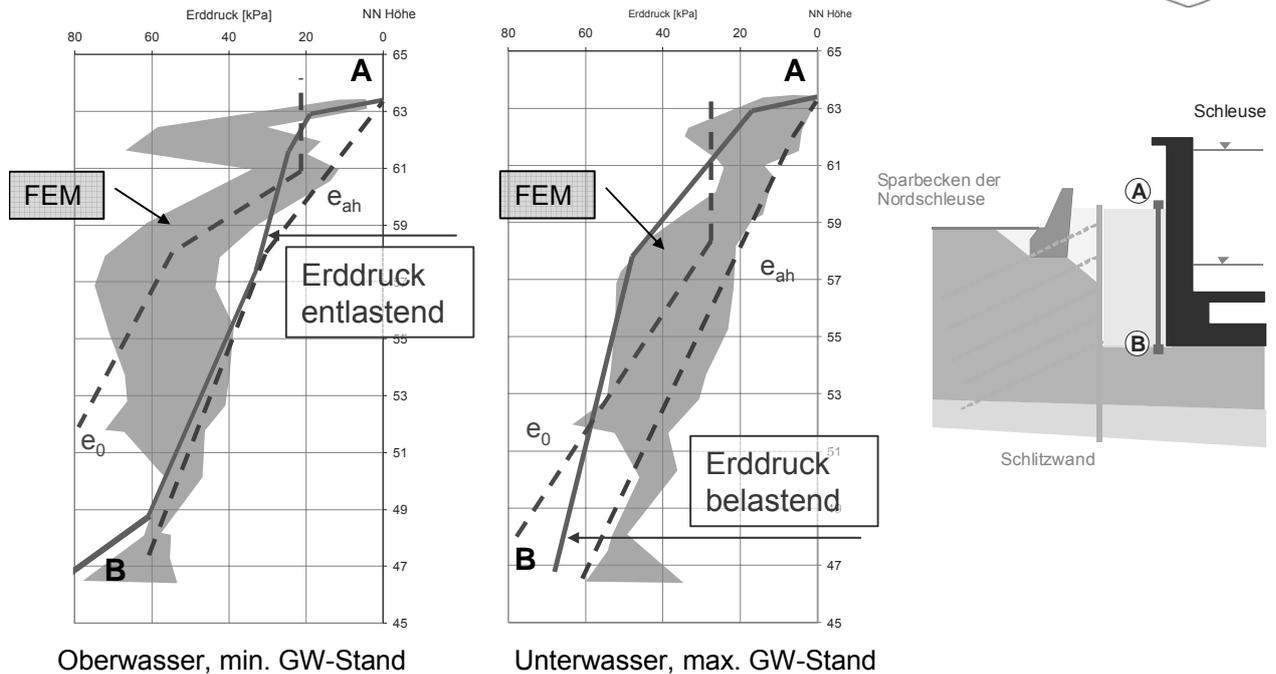


Bild 4: Bemessungserdrücke auf die Schleusenkamerwand der Schleuse Sülfeld

Mit der Neuformulierung der DIN 1055-100 (März 2001) „Einwirkungen auf Tragwerke“ wird auf der Grundlage entsprechender europäischer Vornormen (DIN V ENV 1991-1) auch in Deutschland das Nachweisverfahren unter Verwendung von Teilsicherheitsbeiwerten gefordert. Da verschiedene Einwirkungen wie Bodeneigengewicht, Beanspruchung aus Temperatur sowie Betriebs- und Grundwasserstände mit unterschiedlichen Teilsicherheitsbeiwerten beaufschlagt werden, müssen einem in der BAW entwickeltem Konzept folgend die entsprechenden Erdrückanteile für die Bemessung des Massivbaus getrennt bestimmt werden.

Die nachfolgend beschriebene Vorgehensweise wurde bisher bei den Schleusenbauten Bolzum, Wusterwitz, Dörverden und Minden angewendet.

Für die Ermittlung der maßgebenden Erdrückwirkungen wird zunächst ein Grundlastfall definiert. Im Grundlastfall werden für den Zustand des fertig gestellten Bauwerks die Erdrückverteilung bei ständig wirkendem (minimalen) Grundwasserstand hinter dem Bauwerk und dem ständig wirkenden Schleusenwasserstand (Unterwasserstand) berechnet. Danach werden weitere Lastfälle definiert, die aufbauend auf dem Grundlastfall jeweils eine weitere (nicht ständige) Einwirkung berücksichtigen.

Im Einzelnen werden folgende schleusen-typischen Lastfälle berechnet:

- Grundlastfall (bei ständig wirkendem Grundwasserstand und Schleuse auf Unterwasser)
- Betriebwasserstand in der Schleusenkamer auf Oberwasser
- Grundwasser im Hochwasserfall
- Temperatureinwirkung Sommer
- Temperatureinwirkung Winter
- Einwirkung aus Verkehrslasten

Für jede zusätzliche Einwirkung muss eine Neuberechnung des FE-Modells erfolgen. Die Differenzen zwischen den Erdrückverteilungen unter Berücksichtigung nicht-ständiger Lasten und der Erdrückverteilung des Grundlastfalls liefern die Differenz-erdrückverteilungen, die für die entsprechende Einwirkung gilt. Die Differenz-erdrücke können sowohl entlastend als auch belastend gegenüber der Erdrückverteilung des Grundlastfalls sein.

Die gesamte Erdrückwirkung für die maßgebenden Lastfallkombinationen bei der Bemessung wird durch die Überlagerung des Grundlastfalls mit den entsprechenden Differenzlastfällen gebildet (z.B.

Grundlastfall + Grundwasser bei HW + Temperatur Sommer). Die Zulässigkeit der Überlagerung der Ergebnisse aus den nichtlinear ermittelten Erddruckanteilen wird durch die Berechnung von Kombinationslastfällen überprüft.

Außer den Anforderungen, die aus der Normung an die Ermittlung des Erddrucks gestellt werden, ist es das Ziel der Ermittlung der Erddruckeinwirkung mit einer FE-Berechnung die Festlegung eines realitätsnahen Erddruckansatzes für die Kammerwände unter Berücksichtigung der Spannungsvorgeschichte sowie der Boden – und der Bauwerkssteifigkeiten.

Im Bild 5 ist exemplarisch die Ableitung der Ersatzfigur für den Lastfall „Temperatur Sommer“ dargestellt. Die Erddruckberechnungen wurden für den Neubau der Weserschleuse in Minden durchgeführt. Im linken Bild werden die Ergebnisse der FE-Berechnung (runde Symbole), die analytisch berechneten Erddruckverteilungen (durchgehende Linien) und die zusammengesetzte Ersatzfigur (quadratische Symbole) dargestellt. Im rechten Bild sind die Differenzspannungen zwischen den in der FE-Berechnung ermittelten Erddrücken für die Lastfälle „Grundlastfall“ und „Temperatur Sommer“ (runde Symbole) und die daraus abgeleitete Ersatzfigur (eckige Symbole) dargestellt. (Molck et al., 2007). Der Erddruckansatz wird üblicherweise im Lastenheft dokumentiert und ist damit neben seiner Verwendung in der Entwurfsplanung auch für die Ausführungsplanung verbindlich festgelegt.

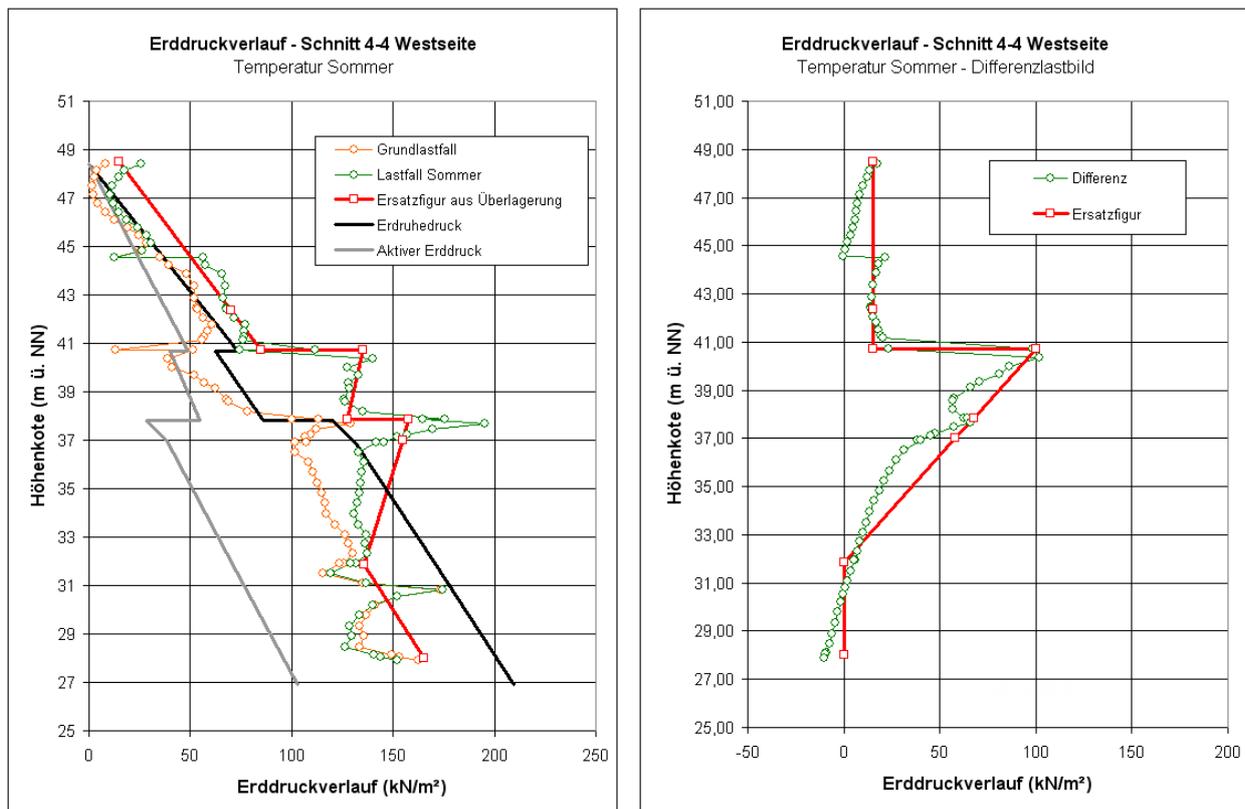


Bild 5: Ableitung der Ersatzfigur für den Lastfall „Temperatur Sommer“, Berechnungsschnitt 4-4 – Westseite Weserschleuse Minden (Darstellung RMD Consult GmbH, 2007)

3 FEM - spezifische Fragestellungen

3.1 Parameterermittlung und Auswahl von Stoffgesetzen

Die verstärkte Anwendung der FEM bei den Schleusenbauwerken hat auch die Praxis der vom Gutachter vorgegebenen Bodenparameter stark verändert. Während bei bekanntem Baugrundaufbau und Lasteinwirkung für die Anwendung der klassischen analytischen Verfahren doch mehr oder weniger die gleichen

Festigkeits- und Scherparameter verwendet werden konnten, ist es jetzt erforderlich, die in die FE-Berechnung eingehenden Parameter in Abhängigkeit vom Stoffgesetz zu erarbeiten. Dieses wiederum ist dem Boden und der geotechnischen Aufgabenstellung entsprechend zu wählen. Ebenso hat der Einsatz der FEM Auswirkungen auf die Baugrunderkundung und die Laborversuche.

Die jetzt üblicherweise angewendeten Kalibrierungsverfahren für die Ermittlung von FE-Parametern bestehen in der Nachrechnung von Laborversuchen und, falls möglich, in der Nachrechnung von Messungen an bestehenden Bauwerken (z.B. Schleusungen, Revisionslastfälle, etc.). Darüber hinaus können auch Ergebnisse von Feldversuchen mit einbezogen werden, insbesondere bei Bodenarten, die kaum eine ungestörte Probennahme erlauben oder bei Fels.

Als Beispiel für die Parameterermittlung ist im Bild 6 die Nachrechnung von zwei Triaxialversuchen für die Schleuse Wusterwitz dargestellt.

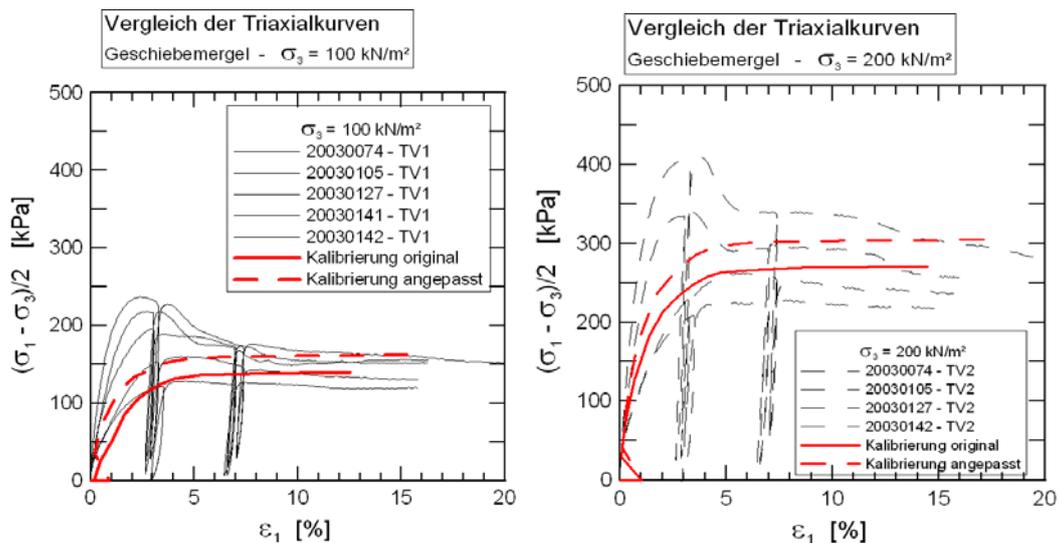


Bild 6: Kalibrierung der Kennwerte anhand von Triaxialversuchen am Beispiel der Schleuse Wusterwitz (Ott, 2006)

Die Anzahl der Stoffgesetze, die allein in kommerziellen Programmen zur Verfügung stehen, hat sich in den vergangenen Jahren ständig erweitert. Die Gründe dafür liegen darin, dass zunehmend im Bestand gebaut wird und damit die Anforderungen an die Modellierung hinsichtlich der Komplexität erheblich angestiegen sind. Derzeit werden bei den in der BAW begutachteten Schleusen elastisch-perfekt plastische Stoffgesetze (Mohr-Coulomb), Stoffgesetze mit spannungsabhängiger Steifigkeit (Hardening Soil in Plaxis oder Hypoplastizität), Stoffgesetze mit Berücksichtigung der kleinen Dehnungen wie Hardening Soil small strain oder Hypoplastizität mit intergranularen Dehnungen, RJM (Rock Jointed Model) und das Hoek-Brown Modell (HB) eingesetzt. Bei einigen dieser Stoffgesetze (HSsmall, Hoek Brown) hat die BAW bei der Entwicklung mitgewirkt.

Bei der Verwendung höherwertiger Stoffgesetze müssen auch zusätzliche Stoffparameter ermittelt werden, wie z.B. die Steifigkeit bei sehr kleinen Dehnungen G_0 . Diese können unter Einsatz geophysikalischer Messverfahren im Labor und in-situ ermittelt werden.

3.2 Modellierungstiefe, -aufwand

Die bereits beschriebene höhere Komplexität der Modelle erfordert in den meisten Fällen eine erheblich größere Modellierungstiefe und einen erweiterten Modellierungsaufwand. Ein Beispiel hierfür sind die 3D-Modelle (Bild 7), die früher eine Ausnahme darstellten und jetzt immer öfter zur Anwendung kommen. Diese Entwicklung wird natürlich auch durch die kontinuierlich vergrößerten Rechenkapazitäten ermöglicht. Die Kunst bei der Erstellung komplexer Modelle ist es jedoch weiterhin, die für die Bauwerk-Boden-

Interaktion relevanten Mechanismen zu erfassen. Damit wird auch der Aufwand für die Modellierung für den Anwender in erträglichen Grenzen gehalten.

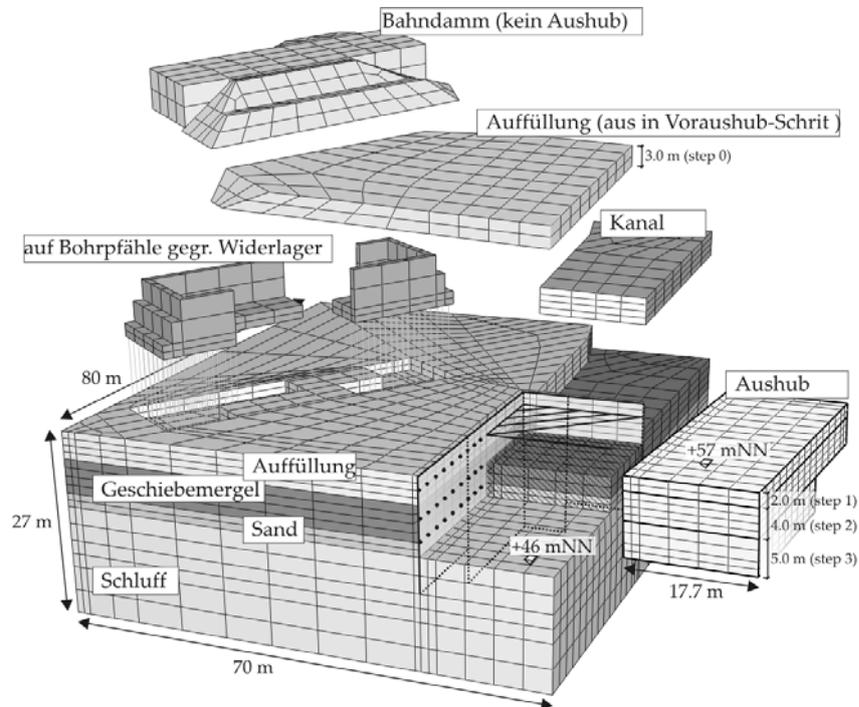


Bild 7: 3D-Modellierung für das Widerlager der Eisenbahnbrücke Schleuse Sülfeld (Benz, 2007)

3.3 Messtechnische Begleitung von Baumaßnahmen

Eine sinnvolle Ergänzung zu einer FE-Berechnung stellt eine systematische messtechnische Begleitung der Baumaßnahme dar. Die in Rahmen der Planung erstellte A-type-Prognose kann so überprüft und falls erforderlich korrigiert werden. Umgekehrt können die Messergebnisse mittels des FE-Modells interpretiert werden. Durch diese Vorgehensweise kann ein erheblich besserer Einblick in die Baugrund-Bauwerks-Interaktion gewonnen werden und die Modellierung dieser weiter verbessert werden. Da bei FE-Berechnungen der Ausgangsspannungszustand entscheidend sein kann, ist es auch unter diesem Aspekt wichtig, mit den Messungen frühzeitig, das heißt vor Baubeginn, anzufangen.

Messprogramme zur systematischen Überwachung der Bauausführung in Verbindung mit FE-Berechnungen wurden zum Beispiel bei den Schleusen Sülfeld, Hohenwarthe, Bamberg, Schleuse Rothensee, Uelzen II und Lauenburg, Charlottenburg geplant und zum Teil mit erheblichem Aufwand in der Bauphase umgesetzt. Die FE-Berechnungen wurden u.a. dafür verwendet, die relevanten Messorte festzulegen und die Alarmwerte zu definieren. Weiter können mithilfe der Berechnungen die Einflüsse verschiedener Beanspruchungen, wie z.B. Temperatureinflüsse, Wasserspiegelunterschiede in der Schleuse, Grundwasserschwankungen, etc., interpretiert werden. Im Bild 8 ist die Online-Plattform des Messsystems am Beispiel der Schleuse Sülfeld dargestellt.

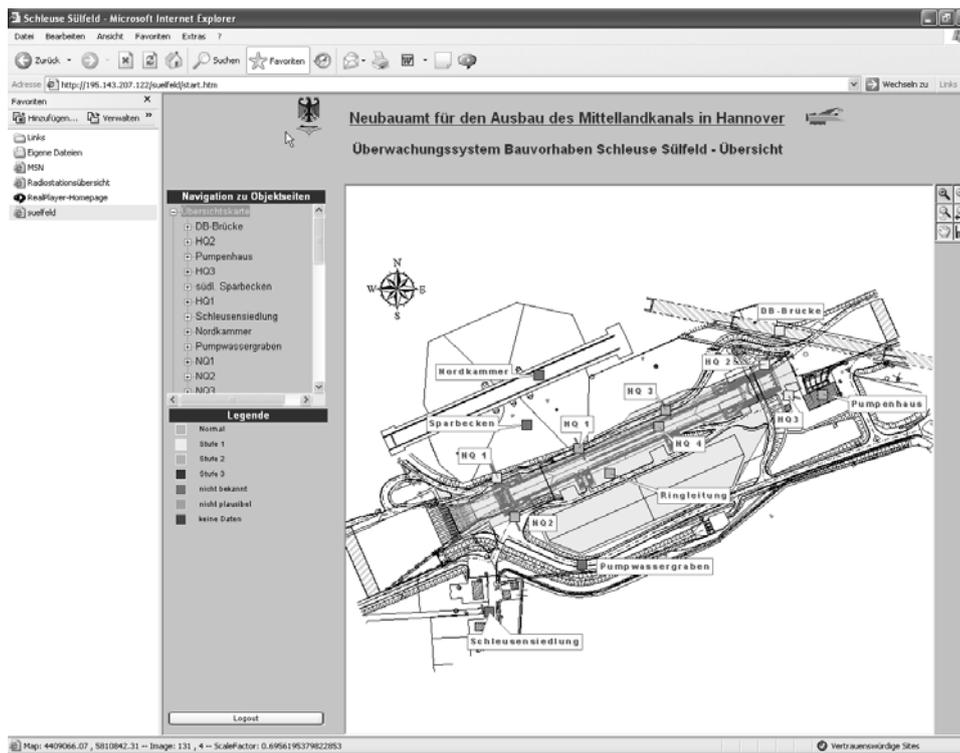


Bild 8: Online-Plattform für die messtechnische Überwachung der Schleuse Sülfeld

4 Weitere Entwicklungen

Für die Anwendung der FEM bei Schleusenbauwerken zeichnen sich derzeit vier wesentliche Entwicklungsrichtungen ab. Diese sind

- Komplette Modellierung der Bauwerk-Boden-Interaktion einschließlich der nicht-linearen Effekte im Massivbauwerk. Dazu muss über die Definition der Grenzzustände nach DIN 1054 bzw. DIN 1055 nachgedacht werden. Dies wird beim Nachweis der Standsicherheit der bestehenden Schleusen am Main-Donau-Kanal von der BAW derzeit erstmalig angewendet.
- Modellierung des Bruchverhaltens einschließlich der Scherfugenentwicklung und Entfestigung im Boden. Die Anwendung von Erweiterten Finite Elemente (X-FEM) kann eine Lösung für diese Fragestellung sein. Das Bild 9 zeigt die Berechnung eines passiven Erddruckproblems (FE-Modell Bild 9, links) und die zugehörige Kraft-Verformungskurve (Bild 9, rechts). Bei dieser Entwicklung ist die BAW ebenfalls beteiligt.

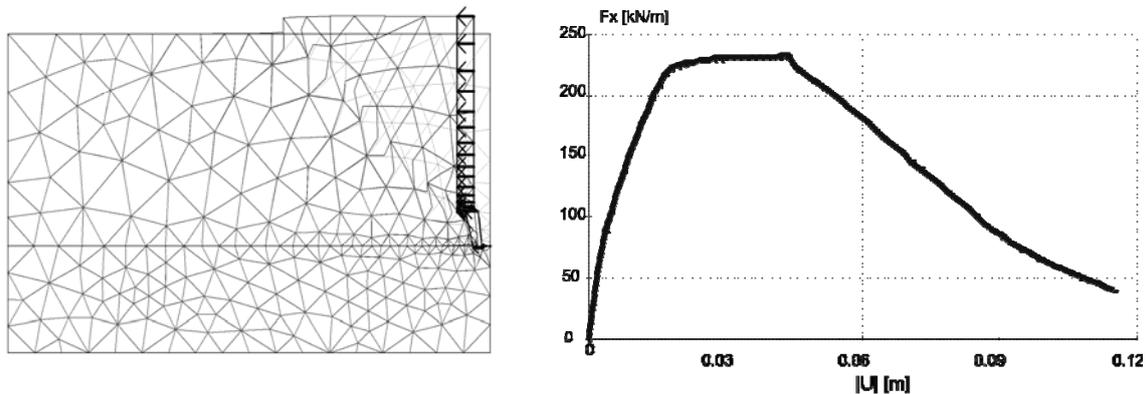


Bild 9: Simulation eines passiven Erddruckproblems

- Die Erarbeitung numerischer Lösungsansätze für die Simulation von Pumpeffekten unter Schleusenbetrieb einschließlich der Verflüssigung von Teilbereichen.
- Für die Simulation des Bodenverhaltens in Hinterfüllung von Schleusenammerwänden beim Schleusenbetrieb ist ein Stoffgesetz für zyklische Belastungen unbedingt erforderlich. Das gemessene Verhalten, dargestellt in Bild 10 am Beispiel der Schleuse Uelzen kann mit den vorhandenen Stoffgesetzen nicht berechnet werden.

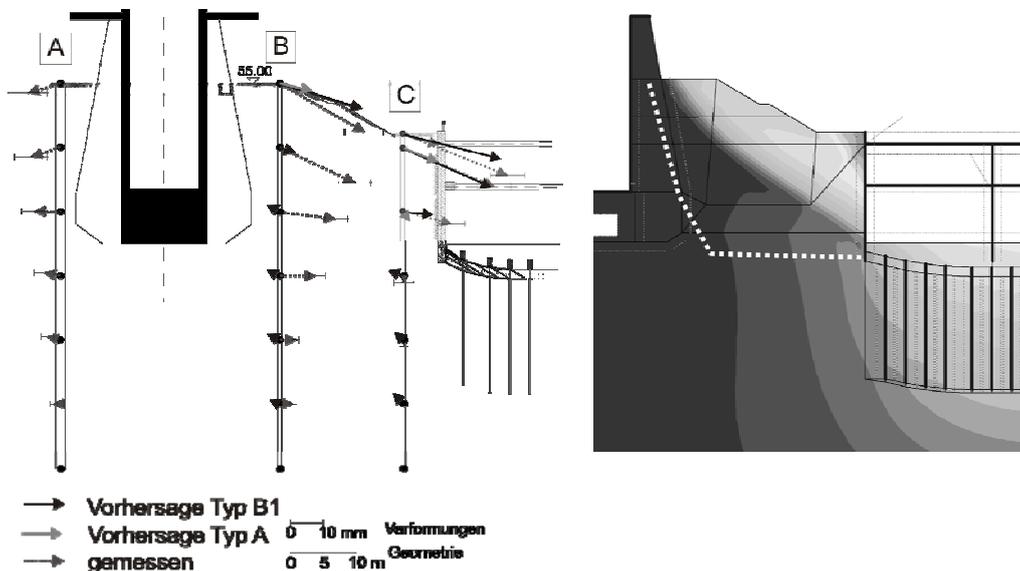


Bild 10: Vergleich der gemessenen und der berechneten Verformungen der Hinterfüllung der Schleuse Uelzen I

Literatur

Alberts, D. Time settlement behaviour of a lock with a flat foundation, In Tagungsband zum "International Symposium on Geotechnical Measurements and Modelling", Karlsruhe, 2003, Balkema, Niederlande
 ARGE Schleusen Magdeburg, Finite-Element-Modellierung zur Untersuchung der technischen Machbarkeit einer Pfahl-Platten-Gründung für das Vorhaben Wasserstraßenkreuz, Schleusenanlage Hohenwarthe; Juli 1997, unveröffentlicht



- Benz, T. Two elastoplastic models for small and large strains and their use in engineering practise. Vortrag beim Workshop „Modern Trends in Geomechanics“, in Wien, Juni 2005, Veröffentlichung im Tagungsband (Benz, T, Schwab, R, Vermeer, P.A.)
- Benz, T. Small-Strain Stiffness of Soils and its Numerical Consequences, Mitteilung Nr. 55 des Instituts für Geotechnik, Universität Stuttgart, 2007
- Bödefeld, J. With or without joints – advantages, experiences and feasibility for a new lock. Vortrag auf dem 31. Internationalen Schifffahrtkongress, Estoril, Portugal, Mai 2006, Veröffentlichung im Tagungsband (Bödefeld, J., Ehmann, R.)
- Heibaum, M. Modellbildung und Normung in der Bemessungspraxis tiefer Baugruben, Vortrag bei der TAE, 2005, Veröffentlichung in den Seminarunterlagen „Finite Elemente – Anwendungen in der Grundbaupraxis“
- Herten, M. Schleuse Sülfeld von der Planung bis zum Bau der Baugrube, Vortrag beim Tag der offenen Tür der Universität Wuppertal, Juni 2005
- Huch, T, Kauther, R., Schallert, M. Bau der Doppelsparschleuse Hohenwarthe, Messkonzeption, Erfahrungen und bisherige Ergebnisse, In: Seminarunterlagen der Uni Siegen
- Kauther, R., Herten, M. Optimierte Baugrunderkundung für den Neubau der Weserschleuse Minden, Vortrag beim 13. Darmstädter Geotechnik-Kolloquium der TU Darmstadt, März 2006, Veröffentlichung im Tagungsband
- Kauther, R. Geotechnische Probleme beim Bau der Doppelschleuse Hohenwarthe, Vortrag beim 2. Kolloquium „Bauen in Boden und Fels“ der TAE Januar 2005, Veröffentlichung in den Seminarunterlagen
- Kayser, J., Odenwald, B. Geotechnische Aspekte beim Bau der Schleuse Uelzen II. Veröffentlichung in der Zeitschrift Binnenschifffahrt, Nr. 12, 2006, im Supplement „Neue Schleusen im Bereich der WSD Mitte“
- Kayser, J, Schwab, R., Wachholz, T. Geotechnical aspects of constructing a new lock system next to an existing lock system. In: Tagungsband zur 12. Europäischen Konferenz für Grundbau und Bodenmechanik, Amsterdam, Juni 1999
- Molck, M., Kauther, R., Höher, M. Sannebjörk, A.-M. FE-basierte Erddruckermittlung beim Neubau der Weserschleuse in Minden, Johann-Ohde-Kolloquium „Praktische Probleme der Geotechnik im Verkehrswasserbau“ der BAW in Hannover, November 2007
- Ott, E, Siebenborn G, Schulze, P. Experiences with the observational method during the construction of the Lauenburg Lock, Vortrag auf der XIII. Donau-Europäischen Konferenz für Geotechnik, Ljubljana, Slowenien, Mai 2006
- Ott, E. Stellungnahme zum Bau der 2. Schleuse Wusterwitz – Erddruck für die Schleusenammer, September 2006, unveröffentlicht
- Ott, E., Schwab, R. Bemessung nach EAU 2004 und mit numerischen Verfahren. In Erfahrungsaustausch zur Planung, Bemessung und Ausführung von Verankerungen, Hamburg-Rissen, 2006
- Schwab, R., Kayser, J. Continuous model validation for a large navigable lock. In: Tagungsband zur Konferenz PARAM 2002, Paris, Frankreich
- Schwab, R., Benz, T. Geotechnische Aspekte zum Neubau der Schleuse Sülfeld, Vortrag beim gemeinsamen Geotechnik-Seminar der Uni Stuttgart/FH Stuttgart am 2005
- Schwab, R. Beeinflussung der Baugrube auf benachbarte Bauwerke. Vortrag beim HTG-Baustellentag „Neubau Schleuse Sülfeld Süd“ auf der Baustelle am 2006
- Schwab, R., Benz, T., Vermeer, P. A. An accompanying small-strain analysis for a large excavation. Veröffentlichung im Tagungsband zur XIV European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ECSMGE), Madrid, Spanien, September 2007
- Schwab, R., Kayser, J. An A-type prediction for a deep excavation near an existing navigable lock. In: Unterlagen zum Internationalen Symposium “Beyond 2000 in computational geotechnics”, Amsterdam, März 1999
- Schwab, R. Kayser, J. Geotechnical aspects of constructing a new lock system next to an existing lock system. In Unterlagen zur 12. Europäischen Konferenz für Grundbau und Bodenmechanik in Amsterdam, Juni 1999
- Schwab, R., Preser, F. Finite Element Simulation of the Soil-Structure Interaction for a Navigable Lock In: PLAXIS Bulletin Nr. 8, Juli 1999
- Schwab, R. Boden-Bauwerk Wechselwirkung am Beispiel eines Schleusenbauwerks Vortrag auf dem Kolloquium “Anwendung der FE-Methode in der Geotechnik” der BAW, Karlsruhe, April 1995
- Schwab, R., Wolffersdorff, P.-A. Schleuse Uelzen I – Hypoplastische Finite-Element-Analyse von zyklischen Vorgängen, Bautechnik, Nr.11, November 2001



- Septanika, E.G., Thakur, V., Brinkgreve, R.B.J. Modelling undrained instability in geomaterial using an Extended Finite-Element Method (PUM/X-FEM). In Proc. International Geomechanics Conference, Nessebar, 2007
- Stelzer, O. Feasibility study of the repair of Bamberg lock while in operation, Vortrag auf dem 31. Internationalen Schiffahrtkongress in Estoril, Portugal, Mai 2006, Veröffentlichung im Tagungsband
- Stelzer, O. Investigation of the bearing and deformation behaviour of Hohenwarthe lock based on geotechnical measurements, Vortrag auf dem 31. Internationalen Schiffahrtkongress in Estoril, Portugal, Mai 2006. Veröffentlichung im Tagungsband