

Tagungsbeitrag zu: DBG Jahrestagung 2011
Titel der Tagung: Böden verstehen, nutzen und fit machen
Veranstalter : Kom. I der DBG, 05-09 -09-2011, (Berlin-Potsdam)
Berichte der DBG (nicht begutachtete online Publikation)
<http://www.dbges.de>

Untersuchungen zu den Kriechvorgängen in dem Einzugsgebiet Hühnerwasser

Hamoudy Ould Baba, Stephan Peth

1 - Zusammenfassung

Mit Hilfe einer Finite-Elemente-Modellierung wurden Hangbewegungen des künstlichen Einzugsgebietes Hühnerwasser untersucht. Labormessungen wurden an gestörten und ungestörten Proben durchgeführt, um die hydraulischen und mechanischen Bodenkennwerte zu bestimmen. Die gemessenen Parameter wurden in einer Finite-Elemente-Berechnung verwendet, um Kriechprozesse und Spannungsverteilungen zu simulieren.

Die Vorbelastungswerte deuten auf eine sehr geringe bis geringe Bodenstabilität hin. Die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit zeigte eine ausgeprägte Anisotropie wobei die horizontale Leitfähigkeit größer als die vertikale war. Die ersten Ergebnisse der Modellierung zeigten kleine Bewegungen im Bereich von einigen mm bis wenigen cm. Standsicherheitsberechnungen zeigten dass z.Z. nicht mit Massenersatz zu rechnen ist. Dennoch können Kriechbewegungen langfristig einen Einfluss auf das Porensystem und damit die Entwicklung der Bodenstruktur haben.

Schlüsselworte: Kriechen, Finite-Elemente-Methode, hydraulische Wasserleitfähigkeit

2 - Einleitung

Bodenkriechen spielt eine wichtige Rolle für Bodenbildungsprozesse da durch die kontinuierlichen Deformationen des Porenraumes die Strukturentwicklung beeinflusst wird. In einer geneigten Fläche, wie im Fall des künstlich hergestellten Einzugsgebietes *Hühnerwasser* bei Cottbus

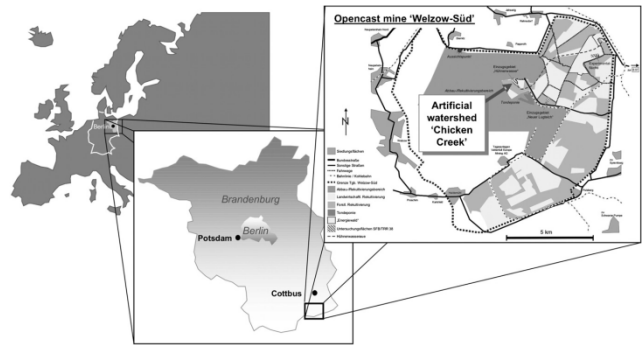


Abb. 1: Das Einzugsgebiet Hühnerwasser in dem Kohletagebau Welzow-Süd (adaptiert von Gerwin W. et al. 2009)

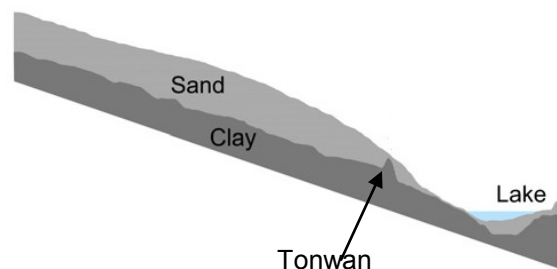


Abb. 2: Längsschnitt von dem Einzugsgebiet Hühnerwasser (adaptiert von Hofer M. et al. 2010)

(Abb. 1) (Gerwin et al. 2009), in dem quartärer Sand über Ton aufgeschüttet wurde (Abb. 2), ist aufgrund initial niedriger Bodenstabilitäten mit Kriechbewegung zu rechnen. Solche Bewegungen können ab einer Hangneigung von 2° auftreten -auch bei geschlossener Vegetationsdecke-, wenn entsprechende Voraussetzungen erfüllt sind. Diese Bewegungen laufen in der Regel nicht mit gleichen Beträgen über die gesamte Mächtigkeit des Hanges, sondern mit einem Gradienten hin zu größerer Tiefe ab. Die Unterschiede in der Bewegungsgeschwindigkeit mit der Tiefe führen zur Bildung von unterschiedlichen (Scher) Zonen. Diese lateralen Scherverformungen können die Größe, Form, Orientierung und Verteilung der Poren und damit die hydraulischen und mechanischen Eigenschaften des Bodens ändern. Durch die langsamen hangparallelen Bewegungen werden auch Kräfte in den unteren Bereich des Hanges verlagert. Dies verursacht eine Erhöhung der Schubspannung in diesem Bereich und kann bei Überschreiten der Scherfestigkeit

zu Hangversagen führen. Diese Bewegungen können z.B. durch Langzeit in-situ Messungen erfasst werden oder mit Hilfe der sogenannten Finiten-Elemente-Methode auf Basis mechanisch/hydraulischer Stoff-gesetze berechnet werden.

3 - Materialien und Methoden

Ungestörte und gestörte Proben wurde entnommen zur Bestimmung von Bodenkennwerten im Labor. Die Proben wurden von acht unterschiedlichen Profilen (Abb. 3) aus verschiedenen Tiefen: 8, 10, 20, 30, 45, 50, 70, 74 und 100 cm entnommen. Tonproben, die der Basisschicht entsprechen, wurden an der Oberfläche im Bereich des Sees gewonnen.

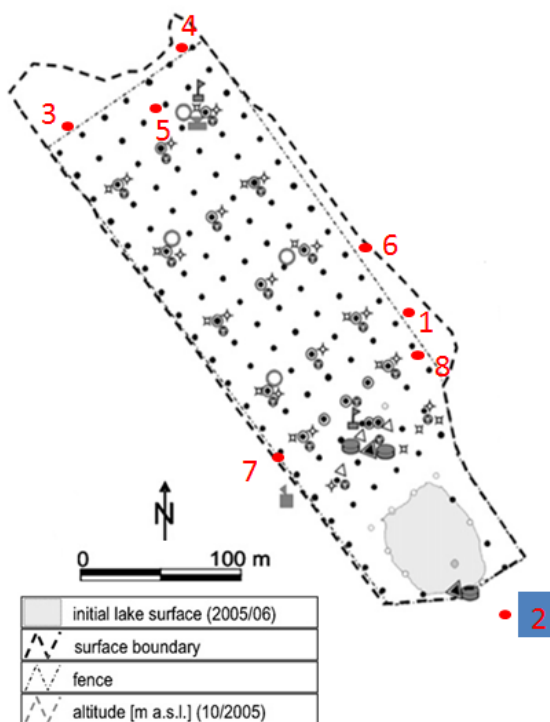


Abb.3: Bodenprofile (geändert nach Gerwin W. et al. 2009)

Ödometerversuche wurden durchgeführt zur Bestimmung von Steifigkeitsparameter des Bodens (Vorbelastung P_v , Elastizitätsmodul E , Kompressionsbeiwert C_c , Schwellbeiwert C_s , Kriechbeiwert C_α). Die Scherparameter wurden mittels Direktscherversuch bestimmt. In beiden Fällen wurden die Proben aufgesättigt und bei -6 kPa vorentwässert.

Die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit wurde durch die "Falling head" Methode bestimmt.

Die im Labor gemessenen mechanischen und hydraulischen Kenngrößen wurden verwendet, um das Finite-Elemente-Modell zu parametrisieren und so v , um Bodenverformungen (Kriechen) und Spannungsverteilungen zu simulieren Abb. 4.

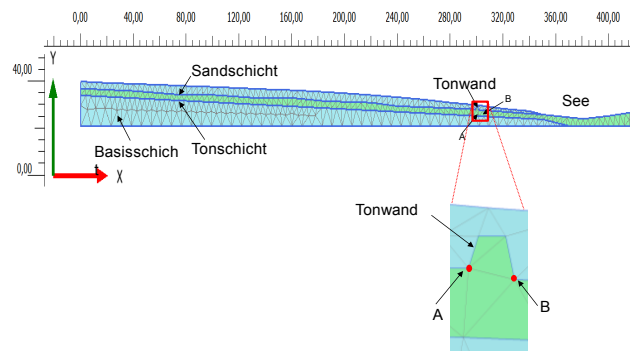


Abb. 4: Finite-Element-Netz für die Simulation von Bodenkriechen. A und B Punkte für die Erstellung von Zeit-Setzung-Kurven (Abb. 7).

4 - Ergebnisse

Bis zu 90% der Proben zeigen geringe bis sehr geringe Bodenstabilitäten ($P_v < 50$ kPa). Dies deutet auf eine noch nicht stabile Bodenstruktur und eine entsprechend geringe Steifigkeit des Materials hin. So können bereits bei geringen Belastungen irreversible Verformungen auftreten.

Die hohen Werte für den Schwellbeiwert (0,009) und den Kompressionsbeiwert (0,065) des Sandes und auch die des Tons (0,03 und 0,3) sowie der niedrige Wert für den Elastizitätsmodul (Sand und Ton) (Tabelle 1) deuten auf eine hohe Kompressibilität des Substrates hin.

Tabelle1: Bodenkennwerte (bei -6 kPa Vorentwässerung)

| Parameter | Einheit | Sand | Ton |
|--------------------|----------------------|---------|---------|
| E | [KN/m ²] | 6925.30 | 1494.26 |
| C _c | [-] | 0.065 | 0.3 |
| C _α | [-] | | 0.0325 |
| C _s | [-] | 0.009 | 0.03 |
| e _{init.} | [-] | 0.49 | 1.0210 |
| C | [KN/m ²] | 13.45 | 20.1100 |
| φ | [°] | 37.54 | 24.3200 |

Die gesättigte Wasserleitfähigkeit zeigt eine ausgeprägte Anisotropie (Abb. 6). Horizontal ist sie deutlich höher als in vertikaler Richtung. Mit Hilfe von Röntgen-Tomographie-messungen konnte eine Anisotropie in der Porenstruktur bestätigt werden (Abb.7). Die schrägen bzw. horizontalen Risse in der Abbildung 6 könnten eine Erklärung sein für die hohe horizontale Wasserleitfähigkeit im Vergleich zur vertikalen.

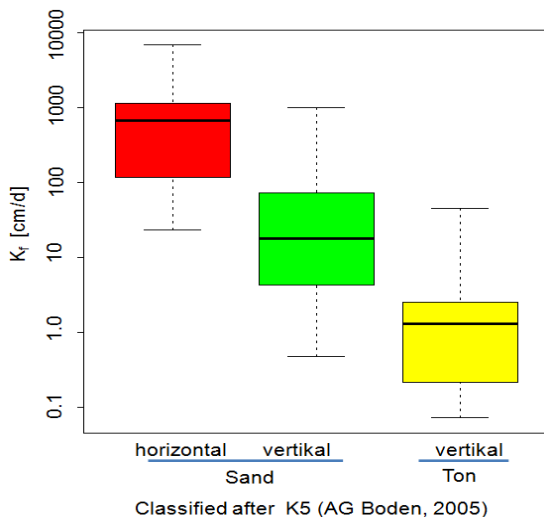


Abb.6: Gesättigte hydraulische Wasserleitfähigkeit (log)

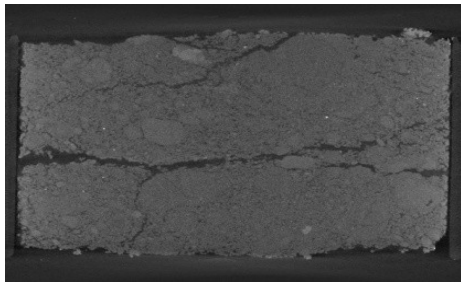


Abb.7: Tomogram zeigt horizontale Risse in der Probe (Probe = 5,6 cm Durchmesser und 4,2 cm Höhe)

Die FE-Berechnung zeigte nur kleine Verformungen im Bereich von einigen cm (Abb. 8a). Über längere Zeiträume können solche Verformungen die Größe, Form, Orientierung und Verteilung der Poren beeinflussen, wodurch sich insbesondere hydraulische aber auch mechanische Eigenschaften des Bodens verändern können.

Durch die FE-Berechnungen wurde eine Konzentration der Scherspannungen in der

Tonwand im unteren Bereich des Einzugsgebietes festgestellt (Abb. 8b). Abb. 8b zeigt, dass sich Kompressions- und Zugspannungen an den Ecken der Tonwand entwickeln. In den gegenüber stehenden Ecken ist die Spannungsart umgekehrt. Die Konzentration der Spannungen in der Tonwand könnte als das Ergebnis des ständig lastenden Erddrucks verstärkt durch einen hohen Wasserspiegel im Sandkörper angesehen werden.

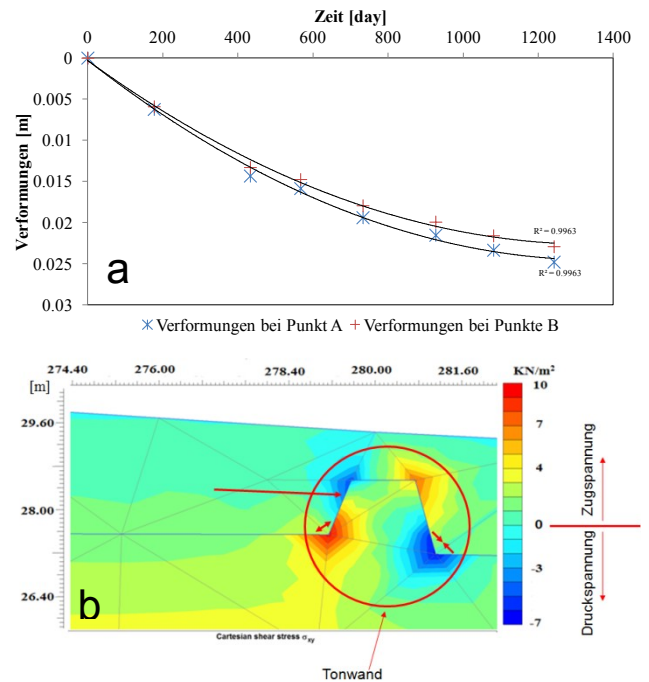


Abb.8: a) Kriechbewegungen im Ton bei den Punkten A und B (Abb. 4), b) Scherspannungen in der Tonwand farblich dargestellt (+/rot = Zugspannung - /blau = Druckspannung)

5 - Ausblick

In einem Laborversuch wurde der Aufbau des künstlichen Einzugsgebietes mit einer Skala von 1:130 nachgebaut, um die Interaktionen zwischen hydraulischen und mechanischen Prozessen besser verstehen zu können (Abb. 9). In einen Testversuch mit den folgenden Eigenschaften:

- Größe = 3x1x1,2 m Kasten
- Füllung = 20 cm Tonschicht und 60 cm Sandschicht (Abb.9)
- Neigungswinkel = 3,8 °
- Aufsättigung = über Standrohr von unten
- Versuchsdauer = 72 h, Bildaufnahme: 1 Bild je 3 h
- Messung = bildbasierte Verformungsmessung: PIV-Methode (Particle Image Velocimetry)
- Programm = MatPIV_GUI 2.1 (based on Sveen's MatPIV 1.6.1).

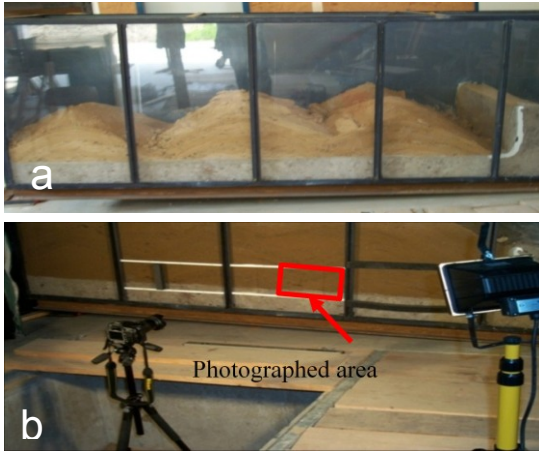


Abb. 9. : a) Einbau des Sandes, b) Versuchsaufbau

Wurde moderne bildbasierte Verformungsmessungen (Particle Image Velocimetry = PIV) durchgeführt.

Die ersten Ergebnisse zeigten eine Abnahme der Verformungen mit fortschreitender Zeit. Dies ist eine Folge der kontinuierlichen Verdichtung des Materials durch die volumetrische Stauchung. Man konnte auch deutlich erkennen, dass die Deformationen durch die nachgestellten Kippenstrukturen beeinflusst werden Abb. 10.

Die größten Deformationen erfolgten zu Beginn des Versuchszwischen den Kippköpern Abb. 10a, wobei mit fortschreitender Zeit die Verformung in diesem Bereich etwas abgeklungen ist. (Abb. 10b).

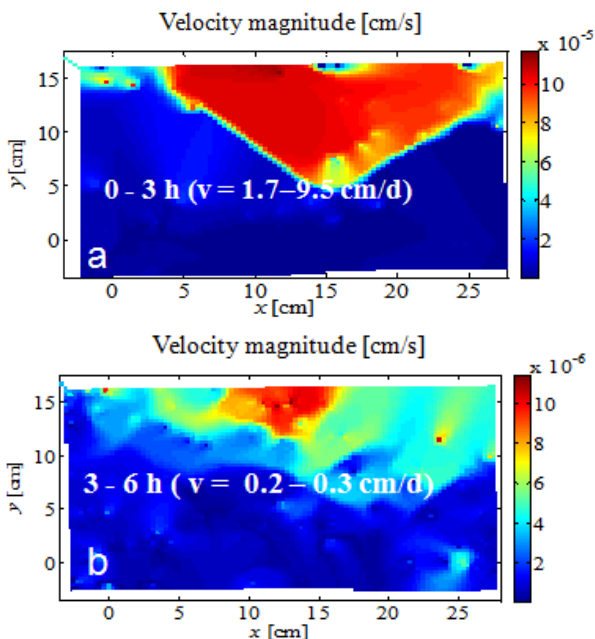


Abb. 10: Verformungen farblich und dargestellt: a) für die Zeit von $T = 0$ s bis $T = 3$ h. ($v = 1,7-9,5$ cm/d); b) für die Zeit von $T = 3$ h bis $T = 6$ h. ($v = 0,2 - 0,3$ cm/d)

6- Schlussfolgerung

Die niedrigen Vorbelastungswerte zeigen, dass sich noch keine stabilen Strukturen im Boden ausgebildet haben.

Die berechneten Verformungen können als Kriechbewegungen angesehen werden, die die Bildung einer stabilen Struktur verhindern können und als Folge der andauernden Änderung des Porenraumes bzw. Partikeleinregelungen die Strukturentwicklung beeinflussen.

Die Ergebnisse des ersten Laborversuches können ein Beispiel für Prozesse im Feld sein: Die anfangs schnellen Bewegungen verlangsamten sich mit der Zeit (wie auch die FE-Ergebnisse zeigen). Der Laborversuch dient in weiteren Untersuchungen der systematischen Quantifizierung von Wechselwirkungen zwischen mechanischen und hydraulischen Spannungen durch unterschiedliche Kombinationen von Hangneigungen und Grundwasserständen. Diese Daten werden im Weiteren zur Kalibrierung und Validierung des FE-Modells verwendet.

7 - Literatur

Gerwin, W., Schaaf W., Biemelt D., Fischer A., Winter S., Hüttl R.F., 2009. The artificial catchment "Chicken Creek" (Lusatia, Germany)—A landscape laboratory for interdisciplinary studies of initial ecosystem development, Ecological Engineering 35 (2009) 1786–1796

Hofer M., Lehmann P., Biemelt B., Stähli M., Krafczyk M., Modelling subsurface drainage pathways in an artificial catchment, Physics and Chemistry of the Earth 36 (2011) 101–112

Oertel M. MatPIV_GUI based on Sveen's MatPIV 1.6.1, Version V2.1