

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Sandig, Friedemann; Thiele, Ralf**

## **Alternative Baustoffe im Deichbau und deren Prüfung im Freiversuch**

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/20.500.11970/103555>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Sandig, Friedemann; Thiele, Ralf (2012): Alternative Baustoffe im Deichbau und deren Prüfung im Freiversuch. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Staubauwerke - Planen, Bauen, Betreiben. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 47. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 255-264.

### **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.



# **Alternative Baustoffe im Deichbau und deren Prüfung im Freiversuch**

Friedemann Sandig  
Ralf Thiele

Seit Jahren ist der steigende wirtschaftliche Aufwand zur Beschaffung von geeignetem und hochwertigem Boden-, insbesondere von Dichtungsmaterial, spürbar. Lösungen für die nächsten Jahre liefern unterschiedliche Maßnahmen der Bodenverbesserung. Diese modernen Baustoffe und Verfahren müssen für den Einsatz ausreichend geprüft und nachgewiesen werden, was an realen Deichabschnitten nicht möglich ist. Deshalb können die Untersuchungen nur unter echten Umgebungs- und Einbaubedingungen stattfinden und sollten auch Langzeitbewertungen einschließen. Seit Jahren werden deshalb an der HTWK Leipzig alternative Materialien und Verfahren wie Flüssigböden und deren Eignung für den Deichbau untersucht. Insbesondere soll eine Vergleichbarkeit zwischen klassischen Tondichtungen und diesen Alternativstoffen hergestellt werden. Im Rahmen einer laufenden BMBF-Förderung wurde deshalb 2011 ein Versuchsdeich im Maßstab 1:1 errichtet. Dabei wurden unterschiedliche geometrische und materialspezifische Varianten in normgerechten Querschnitten abgebildet und mit einem umfangreichen Messnetz ausgestattet, dessen Daten auch online abgefragt werden können.

Stichworte: alternative Deichbaustoffe, Versuchsdeich HTWK, Flüssigboden

## **1 Einleitung**

An moderne Deichbaustoffe werden diverse bautechnische und umweltrelevante Anforderungen gestellt. Seit den Sanierungsvorhaben der Länder in den letzten Jahren und dem damit verbundenen Verbrauch an hochwertigem mineralischem Dichtungsmaterial muss bemerkt werden, dass eine zunehmende Verknappung dieser Ressource zu Ausführungsproblemen in den nächsten Jahren führen wird. Deshalb müssen bereits heute alternative Dichtungsbaustoffe und Einbautechnologien entwickelt und nachgewiesen werden.

Die Beurteilung neuer, alternativer Materialien ist nur unter realen Bedingungen möglich und muss eine Vergleichbarkeit zu bisherigen klassischen Dichtungen

berücksichtigen. Oft ist jedoch der direkte Vergleich einzelner Materialeigenschaften nicht möglich. Dafür müssen neue Methoden der Prüfung und Beurteilung entwickelt und getestet werden.

## 2 Flüssigböden als alternativer Dichtungsbaustoff

Die Erfahrungen der letzten Jahre zeigen, dass sich im Rahmen von Sanierungsvorhaben viele vorliegende Böden durch unterschiedliche technologische Verfahren aufbereiten und verbessern lassen. Eine neue, wirtschaftliche Methode der Nutzung dieser Altböden zu Abdichtungszwecken könnte das Flüssigbodenverfahren liefern.

Flüssigböden werden seit mehreren Jahren an der HTWK Leipzig erforscht. Bei deren Herstellung werden speziell aufbereitete Böden unter Zugabe von Wasser und quellfähigem Montmorillonit verflüssigt (Abbildung 1). Durch die Beimischung verschiedener Bindemittel und weiterer Zusätze können die späteren Grundeigenschaften des Gemisches wie Festigkeiten, Konsistenz, Abbindezeitraum, Wasser- und Gasdurchlässigkeit, Elastizität u.v.a. zielgenau gesteuert werden. Der große Vorteil dieses Baustoffes liegt v.a. in Bereichen schlechter Zugänglichkeit, da der Einbau im flüssigen Zustand und selbstverdichtend erfolgt. Flüssigböden werden heute europaweit z.B. im Rohrleitungsbau, zur Hohlraumverfüllung oder flächenhaften Bodenverbesserung eingesetzt. Die Erfahrungen auf dem Gebiet der Rezepturentwicklung und Baustoffprüfung an der HTWK Leipzig sind sehr vielseitig und werden ständig baupraktisch erprobt.



**Abbildung 1:** frischer Laborflüssigboden



**Abbildung 2:** Sternsiebzanlage zur Bodenaufbereitung

Seit Kurzem werden durch die G<sup>2</sup> Gruppe Geotechnik der HTWK Leipzig neue Flüssigböden und Ausführungsvarianten entwickelt, welche den momentanen

Schwachstellen bisheriger Gemische entgegenwirken, indem gezielt Grenzbereiche der Wasseraufnahmefähigkeit sowie Wirkungsmechanismen von Bindemitteln, -gemischen und Zusätzen erfasst und für die jeweiligen Ausgangsböden genutzt werden. Diese Gemische zeichnen sich durch geringe Festigkeiten und Schwindmaße aus und wurden für einen Einbau im flüssigen bis breiigen Zustand entwickelt. Die neuen Flüssigboden-Dichtungen sollen sich am bodenmechanischen Verhalten relevanter Dichtungs-Tone orientieren. Zusätzlich müssen Methoden der Nachbehandlung zum Schutz und Ausbildung der Oberflächen entwickelt und geeignete Einbautechnologien erprobt werden.

Durch die jahrelange Erfahrung in der gezielten Beeinflussung und Prüfung von Zielparametern und die Entwicklung neuer dichtender Flüssigboden-Rezepturen an der HTWK Leipzig steht dieser Baustoff mit konkreten Zielparametern aufgrund seiner bewussten Ähnlichkeit zu klassischen mineralischen Dichtungen der Geotechnik prinzipiell auch dem Einsatz im Deichbau zur Verfügung.

Dafür müssen Flüssigboden-Dichtungen je nach Einbauort, Belastungssituation oder für unterschiedliche technologische Einbauvarianten verschiedene Anforderungen erfüllen. Als dichtendes Bauteil steht hierbei vor allem die Wasserundurchlässigkeit im Vordergrund, jedoch auch erdstatisch wirksame Materialparameter müssen auf die jeweilige Einbausituation angepasst werden. Da Dichtungen sicherheitsrelevante Elemente des Deichbaus bilden, ist zusätzlich an diese Materialien eine Gewährleistung dieser Eigenschaften auch im Langzeitverhalten unter extremen Einstauwechselln sowie unter Frost-Tau- oder Austrocknungs-Einflüssen gefordert. Dies betrifft sowohl die Nachweise am verwendeten Bodenbaustoff im Rahmen der Gegenüberstellung und positiven Bewertung mit klassischen mineralischen Dichtungen als auch am geometrischen Körper in einem realen Gesamtsystem.

### **3 Das Forschungsvorhaben**

Im Rahmen eines 2010 gestarteten BMBF-Projektes werden Flüssigböden für den Einsatz als Oberflächendichtungen gezielt weiterentwickelt und getestet. Dabei wird dieser neue Baustoff im flüssigen Einbau- bis zum steifen Endzustand und darüber hinaus in seinem Langzeitverhalten in einer Vielzahl von Einzelversuchsständen sowie in einem eigens errichteten naturnahen Forschungsdeich getestet und vergleichend bewertet.

### 3.1 Aufbau und Arbeitsweise des Versuchsdeiches der HTWK

Unter großer Unterstützung durch STRABAG AG (Erdbau) und dem Spezialunternehmen Parcoplan GmbH (Flüssigboden) sowie unter Mitarbeit der LTV Sachsen (fachliche Begleitung und Bewertung) werden in der Versuchsanlage z.Z. sechs unterschiedliche Deichquerschnitte mit zwei klassischen Tondichtungen und 4 speziellen Flüssigböden erprobt.

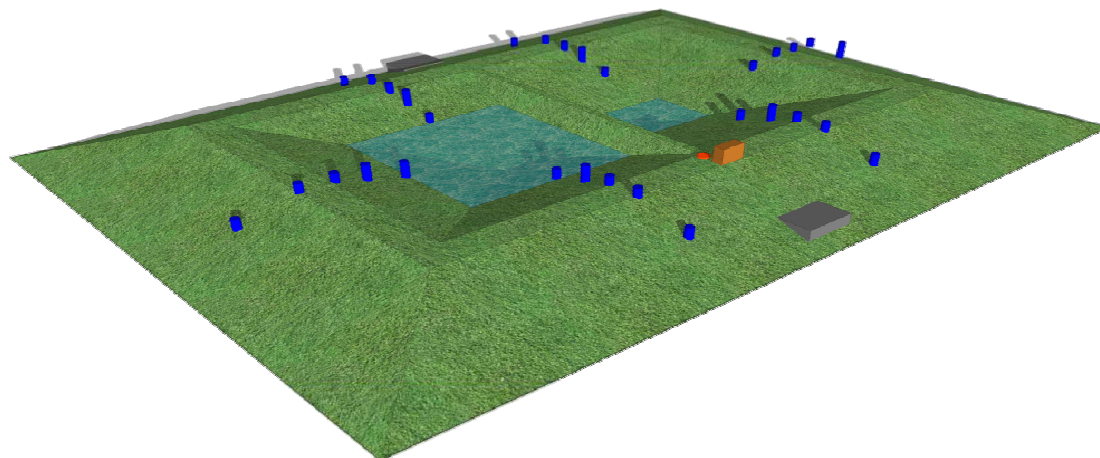


**Abbildung 3:** Abdeckung der Flüssigbodendichtung 05/2011



**Abbildung 4:** Versuchsanlage Zustand 10/2011

Die Anlage (siehe Abbildungen 3-5) besteht aus zwei wechselseitig flutbaren Becken und gliedert sich in 6 jeweils 2,5 m hohe, normgerechte Einzelquerschnitte. Die Herstellung der Flüssigbodendichtungen erfolgte durch Homogenisierung und Separierung des Ausgangsbodens in einer Sternsiebanlage (siehe Abbildung 2) und anschließendem Anmischen der jeweiligen Rezepturen durch Trommelfahrmischer. Die Versuchsanlage wurde anschließend mit einer Schutzschicht aus Rollrasen abgedeckt.



**Abbildung 5:** virtuelles Modell des Versuchsdeiches

Zur Überwachung von Durchfeuchtungs- und Durchsickerungsvorgängen in allen Querschnitten wurden 30 Drucksensoren (miniDiver Schlumberger) sowie 38 Feuchtesensoren (FDR-HS10, Decagon) installiert. Neben 30 Festpunkten der Temperaturaufzeichnung werden mobile Temperaturlanzen bis 1,4 m Tiefe (UiT Dresden) eingesetzt. Zudem findet eine dauerhafte Pegel- und Wetterdatenaufzeichnung statt. Über eine online-Plattform können die Kennwerte erfasst sowie Fernparametrierungen vorgenommen werden. Diese neue Versuchsanlage ermöglicht seitdem eine gleichzeitige hydraulische Belastung von klassisch mineralisch und alternativ gedichteten Deichquerschnitten. Sie wird seit der Fertigstellung im August 2011 ständig und mit hohem Aufwand betrieben. Neben hydraulischen Simulationsmodellen können so unter realen Bedingungen unterschiedliche interessante Aspekte der Alterung und des Zusammenwirkens mehrerer Baustoffe unter echten Umweltbedingungen in einem realistischen Gesamtsystem untersucht werden.

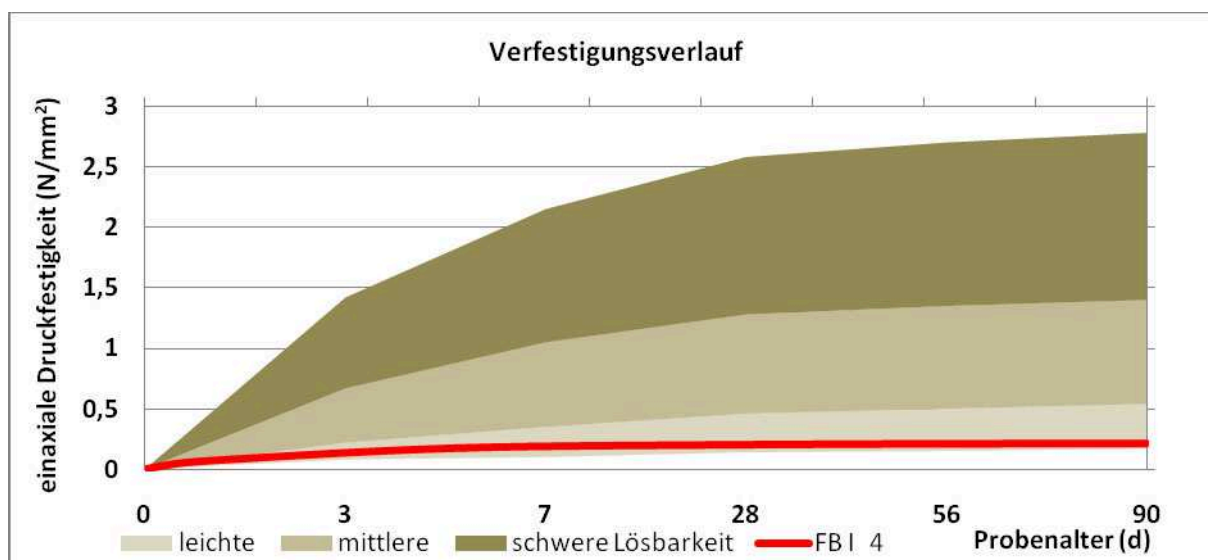
## 3.2 Materialuntersuchungen

Nachfolgend werden ausgewählte Untersuchungsschwerpunkte des aktuellen Forschungsstadiums vorgestellt.

### 3.2.1 Rezepturenentwicklung

Durch Festlegung einer neuen Systematik einer Rezepturfindung wurden die alternativen Flüssigbodendichtungen im Allgemeinen mit vergleichsweise geringeren Bindemittelmengen und höheren Tonanteilen definiert. Die für die Umwandlung des gewählten Ausgangsbodens SU\* in ein breiiges bis flüssiges Gemisch benötigte hohe Wassermenge wurde unter Zugabe von 2,3% quellfähigem Montmorillonit aufgenommen und durch Festlegung von Mischprozessen und Prüfmethode abgesichert. Als Zielgröße der Rückverfestigung des Materials wurde die einaxiale Zylinderdruckfestigkeit definiert. Unter den Randbedingungen Verformungsfähigkeit und Tragfähigkeit wurden Materialien positiv bewertet, deren einaxiale Druckfestigkeit sich an der unteren Grenze der bisher baupraktisch eingesetzten Flüssigböden orientiert (siehe Abbildung 6).





**Abbildung 6:** einaxiale Druckfestigkeit dichtender Flüssigböden, in Anlehnung an *ZFSV*

Die neuen Flüssigboden-Dichtungen sollen sich am bodenmechanischen Verhalten relevanter Dichtungs-Tone orientieren. Zusätzlich müssen Methoden der Nachbehandlung zum Schutz und Ausbildung der Oberflächen entwickelt und geeignete Einbautechnologien erprobt werden.

Die in der Versuchsanlage eingebauten Flüssigboden-Dichtungen weisen Zylinderdruckfestigkeiten in von ca.  $100 \text{ kN/m}^2$  auf (28-Tage-Prüfwert, Probenhöhe:  $h_A=0,20 \text{ m}$ , Vorschubgeschwindigkeit:  $0,2\% \cdot h_A=0,4 \text{ mm/min}$ ).

Die Flüssigböden lassen in den eingesetzten Rezepturen gute bis sehr gute Verformungen von ca.  $\epsilon = 1,5\%$  zu. Unter Berücksichtigung des Hangeinbaus soll zukünftig zusätzlich die Zielgröße Scherfestigkeit untersucht werden.

### 3.2.2 Einbaukriterien von Flüssigböden

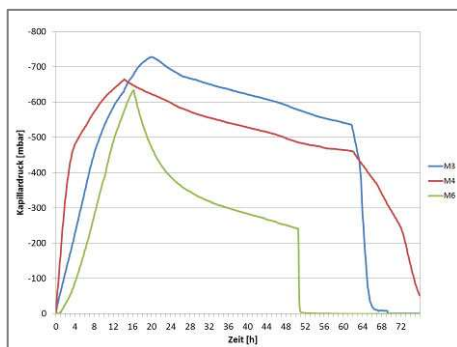
Das klassische Einbaukriterium Verdichtungsgrad  $D_{pr}$  (*DIN 18125* bzw. *18127*) ist bei Einbau von Flüssigboden-Dichtungen nicht anwendbar. Eine Prüfbarkeit und/oder Nachverdichtung ist beim alternativen Dichtungsmaterial mit  $I_c$ -Werten von ca. 0 nicht möglich. Zudem ist die Angabe der Trockenrohichte des Materials wegen der Kristallbindung der Wassermoleküle im Stoffgemisch nicht sinnvoll, da sich die Bestimmung des Wassergehaltes lediglich auf den verdunstbaren Teil beschränkt. Daher sind neue Prüfkriterien notwendig.

Flüssigböden müssen selbstverdichtend und fließfähig sein. Für die Fließfähigkeit wird in der Regel ein Zieh- bzw. Ausbreitmaß von 50 cm bis 70 cm in Anlehnung *DIN EN 12350-5* festgelegt (*ZFSV 2011*). Die bisher erprobten Einbau-

Situationen fordern einen breiigen bis flüssigen Zustand, Ausbreitmaße von unter 50 cm wurden bisher als positiv bewertet. Als zusätzliche Prüfmethode für den Einbau kann ein modifiziertes Kegeleindringmaß  $s_{KW}$  in Anlehnung an den Fallkegel nach DIN ISO/TS 17892-6 empfohlen werden. Die am Versuchsdeich ermittelten Eindringmaße des Kegels betragen zum Einbauzeitpunkt 87-96 mm und sind vergleichbar mit Schlagzahlen nach DIN 18122-1 von 3-4. Als weiteres Einbaukriterium sollte die nach *ZFSV* geforderte Wasserabsonderung in einem Zeitraum von bis zu 3 Stunden dokumentiert werden.

### 3.2.3 Rissgefährdung im Frischzustand

Auf Oberflächen von Dichtungen kommt es direkt nach dem Einbau durch Verdunstungsprozesse zur Entstehung eines kapillaren Unterdruckes und Meniskenbildung im Gefüge. Dadurch können sich ohne Gegenmaßnahmen bereits im frühen Alter sogenannte kapillare Mikrorisse bilden, die sich im Laufe der Zeit zu Schwachstellen im Bauteil entwickeln könnten. Sie haben einen negativen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit des Bauteils.



**Abbildung 7:** Kapillardruckaufbau und mögliche Nachbehandlungszeit



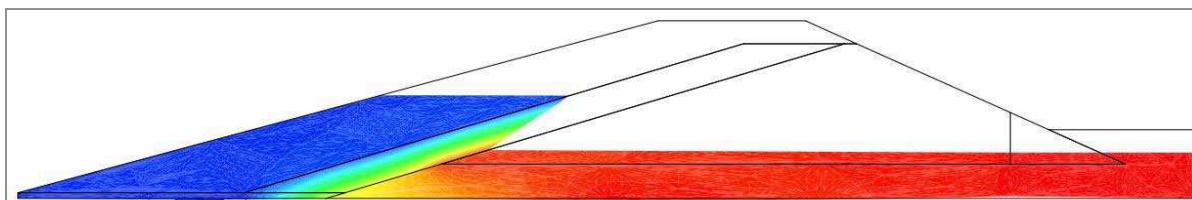
**Abbildung 8:** funkbasierte Kapillardrucksensoren im Einsatz

In ersten Labor- und Feldversuchen wurde das Schwindverhalten verschiedener Flüssigbodenrezepturen bestimmt. Der maximale und damit kritische Kapillardruck wurde bei den neuen Mischungen nach 16h erreicht. In Verbindung mit dem Wasserverlust, konnte eine Aussage über die Rissanfälligkeit der einzelnen Rezepturen getroffen werden. Es wurden über kabellose Sensoren (Eigenentwicklung HTWK) im Bauteil ein kritischer Kapillardruck von -600 mbar ergründet und erste Nachbehandlungsmethoden (Folien, Benebelung, Geovliese) geprüft. Ab Frühjahr 2012 soll die Nachbehandlungsmethode der Vliesabdeckung im Freiversuch erneut getestet werden und könnte zu einer weiteren Dichtungsvariante führen.

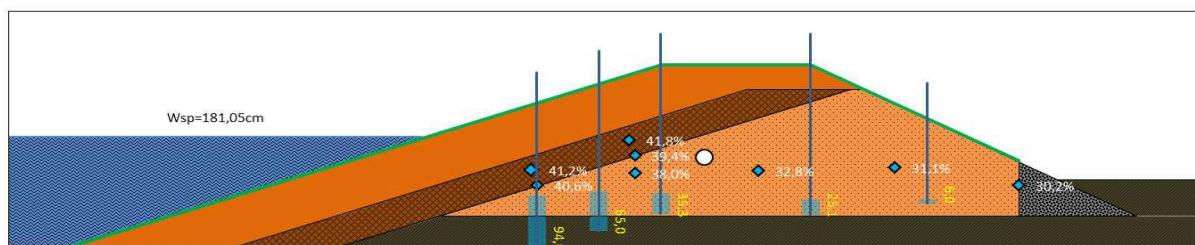


### 3.2.4 Hydraulische Modellierung und Messergebnisse

Die Ergebnisse der Feldmessungen dienen u.a. dem Abgleich der geohydraulischen und -technischen Modelle auf GGU-Basis (siehe Abbildung 9).



**Abbildung 9:** geohydraulisches GGU-Modell Simulation 11\_11



**Abbildung 10:** Visualisierung der Messdaten Simulation 11\_11

Aus den Messergebnissen der Übergänge der einzelnen hydraulischen Belastungssimulationen am Versuchsdeich und Sättigungseinflüssen infolge markanter Niederschläge lassen sich momentan folgende Ergebnisse ableiten: Die eingesetzten Messsysteme arbeiten zuverlässig und liefern plausible Ergebnisse. Die bisherigen geohydraulischen Simulationsmodelle werden durch die Messergebnisse weitestgehend bestätigt. Zusätzliche Untersuchungen sollen im gut durchfeuchteten Fußpunkt der Dichtung und im Kronenbereich liegen und könnten zu neuen geometrischen Ausführungsvarianten führen. Beide Extrema des Wasserhaushaltes dienen zur Gesamtbewertung.

### 3.2.5 Frost-Tauwechsel-Beanspruchung

Die bisher geprüften guten bis sehr guten Wärmekapazitätsdichten bei geringer Temperaturleitfähigkeit sind Gegenstand weiterer Freilanduntersuchungen in der Frostperiode 2012 sowie in begleitenden Frost-Tauwechsel-Versuchen. Dabei wird die Idee verfolgt, den schwach geschützten Kronenbereich (Minimierung der Deckschicht) durch spezielle frostsichere Flüssigböden zu stärken und die Wirksamkeit bezüglich der Dichtungsfunktion an dieser Stelle zu erhöhen. Vergleichende Bewertungen zur klassischen mineralischen Dichtungsausführung werden ab Mitte 2012 erwartet.

### 3.2.6 Alterung

Die Ursachen der schnellen Alterung bestehender Dichtungen liegen in der ungenügenden Schutzwirkung infolge zu geringer Deckschicht, deren saisonal trockenen Zustandes oder aus einem Wasserentzug durch tief reichende Wurzeln des Bewuchses. Der Fokus der Alterungserscheinungen liegt daher vor allem im Kronenbereich der Versuchsanlage.



**Abbildung 11:** gealterte Dichtung mit Rissen und Wurzeleinlagerungen, Vergleichsschurf klassische Tondichtung



**Abbildung 12:** intakte Flüssigboden-Struktur nach erster Aufgrabung

Erste Aufgrabungen nach 3 Monaten zeigen, dass die eingebauten Flüssigbodendichtungen sich sogar im eher trockenen Kronenbereich in einem äußerst frischen, weich-steifen Zustand befinden und keine Strukturschädigungen aufweisen. Vergleichende Schurfuntersuchungen an gealterten herkömmlichen Dichtungen an unterschiedlichen Fließgewässern zeigen deutliche Schädigungen (siehe Abbildung 11). Die ermittelten Wassergehalte der Alternativdichtungen lagen nur leicht unter den Einbauwassergehalten von 27-33% und lassen nicht auf Austrocknungserscheinungen schließen. Die Schutzschicht aus Rollrasen ist flächenhaft intakt und erfüllt ihre Funktion.

## 4 Fazit

Minderwertige Baustoffe können durch das Flüssigboden-Verfahren so verändert werden, dass konkrete Zielparameter erreicht werden, die für einen Einsatz als Dichtungselement notwendig sind. Durch Nutzung dieser aus unterschiedlichen Gründen oft qualitativ nur unzureichenden, prinzipiell jedoch verbesserungsfähigen Deichmaterialien entfallen Austausch bzw. Ersatz von Böden, es reduzieren sich damit die Transport- und Deponiekosten. Der Praxiseinsatz dieser alternativen Materialien wurde durch den Aufbau und die Funktionsfähigkeit

des Versuchsdeiches prinzipiell und erstmals bautechnisch bewiesen, ist jedoch erst nach umfangreicher Prüfung durch verschiedene Feld- und Laborversuche möglich. Das Potential der Flüssigboden-Dichtungen liegt dabei vor allem in der einstellbaren und überaus homogenen Qualität bei niedrigen Preisen.

Für die Anwendung des alternativen Dichtungsbaustoffes werden jedoch spezielle Prüfungen empfohlen, welche sich an den bisher durchgeführten Untersuchungen der G<sup>2</sup> Gruppe Geotechnik orientieren. Erst nach der vollständigen wissenschaftlichen Überprüfung und Gesamtbewertung in Abstimmung mit der LTV Sachsen kann in Zukunft die im Sinne des Nachhaltigkeitsgesetzes (BBSchG) geforderte Nutzung von vorhandenen Bodenmassen am Sanierungsstandort Deich umgesetzt werden.

## 5 Literatur

DWA-M 507-1 - Deiche an Fließgewässern - Tl. 1: Planung, Bau und Betrieb. Stand Dezember 2011, Hrsg.: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. -DWA-, Hennef; 2011

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2011): Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau, Merkblatt über zeitweise fließfähige, selbstverdichtende Verfüllbaustoffe (ZFSV) aus Böden und Baustoffen

Zeh, R. (2007): Die Zugfestigkeit bindiger Böden als Kriterium der Rissgefährdung mineralischer Oberflächenabdichtungen. Dissertation Bauhaus-Universität Weimar 2007. Schanz, T. u. Witt, K. J. (Hrsg.): Schriftenreihe Geotechnik Weimar, Heft 13, 2007

Autoren:

Dipl.-Ing. Friedemann Sandig  
Prof. Dr.-Ing. Ralf Thiele

Fakultät Bauwesen, G<sup>2</sup> Gruppe Geotechnik  
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig  
Karl-Liebknecht-Straße 132  
04277 Leipzig

Tel.: +49 341 3076 6636  
Fax: +49 341 3076 6463  
E-Mail: [friedemann.sandig@fb.htwk-leipzig.de](mailto:friedemann.sandig@fb.htwk-leipzig.de)  
[ralf.thiele@fb.htwk-leipzig.de](mailto:ralf.thiele@fb.htwk-leipzig.de)