

# **Dichtungskontrollsysteme für Deponien – Erfahrungen mit dem System TAUPE auf der Hausmüldeponie „Hintere Dollert“ des Landkreises Rastatt**

Franz Königer<sup>1</sup>, Johann Roth<sup>2</sup>, Werner Rabl-Lasar<sup>3</sup>, Dr.-Ing. Rainer Schuhmann<sup>1,4</sup>,  
Prof. Dr. Rolf Nüesch<sup>1,4</sup>

## **Kurzfassung**

Mit Hilfe der Feuchtemesstechnik ist es möglich, die Funktionsfähigkeit von Oberflächenabdichtungssystemen online zu kontrollieren. Dazu werden Sensorkabel in einer speziellen mineralischen Kontrollschicht unter dem Abdichtungssystem installiert. Die Sensoren werden so verlegt, dass die gesamte Oberfläche der Deponie flächendeckend erfasst wird. Das Kontrollsystem, das derzeit nach den Vorgaben der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM) zertifiziert wird, ist in der Lage, Leckagen in der Oberflächenabdichtung auf 10 m<sup>2</sup> genau zu detektieren. Die Quantifizierung des Flusses durch die Leckage ist möglich, da über das bekannte mineralische Material der Kontrollschicht deren aktuelle hydraulische Leitfähigkeit abgeschätzt werden kann. Betreiber und Aufsichtsbehörde erhalten so eine Grundlage zur Festlegung von evtl. erforderlichen Sanierungsschritten.

## **1. Einleitung**

Gemäß Deponieverordnung sind Oberflächenabdichtungen von Abfalldeponien der Kategorie Deponieklasse II (DK II) als so genannte Kombinationsabdichtungen vorgeschrieben. Neben der Ausgleichs- und Dränageschicht auf der Abfallböschung und der Rekultivierungsschicht als oberer Abschluss sind als Kernstück der Oberflächenabdichtung zwei Abdichtungskomponenten erforderlich, welche die Funktion eines so genannten Langzeitelementes bzw. eines Kurzzeitelementes erfüllen. Als eines der möglichen Langzeitelemente des Oberflächenabdichtungssystems wird auch das System der Kapillarsperre beurteilt.

Nach Genehmigung der Baumaßnahme im Jahr 2003 wurde das 2 ha große Testfeld auf der Deponie in Gaggenau-Oberweier bis Herbst 2005 fertig gestellt. Mit

---

<sup>1</sup> Forschungszentrum Karlsruhe, <sup>2</sup> Ing.-Büro Roth & Partner, Karlsruhe, <sup>3</sup> Ing.-Büro in Karlsruhe, <sup>4</sup> Forschergruppe Feuchtemesstechnik, Universität Karlsruhe

Beginn 2006 haben die intensiven Untersuchungen zu diesem Testfeld begonnen und werden für mindestens drei Jahre durchgeführt. Der Bau des Testfeldes wurde durch das Land Baden-Württemberg finanziell gefördert.

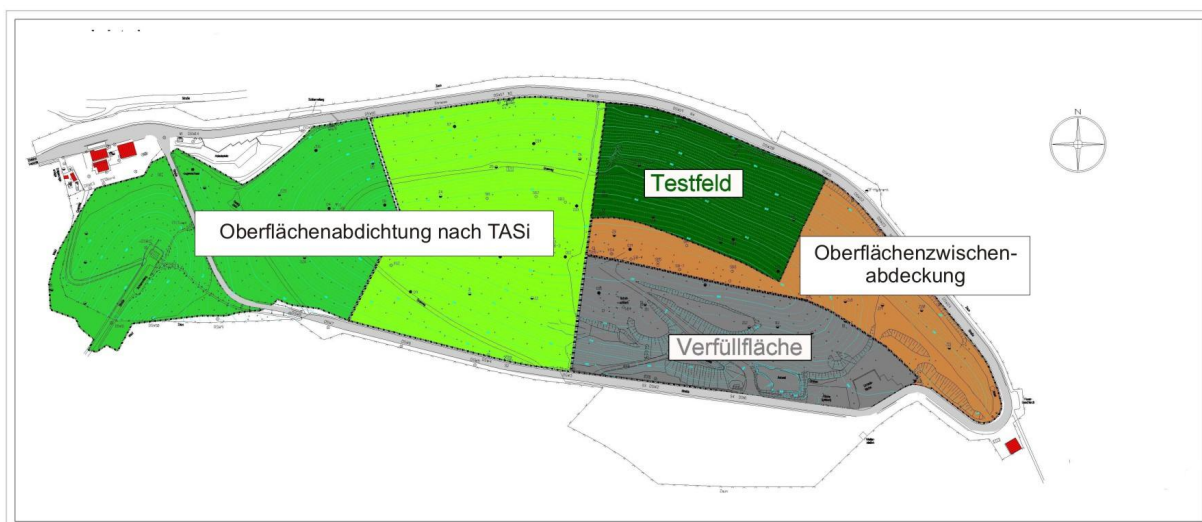
## 2. Das Testfeld

Die Deponie „Hintere Dollert“ besitzt eine abzudichtende Oberfläche von ca. 130.000 m<sup>2</sup>. Davon sind bereits in den vergangenen Jahren 65.000 m<sup>2</sup> mit einer Kombinationsabdichtung gemäß der technischen Anleitung zur Behandlung von Siedlungsabfällen (TASi) abgedichtet worden.

Im Testfeld mit einer Fläche von 20.000 m<sup>2</sup> soll die Funktion der Abdichtungskomponente „Kapillarsperre“ unter realen Bedingungen getestet werden, also unter dem Einfluss von Deponiesetzungen, Deponiegas sowie Absickerungen direkt aus der Wasserhaushaltsschicht.

Zur Kontrolle und Überwachung der Funktion der Abdichtung im Testfeld sind eine Vielzahl von Kontrollmessungen und Kontrolluntersuchungen vorgesehen. Dabei wird die Kontrolle der „Dichtigkeit“ des Systems über das im Testfeld installierte Dichtungskontrollsystem TAUPE (Taupe – franz. Maulwurf) gewährleistet.

Das Testfeld hat eine Flächenausdehnung von ungefähr 100 m x 200 m und eine Böschungsneigung von 1 : 2,6 bis 1 : 4,0. Die Lage des Testfeldes auf der Deponie ist in Bild 1 dargestellt.



*Bild 1: Lage des Testfeldes*

Die südliche Begrenzung schließt mit der Deponiekuppe, die nördliche Begrenzung mit der Deponieumfahrsstraße ab. Den Aufbau der Oberflächenabdichtung im Testfeld zeigen die Bilder 2 und 3.

Auf der profilierten und nachverdichteten Deponieböschung wird eine Entspannungs- und Dränageschicht in 20 cm Stärke (hydraulische Leitfähigkeit ( $k_f$ -Wert)  $> 10^{-4}$  m/s) und darüber die Stüttschicht in 15 cm Stärke aufgebracht. In der Stüttschicht wird die untere Lage des Dichtungskontrollsystems TAUPE verlegt.

Auf diesen beiden Schichten wird das Kapillarsperrensystem in bekannter Dimensionierung (siehe Bild 3) eingebaut. Darüber wird die zweite Lage des Dichtungskontrollsystems TAUPE in einer bodenmechanisch definierten Unterbodenschicht (15 cm Stärke) verlegt. Darauf folgt der weitere Aufbau mit der 1,85 m starken Wasserhaushaltsschicht.



Bild 2: Aufbau der Abdichtung im Testfeld (Schichtfolge von unten nach oben)

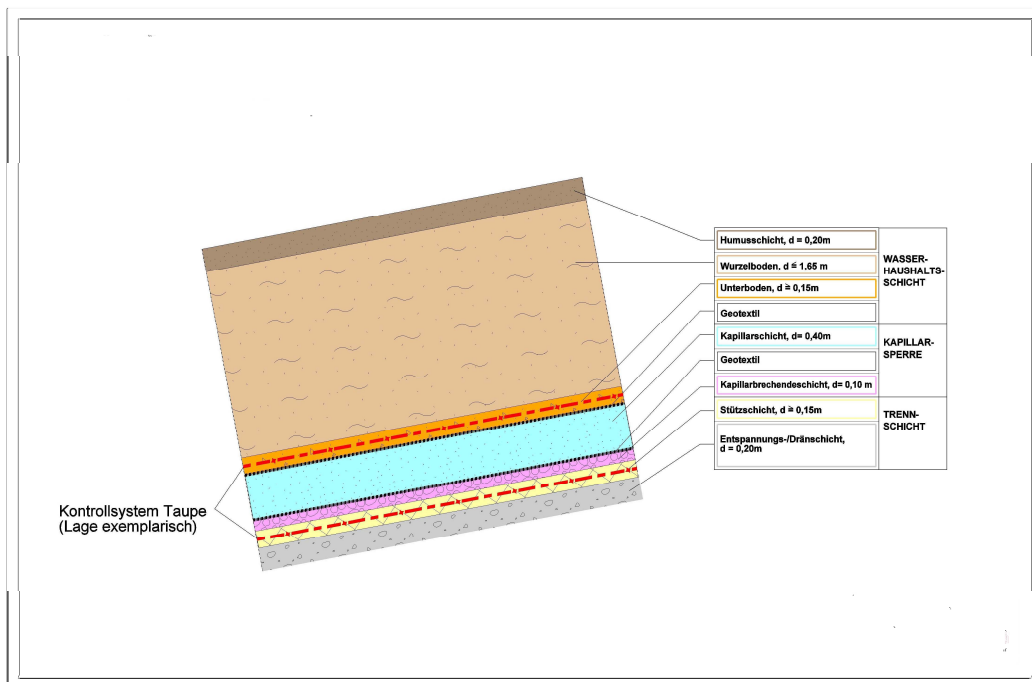


Bild 3: Aufbau des Abdichtungssystems

Am Fuß des Testfeldes werden die Abflüsse aus der Kapillarbruchschiicht und der Kapillarschiicht getrennt gefasst und gemessen. Innerhalb des Testfeldes wurde ein so genanntes „Lysimeterfeld“ (24 x 43 m) angelegt, in welchem das Dichtungskontrollsystem TAUPE engmaschiger und zusätzlich auch in der Kapillarschiicht verlegt wurde.

### 3. Funktion und Installation des Dichtungskontrollsystems

Nichtmetallische Materialien, z.B. Boden, lassen sich über die Erfassung ihrer dielektrischen Eigenschaften, der Dielektrizitätszahl (DZ), klassifizieren. Per Definition ist die DZ von Luft gleich 1, die trockener Bodenmaterialien liegt bei 2 bis 6 und Wasser hat eine DZ bei 20 °C von 80. Wird zu dem trockenen Bodenmaterial Wasser gegeben, erhöht sich die DZ des Boden-Wasser-Gemisches. Mit der Messung der DZ lässt sich über eine Kalibrierfunktion der Bodenwassergehalt bestimmen (1).

Eine Methode zur Erfassung der DZ ist die Time-Domain-Reflectometry (TDR). Von einem Sender wird ein steilflankiger Impuls auf eine Leitung (Bild 4) gegeben. Dieser Impuls läuft auf der Leitung entlang und wird an allen Störungen, z.B. am Leitungsende reflektiert. Am Leitungsanfang wird der reflektierte Impuls detektiert und seine Laufzeit gemessen. Seine Ausbreitungsgeschwindigkeit ist abhängig von den dielektrischen Eigenschaften des Materials, das die Leitung umgibt. Ändert sich die DZ des Bodens z.B. durch Zufluss von Wasser, bildet der Unterschied der DZ ebenfalls eine Störung und wird als Reflektion am Leitungsanfang aufgenommen.



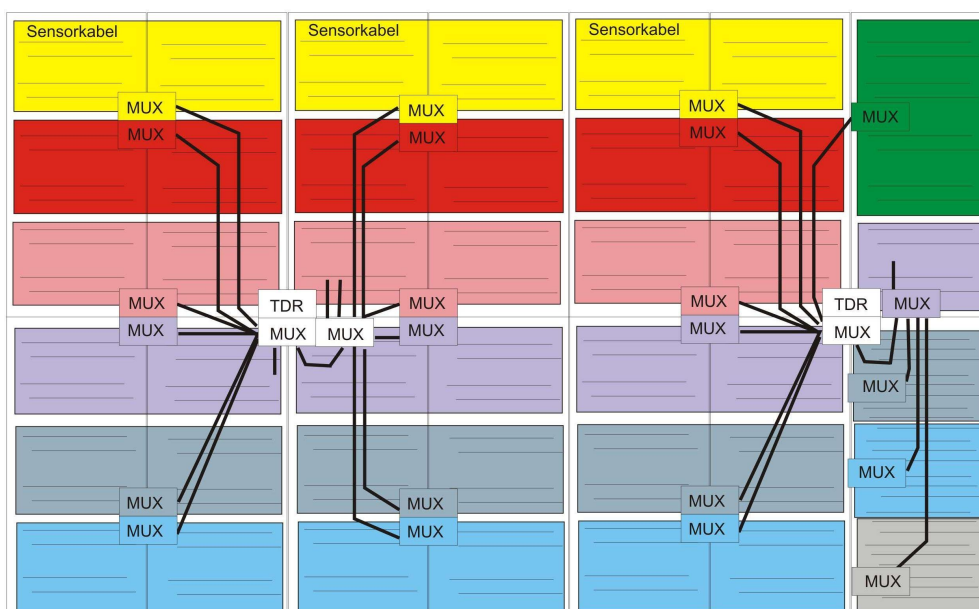
*Bild 4: TAUPE-Sensorkabel*

Um ein repräsentatives Messvolumen im umgebenden Material zu überwachen, wird ein spezielles Sensorkabel aus drei Einzelleitern eingesetzt. Dieses hat die

Wirkung einer Antenne. Zu diesem Sensorkabel wird der Sendeimpuls über ein abgeschirmtes Kabel geführt.

Der Abstand vom Sender zum Sensorkabel kann bis zu 100 m betragen. Zur Abdeckung einer größeren Fläche werden in das Zuführungskabel Multiplexer (MUX) als Verteiler eingefügt, die den Sendeimpuls auf jeweils mehrere Sensorkabel verteilen. Eine Kalibrierung gibt den Zusammenhang zwischen der gemessenen Laufzeit und dem gesuchten Wassergehalt. Die Auswertung der Reflektionen entlang dem Kabel erlaubt zusätzlich eine örtliche Auflösung, sodass auch lokale Feuchteänderungen detektiert werden.

Die Sensorkabel werden flächig in der Stützschiicht und im Unterboden verlegt. Beide Schichten weisen eine Schichtstärke von ca. 15 cm auf und bestehen aus schluffigem Sand (Su). In dem abgegrenzten Bereich des Lysimeters wird zusätzlich eine weitere Lage Sensorkabel in der Kapillarschicht verlegt (Bild 5).



*Bild 5: Verlegeschema der Sensoren des Dichtungskontrollsystems TAUPE*

Die jeweiligen Schichten werden jeweils komplett hergestellt. Danach werden nach dem Verlegeplan von Hand Kabelgräben von ca. 10 cm x 10 cm ausgehoben. Die vorkonfektionierten Sensoren werden in die Kabelgräben eingelegt (Bild 6), verfüllt und leicht verdichtet.





*Bild 6: Verlegung der TAUPE-Sensoren*

Die mit den Sensorkabeln verbundenen Koaxialkabel werden zusammengeführt und als Kabelbündel an einer eingerammten Stange verwahrt (Bild 7). Die Kabel werden so durch den weiteren Schichtenaufbau nach oben geführt. Nach Aufbringen des Wurzelbodens werden die Stangen gezogen. Nach dem Aufbringen des gesamten Wurzelbodens werden die Multiplexer im Bereich der Kabelbündel frostfrei im Wurzelboden installiert. Die Anschlüsse der Multiplexer an die Zentraleinheiten zur Datenerfassung werden ebenfalls in der Rekultivierungsschicht verlegt. Dadurch sind Multiplexer und Verbindungskabel gegen mechanische Verletzungen geschützt.



*Bild 7: Kabelbündel der verwahrten Anschlüsse*

Nach dem vorliegenden Qualitätssicherungsplan werden die im Kabelwerk konfektionierten Sensoren durch den Hersteller des Dichtungskontrollsystems vor der Auslieferung auf die Baustelle getestet. Die örtliche Fachbauleitung überwacht die Verlegung der Sensoren entsprechend dem Verlegeplan. Unmittelbar nach Verlegung werden die Sensoren durch die Baufirma eingemessen und nochmals durch den Hersteller getestet (Bild 8).



*Bild 8: Kontrollmessungen unmittelbar nach dem Verlegen der Sensoren*

Nach der vollständigen Installation wird das Dichtungskontrollsystem vom Hersteller in Betrieb genommen. Entsprechend den Empfehlungen des Arbeitskreises Dichtungskontrollsysteme wird durch die Fremdüberwachung die Funktionsfähigkeit durch die Ortung von Testleckagen überprüft. Danach erfolgt die Übergabe an den Bauherren.

#### **4. Kontroll- und Untersuchungsprogramm**

Für das Testfeld ist ein Kontroll- und Untersuchungsprogramm für einen Zeitraum von drei Jahren vorgesehen. Dieses beinhaltet u.a. folgende Kontrollen und Untersuchungen, zu denen das TAUPE-System maßgeblich beiträgt:

- Messung der Wassergehaltsveränderungen in den Schichten über und unter der Kapillarsperre mit dem System TAUPE und damit Lokalisierung von Durchflüssen
- Messung der Wassergehaltsveränderungen in der Kapillarschicht mit dem System TAUPE
- Kontrollmessungen der Wassergehaltsveränderungen mit Neutronensonden
- Messungen der Abflüsse aus dem Testfeld über eine kontinuierlich arbeitende Abflussmessung
- Bilanzierung des Wasserhaushaltes

Ein weitergehendes Ziel wird es dabei sein, aus diesen Messungen und Bilanzierungen für das erstellte Abdichtungssystem im weiteren Verlauf eine Wasserhaushaltsmodellierung auf rechnerischem Weg aufzustellen. Der Verlauf des Untersuchungsprogramms ist in Tabelle 1 dargestellt. Erste Messungen zur Bestimmung des Zustandes für die Baufertigstellung wurden baubegleitend bereits vorgenommen. Der eigentliche Beginn des Messprogramms war im Frühjahr 2006.





abführen. Seit Juni nimmt der Wassergehalt hier stetig ab, was auf ein Leerlaufen dieser Schicht hindeutet.

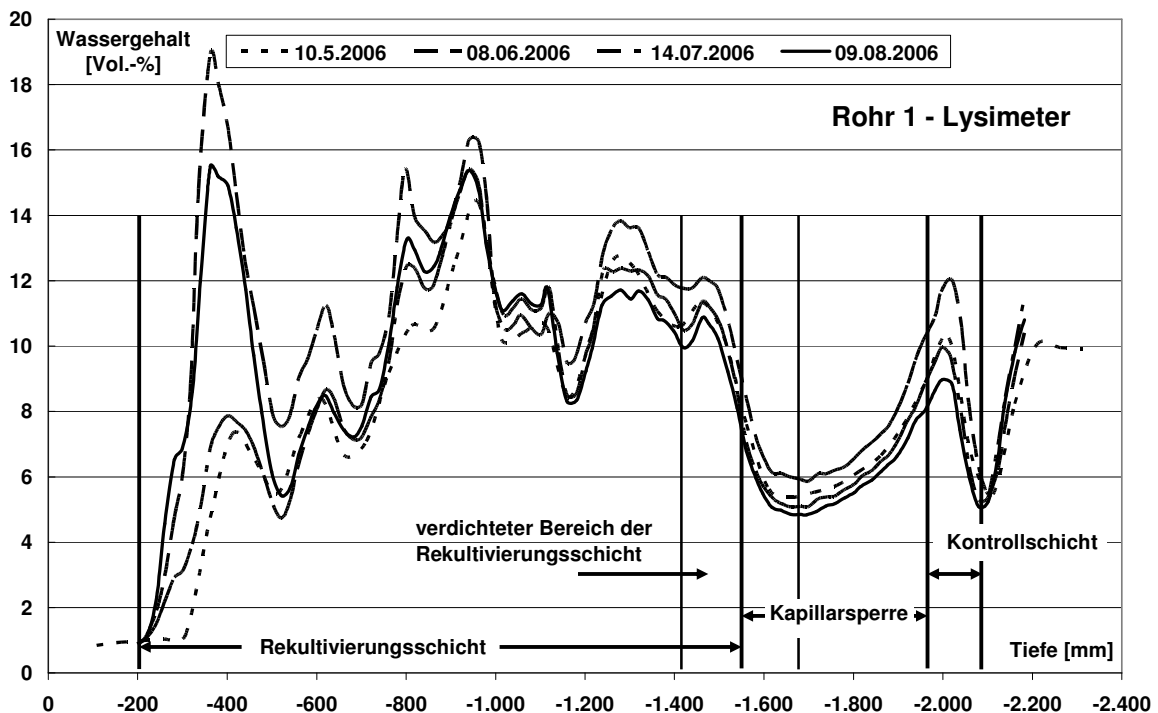


Bild 9: vertikale Wassergehaltsmessung mit dem System Lumbricus (unkalibriert)

## 5.2. Messungen mit dem System TAUPE

Seit Mitte August 2005 werden die Daten des TAUPE-Systems kontinuierlich aufgezeichnet. Die Messung findet automatisch ein Mal pro Tag statt. Während der Inbetriebnahme des Messsystems waren die Multiplexer (MUX) 14 und 16 zeitweise elektrisch nicht ansteuerbar. Das lag an einem verbindenden Koaxialkabel, das über eine Verletzung in der Ummantelung Feuchtigkeit aufnahm. Die Verletzung konnte mit dem Messsystem selbst detektiert, lokalisiert und gezielt behoben werden.

Die Daten werden über eine spezielle Oberfläche erfasst, ausgewertet, archiviert und graphisch dargestellt. Die Oberfläche der Auswertung eines einzelnen Sensors (hier Sensor 22 in der Kontrollschicht) ist in Bild 10 dargestellt. Anfang und Ende der Impulskurve werden Mittels eines speziell entwickelten mathematischen Verfahrens bestimmt und daraus die Impulslaufzeit berechnet. Die Übertragung der Impulslaufzeit auf den aktuellen Wassergehalt erfolgt mit einer Kalibrierkurve, die durch die Parameter A0 bis A3 beschrieben wird.

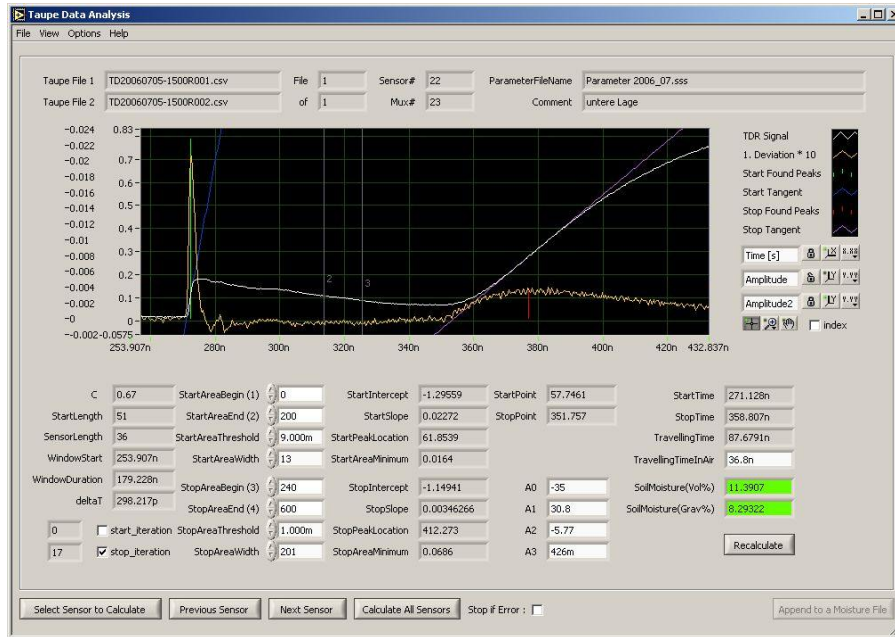


Bild 10: Auswertungsoberfläche der TAUPE-Messung

Ein Beispiel für die Darstellung einer charakteristischen Feuchteverteilung in der Rekultivierungsschicht über die Testfeldfläche zeigt Bild 11. Am 05. Juli 2006 ist erkennbar:

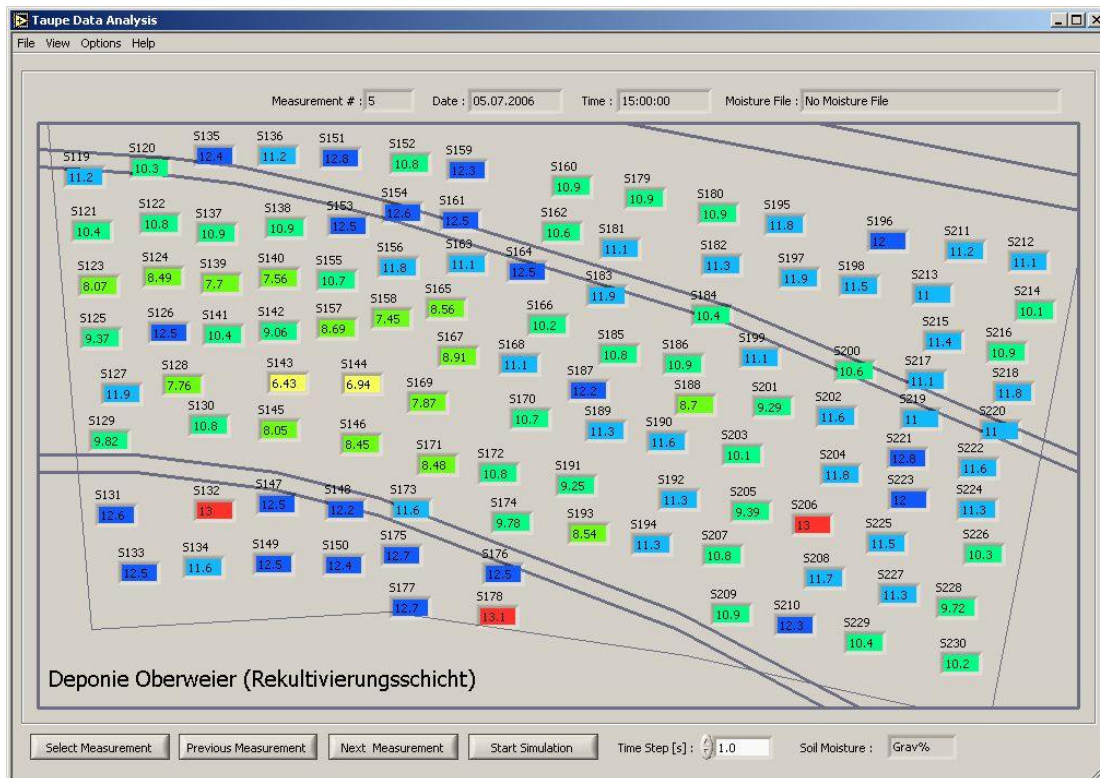


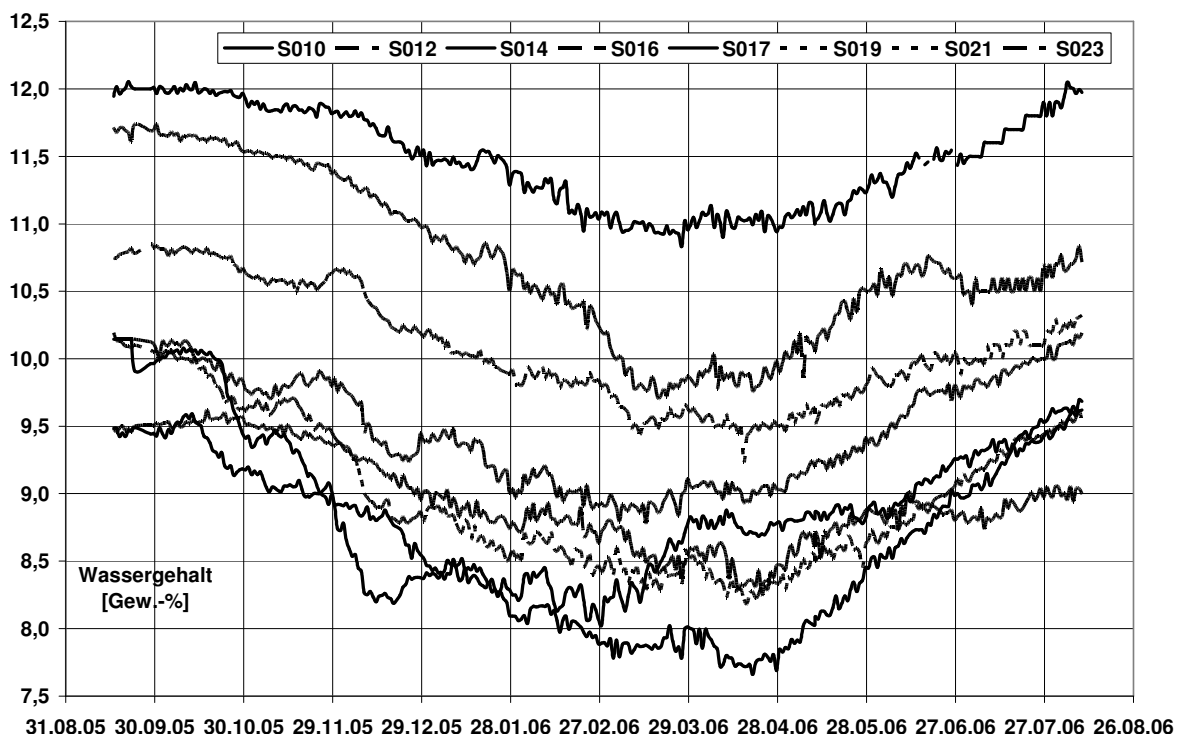
Bild 11: Feuchteverteilung im Testfeld in der Rekultivierungsschicht

- An der Oberseite des Testfeldes (Bereich links unten) sind hohe Feuchtwerte. Hier läuft Wasser von der Kuppe in die Rekultivierungsschicht ein.

- Zwischen den beiden Wirtschaftswegen in der Hangmitte sind die erwarteten Feuchtwerte anzutreffen – die Daten sind weitgehend grün unterlegt, sie liegen zwischen 6,5 und 10,9 Gew.-%. Lediglich im rechten Rand sind erhöhte Werte feststellbar: hier ist noch bedingt durch die vorhergehenden Niederschläge ein erhöhter lateraler Abfluss.
- Am Hangfuß (am Bild oben) sind ebenfalls erhöhte Werte gemessen. Hier streichen die lateralen Abflüsse aus, durch die Fließzeiten stellt sich ein Versatz zu den meteorologischen Ereignissen ein.

Kritische Bereiche, hier „rot“ eingefärbt, können so leicht identifiziert und näher untersucht werden. Dazu werden die jeweiligen Sensorkurven analysiert und auf Auffälligkeiten geprüft. Die Ereignisse sind dann erklärbar, d.h. es kann ein Wasserzutritt in die Kapillarschicht bestätigt oder ausgeschlossen werden.

Die eigentliche Kontrolle des Deponieabdichtungssystems erfolgt in der Kontrollschicht, die sich unter dem Dichtungspaket befindet. Bild 12 zeigt den Verlauf der täglichen Sensormessungen am Beispiel eines Hangschnitts durch die Sensoren 10 bis 23. Die Kurven haben einen „harmonischen“ Verlauf, die Schwankungen im Wassergehalt liegen bei ca. 1 Gew.-% (evtl. durch Temperatureinfluss).



*Bild 12: Verlauf der Feuchte seit August 2005 (unkalibriert, Einfluss der Temperatur noch nicht kompensiert)*

Wäre aus der Kapillarsperre Wasser in die Kontrollschicht eingesichert, so hätten sich lokal wesentlich stärkere Sprünge (mindestens um 2 – 3 Gew.-%) in kurzer Zeit ergeben. Aus diesem Feuchteverlauf ist keine Absickerung in die Deponie erkennbar – das Dichtungssystem erfüllt seine Aufgabe.

Mittels der gemessenen aktuellen Feuchte und der Historie der Feuchte kann aus der Feuchte direkt über eine Bodenkalibrierung die ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit ( $k_u$ ) berechnet werden (2). Diese wiederum lässt Schlüsse auf die Wassermenge, die die detektierte Leckage passiert, zu, was zu einer direkten Bewertungsmöglichkeit des Gefährdungspotenzials führt. Diese Schritte werden nur im Verdachtsfall umgesetzt.

## **6. Ausblick**

Mit dem oben vorgestellten Messprogramm soll dazu beigetragen werden, das Dichtungselement Kapillarsperre als Langzeitelement zu belegen. Die Vorabkontrolle eines alternativen Abdichtungselements, evtl. zur späteren Ergänzung zum Multibarrierensystem, ist eine Herausforderung für das Kontrollsystem TAUPE.

Gleichzeitig können die Vorgaben der Empfehlungen der BAM verifiziert werden: zu detektieren sind Leckagen mit einer Ortungsgenauigkeit  $< 100 \text{ m}^2$  (hier wird eine Auflösung von  $10 \text{ m}^2$  angestrebt) und die Änderung des Wassergehalts in der Abdichtung um eine Zehnerpotenz. Diese Fähigkeiten des TAUPE-Systems wurden bereits erfolgreich in kleineren Testfeldern auf Deponien und einem Lysimeter auf dem Gelände des Forschungszentrums Karlsruhe belegt.

Weiter soll im großen Maßstab nachgewiesen werden, dass das TAUPE-System die qualitative und quantitative Abschätzung des Wasserzutritts durch die Dichtung leisten kann. Mit dieser Messaussage wird es dem Deponiebetreiber möglich sein, das Schadenspotenzial durch die detektierte Leckage abzuschätzen und geeignete Maßnahmen in die Wege zu leiten.

### *Literatur:*

(1) Hübner, C., „Entwicklung hochfrequenter Messverfahren zur Boden- und Schneefeuchtebestimmung“, Wissenschaftliche Berichte Forschungszentrum Karlsruhe Nr. 6329, Juli 1999

(2) Schuhmann, R., „Kontrolle von Barrieren: Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeit an Hand des Bodenwassergehaltes“, Mitteilungen des Instituts für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe, Heft 219, 2002

Ansprechpartner, Kontakt:

Dr.-Ing. Rainer Schuhmann,  
Forschungszentrum Karlsruhe  
ITC-WGT, Bau 435  
Postfach 3640  
76021 Karlsruhe  
Mail: [rainer.schuhmann@smg.uni-karlsruhe.de](mailto:rainer.schuhmann@smg.uni-karlsruhe.de)