

## **Einsatz von Wasserhaushaltsschichten als Oberflächenabdichtungssystem – erste Versuchsergebnisse der Lysimeteranlage Bautzen/Nadelwitz**

**Said Al-Akel, Jens Engel, Jürgen I. Schoenherr\*, Mario Müller\***

Hochschule für Technik und Wirtschaft (FH) Dresden, \*Hochschule Zittau/Görlitz (FH)

### **The use of water balance layers as capping system – first results of the lysimeter test plant Bautzen/Nadelwitz**

**Abstract:** Object of extensive studies has been the durability of the sealing systems of landfill deposits. An alternative to the common systems (ENGLOFFSTEIN ET AL., 2008) is the use of water balance layer as a capping system especially in areas with a low precipitation. The design requires a comprehensive consideration of the soil mechanical and soil physical parameters. In the framework of research cooperation project between the University of Applied Sciences Zittau/Görlitz and the University of Applied Sciences Dresden a lysimeter test plant at the landfill Bautzen/Nadelwitz is being under taken since September 2007. The aim is to develop design methods for qualified recultivation layers and to assure an optimal choice of the Soils and the installation methods. This paper provides an overview of the preliminary data.

**Zusammenfassung:** Die Dauerhaftigkeit mineralischer Dichtungsschichten, von Kunststoffdichtungsbahnen oder Kombinationsabdichtungen, ist seit längerer Zeit Gegenstand umfangreicher Studien. Der Einsatz von Wasserhaushaltsschichten als Oberflächenabdichtungssystem, insbesondere in regenarmen Gebieten (ENGLOFFSTEIN ET AL., 2008), stellt eine Alternative zu den vorhandenen Systemen dar. Der Entwurf erfordert eine zusammenhängende Betrachtung von bodenmechanischen, bodenkundlichen und geohydraulischen Anforderungen und sowie die Berücksichtigung der zeitlichen Veränderungen der Bodeneigenschaften. Im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsprojekts der Hochschule Zittau/Görlitz und der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden wird seit September 2007 eine Lysimeteranlage auf der Deponie Bautzen/Nadelwitz betrieben. Das Ziel ist es, Bemessungsregeln für qualifizierte Rekultivierungsschichten zu entwickeln, eine optimale Auswahl des Bodenmaterials und der Einbaumethode sicherzustellen. Dieser Beitrag gibt einen Überblick über die ersten Messergebnisse.

#### **Keywords**

Wasserhaushalt, Deponie, Lysimeter, Rekultivierung, Bodenkunde, Bodenmechaik, Water balance, landfill, recultivation, soil physics, Soil mechanics.

## 1 Grundsätze zur Wasserhaushaltsschichten

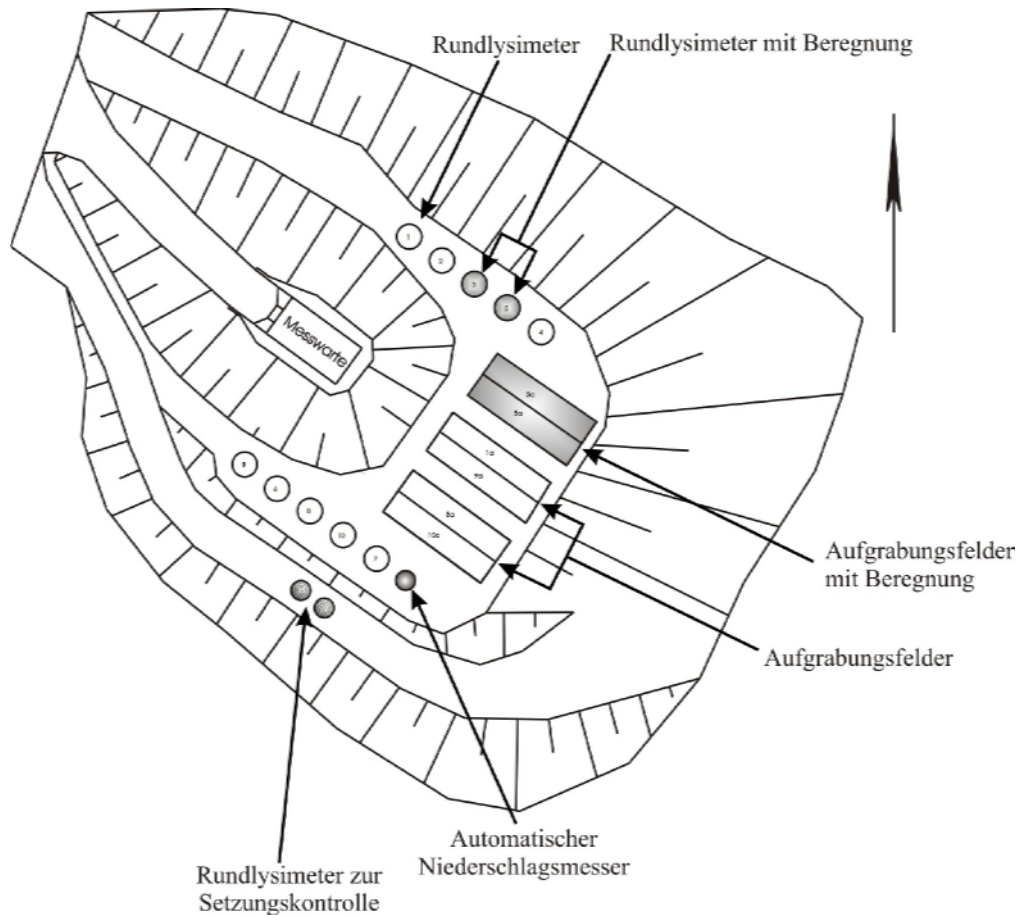
Die Oberflächenabdichtung bildet den Abschluss von Deponien oder Altlasten. Ihr Aufbau ist gesetzlich geregelt und von der Deponieklasse abhängig (DepV, TA Siedlungabfall, TA Abfall). Der Deponiekörper wird vor Sickerwasser geschützt und das Austreten von Deponieschadstoffen verhindert. Schließlich trägt ein standortangepasster Bewuchs zur Integration der Deponie in die Umgebung bei und wirkt positiv auf den Wasserhaushalt. Abweichend von Regelaufbauten ist der Einsatz einer qualifizierten Rekultivierungsschicht bzw. Wasserhaushaltsschicht zugelassen, wenn die Gleichwertigkeit gesichert ist (AL-AKEL ET AL., 2007). Dabei darf die jährliche Durchsickerungsrate den Wert von max. 10 % des durchschnittlichen jährlichen Niederschlags oder max. 60 mm nicht übersteigen. Im Zusammenwirken mit der Verdunstung und dem Wasserverbrauch der Pflanzen kann durch das Wasserspeichervermögen des Bodens die Funktion der Abdichtung nahezu vollständig erfüllt werden. Das erfordert eine umfassende Abstimmung der bodenmechanischen, erdbautechnischen, bodenkundlichen, vegetations- und geohydraulischen Parameter (MELCHIOR ET AL., 2004). Betrachtet man zunächst die einzelnen Anforderungen unabhängig voneinander, führt dies i. Allg. zu sehr widersprüchlichen Anforderungen, wie z.B. der lockere Einbau des Bodens bei gleichzeitiger Sicherung einer Mindestfestigkeit.

Eine Berücksichtigung der Veränderungen der hydraulischen und bodenphysikalischen Eigenschaften über einen längeren Zeitraum ist bei der Modellierung des Wasserhaushalts zur Zeit nur in begrenztem Umfang oder gar nicht möglich (RAMKE, ET. AL., 2006). Für den Nachweis der Systemwirksamkeit ist dies jedoch notwendig.

## 2 Beschreibung der Lysimeteranlage

Im Rahmen eines BMBF geförderten gemeinsamen FH<sup>3</sup>- Forschungsprojekts der Hochschule Zittau/Görlitz und der HTW Dresden und in Zusammenarbeit mit verschiedenen Praxispartnern und Behörden wurde eine Lysimeteranlage auf dem Gelände der Hausmülldeponie des regionalen Abfallverbandes Oberlausitz Niederschlesien – RAVON – in Bautzen/Nadelwitz errichtet und wird seit September 2007 betrieben. Die Hauptziele des Forschungsprojekts sind:

- Erstellung von Konstruktions- und Bemessungsregeln für den Bau von optimierten Rekultivierungs-/Wasserhaushaltsschichten
- Kenntniserweiterung über die zeitliche Veränderlichkeit der Bodeneigenschaften
- Quantifizierung des wechselseitigen Einflusses von Vegetation und Boden
- Bewertung der Systemwirksamkeit unter veränderten Niederschlagssituationen.

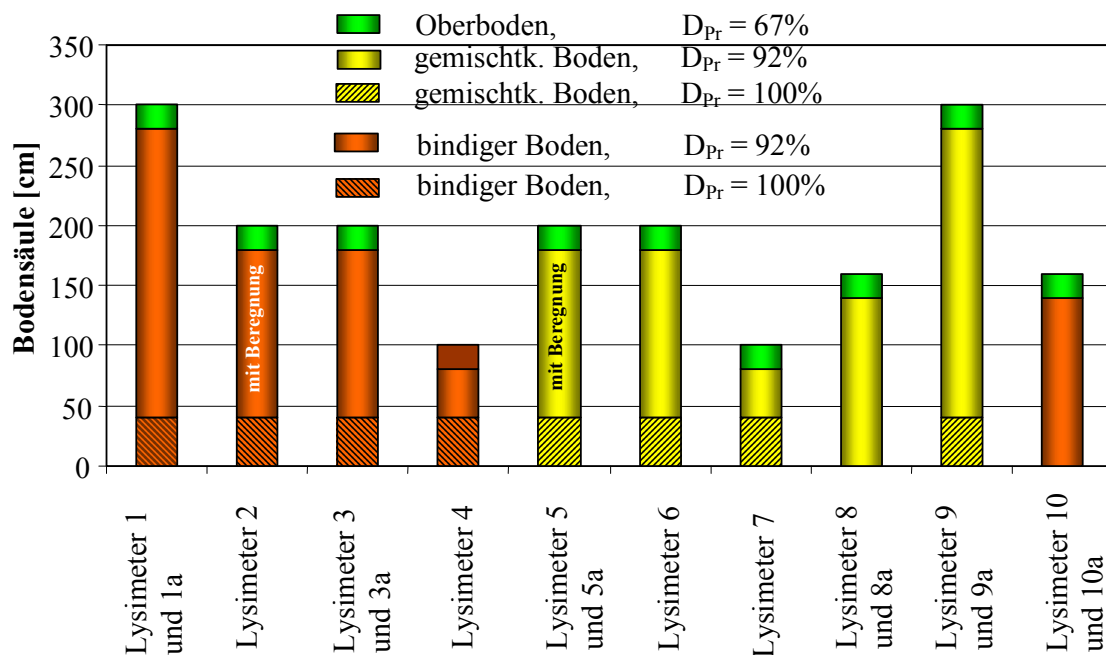


**Abbildung 1** Lageplan der Lysimeterversuchsanlage (MÜLLER ET AL., 2008)

Die Anlage besteht aus 10 Rundlysimetern  $\varnothing$  1,5 m sowie 2 Lysimetern  $\varnothing$  1,0 m. Alle Rundlysimeter wurden aus undurchlässigen Stahlbetonschachtringen hergestellt. Die Lysimeterhöhen (Schichtmächtigkeiten) variieren zwischen 1,0 m und 3,0 m. Der Schichtenaufbau ist in Abbildung 2 dargestellt. Zur Gewinnung von repräsentativen, ungestörten Bodenproben nach unterschiedlichen Zeitabständen sind 6 rechteckige Aufgrabungsfelder (L= 7,5 m, B= 1,5 m) errichtet worden. Diese haben die gleichen Tiefen, den gleichen Schichtenaufbau und Bewuchs wie die Rundlysimeter. Die Entnahme der Proben dient der Bestimmung von bodenmechanischen und geohydraulischen Eigenschaften im Labor. Die Datenaufzeichnung und die Versorgung mit Wasser und Strom sowie die Erfassung des Sickerwassers aus den Rundlysimetern erfolgt in einer Messwarte.

Als Rekultivierungsböden sind zwei regional anstehende Böden (bindiger und gemischtkörniger Boden) ausgewählt worden. Eine detaillierte Beschreibung der verwendeten Böden erfolgt in Abschnitt 3.

Die Bodensäulen stehen auf einer Drainageschicht. Diese dient ausschließlich der Ableitung und Erfassung des Sickerwassers und hat keine Wasserhaushaltsfunktion. Das Sickerwasser wird bei den Rundlysimetern 1 bis 10 aufgefangen.



**Abbildung 2** Aufbau und Mächtigkeit der Bodenschichten in den Lysimetern

In der Region um Bautzen ist mit einem jährlichen durchschnittlichen Niederschlag von ca. 600 mm zu rechnen. Um die Verhältnisse in niederschlagsreicheren Gebieten simulieren zu können, wurde bei 2 Rundlysimetern und 2 Aufgrabungsfeldern eine Beregnungseinheit installiert. Damit ist es möglich, zusätzliche Wassermengen begleitend zu den Niederschlagsereignissen (bis zu max. 1.000 mm/a) zu beaufschlagen.

Nach Abschluss der Bauarbeiten und der Probezeit wurde die Anlage im September 2007 in Betrieb genommen. Der reguläre Messbetrieb startete mit Beginn des hydrologischen Jahres 2008.



**Abbildung 3** Die Lysimeteranlage während des Baus

### 3 Eigenschaften der verwendeten Böden

Im Vorfeld des Baus der Lysimeteranlage sind regional anstehende Böden auf ihre Eignung für den Einsatz als qualifizierte Rekultivierungsschicht untersucht worden. Um ein breites Spektrum möglicher Bodenarten abzudecken wurden zwei sehr unterschiedliche Bodenarten ausgewählt – ein gemischtkörniges und ein leicht plastisches Material. Als Oberboden kam humusreicher Boden zum Einsatz. In der Tabelle 1 sind die ausgewählten Böden beschrieben.

**Tabelle 1** Benennung und Beschreibung der verwendeten Böden

Bodenbeschreibung	DIN EN 14688-2	DIN 18196	DIN 4220
<b>Gemischtkörniger Boden:</b> feinkiesiger, leicht schluffiger Sand	fgrsi´Sa	SU	Su2
<b>Bindiger Boden:</b> leicht toniger, leicht sandiger Schluff	cl´sa´Si	TL	Ut3
<b>Oberboden:</b> mittel- bis grobsandiger, leicht kiesiger, leicht feinsandiger Schluff	msacsagr´fsa´Si	-	Us

Die Eignungsprüfung erfolgte im Geotechnik Labor der HTW Dresden. Dabei wurden folgende Eigenschaften untersucht:

- Kennwerte der Phasenzusammensetzung (natürlicher Wassergehalt, Dichte, Korndichte),
- Klassifikationskennwerte (Fließ- und Ausrollgrenze, Korngrößenverteilung, Glühverlust, Kalkgehalt, Wasseraufnahme),
- Verdichtungskennwerte (Proctorversuch),
- Scherfestigkeit (Reibungswinkel, Kohäsion),
- Durchlässigkeit (Durchlässigkeitsbeiwert) und
- Zusammendrückbarkeit (Steifemodul),
- Kapillarspannungs-Sättigungs-Beziehung (Druckplattenextraktor).

In der Tabelle 2 sind einige im Labor ermittelte Kennwerte zusammengestellt. Die Bestimmung der Kennwerte der Zusammendrückbarkeit, Durchlässigkeit und Scherfestigkeit sowie die Ermittlung des Zusammenhangs zwischen Saugspannung und Sättigung erfolgten an Proben mit der gleichen Phasenzusammensetzung (Dichte, Wassergehalt) wie in den Lysimetern.

Mit der Festlegung einer Zieleinbaudichte von  $D_{Pr}=92\%$  sollten die Setzungen und Sackungen vorweggenommen werden, die bei geringeren Einbaudichten erfahrungsgemäß zu erwarten sind. Diese Vorgabe erfolgte auf Basis einschlägiger Praxiserfahrungen der Projektpartner. Danach wiesen locker geschüttete Rekultivierungsböden bereits nach ca. 1 bis 1,5 Jahren einen Verdichtungsgrad von ca. 90% auf. Die untersten 40 cm je-

der Bodensäule (außer Lysimeter 8 und 10 bzw. Aufgrabungsfelder 8a und 10a) wurden mit einem Verdichtungsgrad von 100% eingebaut. Damit wird die Verhinderung des Eindringens von Wurzeln (Wurzelsperre) in die Drainschicht angestrebt.

**Tabelle 2** Ausgewählte Ergebnisse der bodenmechanischen und bodenphysikalischen Untersuchungen

Boden	$D_{pr}$ [%]	$\rho_d$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$k$ [m/s]	$w$ [%]	FK [%]	nFK [%]	pWP [%]	LK [%]
Gemischtkörniger Boden	92	1,83	$8,7 \cdot 10^{-6}$	5	18	13	5	12
	100	1,99	$5,8 \cdot 10^{-7}$	5	20	14	6	12
Bindiger Boden	92	1,65	$2,9 \cdot 10^{-8}$	12	38	23	15	8
	100	1,8	$1,3 \cdot 10^{-8}$	12	39	23	16	7
Oberboden	62	1,26	$1,0 \cdot 10^{-7}$	8	30	23	7	8

*Verdichtungsgrad und Wassergehalt als Vorgabe für den Bodeneinbau in den Lysimetern*

Der bindige Boden ist schwach durchlässig und liegt gemäß TA Siedlungsabfall bzw. DepV im Durchlässigkeitsbereich einer Dichtungsschicht. Der gemischtkörnige Boden weist eine geringe nutzbare Feldkapazität auf. Die durchgeführten Laboruntersuchungen belegen zwar, dass beide Bodenarten grundsätzlich als Rekultivierungsboden einsetzbar sind, jedoch eher als „grenzwertig“ angesehen werden müssen. Mit dieser Vorgehensweise sollen Grenzbereiche untersucht werden, um einer sinnvollen Einordnung der Messergebnisse an anderen Böden zu ermöglichen.

## 4 Messtechnische Ausstattung der Versuchsanlage

In den Rundlysimetern werden die wasserhaushaltsrelevanten Kenngrößen automatisch im 10 Minuten Rhythmus erfasst und zentral über einen Datenlogger in der Messwarte erfasst und gespeichert. Die Messung des Wassergehalts erfolgt indirekt über PR2-Sonden. Saugspannung und Matrixpotential werden mit Hilfe von Tensiometern (Typ: T8) und Equitensiometern (Typ: EQ15) bestimmt und die Bodentemperatur wird mit Widerstandsthermometern in den Lysimetern 1 und 9 erfasst. Das Sickerwasser wird über Rinnen am Lysimeterboden gesammelt und zu Kippzählern in der Messwarte geleitet. Zur Erfassung der Setzungen sind Mehrfachextensometer installiert worden. In den Aufgrabungsfeldern wird der volumetrische Wassergehalt mit einer mobilen PR2-Sonde indirekt gemessen. Die Datenerfassung erfolgt hier manuell. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die installierten Messgeräte.

Die manuellen Setzungsmessungen sowie die Wassergehaltmessungen in den Aufgrabungslysimetern finden wöchentlich statt. Parallel dazu werden die Daten aus dem Logger abgerufen und die Funktionalität der Messtechnik kontrolliert.

**Tabelle 3** Installierte Messtechnik in den Rundlysimetern (MÜLLER ET AL., 2007)

Ort	Messebenen unter GOF in cm			
	volumetrischer Wassergehalt**	Saugspannung Matrixpotential	Messebenen der Setzung	Bodentemperatur
Rundlysimeter 1	0 – 300	-	20-100-180-260	15-30-100-300
Rundlysimeter 2	0 – 200	-	20-100-160	-
Rundlysimeter 3*	0 – 200	20-50-100-160	20-100-160	-
Rundlysimeter 4	0 – 100	60	20-60	-
Rundlysimeter 5*	0 – 200	20-50-100-160	20-100-160	-
Rundlysimeter 6	0 – 200	-	20-100-160	-
Rundlysimeter 7	0 – 100	45-75	20-60	-
Rundlysimeter 8	0 – 160	155	20-80-180	-
Rundlysimeter 9	0 – 300	-	20-100-180-260	15-30-100-300
Rundlysimeter 10	0 – 160	155	20-90	-
Rundlysimeter 11	0 – 100	-	20-40-60-80	-
Rundlysimeter 12	0 – 100	-	20-40-60-80	-

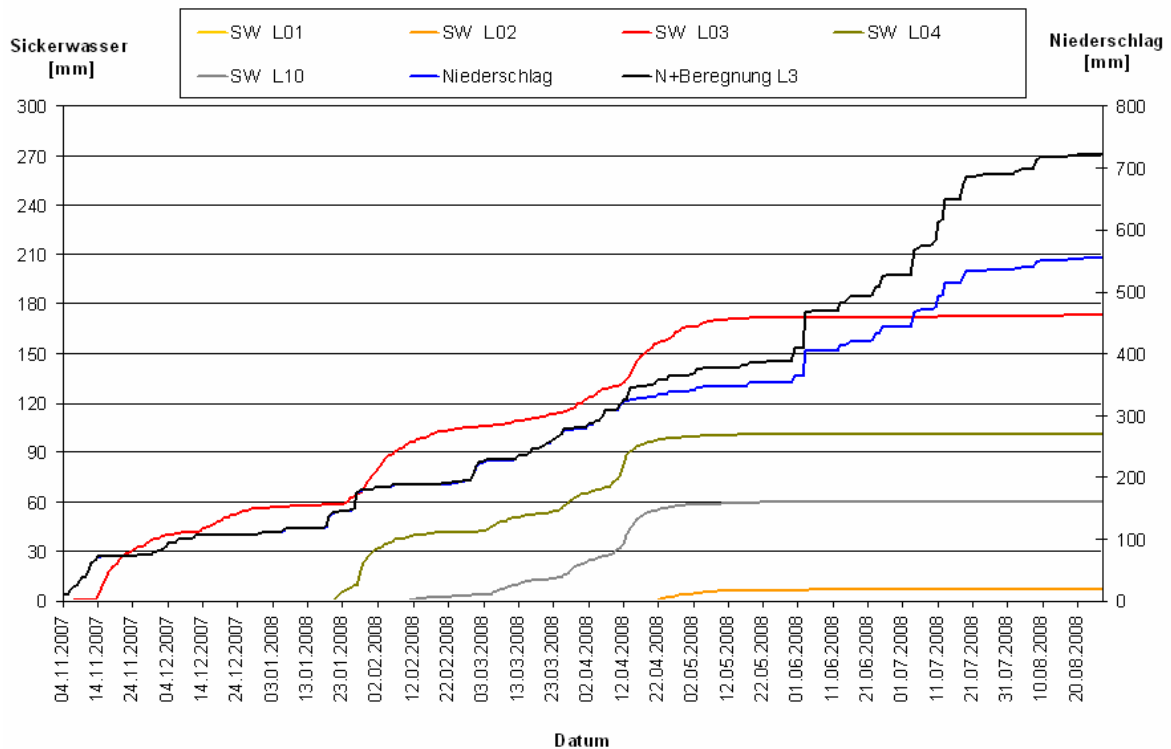
\* Lysimeter mit Beregnungseinheit

\*\* Messung durchgängig im Abstand von 10 cm

## 5 Auswertung der Messergebnisse

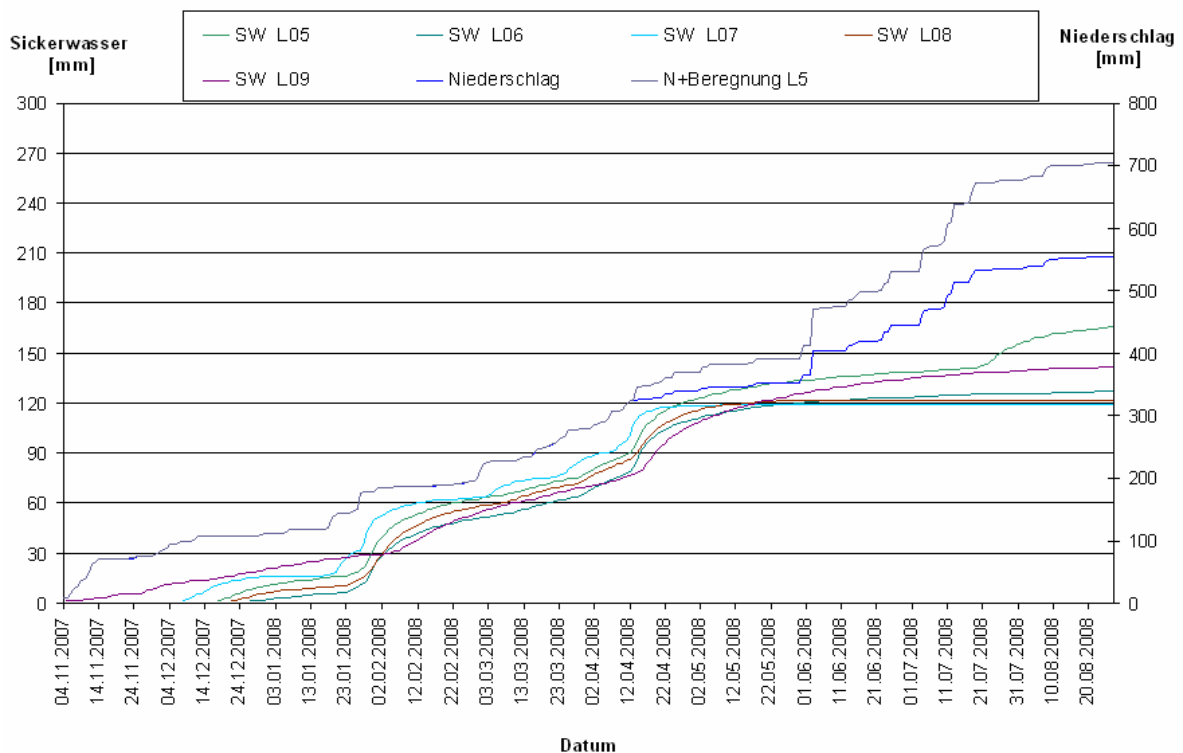
Die Gesamtniederschlagsmenge vom 01.11.2007 bis 31.08.2008 betrug 554 mm. Die Lysimeter 3 und 5 sind zusätzlich beregnet worden. In der Tabelle 4 sind die Niederschlags- sowie Durchsickerungsmengen angegeben. Die Differenz der Niederschlagsmengen der Lysimetern 3 und 5 entstand durch eine Fehlfunktion der Beregnungsanlage im April 2008. Diese wurde erkannt und behoben.

Die Abbildung 4 und Abbildung 5 zeigen die kumulativen Sickerwasser- und Niederschlagsmengen sowie deren zeitliche Entwicklung. Die in Abbildung 4 dargestellten Durchsickerungslinien des bindigen Bodens verlaufen nahezu parallel. Je dicker die Rekultivierungsschicht ist umso später beginnt die Durchsickerung. Die Durchsickerungsrate nimmt während der Wintermonate zu. Für das hydrologische Sommerhalbjahr 2008 sind keine signifikanten Durchflüsse nachweisbar. Lysimeter 1 mit einer Bodensäule von 3,0 m hat keine Durchsickerung bis August 2008 gezeigt. Bei Lysimeter 3 ist während der Installationsphase der Beregnungseinheit im August 2007 unkontrolliert eine nicht erfasste Wassermenge zugeführt worden. Das hat dazu geführt, dass die kumulative Sickerwassermenge im Vergleich mit den anderen Lysimetern zu hoch ist, siehe Abbildung 4 und Tabelle 4.



**Abbildung 4** Kumulative Niederschlags- und Sickerwassermengen, bindiger Boden

Der Boden war zu Beginn der Messung nahezu wassergesättigt und konnte demzufolge kein Wasser mehr speichern. Prinzipiell ist der Verlauf jedoch identisch mit den anderen Lysimetern. Bei der weiteren Interpretation werden Langzeitmessungen und Vergleiche mit weiteren Lysimetern berücksichtigt.



**Abbildung 5** Kumulative Niederschlags- und Sickerwassermengen, gemischtkörnige Böden



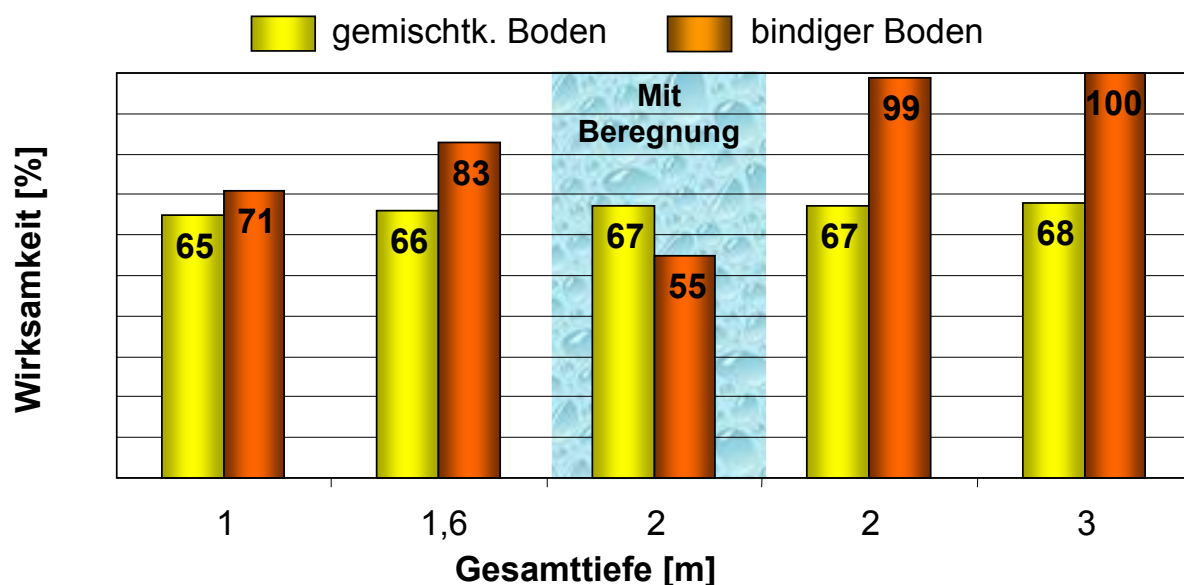
**Tabelle 4** Niederschlags- und Durchsickerungsmengen der Lysimeter

Lysimeter	Bodenart	Bodensäule [m]	Niederschlagsmenge [mm]	Durchsickerungsmenge [mm]
1	Bindiger Boden	3	554	0
2		2	554	7
3*		2	724	173
4		1	554	100
10**		1,6	554	60
5*	Gemischtkörniger Boden	2	705	165
6		2	554	127
7		1	554	119
8**		1,6	554	122
9		3	554	142

\* mit Berechnung

\*\* ohne  $D_{Pr} = 100\%$ -Schicht

Aus Abbildung 5 ist zu entnehmen, dass der gemischtkörnige Boden erwartungsgemäß auf Grund der niedrigeren Feldkapazität und größeren Durchlässigkeit als der bindige Boden mehr Durchflüsse ausweist. Die Sickerwasserverläufe der verschiedenen Lysimeter liegen parallel und quantitativ dicht beieinander. Für das erste hydrologische Jahr wiesen die Durchflüsse in den Lysimetern mit gemischtkörnigem Boden unabhängig von der Bodenmächtigkeit und dem Verdichtungsgrad ein sehr ähnliches Verhalten auf.

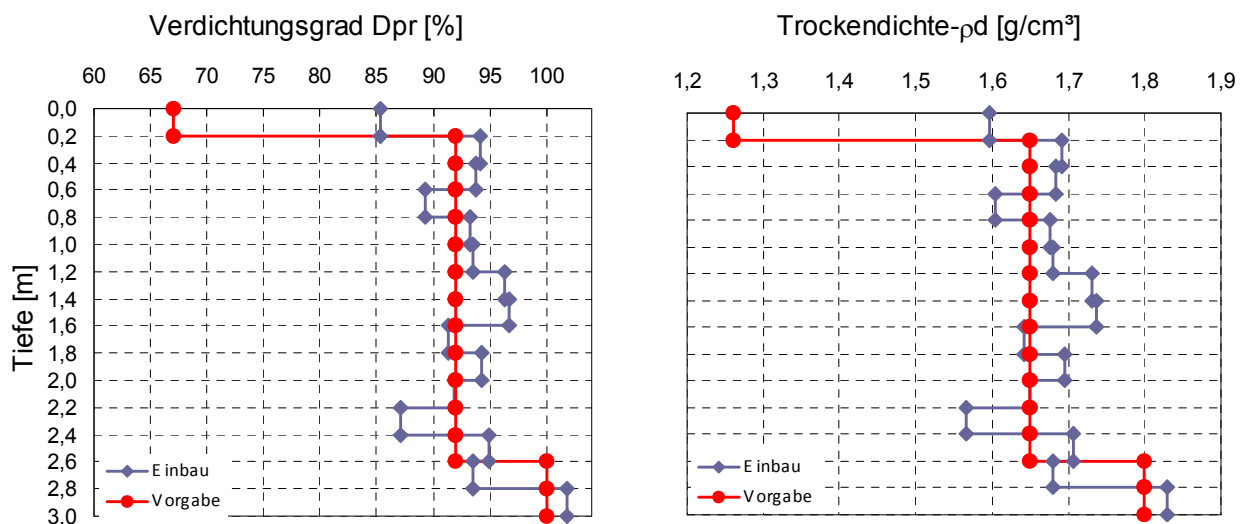
**Abbildung 6** Wirksamkeitsbetrachtungen in Abhängigkeit von der Schichtmächtigkeit

In Abbildung 6 ist eine vergleichende Betrachtung der Wirksamkeit aller Varianten dargestellt. Die Dicke der Wasserhaushaltsschicht aus gemischtkörnigem Boden hat keinen wesentlichen Einfluss auf die Wirksamkeit des Systems. Dagegen sind beim bindi-

gen Boden deutliche Unterschiede in der Wirksamkeit in Abhängigkeit der Dicke der Bodensäule feststellbar.

Im Rahmen der Setzungsmessungen sind Verformungen im Millimeterbereich registriert worden. Dies bestätigt die Vorwegnahme der Verformungen durch die gewählte Einbaumethode und Einbaudichte.

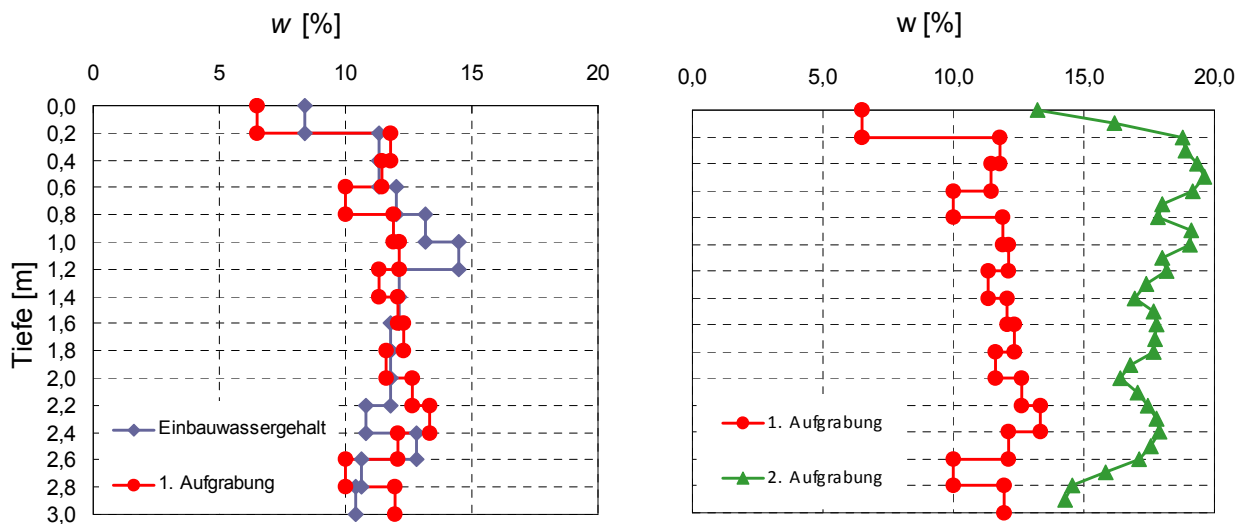
Im Oktober 2007 erfolgt die erste Aufgrabung. Dabei wurde der Boden jeweils in 20 cm Schichten abgetragen. Es ist die Dichte und der Wassergehalt an ungestörten Proben bestimmt worden. Auf Grundlage der Ergebnisse der ersten Aufgrabung sowie der Kontrollmessungen während des Bodeneinbaus kann zunächst auf weiteren Aufgrabungen und die Entnahme ungestörter Proben verzichtet werden. Stattdessen werden aller 6 Monate Proben der Güteklasse 3 mittels Rammkernsondierung entnommen und die Wassergehalte in Abhängigkeit der Entnahmetiefe bestimmt.



**Abbildung 7** Lysimeter 1a,  $t=3,0$  m, bindiger Boden, Vergleich der Verdichtungsgrade zwischen den Einbauvorgaben und den Ergebnissen der ersten Aufgrabung

Die Abbildung 8 zeigt, dass der Boden bis zur 1. Aufgrabung keine nennenswerten Wassergehaltsänderungen erfahren hat. Erst nach den Wintermonaten 2008 (vgl. 1. und 2. Aufgrabung) sind deutliche Änderungen der Wassergehalte über die Tiefe erkennbar gewesen.

Die bisherigen Messergebnisse zeigen, dass das gesamte System sich noch in der Einschwingphase befindet. Als Saatgut ist für den gesamten Bereich der Lysimeteranlage, einschließlich der Aufgrabungsfelder und der umliegenden Flächen, die gleiche Rasensaadmischung benutzt worden. Trotzdem ist die Vegetationsverteilung heterogen und der Deckungsgrade sehr unterschiedlich. Er schwankt zwischen 60% und 100%, was eine optimale Verdunstungsleistung nicht zulässt.



**Abbildung 8** Lysimeter 1a,  $t=3,0$  m, bindiger Boden, Vergleich der Wassergehalte

Das Gesamtbild der Artenzusammensetzung entspricht jedoch annähernd der aufgebrauchten Ansaat (70% Weidelgras-Arten). Im Laufe des hydrologischen Jahres 2009 wird erwartet, dass die Vegetationsverteilung und Vielfalt eine gewisse Homogenität erreicht. Einschlägige Praxiserfahrungen bestätigen diese Annahme (NOBIS, 2008).

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel des hier vorgestellten Forschungsprojekts ist die Entwicklung eines umfassenden Gesamtkonzepts für die Bemessung und Konstruktion von abdichtenden Wasserhaushaltsschichten. Bislang ist eine getrennte Betrachtung der Dicht-, Drainage- und Rekultivierungsschichten üblich. Dabei basiert die Herstellung von Dichtschichten auf bodenmechanischen sowie erdbautechnischen Überlegungen, wogegen die Rekultivierungsschichten auf bodenkundlichen und geohydraulischen Ansätzen beruhen. Mit der Wasserhaushaltsschicht soll die getrennte Funktionalität der einzelnen Schichten verbunden werden.

Die Ergebnisse sollen darüber hinaus erste Hinweise für die Bewertung der Standorte zur Entlassung aus der Nachsorge liefern. Im Ergebnis von Messungen und numerischen Simulationen ist die Planung optimaler Mess- und Kontrollkonzepte möglich, die nach Erprobung an realen Standorten für den Nachweis der Unbedenklichkeit und der Gleichwertigkeit alternativer Bauweisen eingesetzt werden können. Für die Festlegung von Grenzwerten und die Untersuchung möglicher Schadensszenarien sind weiterführende Forschungen erforderlich.

Nach den vorliegenden Ergebnissen ist die Herstellung funktionsfähiger Wasserhaushaltsschichten möglich, wenn folgende Anforderungen erfüllt sind:

1. der Rekultivierungsboden ist ein leicht plastischer, bindiger Boden,
2. die Schichtdicken sind größer als ca. 1,6 bis 2 m,
3. der Verdichtungsgrad nach dem Einbau liegt bei ca. 90%.

Es sind dabei die Anforderungen des Entwurfs der Verordnung zur Vereinfachung des Deponierechts (WAGNER, 2008, ENGELMANN, 2007) zugrunde gelegt worden. Da es sich um die ersten Ergebnisse im Rahmen einer Langzeitstudie handelt, sind diese Schlussfolgerungen zunächst als vorläufige Empfehlungen zu betrachten.

## 7 Literatur:

- Al-Akel, S., Engel, J., Lauer, C., M. Müller, R. Baumert, J. I. Schoenherr 2007 Zusammenhängende Betrachtung geotechnischer und bodenkundlicher Aspekte bei der Planung von qualifizierten Rekultivierungsschichten, Deponieworkshop Zittau – Liberec, Tagungsband, ISBN 978-3-9811021-6-1
- Döring, D. 2007 Untersuchung des Verformungsverhaltens mineralischer Rekultivierungsschichten unter Berücksichtigung des Wasserhaushalts, Diplomarbeit, HTW Dresden
- Egloffstein, Th, Strum, D., Bräckelmann, H. 2008 Erfahrungen beim Bau von Wasserhaushalts-/ Rekultivierungsschichten, Bodenqualität und –verfügbarkeit, unverdichteter Einbau, Erosions- und Setzungsverhalten, erste Langzeiterfahrungen. ICP Eigenverlag, Band 15, ISBN 978-3-939662-04-4.
- Engel, J. 2003 Verfahren zur Vorhersage der Eigenschaften verdichteter Böden, Workshop Bodenverdichtung, Technische Universität Hamburg-Harburg, Arbeitsbereich Geotechnik und Baubetrieb
- Engelmann, B. 2007 Die Integrierte Deponieverordnung (IntDepV, Entwurf: Stand 8/2007), Deponieworkshop Zittau – Liberec, Tagungsband, ISBN 978-3-9811021-6-1
- Melchior, S.; Claussen, A. 2004 Praxiserfahrungen und Ergebnisse der Qualitätssicherung bei der Rekultivierung von Deponien. In: KÜHLEWEIDEMEIER, M. (Hrsg.): Praxistagung Deponie 2005. 1. Auflage 2004, Tagungsband, Göttingen, Cuvillier Verlag
- Müller, M.; Al-Akel, S., Schoenherr, J. I.; Engel, J. 2008 Nutzung von Böden und technischen Bodensubstraten in Deponieoberflächensicherungsmaßnahmen. Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden und Zentrum für angewandte Forschung und Technologie e.V. Fachtagung Geotechnik. Tagungsband, Eigenverlag, Dresden.

- Müller, M, Baumert, R., 2007 Konzeption und Bau einer Lysimeteranlage zur Untersu-  
Freudenreich, R., Al-Akel, chung von Wasserhaushaltsschichten, Deponieworkshop  
S., Schoenherr, J. I., En- Zittau – Liberec, Tagungsband, ISBN 978-3-9811021-6-1  
gel, J.
- Nobis, H., L. 2008 Rekultivierungserfolg durch natürliche Sukzession auf  
nährstoffarmen Abraumböden – Ergebnisse eines Moni-  
torings auf der Deponie Eskesberg in Wuppertal, ICP  
Eigenverlag, Band 15, ISBN 978-3-939662-04-4.
- Ramke, H. G., Witt, K. J., 2006 Ergebnisse des Status-Workshops „ Anforderungen an  
Bräcker, W., Tiedt, M., Deponie-Oberflächenabdichtungssysteme“, Fachhochschule  
Düllmann, H., Melchior, St. Lippe und Höxter, Abteilung Höxter
- Wagner, K. 2008 Die neue Verordnung zur Vereinfachung des Deponie-  
rechts, ICP Eigenverl., Bd. 15, ISBN 978-3-939662-04-4.

### **Anschriften der Verfasser**

Dr.-Ing. Said Al-Akel  
Zentrum für angewandte Forschung und Technologie (ZAFT)  
an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH)  
Friedrich-List-Platz 1  
D-01069 Dresden  
Telefon +49 351 4623647  
Email: al-akel@htw-dresden.de

Prof. Dr.-Ing. habil. Jens Engel  
Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH)  
Friedrich-List-Platz 1  
01069 Dresden  
Telefon +49 351 4622352  
E-Mail: engel@htw-dresden.de

Prof. Dr.-Ing. Jürgen I. Schoenherr  
Hochschule Zittau/Görlitz (FH)  
Friedrich-Schneider-Straße 26  
D-02763 Zittau  
+49 3583 611818  
E-Mail: j.schoenherr@hs-zigr.de

Dipl.-Ing. (FH) Mario Müller  
Hochschule Zittau/Görlitz (FH)  
Friedrich-Schneider-Straße 26  
D-02763 Zittau  
+49 3583 612309  
E-Mail: mmueller@hs-zigr.de