

Erstellung einer Wasserbilanz für die Wasserhaushaltsschicht der Deponie Köthen und Nutzung der Daten für die Modellierung mit SiWaPro DSS

Dipl.-Ing. Bernd Hoppe, Axel Zillmer, AGRO-SAT Consulting Baasdorf
mail@agro-sat.de

Prof. Dr. Peter-Wolfgang Gräber, Technische Universität Dresden
Peter-Wolfgang.Graeber@tu-dresden.de

Gegenwärtig erfolgt die Endabdichtung der Deponie Köthen. Die ersten fünf Bauabschnitte sind fertig gestellt worden, wobei der erste Bauabschnitt 2003 das Regenrückhaltebecken beinhaltete. Der 6. Bauabschnitt wird ab März d. J. realisiert. 2010 soll die Endabdichtung abgeschlossen sein.

Es wurde statt der üblichen Abdichtung mit einer 50 cm starken Tonschicht eine Trisoplast® -Dichtung mit 10 cm Schichtstärke eingesetzt. Es ist die erste Deponie in Sachsen-Anhalt, welche mit dem Baustoff Trisoplast® abgedichtet wird. Es handelt sich deshalb um ein Referenzobjekt.

Nach BEHRENS ist Trisoplast® ein innovatives mineralisches Abdichtungsmaterial, das durch unabhängige Prüfinstitute erfolgreich auf seine Verwendbarkeit untersucht und seit 1995 großflächig in verschiedenen europäischen Staaten für Abdichtungsaufgaben genehmigt und angewandt wird.

Der Einbau erfolgte einlagig (≥ 7 cm Dicke) auf dem trockenen Ast der Proctorkurve mit relativ geringer Verdichtungsenergie (Walzengewicht ca. 3 - 4 t). Durch den Einbau auf dem trockenen Ast der Proctorkurve wird u. a. langfristig die Bildung von Schrumpfrissen verhindert, da der Wassergehalt zum Einbauzeitpunkt in der Regel kleiner ist als zu jedem späteren Zeitpunkt. Das Material ist sozusagen „vorgeschumpft“.

Die Besonderheiten aus bodenphysikalischer Sicht liegen vor allem in der extrem geringen Durchlässigkeit ($k_f \leq 3 \cdot 10^{-11}$ m/s), der weitgehenden Unempfindlichkeit gegenüber Schrumpfrissen infolge Austrocknung und der Fähigkeit zur rissfreien Verformung bei Biegebeanspruchung infolge von Setzungen und insbesondere von Setzungsdifferenzen sowie einer hohen Scherfestigkeit im Hinblick auf die Gewährleistung der Standsicherheit (Reibungswinkel $> 30^\circ$; Kohäsion > 37 kN/m²).

Die Oberflächenabdichtung der Deponie Köthen hat folgenden Aufbau:

- ≥ 20 cm Ausgleichsschicht
- ≥ 30 cm Gasdränschicht
- ≥ 10 cm Trisoplast®
- Trennvlies (Geotextil)
- ≥ 30 cm Entwässerungsschicht
- Trennvlies (Geotextil)
- ≥ 100 cm Rekultivierungsschicht

Die Rekultivierungsschicht wurde in 2 Lagen eingebaut: 70 cm Unterboden und 30 cm Oberboden. Der Oberboden wurde mit 3 – 6 % Kompost angereichert.

Der zweite 2005 fertig gestellte Bauabschnitt ist mit einer Gras-/Kräutermischung zum Schutz gegen Wind- und Wassererosion eingesät worden, so dass sich eine geschlossene Begrünung etabliert hat. Für die vollständige Etablierung des Bewuchses hat sich der 6 %ige Kompostanteil deutlich günstiger ausgewirkt als im Bereich mit nur 3 % Kompost. Im zweiten Bauabschnitt wurden ausgehend vom natürlichen Wasserkreislauf Untersuchungen zur Wirksamkeit der Wasserhaushaltsschicht durchgeführt.

Ende April 2006 erfolgte im zweiten Bauabschnitt in der Wasserhaushaltsschicht der Einsatz von Sentek-Bodenfeuchtesensoren in einem integrierten Kontrollmessfeld (Testfeld). Der Einbau erfolgte auf dem Südhang mit einer Hangneigung 1:3.

Das EnviroSCAN[®]-System ist ein komplettes System zur kontinuierlichen und vollautomatischen Aufzeichnung der räumlichen und zeitlichen Bodenfeuchtedynamik im Bodenprofil [2, 3].

Das Bodenfeuchtesensorensystem besteht aus einer Loggereinheit mit Solarpanel. Maximal können 8 Sonden pro Logger angeschlossen werden. Pro Sonde sind 16 Einzelsensoren möglich. Ein Sensor entspricht einer Messtiefe. 32 Messsensoren können mit einem Logger verwaltet werden.

Funktionsprinzip: Der Sensor nutzt die elektrische Kapazität um die Bodenfeuchte zu messen (FDR= Frequenzänderung). Das unterschiedliche Verhältnis von Luft und Wasser in verschiedenen Bodenschichten lässt sich so sehr schnell und hochgenau bestimmen. Diese Rohwerte werden mit Hilfe einer Kalibrationsgleichung entsprechend der Bodenart in Bodenwassergehalte umgerechnet und in einem Logger zwischengespeichert.

Im Deponiebereich ist die Anwendung einer Standardkalibrierfunktion ausreichend. Die Bodenart des Rekultivierungsmaterials wird dabei durch eine Abschlämprobe ermittelt, die möglichst repräsentativ sein sollte. Gegenüber einer für jeden Einzelsensor ermittelten Kalibrierung weichen diese Werte von den absoluten Werten ab (vgl. Abb. 1). Diese relativen bzw. dynamischen Bodenfeuchtwerte reichen u. E. jedoch aus, um die vorhandene Wasserkapazität der Rekultivierungsschicht zu beurteilen. Eindringende Niederschläge werden als absolute Werte gespeichert.

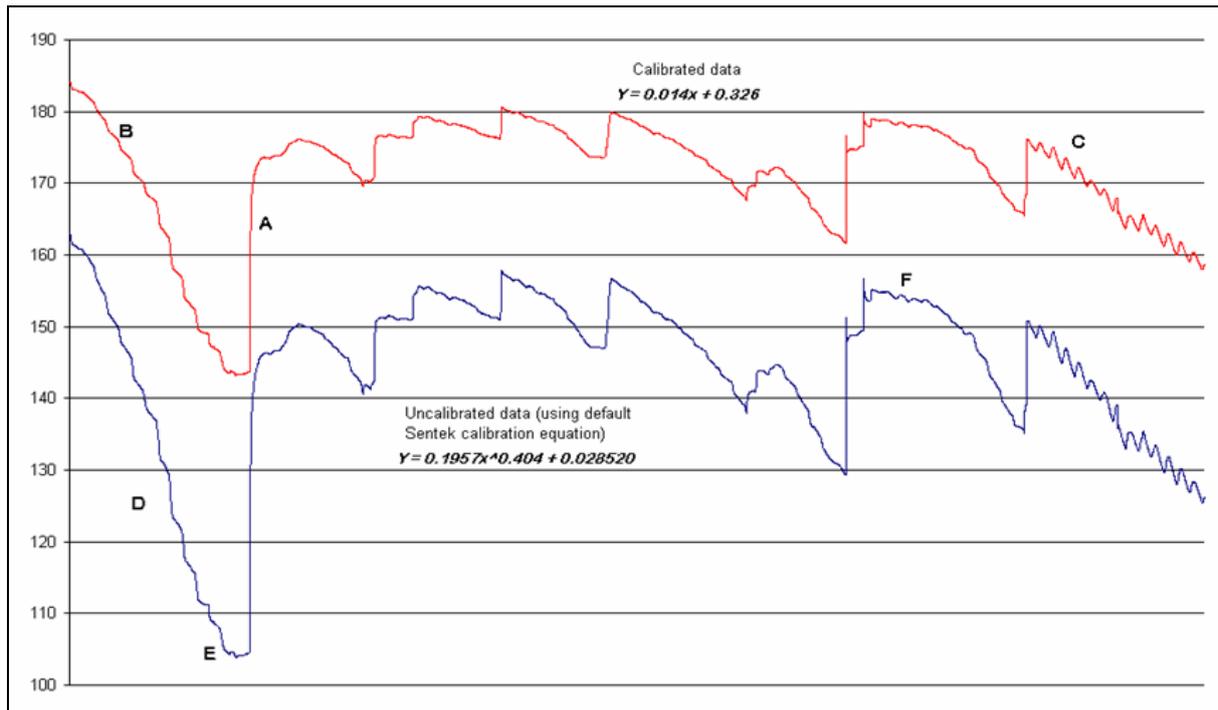


Abb. 1: Vergleich von absoluten (rot) und relativen (blau) Werten der Kalibrierung

Messumfang: Sämtliche Feuchtegehalte von gesättigt bis ofentrocken. Auflösung: Bodenwasser bis 1,2 %. Genauigkeit: Bei Kalibrierung auf den Bodentyp sehr hoch. Dafür spricht der Korrelationskoeffizient von $r = 0,992$.

Die Messdaten werden automatisch und kontinuierlich auf einem Datenlogger aufgezeichnet. Frei wählbar sind folgende Optionen der Datenabfrage: per Modem (Funk, GSM), per Mobiltelefon, per Kabel, Abfrage der Daten vor Ort bzw. im Büro über den PC. Bei „EnviroSCAN plus“ ist die Datenabfrage auch über GPRS/Internet möglich. Der Logger speichert nur die Rohdaten, die Umrechnung erfolgt im PC.

Die Software IrriMAX 7.0 stellt den Bodenfeuchteverlauf grafisch dar. Die Software erlaubt ein frei wählbares Aufzeichnungsintervall von 1 – 999 Minuten. Über Peaks wird sichtbar wie tief Wasser im Bodenprofil eingedrungen ist und in welcher Menge. Die Sensoren vermitteln kontinuierlich ein visuelles Bild des Wassergehaltes im Boden und Wurzelbereich sowie der Wasseraufnahme durch Pflanzen. Mit einem „verschiebbaren Lineal“, das per Maus bewegt wird, können im eingestellten Aufzeichnungsintervall die Bodenwasserwerte mit Datum und Uhrzeit in mm angezeigt und abgelesen werden (Eindringtiefe des Wassers in cm und die in der jeweiligen Bodenschicht gespeicherten mm Bodenwasser).

Ein Datenexport in andere Datenformate ist möglich wie z. B. Windows Excel. Die erfassten Daten werden in Tabellenform (Datum, Uhrzeit, Sensor 1 bis n, mm Bodenwasser) gespeichert.

Im Deponiebereich einsetzbare EnviroSCAN-Sondentiefen liegen zwischen 1 – 30 m. Sorgfalt setzt die Installation der Sondenrohre voraus. Ein entsprechendes Installationsset gewährleistet ein Minimum an Veränderungen des zu messenden Bodenprofils.

Bodenfeuchtesensoren versetzen den Nutzer in die Lage, den Wirkungswert alternativer Oberflächenabdichtungssysteme zu beurteilen: verdunstet oder versickert das Wasser? In Verbindung mit einem Regensmesser werden die Wasserinfiltrationsrate, die Wasserauffüllung im Bodenprofil und die reale Evapotranspiration exakt ermittelt sowie räumlich als auch zeitlich mengenmäßig dokumentiert. Das ermöglicht die Erstellung von Wasserbilanzen für die Wasserhaushaltsschicht, welche es wiederum gestattet deren Wirksamkeit exakt zu ermitteln.

Für die Deponie Köthen liegen vom Mai 2006 bis August 2007 die Messergebnisse als Exceltabelle und Grafiken (Datum, Uhrzeit, mm Bodenwasser in der jeweiligen Messtiefe) im Intervall von 30 Minuten vor. Gemessen wurde die Bodenfeuchte von 10 bis 100 cm Tiefe alle 10 cm. Die Niederschlagsdaten stammen aus der 10 km entfernten Wetterstation Baasdorf.

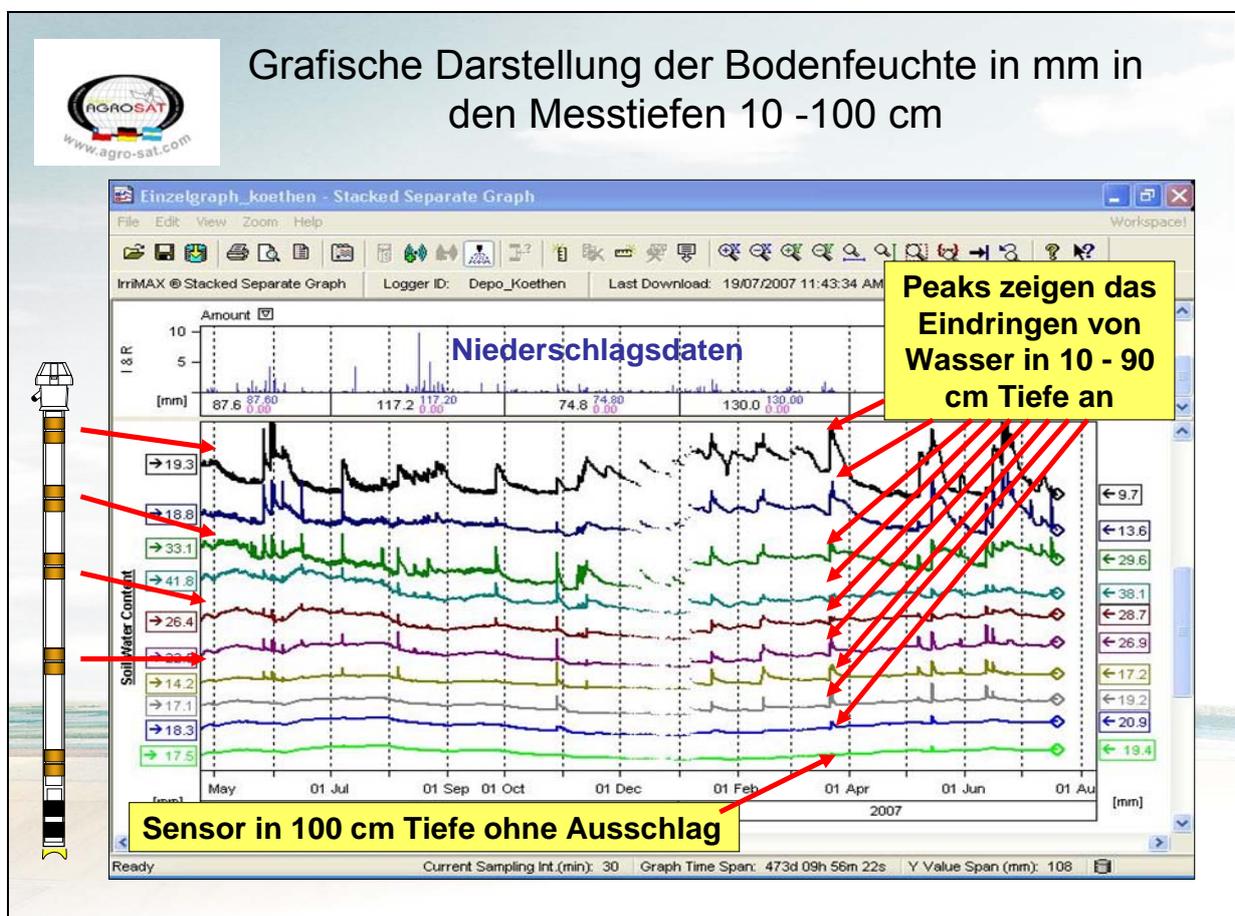


Abb. 2: Grafische Darstellung der Messwerte über 16 Monate

Die Einzelgrafiken der Sentek-Messung in der Wasserhaushaltsschicht der Deponie Köthen von Mai 2006 bis August 2007 dokumentieren die Eindringtiefe von Niederschlägen. Hier beispielhaft ein Niederschlagsereignis Ende März.

Auch Starkregenereignisse mit bis zu 60 mm Niederschlag wie im Juli erfolgt, zeigen, dass in den 16 Monaten – außer im Mai 2007 - kein Niederschlagswasser in die 100 cm-Schicht infiltriert ist.

Lediglich nach dem sehr trockenen April mit nur 1,2 mm Niederschlag ist Mitte Mai nach stärkerem Niederschlag die 100 cm Messtiefe gerissen worden. Das Bodenwasser war in der 100 cm-Schicht kurzzeitig um 1,73 mm erhöht. Denkbar wären Rissbildungen in der Wasserhaushaltsschicht infolge von starker Austrocknung. Insofern gewährleisteten die nachfolgende Entwässerungsschicht und Trisolplast für solche auftretende Extreme eine sehr hohe Sicherheit.

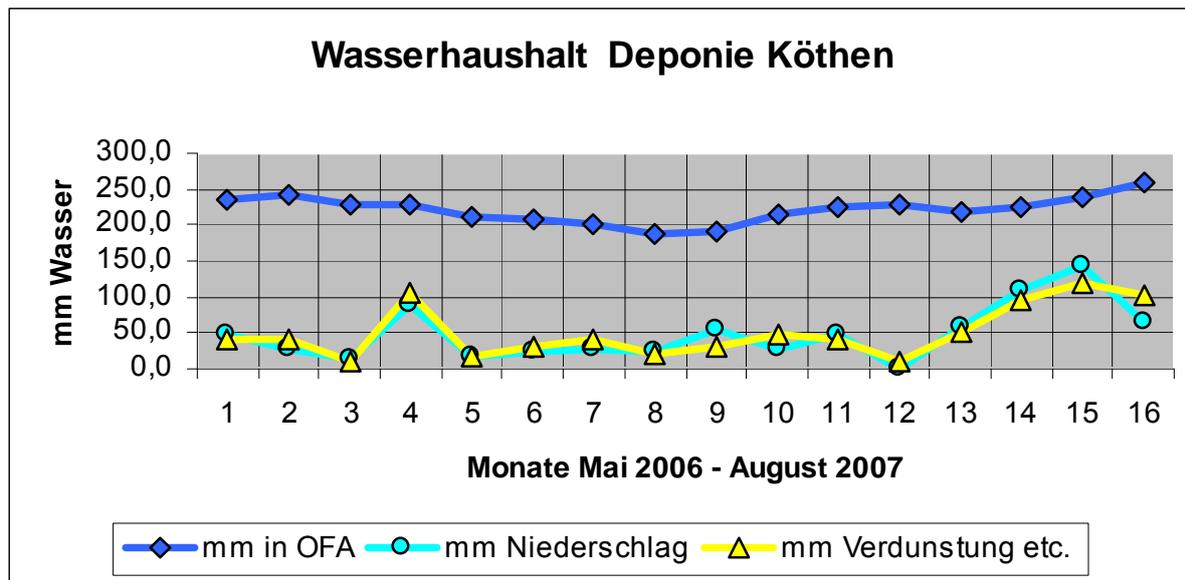
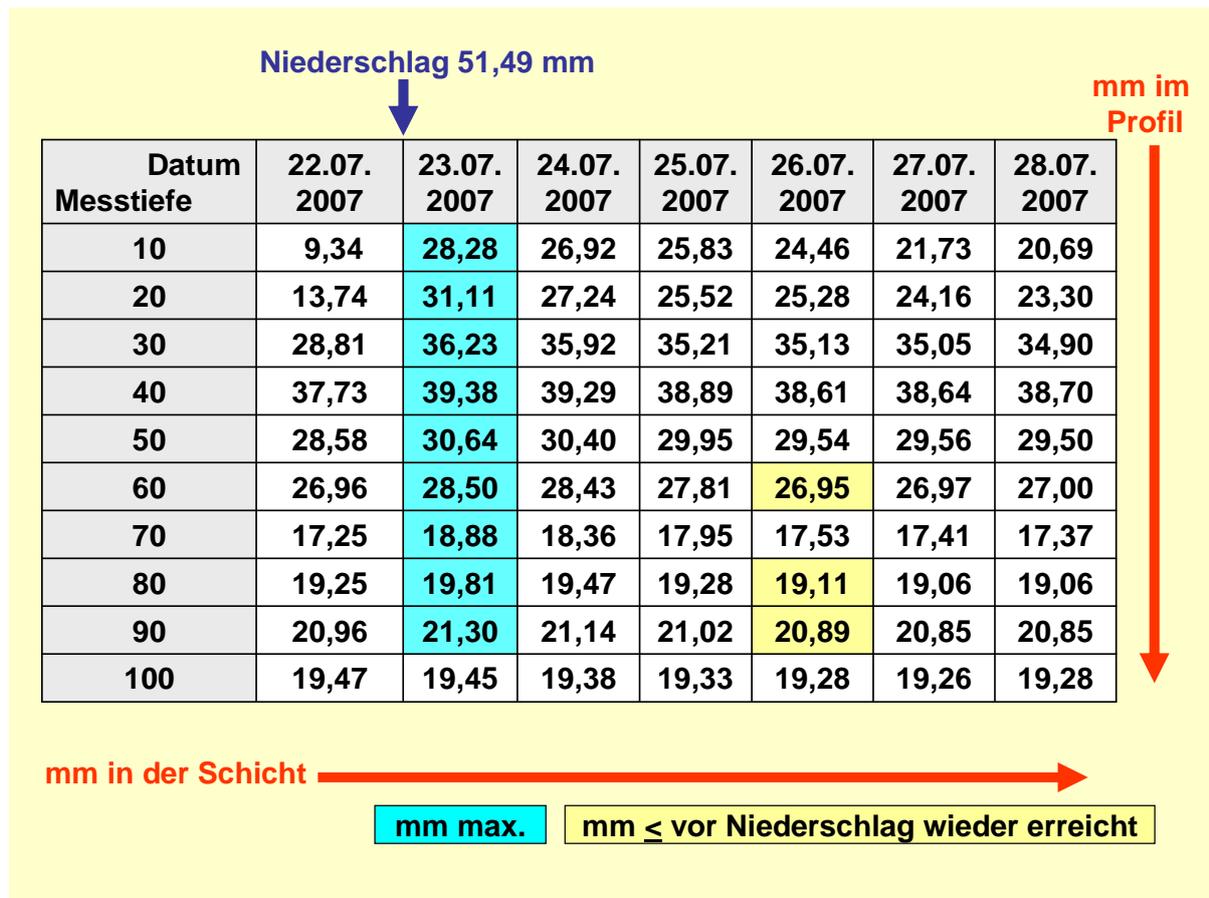


Abb. 3: Wasserhaushalt der Deponie Köthen Mai 2006 – August 2007

Die Grafik zeigt anschaulich den Verlauf des Bodenwassergehaltes vom Mai 2006 – August 2007, das Winterhalbjahr (Spalten 7 – 12). Niederschlag und Verdunstung als Summe aus Transpiration, Evaporation, Interzeption und Oberflächenabfluss halten sich ganzjährig die Waage. Eine Wasserhaushaltsschicht sollte deshalb aus einem guten Material, das das Wasser entsprechend speichern kann und es durch Verdunstung wieder frei gibt, bestehen. Die Evaporation reguliert dabei den Feuchtigkeitshaushalt der Wasserhaushaltsschicht (natürlicher Wasserkreislauf). Pflanzenbewuchs sichert durch Transpiration und Interzeption eine höhere Verdunstungsleistung.



Tab. 1 : Zeitliche und räumliche Dynamik des Bodenwassers in mm in der Zeit vom 22.07. bis 28.07.2007 in der Wasserhaushaltsschicht der Deponie

Zeitliche und räumliche Dynamik des Bodenwassers in mm in der Zeit vom 22.07. bis 28.07.2007 in der Wasserhaushaltsschicht der Deponie Köthen nach einem Starkregenereignis am 22.07.2007 mit 60 mm Niederschlag als Tageswerte (Exceltable). In den Spalten von oben nach unten = mm im Profil, in den Zeilen von links nach rechts = mm in der jeweiligen Bodenschicht 10 – 100 cm alle 10 cm.

Die Messwerte der Tabelle zeigen eine unterschiedliche vertikale Bodenfeuchteverteilung. In der Messtiefe 30 und 40 cm sind deutlich höhere Werte zu verzeichnen, die auf eine Bodenart mit höherer nutzbarer Feldkapazität zurückzuführen sind.

Auch extreme Niederschlagsereignisse beweisen, wie sie 2007 vermehrt aufgetreten sind, dass die 100 cm starke Wasserhaushaltsschicht mit bis zu 800 mm Niederschlag pro Jahr den Anforderungen voll genügt.

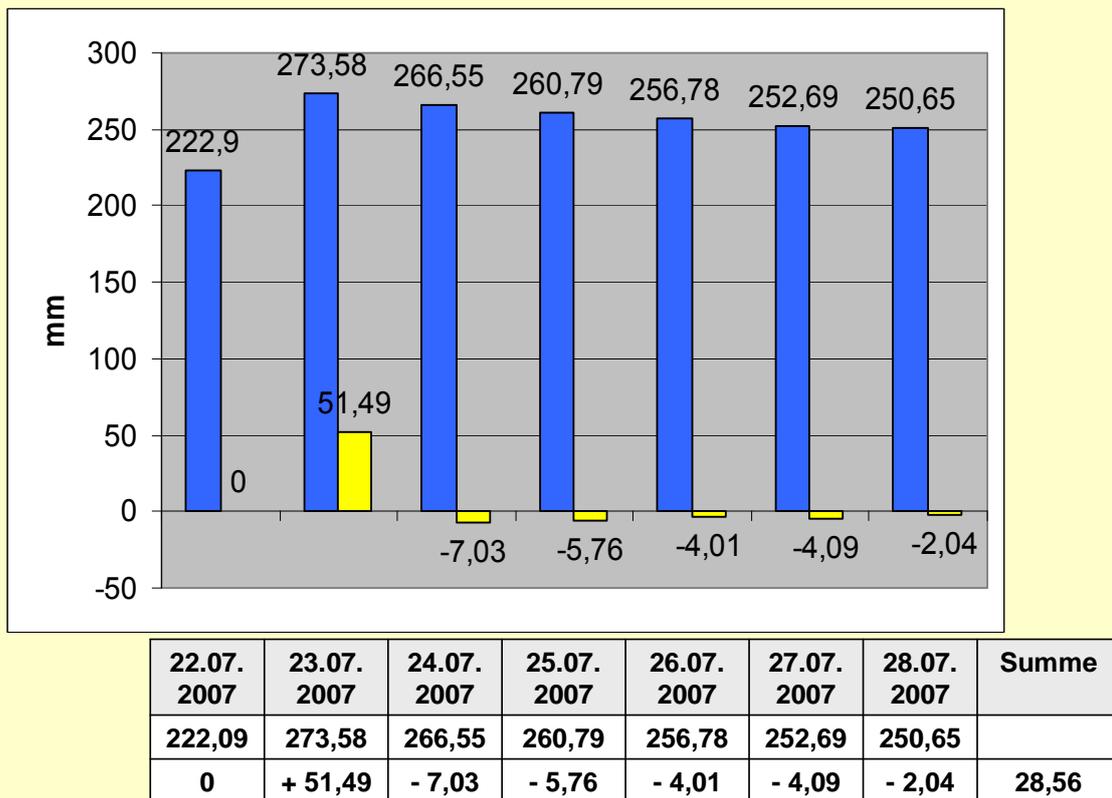


Abb. 4: Von den am 22.07.2007 gefallenen 60 mm Niederschlag sind 51,49 mm (= rund 86%) in die Wasserhaushaltsschicht bis 90 cm tief eingedrungen. 8,51 mm sind Oberflächenabfluss und Interzeption.

Der Niederschlagseintrag wird im Wesentlichen durch Evapotranspiration reduziert. Der Anteil des Oberflächenabflusses und der Interzeption ist mit 14 % verhältnismäßig gering. Innerhalb von 5 Tagen verdunsteten 22,93 mm des eingedrungenen Niederschlages von 51,49 mm aus der Wasserhaushaltsschicht.

Messtiefe	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm	60 cm	70 cm	80 cm	90 cm	100 cm	07/2007	
Uhrzeit												
0.00-1.00	25,63	26,29	34,11	39,29	29,65	26,29	16,82	18,83	20,67	19,19		
1.00-2.00	25,51	26,18	34,08	39,28	29,65	26,30	16,82	18,83	20,66	19,19		
2.00-3.00	25,40	26,06	34,04	39,27	29,65	26,32	16,82	18,83	20,66	19,19		
3.00-4.00	25,32	25,95	33,99	39,25	29,64	26,33	16,82	18,83	20,66	19,18		
4.00-5.00	25,23	25,85	33,96	39,21	29,63	26,33	16,82	18,82	20,66	19,18		
5.00-6.00	25,15	25,75	33,92	39,18	29,61	26,33	16,82	18,82	20,66	19,18		
6.00-7.00	25,07	25,67	33,87	39,14	29,60	26,33	16,82	18,81	20,66	19,18		
7.00-8.00	25,01	25,58	33,82	39,10	29,57	26,33	16,82	18,81	20,66	19,18		
8.00-9.00	24,98	25,50	33,79	39,06	29,55	26,32	16,82	18,81	20,66	19,18		
9.00-10.00	24,95	25,46	33,75	39,03	29,52	26,32	16,82	18,80	20,65	19,17		
10.00-11.00	24,92	25,40	33,72	38,99	29,49	26,30	16,81	18,80	20,64	19,18		
11.00-12.00	24,92	25,36	33,70	38,96	29,46	26,30	16,81	18,79	20,65	19,17		
12.00-13.00	24,94	25,31	33,67	38,92	29,44	26,29	16,81	18,80	20,64	19,17		
13.00-14.00	24,92	25,28	33,67	38,91	29,41	26,29	16,80	18,79	20,64	19,17		
14.00-15.00	24,98	25,28	33,69	38,90	29,39	26,28	16,79	18,79	20,64	19,17		
15.00-16.00	30,58	31,33	34,75	39,30	29,32	26,23	16,78	18,78	20,62	19,15		
16.00-17.00	28,22	30,72	34,93	39,66	29,61	26,23	16,78	18,77	20,62	19,17		
17.00-18.00	28,35	31,70	35,08	39,74	29,94	26,93	16,77	18,76	20,62	19,17		
18.00-19.00	27,83	30,39	35,12	39,74	30,04	27,45	17,08	18,76	20,61	19,17		
19.00-20.00	27,56	30,00	35,16	39,74	30,10	27,58	17,34	18,76	20,61	19,17		
20.00-21.00	27,34	29,48	35,16	39,75	30,16	27,65	17,50	18,76	20,60	19,17		
21.00-22.00	27,20	28,88	35,11	39,75	30,19	27,71	17,62	18,76	20,60	19,16		
22.00-23.00	27,06	28,51	35,02	39,74	30,19	27,71	17,69	18,75	20,60	19,15		
23.00-24.00	26,92	28,26	35,00	39,71	30,19	27,68	17,69	18,74	20,60	19,16		
Messtiefe	10	20	30	40	50	60	70					
mm im Profil	mm max.											

Tab. 2: 24 h-Messwerte zeitlich und räumlich

In der Funktion Einzelgrafien der Software lässt sich die Gesamtbodenfeuchte auf die einzelnen Sensoren (= Messtiefen) zeitlich und räumlich aufsplitten. Ersichtlich ist, dass der eingedrungene Niederschlag zeitlich und räumlich verzögert absorbiert worden ist. Die türkis gekennzeichneten Zellen stellen die nach einem Niederschlagsereignis aufgetretenen Maximalwerte dar.

Nach dem Erreichen der Feldkapazität der 10 cm-Schicht sickert das Wasser in die 20 cm-Schicht und nach dem Erreichen der Feldkapazität der 20 cm-Schicht wird das überschüssige Wasser an die 30 cm-Schicht abgegeben. Aus der Bodenkunde wissen wir, dass jede Bodenart über eine entsprechende Wasserspeicherkapazität verfügt. So kann ein Lehmboden 231 Liter/m³, ein Sandboden 40 Liter/m³ (Mittelwerte) speichern.

Erst wenn die vorherige Bodenschicht gesättigt ist, wird Wasser an die nächste Schicht abgegeben. Damit kann man die nFK der einzelnen Schichten ermitteln. Die Feldkapazität ist das maximale Wasserspeichervermögen eines Bodens unter natürlichen Bedingungen, das entgegen der Schwerkraft im Boden gehalten werden kann und nicht weiter versickert.

Es kann festgestellt werden, dass die Evapotranspirationskapazität entscheidend durch die Wahl der Bodenart und des Bewuchses beeinflusst wird. Beim Einsatz eines qualitativ guten Rekultivierungsbodens ist unter den klimatischen Bedingungen Sachsen-Anhalts mit Niederschlägen bis 800 mm pro Jahr eine Stärke der Rekultivierungsschicht von 100 cm ausreichend

	mm in OFA	mm Niederschlag	mm Verdunstung etc. ¹⁾	mm Monatsbilanz
Mai 2006	234,0	47,3	39,3	242,0
Juni 2006	242,0	26,4	40,4	228,0
Juli 2006	228,0	12,4	11,0	229,4
August 2006	229,4	87,2	106,9	209,7
September 2006	209,7	17,6	18,1	209,2
Oktober 2006	209,2	23,2	30,4	202,0
November 2006	202,0	27,8	41,3	188,5
Dezember 2006	188,5	23,8	21,5	190,8
Januar 2007	190,8	55,2	30,8	215,2
Februar 2007	215,2	28,0	46,8	224,0
März 2007	224,0	46,8	42,4	228,4
April 2007	228,4	1,2	11,5	218,1
Mai 2007	218,1	56,8	49,8	225,1
Juni 2007	225,1	109,2	96,8	237,5
Juli 2007	237,5	142,4	119,2	260,7
August 2007	260,7	63,6	102,3	222,0

Jeweils niedrigster und höchster Wert je Spalte

Tab. 3: Wasserhaushalt Deponie Köthen Messwerte Mai 2006 bis August 2007 (Exceltabelle, hier monatsweise aufgliedert)

¹⁾ 3. Spalte = Summe aus Transpiration, Evaporation, Interzeption und Oberflächenabfluss. Markiert sind jeweils niedrigster und höchster Wert je Spalte.

Die 16-monatige Bilanz beweist eindeutig die Funktion der Wasserhaushaltsschicht des zweiten Bauabschnittes der Deponie Köthen sowohl im Sommer- wie im Winterhalbjahr, obwohl im Juni, Juli und August 2007 extrem hohe Niederschläge = 315,2 mm zu verzeichnen waren. Im gleichen Zeitraum lag die Summe aus Transpiration, Evaporation, Interzeption und Oberflächenabfluss bei 318,3 mm (um 3,1 mm höher als der Niederschlag).

Bei Beginn der Messung im Mai 2006 waren 234,0 mm in der Wasserhaushaltsschicht, Ende August 2007 nur 222,0 mm.

Wie aus den Monatssummen ersichtlich, können entsprechende Wasserbilanzen aus den Messwerten abgeleitet werden. In Zusammenarbeit mit der TU Dresden wurden die aufgezeichneten Ist-Daten für die Überprüfung des Modells SiWaPro DSS eingesetzt.

Die modellgestützte Optimierung von Deponieabdecksystemen ist zwischenzeitlich Stand der Technik. In der Regel werden dabei Wasserhaushaltsbetrachtungen

durchgeführt, die im Wesentlichen auf bewährten empirischen Modellansätzen beruhen. Für Deutschland typische Programme sind hierbei HELP und BOWAHALD. Jedoch sind diese empirischen Modelle augenscheinlich mit Anwendungsgrenzen behaftet. Sie können zwar realitätsnahe Wasserbilanzierungen von regulären Oberflächenabdichtungen relativ gut berechnen, jedoch bei der Nachbildung der Strömungsprozesse im Inneren des Abdichtungssystems sowie im Inneren der Deponie erreichen sie ihre Anwendungsgrenzen. Diese Prozesse können aber mit einem deterministischen Ansatz auf der Basis der RICHARD's-Gleichung beschrieben werden. Ein solcher Ansatz liegt dem Programm SiWaPro DSS [5], das im Rahmen des BMBF-Förderschwerpunktes „Sickerwasserprognose“ entwickelt wurde, zugrunde. Mit dem kombinierten Einsatz solcher Modellwerkzeuge eröffnet sich nun die Möglichkeit, die bekannten Anwendungsgrenzen der Wasserhaushaltsmodelle zu überwinden und künftig so auch Kapillarsperren zu betrachten und somit in die Optimierung der Abdecksysteme einzubeziehen.

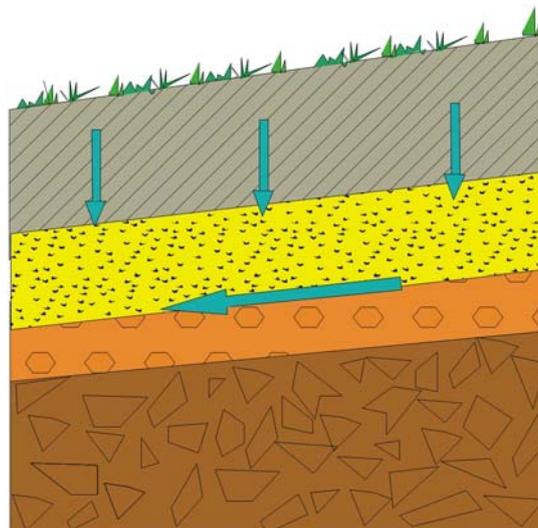


Abb. 5: Schema einer Deponieabdeckung und Bewegung des Sickerwassers

Die deterministische Beschreibung der Strömungsprozesse in der gesättigten sowie ungesättigten Zone erfolgt auf der Grundlage der RICHARD's-Gleichung (Gleichungen 1a+b). Ihre Lösung erfolgt im verwendeten SiWaPro DSS unter Verwendung der Finite-Element-Methode [6]. Für die Erstellung des triangulären FE-Berechnungsnetzes wird ein Netzgenerator eingesetzt, der unstrukturierte Netze, flexible Diskretisierungsschrittweiten und unregelmäßige Netzränder berücksichtigen kann. Zukünftig soll optional eine adaptive Netzanpassung während eines Simulationslaufes erfolgen können [5]. Die RICHARD's-Gleichung stellt den Zusammenhang zwischen einem Wasserfluss, verursacht durch einen Potentialgradienten, und der Veränderung des Wassergehalts eines Bodenvolumens in der Zeiteinheit dar. Die abhängigen Variablen sind dabei die Druckhöhe h_p , der Wassergehalt θ und der Senkenterm w_0 .

$$+ \quad \frac{\partial}{\partial r} \left(k(\theta) \cdot \left(\frac{\partial h_p}{\partial r} + 1 \right) \right) = \frac{\partial \theta}{\partial t} - w_0 \quad (1a)$$

und

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = C(h_c) \cdot \frac{\partial h_p}{\partial t} \quad (1b)$$

Die Zeit t und die räumlichen Koordinaten $r(x,y,z)$ stellen die unabhängigen Variablen dar. Die Funktion der Speicherkapazität $C(h_c)$ ist die erste Ableitung der hysterese Retentionsfunktion $\theta_w=f(h_c)$. Die Funktion der ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeit $k(\theta_w)$ ist abhängig vom Wassergehalt θ_w des Bodens.

Die eingesetzten Programme HELP 3.80 D und BOWAHALD zur Modellierung des Wasserhaushaltes von Deponienabdeckungssystemen haben sich in der Vergangenheit bewährt und erzielen in den meisten Fällen solide, realitätsnahe Ergebnisse für reguläre und einfach strukturierte Oberflächenabdichtungssysteme. Bei der Modell-Anwendung auf Basisabdichtungen oder der Betrachtung der Strömungsprozesse im Inneren der Deponie oder der Deponieabdeckung, in Hinsicht z.B. auf eine Kapillarsperre, versagen sie. Hier ist der Einsatz eines deterministischen Modells, das die Strömungsprozesse in den ungesättigten Abdeckungsschichten und ggf. im Deponiekörper nachbilden kann, angezeigt. Das hierzu angewandte Programm SiWaPro DSS erzielt vergleichbare Modellierungsergebnisse wie BOWAHALD und HELP 3.80 D für reguläre Abdichtungssysteme und eröffnet aber darüber hinaus in der gekoppelten Anwendung nun die Möglichkeit auch nicht-reguläre Abdichtungssysteme, wie Kapillarsperren zu untersuchen und modellgestützt zu optimieren.

Fazit

Die 16-monatige Untersuchung auf der Deponie Köthen hat gezeigt, dass das oben angeführte Oberflächenabdichtungssystem in Gebieten mit bis zu 800 mm Niederschlag pro Jahr – wie im letzten Jahr zu verzeichnen war - seine Funktion voll erfüllt.

Der Einsatz von Sentek-Bodenfeuchtesensoren mit Datenlogger als ein komplett eigenständiges System zur Überwachung des Bodenwassers in einem integrierten Kontrollmessfeld (Testfeld) ermöglicht eine sichere, einfach zu handhabende, wartungsfreie und kostengünstige Überwachung der Wirksamkeit der Wasserhaushaltsschicht. Mit der lückenlosen elektronischen Dokumentation bzw. den Ausdrucken (Grafiken, Exceltabellen) kann nach 10 – 15 Jahren gemäß DepV § 13 (4) die Entlassung aus der Nachsorge sicher beantragt werden. Die Kosten inklusive Einbau, Kalibrierung, Hard- und Software liegen unter 10.000.- €/Testfeld.

Die Daten erlauben die Aufstellung von Wasserbilanzen für die Wasserhaushaltsschicht einer Deponie und damit für die Beurteilung der Wirksamkeit der Wasserhaushaltsschicht.

In Zusammenarbeit mit der TU Dresden wurden die aufgezeichneten Ist-Daten für die Überprüfung des Modells SiWaPro DSS eingesetzt. Die sich daraus ergebenden Werte der Simulationsrechnung ermöglichen verallgemeinerungsfähige Aussagen und damit eine Verbesserung der Prognostizierung von zu errichtenden Wasserhaushaltsschichten von Deponien.

Literatur:

- [1] BEHRENS, W. (2006): Trisoplast - Darstellung aktueller Entwicklungen und Rahmenbedingungen zum Austrocknungsverhalten
DEPONIEWORKSHOP ZITTAU/LIBEREC 11/2006, WISSENSCHAFTLICHE BERICHTE Hochschule Zittau/Görlitz Heft 91/2006, S. 153-165
- [2] HOPPE, B. und A. GRAF: The application of soil moisture sensors for evaluating the effective value of an alternative surface sealing system in the landfill area
DEPONIEWORKSHOP ZITTAU/LIBEREC 11/2005, WISSENSCHAFTLICHE BERICHTE Hochschule Zittau/Görlitz Heft 86/2006, S. 191-194
- [3] HOPPE, B. und A. GRAF (2006): Der Einsatz von Bodenfeuchtesensoren zur Erfassung der zeitlichen und räumlichen Dynamik von Bodenwasser in der Rekultivierungsschicht – Schlussfolgerungen aus den Untersuchungen in der Lysimeteranlage Lemförde sowie auf den Deponien Seehausen und Köthen.
DEPONIEWORKSHOP ZITTAU/LIBEREC 11/2006, WISSENSCHAFTLICHE BERICHTE Hochschule Zittau/Görlitz Heft 91/2006, S. 249-260
- [4] HOPPE, B. und U. STELTER (2007): Endabdichtung der Deponie Köthen – Aufbau, Testfeld und Kosten
DEPONIEWORKSHOP ZITTAU/LIBEREC 11/2007, WISSENSCHAFTLICHE BERICHTE Hochschule Zittau/Görlitz Heft 96/2007, S. 221-227
- [5] GRÄBER, P.-W.; BLANKENBURG, R.; KEMMESIES, O. und S. KRUG:
„SiWaPro DSS – Beratungssystem zur Simulation von Prozessen der ungesättigten Zone“; in: Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften, Workshop Leipzig 2006; Shaker Verlag, Bereich Umweltinformatik
- [6] KEMMESIES, O. (1995): Prozessmodellierung und Parameteridentifikation von Mehrphasenströmungsprozessen in porösen Medien. Dissertation. Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau der TU Bergakademie Freiberg. Proceedings des Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V. Heft 7. Dresden. ISSN 1430-0176.