

Wasserhaushalt qualifizierter Rekultivierungsschichten (BWU 26004)

P. Wattendorf, O. Ehrmann & W. Konold

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Institut für Landespflege

1. Vorhaben

1.1. Ausgangslage

Seit einigen Jahren wird im Interesse einer nachhaltigen Umweltvorsorge der Wasserhaushaltsfunktion von Rekultivierungsschichten im System der Oberflächenabdichtung von Deponien vermehrte Beachtung geschenkt. Untersuchungen (z.B. BRAUNS et al. 1997) und Empfehlungen (z.B. DGGT 2000) zur Herstellung „qualifizierter Rekultivierungsschichten“ oder „Wasserhaushaltsschichten“ legen nahe, hierbei dem Erhalt der natürlichen Bodeneigenschaften besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Aufgabe der Wasserhaushaltsschicht ist es, möglichst viel Niederschlagswasser auf natürlichem Weg durch Verdunstung abzuführen, um die Absickerung zu minimieren. Hierbei ist es von Vorteil, wenn der Boden gut durchwurzelbar ist und eine möglichst hohe Wasserspeicherkapazität besitzt. Dies ist vor allem durch möglichst geringe Bodenverdichtung beim Baubetrieb zu erreichen.

Bislang wurden in der Deponiebaupraxis nur wenige qualifizierte Rekultivierungsschichten realisiert (MAIER-HARTH 2005, WATTENDORF 2005); dies mag auch darin begründet sein, dass Vorteile, die überwiegend den Wasserhaushalt und die Vegetationsentwicklung betreffen, von Bauingenieuren nicht wahrgenommen werden. Deshalb soll mit den Leonberger Lysimeterfeldern gezeigt werden, wie ein bodenschonendes Einbauverfahren den Wirkungsgrad einer Rekultivierungsschicht verbessert. Dies kann dazu beitragen, ein Umdenken in der Baupraxis herbeizuführen. Auch durch den Nachweis der Praxistauglichkeit des Einbauverfahrens und der Standsicherheitsnachweise für die gegebenen Substrate und Böschungsneigungen wird die Umsetzung in die Praxis gefördert.

Im Zuge zweier aufeinander aufbauender Forschungsvorhaben wurde auf dem Gelände der Kreismülldeponie Leonberg eine aufwändige Versuchsanlage installiert. Die Einrichtung der Versuchsfelder sowie erste Untersuchungen in der Zeit von Dezember 2000 bis April 2004 wurden vom Land Baden-Württemberg (Projekte BWS 99003 und BWD 21010) und dem Landkreis Böblingen gefördert. Die Ziele dieser Vorhaben waren, qualifizierte Rekultivierungsschichten im praxisnahen Versuchsbetrieb bodenschonend herzustellen, den Wasserhaushalt unterschiedlich hergestellter Rekultivierungsschichten zu untersuchen und Erkenntnisse zu gewinnen, wie das Einbauverfahren und die weitere Standortentwicklung (Boden, Vegetation) den Wasserhaushalt und damit die Funktion der Wasserhaushaltsschicht innerhalb des Systems „Oberflächenabdichtung einer Deponie“ beeinflussen.

1.2. Versuchsanlage Leonberger Lysimeterfelder

Die Versuchsanlage „Leonberger Lysimeterfelder“ besteht neben einigen kleineren Testfeldern im Wesentlichen aus zwei Großlysimetern mit jeweils circa 360 m² Fläche (Tabelle 1). Der Aufbau der Lysimeterfelder entspricht einer Regel-Oberflächenabdichtung: Auf dem als mineralische Abdichtung ausgeführten Auflager liegt eine verschweißte 2,5 mm starke

Kunststoffdichtungsbahn. Sie wurde zur Begrenzung der Lysimeterfelder über Randdämme hochgezogen, so dass zwei nebeneinander liegende geschlossene Wannen entstanden. In diese Großlysimeter-Wannen wurden im Herbst 2000 eine 30 cm starke mineralische Entwässerungsschicht mit Sammeleinrichtung am tiefsten Punkt des Feldes und die beiden Versuchsvarianten der Rekultivierungsschicht eingebaut.

- „unverdichtet eingebaute Rekultivierungsschicht“ **Feld U**
Hier wurde der Boden mit einer leichten Raupe hangabwärts in der Gesamtmächtigkeit der Rekultivierungsschicht ohne Zwischenverdichtung eingeschoben.
- „konventionell verdichtete Rekultivierungsschicht“ **Feld K**
Im K-Feld wurde der Boden mit der gleichen Raupe in vier Lagen eingeschoben, die drei unteren Lagen wurden mit einer Vibrationswalze auf circa 0,95 ρ_{Pr} verdichtet.

Nach dem Einbau des Bodens wurde in beiden Feldern die oberste Bodenschicht gelockert und eine geringe Menge Kompost (ca. 2 cm) aufgetragen. In beiden Lysimeterfelder wurde der gleiche Boden (Löss-Unterbodenmaterial) eingebaut. Auf den Auftrag von teurem Mutterboden wurde verzichtet. Die Rekultivierungsschichten unterscheiden sich nur durch das Einbauverfahren und die daraus resultierenden Bodeneigenschaften (Tabelle 1). Nach Abschluss der Bodenarbeiten wurden die Testfelder mit einer Gräser-Kräuter-Mischung eingesät und mit Aspen (*Populus tremula*) bepflanzt. Um eine zügige Bestandesentwicklung zu fördern, wurden Ausfälle von Pappeln durch weitere Gehölzarten sukzessive ersetzt.

Tabelle 1: Eigenschaften der „Leonberger Lysimeterfelder“

Lysimeterfeld	K	U	
Fläche	360	360	[m ²]
Exposition	Ost-Süd-Ost		
Hangneigung	< 1:2,7		
Mächtigkeit Rekultivierungsschicht	circa 2,1*		[m]
Bodenart	Ut2 / Ut3		
Steingehalt	< 1		[V-%]
Trockenraumdichte (2001)**	1,46 - 1,75 (Ø 1,63)	1,39 - 1,73 (Ø 1,53)	[g/cm ³]
Trockenraumdichte (2004)**	1,57 - 1,71 (Ø 1,64)	1,57 - 1,67 (Ø 1,61)	[g/cm ³]
Feldkapazität***	34 – 35,5	35,3 – 35,9	[V-%]
Totwasseranteil ****	ca. 12		[V-%]
* das U-Feld wurde 20 cm überhöht eingebaut. Durch Setzungen haben sich die Felder angeglichen. ** Tiefenstufen 25, 50, 85, 100 bzw. 135 cm; nächste Messung im Frühjahr 2008 *** in situ Messung; **** aus AG BODEN (2005), Bodenart Ut3			

Die Lysimeterfelder sind mit folgenden Messeinrichtungen ausgerüstet: Abflüsse aus der Rekultivierungsschicht werden in einer Messstation gesammelt und mit einer zeitlichen Auflösung von in der Regel 10 Minuten registriert. Der Bodenwassergehalt der Rekultivierungsschicht kann an drei Messstellen pro Lysimeterfeld mit TDR-Sonden in 25, 50, 85 und 135 cm Tiefe gemessen werden. Zusätzlich besteht im K-Feld ein Messprofil mit 10 Sonden, die gezielt in Schichten unterschiedlichen Verdichtungsgrades eingebaut wurden.

1.3. Bedeutung der Langzeitversuche in Leonberg

Aus folgenden Gründen ist Langzeitforschung an der Leonberger Lysimeteranlage sinnvoll:

- Der Wasserhaushalt der Rekultivierungsschichten ist sowohl von den klimatischen Bedingungen als auch von den sehr variablen Faktoren Witterung und aktuelles Wettergeschehen abhängig. Wasserhaushaltsbetrachtungen müssen die gesamte Bandbreite dieser Variabilität erfassen, um aussagekräftige Ergebnisse zu liefern. Hierzu sind langjährige kontinuierliche Messreihen erforderlich. Auch zum Erstellen von Wasserhaushaltsbilanzen und zur Validierung von Wasserhaushaltsmodellen sind lückenlose Datenreihen über längere Zeiträume mit möglichst unterschiedlichen Witterungsbedingungen notwendig.
- Dies gilt insbesondere auch im Hinblick auf Veränderungen infolge des globalen Klimawandels. Inzwischen für Baden-Württemberg vorliegende regionalisierte Prognosen (z.B. KLIWA 2006) zeigen, dass in den nächsten Jahrzehnten überall im Land mit deutlich höheren Lufttemperaturen und einem veränderten Niederschlagsregime mit überwiegend höheren Winterniederschlägen sowie häufigeren Starkniederschlägen zu rechnen ist. Diese Faktoren beeinflussen - teilweise gegensinnig – die Wasserhaushaltsbilanz von Standorten. Messeinrichtungen, die wichtige Bilanzglieder wie die Absickerungsraten messen und nicht nur schätzen sind deshalb von großem Wert.
- Die interessanteste Messperiode im Hinblick auf die Bewertung des Wirkungsgrades der Wasserhaushaltsschichten beginnt nach der Etablierung eines weitgehend geschlossenen Baumbestandes. Dies wird voraussichtlich bei einem Bestandesalter von circa zehn Jahren der Fall sein. Dann zeigt sich, wie groß die Unterschiede zwischen den Lysimeterfeldern mit verdichteter und unverdichteter Rekultivierungsschicht langfristig sein werden.
- Es werden grundlegende bodengenetische Erkenntnisse über die Entwicklung umgelagerter Substrate, insbesondere hinsichtlich der Bodenstruktur, gewonnen.
- Die Entwicklung des Bodenlebens und der Vegetation beeinflusst die Standortbedingungen und somit auch den Wasserhaushalt der Rekultivierungsschichten. Die Untersuchung dieser Entwicklung auf den neu geschaffenen Standorten liefert weitere Grundlagen zum Verständnis des Wasserhaushalts, die auch für zukünftige Rekultivierungen genutzt werden können. Außerdem bietet sich in Leonberg die seltene Gelegenheit, diese Prozesse vom „Nullpunkt“ der Sukzession an im Zusammenhang mit dem Wasserhaushalt zu betrachten.
- Die Versuchsfelder in Leonberg haben Modellcharakter für andere Rekultivierungen. Aufgrund der positiven Entwicklung der ohne humosen Oberboden aufgebauten Rekultivierungsschicht (siehe 2.3) kann der Landkreis Böblingen bei der Rekultivierung der über 20 ha großen Deponie Böblingen auf das Aufbringen von Oberboden verzichten. Dies führt zu Einsparungen in der Größenordnung von über 500 000 €.

1.4. Ziele des Vorhabens

Erstes Ziel des Vorhabens BWU 26004 ist die Fortführung der Forschungsarbeiten zum Wasserhaushalt und zur Boden- und Vegetationsentwicklung qualifizierter Rekultivierungsschichten im unbedingt notwendigen Umfang, um möglichst vollständige Datenreihen vom Initialstadium der Boden- und Vegetationsentwicklung bis zum ausgebildeten Waldbestand zu gewinnen.

Ein weiteres Ziel des Vorhabens ist es, den Bestand der Anlage für den Langzeitbetrieb zu sichern. Nur durch regelmäßige Kontrollen und Wartung ist es möglich, Funktionsstörungen rechtzeitig zu erkennen und zu beheben sowie eventuelle Reparaturen durchzuführen, um den Betrieb der Lysimeteranlage auf lange Sicht zu gewährleisten.

1.5. Arbeitsprogramm und Umfang des Vorhabens

Vorhaben BWU 26004 führt ein im Vergleich zu den vorangegangenen Vorhaben reduziertes Untersuchungsprogramm fort. Es sieht für den Förderzeitraum September 2006 bis August 2008 wissenschaftliche Untersuchungen sowie Wartungsarbeiten an der Versuchsanlage „Leonberger Lysimeterfelder“ vor¹ und wird in diesem Zweijahreszeitraum mit einer Gesamt-Zuwendung in Höhe von 50.000 € gefördert. Das Arbeitsprogramm enthält folgende Untersuchungsschwerpunkte; detaillierte Ausführungen zu den einzelnen Arbeitsschritten finden sich in WATTENDORF et al. (2007):

- Kontinuierliche Messung der Absickerungsraten
- Dokumentation des lokalen Wettergeschehens
- Messungen der Bodenwassergehalte und der Stauwasserstände
- Dokumentation der Bodenstruktur
- Dokumentation der Entwicklung der Regenwurmpopulation
- Dokumentation der Vegetationsentwicklung
- Wartung der Lysimeteranlage

2. Ergebnisse

2.1. Entwicklung der Vegetation

Beide Felder werden mittlerweile von den angepflanzten Gehölzen dominiert (Bilder 1 und 2). In jedem Feld wurden im Frühjahr 2001 circa 54 Pappeln (*Populus tremula*) gepflanzt, im U-Feld stehen davon heute noch 18, im K-Feld noch 19 Bäume. Im Folgejahr der Pflanzung starben im K-Feld (17 Stück) erheblich mehr Pappeln ab, als im U-Feld (5 Stück, siehe WATTENDORF et al. 2005). Die übrigen Verluste resultieren aus Beschädigung der Bäume, vor allem durch Wild, Bau- und Pflegemaßnahmen. Die verbliebenen Pappeln entwickeln sich in den Versuchsfeldern sehr unterschiedlich (WATTENDORF & EHRMANN 2006). Auch augenscheinlich unterscheiden sich die Bestände; die größeren Bäume stehen im U-Feld (Bilder 1

¹ Umfangreichere Untersuchungen sind zu einem späteren Zeitpunkt bei fortgeschrittener Vegetationsentwicklung in Richtung Waldbestand wieder vorgesehen.

und 2). In Abbildung 1 werden die Stammdurchmesser der Pappeln verglichen. Der mittlere Durchmesser beträgt im K-Feld 8,1 cm, im U-Feld hingegen 12,8 cm. Die Summe der Stammquerschnitte ist im K-Feld mit 1.151 cm² nur etwa halb so groß wie im U-Feld mit 2.355 cm².

Diese unterschiedliche Vitalität bedeutet zum einen, dass das U-Feld der deutlich bessere Standort für Gehölze ist. Zum anderen wird dadurch auch der Wasserhaushalt beeinflusst. Durch höhere Interzeption und Transpiration des weiter entwickelten Gehölzbestandes verringert sich im U-Feld auch die Absickerung aus der Rekultivierungsschicht (siehe 2.4).



Bild 1: Übersicht K-Feld Herbst 2007

Bild 2: Übersicht U-Feld Herbst 2007

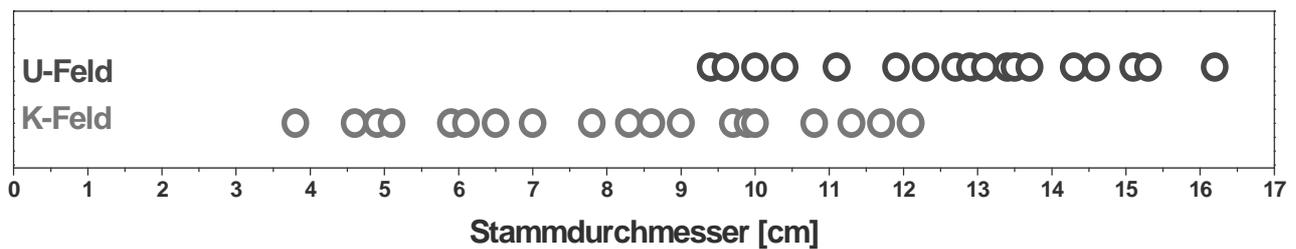


Abbildung. 1: Stammdurchmesser der Pappeln (*Populus tremula*) im Winter 2007. Die Bäume sind einzeln aufgetragen. Bei gleichen Durchmesser wurden die Symbole etwas nach links und rechts versetzt dargestellt. Der Durchmesser wurde in 20 cm Höhe über dem Boden gemessen.

2.2. Entwicklung der Regenwurmpopulation

Durch die Bodenumlagerung und den Einbau der Rekultivierungssubstrate wurde die im Boden enthaltene Regenwurmpopulation so stark geschädigt, dass im Frühjahr 2001, ein halbes Jahr nach der Baumaßnahme, keine Regenwürmer mehr zu finden waren (Abbildung 2). Um die Besiedlung der Lysimeterfelder zu beschleunigen, wurden gezielt Regenwürmer in die Flächen eingebracht. Diese Maßnahme war erfolgreich (siehe EHRMANN 2005).

Im Frühjahr 2007 wurde eine erneute Regenwurmuntersuchung durchgeführt (zur Methodik siehe EHRMANN 2005). In beiden Versuchsfeldern wurde eine relativ große Regenwurmbiomasse gefunden. Diese liegt unter den Mittelwerten von Dauergrünland, aber über den Werten von Wäldern² auf Löss in Baden-Württemberg (EHRMANN et al. 2002). Die Regenwurmbiomasse im U-Feld lag immer über der des K-Feldes, im Jahr 2007 um circa 60 % (siehe Abbildung 2). Auch die Anzahl der Tiere war im U-Feld mit 586 Regenwürmer je m² deutlich größer als im K-Feld (310 je m²). Das Arteninventar beider Felder ist jedoch identisch und mit je 8 Arten ungewöhnlich hoch.

Ebenfalls im Frühjahr 2007 wurden Bauten tiefgrabender Regenwürmer in beiden Testfeldern erfasst. Die vertikal verlaufenden Röhren dieser Arten können in Lössboden über einen Meter in den Unterboden reichen und sind wichtige Wege für Wurzeln, Wasser und Luft. Es wurden jeweils 10 Flächen à 1 m² untersucht. Im U-Feld wurden mit durchschnittlich 9,8 Röhren je m² fast doppelt so viele wie im K-Feld (5,4 je m²) gezählt.

Diese große Regenwurmpopulation wird das Bodengefüge in beiden Feldern deutlich verbessern. Unklar ist bislang allerdings, ob und in welchem Umfang die Regenwürmer auch Bodenverdichtungen auflösen können und mit welcher Geschwindigkeit diese Prozesse ablaufen werden.

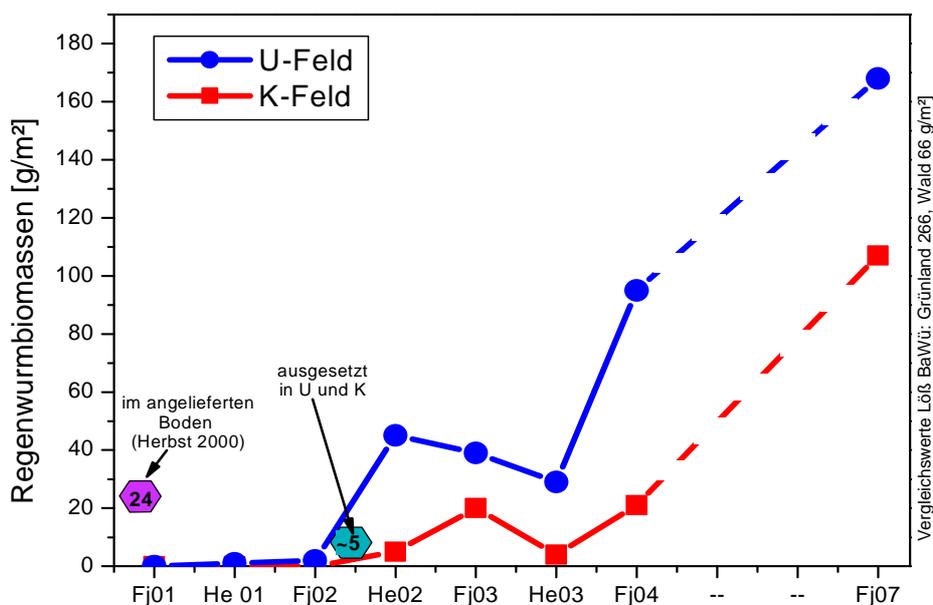


Abbildung 2: Entwicklung der Regenwurmpopulation nach Anlage der Testfelder bis zum Frühjahr 2007; Fj = Frühjahr, He = Herbst

² Die Flächen waren zu Beginn eher Grünland, mittlerweile haben sie mehr Ähnlichkeit mit einem Wäldchen.

2.3. Entwicklung der Oberbodenstruktur

Beim Einbau der Rekultivierungsschichten wurde aus verschiedenen Gründen (Kosten, Gefahr der Verdichtung, Gefahr der Konzentration der Wurzeln auf den Oberboden und die Grenzschicht) auf den Auftrag von humosem Oberboden verzichtet und nur eine circa 2 cm starke Kompostschicht auf der Bodenoberfläche ausgestreut. So konnte untersucht werden, ob und wie schnell sich ein humuser, krümeliger Oberboden aus diesem Ausgangsmaterial entwickeln kann. Im Frühjahr 2007 wurden dazu aus dem weiter entwickelten U-Feld Proben für mikromorphologische Untersuchungen entnommen und mit älteren Proben verglichen.

Das Übersichtsfoto der Probenahme 2007 (Bild 3) zeigt, dass sich bereits nach sechs Jahren ein in seiner Ausdehnung variabler, meist 3 bis 10 cm mächtiger, dunkler Horizont gebildet hat. Der hellere, gelbbraune Boden darunter weist nur vereinzelt dunklere, humose Bereiche auf. In beiden Horizonten sind Regenwurmrohren zu erkennen (Pfeile). Es ist deutlich zu sehen, dass keine scharfe Grenze zwischen Ober- und Unterboden besteht, wie dies bei einem Mutterbodenauftrag fast immer für lange Zeit der Fall ist.



Bild 3: Oberboden im U-Feld im Frühjahr 2007. Die Pfeile weisen auf Regenwurmrohren hin. Der Metallrahmen für die Probe ist 8 cm hoch und 6 cm breit.

Aus Oberbodenproben der Jahre 2001, 2003 und 2007 wurden Dünnschliffe angefertigt (Bilder 4a bis 4c). Sie zeigen die Entwicklung der obersten Bodenschicht in 0 – 7 cm Tiefe von Frühjahr 2001 bis Herbst 2007. Bereits innerhalb des relativ kurzen Zeitraums hat sich diese Schicht stark verändert. Der Kompost wurde vollständig in den Boden eingemischt. Das Gefüge ist 2007 wesentlich hohlraumreicher und die Bodenstruktur hat sich von eher kohärent zu aggregiert hin entwickelt. Dies ist eine wesentliche Verbesserung des Bodens.

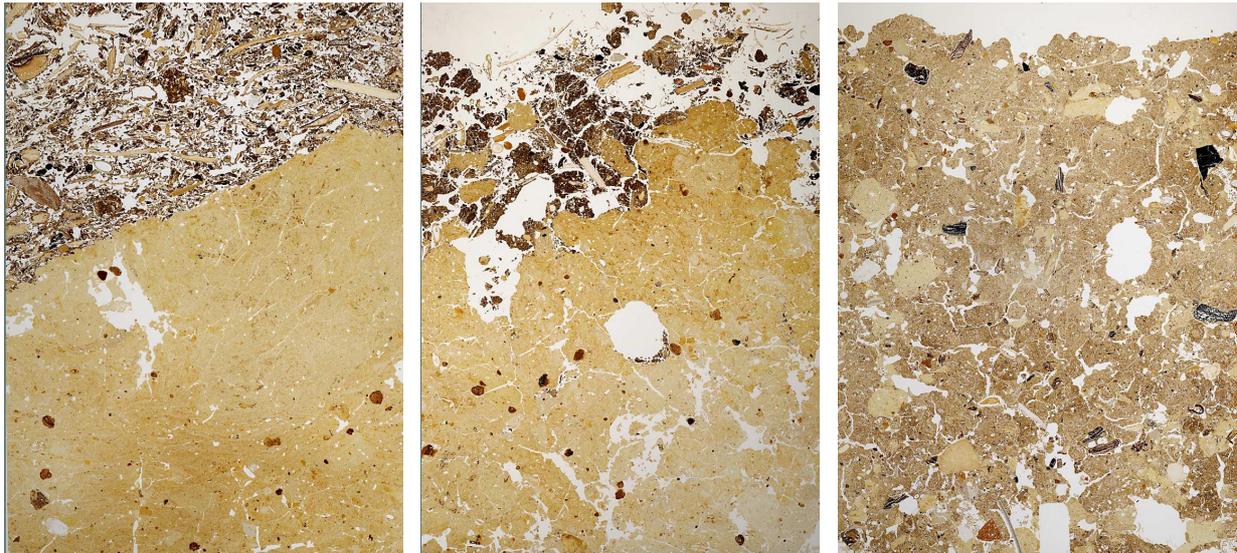


Bild 4a: **Frühjahr 2001** (0,5 Jahre nach Bau): Kompost und Boden sind scharf getrennt. Im Boden sind keine Spuren von Bodentieren zu erkennen. Die dunklen Objekte im Mineralboden sind Eisenkonkretionen. Vor allem unten rechts ist alte Tonverlagerung (gelbbraune Schlieren) zu sehen. Die winzig kleinen Poren sind alte Röhren von Feinwurzeln – typisch für Lössnterböden.

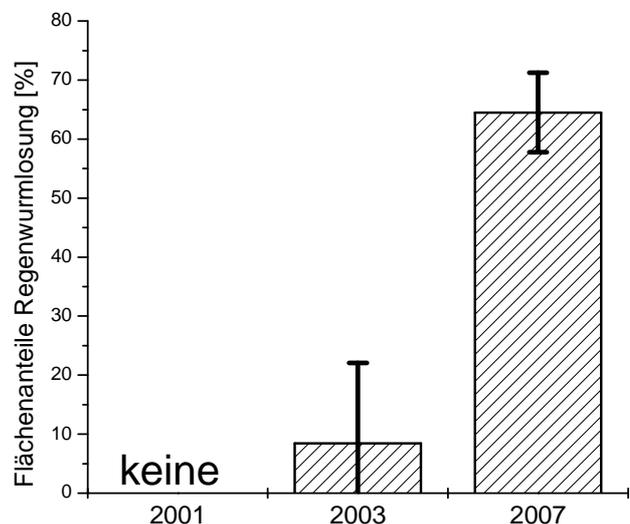
Bild 4b: **Frühjahr 2003** (nach 2,5 Jahren): Nur noch wenig Kompost ist auf der Bodenoberfläche zu sehen. Die scharfe Grenzfläche zwischen Kompost und Mineralboden ist fast aufgelöst. Der Mineralboden ist etwas hohlraumreicher, es dominiert aber noch die ursprüngliche Struktur. In der Bildmitte ist eine Regenwurmröhre zu sehen.

Bild 4c: **Frühjahr 2007** (nach 6,5 Jahren): Der Kompost ist verschwunden; er wurde entweder mineralisiert oder in den Boden eingearbeitet. Der Oberboden ist - bis auf wenige Stellen viel dunkler (=humusreicher) und weist ein Gefüge vorwiegend aus Regenwurmlösungen (\pm verrundete Aggregate), Regenwurmröhren und zahlreichen kleineren Hohlräumen auf.

Bild 4: Entwicklung des Oberbodens im U-Feld von 2001 bis 2007 (Zeitreihe anhand von 3 Bodendünnschliffen; Höhe jeweils 70 mm).

Die genauere Untersuchung des Dünnschliffs von 2007 (Bild 4c) im Mikroskop ergab, dass es sich bei diesen Aggregaten fast ausschließlich um Regenwurmlösungen handelt (Abbildung 3). Die tieferen Bereiche des Bodens sind von dieser Verbesserung noch wenig betroffen und im K-Feld ist die Entwicklung aufgrund der geringeren Regenwurmzahl auch noch nicht so weit fortgeschritten.

Abbildung 3: Anteil von Regenwurmlösungen an der Dünnschlifffläche einer Bodenprobe (siehe Bild 4c) vom Frühjahr 2007 aus dem U-Feld; Auszählung unter dem Mikroskop



2.4. Entwicklung der Absickerung

Im Zeitraum von Juni 2003 – Dezember 2007 liegt die Niederschlagsmenge bei 2956 mm. Davon gelangen im K-Feld 587 mm, also circa 20 % zur Absickerung. Der entsprechende Wert für das U-Feld liegt bei 419 mm, dies sind nur circa 14 % der Niederschlagsmenge. Damit liefert das U-Feld fast 1/3 weniger Sickerwasser als das K-Feld.

Vergleicht man die beiden Summenkurven der Absickerung mit der des Niederschlags, so zeigt sich, dass beide Absickerungskurven in den Sommermonaten abflachen. Der Anteil des Sickerwassers am Niederschlag wird immer geringer (Abbildung 4), der "Wirkungsgrad" der Lysimeterfelder immer höher. Deutlich ist dies vor allem im U-Feld: Im Jahr 2007 gelangten von 746 mm Niederschlag nur noch 80 mm zur Absickerung, im K-Feld immerhin 123 mm. Eine geringe Absickerung reduziert auf lange Sicht die Kosten für die Sickerwasseraufbereitung beträchtlich.

Ursache für die abnehmenden Sickerwassermengen ist die fortschreitende Gehölzentwicklung. Die tiefer wurzelnden und immer größer werdenden Bäume können mehr Wasser aus dem Unterboden nutzen und mit steigender Blattfläche mehr Regenwasser zurückhalten. So geht mehr Wasser durch Transpiration und Interzeption verloren.

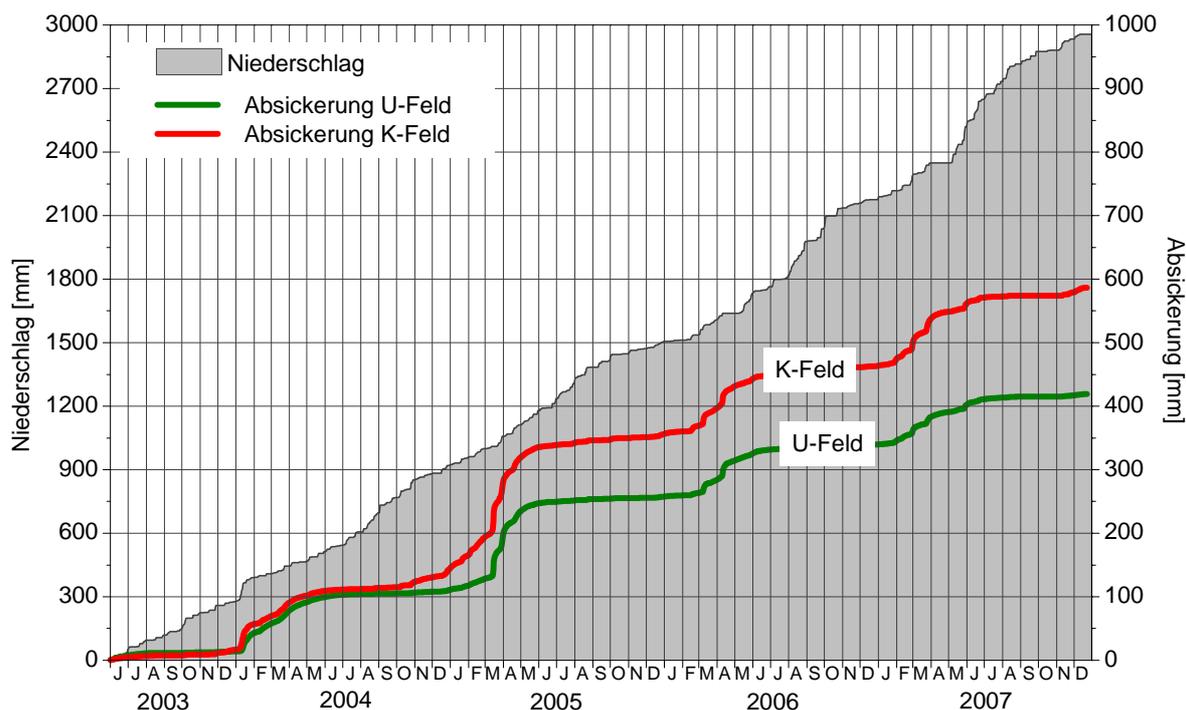


Abbildung 4: Niederschlag in Leonberg (Ordinate links) und Absickerung (rechts) aus U-Feld und K-Feld von Juni 2003 bis Ende 2007; die Ordinaten sind unterschiedlich skaliert.

2.5. Bodenwassergehalte in K- und U-Feld

Die Bodenwassergehalte wurden in beiden Lysimeterfeldern mit TDR-Sonden in vier Tiefen (25, 50, 85 und 135 cm) an jeweils drei Messpunkten seit November 2006 regelmäßig erfasst (Abbildung 5). Die höchsten Wassergehalte wurden in beiden Feldern im Frühjahr 2007

gemessen. Im niederschlagsarmen Winter 2006/07 dauerte die Aufsättigung des großen Bodenwasserspeichers der 2 m mächtigen Rekultivierungsschicht aus Lösslehm bis Ende Februar. Da die recht gut entwickelten Gehölze viel Wasser verbrauchen, wurden trotz des sehr niederschlagsreichen Spätfrühlings und Sommers die Böden im Jahr 2007 bis Ende Oktober zunehmend trockener.

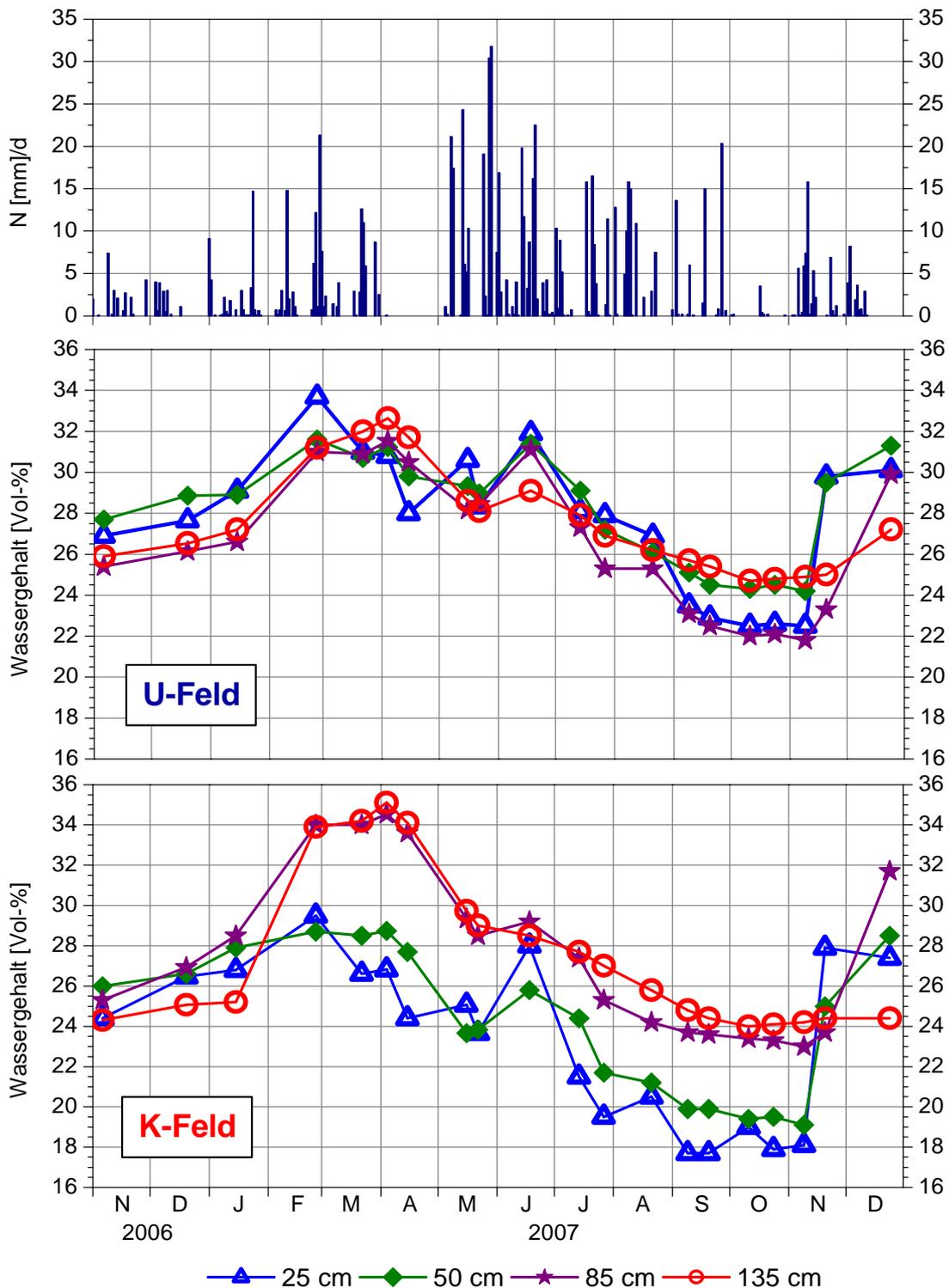


Abbildung 5: Bodenwassergehalte in U- (Mitte) und K-Feld (unten) sowie Niederschläge (oben) von November 2006 bis Dezember 2007.

Zwischen den beiden Testfeldern gab es dabei deutliche Unterschiede:

- Der Wasserhaushalt, gemessen an den Bodenwassergehalten, des U-Feldes unterliegt im Jahresverlauf geringen Schwankungen als der des K-Feldes.
- Die Unterschiede zwischen den vier Tiefenstufen sind im U-Feld ebenfalls geringer. Der Oberboden des K-Feldes (in 25 cm Tiefe) und die Bodenzone in 50 cm Tiefe trocknen wesentlich stärker aus als der Unterboden in 85 cm und 135 cm Tiefe.

Trotz stärkerer Austrocknung einzelner Bodenzonen versickert mehr Wasser aus dem K-Feld. Dieser scheinbare Widerspruch lässt sich mit der Schichtung des lagenweise eingebauten und verdichteten Bodens im K-Feld erklären. Nach einem Niederschlagsereignis fließt ein Teil des versickernden Wassers auf der ersten Schichtoberfläche lateral ab und kann deshalb den Unterboden nicht aufsättigen. Im U-Feld ist diese vertikale Durchgängigkeit weniger gestört, deshalb findet ein besserer Wassertransport in beide Richtungen statt. Diese Hypothese wird durch Wassergehaltsmessungen in den verschiedenen verdichteten Schichten sowie durch das Abflussverhalten des K-Feldes (WATTENDORF et al. 2005) bestätigt.

2.6. Ausblick 2008

Im Frühjahr 2008 wird in jedem Feld eine Aufgrabung durchgeführt, die wegen der Störung an den Testfeldern nur in längeren Zeitabständen vertretbar ist. Dabei werden Trockenraumdichten, Eindringwiderstände, Durchwurzelung und Regenwurmrohren untersucht. Außerdem werden auch aus dem Unterboden mikromorphologische Proben entnommen. Zusätzlich erfolgt eine umfassende Aufnahme der Vegetation.

3. Literatur

- BRAUNS, J., KAST, K., SCHNEIDER, H., KONOLD, W., WATTENDORF, P. & B. LEISNER (1997):
Forstwirtschaftliche Rekultivierung von Deponien mit TA Siedlungsabfallkonformer
Oberflächenabdichtung, Handbuch Abfall Band 13, 97 S. + Anhang, Karlsruhe
- DGGT = DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR GEOTECHNIK (2000): GDA-Empfehlung E 2-31
Rekultivierungsschichten (Entwurf), Bautechnik 77 (9): 617 – 626
- EHRMANN, O. (2005): Bodenleben: Regenwürmer und Mikroorganismen, in: WATTENDORF,
P., W. KONOLD & O. EHRMANN [Hrsg.]: Rekultivierungsschichten und Wurzelsperren,
Herstellung – Eigenschaften – Bodenentwicklung – Funktion, Culterra Band 41: 108 -
134, Freiburg
- EHRMANN, O., M. SOMMER & T. VOLLMER (2002): Regenwürmer. In: SOMMER, M., O. EHR-
MANN, J.K. FRIEDEL, T. MARTIN & G. TURIAN [Hrsg.]: Böden als Lebensraum für
Organismen - Regenwürmer, Gehäuselandschnecken und Bodenmikroorganismen in
Wäldern Baden-Württembergs, Hohenheimer Bodenkundliche Hefte 63, Institut für
Bodenkunde und Standortslehre, Universität Hohenheim, Stuttgart

- KLIWA (2006): Regionale Klimaszenarien für Süddeutschland, Abschätzungen der Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, Herausgegeben von Arbeitskreis KLIWA (LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Bayerisches Landesamt für Umwelt BfLU und Deutscher Wetterdienst DWD), KLIWA-Berichte Heft 9, 100 S.
- MAIER-HARTH, U. (2005): Erfahrungen beim Bau von Wasserhaushaltsschichten auf Deponien in Rheinland-Pfalz, in: Institut für Landespflege [Hrsg.]: Tagungsband der Fachtagung „Qualifizierte Rekultivierungsschichten“: 92 – 115, Freiburg
- WATTENDORF, P. (2005): Konzeption einer Wasserhaushaltsschicht für die Deponie Neuenburg (BA I), in: Institut für Landespflege [Hrsg.]: Tagungsband der Fachtagung „Qualifizierte Rekultivierungsschichten“: 130 – 145, Freiburg
- WATTENDORF, P., W. KONOLD & O. EHRMANN [Hrsg.] (2005): Rekultivierungsschichten und Wurzelsperren, Herstellung – Eigenschaften – Bodenentwicklung – Funktion, Culterra Band 41, 269 S., Freiburg
- WATTENDORF, P. & O. EHRMANN (2006): Eigenschaften von Rekultivierungsschichten – Ergebnisse aus Messungen und Wasserhaushaltsmodellierungen, in: EGLOFFSTEIN, T., G. BURKHARDT & K. CZURDA [Hrsg.]: Abschluss und Rekultivierung von Deponien und Altlasten 2006, Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis 140: 221 - 238, Berlin
- WATTENDORF, P., W. KONOLD & O. EHRMANN (2007): Wasserhaushalt qualifizierter Rekultivierungsschichten (BWU 26004), 11 S., <http://www.bwplus.fzk.de>

Vorhaben BWU 26004

Zusammenfassung

Forschungsvorhaben BWU 26004 befasst sich mit der Optimierung von Rekultivierungsschichten in Deponie-Oberflächenabdichtungssystemen. Durch bodenschonenden Einbau soll die Evapotranspiration gesteigert und die Absickerung reduziert werden. In vorangegangenen Vorhaben wurden auf der Deponie Leonberg (Landkreis Böblingen) zwei Großlysimeterfelder eingerichtet und mit Bäumen bepflanzt. Das erste Feld enthält eine unverdichtet eingebaute Rekultivierungsschicht, das zweite zum Vergleich eine konventionell verdichtet eingebaute Variante. Die beiden Lysimeterfelder unterscheiden sich nur durch das Einbauverfahren; Bodenmaterial, Bepflanzung und Behandlung der Felder sind identisch. Mit dieser Versuchsanlage kann der Wasserhaushalt unterschiedlich verdichteter Rekultivierungsschichten sowie die ihn beeinflussenden Faktoren qualitativ und quantitativ vom Beginn der Entwicklung an untersucht werden. Die Leonberger Lysimeterfelder sind für Langzeit-Wasserhaushaltsbetrachtungen konzipiert. Auch im Hinblick auf den Klimawandel und seine Auswirkungen auf den Bodenwasserhaushalt ist eine Anlage zur Messung der Wasserhaushaltsbilanzglieder wichtig.

Das laufende Vorhaben hat zum Ziel, die Forschungsarbeiten zum Wasserhaushalt und zur Boden- und Vegetationsentwicklung im notwendigen Umfang fortzuführen, um lückenlose Datenreihen vom Initialstadium der Boden- und Vegetationsentwicklung bis zum ausgebildeten Waldbestand zu gewinnen und durch regelmäßige Kontrollen und Wartung den Bestand der Leonberger Lysimeteranlage für den Langzeitbetrieb zu sichern. Das Arbeitsprogramm des Vorhabens beinhaltet das Erfassen von Wetterdaten, Absickerungsraten und Bodenwassergehalten einschließlich der Stauwasserhöhen in den Lysimeterfeldern sowie Untersuchungen zur Entwicklung der Vegetation, der Regenwurmpopulation und der Bodenstruktur.

Die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen belegen die Hypothese, dass eine unverdichtet eingebaute Rekultivierungsschicht ein günstigerer Standort für Pflanzen und Bodenlebewesen ist. Dies zeigt sich einerseits am höheren Zuwachs der Gehölze, andererseits an der größeren Regenwurmpopulation im Feld mit unverdichtetem Boden. Die Absickerung und der Verlauf der Bodenwasserhalte der Felder legen die Annahme nahe, dass beim verdichteten Bodeneinbau Schichten und Schichtgrenzen entstehen, die sowohl vertikale Wasserbewegungen als auch die Durchwurzelung und damit die Entwicklung der Gehölzpflanzen hemmen. Hieraus resultiert eine höhere Verdunstungsleistung der Vegetation und in der Konsequenz ein ausgeglichenerer Bodenwasserhaushalt mit um circa 30 % geringeren Absickerungsraten des Lysimeterfeldes mit unvedichtetem Boden.

Project BWU 26004

Summary

The considered research project deals with characters and water balance of recultivation layers in waste dump surface sealing systems. Optimized recultivation layers with uncompacted soil should minimize the leakage by means of evapotranspiration. In preceding projects two large lysimeter fields were constructed on the Kreismülldeponie Leonberg (Landkreis Böblingen) and planted with trees. The only difference between the two lysimeter fields is the manner of the installation of the recultivation layers. In the first field the soil installed was not compacted, whereas in the second field it was compacted. Employing this experimental set-up, the water balances of the two different recultivation layers as well as the most important factors influencing it can be ascertained and compared from the outset. The observation of water regimes only makes sense over longer periods. Therefore the test field set-up was designed for long-term examinations. In the future this will be important because the climate change will also alter water balances.

Targets of the project are to continue the examinations on the water regime and the development of site characters (soil, vegetation) to obtain data series without interruption from the outset of soil and vegetation development and to control and maintain the test field facility for long-term operations. The working program includes the collecting of weather data, leakage rates and soil moisture values including backwater levels in the lysimeter fields as well as examinations of the vegetation development, the earthworm population and the soil structure.

The results of the previous investigations prove the hypothesis that the non-compacted recultivation layer provides a beneficial site for plants and edaphon. From this appears on the one hand a better growth of the woody species, on the other hand a larger earthworm population in the field with uncompacted soil. The leakage rates and the characteristics of the soil water contents of the test fields render obvious that the soil compaction generates layers and layer boundaries, which restrain both vertical water movement and root penetration and thus the development of the wood plants. The outcome of this are a higher evapotranspiration and therefore about 30 % lower leakage rates as well as a more stable soil water balance in the field with uncompacted soil.