

Einsatz von biologisch behandeltem Rechengut, Sandfang und Kehrlicht im Oberflächenabdichtungssystem der Blockland Deponie Bremen

Dr. Thomas Schriefer, Bodenökologisches Labor Bremen GmbH

1 Kurzübersicht

Das Rekultivierungsmaterial „RSK- **BODEN**“ wird auf der Blockland Deponie in Bremen als Bauersatzstoff für die Wasserhaushaltsschicht hergestellt. Eine Komponente ist biologisch aufbereitetes **Rechengut, Sandfang und Kehrlicht (RSK)**. Ziel der biologischen Behandlung von Rechengut, Sandfang und Kehrlicht ist die Hygienisierung und biologische Stabilisierung um folgende Ziele für die Rekultivierungsschicht zu erreichen:

- Standortsicherheit
- Eignung Wasserhaushaltsschicht
- Eignung Pflanzenstandort
- Umweltverträglichkeit im Rahmen der gesetzlichen Anforderungen.

Jede Tonne Bauersatzmaterial, die deponienah „selbst“ gewonnen werden kann, reduziert die Umweltbelastung (LANGER, 2004, BORK, 1997).

2 Einleitung

Die Abdeckschicht einer Deponie soll den Wasserhaushalt als Langzeitbarriere optimieren, mit dem Ziel, den Sickerwasseranfall in die darunter liegenden Schichten zu minimieren und zu vergleichmäßigen. Einen wesentlichen Beitrag leistet dazu die Vegetation. Die Abdeckung muss also gleichzeitig ein guter Pflanzenstandort sein und die Nährstoff- und Wasserversorgung der Pflanzen sicherstellen (MELCHIOR, 2002, SCHRIEFER, 1985, WATTENDORF & SOKOLLEK, 2000, STALLJANN, 2002).

Auf der Blockland Deponie Bremen wird zu diesem Zweck das Rekultivierungsmaterial „RSK- **BODEN**“ hergestellt. Als eine Komponente wird auf der Blockland Deponie Bremen Rechengut, Sandfang und Kehrlicht biologisch aufbereitet und mit Boden vermischt. Ziel der biologischen Behandlung von Rechengut, Sandfang und Kehrlicht ist die Hygienisierung und biologische Stabilisierung der Ausgangsmaterialien.

Das Substrat „RSK- **BODEN**“ wurde nach Abschluss von Vorversuchen im Technikummaßstab erstmals 2003/2004 auf einer Versuchsfläche der Blockland Deponie Bremen als Bauersatzstoff in das Oberflächenabdichtungssystem eingebaut.

Dem Bodenökologischen Labor Bremen GmbH wurde von den Betreibern der Deponie ein Auftrag zur Feststellung der Eignung dieser Bauersatzstoffe für die Wasserhaushaltsschicht als Langzeitbarriere des Deponieoberflächenabdichtungssystems erteilt.

RSK- **BODEN** erfüllt eine Reihe von Kriterien, die die Eignung als Wasserhaushaltsschicht und Pflanzenstandort ermöglichen, was unter den folgenden Punkten 3 bis 6 dargestellt wird:

3. Standortsicherheit durch das Sandfang - Kehrlicht Gemisch
4. Eignung Wasserhaushaltsschicht durch hohe nFK
5. Eignung Pflanzenstandort
6. Umweltverträglichkeit im Rahmen der gesetzlichen Anforderungen.

3 Standortsicherheit

Die **Standortsicherheit** wird durch das mineralische Sandfang-Kehrlichtgemisch mit überwiegend mineralischen Anteilen erzielt. Die bodenbürtigen Kies, Sand und Schluffanteile geben dem Oberflächenabdichtungssystem die notwendige Textur. Unterstützt wird die Bodenfestigkeit durch einen etwa 30 %igen Anteil leichten Bodens. Der Bodenzuschlag in der Körnung von Sanden bis anlehmigen Sanden fördert die Scherfestigkeit und verringert die Gefahr der Hangrutschungen.

Durch die biologische Behandlung wurde innerhalb von 8 Monaten bei Sandfang / Kehrlicht eine Reduzierung des organischen Gehaltes von 15,4 % TS auf 9,01 % TS (Glühverlust) erreicht.

Der Gehalt organischer Substanz wird sich auch bei längerer Behandlungsdauer nur noch unwesentlich verringern.

Signifikant stellt sich die Reduktion der Atmungsrate AT_4 bei Rechengut von 4.966 mg/kg auf < 33 mg/kg dar. Das Endprodukt ist biologisch stabilisiert.

Die Massenreduktion während der biologischen Behandlung wird durch die Abnahme der organischen Substanz und des Wassergehaltes erreicht.

Von ursprünglich angelieferten 100 kg Sandfang/Kehrlicht Frischmasse verbleiben nach Behandlung 85 kg und von Kehrlicht 14,5 kg.

Die bisher erhobenen Daten zeigen im Feststoff für die Schwermetallgehalte, EOX, Summe BTX, Summe PAK sowie für die Schwermetallgehalte im Eluat, dass Z 1.2 eingehalten werden kann.

Bei 80 % der Parameter wird Z0 eingehalten.

Nachweislich konnten organische Schadstoffe im Verfahren abgebaut werden. Diese Abbaumechanismen konnten auch für die Kohlenwasserstoffe (H18) belegt werden.

4 Wasserhaushaltsschicht

Die **Eignung als Wasserhaushaltsschicht** wird durch eine Erhöhung der organischen Substanz im Boden mit dem biologisch behandeltem Rechengut erreicht.

Zur ausreichenden Wasserversorgung des Pflanzenbestandes in sommerlichen Trockenperioden muss die nutzbare Feldkapazität (nFK) hoch sein (DepV, Anhang 5). Die nutzbare Feldkapazität des Oberflächenabdichtungssystems mit dem Bauersatzstoff RSK- **BODEN** beträgt mindestens 200 mm/m².

Der weitest gehende Abbau organischer Komponenten ist ein dabei wichtiges Kriterium. Die Wasserhaltefähigkeit soll durch weitestgehend „humifiziertes“ Material erreicht werden. Das ist durch eine ausreichende biologische Stabilisierung der Materialien zu erreichen.

Die Stabilisierung garantiert auch eine ausreichende Standsicherheit und geringe Folgesetzungen.

Das Aerobverfahren der zwangsbelüfteten Mieten wie auf der Blocklanddeponie ist dafür ein geeignetes Aufbereitungsverfahren.

Der geforderte Stabilisierungsgrad „Atmungsaktivität (AT₄)“ von unter 5 mg O₂/gTS wird problemlos erreicht.

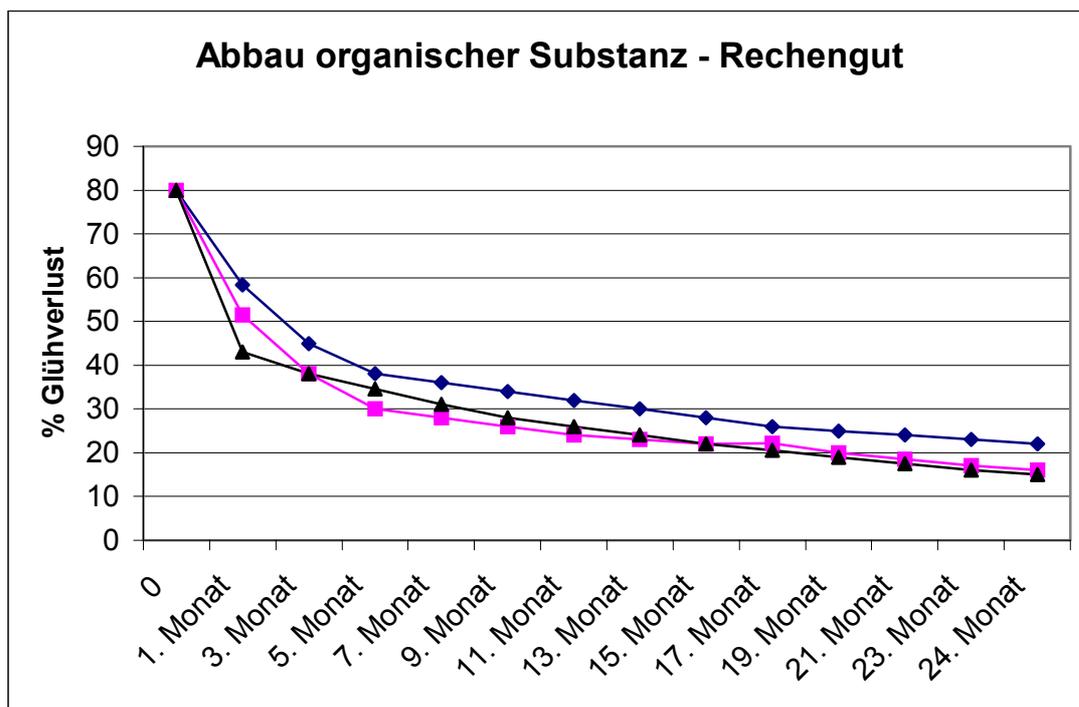


Abb. 1 Mechanisch-biologische Rechengutbehandlung. Abbau organischer Substanz in 24 Monaten

Im behandelten Material wird ein AT₄ von < 5 mg O₂/gTS gefunden. Die Anfangsgehalte liegen bei 30 mg O₂/gTS. Es wird eine Reduktion der Atmungsaktivität von > 80 % erreicht.

Am Beispiel der Charge 25/01 kann der Mineralisationsverlauf an mehreren Parametern zusammenfassend dargestellt werden.

Die Darstellung belegt den schnellen Prozessverlauf während der biologischen Behandlung. Lediglich in der Intensivrottephase treten Verzögerungen auf. Der Glühverlust (organische Substanz), der Wassergehalt und der Rottegrad nehmen kontinuierlich mit fortschreitender Rottedauer ab.

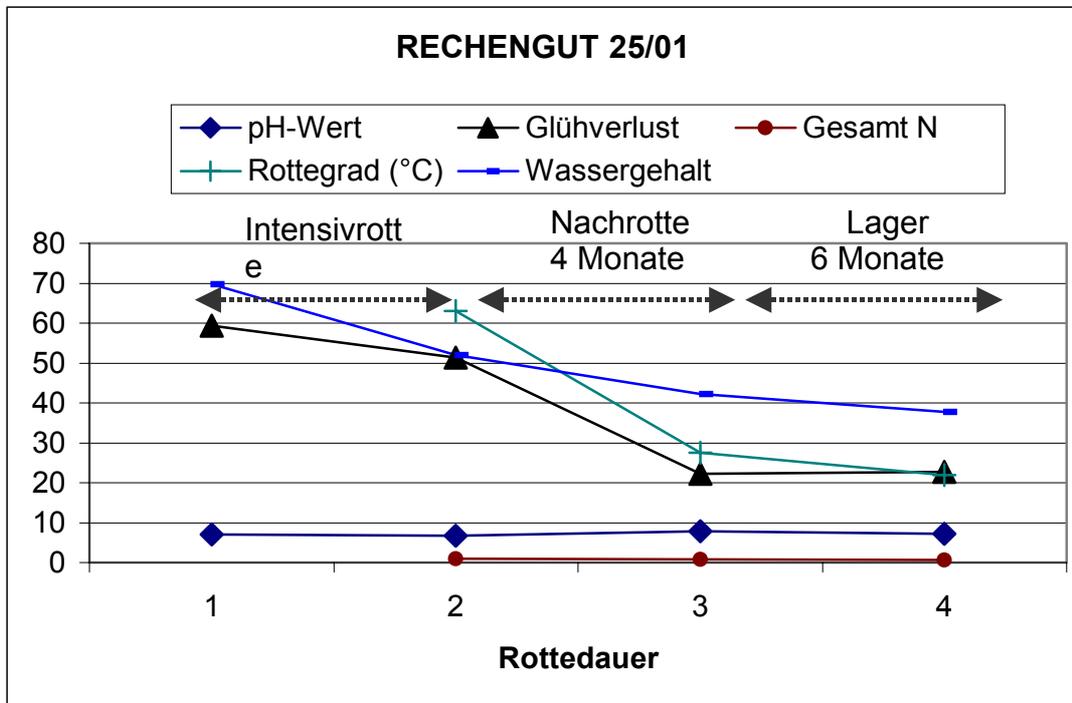


Abb. 2 Prozessparameter Miete 25/01

Der Grad der Stabilisierung wird gesteuert durch:

- Milieubedingungen in den Mieten
- Rottedauer
- Belüftungsmanagement
- Temperaturmanagement und
- Wassergehaltssteuerung

Die Massenreduktion während der biologischen Behandlung wird durch die Abnahme der organischen Substanz und des Wassergehaltes erreicht. Im hier diskutierten Behandlungsverfahren von Rechengut wird eine Massenreduktion der Frischmasse von 85 % erreicht. Von ursprünglich angelieferten 100 kg Frischmasse verbleiben nach Behandlung 14,5 kg.

Damit ist das Ziel erreicht, mit dem Bauersatzstoff RSK- **BODEN** eine weitestgehend setzungsfreie Wasserhaushaltschicht aufzubauen.

Die Setzungsuntersuchungen auf den Versuchsflächen belegen das.

Zur Eignungsprüfung als Wasserhaushaltsschicht wurden Versuchsflächen auf der Blockland Deponie angelegt. Wesentliche klimatische und wasserhaushaltsrelevante Parameter wurden erfasst.

Gemessen wird die Verdunstung vor Ort mittels einer offenen Wasserfläche (Verdunstungskessel). Zusätzlich wird die Verdunstung über die sich verändernden Bodenwassergehalte der Rasenflächen ermittelt.

Die tatsächliche Verdunstungsleistung der Grünflächen (dunkelblaue Linie) liegt auf Grund der Südlage und Windexponiertheit über den errechneten Werten.

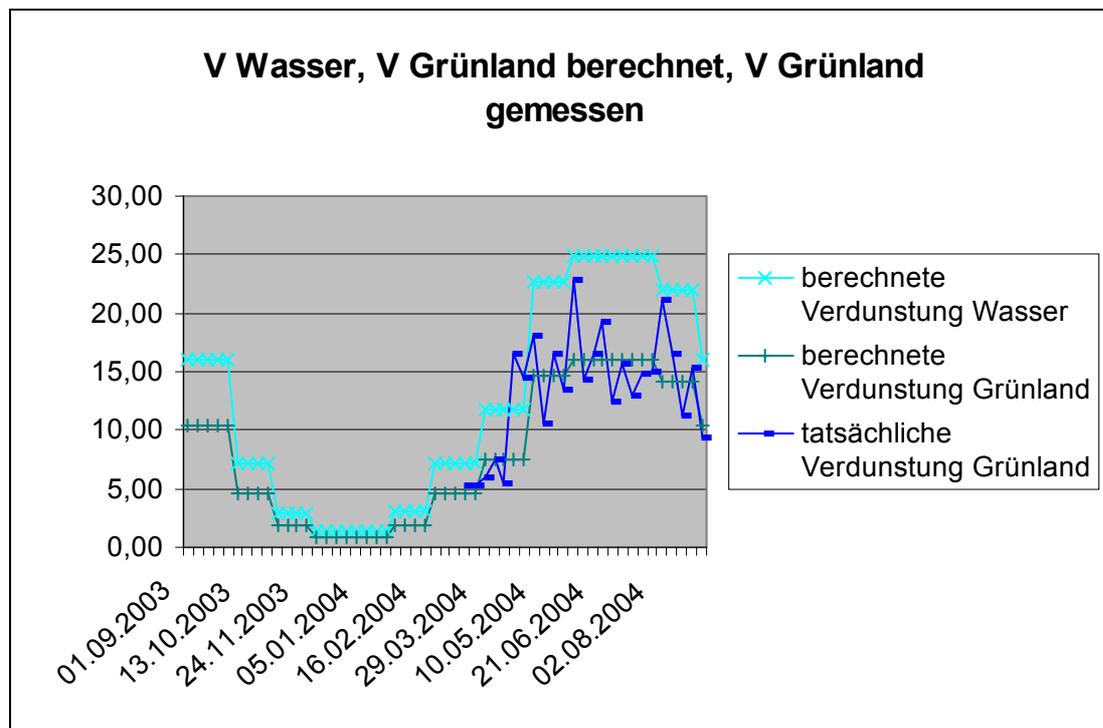


Abb. 3 Wöchentliche Verdunstung von September 03 bis August 04

Durch die geringe Verdunstungsleistung in dem betrachteten Zeitraum erhöht sich das Dränwasseraufkommen auf den Versuchsflächen 1 und 2 mit zunehmender Niederschlagstätigkeit, da die Wasserspeicherkapazität (Feldkapazität) im Dezember 2003 überschritten wurde.

Anfang März 2004 verringert sich das Dränwasseraufkommen nach einer langen Trockenperiode und zunehmender Verdunstungsleistung drastisch (Abb. 4).

Für den gesamten Altteil der Blockland Deponie errechnet sich ein Dränwasseraufkommen von 55.000 m³/a. Bei einer 0,5 m mächtigen mineralischen Dichtung mit einem kf-Wert vom 3×10^{-10} m/s ergab sich ein Sickerwasseraufkommen von 8.200 m³/a. Der Anteil des Oberflächenabflusses ist mit ca. 4.100 m³/a gering.

Betrachtet man den Wasserspeicher skizzenhaft als Säule, ergibt sich die Abbildung 5.

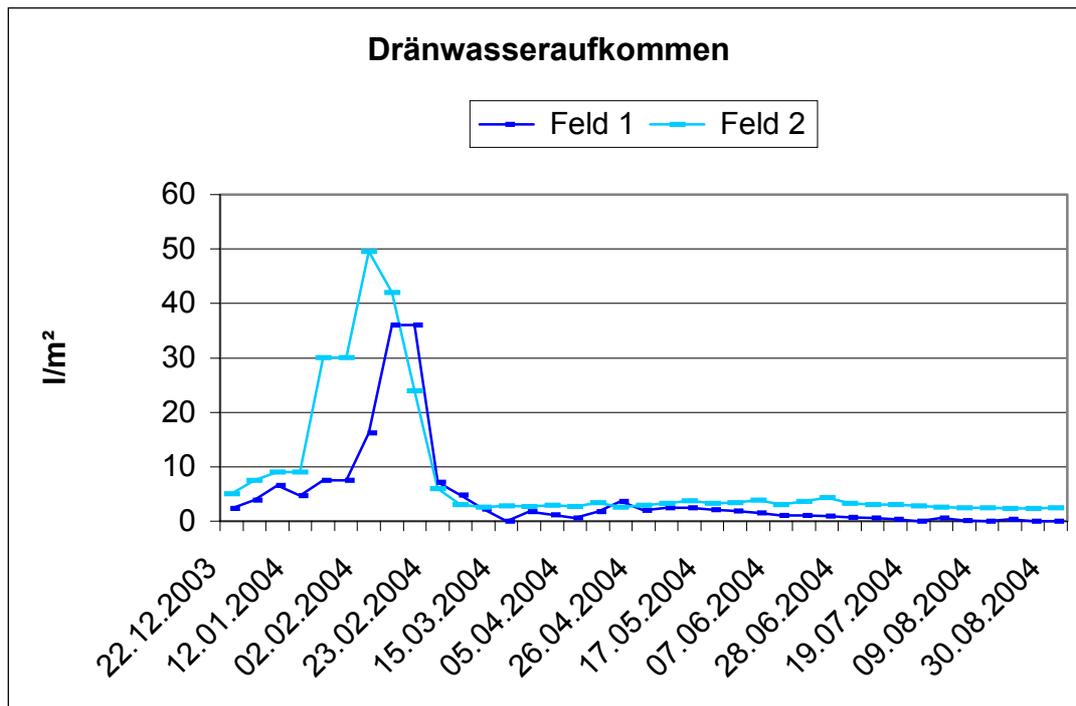


Abb. 4 Dränwasseraufkommen der Fläche 1 und 2 von Dezember 2003 bis August 2004

Wasserverteilung (min. Dichtung)

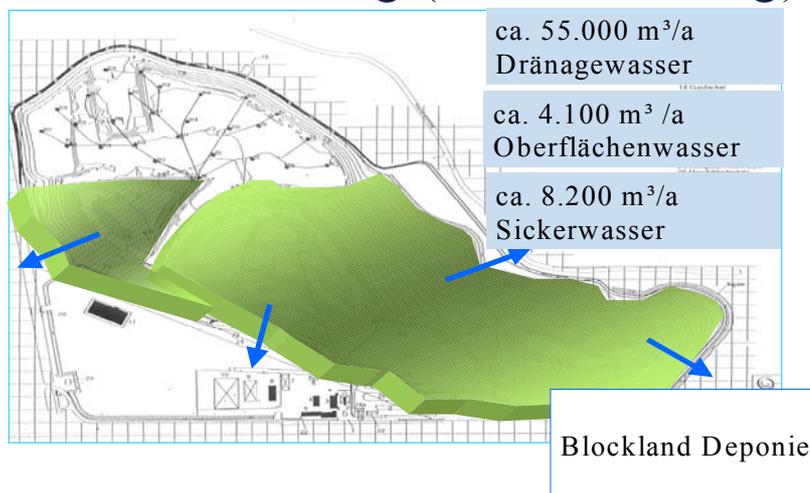


Abb. 5 Wasserverteilung

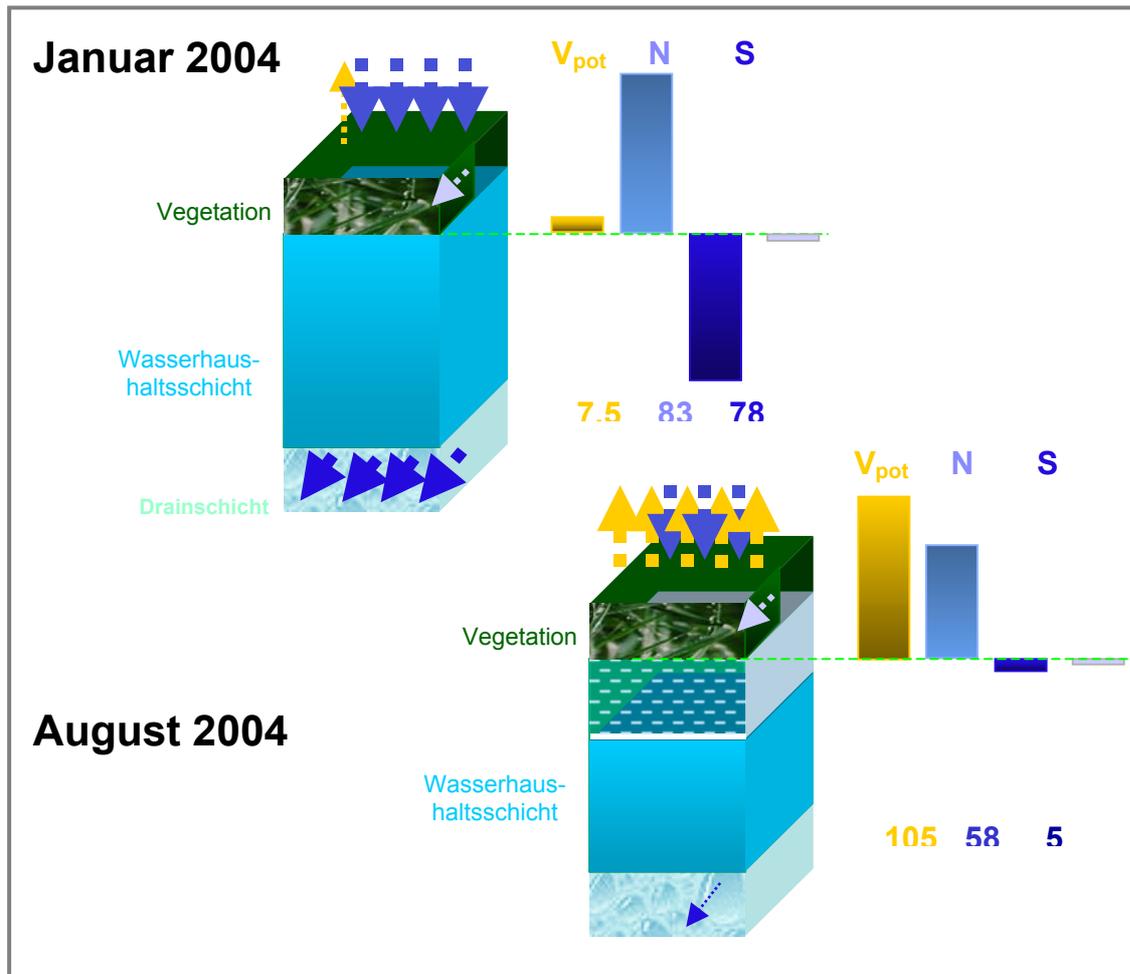


Abb. 6 Zusammenfassende Darstellung der Parameter: Speicher (grauer Block), Niederschlag (N), Verdunstung (V_{pot}), Sickerwasser (S), Oberflächenwasserabfluss (A_o)

Im Januar ist der Bodenwasserspeicher komplett gefüllt. Die Verdunstungsraten sind gering (Abb. 6 oben).

Erst im März 2004 beginnt die langsame Entleerung des Bodenwasserspeichers. Gleichzeitig verringert sich der Sickerwasseraustrag drastisch.

Im April, Mai und Juni wird der Speicher weiter entleert. Die heftigen Niederschläge im Juli 2004 füllen den Speicher trotz der jahreszeitlich bedingten hohen Verdunstungsraten wieder leicht auf (nicht in Abb. 6 dargestellt).

Im August 2004 wird der vorläufig tiefste Speicherstand erreicht. Die Graphik „August“ macht deutlich, dass ca. nur ein Drittel des Speichers in 2004 auf Grund der ungünstigen Wetterverhältnisse „aktiviert“ werden konnte (Abb. 6 unten) (siehe auch BERGER & SOKOLLEK, 1997).

Die weitere Entleerung des Speichers wird erst in 2005 stattfinden, allerdings nachdem die Winterniederschläge zunächst eine Sättigung des Speichers bewirken werden.

Die inzwischen etablierte Vegetation wird dann für höhere Verdunstungsraten sorgen.

Einsparung bei optim. Bewuchs

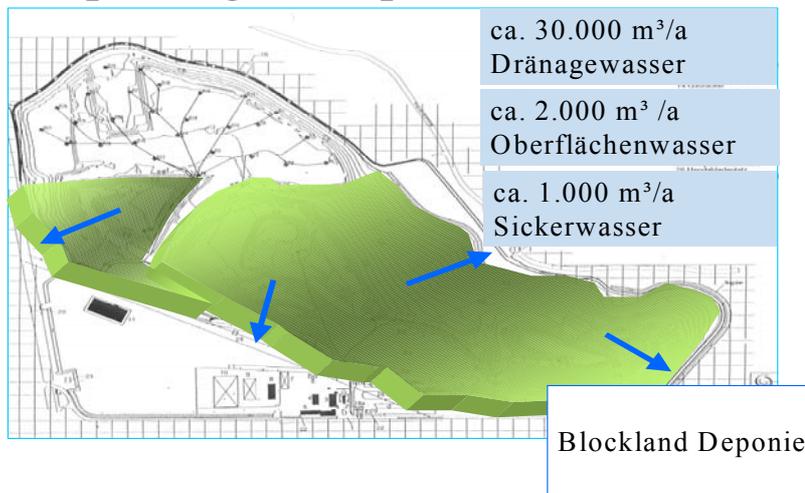


Abb. 7 Wasserreduzierung durch optimalen Bewuchs

Modellrechnungen ergeben bei einer **mehrstufigen Vegetation** im Vergleich zu einer einfachen Grasvegetation eine Reduzierung der Dränagewassermenge (oberhalb der mineralischen Abdeckung) des Altberges um 30.000 m³/a (BERGER, 2001).

Wird in dem hydraulischen Programm HELP eine sehr gut entwickelte Vegetationsentwicklung zugrunde gelegt, ergibt sich bereits eine deutliche Reduzierung der Sickerwassermenge auf 1,6 % des Niederschlages.

Die Dränagewassermenge wird von 33,7 % des Jahresniederschlages auf 19,7 % des Jahresniederschlages also um ca. 30.000 m³/a reduziert.

Vorteilhafterweise erreichen Grünlandbestände schon nach 2 – 3 Jahren ihre maximale ET_a, während Busch- und Baumbestände frühestens nach 10 – 30 Jahren ihre maximale Evapotranspirationsleistung erreichen. Die Busch- und Baumvegetation muss deshalb aktiv gefördert werden (siehe auch BÖNECKE, 2001).

5 Eignung als Pflanzenstandort

Die **Pflanzenverträglichkeit** von RSK- **BODEN** wurde im Labor mit Pflanzenverträglichkeitsversuchen und in der Praxis mit Grasmischungen auf einem sonnenexponierten Südhang der Blockland Deponie erprobt.

Das biologisch behandelte Rechengut garantiert über die eingebrachte organische Substanz die Wasserhaltefähigkeit und die Nährstoffversorgung.

Die Mischungskomponente Boden puffert das Substrat und verringert den osmotischen Salzdruck.

Grundsätzlich lässt sich nach der GDA-Empfehlung E 2-31 folgende Abschätzung bezüglich der Eignung als Pflanzenstandort geben:

1. gutes Infiltrationsvermögen
2. hohe nutzbare Feldkapazität (z.B. > 17 % oder 200 mm)
3. ausreichende Luftkapazität (z.B. 10%)
4. gute Durchwurzelbarkeit, Pflanzenstandort (Salzgehalt!)
5. ausreichend pflanzenverfügbare Nährstoffe
6. günstige Bodenreaktion und Pufferung

Das Infiltrationsvermögen von RSK- **BODEN** ist sehr hoch und in der Folge wurden Oberflächenabflussraten von weniger als 10 % der Jahresniederschlagsmenge gemessen. Die Rauigkeit der Vererdungsmaterialien und die konsequent verhinderte Oberflächenverdichtung sind die Ursache.

Die Luftkapazität von RSK- **BODEN** sollte noch verbessert werden, da durch den weiteren Abbau organischer Substanz eine ausreichende Sauerstoffversorgung im Wurzelbereich notwendig ist.

Bei der Auswahl der Rasenmischung wurden folgende Kriterien angesetzt:

- Erosionsschutz,
- hohe Verdunstungsleistung,
- zweimalige Mulchmäh,
- schnellwüchsig und tiefwurzeln
- salztolerant

Der ausläufertreibende Rotschwingel gewährleistet eine dichte Grasnarbe und eine intensive Durchwurzelung. Gleichzeitig sorgt der hohe Rotschwingelanteil (*Festuca rubra rubra* 30 % und *Festuca rubra trichophylla* 30%) für eine gewisse Salzverträglichkeit.

Der Standort mit den Bauersatzstoff „RSK- **BODEN**“ erwies sich als pflanzenverträglich. Vegetationsschäden, die auf die Rekultivierungsschicht zurück zu führen sind, wurden nicht beobachtet.

6 Umweltverträglichkeit

Die **Umweltverträglichkeit im Rahmen der gesetzlichen Anforderungen** ist gegeben. Beachtet wird besonders Anhang 5 der DepV. Die zulässigen Feststoffgehalte und Eluatkonzentrationen für RSK- **BODEN** der Tabelle aus Anhang 5 der DepV werden weitestgehend eingehalten.

Problematisch bleibt der Sulfat- und Chloridgehalt im Eluat mit 50 – 100 mg/l für Sulfat und 10 – 20 mg/l für Chlorid, da im Anhang 5 der DepV für Sulfat 50 mg/l und für Chlorid 10 mg/l vorgegeben werden. Da das perkulierende Wasser (Dränwasser) jedoch geordnet abgeführt und einer Klärung zugeführt wird, sollte hier eine Ausnahmeregelung getroffen werden.

Sowohl Sulfat als auch Chlorid stellen in den genannten Konzentrationen keine Gefahr für die Allgemeinheit dar.

Grundsätzlich sollte eine Ausnahmeregelung möglich sein, die eine geringfügige Überschreitung der zulässigen Konzentrationen einzelner Schadstoffe in der Komponente „biologisch behandeltes Rechengut, Sandfang und Kehrlicht“ eine dem ressourcenschonenden Umgang angemessene Überschreitung darstellt.

Die vier Komponenten des hier vorgestellten Bauersatzstoffes als Teil des Oberflächenabdichtungssystems der Blockland Deponie Bremen:

- Rechengut
- Sandfang
- Kehrlicht und
- Boden

ergänzen sich positiv hinsichtlich der gewünschten Eigenschaften als Wasserhaushaltsschicht. Der hergestellte Bauersatzstoff „RSK- **BODEN**“ ist ressourcenschonend und umweltverträglich. Voraussetzung für die umweltverträgliche Nutzung von RSK- **BODEN** ist ein engmaschiges Qualitätssicherungssystem.

Wesentlich ist, dass der Abfall eine sinnvolle Aufgabe erfüllt, indem er andere Materialien ersetzt, die ansonsten für diese Aufgabe hätten verwendet werden müssen, wodurch natürliche Rohstoffquellen erhalten werden (EuGH, ASA-Urteil – C-6/00 vom 27.02.2002).

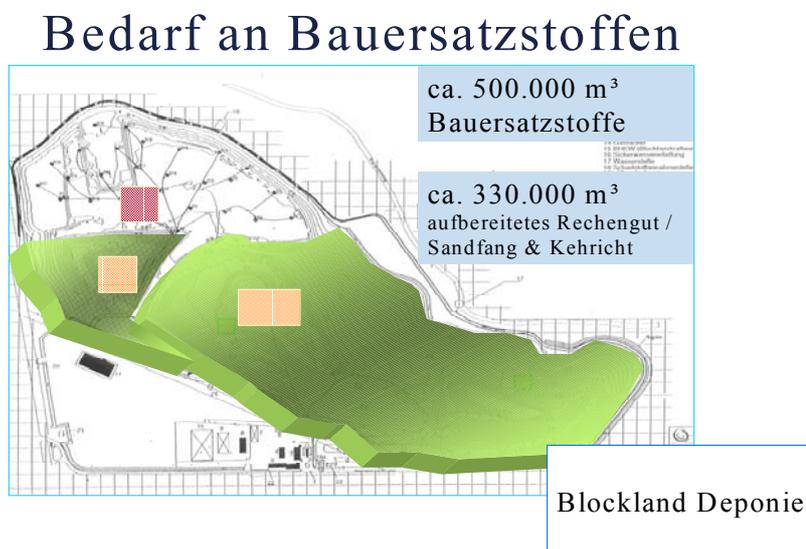


Abb. 8 Bedarf an Bauersatzstoffen

Es wird von einem Bedarf an Bauersatzstoffen von ca. 500.000 t (1,5 m dicke Wasserhaushaltsschicht) für die Rekultivierung des Altteils der Blockland Deponie ausgegangen. Die min. Dichtung nicht eingerechnet.

Diese von Flora, Fauna und Mikroflora belebte Abdeckung regeneriert sich nach Stressphasen immer wieder neu und unterliegt quasi keiner Alterung. So werden beispiels-

weise bodenphysikalische und -chemische Veränderungen nach Trockenstresszeiten in den Sommermonaten in regenreichen Perioden wieder ausgeglichen. Deponiebewegungen wie Sackungen und Verschiebungen werden durch die Plastizität des Bodenkörpers wieder ausgeglichen. Bevorzugte Wegsamkeiten (preferential flow) des Sickerwassers „wachsen“ wieder zu und Kolmationen werden durch die „Bioturbation“ wieder aufgehoben.

Das biologisch behandelte Rechengut garantiert über die eingebrachte organische Substanz die Wasserhaltefähigkeit und die Nährstoffversorgung.

Nährstoffkonzentrationen in RSK- **BODEN**, insbesondere die verfügbaren Stickstoffverbindungen und Phosphorverbindungen werden im LAGA Merkblatt nicht behandelt.

Der Gesamtstickstoffgehalt ist mit 0,68 % TS als moderat einzustufen und unterliegt nur wenig weiteren Umwandlungsprozessen.

Die angestrebte Begrünung wird einen Teil des verfügbaren Stickstoffs aufnehmen.

Solange die Schicht ausreichend belüftet bleibt (vor der endgültigen Versiegelung der Fläche) finden kaum Denitrifikationsprozesse statt.

Phosphat wird relativ gut im Material gebunden und deshalb nur wenig ausgetragen.

Der pH-Wert von RSK- **BODEN** liegt zwischen 6,8 und 7,7. Die elektrische Leitfähigkeit liegt zwischen 500 und 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, im Rechengutmaterial tendenziell bei 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und im Sandfang & Kehrriechtmaterial bei 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Der RSK- **BODEN** Bauersatzstoff hat eine elektrische Leitfähigkeit um 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Im Anhang 5 DepV wird 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ vorgegeben.

Grundsätzlich lässt sich nach der GDA-Empfehlung E 2-31 folgende Abschätzung geben:

- | | | |
|-----|---|---------------|
| 1. | Abschirmung der schädlichen Abfälle | (möglich) |
| 2. | gutes Infiltrationsvermögen | (vorhanden) |
| 3. | hohe nutzbare Feldkapazität (200 mm/m) | (vorhanden) |
| 4. | ausreichende Luftkapazität (z.B. 10%) | (nachbessern) |
| 5. | gute Durchwurzelbarkeit, Pflanzenstandort | (vorhanden) |
| 6. | ausreichend pflanzenverfügbare Nährstoffe | (vorhanden) |
| 7. | günstige Bodenreaktion und Pufferung | (vorhanden) |
| 8. | ausreichende Mächtigkeit | (vorhanden) |
| 9. | umweltverträgliche Materialien | (in Prüfung) |
| 10. | Beständigkeit gegen Erosion | (vorhanden) |
| 11. | stabiles Korngerüst und gleichmäßiges Bodengefüge | (vorhanden) |
| 12. | Vermeidung von Stauhorizonten | (möglich) |
| 13. | standsicherer Aufbau | (vorhanden) |

Die biologische Vorbehandlung von Rechengut, Sandfang und Kehrriecht und der Einsatz der Endprodukte als Bauersatzmaterialien im Oberflächenabdichtungssystem der Blockland Deponie Bremen ist in sich schlüssig.

Das praktizierte Verfahren stellt ein Oberflächenabdichtungssystem vor, das als Langzeitbarriere die Minimierung der Sickerwasserneubildung bewirkt und auch nach dem Versagen der Dichtungselemente einen dauerhaften Grundwasserschutz gewährleistet.

Literatur

- BERGER, K. & SOKOLLEK, V., 1997: Sind qualifizierte Abdeckungen von Altdeponien unter den gegebenen klimatischen Voraussetzungen der BRD sinnvoll bzw. möglich. In: EGLOFFSTEIN, TH. & G. BURKHARDT (Hrsg.): Oberflächenabdichtungen für Deponien und Altlasten, Planung – Bau – Kosten. Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Band 103, Erich Schmidt Verlag
- BERGER, K., 2001: Dimensionierung und Optimierung von Rekultivierungsschichten mit dem HELP-Modell zur Minimierung des Sickerwasseranfalls. Internetfassung: www.geowiss.uni-hamburg.de/i-boden/dimreku.pdf.
- BÖNECKE, G., 2001: Verzicht auf Oberflächenabdichtungen durch forstliche Rekultivierung von Deponien – Deponiewald statt Oberflächenabdichtungen? In: Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Band 122, Erich Schmidt Verlag
- BORK, H.-R., 1997: Zur Tolerierbarkeit von Bodenabtrag. Mitt. Dtsch. Bodenkundliche Ges., Band 83, S. 83-86
- BRÜCKLMEIER, W. et al., 2003: Alternative Oberflächenabdichtung im praktischen Vergleich. Versuchsfelder am Deponiestandort Deetz. In: Fachtagung „Vorsorge zur Nachsorge – Praxisberichte im Fokus aktueller Entwicklungen zum Thema Deponiestilllegung / Nachsorge“ BFUB, Berlin, 06/07. Nov. 2003
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT: Verordnung über Deponien und Langzeitlager, Deponieverordnung DepV
- GDA-Empfehlung E 2-31 (Entwurf), 2000: Rekultivierungsschichten. GDA-Empfehlungen Geotechnik der Deponien und Altlasten. Deutsche Geotechnische Gesellschaft e.V. (DGGT), Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- LANGER, A., 2004: Mineralische Rohstoffe für die Oberflächenabdichtung – Woher nehmen? 5. Niedersächsisches Bodenschutzforum, Hannover 2004
- MELCHIOR, S., 2002: Materialwahl, Schichtaufbau und Dimensionierung der Rekultivierungsschicht. In: Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Band 125, Erich Schmidt Verlag
- NIENHAUS, U., 2000: Anforderungen an Entwurf und Gestaltung von Rekultivierungsschichten. In: RAMKE, H.-G., BERGER, K., STIEF, K. (Hrsg.): Wasserhaushalt der Oberflächenabdichtungssysteme von Deponien und Altlasten. Hamburger Bodenkundliche Arbeiten, Band 47
- SCHRIEFER, TH., 1985: Rekultivierung als ökologisches Problem. 1. Entwicklung des Mikroklimas auf einer Deponieabdeckschicht. Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung 26, S. 305-313
- SCHRIEFER, TH., 1985: Rekultivierung als ökologisches Problem. 2. Entwicklung des Wasserhaushalts auf einer Deponieabdeckschicht. Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung 26, S. 305-313
- STALLJANN, E., 2002: Deponiebegrünung als Erosionsschutz und Möglichkeit zur Reduzierung von Sickerwasser. In: Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Band 125, Erich Schmidt Verlag
- WATTENDORF, P. & SOKOLLEK, V., 2000: Gestaltung und Entwicklung von standortgerechtem Bewuchs auf Rekultivierungsschichten. In: RAMKE, H.-G., BERGER, K., STIEF, K. (Hrsg.): Wasserhaushalt der Oberflächenabdichtungssysteme von Deponien und Altlasten. Hamburger Bodenkundliche Arbeiten, Band 47