



Europäische Union. Europäischer
Fonds für regionale Entwicklung.
Evropská unie. Evropský fond pro
regionální rozvoj.



Ahoj sousede. Hallo Nachbar.
Interreg V A / 2014-2020

Skládkový workshop Liberec-Žitava 2016

Skládka jako poslední možnost

Aktuální otázky

vyplývající z hierarchie nakládání s odpady

3.-4. listopadu 2016



Deponieworkshop Liberec-Zittau 2016

Deponie als letzte Möglichkeit

Aktuelle Fragen,

die sich aus der Abfallhierarchie ergeben

03.-04. November 2016

12. Skládkový workshop Liberec-Žitava

Skládka jako poslední možnost

Aktuální otázky vyplývající z hierarchie nakládání s odpady

12. Deponieworkshop Liberec-Zittau

Deponie als letzte Möglichkeit

Aktuelle Fragen, die sich aus der Abfallhierarchie ergeben

Podpora

Tato akce je podpořena z prostředků Evropské unie prostřednictvím Programu spolupráce Česká republika-Svobodný stát Sasko 2014-2020 – číslo projektu 100246598.

Förderung

Diese Veranstaltung wird durch das SN-CZ 2014-2020 - Programm der EU zur Förderung der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit zwischen dem Freistaat Sachsen und der Tschechischen Republik gefördert – Projektnr.: 100246598.

odborný editor: Lukáš Zedek

technický editor: Kamil Nešetřil

překlady provedl: Sven Dietrich

Sborník byl připraven s využitím typografického systému L^AT_EX.

Obsah

Účinnost evropských předpisů	7
<i>Havelka, P.</i> Odpadové hospodářství v ČR ve světle vyhlášené evropské strategie	9
<i>Stock, U.; Bittrich, S.</i> Požadavky na zpracování odpadů, především diskuse o spalování odpadů proti mechanicko-biologickému zpracování odpadů z německého pohledu	11
<i>Hráská, D.</i> Způsoby energetického využívání odpadů	25
<i>Witkowski, W.; Beyer, G.</i> Plánování, stavba a zprovoznění zařízení pro zpracování odpadu s kompostárnou v Marszowě (Polsko)	31
Využití stavebních materiálů pro stavbu skládek	33
<i>Egloffstein T.; Sehrbrock, U.</i> Průkazní zkoušky přírodních, minerálních stavebních materiálů – Požadavky a jejich praktické prosazování v Německu	35
<i>Sandig, F.; Al-Akel, S.; Thiele, R.; Engel, J.</i> Aplikace technických rekultivačních substrátů - možnosti a hranice	39
<i>Hrabčák, M.</i> Štvrtý rozmer skládky	55
<i>Schneider, P.; Müller, M.; Hebner, A.; Kapielski, K.; Schrickel, M.; Fabian, H.</i> Možnosti alternativní izolace skládky pomocí sekundárních minerálních stavebních hmot v tuzemsku a v zahraničí	63
Aplikovaná informatika a měřicí technika	77
<i>Dunger, V.; Müller, M.; Winter, C.; Winter, J.</i> Hydrologie zajištění povrchu v Sasku a změny klimatu	79
<i>Datel, J. V.</i> Zásady geotechnického a environmentálního monitoringu odkališť	93
<i>Weber K.</i> Automatizovaný monitoring skládky během fáze následné péče	111

<i>Kast, G.</i> Měření objemového obsahu vody při využití kontinuálních a diskontinuálních metod měření v hydrologické vrstvě skládky v Bavorsku	117
Techniky následné péče o skládky	119
<i>Drews, R.</i> Nákladově efektivní a nízkoúdržbové systémy odvodnění povrchů skládek s přihlédnutím ke specifickým požadavkům hydrologické vrstvy.	121
<i>Beck-Broichsitter, S.; Fleige, H.; Horner, R.</i> Dlouhodobá účinnost dočasného minerálního zakrytí povrchu	143
<i>Steinbrecht, D.; Rickert, I.</i> Likvidace a energetické využívání skládkových plynů	153
<i>Nešetřil, K.</i> Informační systém pro monitoring skládek	163
Aplikovaná geologie a další témata	165
<i>Zeman, J.</i> Geochemie složitých interakcí odpadů a infiltračních vod na skládkách	167
<i>Hrabal, J.; Kovářová, K.; Ambrožová, V.</i> Čištění skládkových výluhů kombinovanou membránovou technologií s použitím bio- logických systémů předčištění	179
<i>Gerth, A.; Hebner, A.; Kopielski, K.; Schneider, P.</i> Následné využití lokality skládky Gò Cát v Ho Či Minově městě	187
<i>Clemenz, P.; Weber, I.; Dedek, M.; Pabel, R.; Schoenherr, J.I.; Dunger, V.; Schulz, R.; Engel, J.</i> Vývoj environmentálních inženýrských postupů pro udržitelné využití půd	199
<i>Pelantová, V.</i> Problematika černých skládek	207

Inhaltsverzeichnis

Auswirkung von EU-Richtlinien	7
<i>Havelka, P.</i> Abfallwirtschaft in der Tschechischen Republik angesichts der erklärten europäischen Strategie	9
<i>Stock, U.; Bittrich, S.</i> Anforderungen an die Abfallbehandlung, insbesondere die Diskussion um Abfallverbrennung kontra mechanisch-biologische Abfallbehandlung aus deutscher Sicht	11
<i>Hráská, D.</i> Möglichkeiten einer energetischen Abfallnutzung	25
<i>Witkowski, W.; Beyer, G.</i> Planung, Bau und Inbetriebnahme von Abfall-aufbereitungsanlagen und die Abfallanlage mit Kompostierung in Marszow (Polen)	31
Verwendung von Baustoffen im Deponiebau	33
<i>Egloffstein T.; Sehrbrock, U.</i> Eignungsnachweise nach BQS für natürliche mineralische Baustoffe – Anforderungen und praktische Umsetzung	35
<i>Sandig, F.; Al-Akel, S.; Thiele, R.; Engel, J.</i> Anwendungen für technische Rekultivierungs-Substrate – Möglichkeiten und Grenzen	39
<i>Hrabčák, M.</i> Die vierte Dimension einer Deponie	55
<i>Schneider, P.; Müller, M.; Hebner, A.; Kopielski, K.; Schrickel, M.; Fabian, H.</i> Möglichkeiten alternativer Deponieabdichtungen mit mineralischen Ersatzbaustoffen im In- und Ausland	63
Angewandte Informatik und Umwelt-Messtechnik	77
<i>Dunger, V.; Müller, M.; Winter, C.; Winter, J.</i> Der Wasserhaushalt von Oberflächensicherungen Sachsens im Klimawandel	79
<i>Datel, J. V.</i> Prinzipien des geotechnischen Monitorings und Umweltmonitorings von Klärteichen .	93
<i>Weber K.</i> Automatisierte Deponieüberwachung in der Nachsorgephase	111

<i>Kast, G.</i> Zur Messung des volumetrischen Bodenwassergehaltes bei Einsatz von kontinuierlichen und diskontinuierlichen Messmethoden in einer Wasserhaushaltsschicht einer Deponie in Bayern	117
Umwelttechnik bei der Nachsorge von Deponien	119
<i>Drews, R.</i> Kostengünstige und nachsorgearme Oberflächenentwässerungseinrichtungen auf Deponien bei Berücksichtigung der besonderen Anforderungen einer Wasserhaushaltsschicht	121
<i>Beck-Broichsitter, S.; Fleige, H.; Horner, R.</i> Langzeitwirkung einer temporären mineralischen Oberflächenabdichtung	143
<i>Steinbrecht, D.; Rickert, I.</i> Entsorgung von und Energiegewinnung aus Deponiegasen	153
<i>Nešetřil, K.</i> Informationssystem für das Monitoring einer Deponie	163
Angewandte Geologie, Sonstiges	165
<i>Zeman, J.</i> Geochemie komplexer Wechselwirkungen des Abfalls und des Sickerwassers auf Deponien	167
<i>Hrabal, J.; Kovářová, K.; Ambrožová, V.</i> Reinigung des Deponiesickerwassers mit Hilfe einer kombinierten membranengestützten Technologie unter Anwendung biologischer Systeme der Vorbehandlung	179
<i>Gerth, A.; Hebner, A.; Kopielski, K.; Schneider, P.</i> Nachnutzung des Deponiestandortes Gò Cát in Ho Chi Minh City	187
<i>Clemenz, P.; Weber, I.; Dedek, M.; Pabel, R.; Schoenherr, J.I.; Dunger, V.; Schulz, R.; Engel, J.</i> Entwicklung umweltingenieurtechnischer Verfahren zur nachhaltigen Bodenressourcennutzung	199
<i>Pelantová, V.</i> Problematik der illegalen Abfallablagerung	207

Techniky následné péče o skládky

**Umwelttechnik bei der Nachsorge von
Deponien**

Dlouhodobá účinnost dočasného minerálního zakrytí povrchu

Langzeitwirkung einer temporären mineralischen Oberflächenabdichtung

Steffen Beck-Broichsitter¹, Heiner Fleige, Rainer Horn

Abstrakt

Počínaje zářím roku 2007 je pro komplexní výzkumy vodního režimu a izolačních schopností na bývalé ústřední skládce v obci Rastorf (Šlesvicko - Holštýnsko) k dispozici zajištěné minerální zakrytí povrchu skládky. V rámci dlouhodobého výzkumného projektu jsou od roku 2008 pomocí tenzometrů a senzorů FDR prováděna průběžná měření vodního režimu v půdě.

Na čtyřech různých plochách jsou celoročně určovány matriční potenciály, obsah vody v půdě a teplota a to v hloubkách 20, 50, 80 a 100 cm. Za účelem určení půdně-fyzikálních a hydraulických vlastností (například bobtnání a smršťování, hydraulická vodivost) a pro výzkum anisotropních vlastností prvků zakrytí skládky jsou dále prováděny roční odběry vzorků.

V období mezi lety 2008 a 2015 se po uchycení hustého porostu trvale změnila evapotranspirace a následně i vysychání zakrytí povrchu s dopadem do vyšších hloubek. V důsledku delších období sucha v období května a září jsou v rekultivační vrstvě (0 - 70 cm) v průběhu roku patrná rozsáhlá období s matričním potenciálem < -400 hPa, které zasahují rovněž hlouběji do tělesa zakrytí. Minerální izolace jako druhá systémová komponenta v hloubce 70 - 100 cm vykazuje téměř po celý rok půdní vlhkost v oblasti blízké úplné nasycenosti (> -100 hPa). Současně nedochází k podkračování kritických matričních potenciálů mezi -300 a -500 hPa. Díky tomu není nutno realizovat ani cílené zkrápění.

Změněné vlastnosti smršťování s charakteristickou oblastí strukturního smršťování v průběhu celého odvodnění ukazují na vytvoření stabilního (tuhého) systému pórů. Dále je patrný nízký potenciál smršťování použitého minerálního materiálu v důsledku potenciální změny objemu ve výši 5 - 12% v suchém stavu.

Kurzfassung

Das aufgeführte in situ Monitoringkonzept ermöglicht am Beispiel der Deponie Rastorf (Schleswig-Holstein) eine umfassende Untersuchung der Langzeitwirksamkeit einer temporären mineralischen Oberflächenflächenabdeckung. Das Schrumpfrissverhalten des verwendeten Geschiebemergels wird gemäß dem Stand der Technik mittels 3D-Lasertriangulationsverfahren untersucht und zugleich zeigen die Feldmessungen mittels Tensiometer, dass die mineralische Dichtungskomponente bis zum jetzigen Zeitpunkt nicht von einer kritischen matrixpotenzialinduzierten Schrumpfrissbildung betroffen ist.

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Hermann-Rodewald-Str. 2, D-24118 Kiel
steffen.beck-broichsitter@soils.uni-kiel.de

1 Einleitung

Das Aufbringen eines temporären oder endgültigen Oberflächensicherungssystems ist am Ende der aktiven Ablagerungsphase erforderlich (vgl. Abb. 1), um in ihrer Funktion als Schadstoffsenke vordergründig die Sickerwasserbildung (Grundwasserschutz) und damit verbundene Stofffreisetzungen (u. a. Schwermetalle) aus dem Deponiekörper zu minimieren und gleichzeitig die Deponiegasmigration (CH_4 , CO_2) zum Schutz der Atmosphäre zu verhindern [1, 2].

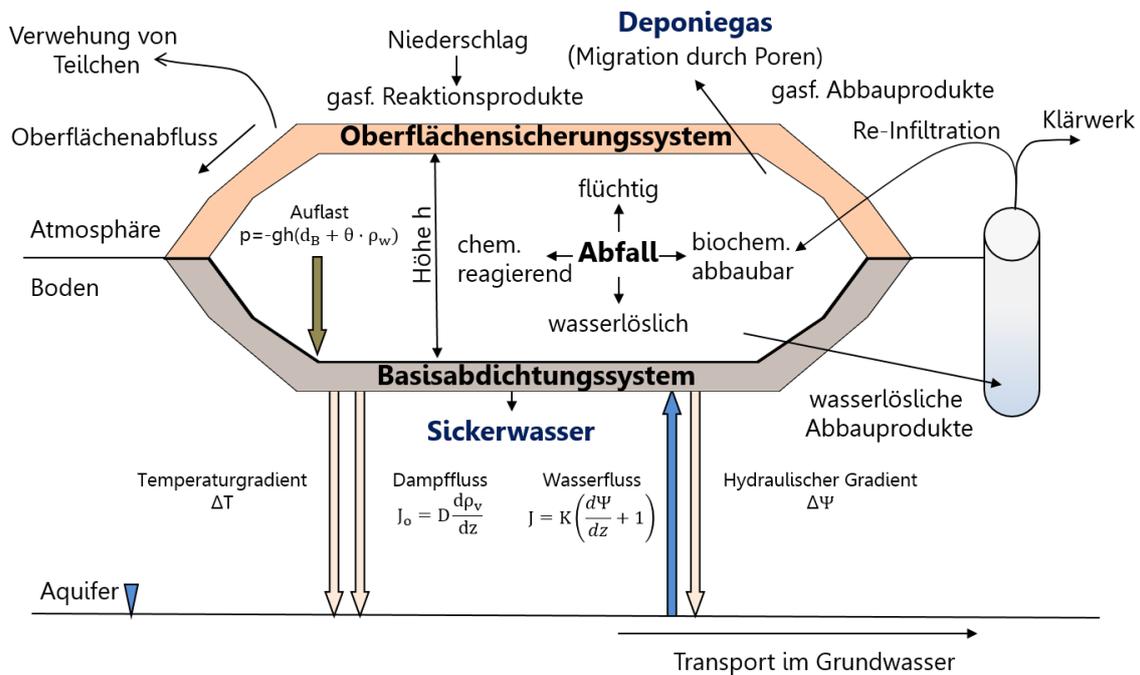


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Emissionspotenzials einer Siedlungsabfalldeponie.

In der Deponiebaupraxis sind dokumentierte Versagensfälle (z. B. Rissbildungen in mineralischen Dichtelementen) in Verbindung mit hohen Herstellungs- und Nachsorgekosten ein bedeutender Grund für die Erprobung alternativer Oberflächenabdeckungskonzepte [3, 4]. Die langfristige Funktionsfähigkeit von mineralischen Dichtungskomponenten kann insbesondere durch matrixpotenzialinduzierte Schrumpfrisse infolge jahreszeitlich bedingter Austrocknungs- und Wiederbefeuchtungsvorgänge nachteilig beeinflusst werden [5, 6, 7]. Im Rahmen dieser Arbeit wird das in situ Monitoringkonzept der Abteilung Bodenkunde der CAU Kiel am Beispiel der Deponie Rastorf vorgestellt und anhand einer Kombination aus Labor- und Feldmessungen näher erläutert.

2 Material und Methoden

2.1 Temporäre Oberflächenabdeckungen

Die zuständigen Genehmigungsbehörden können bei Siedlungsabfalldeponien gemäß § 12 Abs. 5 und 14 Abs. 7 der Deponieverordnung (2009) das Aufbringen einer temporären Oberflächenabdeckung bis zum Abklingen der zu erwartenden bzw. auftretenden Hauptsetzungen zulassen. Die damit verbundenen Zielvorgaben beinhalten (a) die Sickerwasserbildung zu minimieren und (b) die Deponiegasmigration zu verhindern [8]. Dementsprechend vielfältig erfolgt die Realisierung von temporären Abdeckungen, ohne an detaillierte technische Vorgaben gebunden zu sein [9].

2.2 Siedlungsabfalldeponie Rastorf

Auf der ehemaligen Siedlungsabfalldeponie Rastorf (Kreis Plön; S-H.) steht seit 2007/2008 ein teildurchlässiges temporäres Oberflächenabdeckungssystem für die grundlegenden bodenhydraulischen Untersuchungen einer geschichteten mineralischen Abdeckung zur Verfügung. Die ehemalige Siedlungsabfalldeponie Rastorf ist eine geschlossene Grubendeponie (ca. 2 Mio. t Abfall) mit 4 Bauabschnitten und wurde seit der Erstgenehmigung vom 1. Februar 1977 bis zum 31. Mai 2005 durch die ZMD Rastorf GmbH betrieben (Abb. 2).

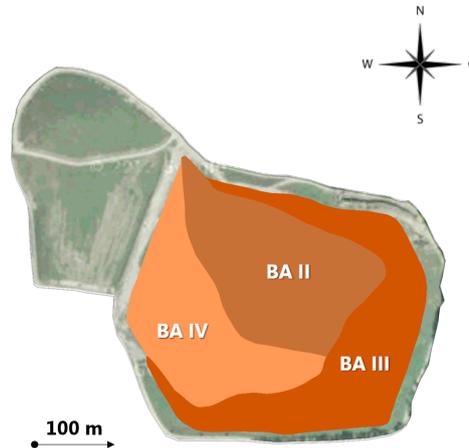


Abbildung 2: Deponie Rastorf im Kreis Plön (S-H), Deponieklasse II mit den temporär abgedeckten Bauabschnitten II–IV (ca. 7,3 von 10,5 ha).

Die Rekultivierungsschicht ist in einen humoseren Oberboden (0–40 cm) sowie einen humusarmen Unterboden (40–70 cm) gegliedert, weist eine Gesamtmächtigkeit von 70 cm auf und dient als Wasserspeicher und Standort für den Grünlandbewuchs (dom. *Lolium perenne*, *Dactylis glomerata*, *Trifolium repens*). Der 30 cm mächtigen mineralischen Dichtung kommt die Bedeutung einer Wasserbarriere und Wurzelsperre zu (Abb. 3).

Für die Errichtung des temporären Oberflächenabdeckung wurde vor Ort verfügbarer Geschiebemergel verwendet und bewusst auf den Einsatz von Geokunststoffen oder Tonsubstraten verzichtet.

2.3 Bodenphysikalische Untersuchungen im Feld- und Labormaßstab

An drei repräsentativen Standorten in den Bauabschnitten II–IV der Deponie werden in Tiefen von jeweils 20, 50, 80 und 100 cm Tiefe ganzjährig die Bodenfeuchte mittels FDR-Sensoren und die Matrixpotenziale mit Tensiometern bestimmt (Abb. 3). Die bodenphysikalischen Eigenschaften des Geschiebemergels werden gemäß den Methoden von [10] bestimmt und die Bewertung der Bodeneigenschaften erfolgt gemäß [11].

2.3.1 Volumenbestimmung mittels Lasertriangulationsverfahren

Es existieren zahlreiche Methoden der nicht-invasiven Volumenbestimmung von Bodenmaterialien. Dazu zählen die Volumenbestimmung mittels Schieblehre, Messuhren, digitaler Fotografie und Laserverfahren [12]. Die Lasertriangulation ermöglicht eine laser- und kamera-gesteuerte Erfassung der Volumenänderung und eines möglichen Rissverlaufs (zuverlässige Erkennung ab Rissbreite von 1 mm; Risstiefe: max. 40 mm) auf der Bodenoberfläche (Abb. 4). Für die Laboruntersuchungen wurden die quasi-aufgesättigten (100 cm^3) definiert bei -30, -60, -150 -300, -500, -1000 und -15000 hPa mit keramischen Platten bzw. im Drucktopf

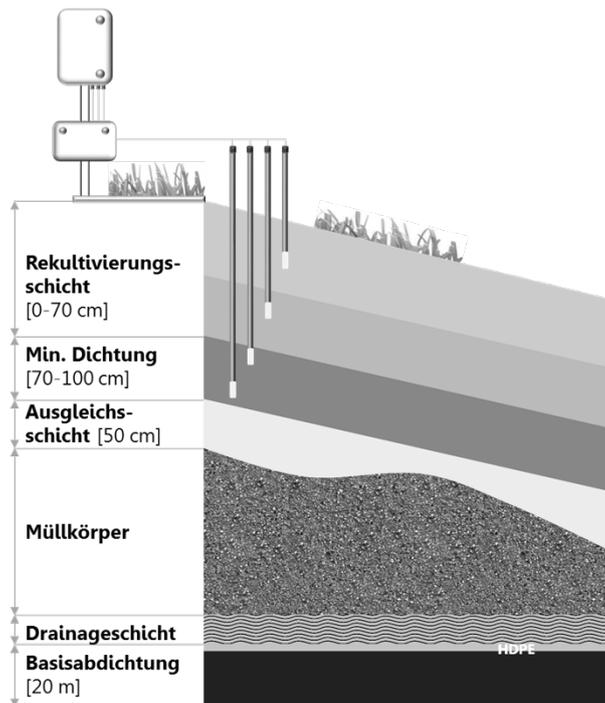


Abbildung 3: Schematischer Querschnitt durch die Deponie Rastorf mit den Messinstrumenten (u. a. Tensiometer) in den Schichten der temporären Abdeckung.

entwässert und bei 105°C im Trockenschrank getrocknet. Die Volumenänderung der mineralischen Substrate der mineralischen Dichtung wurde mittels Lasertriangulationsverfahrens [13] kontinuierlich für die beschriebenen Entwässerungsstufen bestimmt.

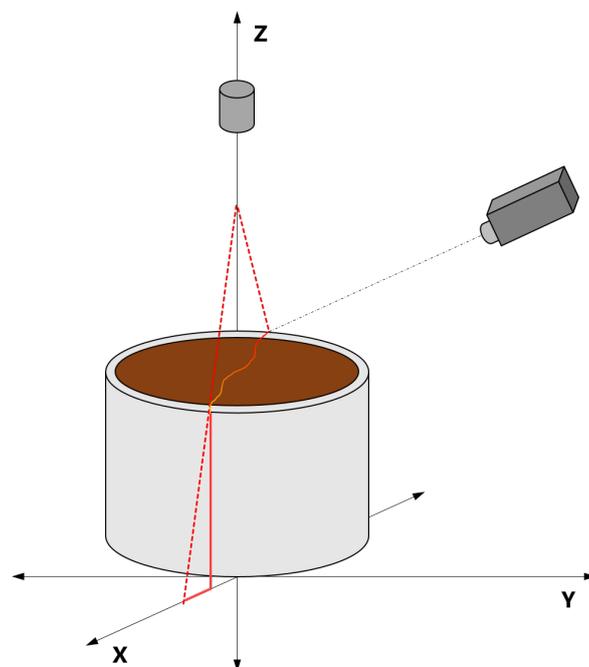


Abbildung 4: Bestimmung der Schrumpfrissbildung mittels Lasertriangulation (Soil LT, UGT GmbH).

Die Ursachen von Schrumpfrissen wird in der Durchwurzelung der mineralischen Dichtung

oder in einem periodischen Wasserentzug infolge von stärker negativeren Matrixpotenzialen in den angrenzenden Schichten gesehen [14, 6]. Dabei spielt die Unterschreitung eines kritischen Matrixpotenzials in der mineralischen Dichtung eine zentrale Rolle. Für Geschiebemergel werden in der Literatur Matrixpotenziale in der Größenordnung von -250 bis -500 hPa angegeben [4, 6].

3 Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der Laboruntersuchungen

Die Ergebnisse der Aufgrabungen Frühjahr 2015 zeigen, dass die Textur der einzelnen Schichten der Oberflächenabdeckung als mittel lehmiger Sand (SI3) zu klassifiziert ist. Darüber hinaus sind die Gesamtporenvolumina als sehr gering (< 36 Vol.-%), die Trockenrohddichte in der mineralischen Dichtung als sehr hoch ($\rho_t \geq 1,8$) und in der Rekultivierungsschicht als hoch ($\geq 1,6$ bis $< 1,8$) einzustufen (Tab. 1).

Tabelle 1: Kennwerte der Komponenten der Oberflächenabdeckung nach einer Aufgrabung in 2015 an einem repräsentativen Standort im BA II.

Tiefe [cm]	GPV [Vol.-%]	ρ_t [g/cm ³]	ρ_s [g/cm ³]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]
0–40	34	1,75	2,64	68	22	10
40–70	31	1,81	2,64	64	24	12
70–100	29	1,92	2,66	66	22	12

GPV: Gesamtporenvolumen, ρ_t : Trockenrohddichte, ρ_s : Kornrohddichte

Die tatsächliche Schrumpfrissemphindlichkeit wird in Abb. 5 durch die 3D-Visualisierung mittels Lasertriangulation verdeutlicht. Gegenüber dem quasi-aufgesättigten Zustand (Variante A) zeigt der verdichtete Geschiebemergel in der mineralischen Dichtung bei Matrixpotenzialen im Bereich zwischen -500 hPa ($p_F 2,5$) und -1000 hPa ($p_F 3$) in Form der Variante B eine Ausbildung von vertikal verlaufenden Schrumpfrissen an, weshalb im Feld auftretende Matrixpotenziale in einem Bereich von -500 hPa als bereits kritisch zu betrachten sind. Damit einher geht ein signifikanter Anstieg der hydraulischen Leitfähigkeit (kf-Wert), der die Rissbildung des Bodenmaterials ebenso verdeutlicht [15].

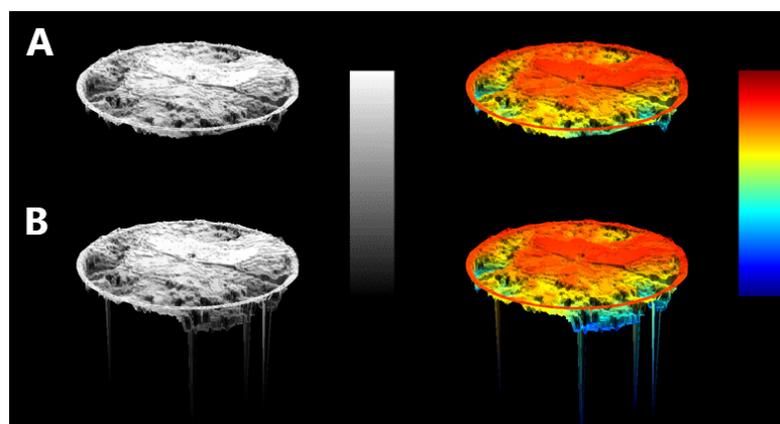


Abbildung 5: 3D-Visualisierung der Schrumpfrissbildung des Geschiebemergels der mineralischen Dichtung mittels Lasertriangulation im Grauton (links) und in Farbe (rechts). Variante A (aufgesättigt, Volumen: 100,43 cm³), Variante B (-500 bis -1000 hPa, Bodenvolumen: 95,7 cm³).

In Abb. 6 wird die potenzielle Volumenänderung des Geschiebemergels als Differenz des Bodenvolumens zwischen dem quasi-gesättigten und dem getrockneten Zustand beschrieben und kann mit 7–15 % quantifiziert werden, wobei der für die mineralische Dichtung kritische Bereich bei einer Volumenänderung von ca. 6–7 % einsetzt (Abb. 6).

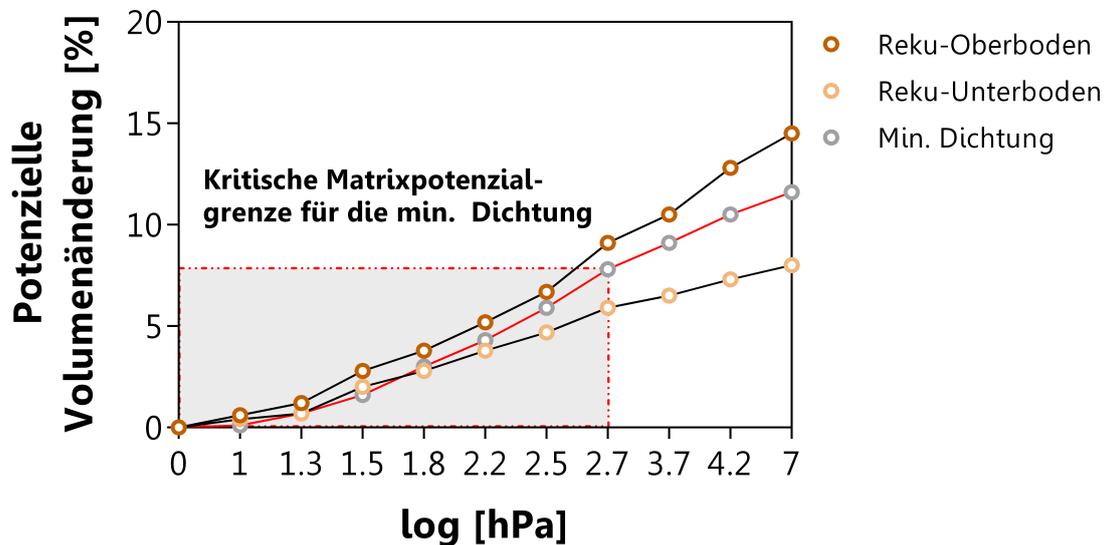


Abbildung 6: Potenzielle Volumenänderung des verwendeten Geschiebemergels bei Matrixpotenzialen von 0 hPa bis zum getrockneten Zustand ($pF -\infty$ bis 7 in log hPa).

3.2 Ergebnisse der in situ Felduntersuchungen

Im Hinblick auf die Bestimmung der Matrixpotenzialverläufe im Feld werden die Ergebnisse eines Messplatzes im Bauabschnitt II vorgestellt (Abb. 7). In den trockenen Sommermonaten von Juni–August in den hydrologischen Jahren 2013 und 2014 zeigten sich Messwerte zwischen < -200 bis -500 hPa im Oberboden (0–40 cm), im Unterboden der Rekultivierungsschicht (40–70 cm) wurden Matrixpotenziale zwischen -100 bis -250 hPa erreicht. In der mineralischen Dichtung (70–100 cm) wird mit Messwerten von max. -80 hPa die kritische Matrixpotenzialgrenze im Bereich von ca. -500 hPa zu keinem Zeitpunkt unterschritten (Abb. 7). Im eher feuchteren Zeitraum zwischen Herbst und Frühjahr eines Folgejahres entsprechen die gemessenen Matrixpotenziale im Oberboden max. der Feldkapazität (-60 hPa), wobei die Dichtschicht nahezu gesättigt ist (0 bis -10 hPa).

4 Diskussion und Zusammenfassung

Die im Jahr 2015 durchgeführten Aufgrabungen in den Bauabschnitten II–IV wiesen keine austrocknungsbedingten Schäden (Schrumpf- und Zugrisse) in der mineralischen Dichtung auf und folglich war deren Funktionsfähigkeit zum damaligen Zeitpunkt gewährleistet. Demgegenüber zeigen sich in den oberen 20 cm der Rekultivierungsschicht strukturebedingte Risse, die in der Regel nicht zu vermeiden sind und auf jahreszeitlich bedingte Schrumpfungs- und Quellungszyklen zurückzuführen sind [15]. Zugleich werden kritische Matrixpotenziale in der mineralischen Dichtung auch während der phasenweise trockenen Sommermonate (Juni–August) in 2013 und 2014 nicht ansatzweise unterschritten. Des Weiteren kann unter Berücksichtigung statistischer Unwägbarkeiten bereits eine Volumenänderung des Geschiebemergels in der mineralischen Dichtung von 5 % als bereits kritisch angesehen werden. Dementsprechend ist eine tiefreichende Austrocknung der mineralischen Dichtung unbedingt zu vermeiden,

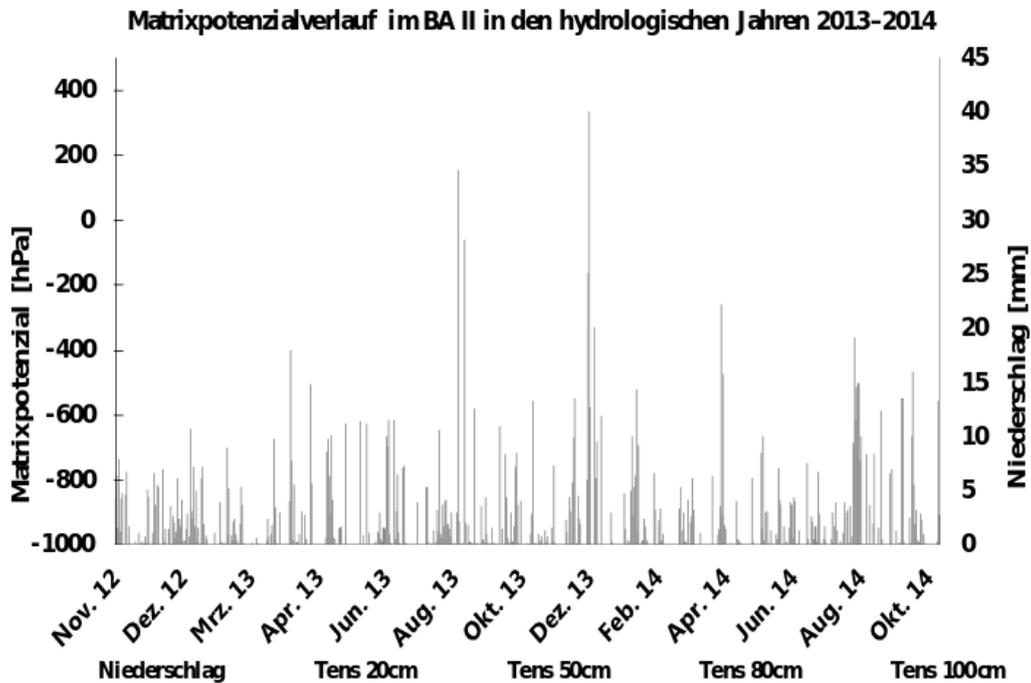


Abbildung 7: Niederschlagsverteilung (mm) und Verlauf der Matrixpotenziale (hPa) im Bauabschnitt II in den hydrologischen Jahren 2013 bis 2014.

um die an das Oberflächenabdeckungssystem gestellten Anforderungen langfristig erfüllen zu können.

Zusammenfassend betrachtet lassen sich kritische Schrumpfrisse in mineralischen Dichtelementen vermeiden, wenn die auftretenden Matrixpotenziale zum Zeitpunkt des Einbaus negativer bzw. der Wassergehalt kleiner ist als der jemals später folgende Austrocknungsgrad [5]. Gleichzeitig ist eine standortangepasste Bemessung der Rekultivierungsschicht notwendig, um eine Durchwurzelung sowie eine jahreszeitlich bedingte Austrocknung der mineralischen Dichtung zu unterbinden [4, 6]. Praktischerweise könnten die vorhandenen Drainagesysteme von Deponien zur Wiederbewässerung genutzt werden, wenn die Gefahr einer matrixpotenzialinduzierten Rissbildung in den Dichtelementen besteht.

Literaturverzeichnis

- [1] HEYER, K.-U. ; HUPE, K. ; STEGMANN, R.: *In situ Stabilisierung in der Stilllegungsphase zur Reduzierung der Deponienachsorge: Wasserinfiltration und Aerobisierung. High noon - Höchste Zeit zu handeln; Nur noch 1 Monat bis zur Deponiestilllegung. DAS IB, Kiel: 241–265. 2005*
- [2] ROWE, R.K.: *Systems engineering: the design and operation of municipal solid waste landfills to minimize contamination of groundwater. Geosynthetics International 18 (6): 391–404. 2011*
- [3] HOEPFNER, U. ; SCHNEIDER, P.: *Langzeitmonitoring von Abdeckungen an Wismut-Sanierungsstandorten. - in: Schoenherr, J., Baumert, R. & Müller, M. (Hrsg.): Deponie-workshop Zittau - Liberec 2006. Langzeitverhalten von Deponie-abdichtungen. Wissenschaftliche Berichte, Hochschule Zittau/Görlitz, Vol. 91: 113-122. 2006*
- [4] MELCHIOR, S.: *Wechselwirkungen zwischen mineralischen Komponenten von Oberflächenabdichtungssystemen. - in: Arbeitskreis Grundwasserschutz & Süddeutsches Kunststoffzentrum (Hrsg.): "Die sichere Deponie", Würzburg, 20 S. 2012*
- [5] HORN, R. ; JUNGE, T.: *Wege zur langfristigen sicheren Abdichtung von Mülldeponien mit mineralischen Dichtschichten. Abfallw. In Forschung und Praxis, Bd. 125: 167–182. 2002*
- [6] WITT, K.J. ; ZEH, R.M.: *Maßnahmen gegen Trockenrisse in mineralischen Abdichtungen. Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 81: 83–98. 2004*
- [7] WITT, K.J. ; ZEH, R.M.: *Crack due desiccation in cover lining systems. Phenomena and design strategy. International Workshop "Hydro-Physico-Mechanics of Landfills", Grenoble 21–22.03.2005. 2005*
- [8] DEP V 2009: *Verordnung über Deponien und Langzeitlager. Deponieverordnung vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900), die zuletzt durch Artikel 7 der Verordnung vom 2. Mai 2013 (BGBl. I S. 973) geändert worden ist*
- [9] BRÄCKER, W: *Abfallwirtschaftsfakten 17 - Temporäre Abdeckungen von Deponien; Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim. 2008*
- [10] HARTGE, K. H. ; HORN, R.: *Die physikalische Untersuchung von Böden. 4. Auflage, Schweizerbart, Stuttgart, Germany, S. 178. 2009*
- [11] AD-HOC-AG BODEN 2005: *Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Aufl., Hannover, 438 S. 2005*
- [12] VOGT, N. ; BIRLE, E. ; HEYER, D. ; ETZ, A.: *Entwicklung einer neuen Versuchstechnik zur Bestimmung der Grenze zwischen halbfestem und festem Boden. Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt). Heft S 80. 2013*

- [13] SEYFARTH, M. ; HOLDORF, J. ; PAGENKEMPER, S.K.: *Investigation of shrinkage induced changes in soil volume with laser scanning technique and automated soil volume determination – A new approach to analyze pore rigidity limits. Soil and Tillage Research 125: 105–108. 2012*
- [14] HENKEN-MELLIES, U. ; GARTUNG, E.: *Wirksamkeit einfacher Deponieoberflächenabdeckungen: Langzeituntersuchung an einem Versuchsfeld in Aurach. Müll und Abfall, Heft 1: 28–32. 2002*
- [15] BECK-BROICHSITTER, S. ; FLEIGE, H. ; HORN, R.: *Schrumpfrisssgefährdung einer temporären Oberflächenabdeckung aus Geschiebemergel. – in: Stegmann et al. (Hrsg.): Dokumentation der 10. Hamburger Abfallwirtschaftstage vom 27.-28. Januar 2016, Hamburger Berichte, Band 44. 2016*

