



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 \LaTeX .

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

**Využití stavebních materiálů pro
stavbu skládek**

**Verwendung von Baustoffen im
Deponiebau**

Možnosti alternativní izolace skládky pomocí sekundárních minerálních stavebních hmot v tuzemsku a v zahraničí

Möglichkeiten alternativer Deponieabdichtungen mit mineralischen Ersatzbaustoffen im In- und Ausland

Petra Schneider¹, Mario Müller, Mathias Schrickel², Anja Hebner, Kathrin Kopsielski³

Abstrakt

Předmětem připravovaného "Rámcového nařízení stanovujícího požadavky na odvádění látek do podzemní vody, používání sekundárních stavebních hmot a na zhodnocování půd a podobného materiálu" (Mantelverordnung zur Festlegung von Anforderungen für das Einbringen und das Einleiten von Stoffen in das Grundwasser, an den Einbau von Ersatzbaustoffen und für die Verwendung von Boden und bodenähnlichem Material), jehož platnost se předpokládá od roku 2016, jsou úpravy k práci se sekundárními minerálními stavebními hmotami.

Sekundární minerální stavební hmoty jsou "stavební hmoty z průmyslových výrobních procesů nebo úpravárenských zařízení (odpady, produkty), jako jsou například recyklované stavební hmoty (stavební suť), vytěžená zemina, strusky, popel, kolejový štěrk, které jsou používány namísto primárních stavebních hmot". Nařízením o sekundárních stavebních hmotách má být vytvořena pro celou Spolkovou republiku jednotná, právně závazná praxe pro používání sekundárních minerálních stavebních hmot v technických stavebních dílech. To se týká i možností aplikace na skládkách.

Za účelem sjednocení požadavků na materiály a parametry kvality, izolačního účinku, mechanické odolnosti, stability, proveditelnosti a způsobu a rozsahu doložení vhodnosti zpracovala a publikovala speciální skupina "Technika skládkování" pracovní skupiny spolkových zemí LAGA spolkové standardy kvality pro využívání sekundárních stavebních hmot na skládkách v Německu.

Ročně vznikne v Německu zhruba 240 milionů tun minerálních odpadů. Největší podíl vytěžené zeminy vzniká a je používán v rámci stavebních projektů nebo je používán v rámci vyplňování vytěžených prostor. Zatímco v minulosti, především před zveřejněním spolkových standardů kvality, byly sekundární minerální stavební hmoty používány pouze výjimečně, spočívá problém dnes spíše ve splnění požadavků. Nezávisle na tom je cílem uvedené Rámcové směrnice uzavřít oběh látek a umožnit lepší využití sekundárních minerálních stavebních hmot. Tyto požadavky se pojí s vysokou potřebou minerálního půdního materiálu pro zřizování systémů izolací skládek.

V rámci různých zkoušek sekundárních minerálních stavebních hmot byly sledovány možnosti jejich využití v konstrukcích skládek v tuzemsku i v zahraničí, shromážděny praktické zkušenosti z projektů výstavby skládek a možnosti využití sekundárních stavebních hmot na skládkách, uváděné v literatuře. Z takto shromážděných dat vyplývá, že požadavky na využití sekundárních minerálních stavebních hmot jsou v mezinárodním kontextu upraveny výrazně méně, nebo vůbec ne.

¹Hochschule Magdeburg-Stendal, Breitscheidstr. 2, 39114 Magdeburg, petra.schneider@hs-magdeburg.de

²společnost DBI-EWI GmbH Freiberg/Blankenburg, Halsbrücker Str. 34, D-09599 Freiberg; m.mueller@dbi-ewi.de ; m.schrickel@dbi-ewi.de

³společnost Vita34 AG, Geschäftsbereich Bioplanta Leipzig; Deutscher Platz 5a, D-04103 Leipzig, info@vita34.de

V zahraničí jsou s využitím sekundárních minerálních stavebních hmot také pouze malé zkušenosti. Těžiště výzkumu zde tvoří vodní režim a otázka, jak by bylo možno dosáhnout signifikantního snížení míry průsaku. Je však třeba upozornit na to, že podíl stavební suti, například ve Vietnamu, je v proudu odpadů dosud nízký. To je způsobeno tím, jak roste infrastruktura a skutečností, že dosud bylo realizováno pouze málo demoličních projektů. K recyklaci stavební suti v praxi dosud nedochází. Přesto představuje tento látkový proud v pražských zemích potenciální zdroj materiálu pro budoucí uzavírání skládek, především s ohledem na skutečnost, že skládky v těchto zemích mají obrovské dimenze.

Kurzfassung

Im Rahmen der geplanten Mantelverordnung zur Festlegung von Anforderungen für das Einbringen und das Einleiten von Stoffen in das Grundwasser, an den Einbau von Ersatzbaustoffen und für die Verwendung von Boden und bodenähnlichem Material sind Regelungen zum Umgang mit mineralischen Ersatzbaustoffen (MEB) vorgesehen. Ausgewählte MEB-Materialarten können im Fall der Einhaltung der qualitativen Materialanforderungen der Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards (BQS) auch als Deponieersatzbaustoff (DEBS) zum Einsatz kommen. Gemäß DepV sind als DEBS, außer für die Rekultivierungsschicht des Oberflächenabdichtungssystems, ausschließlich mineralische Abfälle zugelassen. Die Zuordnungskriterien und Zuordnungswerte sind in der DepV, Anhang 3, geregelt. Der Beitrag gibt einen Überblick über die Erfahrungen mit MEB im Inland. Die Ergebnisse der Recherchen zeigen auch, dass Anforderungen an den Einsatz von MEB im internationalen Kontext praktisch nicht geregelt sind. Bisher liegen im Ausland nur wenige Erfahrungen mit MEB vor. Den Schwerpunkt der Einsatzmöglichkeiten bildet die Reduzierung der Sickerwasserrate. Ergebnisse eines halbertechnischen Versuchs zum Einsatz von Bauschutt in der Wasserhaushaltsschicht für die Deponie Gò Cát in Ho Chi Minh City, Vietnam zeigen bisher positive Ergebnisse.

1 Einleitung

Ein Gegenstand der geplanten Mantelverordnung zur Festlegung von Anforderungen für das Einbringen und das Einleiten von Stoffen in das Grundwasser, an den Einbau von Ersatzbaustoffen und für die Verwendung von Boden und bodenähnlichem Material“ (aktueller Stand: 3. Arbeitsentwurf vom 23.07.2015, Inkrafttreten für 2017 geplant) sind Regelungen zum Umgang mit mineralischen Ersatzbaustoffen (MEB). MEB sind „anstelle von Primärrohstoffen verwendete Baustoffe aus industriellen Herstellungsprozessen oder aus Aufbereitungs-/ Behandlungsanlagen (Abfälle, Produkte) wie z. B. Recyclingbaustoffe (Bauschutt), Bodenmaterial, Schlacken, Aschen, Gleisschotter“. Mit der Ersatzbaustoffverordnung soll eine bundeseinheitliche, rechtsverbindliche Vollzugspraxis für die Verwendung von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken geschaffen werden. Dies betrifft auch die Einsatzmöglichkeiten in Deponiebauwerken. Gemäß DepV sind als Deponieersatzbaustoff (DEBS), außer für die Rekultivierungsschicht des Oberflächenabdichtungssystems, ausschließlich mineralische Abfälle zugelassen. Die Zuordnungskriterien und Zuordnungswerte sind in der DepV, Anhang 3, geregelt. Um die grundsätzlichen Materialanforderungen sowie die Anforderungen an die Qualitätsmerkmale Abdichtungswirkung, mechanische Widerstandsfähigkeit, Beständigkeit, Herstellbarkeit sowie Art und Umfang von Eignungsnachweisen zu vereinheitlichen, wurden von der LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“ folgende Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards (BQS) für den Einsatz von MEB in Deutschland ausgearbeitet und durch die LAGA veröffentlicht:

- BQS 2-3 „Mineralische Basisabdichtungskomponenten aus Deponieersatzbaustoffen“ vom 04.12.2014 (in Verbindung mit BQS 2-0)
- BQS 3-2 „Mineralische Entwässerungsschichten in Basisabdichtungssystemen aus nicht natürlichen Baustoffen“ vom 04.12.2014

- BQS 4-1 „Trag- und Ausgleichschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen“ vom 04.12.2014
- BQS 5-3 „Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten aus Deponieersatzbaustoffen“ vom 04.12.2014 (in Verbindung mit BQS 5-0_2010)
- BQS 6-2 „Mineralische Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen aus nicht natürlichen Baustoffen“ vom 04.12.2014.

Jährlich fallen in Deutschland rund 240 Millionen Tonnen mineralischer Abfälle und industrieller Nebenprodukte an [1], die zu mehr als 90 Prozent verwertet werden. Dies entspricht etwa 60 % der Gesamtabfallmenge von 350 Mio. t/a. Von den mineralischen Abfällen sind ca. 140 Mio. t Boden und Steine, ca. 73 Mio. t Bauabfall und Straßenaufbruch, ca. 15 Mio. t Aschen und Schlacken aus Kraftwerken und anderen Verbrennungsprozessen, ca. 7 Mio. t Hochofenschlacke sowie ca. 6 Mio. t Stahlwerksschlacke [1]. Der größte Anteil des Bodenmaterials wird im Rahmen von Baumaßnahmen umgelagert und verwendet oder bei Verfüllungsmaßnahmen eingesetzt. Während der Einsatz von MEB in der Vergangenheit, insbesondere vor Veröffentlichung der BQS, wegen mangelnder praktischer Erfahrungen mit der Eignung der Materialien nur ausnahmsweise stattfand, liegt heute das Problem eher in der Erreichung der Anforderungen. Unabhängig davon besteht das Ziel der Mantelverordnung darin, Stoffkreisläufe zu schließen und die Ressource MEB als Baustoff besser zu erschließen. Diese Anforderung verzahnt sich mit dem hohen Bedarf an mineralischem Bodenmaterial, welches für den Bau von Deponieabdichtungssystemen benötigt wird.

2 Einsatzmöglichkeiten von MEB im Deponiebau

2.1 Generelle Übersicht

Im Rahmen verschiedener Untersuchungen zu MEB wurden deren Einsatzmöglichkeiten für Deponiebauwerke im In- und Ausland betrachtet, praktische Erfahrungen aus Deponiebauprojekten zusammengetragen und die Einsatzmöglichkeiten von DEBS aus der Literatur zusammengeführt. Im Beitrag werden folgende Ergebnisse vorgestellt:

1. Übersicht über Fallstudien aus der Literatur zum Einsatz von MEB als Ersatzbaustoff,
2. Untersuchungen zum Einsatz von MEB im Inland: Ergebnisse aus Deponiebauprojekten zum Einsatz technogener Substrate (Schlacken, Ziegelbruch, Erdaushub) in Deponieabdichtungen,
3. Untersuchungen zum Einsatz von MEB auf Deponien im Ausland: Ergebnisse des halbertechnischen Versuchs zum Einsatz von Recyclingmaterial in der Wasserhaushaltsschicht (Fallbeispiel Deponie Gò Cát in Ho Chi Minh City, Vietnam).

2.2 Übersicht über Fallstudien aus der Literatur

Im Rahmen der Literaturzusammenstellung wurden entsprechende Veröffentlichungen zu Einsatzmöglichkeiten von mineralischen Ersatzbaustoffen im Deponiebereich recherchiert. Die Fallstudien sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Wie die Ergebnisse zeigen, wurden in den letzten 15 Jahren eine Reihe von Erfahrungen mit Ersatzbaustoffen gesammelt, die zu einem besseren Verständnis der Einsatzmöglichkeiten für Ersatzbaustoffe geführt haben.

Tabelle 1: Fallstudien aus der Literatur zur Anwendung von Deponieersatzbaustoffen.

Zitat	Genutztes Material	Bemerkungen
Pfeiffer & Fremgen (2010) [2]	aufbereitete Hausmüllverbrennungsschlacke (HMV-Schlacke) mit definierten Anteilen natürlicher Tonminerale	Anwendung auf der Deponie Eichelbuck als alternative Dichtungsschicht: Ausnutzung bautechnischer Vorteile bei Hangneigungen bis 1:2,3, die für einen stabilen Untergrund für eine Asphaltabdichtung sorgen.
Pöttsch & Busch (2001) [3]	Gemisch aus Friedländer Blähtonmehl, Bentonit (Montigel F), Flugstaub und Ziegelbruch-Brechsand 0-4 mm bzw. 0-8 mm	Lysimeter mit einer Fläche von 3,14 m ² in Brandenburg, zur Anwendung auf Abfalldeponien mit geringem Gefährdungspotential
Zingk (2011) [4]	Wirbelschichtfeuerungsaschen (WSFA) sowie Entschwefelungsrückstände aus dem quasitrockenen Sprühabsorptions-Verfahren (SAV-Produkte)	Es wurde ein Behandlungsverfahren speziell für Kesselaschen aus Hausmüllverbrennungsanlagen entwickelt, sowie ein patentierter Baustoff mit dem Markennamen Kalkond [®] . Bereits 400.000 t Kraftwerksrückstände auf Deponiebaustellen verwertet.
Asmus (2010) [5]	Beispiel 1: Einsatz von MV-Asche als Auflager für eine Basisabdichtung einer DK II-Deponie Beispiel 2: Einsatz von kalkstabilisiertem Rot-schlamm in einer technischen Barriere	Durch MV-Asche konnte eine stabile Pufferschicht auf setzungsgefährdeten Ablagerungen erzeugt werden, die mit der Dichtung überbaut werden kann. Geeignet für die Herstellung eines regelgerechten und verordnungskonformen Unterbaus (Teil der technischen Barriere)
Pfeiffer & Gäth (2005) [6]	Klassierter Recyclingbauschutt zum Einsatz in einer Kapillarsperre	Für die Untersuchung der lateralen Dränkapazität wurden in Kipprinnenversuchen drei verschiedene Kapillarsperrenmaterialkombinationen getestet. Die Materialkombination mit Natursand und einem Kapillarblock aus Bauschutt erwies sich im Labormaßstab als konkurrenzfähig mit reinen Naturmaterialien.
Asmus (2008) [7]	Schmelzkammergranulat (SKG) und Gießereialsande zum Einsatz in einer Kapillarsperre	Beim SKG wurden deutlich geringere laterale Dränkapazitäten als beim Kies gleicher Sieblinie (0/5) ermittelt. Bei Gießereialsanden fand kein lateraler Abfluss in der Kapillarschicht statt. Schon bei geringsten Wassermengen wurden Durchbrüche in den Kapillarblock verzeichnet.
Krieter (2005) [8]	Oberflächenabdichtung aus einer Mischung von Klärschlamm, Wasserglas, MVA-Schlacke (Rostschlacke) und Boden, z.B. mit dem Bickhardt DOM [®] -Verfahren	Preisgünstiges Material für die Herstellung der temporären Abdichtung auf der Deponie „Kirschenplantage“ im Landkreis Kassel. Im Klärschlamm erhöhte Konzentrationen an Kupfer und Zink mit Überschreitung der Grenzwerte der DepVerwV.
Düser (1999) [9]	Mischung aus mineralischem Dichtungsmaterial & Recyclingbauschutt	Vergütung von nicht sortenreinem bzw. mit Fremdstoffen vermischem sowie feinkörnigem Recyclingmaterial zur Verringerung der Wasserdurchlässigkeit. Als feinkörnige Materialien für die Vergütungsmaßnahmen wurden wenig quellfähige Tone und die Feinfraktion aus der Vorabsiebung verwendet.

Schulz & Schmid, (2002) [10]	Tonmehl, Bentonit und teerhaltiger Straßenaufbruch (TSA)	Gemischtkörnige dreilagige Abdichtung unter Verwertung von teerhaltigem Straßenaufbruch (Aufbruchmaterial beim Rückbau und der Erneuerung von Straßen), Einbau nach dem Fullerprinzip. Obwohl die geotechnischen Eigenschaften akzeptabel waren, erwiesen sich die PAK-Konzentrationen als für eine weitere Anwendung zu hoch.
Gröngroft et al. (2005) [11]	Hafenschlick - Baggergut	Feldversuche des Instituts für Bodenkunde an der Universität Hamburg im Zeitraum 1995 – 1999 mit dem Ziel der Nutzung des Materials als mineralisches Oberflächenabdichtungssystem auf einer Schlickdeponie. Die Dichtung erwies sich über den Untersuchungszeitraum von 8 Jahren als sehr gering durchlässig, ist jedoch anfällig für Austrocknungsprozesse, was eine ausreichende Überdeckung der Schicht aus Hafenschlick und Baggergut erfordert.
Lünig & Lüneburg (2005) [12]	Bodenaushub und RC-Materialien	Anwendung in einer temporären Oberflächenabdichtung auf der Deponie Salzgitter-Diebesstieg, bei Elementen der Gasdrainage und Ausgleichsschicht und der Rekultivierungsschicht erfolgreich eingebaut.
Heindl et. al. (2005) [13]	Eisenhüttenschlacken (Elektroofenschlacken, OBM-Schlacken, Hüttensande, Hochofenstückschlacken)	Es wurden Laborversuche zur Eignungsuntersuchung durchgeführt. Ergebnisse: Elektroofenschlacken, OBM-Schlacken: Einsatz unter einer wasserundurchlässigen Deckschicht, Hüttensande: Fluorid-Konzentrationen limitieren die Einsatzfähigkeit, Hochofenstückschlacken: Verwertung unter bestimmten Bedingungen möglich
ICP Ingenieurgesellschaft Prof. Czurda und Partner mbH (2013) [14]	Elektroofenschlacke	Durchführung von Versuchen mit Zeitraffereffekten zum Nachweis der chemischen und physikalischen Beständigkeit gemäß BQS 3-2 auf der Deponie Schwaiganger, südliche Erweiterung – Einsatz von Elektroofenschlacke als Dränagematerial in der Entwässerungsschicht. Nutzung von 8 Prüfflüssigkeiten um den Einfluss eines Modell-Sickerwassers bei oxidierenden und reduzierenden Bedingungen und pH-Werten zwischen 4 und 13, einer elektrischen Leitfähigkeit bis 20.000 μ S/cm und einem DOC bis 5.000 mg/l zu prüfen. Nur für aggressive organische Säuren konnten 100 Jahre Funktionsdauer nicht bestätigt werden.
Max Aicher Umwelt GmbH (2015) [15]	EloMinit®, Nebenprodukt der Stahlherstellung, das durch die gezielte Zugabe von Schlackenbildnern eine gesteinsartige Struktur hat	Im Zeitraum 2010 bis 2014 Einsatz als Entwässerungsschicht, Gasdränschicht und/oder Ausgleichsschicht in folgenden Deponien: Schwaiganger (Ohlstadt), München Nord, Sindelfingen, Schönsee, Asbach, Malgersdorf, Spitzlberg (Ergolding).
Hargelius, K. (2012) [16]	Asche aus der Verbrennung von Zellulosefasern	Eignungsfeststellung für die Abdichtung von Industrieponien nach dem Test in Lysimetern über einen Zeitraum von 18 Monaten in Schweden.
Andreas et. al. (2005) [17], Hermann et. al. (2010) [18]	Hochofenschlacke aus der Stahlproduktion	Im Labor und im Feld in Schweden getestet. Ergebnisse zeigten, dass die Schlacke in allen Schichten des Abdecksystems, ausgenommen der Rekultivierungsschicht, anwendbar ist.

Im Ausland existiert bisher die Begrifflichkeit des Ersatzbaustoffes nicht, allerdings gibt es eine Reihe von Anwendungen in Testfeldern und auch in der praktischen Umsetzung mit so-

genannten alternativen Deponiebaustoffen. Auch eine den BQS vergleichbare Regelung der Anforderungen an die Qualität von alternativen Deponiebaustoffen existiert nicht. Unabhängig davon fallen auch im Ausland große Mengen mineralischer Reststoffe an, die die deutsche Definition eines MEB erfüllen. Im Bereich der Europäischen Union (EU) handelt es sich hierbei insbesondere um Bauschutt und mineralische Bauabfälle, einen der in der EU erzeugten Abfallströme mit dem größten Volumen. Auf diese Materialien entfallen etwa 25 - 30% aller Abfälle, die in der EU erzeugt werden. Während in Deutschland über 90 % der mineralischen Bauabfälle umweltverträglich verwertet werden, beträgt der Durchschnitt der Recyclingquote in der EU nur 47 % [19], wobei es nach wie vor Länder mit Recyclingquoten für Bauschutt und mineralische Bauabfälle ≥ 10 % gibt. Gemäß den Anforderungen zur Recyclingquoten der Abfallrahmenrichtlinie soll der Prozentsatz bis 2020 auf 70 % gesteigert werden.

Völlig anders sieht die Situation in Schwellenländern wie beispielsweise Vietnam aus, wo es bisher nur sehr geringe Mengen an Bauschutt und mineralischen Bauabfällen gibt [20], da diese Länder noch am Anfang des gesellschaftlichen Entwicklungsprozesses und dem Aufbau der Infrastruktur stehen. Wenn sich diese Entwicklung auf einem entsprechenden Niveau stabilisiert hat, dann sind aber auch in diesen Ländern signifikante Stoffströme mineralischer Reststoffe, einschließlich von Bauschutt und mineralischen Bauabfällen zu erwarten. Vor diesem Hintergrund, und unter Berücksichtigung des Faktes, dass in naher Zukunft auch in Schwellenländern die bereits in Betrieb befindlichen Deponien geschlossen werden müssen [21], wurden Untersuchungen zum möglichen Einsatz von Bauschutt und mineralischen Bauabfällen als alternative Baustoffe für Deponieabdichtungen konzipiert. Unter Berücksichtigung der gesammelten Erfahrungen und der Auswertung der Literaturstudie wurden die Ansätze von Pötzsch & Busch (2001) [3] aufgegriffen und wasserhaushaltliche Untersuchungen zur Eignung von Ziegelbruch unter den klimatischen Bedingungen Südostasiens durchgeführt (vgl. Kapitel 2.4 [22]).

2.3 Erfahrungen beim Einsatz von MEB im Inland

Wie die Literaturlauswertung zeigt, liegen viele Untersuchungen zum Einsatz von DEBS für die verschiedenen Anwendungszwecke bereits einige Jahre zurück. Dies hängt mit einer hinreichenden Wahrscheinlichkeit auch damit zusammen, dass zwischenzeitlich teils neue, teils aktualisierte Qualitätsanforderungen an DEBS durch die Länderarbeitsgemeinschaft Abfall LA-GA veröffentlicht wurden. Erfahrungen im Bodenschutzvollzug haben außerdem gezeigt, dass die geltenden bodenschutzrechtlichen Vorsorgeanforderungen in § 9, 10 und 12 BBodSchV zum Auf- und Einbringen von Materialien für den Anwendungsbereich unterhalb oder außerhalb einer durchwurzelbaren Bodenschicht nicht ausreichend konkret sind. Dieser Situation wird im aktuellen Arbeitsentwurf zur Mantelverordnung vom 23.07.2015 Rechnung getragen, und ist einer der Gründe, warum die BBodSchV im neuen gesetzlichen Rahmenwerk grundlegend überarbeitet wird.

Die aktuellen technischen Anforderungen an MEB in den BQS lauten wie folgt:

- **BQS 2-3 (Basisabdichtung):** Anforderungen an die Leistungsfähigkeit bzgl. Abdichtungswirkung und mechanischer Widerstandsfähigkeit; Beständigkeit gegenüber infiltriertem Niederschlagswasser und Sickerwasser, biologischen Einwirkungen, Temperaturen, Witterung, Wassergehaltsänderungen und Gasen.
- **BQS 3-2 (Entwässerungsschichten):** Einhaltung der Anforderungen der DepV sowie der GDA-Empfehlungen E 2-14 „Basis-Entwässerung von Deponien“, E 3-12 „Eignungsprüfung mineralischer Entwässerungsschichten“, E 4-2 „Herstellung von mineralischen Entwässerungs- und Schutzschichten“ und E 5-6 „Qualitätsüberwachung bei mineralischen Entwässerungsschichten“ im Zusammenhang mit GDA-Empfehlung E 5-1 „Grundsätze des Qualitätsmanagements“. Weiterhin ist geregelt, dass die für die Baumaßnahme erforderliche Menge MEB und die Bandbreite ihrer Eigenschaften vor Ausführung festzulegen sind. Die Funktionserfüllung der Entwässerungsschicht muss unter allen äußeren

und gegenseitigen Einwirkungen für einen Zeitraum von mindestens 100 Jahren nachgewiesen werden. Außerdem besteht die Forderung nach dem Nachweis der prinzipiell gleichbleibenden Zusammensetzung des Baustoffes.

- **BQS 4-1 (Trag- und Ausgleichschichten):** konkretisiert die Materialanforderungen der DepV bzgl. der Kennwerte Verformbarkeit, Standsicherheit und Tragfähigkeit, Körnungslinie und Kornform, mechanische Widerstandsfähigkeit sowie Beständigkeit gegenüber physikalischen und chemischen Einwirkungen, Temperaturen, Sickerwasser und alterungsbedingten nachteiligen Materialveränderungen, wobei die Forderung des Nachweises der Beständigkeit gegenüber Gasen nur grob als „Durchströmungsversuch“ beschrieben wird, ohne diesen zu spezifizieren.
- **BQS 5-3 (Oberflächenabdichtungskomponenten):** Anforderungen an die mechanische Widerstandsfähigkeit bzgl. Standsicherheit, Verformungssicherheit und hydraulischer Widerstandsfähigkeit sowie Beständigkeit gegenüber infiltriertem Niederschlagswasser, Mikroorganismen und Pilzen, Pflanzen, Tieren, Temperaturen, Witterung, Wassergehaltsänderungen und Gasen.
- **BQS 6-2 (Entwässerungsschichten):** Einhaltung der Anforderungen der DepV sowie der GDA-Empfehlungen E 2-20 „Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen“, E 3-12 „Eignungsprüfung mineralischer Entwässerungsschichten“, E 4-2 „Herstellung von mineralischen Entwässerungs- und Schutzschichten“ und E 5-6 „Qualitätsüberwachung bei mineralischen Entwässerungsschichten“ im Zusammenhang mit GDA-Empfehlung E 5-1 „Grundsätze des Qualitätsmanagements“. Weiterhin ist auch für die Entwässerungsschichten geregelt, dass die für die Baumaßnahme erforderliche Menge MEB und die Bandbreite ihrer Eigenschaften vor Ausführung festzulegen sind. Die Funktionserfüllung der Entwässerungsschicht muss unter allen äußeren und gegenseitigen Einwirkungen für einen Zeitraum von mindestens 100 Jahren nachgewiesen werden. Außerdem besteht die Forderung nach dem Nachweis der prinzipiell gleichbleibenden Zusammensetzung des Baustoffes.

Eigene praktische Erfahrungen mit mineralischen Ersatzbaustoffen zum Einsatz in Deponeibau zeigen, dass der Ermessensspielraum bei der Genehmigung in unterschiedlichem Umfang ausgeschöpft wird. Ein typischer Fall war der optionale Einsatz metallurgischer Schlacke in der gasgängigen Trag- und Ausgleichsschicht, welcher aus Sicht der Fremdprüfung nicht zugestimmt werden konnte. Ursache hierfür war, dass eine Beeinflussung der darüber liegenden Dichtungskomponenten auf Basis potenzieller gasförmiger Stofftransporte (aus der Reaktion mit Deponiegas) aus der gasgängigen Trag- und Ausgleichsschicht über die (nicht konvektionsdichte) Auflagerschicht für die darüber liegenden Dichtungskomponenten nicht ausgeschlossen werden konnte. Ein Grund für diese Unsicherheit ist, dass es bisher keine konkrete fachlich-technische Untersetzung in den BQS gibt, wie ein Versuch zum Nachweis der Gasbeständigkeit (gemäß BQS 4-1) durchzuführen wäre. Außerdem fehlen entsprechende Bezugswerte für die Versuchsauswertung, d.h. ab wann ein Material als gasbeständig zu bewerten ist.

Prinzipiell könnte einem Einsatz des Materials zugestimmt werden, wenn ausreichend lange Erfahrungen mit dem MEB vorliegen und eine gleichbleibende Zusammensetzung (und damit Qualität) gewährleistet ist. Dies ist allerdings selten der Fall. Hinzu kommt, dass Materialien wie beispielsweise Gleisschotter oft mit organischen Schadstoffen oder gar Pestiziden belastet sind. Neben der Sicherstellung der prinzipiell gleichbleibenden Zusammensetzung des DEBS und der Einhaltung der Grenzwerte für die stofflichen Parameter stellt aber auch die Einhaltung der Anforderungen an die Frostbeständigkeit bei einigen Materialien ein Ausschlusskriterium dar. Anforderungen an die Frostschutzklasse 1 können beispielsweise oftmals nicht eingehalten werden, wenn ein hoher Anteil an Ziegelbruch im MEB vorliegt. Prinzipiell gibt es aber Anwendungsfälle, in denen Bauschutt in der gasgängigen Trag- und Ausgleichsschicht zur Anwendung kam, sowie Glasbruch in der mineralischen Entwässerungsschicht.

Generell kommen DEBS aus verschiedenen Gründen im Wesentlichen in der Oberflächenabdichtung zur Anwendung, unter anderem weil ein Nachweis der Sickerwasserbeständigkeit in der Schutz- oder Entwässerungsschicht der Basisabdichtung über einen Zeitraum von 100 Jahren kaum zu führen ist. Wenig problematisch ist der Einsatz von MEB im Deponiebereich erfahrungsgemäß in technischen Funktionsschichten, insbesondere im Deponiewegebau. Für MEB aus Gebäuderückbaumaßnahmen stellt die Sicherstellung der prinzipiell gleichbleibenden Zusammensetzung des DEBS vor dem Hintergrund der Anforderungen der BQS prinzipiell eine Schwierigkeit dar, da diese Materialien selten einen homogenen Stoffstrom bilden. Unabhängig davon nimmt auch oft der Bauherr von einem potenziellen MEB-Einsatz Abstand, um die Anforderungen im Genehmigungsverfahren und den entsprechenden Nachweisaufwand in vorhersehbarem Rahmen zu halten.

2.4 Untersuchungen zum Einsatz von MEB auf Deponien im Ausland: RC-Material in der Wasserhaushaltsschicht - Fallbeispiel Deponie Gò Cát in Ho Chi Minh City, Vietnam

Im Folgenden werden erste Ergebnisse der Untersuchungen zum Einsatz von MEB unter den simulierten Bedingungen einer Deponie in Südostasien vorgestellt. Die Deponie Gò Cát im Westen der Stadt Ho Chi Minh City (HCMC) ist Untersuchungsgegenstand im BMBF-Forschungsprojekt „SAFEUSE - Erarbeitung von Handlungsoptionen und eines dringlichkeitsangepassten Maßnahme-Konzeptes für die weitere Sicherung und Bewirtschaftung des Deponiestandortes Gò Cát in Ho Chi Minh City, Vietnam“ [22]. Die Deponie Gò Cát hat eine Fläche von 17,5 ha. Sie wurde mit einer Basisabdichtung nach internationalen technischen Standards errichtet und im Zeitraum 2001 bis 2007 betrieben. Die Deponie besteht aus fünf Ablagerungsbereichen (je 3,5 ha), die nacheinander errichtet wurden und von denen im Rahmen der Oberflächenabdichtung nach der Deponiestillegung im Jahr 2007 nur zwei Ablagerungsbereiche gegen Niederschlagseintrag zu ca. 50% mit einer Kunststoffdichtungsbahn abgedeckt wurden. Die durchschnittlich täglich anfallenden Sickerwassermengen betragen in der Trockenzeit ca. 300 – 400 m³/d und in der Regenzeit ca. 2.000 – 2.500 m³/d.

Im Zuge der Entwicklung eines alternativen Abdeckungssystems für die Deponie Gò Cát in HCMC wurde nach alternativen Materialien für eine Abdichtung recherchiert, als Ersatz für eine Geomembran, deren Kosten, v.a. für die Installation sehr hoch sein können. Bei der Recherche nach geeigneten Materialien wurden Abdichtungen aus Asche, Schlacke, Baggertgut und RC-Material evaluiert. Im Ergebnis wurde für die praktische Erprobung eines alternativen Abdichtungssystems in einem halbtechnischen Versuch RC-Material aus Ziegelbruch gewählt. Das Material ist ubiquitär verfügbar, da Ziegelbruch als Abfallprodukt in der Industrie einen geringen Verwertungsgrad besitzt. Gebrannter Ziegel besteht aus Sanden und Tonen, die thermisch verändert wurden und deren Verwitterungsprodukte wieder aus Sanden und quellfähigen Tonen bestehen. Die Tonminerale gewährleisten eine dichtende Wirkung.

Für die alternative Abdichtung wurden 83 % Ziegelmehl mit jeweils 7 % Tonmehl und 7 % Bentonit vermischt, um den Anteil quellfähiger Tonminerale zu erhöhen. Zum Abmagern wurde 3 % Fein-/Mittelsand zugegeben. Das Mischungsverhältnis orientierte sich an den Untersuchungen von Pöttsch & Busch (2001) [3], die bereits RC-Material als alternative Abdichtung von Deponien untersuchten. Im Technikumsversuch wurden zwei Testsysteme im Maßstab 1:100, bestehend aus Kunststoffwannen, mit einer Grundfläche von je einem Quadratmeter errichtet. Die Schichtsequenzen beider Systeme sind in Tabelle 2 dargestellt. Das Testsystem mit HDPE-Folie (Variante 1) diente als Kontrolle zu dem mit RC-Material hergestellten Testsystem (Variante 2). Beide Testsysteme wurden nach deren Fertigstellung kontinuierlich über einen Zeitraum von 20 Tagen mit insgesamt 70 L Wasser bewässert bzw. gesättigt. Vom Tag 16 – Tag 20 wurde der Austritt von Wasser unterhalb der alternativen Abdichtung dokumentiert. In der Folge wurde die alternative Abdichtung ausgebaut und verbessert. Beim Ausbau wurde fest-

gestellt, dass das RC-Material nach der Bewässerung nahezu keine bindigen und quellfähigen Eigenschaften aufwies. Für die alternative Abdichtung wurde die Bodenart schwach schluffiger Sand bestimmt.

Tabelle 2: Schichtensequenz und -dimensionierung zur Testung alternativer Abdichtung.

Schichtenaufbau	Mächtigkeit [cm]
Ansaat von Vegetation (Gras) (Anforderung: geringe Durchwurzelung, bzgl. Bodenwasserhaushalt: Vermeidung von Austrocknung oder Wasserüberschuss)	-
Mutterboden	3,0
Fein- bis Mittelsand, in Lagen unverdichtet einzubauen	5,0
Kies (2/4)	3,0
Variante 1: HDPE-Folie	0,25 mm
Variante 2: alternative Abdichtung aus Recyclingmaterial	8,0

Das ausgebaute, getrocknete Material wurde nachfolgend mit Tonmehl verbessert, um die Bindigkeit des Substrates zu erhöhen. Dazu wurden im Vorfeld Materialproben mit folgenden Mischungsverhältnissen untersucht:

- Probe 1: 100 g Recyclingmaterial, 25 g Tonmehl, 20 ml Leitungswasser,
- Probe 2: 100 g Recyclingmaterial, 40 g Tonmehl, 30 ml Leitungswasser,
- Probe 3: 100 g Recyclingmaterial, 65 g Tonmehl, 40 ml Leitungswasser,
- Probe 4: 100 g Recyclingmaterial, 100 g Tonmehl, 50 ml Leitungswasser.

Je Mischungsverhältnis wurde eine Materialprobe in ein Gefäß gegeben, die in der Mitte mit einer Vertiefung von ca. 2 cm versehen wurde. In diese wurde eine definierte Menge Wasser zugegeben. Die Gefäße wurden luftdicht verschlossen und dunkel gelagert, um die Verdunstung zu minimieren. Nach 5 Tagen wurde das Volumen des Wassers in der Vertiefung der Probe ermittelt.

Für Variante 3 und 4 wurde nahezu keine Veränderung des Wasservolumens dokumentiert, sodass darauf geschlossen wurde, dass kein Wasser das Material durchsickert hat. Für beide Varianten wurde mittels Fingerprobe und gemäß DIN 19682-2 (Bodenbeschaffenheit - Felduntersuchungen - Teil 2: Bestimmung der Bodenart) die Bodenart bestimmt. Im Ergebnis wurde für Variante 3 die Bodenart schwach sandiger bis sandiger Ton und für Variante 4 sehr schwach sandiger Ton ermittelt. Aufgrund der geringeren Sandfraktion wurde der Variante 4 der Vorzug für die Untersuchung als verbesserte Abdichtungsschicht im Technikumsversuch erteilt. Das Mischungsverhältnis der verbesserten Abdichtung bestand demzufolge aus 42 % Ziegelmehl, 1 % Fein- bis Mittelsand, 53 % Tonmehl und 3 % Bentonit. Aufgrund der geringen Verfügbarkeit von Bentonit in Vietnam wurde entschieden, den Anteil an quellfähigen Tonmineralen nur durch die Zugabe von Tonmehl zu erhöhen. In Abbildung 1 sind die fertiggestellten Testsysteme im Gewächshaus der Vita 34 dargestellt. Beide Systeme wurden nach dem Einbau der verbesserten Abdichtung, entsprechend den tatsächlichen Niederschlägen der Monate Mai bis Dezember 2000 in HCMC, beaufschlagt. Aus einer statistischen Auswertung der Klimadaten von Ho Chi Minh City von 1998 bis 2003 geht hervor, dass die Monsunperiode im Jahr 2000 die mit den höchsten Niederschlägen darstellt.



Abbildung 1: Testsysteme zur Untersuchung alternativer Abdichtungssysteme (links Kontrollsystem, rechts Testsystem mit alternativer Abdichtung)

Die Simulation des Niederschlags der Testsysteme erfolgte mittels eines automatischen Bewässerungssystems im taggenau. Es erfolgte eine fortlaufende Dokumentation der Wassermengen, die unterhalb der Abdichtung beider Testsysteme und aus der Drainageschicht oberhalb der Abdichtung abgeleitet wurden. Die in Abbildung 1 dargestellten Auffangbehälter wurden im Verlauf des Versuches durch größere Auffangbehälter am Ablauf der Drainage ersetzt, um die hohen Niederschlagsmengen fassen zu können.

Die hohen Temperaturen im Gewächshaus (Mittlere Tageshöchstwerte in den Sommermonaten: 30,9°C) und die hohe Luftfeuchte gewährleisteten vergleichbare Bedingungen wie in der Regenzeit in HCMC. Rund 200 Tage nach dem Einbau der alternativen Abdichtungsschicht wurde keine Perkolation der Dichtungsschicht dokumentiert. Lediglich nach 127 Tagen wurden unterhalb der alternativen Abdichtung 1,6 % der beaufschlagten Wochenniederschlagsmenge erfasst. In sind die Tageswerte der Niederschlagshöhen in HCMC vom 24.04.2000 bis zum 24.04.2001 dargestellt. Diese entsprechen den tatsächlichen Beregnungsmengen der Testsysteme. In Abbildung 3 sind die Wassermengen aus den Drainageschichten der beiden Testsysteme dargestellt.

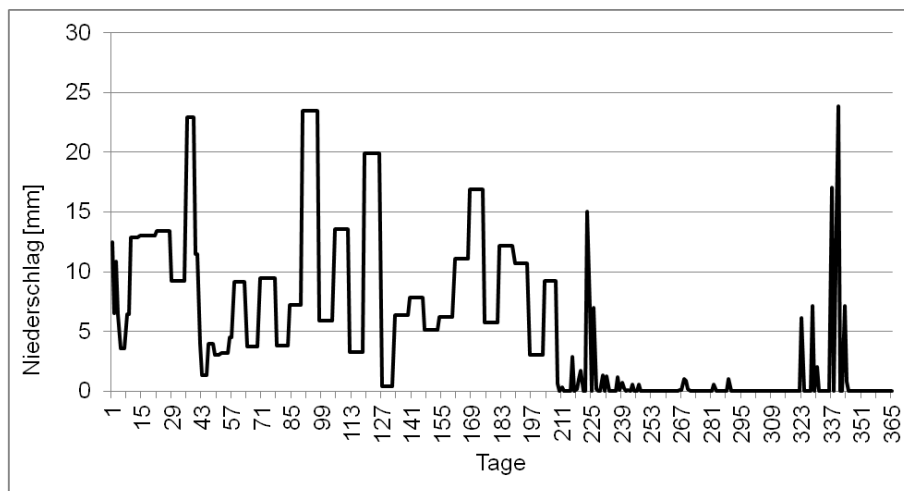


Abbildung 2: Tageswerte der Niederschlagshöhen in Ho Chi Minh City vom 24.04.2000 bis 24.04.2001

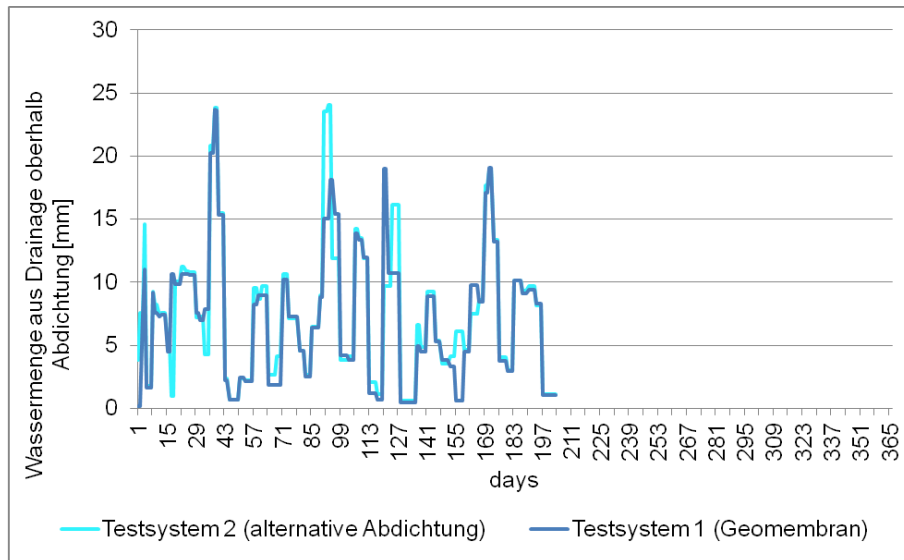


Abbildung 3: Wassermengen aus Drainageschicht oberhalb der Abdichtungskomponente für Testsystem 1 und 2

Nach insgesamt 200 Tagen Versuchslaufzeit betrug die Gesamtniederschlagsmenge 1.856,7 mm je Testsystem. Aus der Drainage des Testsystems 1 (Dichtung mittels Geomembran) wurden 1.437,5 mm und aus der Drainage des Testsystems 2 (alternative Abdichtung) wurden 1.495,1 mm abgeleitet. Die sich hieraus ergebenden Differenzen entsprechen der realen Evapotranspiration.

Es ist geplant, den Versuch nach Abschluss des Projektes fortzuführen. Seit September 2016 erfolgte eine deutliche Reduzierung der Niederschläge. Diese entsprechen den tatsächlichen Niederschlägen in HCMC im Januar bis April 2001. Mit der Verringerung der Niederschlagshöhen soll der Einfluss schrumpfender Tonminerale auf die dichtende Wirkung der alternativen Abdichtung weiter untersucht werden.

3 Schlussfolgerungen und Ausblick

Ein Fazit für den Einsatz von MEB als DEBS im Inland besteht darin, dass der wesentliche Ausschlussgrund bei der Anwendbarkeit die qualitative Beschaffenheit der Materialien darstellt, insbesondere im Fall von Schlacken und Klärschlamm. Andere Materialarten kommen nicht zum Einsatz, da die in den BQS geforderter Qualitätskriterien nicht nachgewiesen werden können (fehlende Versuchsgrundlage) und/oder keine Bezugswerte zur Auswertung der Versuchsergebnisse ausgewiesen sind. In seltenen Fällen liegt eine spezielle Belastung der MEB vor, z.B. Herbizide in Gleisschottern, oder die Frostbeständigkeit ist nicht gewährleistet (z.B. bei Ziegelbruch). In Bezug auf Bodenaushub spielt die Herkunft eine maßgebliche Rolle. Bodenaushub aus Innenstadtbereichen erfüllt selten die Qualitätsanforderungen (i.d.R. wegen der chemischen Untersuchungsergebnisse). Unabhängig davon liegen für diese Materialart selten größere homogene Chargen vor.

Einen Schwerpunkt in Bezug auf den Materialbedarf bildet nach wie vor die Rekultivierungsschicht, da allein mehr als 50 % des Volumenbedarfs an Baustoffen für ein Oberflächenabdichtungssystem auf die Rekultivierungsschicht entfallen. Mögliche wirtschaftliche und umwelttechnische Nachteile lassen sich beseitigen, wenn es gelingt, bisher nicht geeignete Böden durch Zugabe geeigneter Substrate zu verbessern [23]. Dies betrifft insbesondere auch Bodenaushub und RC-Baustoffe. Durch gezielte Vergütung von RC-Material aus Bauschutt und durch Zugabe entsprechender Anteile feinkörnig-bindiger Erdstoffe sind hochwertige Rekultivierungsmaterialien herstellbar [23]. Die Fragestellung der Bewertung von Bodenaushub ge-

winnt vor dem Hintergrund der geplanten Neufassung der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung BBodSChV im Rahmen der Vorbereitung der Mantelverordnung einmal mehr an Bedeutung.

Die Ergebnisse der Datenzusammenstellung zeigen, dass die Anforderungen an den Einsatz von MEB im internationalen Kontext praktisch nicht geregelt sind. Bisher liegen im Ausland auch nur wenige Erfahrungen mit MEB vor. Den Schwerpunkt der Untersuchungen bildet hier der Wasserhaushalt und wie eine signifikante Reduzierung der Sickerwasserrate erreicht werden kann. Ergebnisse eines halbtechnischen Versuchs zum Einsatz von Bauschutt in der Wasserhaushaltsschicht für die Deponie Gò Cát in Ho Chi Minh City, Vietnam zeigen bisher positive Ergebnisse. Allerdings ist auch darauf hinzuweisen, dass der Anteil an Bauschutt in Vietnam im Abfallstrom bisher klein ist, was daran liegt, dass die Infrastruktur nach wie vor wächst und bisher wenig Abriss- und Rückbauprojekte realisiert werden. Das Recycling von Bauschutt findet in der Praxis bisher nicht statt. Trotzdem stellt dieser Stoffstrom in Schwellenländern eine potenzielle Materialressource für die Zukunft der Deponieschließung dar, insbesondere vor dem Hintergrund, dass Deponien in Schwellenländern wie Vietnam riesige Dimensionen haben.

Literaturverzeichnis

- [1] WAGNER, R.: *Anforderungen an den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen und an Verfüllungen, Beitrag zum 11. Baustoff-Recycling-Tag am. 08.10.2008.* 2008
- [2] PFEIFFER, B. ; FREMGEN, B.: *TREAm[®] - eine alternative Deponieoberflächenabdichtung unter Einsatz von HMV-Schlacke, Praxistagung Deponie 2010, S. 1 – 9.* 2010. – www.wasteconsult.de
- [3] PÖTZSCH, G. ; BUSCH, G.: *Ziegelbruch - ein alternatives Dichtungsmaterial für Deponien.* 2001. – http://www.deponie-stief.de/pdf/abdichtung_pdf/minab_cb.pdf
- [4] ZINGK, M.: *Verwertung von Kraftwerksrückständen als Deponie-Ersatzbaustoff und zur Abfallbehandlung, Beitrag auf der 7. Leipziger Deponiefachtagung, S. 131 - 138.* 2011
- [5] ASMUS, D.B.: *Verwertung von Schlämmen/Schlacken zur Errichtung einer Deponiebasis, Beitrag auf der Praxistagung Deponie 2010, S. 1 – 11.* 2010. – www.wasteconsult.de
- [6] PFEIFFER, B. ; GÄTH, S.: *Untersuchungen zum Einsatz von Bauschuttmaterialien in einer Kapillarsperre und erste Ergebnisse der Umsetzung im Probefeld, in: Melchior, S.; Berger, K. (2005), Hrsg.: Abfallverwertung bei der Rekultivierung von Deponien, Altlasten und Bergbaufolgelandschaften, Hamburger Bodenkundliche Arbeiten, Band 56, ISSN 0724-6382.* 2005
- [7] ASMUS, D.B.: *10 Jahre Praxiserfahrung mit der Planung und dem Bau von Kapillarsperren, Beitrag auf der 4. Leipziger Deponiefachtagung, Seite B06 1 - 15.* 2008
- [8] KRIETER, A.: *Erfahrungen mit einer Oberflächenabdichtung aus einer Mischung von Klärschlamm, Wasserglas, Schlacke und Boden – Einsatzmöglichkeiten unter Berücksichtigung der Deponieverwertungsverordnung, in: Melchior, S.; Berger, K. (2005), Hrsg.: Abfallverwertung bei der Rekultivierung von Deponien, Altlasten und Bergbaufolgelandschaften, Hamburger Bodenkundliche Arbeiten, Band 56, ISSN 0724-6382.* 2005
- [9] DÜSER, O.: *Verwertung von aus Bauschutt aufbereitetem Recyclingmaterial in mineralischen Dichtungssystemen, Band 51 der Mitteilungen Institut für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau (IGBE), Universität Hannover, Selbstverlag 1999, IV,189 S., Abb.,Tab.,Lit.* 1999
- [10] SCHULZ, J. H.and S. H.and Schmid: *EP-Konzept für eine gemischtkörnige Zwischenabdichtung aus teerhaltigem Straßenaufbruch; München, unveröffentlicht.* 2002
- [11] GRÖNGOFT, A. ; GEBERT, J. ; BERGER, K. ; MAASS, B.: *Verwendung von Baggergut als Material für die Dichtung von Deponien, den Deichbau, zur Verfüllung und zur Bodenverbesserung. in: Melchior, S.; Berger, K. (2005), Hrsg.: Abfallverwertung bei der Rekultivierung von Deponien, Altlasten und Bergbaufolgelandschaften, Hamburger Bodenkundliche Arbeiten, Band 56, ISSN 0724-6382.* 2005

- [12] LÜNIG, C. ; LÜNEBURG, T.: *Verwertung von Bodenaushub und RC-Materialien beim Bau der temporären Oberflächenabdichtung der Deponie Salzgitter-Diebesstieg*, in: Melchior, S.; Berger, K. (2005), Hrsg.: *Abfallverwertung bei der Rekultivierung von Deponien, Altlasten und Bergbaufolgelandschaften, Hamburger Bodenkundliche Arbeiten, Band 56, ISSN 0724-6382*. 2005
- [13] HEINDL, A. ; LENZ, N. ; MÜLLER, N. ; HEUSS-ASSBICHLER, S. ; WESTERMANN, H.: *EU 9 „Entwicklung von nachhaltigen Entscheidungskriterien zur sicheren Ablagerung und Verwertung von Eisenhüttenschlacken“*, Schlussbericht des Forschungs- und Entwicklungszentrums für Sondertechnologien, im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz. 2005
- [14] ICP INGENIEURGESELLSCHAFT PROF. CZURDA UND PARTNER MBH: *Deponie Schwaiganger, südliche Erweiterung – Einsatz von Elektroofenschlacke als Dränagematerial in der Entwässerungsschicht. Durchführung von Versuchen mit Zeitraffereffekten zum Nachweis der chemischen und physikalischen Beständigkeit gemäß BQS 3-2, unveröffentlichter Bericht*. 2013
- [15] MAX AICHER UMWELT GMBH: *EloMini[®] im Deponiebau - Lebenswerte stabil weiterentwickeln, Broschüre zur Firmenvorstellung*. 2015
- [16] HARGELIUS, K.: *Use of Fly Ash from KKAB, for Sealing of Landfills*, in: AHS, Stockholm, Sweden, 25.-27.01.2012. 2012. – www.varmeforsk.se/files/program/askor/Hargelius_.pdf
- [17] ANDREAS, L. ; HERRMANN, M. ; LIDSTRÖM-LARSSON, M. ; LAGERKVIST, A.: *Physical Properties of Steel Slag to be Reused in a Landfill Cover, Proceedings Sardinia 2005, Tenth International Waste Management and Landfill Symposium S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy; 3 - 7 October 2005, 2005 by CISA, Environmental Sanitary Engineering Centre, Italy*. 2005
- [18] HERRMANN, I. ; ANDREAS, L.S. ; LIND, L.: *Steel slag used in landfill cover liners: Laboratory and field tests*, *Waste Management & Research* 28(12) 1114–1121. 2010
- [19] BARROS, E. ; JORGE, F.: *Gestão de RCD - Resíduos de Construção e Demolição na obra de ampliação do Aeroporto Francisco Sá Carneiro*, *Revista da Faculdade de Ciências e Tecnologia do Porto* ISS 1646-0499, pp. 62-74. 2008
- [20] V. LU, Tong T. Kein; Le T. Thanh; P.: *Recycling construction demolition waste in the world and in Vietnam*, *The International Conference on the Built Environment for Now and the Future, Ha Noi, 26.-27.03.2013*. 2013
- [21] SCHNEIDER, P. ; LÄMMEL, A. ; SCHMITT, A. ; NGUYEN, P. N. ; HUNG, L.A.: *Current and Future Solid Waste Management System in Northern Vietnam with focus on Ha Noi: Climate Change Effects and Landfill Management*, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, DOI 10.1007/s10163-016-0551-7. 2016
- [22] GERTH, A. ; HEBNER, A. ; KOPIELSKI, K. ; SCHNEIDER, P.: *Nachnutzung des Deponiestandortes Gò Cát in Ho Chi Minh City, Vietnam*, *Beitrag zum 12. Deponieworkshop Liberec-Zittau*. 2016
- [23] MÜLLER, M. ; SCHOENHERR, J.I. ; AL-AKEL, S. ; REUTER, E.: *Nutzung von Böden und technischen Bodensubstraten in Deponieoberflächensicherungsmaßnahmen*, in: *Vorträge der 2. Fachtagung Geotechnik, Schriftenreihe Geotechnik der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, S. 165 – 185, ISSN 1867-5883*. 2005

