Erfahrungen mit einer Oberflächenabdichtung aus einer Mischung von Klärschlamm, Wasserglas, Schlacke und Boden – Einsatzmöglichkeiten unter Berücksichtigung der Deponieverwertungsverordnung

Dipl.-Ing. Andreas Krieter

Abfallentsorgung Kreis Kassel

Zusammenfassung

Mit dem aus einem Klärschlamm-Wasserglas-Schlacke-Bodengemisch bestehenden Dichtungsmaterial Bickhardt-DOM® kann ein preisgünstiges, alternatives Dichtungssystem eingesetzt werden, dass nach dem derzeitigem Stand alle Anforderungen an die Dichtigkeit und Verformungsbeständigkeit einer Oberflächenabdichtung entsprechend der Deponieverordnung erfüllt und somit gleichwertig zu einer rein mineralischen Dichtung ist.

Die im Entwurf vorliegende Deponieverwertungsverordnung (Stand 17.11.2004) sieht eine Beschränkung für den Einsatz von Deponieersatzbaustoffen hinsichtlich ihrer Zuordnungskriterien auf die Grenzwerte nach LAGA Z1.1 im unvermischten Abfall vor.

Insbesondere der Einsatz der hier vorgestellten Deponieersatzbaustoffe HMV-Schlacke und Klärschlamm lassen diese niedrigen Grenzwerte nicht sinnvoll erscheinen, da sowohl im Strassenbau als auch in der Landwirtschaft höhere Grenzwerte zulässig sind.

aus: Melchior, S. & K. Berger, 2005 (Hrsg.) : Abfallverwertung bei der Rekultivierung von Deponien, Altlasten und Bergbaufolgelandschaften. Hamburger Bodenkundliche Arbeiten, Band 56 (ISSN: 0724-6382)

1 Einführung

Auf der Deponie "Kirschenplantage", eine Deponie der Deponieklasse 2 (DepV), wurde in der Zeit von 2002 bis 2004 ein ca. 6 ha großes, temporäres Oberflächendichtungssystem nach dem System Bickhardt-DOM® hergestellt.

Die Deponie verfügt über einen ca. 9 ha großen Altbereich (mit mineralischer Oberflächenabdichtung) und seit 1989 über einen ca. 18 ha großen Erweiterungsbereich, der in einzelne, ca. 2 ha große Ablagerungssektoren aufgeteilt ist. Die Ablagerungssektoren 1 und 2 sind mit insgesamt 750.000 m³ Hausmüll und hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen verfüllt.

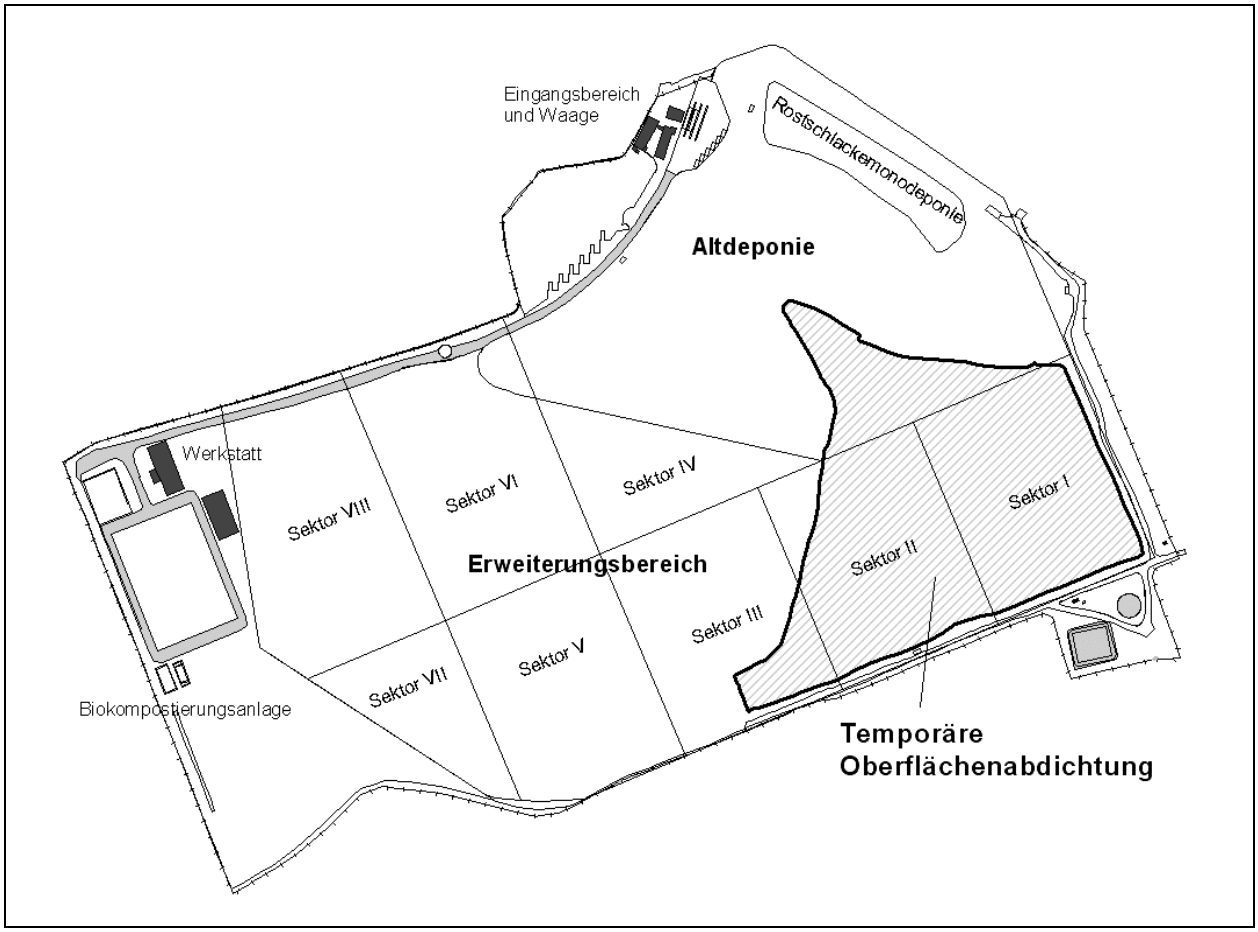

Abb. 1: Lageplan Deponie "Kirschenplantage" mit temporärer Oberflächenabdichtung

Nach Beendung der Ablagerungsphase eines Deponieabschnittes ist dieser mit einem Oberflächenabdichtungssystem gemäß den Anforderungen des Anhanges 1 Nr. 2 der Deponieverordnung (DepV) vom 24. Juli 2002 abzudichten. Abweichend hiervon sehen die §§ 12(5), 14(7) DepV vor, dass bei Deponien bzw. Deponieabschnitten, bei denen große Setzungen zu erwarten sind (z.B. durch Ablagerung von Haumüll und hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen), zunächst eine temporäre Abdeckung vorgenommen werden kann. Spezielle Anforderungen an die temporäre Abdeckung werden hier nicht definiert, es sind jedoch die Sickerwasserbildung zu minimieren und die Deponiegasmigration zu verhindern.

2 Aufbau der temporären Oberflächenabdichtung

Auf einer Fläche von 61.000 m² wurde daher auf der Deponie "Kirschenplantage" ein temporäres Oberflächenabdeckungssystem aufgebaut, das folgende Aufbaukonstruktion aufweist:

oben ↑	**Methanoxidations- und Schutzschicht** Bodengemisch aus bindigem Boden mit Organikanteil 30 Vol-% (Verwendung von Fertigkompost oder kommunalem Klärschlamm); Schichtstärke d ≥ 50 cm. Rasenansaat.
	Temporäre Oberflächenabdichtung (TOAD) Bodenmischung aus bindigem Boden, HMV-Schlacke, Klärschlamm und Recyclingwasserglas; k ≤ 1 * 10^{-9} m/s, Schichtstärke d ≥ 50 cm, 2-lagig
	Gasentspannungsschicht *Einsatz von (alternativ):* – Basaltschotter 5/45 mm – Gleisschotter 22,3/64 mm (Basalt), – Bleischlackengranulat 0/8 mm, – Eisensilikatsand 0/8mm Carbonatgehalt ≤ 15 %, k ≥ 5 * 10^{-3} m/s, Schichtstärke d ≥ 50 cm
	Ausgleichsschicht Boden, Schichtstärke d ≥ 10 cm
unten	**Abfall**

Abb. 2: Aufbau der temporären Oberflächenabdichtung

Bei der in der temporären Oberflächenabdichtung eingesetzten Bodenmischung handelt es sich um ein von der Firma Bickhardt Bau AG zum Patent angemeldetes Deponiedichtungssystem. Dieses organisch-mineralische Dichtungssystem besteht aus den Komponenten

- 1/3 bindiger, steinfreier Boden (Lehm),
- 1/3 definierter, kommunaler Klärschlamm,
- 1/3 aufbereitete HMV-Schlacke (ohne Metall, Größtkorn 32 mm) aus der Müllverbrennungsanlage sowie
- ca. 2 - 5 % Recycling-Wasserglas

Klärschlamm verbessert die bodenmechanischen Eigenschaften des eingesetzten Bodens. Die organischen, in der Regel faserigen Bestandteile des Klärschlammes erzeugen einen Feuchtigkeitspuffer, der einer Rissbildung des Dichtungsmaterials infolge Wassergehaltsschwankungen entgegenwirkt. Zusätzlich bewirkt die filzartig verzahnte Organik, dass das Verformungsvermögen der Dichtung erhöht wird.

Da Klärschlämme aus verschiedenen kommunalen Kläranlagen eingesetzt werden, sind folgende Grenzwerte bzw. Eigenschaften nachzuweisen:

- Unterschreitung der Grenzwerte nach Klärschlammverordnung (AbfKlärV) vom 15. April 1992
- Trockensubstanz $\geq$ 28 %
- Orkanikanteil $\leq$ 40 %
- Material ist ausgefault und stabilisiert
- Art der Konditionierung: Polymerkonditionierung, Kammerfilterpresse; getrockneter Klärschlamm.

HMV-Schlacke aus der Müllverbrennungsanlage Kassel dient als Stützgerüst und erhöht die Scherfestigkeit des Dichtungsmaterials. Gemäß LAGA-Merkblatt M19 (Entsorgung von Abfällen aus Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle) wird nur aufbereitete und abgelagerte Schlacke eingesetzt.

Wasserglas wird in Pulverform beigemischt. Es dient der Verstärkung der abdichtenden Wirkung sowie der Stabilisierung der organischen Substanzen (Klärschlamm). Durch die Vermischung mit den Wasseranteilen der übrigen Komponenten des Dichtungssystems entsteht ein Silikatgel, dass die Durchlässigkeit der Bodenmischung herabsetzt. Darüber hinaus werden die biologischen Aktivitäten im Dichtungsmaterial gestoppt, so dass keine organische Zersetzung des Klärschlammes mit einhergehender Verschlechterung der Dichtwirkung des Gesamtsystems erfolgen kann.

Insgesamt bewirkt der Einsatz der Abfallreststoffe Klärschlamm, Rostschlacke und RC-Wasserglas, dass ein ausgesprochen wirtschaftliches Dichtungssystem hergestellt werden kann.

Aufgrund der relativ hohen Qualitätsanforderungen an die zu verwendenden Baustoffe ist jedoch ein intensives Stoffstrom-Management erforderlich, um bei Baubeginn über die erforderlichen Mengen verfügen zu können.

3 Qualitätssicherung

Die Oberflächenabdeckung wurde in 2 Lagen je Lage ≥ 25 cm eingebaut und verdichtet. Folgende Kontrollprüfungen und Raster wurden durchgeführt.

Parameter	**Kontrollraster /Lage**	**Grenzwert Genehmigungs-bescheid**	**Grenzwert DepV Anhang 1, Nr. 2, DK II**
Kornverteilung DIN 18123	5.000 m² oder Materialwechsel	--	--
Proctorversuch DIN 18127	5.000 m² oder Materialwechsel	--	--
Wassergehalt DIN 18121	1.000 m²	--	--
Dichte DIN 18125	1.000 m²	> 93 % Proctor	--
Wasserdurchlässigkeit DIN 18130	1.000 m²	≤ 1,00E-8 m/s	≤ 5,00E-9 m/s
Eluatwerte Zink, Kupfer, Sulfat Gesamtanalyse	 500 m3 1.500 m³	 Z2 Z2	--
Scherversuch DIN 18 137	3 Stck	$\varphi' = 26{,}2°$ $c' = 0$ kN/m² $c_u \geq 16$ kN/m²	--

Tabelle 1: Qualitätssicherung beim Bau der temporären Oberflächenabdichtung

Die Anforderungen wurden an mittels Stechzylinder entnommenen ungestörten Bodenproben überprüft. Dabei wurden alle Grenzwerte des Genehmigungsbescheides deutlich eingehalten.

In einem Scherversuch im Großscherkasten 30 x 30 cm wurde ein Scherwinkel von $\varphi' = 30°$ bei einer Kohäsion von $c' = 24{,}8$ kN/m² festgestellt. Die Anforderung an die Statik der Deponie "Kirschenplantage" sind somit deutlich eingehalten.

Im Zeitraum 2002 bis 2004 wurden insgesamt 4 Bauabschnitte mit Baufeldgrößen von je ca. 1,5 ha hergestellt.

Die Ergebnisse der nachfolgend aufgeführten, dichtungsrelevanten Einbaugrößen zeigen, dass (bis auf einen Messwert) die Grenzwerte der Deponieverordnung Anhang 1 Nr. 2 für die Deponieklasse 2 eingehalten werden:

Parameter	**1. BA**	**2. BA**	**3. BA**	**4. BA**
Wassergehalt [%]	21,3	18,9	22,9	22,4
Verdichtungsgrad [%]	98,0	97,8	98,5	97,2
k-Wert [m/s] - Mittelwert	1,55E-9	8,78E-10	1,32E-10	9,50E-11
k-Wert [m/s] – Min-Wert	7,00E-11	3,20E-11	3,80E-11	4,90E-11
k-Wert [m/s] – Max-Wert	8,80E-9	3,90E-9	5,40E-10	1,70E-10

Tabelle 2: Messwerte (Mittelwerte) in den Bauabschnitten (BA) 1 bis 4

Um nähere Kenntnisse über das Langzeitverhalten der Dichtungsmischung mit Klärschlamm zu erhalten, werden zusätzliche Untersuchungen durchgeführt.

Zum einen werden halbjährige Untersuchungen in jedem Bauabschnitt des eingebauten Dichtungsmaterials durchgeführt. Die Probeentnahme mittels Stechzylinder wird jeweils im Frühjahr und Herbst durchgeführt, um die Einwirkung der Witterungseinflüsse zu erkennen. Diese Proben werden im Labor auf Durchlässigkeit über max. 30 Tage, Verdichtungsgrad und Wassergehalt untersucht. Die Ergebnisse der Durchlässigkeitsversuche liegen zwischen

$$\mathbf{k = 3{,}9 * 10^{-9}\ m/s \ \ und \ \ k = 1{,}1 * 10^{-10}\ m/s}.$$

Es konnte keine Verschlechterung gegenüber den Werten, die direkt nach dem Einbau gemessen wurden, festgestellt werden. Die Anforderung an den Durchlässigkeitswert gemäß Deponieverordnung von $k \leq 5{,}0 * 10^{-9}$ m/s wird nach wie vor eingehalten.

Weiterhin wurden während der Bauphasen jeweils ungestörte Bodenproben entnommen und in eine Triaxzelle eingebaut, um die Durchlässigkeit über einen längeren Zeitraum zu bestimmen. Derzeit befinden sich Proben mit einem Alter von 490, 880 und 960 Tagen (s. Abb. 3) in der Untersuchung. Die Durchlässigkeitswerte liegen derzeit zwischen

$$\mathbf{k = 6{,}4 * 10^{-10}\ m/s \ \ und \ \ k = 8{,}6 * 10^{-11}\ m/s}.$$

Nach bisherigem Kenntnisstand zeigt sich die Dichtungsmischung hinsichtlich der Durchlässigkeit als gleichwertig zu einer rein mineralischen Dichtung.

Die Langzeituntersuchungen an dem eingebautem Dichtungsmaterial werden weitergeführt. Hiermit soll nachgewiesen werden, dass die Gleichwertigkeit der verwendeten Dichtungsmischung zu einer rein mineralischen Dichtung über den gesamten Zeitraum der Nutzungsdauer der temporären Oberflächenabdichtung erhalten bleibt, um sie später als mineralisches Dichtungselement in die endgültige Oberflächenabdichtung überführen zu können.

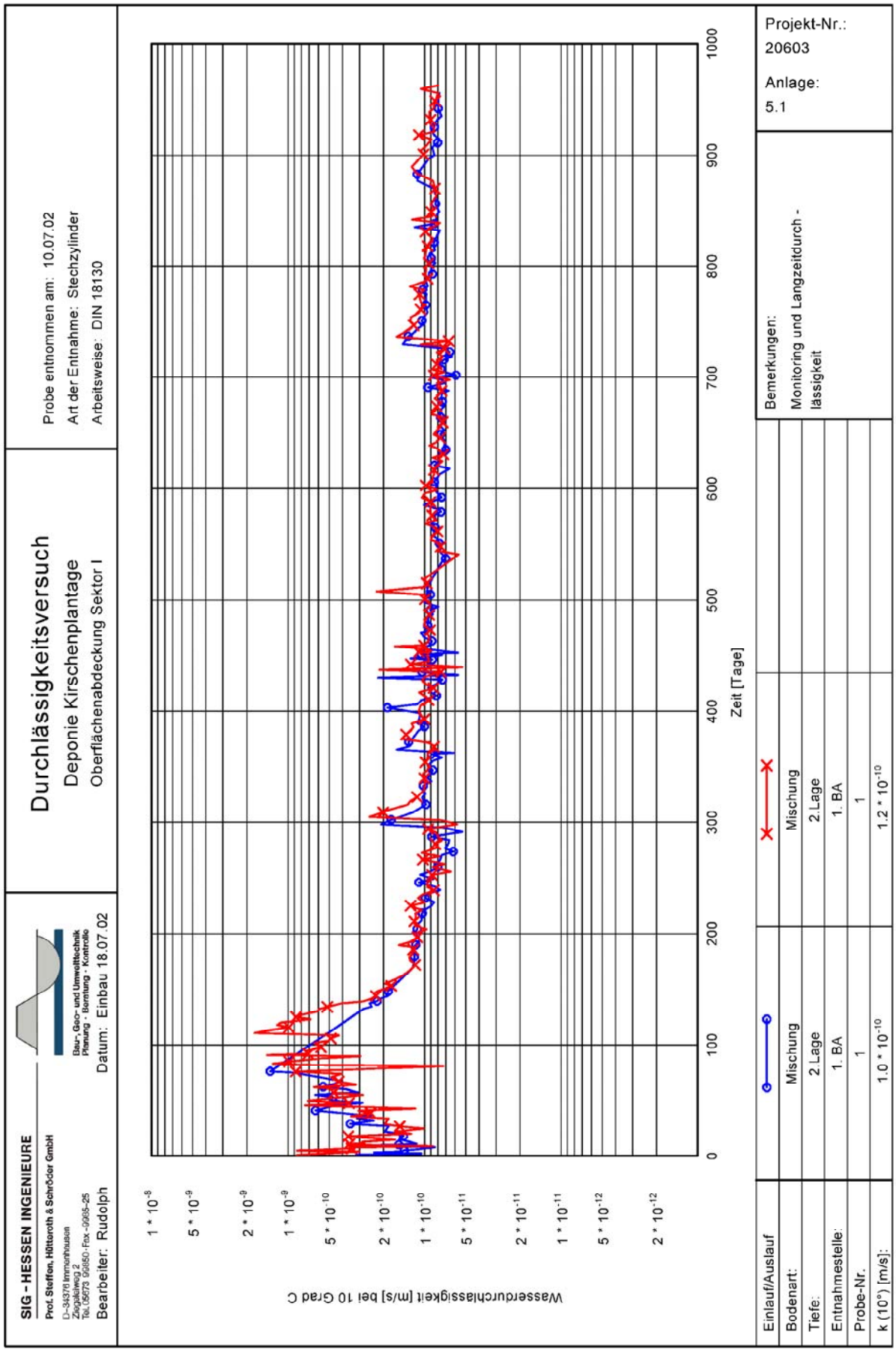

Abb. 3: Langzeitversuch „Durchlässigkeit“

4 Praxiserfahrung bei Herstellung und Einbau

Die Herstellung des Dichtungsmaterials erfolgt außerhalb des Baufeldes. Die 4 Komponenten der Dichtungsmischung werden in der Nähe der Hauptmiete des Bodens (Lehm) gelagert. Diese Bodenmiete ist als Tafelmiete aufgebaut. Die weiteren Bestandteile an Klärschlamm und HMV-Schlacke werden in der erforderlichen Schichtstärke mit der Planierraupe auf der Tafelmiete lagenweise aufgebracht und nachdem das RC-Wasserglas aufgetragen wurde, mit einer Hochleistungs-Anhängefräse in mehreren Arbeitsgängen vermischt:

Abb. 4: Herstellen der Dichtungsmischung mit der Anhängefräse

Die fertige Dichtungsmischung kann dann auf Vier-Achser oder Dumper verladen und ins Baufeld verfahren werden. Der Einbau des Materials erfolgt 2-lagig in einer Gesamtstärke von 50 cm ausschließlich mit der Planierraupe. Eine separate Verdichtung mit dem Walzenzug oder einer Anhängewalze ist nicht erforderlich.

Ein Vorzug der Bauweise mit diesem Dichtungsmaterials gegenüber der Verwendung von Tonen ist die wesentlich geringere Empfindlichkeit bei Niederschlägen. Leichter Nieselregen oder ein kurzer Schauer behindern den Bauablauf nicht.

Mit dem aus einem Klärschlamm-Wasserglas-Bodengemisch bestehenden Dichtungsmaterial Bickhardt-DOM® konnte ein preisgünstiges, alternatives Dichtungssystem eingesetzt werden, dass nach derzeitigem Stand alle Anforderungen an die Dichtigkeit und Verformungsbeständigkeit einer Oberflächenabdichtung erfüllt.

5 Auswirkungen der Deponieverwertungsverordnung

Der Entwurf der Deponieverwertungsverordnung (EDepVerwV) vom 17.11.2004 sieht vor, die Verwendung von Abfallreststoffen als Deponieersatzbaustoff in der Oberflächenabdichtung einer DK II - Deponie auf Stoffe zu begrenzen, die die Zuordnungswerte nach LAGA Z 1.1 erfüllen:

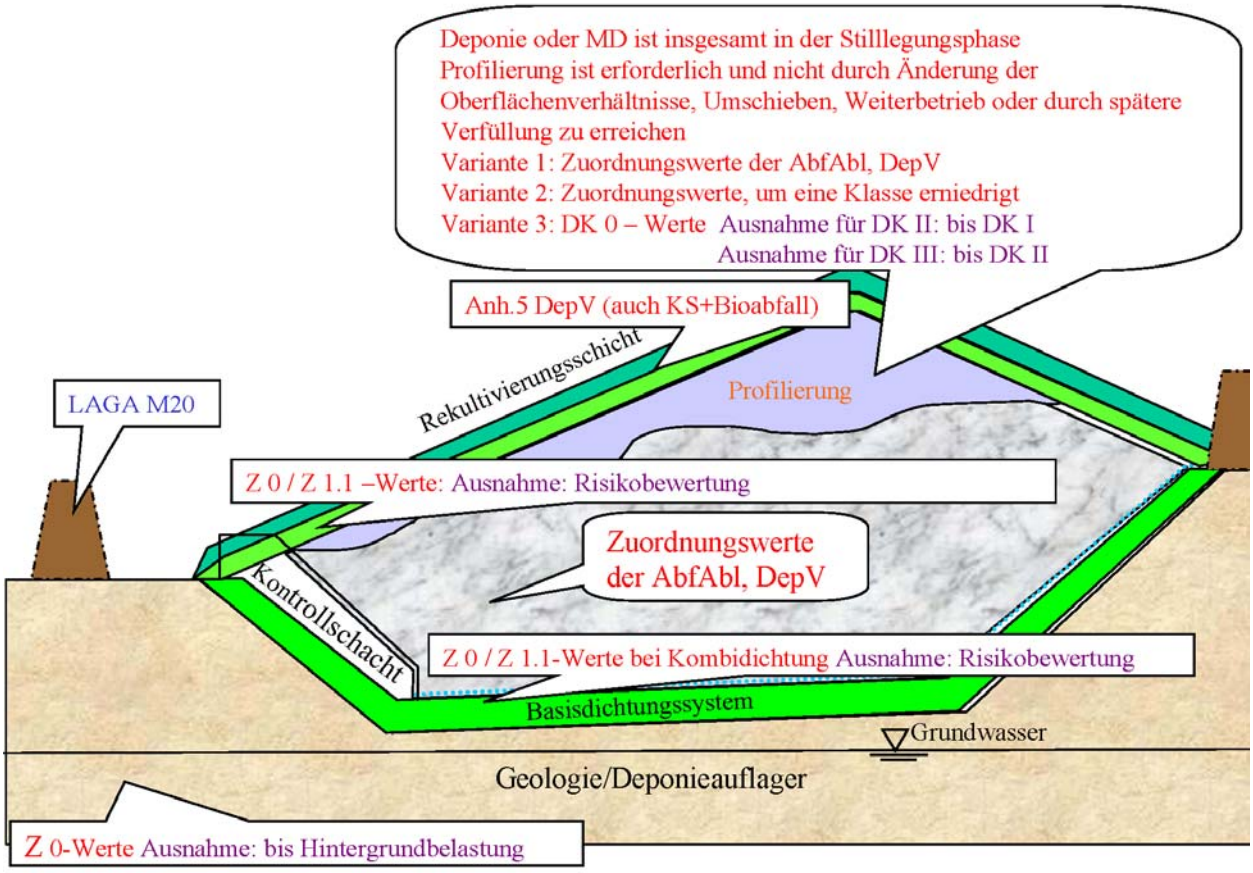

Abb. 5: Zuordnungswerte für den Einsatz von Abfallreststoffen im Deponiebau gemäß EDepVerw vom 17.11.2004

Hierbei ist zu beachten, dass nach § 3 (4) EDepVerw die Zuordnungskriterien im unvermischten Abfall einzuhalten sind. Wendet man diesen Grundsatz auf das oben beschriebene Dichtungssystem an, müssen in der Folge die stofflichen Eigenschaften der HMV-Schlacke und des kommunalen Klärschlammes untersucht und bewertet werden.

Für HMV-Schlacke ergeben sich die in Tabelle 3 aufgeführten Werte. Es ist erkennbar, dass bei den Parametern Chlorid, Sulfat und Kupfer eine Überschreitung der Grenzwerte der EDepVerwV (Tabelle 2, Spalte 5) auftreten würde.

Parameter	**Grenzwerte EDepVerwV** (Tab. 2, Spalte5)	**Grenzwerte für den Einsatz von HMV-Schlacke im Strassenbau** gem. LAGA M 19	**Messwerte verwendeter HMV-Schlacke**
pH-Wert	6,5-9	7-13	11,1
Leitfähigkeit [µS/cm]	≤ 500	6000	1700
Arsen [mg/l]	≤ 0,01		< 0,005
Blei [mg/l]	≤ 0,04	0,05	< 0,002
Cadmium [mg/l]	≤ 0,002	0,005	< 0,0005
Kupfer [mg/l]	≤ 0,05	0,3	0,09
Nickel [mg/l]	≤ 0,04	0,04	< 0,005
Quecksilber [mg/l]	≤ 0,0002	0,001	< 0,0002
Zink [mg/l]	≤ 0,1	0,3	< 0,025
Chrom, gesamt [mg/l]	≤ 0,03	0,2	
Thallium [mg/l]	≤ 0,001		
Chlorid [mg/l]	≤ 10	250	168
Sulfat [mg/l]	≤ 50	600	399
Cyanid, gesamt [mg/l]	≤ 0,01		
Phenol Index [mg/l]	≤ 0,01		

Tabelle 3: Eluatkriterien für den Einsatz von HMV-Schlacken

Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass der Einsatz von HMV-Schlacke im Strassenbau, z.B. in wassergebundenen Decken, gemäß dem LAGA Merkblatt Nr. 19 wesentlich höheren Grenzwerten unterliegt (s. Tab. 3).

Ein ähnliches Bild erhält man bei der Bewertung der eingesetzten Klärschlämme. Da diese in der Regel auf ihren Feststoffgehalt untersucht werden, sollen hier hilfsweise die Feststoffkriterien nach LAGA Z1.1 herangezogen werden, obwohl in der zugehörigen Spalte 5 der Tabelle 2 der EDepVerwV nur die Eluatgrenzwerte ausgewiesen sind.

Bei der Darstellung der Werte in Tabelle 4 ist bei den verwendeten Klärschlämmen ein Schwankungsbereich angegeben worden, der den Einsatz von Schlamm aus 5 verschiedenen kommunalen Kläranlagen wiedergibt.

Auch hier würde es zu einer Überschreitung der Zuordnungswerte für Kupfer und Zink kommen.

Parameter	**Grenzwerte EDepVerwV** bzw. **LAGA Z1.1** in mg/kg	**Grenzwerte AbfKlärV** in mg/kg TS	**Messwerte verwendeter klärschlämme** in mg/kg TS
Blei [mg/kg]	200	900	12,4 – 98,6
Cadmium [mg/kg]	1	10	0,73 – 1,36
Kupfer [mg/kg]	100	800	223 – 734
Nickel [mg/kg]	100	200	19 – 41
Quecksilber [mg/kg]	1	8	0,89 – 1
Zink [mg/kg]	300	2500	809 – 1241,3
Chrom, gesamt [mg/kg]	100	900	23 – 97,5

Tabelle 4: Feststoffkriterien für den Einsatz von Klärschlamm

Bei einer Gegenüberstellung der Grenzwerte nach LAGA Z1.1, die den Grenzwerten der EDepVerwV entsprechen, mit der Klärschlammverordnung ist festzustellen, dass insbesondere die hier relevanten Parameter Kupfer und Zink in der Landwirtschaft um ein vielfaches höher liegen dürfen.

Insoweit scheint daher die Öffnungsklausel in der Fußnote 2 zur Tabelle 1 der EDepVerwV den Einsatz des oben vorgestellten Dichtungssystems zu ermöglichen.
Hiernach kann eine mineralische Abdichtung als gleichwertige Systemkomponente eingesetzt werden, wenn der Nachweis erbracht wird, dass die hierfür verwendeten Deponieersatzbaustoffe trotz Überschreitung einzelner Zuordnungswerte keine Gefährdung für Boden oder Grundwasser darstellen.

Literatur

ENTSORGUNG VON SCHLACKEN UND SONSTIGEN RESTSTOFFEN, 1994. Beiheft 31 zu MÜLL und ABFALL, herausgegeben von Reimann, D. O., Erich Schmidt Verlag.

KLÄRSCHLAMMVERORDNUNG (ABFKLÄRV) vom 15. April 1992

LAGA MERKBLATT NR. 19, 1994: Entsorgung von Abfällen aus Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle. Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA).

LAGA MERKBLATT NR. 20, 2003: Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen – Technische Regeln. Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA).

VERORDNUNG ÜBER DIE UMWELTVERTRÄGLICHE ABLAGERUNG VON SIEDLUNGSABFÄLLEN UND ÜBER BIOLOGISCHE ABFALLBEHANDLUNGSANLAGEN (Abfallablagerungsverordnung - AbfAblV) vom 24. Februar 2001.

VERORDNUNG ÜBER DEPONIEN UND LANGZEITLAGER (Deponieverordnung – DepV) vom 24. Juli 2002, BGBl. I. S. 2807.

VERORDNUNG ÜBER DIE VERWERTUNG VON ABFÄLLEN AUF DEPONIEN ÜBER TAGE (Deponieverwertungsverordnung – DepVerwV). ENTWURF vom 17.11.2004

BAHNERS, M., 1998: „Entwurf und Dimensionierung einer geringdurchlässigen, temporären Oberflächenabdeckung für Siedlungsabfalldeponien.“ Diplomarbeit, Leichtweiß-Institut für Wasserbau TU-Braunschweig

BICKHARDT BAU AG: Systeme zur Deponieabdeckung, Dichtungssystem Bickhardt-DOM® (Patentanmeldung)

HÜTTEROTH, D; SCHNÜRER, U., 2004: „Deponie Kirschenplantage Oberflächenabdeckung Sektor I / II, Bericht über die Langzeitversuche“, SIG-HESSEN INGENIEURE, Gutachten – unveröffentlicht.

URBAN-KISS, S., 2003: Erfahrungen mit der passiven Entgasung von Deponien. In: Trierer Berichte zur Abfallwirtschaft Band 14, Stilllegung und Nachsorge von Deponien, Hrsg.: Rettenberger / Stegmann, S. 109-130.

PALM, A.; SCHMITT-TEGGE, J.; SONDERMANN, W.-D., 2003/2004: Leitfaden zur Deponiestilllegung, herausgegeben von ATV-DVWK und VKS, Hennef, Köln