

Ergebnisse von aktuellen Aufgrabungen an Deponieabdichtungen: mineralische Basisabdichtungen und Rekultivierungsschichten

Dr. Ulrich Henken-Mellies, LGA – Grundbauinstitut, Nürnberg

1 Einführung

Das Grundbauinstitut der LGA hat im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umwelt Aufgrabungen und Untersuchungen an Rekultivierungsschichten mehrerer Deponien bzw. Versuchfelder sowie an der mineralischen Basisabdichtung der Deponie „Im Dienstfeld“ durchgeführt. Über die Ergebnisse dieser Untersuchungen wird nachfolgend berichtet.

2 Untersuchung der mineralischen Basisabdichtung der Deponie „Im Dienstfeld“

2.1 Veranlassung

Im Rahmen der Ertüchtigung des Sickerwassererfassungssystems der Deponie „Im Dienstfeld“ werden im Jahr 2011 mehrere großkalibrige Baugruben-Schächte bis zur Deponiebasis in den Deponieabschnitten 1 und 2 abgeteuft. Die Freilegung der Basisabdichtung an den Baugrubensohlen bietet die Gelegenheit, Proben zu gewinnen, um die Qualität der Basisabdichtung nach ca. 30 Jahren Betriebszeit zu untersuchen.

Die Basisabdichtung (Bauzeit der Bauabschnitte I und II: 1979 bis 1982) war bereits im Jahr 1994 an mehreren Stellen beprobt und umfassend geotechnisch, geochemisch und mikro-biologisch untersucht worden (im Rahmen des F+E-Projekts E 21 des Bayerischen Umweltministeriums: „Großflächige Untersuchungen der Qualitätseigenschaften an einem 12 Jahre alten mineralischen Deponieabdichtungssystem“). Seinerzeit war festgestellt worden, dass die Qualität der mineralischen Basisabdichtung nach 12 Jahren Betriebszeit die Anforderungen gemäß Planfeststellungsbescheid übertraf und darüber hinaus in der Regel die Anforderungen an Dichte und Durchlässigkeitsbeiwert nach TASI einhielt.

Nun mehr bot sich die Gelegenheit, neue Erkenntnisse über die Langzeit-Beschaffenheit der mineralischen Basisabdichtungen nach ca. 30 Jahren Betriebszeit zu gewinnen.

2.2 Probenahme

An drei Stellen konnten Proben aus der Basisabdichtung gewonnen werden: An der Basis der Schächte KS 1 und KS 2 nahe der Grenze zwischen den Einbauabschnitten EBA I und EBA II (Höhe der Müllschüttung hier ca. 20 – 25 m), sowie an der Basis der Baugrube SS1 am Südrand des Einbauabschnitts EBA I (Höhe der Müllüberschüttung hier ca. 4 m). Der Zustand der Basisabdichtung wurde optisch begutachtet und anschließend wurden tiefenhorizontiert ungestörte Proben für geotechnische und chemische Untersuchungen entnommen.



Abb. 1: Freigelegte Basisabdichtung in der Baugrube SS1, Deponie „Im Dienstfeld“

Abbildung 1 gibt einen Eindruck von den vorgefundenen Verhältnissen an der Deponiebasis. Unter dem überwiegend nur schwach feuchten Müll folgt die Entwässerungsschicht, die aktuell nur sehr geringe Mengen an Sickerwasser führte. Eine ca. 1- 2 cm starke Grenzschrift zwischen Entwässerungsschicht und mineralischer Dichtungsschicht ist schwärzlich verfärbt. Darunter folgt das rotbraune tonige Dichtungsmaterial der Basisabdichtung.

Aus den oberen Bereichen der freigelegten Basisabdichtung in den Schächten bzw. der Baugrube wurden ungestörte Bodenproben entnommen und im geotechnischen Labor des LGA-Grundbauinstituts untersucht. Der Schwerpunkt der Untersuchungen betraf die Parameter Wasserdurchlässigkeit und Verdichtung. An einigen Proben wurden darüber hinaus weitere Parameter untersucht (Korngrößenverteilung; Proctorversuch; Gesamtkarbonatgehalt; Wassergehalt; Wasseraufnahmevermögen). Weitere Proben wurden chemisch untersucht. Die Auswertung der chemischen Analysen ist noch im Gange.

2.3 Ergebnisse

Die wichtigsten Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen sind nachfolgend in den Abbildungen 2 und 3 grafisch zusammengefasst.

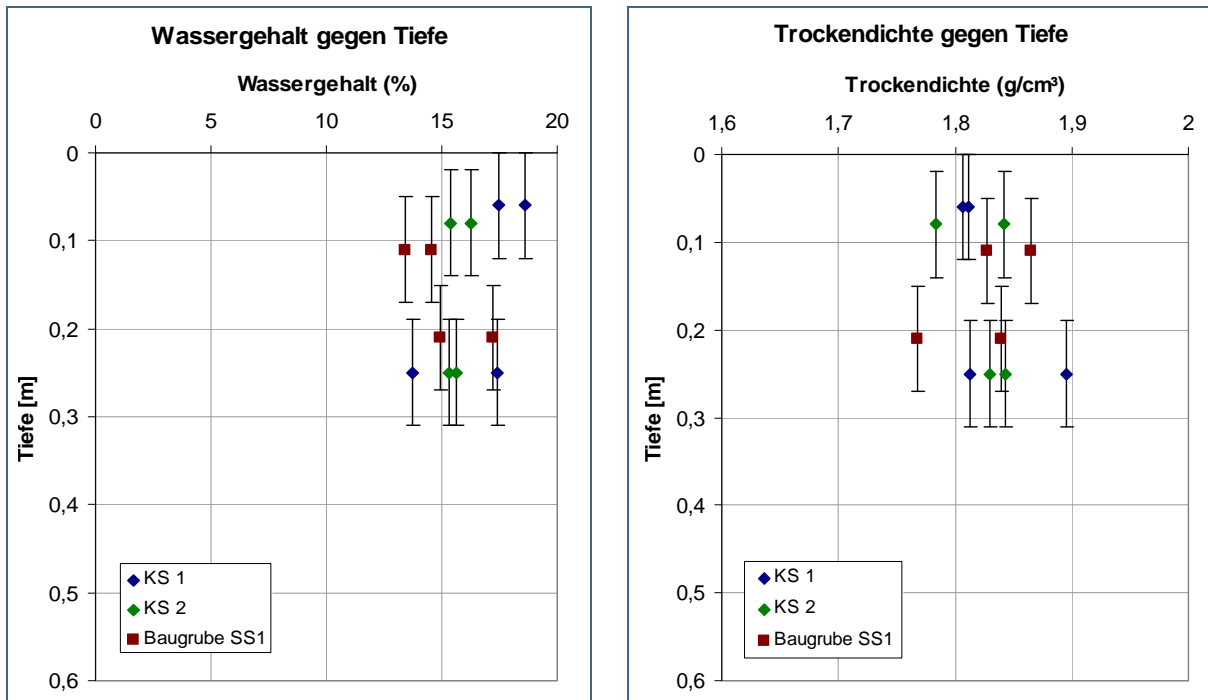


Abb. 2: Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen der Basisabdichtung: Wassergehalt und Trockendichte.

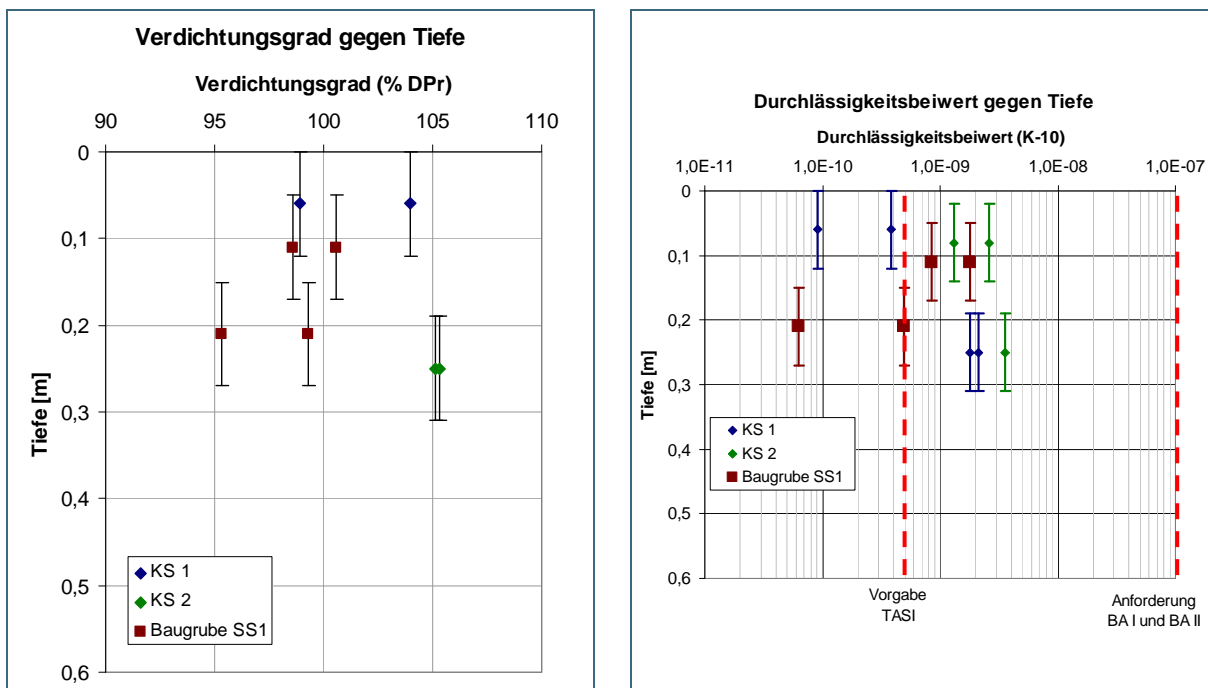


Abb. 3: Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen der Basisabdichtung: Verdichtungsgrad (in % der Proctordichte) und Durchlässigkeitsbeiwerte.

Die Wassergehalte in der mineralischen Abdichtung liegen zwischen ca. 14 % und 18 %. Der optimale Wassergehalt des Materials liegt bei 14 % - 17 %. Somit liegt der Wassergehalt der Dichtungsschicht nach wie vor im Bereich des Optimums, bzw. leicht auf dem „nassen Ast“. Es liegen keine Anzeichen für eine etwaige Austrocknung der mineralischen Basisabdichtung vor. Die Trockendichte beträgt 1,76 bis 1,9 g/cm³; der Verdichtungsgrad liegt bei 96 % bis 105 % der Proctordichte. Die Durchlässigkeitsbeiwerte liegen zwischen $6 \cdot 10^{-11}$ und $4 \cdot 10^{-9}$ m/s.

Diese Werte entsprechen in etwa den Befunden, die auch bei den Aufgrabungen im Jahr 1994 ange-
troffen worden waren. Die seinerzeit beim Bau der Basisabdichtung der Bauabschnitte I und II gel-
tende Anforderung an den Durchlässigkeitsbeiwert von $< 1 \cdot 10^{-7}$ m/s wurde im Jahr 1994 und erneut bei
den aktuellen Untersuchungen weit unterschritten.

Als Fazit bleibt festzustellen, dass die geotechnischen Eigenschaften der mineralischen Basisabdich-
tung im Laufe der ca. 30 Betriebsjahre konstant geblieben sind und dass die Abdichtung ihre Funktion
nach wie vor voll erfüllt.

3 Untersuchung von Rekultivierungsschichten

Im Rahmen des LfU-Auftrages zur wissenschaftlichen Betreuung der Oberflächenabdichtungs-
Versuchsfelder auf der Deponie „Im Dienstfeld“/ Aurach wurden an den Rekultivierungsschichten die-
ser Versuchsfelder sowie an zwei weiteren Rekultivierungsschichten Aufgrabungen durchgeführt.

An den Rekultivierungsschichten wurden jeweils bodenkundliche Profile aufgenommen und untersucht
(Lagerungsdichte, nutzbare Feldkapazität, Luftkapazität). Ziel der Untersuchungen war es, verglei-
chende Erkenntnisse über die langfristige Effektivität von Rekultivierungsschichten / Wasserhaus-
haltsschichten in Abhängigkeit von Parametern wie Materialwahl, Einbauverfahren, Vegetation und
weiteren Standortfaktoren zu gewinnen.

3.1 Versuchsfeld E 35F

Das Versuchsfeld E 35F besteht aus zwei Teilfeldern, die sich nur hinsichtlich der Dicke der Rekulti-
vierungsschicht unterscheiden; ansonsten ist ihr Aufbau identisch:

- 0,2 m Oberboden (Sand, schluffig, humushaltig) mit Vegetation,
- 1,8 m (im Teilfeld 1) bzw. 1,3 m (im Teilfeld 2) Unterboden aus schluffigem Sand.

Der Bau des Versuchsfeldes fand im Herbst 2001 statt. Die Rekultivierungsschicht wurde in zwei La-
gen mit einer Moorwalze vor Kopf von oben nach unten eingebaut. Die Einbaudichte wurde baubeglei-
tend von der LGA überprüft und wies Werte von $1,5 \text{ g/cm}^3$ bis $1,8 \text{ g/cm}^3$ auf. Im Mai 2002 wurden
nochmals ungestörte Bodenproben entnommen (im Zuge des Einbaus von in-situ-Messinstrumenten).
Dabei wurden Trockendichten von zumeist $1,66$ bis $1,71 \text{ g/cm}^3$ gemessen.

Vegetation: Die Erstbegrünung des Versuchsfeldes E 35F erfolgte im Jahr 2001 mit einer handelsübli-
chen Gras-Kraut-Saatmischung. In der Zwischenzeit hat sich eine natürliche Vegetation eingestellt,
die aus Gräsern, Kräutern (darunter u. a. auch Tiefwurzler wie Disteln, Hornklee, Ampfer) sowie ab-
schnittsweise einer dominierenden Buschvegetation (vor allem Brombeeren) besteht. Die Vegetation
unterliegt keiner regelmäßigen Pflege.

Zur Gewinnung von ungestörten Bodenproben für die bodenkundlichen Untersuchungen wurde im Juli
2010 im Teilfeld 1 (Dicke der Rekultivierungsschicht: 2,0 m) ein abgetreppter Baggerschurf mit den
Tiefenstufen 0,2 m / 0,6 m / 1,0 m / 1,4 m angelegt (s. Abb. 4). Aus den jeweiligen Tiefenstufen wur-
den mittels Stechzylinder ungestörte Bodenproben gewonnen.



Abb. 4:
Fotodokumentation:
bodenkundlicher
Schurf im Teilfeld 1
(E 35)

An den Wänden des Schurfs war die Durchwurzelungsintensität der Rekultivierungsschicht zu erkennen: Der Oberboden war in einer Stärke von ca. 0,15 m stark durchwurzelt. Bis 0,6 m Tiefe waren zahlreiche Wurzeln vorhanden; darunter waren bis 1,0 m vereinzelt Wurzeln und bis 1,4 m sehr wenige, dünne Wurzeln zu erkennen.

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Laboruntersuchungen tabellarisch zusammengefasst.

Tab. 1: Zusammenfassung der bodenkundlichen Laboruntersuchungen an der Rekultivierungsschicht des Versuchsfeldes E 35.

Probenbez.	Entnahme-tiefe	Bodenart	Trocken-dichte g/cm ³	Wasser-gehalt Gew.-%	nFK	Luftkapazität
TF 1 / 1	0,2 m	Sand, schluffig, tonig (S, u, t)	1,75	14,5	7,3%	4,0%
TF 1 / 2	0,6 m	S, u, t	1,67	10,8	9,0%	8,6%
TF 1 / 3	1,0 m	S, u, t	1,74	13,9	12,7%	4,2%
TF 1 / 4	1,4 m	S, u, t	1,73	14,2	12,9%	3,5%
<i>Zum Vergleich: Tabellenwerte der Bodenkundl. Kartieranleitung für schwach lehmigen Sand mit hoher Lagerungsdichte:</i>					17%	10%

Die Trockendichte der Bodenproben liegt zwischen 1,67 und 1,75 g/cm³ und hat sich damit gegenüber der Untersuchung im Jahr 2002 (1,66 – 1,71 g/cm³) nochmals leicht erhöht. Der Boden der Rekultivierungsschicht ist offenbar im Laufe der 8 Jahre durch Sackung unter Eigengewicht etwas weiter verdichtet.

Gemäß Bodenkundlicher Kartieranleitung wird eine Rohdichte von 1,65 - 1,85 g/cm³ als „hohe Dichte; pt4“ bezeichnet. Die nutzbare Feldkapazität (nFK) des Unterbodens beträgt 9 - 13 Vol.-%; die Luftkapazität (LK) liegt zwischen 3,5 und 8 %. Gemäß den Tabellen der Bodenkundlichen Kartieranleitung wären für einen schwach lehmigen Sand bei hoher Lagerungsdichte eine nFK von 17 % und eine LK von 10 % zu erwarten. Hier besteht also ein deutlicher Unterschied zwischen den Tabellenwerten der Bodenkundlichen Kartieranleitung und den tatsächlich ermittelten Werten.

3.2 Versuchsfeld E 50

Die Haupt-Fragestellung des Versuchsfeldes E 50 betrifft die Langzeit-Wirksamkeit einer Bentonitmatte als Abdichtungskomponente. Die Rekultivierungsschicht war hier seinerzeit (im Jahre 1998) entsprechend den Mindest-Vorgaben der TASI mit einer Dicke von 1,0 m geplant worden, wobei gezielt ein sandiges Material eingebaut wurde, um die Reaktion der Bentonitmatte auf Trockenstress testen zu können.

Die Rekultivierungsschicht des Versuchsfeldes E 50 besteht aus zwei Schichten:

- 0,2 m Oberboden: Sand, schluffig, humushaltig
- 0,8 m Unterboden: Mittel- bis Grobsand, schwach schluffig

Bauverfahren: Wegen der darunter liegenden, empfindlichen dünnen Schichten (Bentonitmatte und Dränmatte) wurden die ersten 0,3 m der Rekultivierungsschicht mit der Baggerschaufel vor Kopf in das Versuchsfeld geschüttet. Anschließend erfolgte der weitere Einbau der Rekultivierungsschicht vor Kopf mittels Planierdrape.

Vegetation: Die Erstbegrünung des Versuchsfeldes E 50 erfolgte im Jahr 1998 mit einer handelsüblichen Gras-Kraut-Saatmischung. In der Zwischenzeit hat sich eine natürliche Vegetation eingestellt, die aus Gräsern, Kräutern (darunter u. a. auch Tiefwurzler wie Disteln, Hornklee, Ampfer) sowie einzelnen Büschen (z. B. Heckenrosen, Brombeeren) besteht. Die Vegetation unterliegt keiner regelmäßigen Pflege.

Im Versuchsfeldes E 50 wurde ein Baggerschurf bis 0,7 m Tiefe angelegt, um die Rekultivierungsschicht optisch begutachten und schichtenweise Proben für geotechnische und bodenkundliche Laboruntersuchungen zu gewinnen. Die Fotodokumentation (Abbildung 5) gibt einen Eindruck von der Probenahme.

Der Oberboden besteht aus einem schwach schluffigen, schwach humushaltigen, braunen Sand. Die Durchwurzelung des Bodens ist vor allem auf die obersten ca. 10 cm konzentriert. Darunter ist der Boden augenscheinlich deutlich weniger durchwurzelt. Der Unterboden ist ein homogener schwach schluffiger Mittel- bis Grobsand von gelbgrauer Farbe. Wurzeln waren im Unterboden nur vereinzelt zu erkennen.



Abb. 5: Fotodokumentation: bodenkundlicher Schurf im Versuchsfeld E 50.

Die Ergebnisse der bodenkundlichen Untersuchungen sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tab. 2: Versuchsfeld E 50: Ergebnisse der bodenkundlichen Untersuchungen der Rekultivierungsschicht.

	Oberboden	Unterboden	Unterboden	Zum Vergleich: Tabellenwerte der bodenkundl. Kartieranleitung für grobsandigen Mittelsand
Entnahmetiefe	0,10 – 0,14 m	0,40 – 0,44 m	0,70 – 0,74 m	
Trockendichte in g/cm³	1,415	1,503	1,547	
Porenvolumen in Vol.-%	46,6	43,3	41,6	
Luftkapazität in Vol.-%	19,8	29,0	26,3	25%
Feldkapazität in Vol.-%	26,9	14,2	15,3	13%
Permanenter Welkepunkt in Vol.-%	13,2	7,3	6,5	
nutzbare Feldkapazität in Vol.-%	13,7	7,0	8,8	8,5%

Die Trockendichte des sandigen Unterbodens beträgt ca. 1,5 bis 1,6 g/cm³, was gemäß bodenkundlicher Kartieranleitung als mittlere Dichte (pt3; Dichtebereich: 1,45 - 1,65 g/cm³) anzusprechen ist. Die Luftkapazität des Materials ist hoch; sie beträgt 26 bis 29 Vol.-%. Die nutzbare Feldkapazität des Unterbodens beträgt 7 - 9 Vol.-% und ist damit vergleichsweise gering.

Zum Vergleich: Gemäß Tabelle 56 der Bodenkundlichen Kartieranleitung hat ein grobsandiger Mittelsand bei mittlerer Trockendichte (pt3) eine Luftkapazität von 25 % und eine nFK von 8,5 %. In diesem Fall stimmen also die an den entnommenen Bodenproben bestimmten Werte gut mit den Tabellenwerten überein.

3.3 Wasserhaushaltsschicht der Deponie Weiden-West

Die Oberflächenabdichtung der Deponie Weiden-West besteht aus einer insgesamt 2,3 m dicken Rekultivierungsschicht über einer Dränmatte und einer Kunststoffdichtungsbahn. Die Rekultivierungsschicht ist hinsichtlich ihrer Dicke und Materialbeschaffenheit so ausgelegt, dass sie – im Zusammenwirken mit der geplanten Vegetation – möglichst viel Niederschlagswasser zwischenspeichern und zur Verdunstung bringen kann, so dass auf lange Sicht der versickernde Anteil der Niederschläge gering ist.

Die Rekultivierungsschicht besteht aus den folgenden Schichten:

- 0,15 m Humoser Oberboden: Schluff, sandig, lehmig, humushaltig,
- 1,7 m Rekultivierungsschicht / Wasserspeicherschicht: Schluff, feinsandig, lehmig,
- 0,45 m Schutzschicht: Sand, schwach schluffig
- darunter: Dränmatte und KDB

Um die gewünschte lockere Lagerung der Rekultivierungsschicht erzielen zu können, erfolgte der Einbau mittels Baggerschaufel unter Verwendung eines Schaufelseparators. Die gesamte Schichtstärke wurde einlagig eingebaut. Zur Vermeidung einer Bodenverdichtung wurde streng darauf geachtet, dass die fertig gestellte Fläche nicht befahren wurde.

Der Auswahl und der Anpflanzung der Vegetation wurde auf der Deponie Weiden-West große Bedeutung beigemessen. Als Erstbegrünung und Erosionsschutz wurde eine Kräuter-Saat-Kultur aufgebracht, die mit einer Gehölzsaat (bestehend aus Birken, Kiefern, Eiche und Stieleiche) kombiniert wurde. Anschließend wurde eine große Anzahl von weiteren Gehölzen angepflanzt. Nach einer Zählung der Stadtgärtnerei Weiden befinden sich ca. 20.000 Gehölze pro Hektar auf der Deponie. Aufgrabungen nach 3 - 4 Jahren zeigen, dass bis zu einer Tiefe von 2 m eine deutliche Durchwurzelung der Rekultivierungsschicht zu beobachten ist.

In der Rekultivierungsschicht / Wasserhaushaltsschicht der Deponie Weiden-West wurden am 28.06.2010 zwei Schürfe angelegt (je einer auf der Nordflanke und auf der Südflanke der Deponie). Diese wurden im Auftrag der Stadt Weiden von Frau Dipl.-Geoökol. Rupp (Büro Rupp Bodenschutz, Grafenwöhr) hinsichtlich der Durchwurzelungsintensität aufgenommen. Die gleichen Schürfe wurden von der LGA zur Entnahme ungestörter Bodenproben zur Bestimmung der nFK herangezogen. Dabei wurde in beiden Schürfen das folgende Bodenprofil aufgenommen (vgl. auch Abb. 6):

- 0,0 – 0,1 m: Feinsand, schluffig, schwach kiesig; humushaltig; dunkelbraun.
- 0,1 – 1,8 m: Feinsand, schluffig, schwach kiesig; locker gelagert; hellbraun.
- 1,8 – 2,0 m: Sand, schwach kiesig; mitteldicht gelagert; dunkelbraun.



Abb. 6:
Bodenkundlicher
Schurf der Rekultivierungsschicht, Deponie Weiden-West

Die Rekultivierungsschicht erwies sich durchgehend als auffällig locker gelagert: Bis zur untersten Entnahmetiefe von 1,6 m konnten die Stechzylinder zur Entnahme der ungestörten Bodenproben von Hand in den Boden eingedrückt werden, ohne Zuhilfenahme des sonst üblichen Hammers. Das gesamte Bodenprofil war durchwurzelt, bis hinein in die sandige Schutzschicht in 1,8 m Tiefe.

Die Ergebnisse der bodenkundlichen Untersuchungen am Material der Wasserhaushaltsschicht der Deponie Weiden-West sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Tab. 3: Zusammenfassung der bodenkundlichen Laboruntersuchungen an der Rekultivierungsschicht / Wasserhaushaltsschicht der Deponie Weiden-West.

Probenbez.	Entnahmetiefe	Trockendichte g/cm ³	Wassergehalt Gew.-%	nFK Vol.-%	Luftkapazität Vol.-%
Sch 3 / 1	0,3 m	1,51	8,1	7,6	25,9
Sch 3 / 2	0,7 m	1,56	9,6	7,7	23,9
Sch 3 / 3	1,1 m	1,56	8,8	8,9	22,7
Sch 3 / 4	1,5 m	1,58	9,3	8,3	22,5
Sch 4 / 1	0,3 m	1,58	8,8	8,9	24,2
Sch 4 / 2	0,7 m	1,51	8,5	8,1	27,3
Sch 4 / 3	1,2 m	1,55	9,6	8,6	25,5
Sch 4 / 4	1,6 m	1,60	9,5	9,6	22,4
<i>Zum Vergleich: Tabellenwerte der Bodenkundl. Kartieranleitung für stark schluffigen Sand mit mittlerer Lagerungsdichte:</i>				24,5	8

Die Trockendichte des Bodens liegt im gesamten Bodenprofil bei 1,5 bis 1,6 g/cm³. Die Luftkapazität weist mit 22 bis 27 Vol.-% hohe Werte auf. Die nutzbare Feldkapazität liegt zwischen 7,6 und 9,6 Vol.-% und ist damit deutlich geringer, als es gemäß der Tabelle der Bodenkundlichen Kartieranleitung für einen stark schluffigen Sand (Su4) zu erwarten gewesen wäre (nFK bei pt3: 24,5 Vol.-%).

3.4 Versuchsfelder auf der Deponie Heinersgrund

Auf der Deponie Heinersgrund (Lkr. Bayreuth) wurden im Jahr 1999 im Rahmen des Projekts E 54 zwei Versuchsfelder zur Untersuchung der Wirksamkeit von Kapillarsperren in Oberflächenabdichtungssystemen eingerichtet. Die Wasserhaushaltsschicht hat in diesem System vor allem die Aufgabe, starke Niederschläge zu puffern und dadurch für einen ausgeglichenen Sickerwasserzufluss zur Kapillarschicht zu sorgen.

Die gewünschte Anforderung an die Vergleichmäßigung des Abflusses aus der Rekultivierungsschicht wird in den Versuchsfeldern hauptsächlich durch die Dicke der Rekultivierungsschicht von 1,5 m erzielt; hinsichtlich der Bodenart wurde ein weites Spektrum von sandigem Schluff bis zu kiesigem Sand zum Einbau zugelassen. Der Einbau erfolgte mehrlagig mittels Raupenbagger vor Kopf.

Eine bodenkundliche Beprobung dieser Rekultivierungsschicht fand im Sommer 2011 statt. Dabei wurden zwei Schürfe angelegt, in denen folgendes zu beobachten war:

- Die Durchwurzelung war in beiden Schürfen vor allem auf die obersten ca. 5 – 10 cm des Profils konzentriert. Darunter waren nur sehr wenige Wurzeln zu beobachten.
- Der Rekultivierungsboden erwies sich gemäß Feldansprache als dicht gelagerter, überwiegend stark schluffiger Sand.

Die Ergebnisse der bodenkundlichen Laboruntersuchungen liegen hier noch nicht vor; auf der Basis der Feldansprache ist davon auszugehen, dass - ähnlich wie im Versuchsfeld E 35 eine sehr geringe Luftkapazität und mittlere Werte der nutzbaren Feldkapazität vorliegen.



Abb. 7: Fotodokumentation: bodenkundliche Schürfe in der Rekultivierungsschicht, Deponie Bayreuth-Heinersgrund

3.5 Vergleich der Durchsickerung der Rekultivierungsschichten

Die Versuchsfelder E 35, E 50 und E 54 sind als Großlysimeter aufgebaut, in denen die Durchsickerung der Rekultivierungsschicht gemessen wird. Die Abbildung 8 zeigt die Jahresdurchschnittswerte der jeweiligen Niederschläge und der Durchsickerung der Rekultivierungsschicht der Versuchsfelder im Gesamt-Vergleich.

Die durchschnittlichen Jahresniederschläge (zum besseren Vergleich wurde jeweils der gleiche Untersuchungszeitraum von 2003 bis 2010 gewählt) liegen in einer sehr ähnlichen Größenordnung von 710 mm (Standort „Im Dienstfeld“/Aurach) und 720 mm/Jahr (Standort Deponie Heinersgrund / Bayreuth).

Demgegenüber zeigen die gemessenen Abflüsse aus den Rekultivierungsschichten deutliche Unterschiede: Die geringsten Abflüsse (ca. 210 mm/Jahr) treten in den Versuchsfeldern E 50 und E 35F (Teilfeld 2) auf. Bei den Rekultivierungsschichten der Versuchsfelder auf der Deponie Heinersgrund treten mit durchschnittlich 280 – 300 mm/Jahr signifikant höhere Abflüsse auf.

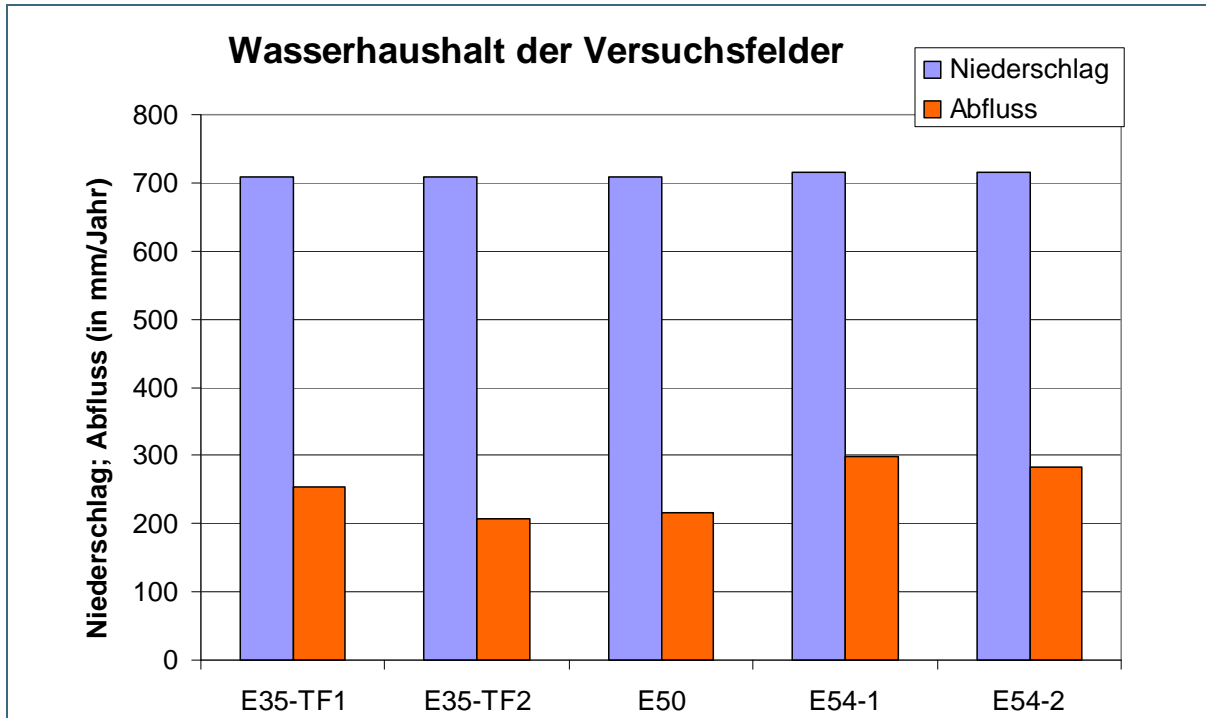


Abb. 8: Vergleich der Rekultivierungsschichten: Durchschnittlicher Niederschlag am jeweiligen Deponiestandort und mittlere Durchsickerung (in mm/Jahr) - Betrachtungszeitraum jeweils 2003 - 2010.

Die Ursachen für die deutlichen Unterschiede in der Höhe der jährlichen Durchsickerung der Rekultivierungsschichten sind nicht unmittelbar klar:

- Das Versuchsfeld E 50 hat eine nur 1,0 m dicke Rekultivierungsschicht, die zudem aus schwach schluffigem Sand mit einer relativ geringen nutzbaren Feldkapazität besteht. Dennoch ist die Durchsickerung hier mit ca. 210 mm/a vergleichsweise gering.
- Das Versuchsfeld E 35F ist in zwei Teilfelder mit gleichem Schichtaufbau unterteilt; der einzige Unterschied besteht darin, dass das Teilfeld TF1 eine 2,0 m dicke Rekultivierungsschicht hat, während sie in TF 2 nur 1,5 m dick ist. Entgegen der Vermutung, dass die dickere Rekultivierungsschicht ein höheres Wasserrückhaltevermögen und daher geringere Durchsickerungen zur Folge haben müsste, ist das Gegenteil der Fall. Möglicherweise spielt hier die recht unterschiedliche natürliche Vegetation, die sich auf den einzelnen Teilfeldern eingestellt hat, eine Rolle.
- In den Versuchsfeldern E 54 treten mit ca. 280 bis 300 mm/a höhere durchschnittliche Durchsickerungen auf.

Die Diskussion der möglichen Ursachen für das unterschiedliche Durchsickerungsverhalten der beschriebenen Rekultivierungsschichten kann hier nur ansatzweise wiedergegeben werden. Die Ergebnisse zeigen unter anderem:

- Die Dicke der Rekultivierungsschicht wirkt sich nicht in Form einer einfachen proportionalen Abhängigkeit auf die Durchsickerung aus.

- Die konventionell eingebauten Rekultivierungsschichten aus bindigen Sanden weisen mittlere Werte der nutzbaren Feldkapazität aber sehr geringe Luftkapazitäten auf. Sie zeigen gleichfalls nur eine überwiegend flache Durchwurzelung. Diese Rekultivierungsschichten können zwar viel Wasser speichern, aber die Pflanzen sind aufgrund der dichten Bodenstruktur nicht in der Lage, das in den unteren Bereichen der Rekultivierungsschicht vorhandene Bodenwasser-Angebot zu erschließen.

3.6 Folgerungen für Planung und Bau von Rekultivierungsschichten

Die vergleichende Auswertung der Wasserhaushaltsdaten zeigt, dass die Schichtdicke allein keine hinreichende Bedingung für die Minimierung der Durchsickerung darstellt. Erst im Zusammenhang mit einer intensiven Vegetation, deren Wurzelwerk auch die tieferen Bereiche der Rekultivierungsschicht erschließt, sind die Voraussetzungen für eine hohe Evapotranspirationsleistung gegeben.

Bei der durchgehend locker gelagerten Rekultivierungsschicht der Deponie Weiden-West, die bereits bis zu 2 m Tiefe durchwurzelt ist, ist mit Weiterentwicklung der intensiven Vegetation mit einem deutlichen Rückgang der Durchsickerung zu rechnen.

Zwischen der Luftkapazität und der Durchwurzelungsintensität ist ein deutlicher Zusammenhang zu erkennen: Die weiten Grobporen im Boden ermöglichen ein ungehindertes Wurzelwachstum. Dies ist hinsichtlich der Maximierung der Evapotranspiration erwünscht. Andererseits kann das Niederschlagswasser durch die weiten Grobporen rasch absickern.

Die durchgeführten bodenkundlichen Laboruntersuchungen haben auch gezeigt, dass die tatsächlichen Werte der nutzbaren Feldkapazität und der Luftkapazität des Bodens deutlich von den Tabellenwerten der Bodenkundlichen Kartieranleitung abweichen können. Die Tabellenwerte wurden auf Basis von Untersuchungen an natürlich entstandenen Böden erarbeitet. Diese Werte sind nur eingeschränkt auf künstlich eingebaute Böden übertragbar und dürfen keinesfalls unkritisch oder schematisch angewandt werden.

Die dicken (1,5 m bzw. 2,0 m), aber nicht locker eingebauten Rekultivierungsschichten erzielen zusammen mit dem Bewuchs keine überdurchschnittliche Evapotranspirationsleistung und keine erkennbare Verringerung der Durchsickerung. Dies ist auf eine geringe Durchwurzelung der unteren Bodenschichten zurückzuführen, was andererseits hinsichtlich des Schutzes von darunter liegenden austrocknungsempfindlichen Abdichtungskomponenten vorteilhaft ist.

Bei der Planung und Bemessung von Rekultivierungsschichten sollte vorab geklärt werden, ob vorrangig die Minimierung der Durchsickerung oder der Schutz von darunter liegenden Abdichtungskomponenten gewünscht wird. Hierfür sind teilweise gegenläufige Anforderungen zu erfüllen.

4 Schlussbemerkungen

Die Untersuchung der über 30 Jahre alten mineralischen Basisabdichtung zeigt, dass das Dichtungsmaterial auch nach 30 Betriebsjahren der Deponie seine Abdichtungsfunktion voll erfüllt. Hinsichtlich der Wirksamkeit von mineralischen Abdichtungskomponenten in Basisabdichtungen untermauert dieser Befund die generelle Expertenmeinung, dass an deren langfristigen Funktionsfähigkeit nicht gezweifelt wird.

Die Untersuchungen an unterschiedlichen Rekultivierungsschichten auf drei Deponien zeigen, dass es kein Patentrezept für die optimale Rekultivierungsschicht gibt. In jedem Einzelfall müssen neben den gesetzlichen Vorgaben im Rahmen der Planung die spezifischen Standortgegebenheiten berücksich-

tigt werden (u. a. Schutzanforderungen der Abdichtungskomponenten, Art und Verfügbarkeit von Bodenmaterial, Vorgaben hinsichtlich Vegetation und Folgenutzung, wirtschaftliche Verhältnismäßigkeit etc.)

Literatur

BARTH, C. (2003): Die Wirksamkeit der Kapillarsperre als Deponieoberflächenabdichtung – Feldversuche auf der Deponie Bayreuth. Dissertation, LMU München.

BODENKUNDLICHE KARTIERANLEITUNG (2005): Hrsg. von Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden, 5. Auflage, Hannover.

GALLERSDÖRFER, H. & H. RUPP (2011): Qualifizierter Einbau einer Wasserhaushaltsschicht auf der Deponie Weiden-West und Folgen für die Bodenbeschaffenheit, Bewuchs und Durchwurzelung. in: Tagungsband 22. Nürnberger Deponieseminar 2011.

GDA-EMPFEHLUNG E 2-31 Rekultivierungsschichten, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik – DGGT, Stand: 2011

FID-Begehungen auf Deponien – Anforderungen nach der VDI-Richtlinie 3860 Bl. 3 aus 02/2011

Wolfgang Schreier, Umweltanalytik RUK GmbH

1 Problemstellung und Zielsetzung

Deponiebegehungen mittels tragbaren Flammenionisationsdetektor(FID) zum Nachweis von Gasaustritten an der Deponieoberfläche werden bereits seit den 80er Jahren durchgeführt. Bisher gibt es bei diesen üblicherweise als „FID- Messung“ oder „FID- Begehung“ bezeichneten Untersuchungen keine einheitliche Vorgehensweise zur Messdurchführung. Hieraus resultierten in der Vergangenheit oftmals Messungen auf sehr unterschiedlichen Qualitätsniveaus. Eine Vergleichbarkeit der Messergebnisse unterschiedlicher Institute an gleichen Deponien sowie von Messungen an verschiedenen Deponien war daher kaum möglich.

Da auch zukünftig auf die Ermittlung von Restemissionen aus Deponien nicht verzichtet werden kann, wurde im Rahmen der VDI-Richtlinienreihe 3860 „Messen von Deponiegas“ das seit Februar 2011 im Weißdruck vorliegende Blatt 3 „Messungen von Oberflächenemissionen“ erarbeitet.

Die wesentlichen Inhalte, Anforderungen und Neuheiten dieser Richtlinie werden im Rahmen dieses Beitrages dargestellt.

2 Beschreibung der FID- Methode, Darstellung verschiedener Einflussgrößen und Anforderungen an die Qualitätssicherung

Begehungen mittels Flammenionisationsdetektor (sog. FID-Begehungen) erfolgen zum Nachweis von Gasaustritten an der Geländeoberfläche. Hierbei soll sowohl die räumliche Lage der Gasaustritte als auch deren Intensität ermittelt werden. Die Erfassung und Quantifizierung der Oberflächenemissionen sind stark von verschiedenen äußeren Faktoren abhängig. Allein die diversen Eigenschaften des Probenahmeortes können in kleinsten Bereichen beträchtlich variieren. Zu nennen sind hier die Bodenbeschaffenheit, das Porenvolumen und die Bodenfeuchte. Daraus ergibt sich die Forderung, die Deponieoberfläche möglichst flächendeckend auf Emissionen zu untersuchen. Um dieser Anforderung zu entsprechen, wurde bisher in den meisten Fällen ein quadratisches Messraster über den Deponiekörper gelegt. Die Kantenlänge variierte hierbei im Bereich zwischen 10 bis 50 m. Teilweise wurden in der Vergangenheit auch Begehungen durchgeführt, bei denen immer an den Rastereckpunkten bzw. fest vorgegebenen Punkten eine Aufnahme der Konzentrationswerte erfolgte. Da die Emissionsstellen erfahrungsgemäß große örtliche Schwankungen aufweisen können, erscheint eine Messung an starr vorgegebenen Punkten bzw. auf festen Trassen wenig repräsentativ.

Zur Erzielung einer einheitlichen Messmethodik werden daher in der VDI Richtlinie 3860 die Messrastergröße und die Anzahl der aufzunehmende Messpunkte konkretisiert. Die Untersuchungsfläche ist in quadratische Teilflächen mit einer maximalen Rasterlänge von 25 m zu unterteilen. In jede der so erhaltenen Rasterteilflächen werden vor Ort mindestens zwei zufällig ausgewählte Messpunkte (Mindestabstand 9 m) gelegt. Auffällige Messpunkte der vorangegangenen Begehung (z. B. hohe Konzentrationen) sind in die Auswahl der Messpunkte jedoch wieder einzubeziehen. Die Platzierung der Messpunkte richtet sich auch nach visuellen Eindrücken (z. B. Setzungen oder Vegetationsschäden, Geländeverhältnisse) und olfaktorischen Wahrnehmungen (Deponiegasgeruch). Mit dieser Strategie zur Festlegung der Messpunkte wird sichergestellt, dass bei den regelmäßig durchzuführenden FID-Begehungen nicht die gleichen Messpunkte beprobt werden und somit über einen längeren Zeitraum

eine höhere Flächenverteilung der Messpunkte erfolgt.

Aufgrund der Verdichtung der Abfälle und den zur Abdeckung eingebrachten Zwischenschichten ist die horizontale Gasdurchlässigkeit im Ablagerungskörper in der Regel größer als die vertikale Gasdurchlässigkeit. Damit ist die Wahrscheinlichkeit von Gasaustritten an den Böschungen höher als in flachen Deponiebereichen.

Im Böschungsbereich (ab Hangneigung 1 : 3, entsprechend einem Neigungswinkel von 18°) empfiehlt es sich deshalb, die Anzahl der Messpunkte je Rasterfeld zu verdoppeln.

Messpunkte im Rahmen der FID-Begehung dürfen nicht direkt an Durchdringungen der Deponieoberfläche (z. B. Gasbrunnen oder Schächte) liegen (Mindestabstand 2 m); derartige Einbauten im Deponiekörper sind separat zu beproben und bei der Auswertung gesondert darzustellen.

Werden an einzelnen Messpunkten Konzentrationswerte > 100 ppm ermittelt, so ist in jeder Hauptrichtung um diesen Messpunkt in einer Entfernung von max. 3 m ein weiterer Messpunkt zu setzen (Messpunktverdichtung).

Bei der eigentlichen Messdurchführung wird die Ansaugglocke der Entnahmesonde am jeweiligen Messpunkt mit leichtem Druck vollständig auf den Untergrund aufgesetzt (vgl. Abb. 1), so dass keine Abdichtung gegenüber der atmosphärischen Luft vorhanden ist.

Der Konzentrationswert wird dann bei hinreichend konstanter Messwertanzeige dokumentiert. Dabei darf an jedem Messpunkt eine Messdauer von 30 s zusätzlich zur gerätespezifischen T90-Einstellzeit (siehe VDI 4203 Blatt 2) nicht unterschritten werden.



Abb. 1:
FID- Messung an der
Deponieoberfläche

Die während des Messvorgangs auftretenden Volumenströme sind in nachfolgender Skizze schematisch dargestellt. Wäre der mit dem Gasspürgerät abgesaugte Volumenstrom gleich groß wie der durch die Deponiegasemission an der Saugglocke des Messsystems verursachte Deponiegasvolumenstrom, so wäre die Methankonzentration am FID gleich der Methankonzentration im Deponiegas, d. h. es würde keine zusätzliche Luft beim Messvorgang angesaugt werden.

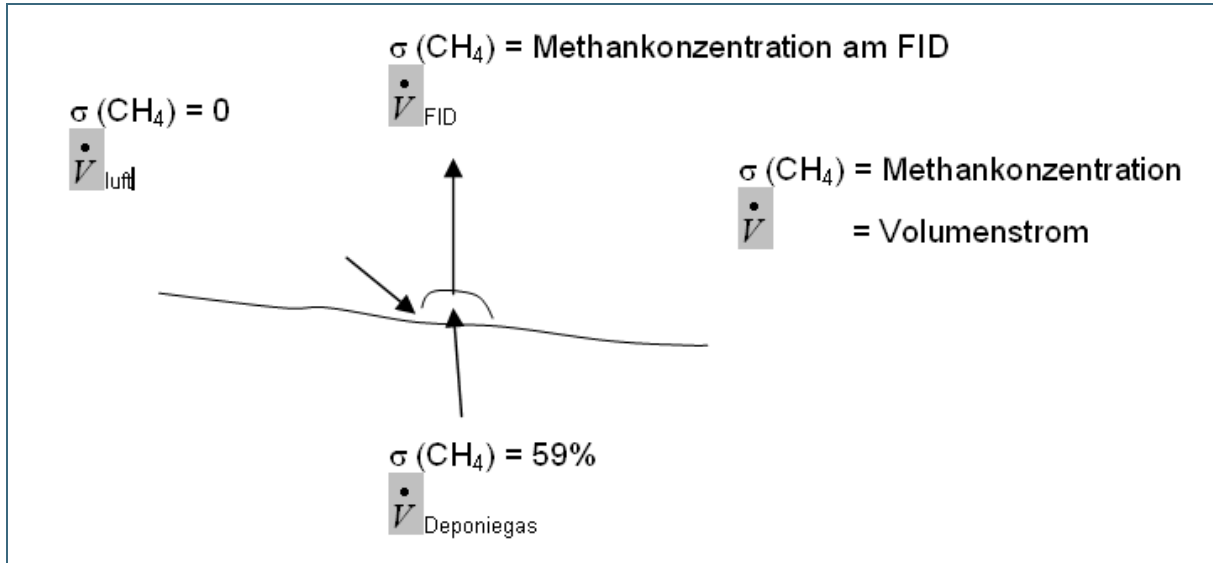


Abb. 2: Messprinzip bei der FID- Messung

Betrachtet man die an Deponien herrschenden realen Verhältnisse und die messgerätespezifischen Eigenschaften, so wird deutlich, dass dieser Fall nicht vorkommen kann. Die tatsächlich vorhandenen durchschnittlichen flächigen spezifischen Restemissionen liegen in der Größenordnung von $4 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ bis zu $40 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$. Bei punktuell auftretenden Emissionen konnten in Ausnahmefällen Spitzenwerte bis $1.200 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ermittelt werden. Gerätetechnisch bedingt benötigt der Flammenionisationsdetektor zur Messung jedoch einen konstanten Messgasvolumenstrom, welcher je nach Fabrikat zwischen $45 - 120 \text{ l/h}$ liegt. Rechnet man den über die Saugglocke entnommenen Volumenstrom auf die Fläche von 1 m^2 um, ergibt sich bei den handelsüblichen Messgeräten eine spezifische Absaugrate im Bereich von 5.700 bis ca. $42.000 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$. Hieraus wird ersichtlich, dass die gerätespezifische Messgasmenge deutlich über den auftretenden spezifischen Restemissionen liegt. Daher wird beim Ansaugen des Gases an der Oberfläche bei der Durchführung der Messungen stets Umgebungsluft mit angesaugt, was zu einer entsprechenden Verdünnung führt. Um eine Vergleichbarkeit der Messergebnisse zu ermöglichen, muss daher der Probenahmestrom des Gesamtsystems konstant und definiert sein. Gemäß VDI 3860 Blatt 3 soll dieser $60 \text{ l/h} \pm 10 \text{ l/h}$ betragen. Der Messgasdurchfluss des Gesamtsystems ist zumindest zu Beginn und am Ende eines jeden Arbeitstages zu überprüfen. Je nach Typ und Alter der Akkus, die zum Betrieb des Messgerätes eingesetzt werden, sind kürzere Zeitintervalle für diese Kontrollmessungen empfehlenswert. Abweichungen vom anfänglichen Volumenstrom um mehr als 10% sind nicht zulässig und im Messprotokoll gesondert zu vermerken.

Neben den bisher beschriebenen Einflussfaktoren auf das Messergebnis sind noch messgerätespezifische Fehlerquellen/Unsicherheitsfaktoren zu nennen. Dies sind im Wesentlichen:

- Nullpunktdrift des Messgeräts durch gerätespezifische Bauart oder unabsichtliches Verstellen des Nullpunkts
- Linearität des Messsignals
- Veränderung des Messgasvolumenstroms
- Instabilitäten des Messsignals durch mechanische Erschütterung des Messgeräts
- Undichtigkeiten im Probenahmesystem

Messgerätespezifische Fehler können durch regelmäßige Funktionsprüfung und Kalibrierung ausgeschlossen werden. Für die verwendeten FID- Geräte ist hierbei eine arbeitstägige Überprüfung mit unterschiedlichen Prüfgaskonzentrationen erforderlich. Aufgrund der zu überprüfenden Konzentrationsbereiche sollten hierbei Prüfgase mit Methankonzentrationen von 100 ppm und 1.000 ppm verwendet werden. Die ermittelten Daten sind fortlaufend zu dokumentieren und die jeweils letzten 30 Kalibrierungen/Prüfungen des FID gemeinsam auszuwerten. Anlage 1 dieses Beitrags zeigt ein Formblatt einer solchen Auswertung. Übersteigt die relative Standardunsicherheit des Messgerätes in einem der beiden zu überprüfenden Bereiche einen Wert von 10 % ist das Gerät für die Messung nicht einsetzbar und sollte durch eine Servicefachkraft gewartet werden.

Als weitere Unsicherheitsfaktoren sind methodische Fehler zu beachten. Im wesentlichen handelt es sich hierbei um

- Messdatenaufnahme vor Erreichen der gerätespezifischen T90-Einstellzeit
- Aufsetzen der Messglocke auf die Oberfläche mit unterschiedlichem Druck oder in unterschiedlicher Höhe

Zur Vermeidung solcher Durchführungsfehler sollte bei jeder Begehung die Messunsicherheit z. B. durch die Auswertung von Doppelbestimmungen in Anlehnung an Richtlinie VDI 4219 bestimmt werden. Auf Grund der weiten Messspanne soll die Standardunsicherheit für die Emissionsklassen 10 - 100 ppm, 101 - 1.000 ppm und 1.001 - 10.000 ppm getrennt ermittelt werden. Durch diese Vorgehensweise kann die Standardunsicherheit des eigentlichen Messvorgangs qualitativ ermittelt werden. Übersteigt sie einen Wert von 10 %, sollte die Messeinrichtung und deren Handhabung überprüft werden. Standardunsicherheiten größer 15 % entsprechen erfahrungsgemäß nicht den Anforderungen an eine qualitativ abgesicherte Messdurchführung. Die Durchführung der Doppelbestimmungen liefert ein Qualitätsmerkmal der eigentlichen Messdurchführung. Das Auffinden der Gasaustrittsstellen kann durch diese Methode nicht überprüft und abgesichert werden. Dies kann lediglich durch den Einsatz von qualifiziertem und erfahrenem Personal sichergestellt oder durch annähernd zeitgleiche Vergleichsmessungen dokumentiert werden.

3 Zusammenfassung der wesentlichen Anforderungen der VDI 3860 Blatt 3

Gemäß der VDI-Richtlinie 3860 sollte bei der Durchführung von FID- Begehungen wie folgt vorgegangen werden:

Vorbereitung der Messungen

- Erstellung eines Lageplans mit Eintragung des Messrasters. Die Rasterfelder sollen hierbei eine maximale Kantenlänge von 25 m aufweisen. Im Böschungsbereich ab Hangneigung 1:3 ist die Anzahl der Messpunkte zu verdoppeln.
- Funktionsprüfung des FID und aller eingesetzten Messgeräte

Durchführung der FID- Messung

- Zu Beginn und Ende eines jeden Messtages ist eine Empfindlichkeitsprüfung mit Methanprüfgasen von 100 ppm und 1.000 ppm durchzuführen. Die maximale relative Standardabweichung der Ergebnisse der letzten 30 Prüfungen darf in jedem geprüften Bereich 10 % nicht überschreiten.

- Zu Beginn und Ende eines jeden Messtages ist der Volumenstrom des FID zu überprüfen. Treten bei der Prüfung des Messgasdurchflusses Abweichungen von > 10 % des Anfangswertes auf, ist dies im Messprotokoll zu vermerken. Die Messung ist dann nur noch eingeschränkt verwertbar.
- In jeder Teilfläche sind an mindestens 2 zufällig gewählten Punkten Gaskonzentrationsmessungen durchzuführen. Tritt hierbei an einem Messpunkt ein Konzentrationswert > 100 ppm auf, sind in einem maximalen Abstand von 3 m in jede Hauptrichtung weitere Messpunkte aufzunehmen.
- Je Hektar Begehungsfläche sind mindestens 45 Messpunkte aufzunehmen.
- Gasbrunnen und Schachtbauwerke sind separat zu überprüfen/ zu dokumentieren.
- Die Messunsicherheit des Verfahrens ist zu bestimmen. Dies kann z.B. mit der Doppelbestimmungsmethode erfolgen. Hierzu ist jedoch eine zweite komplette Messkette bestehend aus Personal, FID und Absaugglocke erforderlich.
- Am Ende der Begehung sollten zumindest 20 % der Gasaustrittsstellen mit Konzentrationswerten > 1.000 ppm nochmals überprüft werden.

Aufzunehmende Randbedingungen und einzuhaltende Kriterien

- Temperatur, Luftdruck und Windstärke sind während des Messzeitraums messtechnisch zu erfassen.
- In Messstellennähe sind mindestens stündlich Windstärkenmessungen in 1,5 - 2 m Höhe durchzuführen, bei Windstärken > 4 m/s ist die Messung zu unterbrechen bzw. abubrechen
- Vegetationsverhältnisse und Zustand des Oberbodens sind qualitativ zu beschreiben
- Messabbruch bei einsetzenden Niederschlägen mit starker Vernässung des Bodens
- Bei der Durchführung von FID- Begehungen ist auf das Auffinden punktueller Gasaustritte in den Rasterfeldern besonders zu achten. Das hierzu erforderliche visuelle Erkennen von Stellen mit erhöhten Konzentrationen ist nur mit geschultem und erfahrenem Messpersonal möglich. Daher darf zur Messung nur sachkundiges Personal eingesetzt werden.

Auswertung und Dokumentation

- Messbericht mit allen Randbedingungen und den ermittelten Werten. Aus Gründen der Qualitätssicherung sind hierbei insbesondere die eingesetzten Geräte, deren Kalibrierdaten und das eingesetzte Messpersonal zu benennen.
- Die an den einzelnen Messpunkten ermittelten Methankonzentrationen sind tabellarisch darzustellen, fortlaufend zu nummerieren und tageweise zusammenzufassen. Hierbei ist jeweils die Start- und Endzeit der Begehung anzugeben.
- Die Lage der Messpunkte ist in einen Lageplan der Deponie einzutragen. Für die Bewertung der Ergebnisse ist es zweckmäßig die ermittelten Konzentrationen einer Emissionsklasse zuzuordnen und diese eindeutig zu kennzeichnen.

Anforderungen an die Qualifikation des Personals bzw. Fremdprüfers

- Der Leiter der Messungen sollte auf dem einschlägigen Gebiet Deponiegas sachverständig sein. Er ist zuständig für die Ausarbeitung des Messplanes, der Angaben zur Durchführung sowie zur Auswertung und Ergebnisdarstellung.
- Die Mitarbeiter vor Ort sollten sachkundig sein und Kenntnisse im Umgang mit Deponiegas aufweisen.

Quellenverzeichnis:

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: Handlungsempfehlung Durchführung von Deponiegasmessungen bei Altablagerungen, Altlasten und Grundwasserschadensfällen 34, 2001

Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen: Arbeitshilfe Deponiegas – Konkretisierung der Deponiegasüberwachung gemäß DepSüVO einschließlich Darstellung der eingesetzten Mess- und Auswertverfahren incl. der Fehler- und Grenzwertbetrachtungen. Materialien Band 65, 2004

Schreier, W.: Untersuchung zur Weiterentwicklung der FID-Methode in Baden-Württemberg. In: Trierer Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 17: Stilllegung und Nachsorge von Deponien – Schwerpunkt Deponiegas 2007. Stuttgart: Verlag Abfall aktuell

VDI 3860 Blatt 1:2006-05 Messen von Deponiegas; Grundlagen (Measurement of landfill gas; Principles). Berlin: Beuth Verlag

VDI 3860 Blatt 2:2008-01 Messen von Deponiegas; Messungen im Gaserfassungssystem (Measurement of landfill gas; Measurements in the gas collection system). Berlin: Beuth Verlag

VDI 3860 Blatt 3:2011-02 Messen von Deponiegas; Messungen von Oberflächenemissionen mit dem Flammenionisationsdetektor (Measurement of landfill gas; Measurement of surface emissions using the flame ionisation detector). Berlin: Beuth Verlag

Umsetzung der VDI 3860 Blatt 3 „Messungen von Oberflächenemissionen“ in Bayern

Robert Meder, LfU

1 Einführung

Durch mikrobiologische und chemische Umsetzungsreaktionen kann es im Deponiekörper zu einer Deponiegasbildung kommen. Grundvoraussetzungen hierfür sind unter anderem anaerobe Milieubedingungen und ein hoher Anteil an organischen Abfällen (wie zum Beispiel Siedlungsabfälle). Die Deponiegasbildung verändert sich sowohl quantitativ als auch qualitativ während der Ablagerungs-, Stilllegungs- und Nachsorgephase einer Deponie zusehends. Üblicherweise wird das so entstehende Deponiegas aktiv in einer Entgasungsanlage verwertet oder passiv über Biofilter in die freie Atmosphäre abgeleitet.

Zur Kontrolle der Dichtigkeit des Oberflächenabdichtungssystems als auch zum Nachweis der Wirksamkeit einer Entgasungsanlage werden auf der Deponieoberfläche die Oberflächenemissionen in der Regel mittels eines tragbaren FID-Messgerätes oder eines Laser-Absorptionsspektrometriemessgerätes gemessen. Hier wird zwischen der Eigenüberwachung und der Fremdüberwachung unterschieden. Während Eigenüberwachungen üblicherweise vom Deponiebetreiber selbst durchgeführt werden, erfolgen die Fremdüberwachungen durch externe Prüfinstitute beziehungsweise durch Ingenieurbüros. Bis vor kurzem existierten keine normierten Vorgaben zur Planung und Durchführung einer FID-Messung. Gleiches galt auch für die Auswertung der Messergebnisse.

Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) hat im Februar 2011 die VDI-Richtlinie 3860 Blatt 3 „Messen von Deponiegasen – Messungen von Oberflächenemissionen mit dem Flammenionisationsdetektor (FID)“ als Weißdruck veröffentlicht. Somit stehen erstmals normierte Messverfahren und Messvorgaben zur Ermittlung von Oberflächenemissionen an Deponien zur Verfügung, die den Mindeststandard bei FID-Messungen abbilden.

Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) hat diese Richtlinie als Stand der Technik definiert und mit Schreiben vom 25.02.2011 gegenüber den sieben bayerischen Bezirksregierungen zur Anwendung empfohlen. Mit Umsetzungsschreiben der jeweiligen Regierungen wurden die in den Regierungsbezirken ansässigen Deponiebetreiber aufgefordert, künftig die FID-Messungen nach dieser VDI-Richtlinie durchführen zu lassen beziehungsweise selbst durchzuführen.

2 Anwendungsbereich und Auslegung der VDI-Richtlinie 3860 Blatt 3

Die VDI 3860 Blatt 3 gilt zunächst nicht unmittelbar zum Messen von Oberflächenemissionen mittels eines Laser-Absorptionsspektrometriemessgerätes. Aus der Sicht des LfU sollte jedoch auch für diese Messmethode die VDI 3860 Blatt 3 in Analogie angewendet werden.

Inzwischen konnte das LfU erste Erfahrungen aus den nach dieser VDI-Richtlinie durchgeführten Messungen sammeln, die letzten Endes in das Merkblatt „Deponie-Info 5 „FID-Messungen auf Deponien – Konkretisierung der VDI 3860 Blatt 3“ einfließen konnten. Ziel dieses Info-Blattes ist es, einzelne Anforderungen aus der VDI 3860 Blatt 3 zu konkretisieren bzw. begründbare Erleichterungen aufzuzeigen. Das Info-Merkblatt kann stets unter dem neusten Stand auf der Homepage des LfU heruntergeladen werden.

Der dazugehörige Link lautet:

http://www.lfu.bayern.de/abfall/merkblaetter_deponie_info/index.htm

Das LfU versteht dieses Info-Merkblatt nicht als ein statisches Regelwerk, vielmehr wird angestrebt, dieses Merkblatt bei Bedarf fortzuschreiben bzw. anzupassen. Anregungen und/oder konstruktive Kritik steht das LfU offen gegenüber.

Im Folgenden werden die konkretisierenden Anmerkungen des LfU zu den einzelnen Vorgaben der VDI 3860 Blatt 3, unterteilt in die Themenkomplexe Messvorbereitung, Messdurchführung, Messauswertung und weitere Hinweise, tabellarisch aufgeführt.

Die hier nicht erwähnten Vorgaben/Regelungen der VDI-Richtlinie sind vollumfänglich einzuhalten!

I. Messvorbereitung

Zur Messvorbereitung zählen die Auswahl und die Überprüfung/Kalibrierung der

verwendeten Messgeräte (wie FID-Messgerät bzw. Laser-Absorptionsspektrometriemessgerätes, GPS-Gerät, Windmesser, Wetterstation), die Planung der Messpunkte (Messnetz, Karte), die Beachtung der Meteorologie (Niederschlag, Bodenfeuchte, Luftdruck, Windgeschwindigkeit) sowie vorbereitende Arbeiten auf der Deponie (Betrieb der Aktiventgasungsanlage, Bewuchs).

Tab. 1: Zweifelsfragen Messvorbereitung

Forderung nach VDI	Konkretisierung LfU
Kalibrierung des Messgerätes mit einem Prüfgas vor jeder Messung	Erforderlich Ausnahme: Werden mit dem Messgerät pro Jahr maximal 2 Messungen durchgeführt, genügt die Vorlage der Dokumentation der Wartung und Kalibrierung durch den Hersteller (nicht älter als ½ Jahr zurückliegend).
Überprüfung mit Prüfgas mit 100 <u>und</u> 1.000 ppm Methan (siehe Ziffer 6 „Maßnahmen zur Qualitätssicherung“, 5. Unterpunkt, VDI 3860 Blatt 3).	Erforderlich Ausnahme: Wenn bei der letzten Messung Methanemissionen < 500 ppm detektiert wurden, ist eine Kalibrierung mit Prüfgas mit 100 ppm Methan ausreichend. Wurden mit dem Messgerät pro Jahr maximal 2 Messungen durchgeführt, genügt die Vorlage der Dokumentation der Wartung und Kalibrierung durch den Hersteller (nicht älter als ½ Jahr zurückliegend).
Mobiles Anemometer (Windmesser). (siehe Ziffer 5.2 „Meteorologische Randbedingungen“, VDI 3860 Blatt 3)	Erforderlich Muss bei der Messdurchführung mitgeführt werden. Die Daten einer benachbarten Wetterstation oder der Wetterstation auf der Deponie sind in der Regel nicht aussagekräftig.

Forderung nach VDI	Konkretisierung LfU
<p>Im Böschungsbereich ab einer Neigung von 1 : 3 Verdichtung auf 4 Messpunkte pro Rasterfeld</p> <p>(siehe Ziffer 5.1.2 „Anzahl der Messpunkte“, VDI 3860 Blatt 3)</p>	<p>Nur erforderlich, wenn Schadstellen in der Oberflächenabdichtung sichtbar sind (z. B. Risse) und/oder wenn bei den vorhergehenden Messungen erhöhte Methanemissionen > 50 ppm gemessen wurden.</p>
<p>Geräte zur Bestimmung der Position auf der Deponie (z. B. GPS).</p> <p>(siehe Ziffer 5.5 „Dokumentation der FID-Begehung“, VDI 3860 Blatt 3).</p>	<p>Ein Messpunkt muss zur Überprüfung des Wertes (Evaluierung) wieder auffindbar sein. Dazu kann z. B. eine Markierung mittels Farbe, eine Auspflockung oder eine GPS-Ortung dienen.</p>

II. Messdurchführung

Während der Messung können sich Bedingungen ergeben, die die Messergebnisse deutlich verfälschen, wie z. B. einsetzende Windböen oder starker Regen.

In Tabelle 2 sind Zweifelsfragen bei der Messdurchführung aufgeführt.

Tab. 2: Zweifelsfragen Messdurchführung

Forderung nach VDI	Konkretisierung LfU
<p>Bei Windgeschwindigkeiten > 4 m/s ist die Messung zu unterbrechen, bei dauerhaftem Wind dieser Windstärke ist die Messung abzuberechnen.</p> <p>(siehe Ziffer 5.2 „Meteorologische Randbedingungen“, VDI 3860 Blatt 3).</p>	<p>Bei Messungen auf einer Kunststoffdichtungsbahn (Fehlstellen) liegt die Glocke dicht auf, die Messung muss nicht unterbrochen werden.</p>

Wie in der VDI-Richtlinie beschrieben, reicht der Messbereich handelsüblicher FID-Geräte meist von 1 bis 10.000 ppm (circa 1 Vol.-%). Zeigt das Gerät Werte oberhalb seines Messbereiches an (v. a. an Bauwerken), so sind an dieser Stelle weiterführende Messungen mit einem kalibrierten Gasmessgerät durchzuführen, dessen Messbereich die Erfassung höherer Methankonzentrationen erlaubt.

Nach der VDI-Richtlinie muss im Bericht der Name und die Qualifikation des Probennehmers angegeben werden. Der Leiter der Messungen (in der Regel ein Ing.-Büro) muss fachkundig im Themenbereich „Deponiegas“ sein, der Probennehmer hat die Sachkunde auf dem Gebiet der FID-Messung nachzuweisen.

III. Messauswertung

Die Auswertung und Validierung der Messergebnisse dient der Qualitätssicherung der Messung.

In Tabelle 3 sind Zweifelsfragen bei der Messauswertung aufgeführt.

Tab. 3: Zweifelsfragen Messdurchführung

Forderung nach VDI	Konkretisierung LfU
Ermittlung der Messunsicherheit (siehe Ziffer 9 „Messunsicherheit“, VDI 3860 Blatt 3).	Doppelbestimmungen sind eine mögliche Methode. Im Regelfall reicht eine Abschätzung der Messunsicherheit nach vorhandenen Daten oder Erfahrungen aus.

IV Weitere Hinweise

Dem FID-Untersuchungsbericht sollte ein Foto beigelegt werden, auf dem die Bedingungen (Bewuchs) zu sehen sind.

Die FID-Untersuchungsberichte sollten dem LfU zeitnah zugeschickt werden, damit ggf. darauf reagiert werden kann. Im Deponiejahrbuch reicht dann ein Verweis auf die schon eingereichten Berichte aus.

3 Resümee

Durch die VDI-Richtlinie 3860 Blatt 3 wurden erstmals verbindliche Vorgaben für eine qualifizierte FID-Messung definiert. Mit Umsetzungsschreiben der bayerischen Bezirksregierungen wurden die Deponiebetreiber aufgefordert, künftige FID-Messungen nach dieser Richtlinie durchführen zu lassen beziehungsweise selbst durchzuführen. Mit dem LfU-Info-Merkblatt 5 hat das LfU dargestellt, unter welchen Punkten der VDI-Richtlinie das LfU Erleichterungen beziehungsweise Konkretisierungs- und Erklärungsbedarf sieht und hat entsprechende Empfehlungen ausgesprochen. In einem wichtigen Punkt erfolgte jedoch gegenüber der VDI-Richtlinie eine Verschärfung, nämlich bei der Weitermessung mit einem Gasmessgerät bei erhöhten Methankonzentrationen (Methankonzentrationen größer dem Messbereich des FID-Messgerätes). Nur so ist es für die zuständigen Behörden möglich, an Hand der Untersuchungsergebnisse weitere Maßnahmen (wie zum Beispiel Nachbesserung der Oberflächenabdichtung, Optimierung einer vorhandenen Aktiventgasungsanlage etc.) zu fordern.

In der nächsten Zeit gilt es praktische Erfahrungen mit dieser VDI-Richtlinie zu sammeln. Diese Erfahrungen können auch dazu führen, dass das Deponie-Info-Merkblatt 5 in einigen Punkten überarbeitet und angepasst werden muss. Das LfU hofft auf einen konstruktiven Dialog mit den Deponiebetreibern und den Messinstituten.

Praxiserfahrungen bei FID Begehungen, insbesondere beim Einsatz der Laserabsorptionsspektroskopie

Wolfgang Huber, AU Consult GmbH

Vorstellung AU Consult

- Deponieplanung seit 1993
- FID-Begehungen von Anfang an seit 1993
- Jährlich ca. 40 bis 50 FID-Begehungen

AU Consult GmbH
Friedberger Straße 155
86163 Augsburg



Ausrüstung

- InspectraLaser
- Windmessgerät
- Hygro-/Thermo-/Barometer
- Ultra Mobiler Computer (UMPC) mit GPS Modul (sirf-star 3) Genauigkeit in der Lage ca. 1m
- Auswertesoftware mit CAD
- Im Sommer Autan



AU Consult GmbH
Friedberger Straße 155
86163 Augsburg



Beschreibung der InspectraLaser

- **Hersteller:**
Fa. Gazomat aus Frankreich
- **Vertrieb:**
Fa. Ansyco, Karlsruhe
- **Gewicht:**
ca. 2,7 kg mit Akku
- **ATEX-Zulassung** für den Betrieb in als Ex-Zone eingestuftem Bereichen



AU Consult GmbH
Friedberger Straße 155
86163 Augsburg



Messprinzip des InspectraLasers

Messprinzip:	Laser Spektrometrie
Messbereich:	1 ppm bis 100 Vol.-% CH ₄
Nachweisgrenze:	1 ppm
Messbedingungen:	- 15 bis 40 °C
Ansprechzeit t(90):	4,5 sec
Alarm:	optisch und akustisch
Betriebszeit mit Akku:	ca. 8 Stunden

AU Consult GmbH
Friedberger Straße 155
86163 Augsburg



Vorteile

- Großer Messbereich
- Kein Wasserstoff als Brenngas erforderlich
- Schnelles Ansprechverhalten
- Keine Querempfindlichkeit

AU Consult GmbH
Friedberger Straße 155
86163 Augsburg



Beispiele aus der Praxis



AU Consult GmbH
Friedberger Straße 155
86163 Augsburg



Beispiele aus der Praxis



AU Consult GmbH
Friedberger Straße 155
86163 Augsburg



Beispiele aus der Praxis



AU Consult GmbH
Friedberger Straße 155
86163 Augsburg



Beispiele aus der Praxis



AU Consult GmbH
Friedberger Straße 155
86163 Augsburg



Beispiele aus der Praxis



AU Consult GmbH
Friedberger Straße 155
86163 Augsburg



Beispiele aus der Praxis



AU Consult GmbH
Friedberger Straße 155
86163 Augsburg



Beispiele aus der Praxis



AU Consult GmbH
Friedberger Straße 155
86163 Augsburg



Beispiele aus der Praxis



AU Consult GmbH
Friedberger Straße 155
86163 Augsburg



Beispiele aus der Praxis



AU Consult GmbH
Friedberger Straße 155
86163 Augsburg



Betrieb einer Aktiventgasung mit nachgeschaltetem Biofilter

Helmut Ludwig, Landratsamt Landsberg am Lech



Deponie Egling I + II
örtliche Lage und Bebauung

Landratsamt Landsberg am Lech -
Kommunale Abfallwirtschaft

2

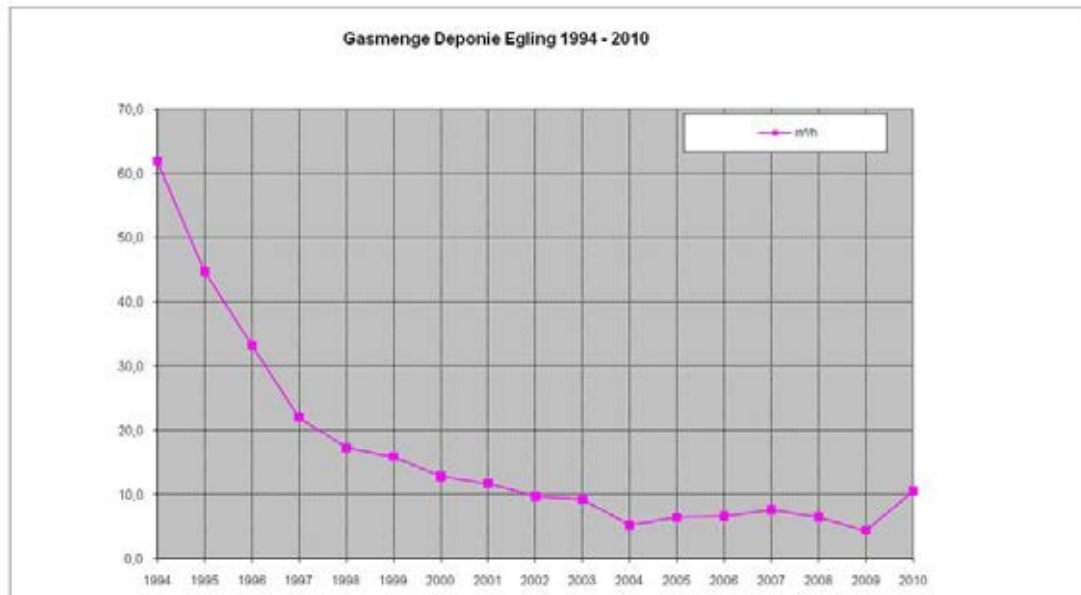
1. Örtliche Situation

- 2 Deponieteile:
ehemalige Kiesgruben als Hangdeponie verfüllt
auskeilen der Kiesschichten bis zum Ortsrand
nächste Bebauung < 100 m zum Deponierand
- Egling I
Verfüllung: Gde, 1982 – 84, 60.000 m³, HM, GM, SM, BS
keine Basisdichtung, O-Dichtung mineralisch
Entgasung 13 Vertikalbrunnen und 2 Randdrän
- Egling II
Verfüllung: 1986-1991, 130.000 m³, HM, GM, SM, BS
Basisdichtung, O-dichtung mineralisch
nach VG-Verfahren Entgasung Deponie I+II notwendig
Entgasung 4 Horizontal- und 7 Vertikalbrunnen

2. Bisherige Entgasung

- 1987 Bau einer Entgasungsanlage der Fa. Hilpert mit gemeinsamer Gassammelstation für beide Deponieteile
Einzelanschluss aller Brunnen
Fackeltemperatur > 800 Grad, bei Durchsatz > 90 m³/h
- ab 1987 Fackelbetrieb
- max. Gasmenge 2 Mio m³/a in 1991/92
- Verstromung 1990 – 95
- ab 1995 automatisierte methanabhängige Abfackelung
- seit 2002 unter 5 m³/h Methan, (70.000 m³/a Deponiegas)
- schwierige Ersatzteilsituation, insb. Messtechnik Bj. 1987
- ab 01.11.2007 Fackel nach TA-Luft nicht mehr zulässig

Entwicklung Gasmengen



Landratsamt Landsberg am Lech -
Kommunale Abfallwirtschaft

5

3. Anforderungen für neue Lösung

- **sichere** und definierte Entgasung bei kleinen und weiter abnehmenden Methanmengen
- weitgehende Methanoxidation
- geringer Überwachungsaufwand, da kein Personal vor Ort
- vertretbare Invest- und Energiekosten
- für eine weitere Laufzeit von ca. 25 Jahren

- 2004-2006 verschiedene Veröffentlichungen zu aktiv und passiv betriebenen Biofiltern,
- Deponie Horb-Rexingen, Lkr. Freudenstadt, BW
- Herr Lehner, Fa. Contec GmbH, Herrenberg

Landratsamt Landsberg am Lech -
Kommunale Abfallwirtschaft

6

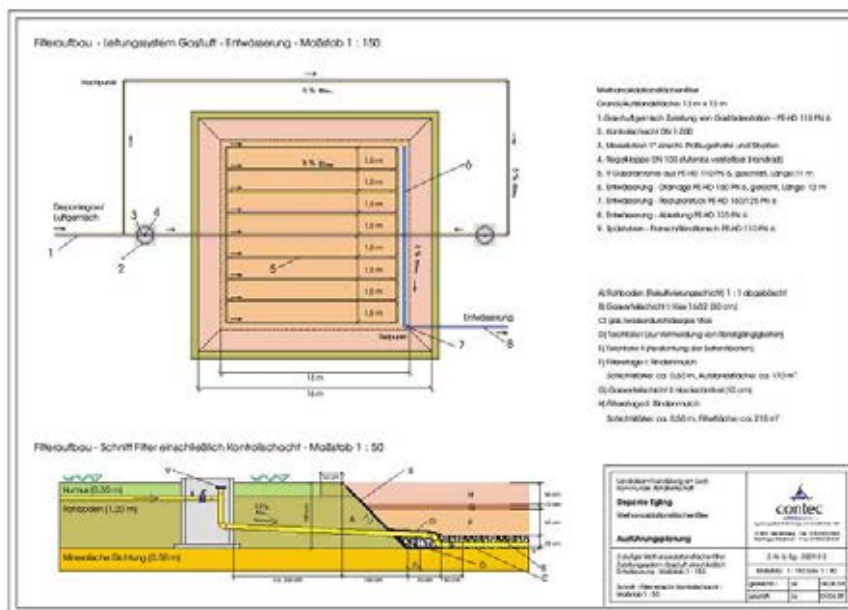
4. Konzeption

- aktive Entgasung der Deponie zur sicheren Vermeidung von unkontrollierten Gasaustritten
- Methanabbau über einen Biofilter, bodeneben eingebaut in die Rekultivierungsschichten der Deponie
- Beibehaltung des noch funktionsfähigen Gasfassungssystems nach dessen Überprüfung
- Ansaugung über vorhandene Gassammelstation
- Ersatz der vorhandenen M+E-Technik durch Neuanlage in Containerbauweise
- langfristig Aerobisierung des Deponiekörpers durch gezielte Übersaugung

Landratsamt Landsberg am Lech
Kommunale Abfallwirtschaft

7

5. Biofilter



8

6. Sicherheitstechnische Konzeption

- Luftbeimischung auf der Saugseite vor dem Gebläse
- Anfahren mit zunächst voll geöffneter Luftklappe, Öffnen der Deponiegasseite nach Start über Motorregelventil, ggf. Zufahren der Luftklappe über Motorregelventil
- sicherheitstechnisch relevante Messungen vor Gebläse
- Heranfahren von unten an die UEG bei einem gefahrenen Wert von 3 % Methan
Voralarm 3,5 % Methan, Not-Aus 5,5 % Methan
- **dadurch kein Durchfahren des Ex-Bereiches beim Start**
- Reduzierung der geförderten Gasmenge sobald Luftklappe zu

7. Betrieb

- Betriebsüberwachung durch Fernüberwachung
- Noch wöchentliche Kontrolle vor Ort Gas und Sickerwasser, Messung der Rohgasqualität wenn $\text{CH}_4 > 3 \%$
- Monatliche Messung der Gasqualität der Brunnen und Nachregulierung der einzelnen Brunnen
- zunächst für ca. 1 Jahr Betrieb mit Luftbeimischung, CO_2 5 bis 10 %, CH_4 reduziert von ca. 60 % auf 3 %
- seit Juli 2011, Betrieb ohne Luftbeimischung, d.h. $\text{CH}_4 < 3 \%$
 CO_2 8 bis derzeit max. 12,8 %, O_2 7- 9 % über Deponie
Einregelung der Gasbrunnen nach max. Methanlieferung
Ziel CH_4/CO_2 - Verhältnis $\leq 0,30$
- Demnächst Reduzierung der Absaugleistung

8. Betriebsergebnisse

- Die abgesaugte Methanmenge ist 2010 gegenüber den Vorjahren angestiegen, zunächst nur ein Zeichen für die Aktivität der Deponie und das Leersaugen der Deponie.
- Der Methananteil im Rohgas hat sich deutlich reduziert, abgesaugte Gasmenge > produzierte Gasmenge
- Weitere Auswirkungen auf die Deponie, wie z.B. bei der Sickerwasserzusammensetzung, Temperatur in der Deponie konnten noch nicht beobachtet werden.
- Methanwerte am Biofilter bis 200 ppm

9. Kosten

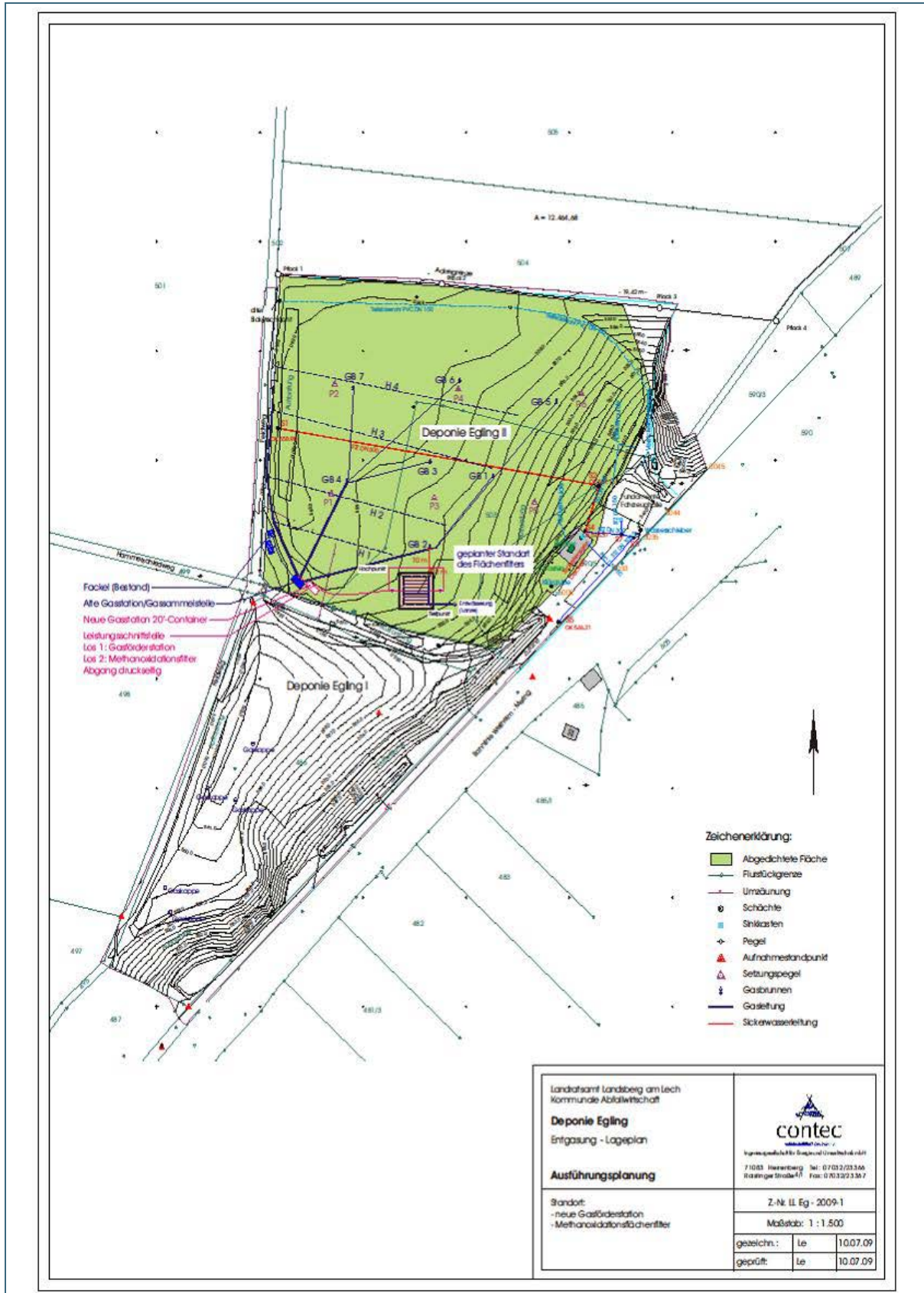
- **Investitionskosten**
 - Biofilter 62.000 €
 - Anlagentechnik 100.000 €
- **Betriebskosten**
 - Personal, ca. 2 Std. pro Woche
 - Stromverbrauch ca. 8.000 kWh
 - Wartungsvertrag
 - Filtermaterial ???

10. Dank und Hinweise

- Herrn Lehner, Fa. Contec, 71083 Herrenberg, Planer
- Herrn Grosswendt, AWB Landkreis Freudenstadt, Ideengeber (es besteht Gebrauchsmusterschutz für das Verfahren)
- Fa. Lambda, Wuppertal, Lieferant M+E-Technik
- Fa. Haase, Neumünster, Lieferant Biofilter
- LfU, Frau Beer-Pfaller, Konzeption und Genehmigung



Biofilter September 2010



Lageplan Entgasung Deponie Egling

Einsatz von zugelassenen Geokunststoffen im Deponiebau

Ole Syllwasschy, Huesker Synthetic GmbH

1 Einleitung

Geokunststoffe sind inzwischen untrennbar mit der Planung und Ausführung von Deponiebaumaßnahmen verbunden. Angefangen mit der Kunststoffdichtungsbahn als bestuntersuchte Konvektionsperre, die bereits vor der TA Siedlungsabfall im Multibarrierenkonzept ihren Stammsitz gefunden hat, weitergehend mit Trenn- und Filtervliesen, Geosynthetischen Tondichtungsbahnen, Geogittern und anderen Kombinationen aus unterschiedlichsten Kunststoffprodukten.

Ein wesentlicher Vorteil der Geokunststoffe ist, gleichwertige Eignung vorausgesetzt, dass sie klassische, mineralische Baustoffe ersetzen können und somit eine erhebliche Massenminderung in Verbindung mit einer Verringerung des Arbeitsaufwands ermöglichen. Dies führt zu großen Kosteneinsparungen. Die meisten Abdichtungsmaßnahmen sind großflächige Bauvorhaben, die in der Größenordnung von einem halben bis zu mehreren Hektar liegen, so dass bereits Einsparungen von einigen Euro je Quadratmeter die Baukosten merkbar reduzieren.

Vor dem Hintergrund, dass, abgesehen von der Kunststoffdichtungsbahn (KDB) und ggf. den Vliesstoffen, alle Geokunststoffe in der Zeit vor ihrer Zulassung bzw. Eignungsprüfung erst in tlw. langwierigen Einzelfallgenehmigungen projektbezogen eingebaut werden konnten, ermöglicht der seit einigen Jahren stattfindende Prozess der projektübergeordneten Produktgenehmigung den Planern, den Genehmigungsbehörden und den Herstellern schnelle und gesicherte Entscheidungen bzgl. des Bauvorhabens zu treffen. Der aufgrund bis dahin fehlenden bundesweit gültigen technischen Anforderungen an alternative Abdichtungssysteme bzw. deren Komponenten erforderte immer den schwierigen Weg der fallbezogenen Gleichwertigkeitsbetrachtung. Dies fällt mit den jetzt aufgestellten Zulassungen und Beurteilungen weg.

Dieser Vortrag beschränkt sich auf die bereits zugelassenen bzw. eignungsgeprüften Produkte, zeigt deren Anforderungen, Anwendungsmöglichkeiten und gibt einen ausführlichen Überblick zum Stand der in der Zulassung befindlichen Geogitter. Der Einfachheit halber wird im Weiteren der Begriff Zulassung verwendet, auch wenn er evtl. nicht den korrekten Begriff in Abhängigkeit des Produkttyps bzw. der beurteilenden Institution beschreibt.

2 Überblick der Geokunststoffe im Deponiebau

Die im Deponiebau eingesetzten Geokunststoffe können am einfachsten durch ihre Funktionen charakterisiert werden. Diese können folgendermaßen beschrieben werden:

- a) Trennen
- b) Filtern
- c) Dränieren
- d) Schützen
- e) Abdichten
- f) Bewehren

Die Punkte a) und b) werden im Allgemeinen mit Vliesstoffen erfüllt. Der Hauptanwendungsbereich ist sicherlich im Schichtenübergang von fein- zu grobkörnigeren Böden zu sehen, wie z.B. zwischen Re- kultivierungsschicht und Dränschicht bzw. an der Basisabdichtung zwischen Abfall und Dränschicht.

Die Drainage erfolgt mit Dränmatten, welche im Bereich der Oberflächenabdichtung eingesetzt werden können und bei Dicken von ca. 5 - 10 mm die klassische 30 cm Kiesdränschicht ersetzen können. Voraussetzung ist jedoch ein ausreichendes Wasserleitvermögen, welches durch Abflusslänge und Böschungsneigung bestimmt wird.

Geosynthetische Abdichtungskomponenten, wie KDB oder aber auch GTD, müssen wegen ihrer geringen Dicke gegen mechanische Beschädigungen aus größeren Überschüttungsmaterialien geschützt werden. Hier kommen im wesentlichen Schutzvliesstoffe zur Anwendung, die mit unterschiedlichen Flächengewichten den Anforderungen sowohl in der Basis- als auch in der Oberflächenabdichtung angepasst werden können.

Als Abdichtungskomponenten nach e) sind derzeit die Geosynthetischen Tondichtungsbahnen (GTD), die Kunststoffdichtungsbahn (KDB), die Kapillarblockbahn und die Kombikapillarsperre zu nennen. Ihr besonderer Vorteil liegt in der Möglichkeit, eine geforderte mineralische Abdichtungskomponente bei stark reduzierter Schichtstärke und Verlegeaufwand zu ersetzen.

Bewehrungsprodukte nach f) sind hochzugfeste Geogitter unterschiedlicher Struktur, Herstellungsart und Rohstoffe. Geogitter werden im Regelfall dann erforderlich, wenn die Neigung des Abdichtungssystems steiler als ca. 1:3 ausfällt. Sie verhindern das Eintreten des Sonderfalls hangparalleles Gleiten und vermeiden somit große Massenumlagerungen auf zu steil aufgeschütteten Deponiekörpern.

3 Überblick der zulassenden Institutionen und der zugelassenen Produkte

Gemäß Deponieverordnung Anh. 1 [1] gilt für alle Komponenten des Abdichtungssystems, dass sie dem Stand der Technik entsprechen müssen. Eine entsprechende Eignungsfeststellung bzw. Zulassung kann durch die BAM erteilt werden. Die BAM regelt und erteilt die Zulassung für Geokunststoffe wie u. a. KDBs, Schutzschichten, Kunststoff-Dränelemente, Bewehrungsgitter aus Kunststoff sowie Polymere und Dichtungskontrollsysteme.

Die nicht über die BAM geregelten Baustoffe, Abdichtungskomponenten und -systeme dürfen dann eingesetzt werden, wenn sie einem bundeseinheitlich gewährleisteten Qualitätsstandard entsprechen. Die nötigen Qualitätsstandards und Eignungsbeurteilungen werden durch die von der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“ erstellt bzw. bestehende Eignungsbeurteilungen fortgeschrieben.

Für folgende Geokunststoffe bestehen zur Zeit Zulassungen bzw. Eignungsbeurteilungen der BAM:

- | | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| • Kunststoffdichtungsbahnen | GSE, Naue, AGRU |
| • Schutzschichten | Huesker, G ² , Naue |
| • Dränelemente | GSE, Colbond, Naue |
| • Vliesstoffe (Filtern/Trennen) | Huesker, Naue |
| • Geogitter (in Arbeit) | Huesker, Naue |

Durch die LAGA bestehen Eignungsbeurteilungen für folgende Geokunststoffe:

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| • Bentonitmatten | Huesker, Naue, BECO |
| • Kombikapillarsperre | Patent Dr. Sehrbrock |
| • Kapillarblockbahn | G ² |

4 Besondere Produkteigenschaften

Für die unterschiedlichen Geokunststoffe sind je nach Anwendungsgebiet verschiedene mechanische, hydraulische und chemische Eigenschaften festzulegen und zu prüfen. Auf die einzelnen Parameter im Detail einzugehen, würde diesen Aufsatz sprengen, sodass hier auf die Informationen der BAM (insbesondere [2], [9], [10] bzw. die bundeseinheitlichen Qualitätsstandards (BQS) der LAGA (hier [8], [11]), die bei der BAM bzw. der niedersächsischen Gewerbeaufsicht im Internet herunter geladen werden können, verwiesen wird.

Für einige Geokunststoffe lassen sich jedoch je nach Einsatzbereich unterschiedliche Eigenschaften herausstellen, die besonders beachtet werden können, und im folgenden dargestellt werden.

4.1 Schutzschichten

Schutzschichten werden nach den Zulassungsrichtlinien der BAM [2] in drei Gruppen unterteilt.

1. Geotextile Schutzlage und lastverteilende mineralische Schutzlage
2. Schutzschichtsystem aus verpacktem Sand
3. Rein geosynthetische Schutzschicht

Schutzvliesstoffe, wie sie in 1 und 3 benutzt werden können, können aus einer Produktfamilie stammen, welche gleiche Herstellungsart, Rohstoffzusammensetzung und Herstellungsort jedoch unterschiedliche Flächengewichte und somit unterschiedliche mechanische Schutzeigenschaften haben. Sie werden gerade im Bereich der Basisabdichtung als Schutzelement für Kunststoffdichtungsbahnen eingesetzt. Dies meist in Verbindung mit Flächengewichten von $\geq 1200 \text{ g/m}^2$ in Verbindung mit einer mineralischen Schutzschicht der Körnung 0/8 mm von 0,15 m Dicke bis zu einer Auflastspannung von 900 kN/m^2 gemäß [2]. Das 1200 g/m^2 Schutzvlies gilt in der Zulassung repräsentativ für alle Produkte der Familie, so dass Prüfungen zur Beständigkeit und Alterung des Rohstoffes nur an diesem Produkt durchgeführt werden. Im Bereich der Oberflächenabdichtungen kann bereits ein Schutzvlies mit einem Flächengewicht $\geq 800 \text{ g/m}^2$ ohne zusätzliche mineralische Schutzschicht eingesetzt werden. Auf die mineralische Schutzschicht kann an der Basis auch verzichtet werden, wenn das Flächengewicht $\geq 2000 \text{ g/m}^2$ ist und gleichzeitig die mittlere Umgebungstemperatur $\leq 20^\circ \text{ C}$ ist. Voraussetzung ist in beiden Fällen natürlich, dass ein entsprechender Nachweis der Schutzwirksamkeit geführt wurde.



Abb. 1:
Schutzvlies nach
Schutzwirksamkeits-
versuch (2000 g/m^2)

Die wichtigsten Eigenschaften neben dem Flächengewicht für die Zulassung sind die Anforderungen an die Beständigkeit der Geotextilien. Gemäß Tabelle 3 in [2] seien hier nur stichwortartig folgende Eigenschaften aufgelistet:

- Beständigkeit gegen Chemikalien (DIN EN 14414)
- Witterungsbeständigkeit (DIN EN 12224)
- Beständigkeit gegen Mikroorganismen (DIN EN 12225)
- Oxidativer Abbau in Luft (DIN EN ISO 13438)
- Auslaugung (DIN EN 14415)
- Beständigkeit gegen oxidative Alterung (DIN EN ISO 13438)
- Hydrolyse in Wasser (DIN EN 12447)

Als Rohstoff hat sich inzwischen Polypropylen PP für die Vliesstoffe als Material der Wahl festgelegt. Aufgrund seiner chemischen Beständigkeit und seines mechanischen Langzeitverhaltens kann dieser Rohstoff mit den entsprechenden Nachweisen bedenkenlos im Deponiebau eingesetzt werden. In Tabelle 1 wird eine Übersicht über die Langzeiteignung von verschiedenen Polymeren gegeben.

	Polyamid PA	Polyester PET (PES)	Polypropylen PP	Polyethylen PE
Beständigkeit gegen:				
Verdünnte Säuren	0	+	++	++
Konzentrierte Säuren	-	-	+	+
Verdünnte Laugen	+	0	++	++
Konzentrierte Laugen	-	-	++	++
Salze	++	++	++	++
Mineralöl	++	++	0	0
Alkohole	0	0	++	++
Mikroorganismen	+	++	++	++
UV-Licht	+	+	+	+
Trockene Hitze bis 100° C	+	++	+	0
Dampf bis 100° C	+	-	-	-
Kriechneigung	+	++	0	0

++ gut; + ganz gut; 0 ausreichend; - nicht ausreichend

Tab. 1: Langzeiteigenschaften unterschiedlicher Polymere

4.2 Geogitter

4.2.1 Beständigkeit

Zurzeit werden mit der BAM die Zulassungskriterien für Bewehrungselemente im Deponiebau diskutiert. Für den Haupteinsatzzweck als Antigleitbewehrung gegen hangparalleles Gleiten in Oberflächenabdichtungen werden zur Bemessung die GDA-Empfehlungen E 2-7 [3] angewendet. Für Details der Bemessung sei dorthin verwiesen.



Abb. 3: Aufbau einer Rekuschicht auf einer übersteilen Böschung, Österreich

Außerhalb des Deponiekörpers umgeben die Bewehrungsgitter jedoch eher normale Umwelteinflüsse aus mehr oder weniger unbelasteten Böden oder Baustoffen. Die chemische Beständigkeit für Antigleitbewehrungen in Oberflächenabdichtungen ist somit gewährleistet.

Anders kann es jedoch aussehen, wenn Bewehrungselemente in Basis- oder Zwischenabdichtungssystemen eingesetzt werden sollen. Das Eluat aus den abgelagerten Abfällen kann je nach Deponieklasse im Extremfall zwischen $\text{pH} = 4\text{-}13$, unter Umständen sogar darüber hinaus liegen.

Hier sind jedoch beispielhaft die Anforderungen an eine Antigleitbewehrung sehr differenziert zu betrachten. Sollen übersteile Böschungen in der Basisabdichtung errichtet werden, also Neigungen im Bereich 1:3 bis 1:2, so dient die Antigleitbewehrung im Regelfall nur dazu die auf der Böschung aufliegende mineralische Dränschicht zu halten. Die Lasten, die aus ca. 30 cm Dränkies wirken, sind nicht sehr groß, stellen also kein Problem für die Auswahl eines entsprechenden Geogitters dar. Die Nutzungsdauer des Geogitters ist jedoch gerade bei Grubendeponien sehr begrenzt. Denn sobald eine Schüttlage Abfall eingebracht wurde, stellt sich bis zur Oberkante des Abfalls im Randbereich ein Gleichgewicht zwischen Abfallkörper und hangparalleltreibender Dränschicht ein. Zum Zeitpunkt der kompletten Verfüllung der Grube verliert das Geogitter vollständig seine Funktion als Antigleitbewehrung. Der Deponiekörper in sich ist stabil, es können lediglich Setzungen auftreten, die zu erhöhten Lasten in der Bewehrung führen. Diese Setzungen sind jedoch unkritisch, weil sie die Funktion des Geogitters nicht beeinträchtigen. Um sicher zu gehen, dass bereits verfüllte Teilabschnitte keine zu hohen Zugkräfte durch Setzungen erzeugen, bietet es sich an von vornherein die zu verankernden Böschungslängen auf verträgliche Größen zu reduzieren. Eine andere Möglichkeit wäre das gezielte Trennen des Geogitters oberhalb des verfüllten Abschnittes. In diesem Anwendungsfall ergeben sich sogar günstigere Abminderungsfaktoren als in einer Oberflächenabdichtung. Das Geogitter liegt auch hier nicht im unmittelbaren Kontakt zu Abfall, hat also keine höhere chemische Beanspruchung. Der Bemessungszeitraum ist auf den Verfüllzeitraum des Deponieabschnittes begrenzt, liegt also im Bereich von 5 - 10 Jahren statt bei 120 Jahren.

Beim Einbau von Zwischenabdichtungen gilt es jedoch oftmals mit Hilfe von Geogittern die Tragfähigkeit des Abfallkörpers zu verbessern und inhomogene Bereiche, welche zu starken lokalen Setzungen

führen können, ähnlich einer Erdfallüberbrückung abzusichern. Für diese Fälle sind die geosynthetischen Bewehrungselemente sämtlichen chemischen und physikalischen Einflüssen des Abfallkörpers ausgesetzt. In diesen Anwendungsfällen scheidet für langzeitliche Anwendungen u. E. Polymere wie Polyester wegen ihrer geringen Hydrolysebeständigkeit bzw. erhöhten chemischen Empfindlichkeit außerhalb eines „neutralen“ pH-Bereiches und Polypropylen aufgrund seines schlechten Kriechverhaltens aus. PEHD wäre aufgrund seiner chemischen Beständigkeit hervorragend geeignet, jedoch sind die mechanischen Eigenschaften, insbesondere das Kriechverhalten sehr schwach gegenüber den anderen Polymeren. Polyvinylalkohol PVA scheint zur Zeit hier die besten Eigenschaften bei hoher chemischer Beständigkeit und einem auch über die Zeit sehr guten Kraft-Dehnungsverhalten.

4.2.2 Verankerung von Antigleitbewegungen

Der wesentliche Diskussionspunkt bei der Erstellung der Zulassungskriterien ist derzeit die Geogitterstruktur und deren Langzeitverhalten im Verankerungsbereich. Die Fragestellung hierbei ist, wie sich die Knotenpunkte über die Zeit unter Kriech- und Umwelteinflüssen verhalten, und wie das Tragverhalten sich dadurch verändern kann. Die Verbindung der Längs- und Querstränge erfolgt für die Produkte, die im Bereich der Antigleitbewehrungen normalerweise eingesetzt werden, je nach Hersteller durch weben bzw. rascheln oder verschweißen.

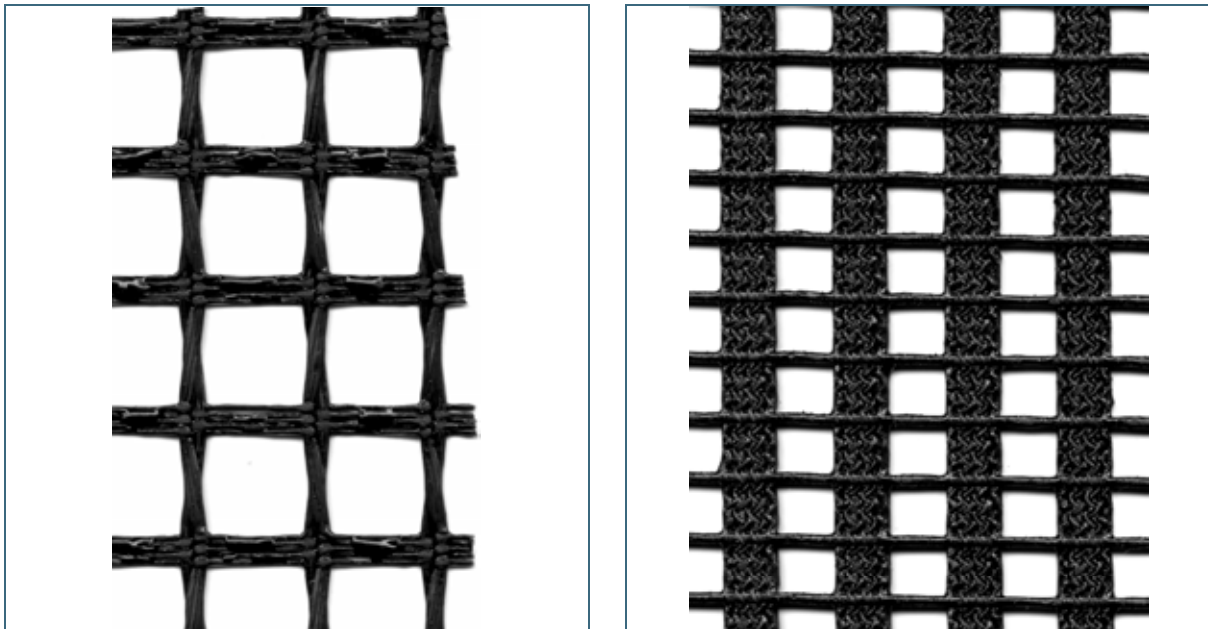


Abb. 3: Beispiele für gewebte und geraschelte Geogitter

Die Art der Verankerung kann unterschiedlich erfolgen. Die einfache, aber mit höherem Material- und Platzbedarf verbundene Variante stellt die flache Verankerung in einer mehr oder weniger horizontalen Ebene dar. Hierbei wird das Bewehrungsgitter flach auf der Berme oder dem Plateau ausgelegt und mit Auflastboden überdeckt. Die Verankerungslänge ergibt sich aus den in der maßgebenden Gleitfuge übertragbaren Schubkräften. Die wesentliche Versagensart hierbei stellt das Gleiten in einer Gleitfuge dar (Abb. 4).

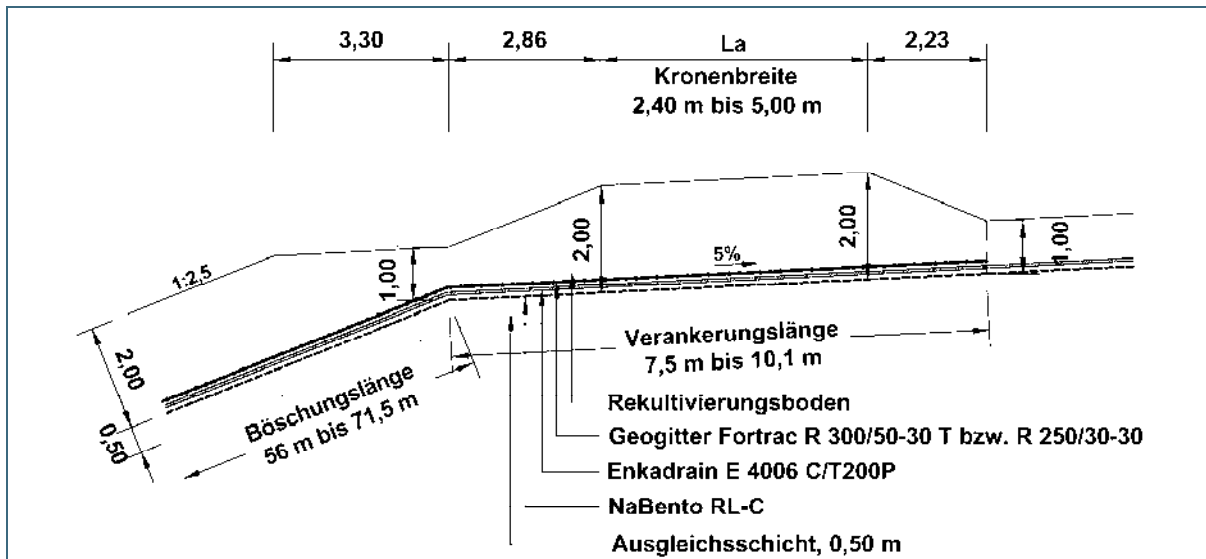


Abb. 4: Beispielhafte Verankerung in der Ebene auf dem Plateau der Deponie

Der Platz- und Materialbedarf kann jedoch reduziert werden, indem das Geogitter in einem Graben verankert wird (Abb. 5 und 6). Durch die im Graben tiefer liegende Gleitfuge können aufgrund der höheren Auflast mehr Schubkräfte aktiviert werden. Ein weiterer großer Vorteil ist jedoch, dass bei dieser Geometrie ein reines Gleitversagen in der kritischen Gleitfuge, meist zwischen Geokunststoffugen, unwahrscheinlich ist, weil der im Graben liegende Bodenkörper kaum über die Böschungskrone rutschen wird. Hier kann zusätzlich, bedingt durch den Versagensmechanismus „Herausziehen“, eine zweite Scherfuge zur Übertragung von Scherkräften herangezogen werden. Diese liegt in der Ebene zwischen Geogitter und Füllboden im Ankergraben. Bedingt durch die höhere Auflast und den teilweisen Ansatz von zwei Scherfugen können so auch in räumlich begrenzten Bereichen, wie z.B. Bermen noch ausreichende Verankerungen ausgeführt werden.



Abb. 5:
Platzsparende Ausführung einer Verankerung in einem Ankergraben

Dieser Wert liegt in Abhängigkeit der Auflastspannung, des Bodens und des Geogittertyps in Größenordnungen von 0,8 - 1,0. λ beschreibt den Anteil an Reibung der zwischen Boden und Geogitter übertragen werden kann. Er findet Eingang in die statischen Berechnungen zur Bestimmung der Verankerungsgeometrie in dem er direkten Einfluss auf die übertragbaren Ankerkräfte nimmt. Die Ermittlung erfolgt an einer produktfrischen Probe und berücksichtigt keine Langzeiteinflüsse.

Zurückkommend zu der Problematik der Kreuzungspunkte wird im Folgenden die prinzipielle Übertragung von Schub- bzw. Ankerkräften durch Geogitter modellhaft beschrieben. Eine tiefergehende Beschreibung ist in [5] nachzulesen. Jeder Typ eines Geogitters besteht aus Längs- und Quersträngen, unabhängig von seiner Herstellungsart. Beide Stränge werden durch den Füllboden bedeckt und somit stehen Korn und Geokunststoff in direktem Kontakt zueinander. Bei einem Herausziehversuch werden die über die Längsstränge eingeleiteten Zugkräfte in das Geogitter im Ankerbereich übertragen. Das bedeutet, dass Kräfte über Reibung zwischen Längssträngen und Boden abgeleitet werden können. Jede Zugbeanspruchung im Längsstrang führt aber auch zu einer Dehnung und somit einer Verschiebung des Querstranges gegen das vor ihm liegende Bodenmaterial. Vor diesem Querstrang baut sich ein Erddruck auf, welcher die Verschiebung des Querstranges behindert und in diesem, analog einer Seilstatik, Zugkräfte aktiviert. Diese Zugkräfte werden in die Knoten weitergeleitet. Der Herausziehwiderstand setzt sich also aus den Komponenten Oberflächenwiderstand und Erdwiderstand zusammen. Weitergehend muss jedoch auch das Kraft-Dehnungsverhalten eines Geogitters berücksichtigt werden. Je stärker ein Geogitter belastet wird, desto stärker fallen die Verformungen aus. Diese sind auch nicht gleichmäßig verteilt, sondern zeigen einen im Frontbereich schnell ansteigenden und nach hinten hin flach abfallenden Bereich an. Ab einer gewissen Dehnung überschreitet der Erdwiderstand die Festigkeit der Knotenverbindung. Es kommt zu einem Bruch oder einer Verschiebung des Knotenpunktes. Dieser Vorgang setzt sich soweit fort, bis ein Gleichgewicht aus eingeleiteten Zugkräften und Widerständen erstellt ist. Er findet derzeit jedoch keinen Eingang in die Bemessung des Verankerungsbereichs, weil über die hier vorgestellten Vorgänge noch keine Fakten bekannt sind und erst Untersuchungsmethoden entwickelt und durchgeführt werden müssen.

Der Langzeiteinfluss aus Dehnung bzw. langfristigem Kriechen und Umweltbelastung auf die Knotenstruktur kann somit im Moment durch die oben beschriebenen Abminderungsfaktoren nicht ausreichend erfasst werden. Es gibt jedoch einen Vorschlag, wie er in der Arbeitsgruppe bei der BAM diskutiert und auch in [5] beschrieben wird. Der Gedanke dabei ist, zwei Geogittertypen zu unterscheiden. Typ 1 wird als Reibungsgitter beschrieben, bei denen der Herausziehwiderstand im Wesentlichen durch Oberflächenreibung erzeugt wird. Die Knotenverbindungen spielen hier eher eine untergeordnete Rolle am Gesamttragverhalten, d. h. Reißen, Aufgehen oder Verschieben verändern nicht den Längsstrang nachteilig oder beschädigen ihn sogar. Typ 2 wird als Erddruckgitter beschrieben. Hier hat der Erdwiderstand, der über die Querstränge und die Knotenpunkte in die Längsstränge übertragen wird, einen großen Einfluss auf den Herausziehwiderstand. Die Knotenpunkte müssen eine entsprechend hohe Festigkeit besitzen und dürfen langfristig nicht versagen.

Im Sinne dieser Diskussion sichere Rechenparameter für die Bemessung der Verankerung können somit für Reibungsgeogitter vom Typ 1 durch modifizierte Herausziehversuche ermittelt werden. Der Verbundbeiwert kann für die reine Oberflächenreibung zwischen Längssträngen und Boden ermittelt werden, indem z.B. die Querstränge und Knotenpunkte vor dem Versuch entfernt werden. Der so ermittelte Verbundbeiwert vernachlässigt somit alle Knoteneinflüsse und kann mechanisch korrekt zur Ermittlung der Ankerlänge genutzt werden.

Für Geogitter vom Typ 2 muss zusätzlich der Nachweis erbracht werden, dass die Knotenpunkte auch langzeitstabil sind. Sie müssen für den Bemessungszeitraum intakt bleiben, dürfen also nicht reißen, brechen oder abschälen. Dies kann nur mit modifizierten Kriech-Herausziehversuchen untersucht werden. Hierfür sind noch entsprechende Untersuchungsmethoden zu entwickeln.

4.3 Geosynthetische Tondichtungsbahnen (GBR-C)

Die Eignungsbeurteilungen von Geosynthetischen Tondichtungsbahnen (GTD bzw. international GBR-C) werden durch die LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“ ausgestellt.

Durch Inkrafttreten der Deponieverordnung [1] am 17.05.2009 wurden TA Abfall [7] und TA Siedlungsabfall [8] aufgehoben. Dadurch wurde auch die Forderung nach einem Regelabdichtungssystem fallengelassen und stattdessen nur noch die Forderung gestellt, ob und wie viele Abdichtungskomponenten je nach Deponieklasse erforderlich sind. Um durch Ermächtigung der DepV bundesweit harmonisierte technische Spezifikationen erstellen zu können, wurde die LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnische Vollzugsfragen“ und nach Ablauf deren Mandates die Ad-hoc-AG „Deponietechnik“ in 2010 gegründet. Auf Basis der Anforderungen der bauaufsichtlichen Zulassungen, die in den 90ern vom DIBt [12] aufgestellt wurden, konnten von den Vertretern der Landesumweltverwaltungen, unter fachlicher Beratung von externen Experten, entsprechende bundeseinheitliche Qualitätsstandards für die geosynthetischen Dichtungsbahnen [8] erarbeitet werden. Dieser Vorgang wird in der „UAG Geosynthetische Dichtungsbahnen“ fortgeschrieben.

Insgesamt sind derzeit drei Hersteller mit sechs verschiedenen Produkten vertreten. Der prinzipielle Aufbau besteht aus einer geotextilen Trägerlage, einer bestimmten Mindestmenge an Bentonit als Dichtungselement und einer geotextilen Decklage. Es gibt drei wesentliche Unterscheidungsmerkmale der Produkte:

- Art und Kombination der Deck- und Trägerlage: Vliesstoff, Gewebe oder Verbundstoff
- Art des Bentonits: Calcium- oder Natriumbentonit
- Herstellungsart des Gesamtprodukts: Vernähen, Vernadeln



Aufbringung von Bentonitmatten

Nach Herstellungsart und Schichtenaufbau können zwei grundsätzliche Bentonitmattentypen unterschieden werden. Die vernadelten Bentonitmatten bestehen im Regelfall aus einer Gewebe und einer Vlieslage und einer Natriumbentoniteinlage. Die vernähten Produkte bestehen aus zwei Gewebelagen und wahlweise einer Natrium- oder einer Calciumbentoniteinlage. Zusätzlich sind die vernähten Produkte an ihrer Oberfläche mit einer Beschichtung und Blähschiefer bedeckt, die einen verbesserten

Scherverbund zu den angrenzenden Abdichtungskomponenten ermöglicht und das Austrocknungsverhalten positiv beeinflussen, d.h. den Wasserverlust verlangsamen.

Die Anforderungen gemäß BQS 5-5 [8] fordern Nachweise für sämtliche Komponenten und das fertige Produkt sowohl im Kurzzeit- als auch im Langzeitverhalten. Sowohl die mechanische und chemische Beständigkeit als auch die Abdichtungswirkung sind dauerhaft nachzuweisen.

Die Abdichtungskomponente Bentonit muss, geprüft am fertigen Produkt, dabei eine maximale Permittivität ψ einhalten, bestimmt aus der Permeationsrate q und der Aufstauhöhe h , die vergleichbar einer rein mineralischen Abdichtungskomponente ist. Diese Anforderungen sind in dem BQS 5-0 [11] geregelt. Hierbei wird für eine 50 cm dicke Tondichtung bei einer Aufstauhöhe von 30 cm eine Permeationsrate von $q \leq 8 \times 10^{-9} \text{ [m}^3/\text{m}^2 \times \text{s}]$ gefordert. Die maximale Permittivität ergibt sich somit zu

$$\text{zul. } \Psi = q/h = 8 \times 10^{-9} / 0,3 = 2,7 \times 10^{-8} \text{ [1/s]}$$

Die auf dem Markt befindlichen Natriumbentonitmatten weisen charakteristische Permittivitäten im Bereich von $\psi_k = 1,9 - 2,8 \times 10^{-9} \text{ [1/s]}$. Die Calciumbentonitmatte liegt bei $\psi_k = 6,2 \times 10^{-9} \text{ [1/s]}$. Aufgrund unterschiedlicher Bentonitmattendicken, charakteristischer Permittivitäten und Anpassungsfaktoren, die sowohl Überlappungen als auch Kationenaustausch berücksichtigen, liegen die Bemessungswerte der Permittivität ψ aller Produkte unter $\text{zul } \psi = 2,7 \times 10^{-8} \text{ [1/s]}$. Dies soll verdeutlichen, dass trotz unterschiedlicher charakteristischer Werte in den Eignungsbeurteilungen, die Bentonitmatten dieselben Anforderungen an den Bemessungswert des BQS 5-0 [11] erfüllen.

Der Kationenaustausch findet insbesondere bei Natriumbentoniten statt, wenn in der umgebenden Bodenmatrix ein entsprechendes Angebot an austauschbaren Ionen, insbesondere Kalziumionen vorhanden ist. Diese Umwandlung von Natrium- zu Calciumbentonit ist im Allgemeinen mit einer Vergrößerung der Permittivität verbunden. Der Einfluss des Kationenaustausches ist in den LAGA-Eignungsbeurteilungen derzeit durch einen Anpassungsfaktor $A_2 = 6,0$ nach Egloffstein [13] berücksichtigt. Dieser Wert kann jedoch nur für Böden angewandt werden, wenn die Salzbelastung der Bodenlösung des Bodens, dies sind Rekussschicht oder Entwässerungsschicht, $0,005 \text{ mol/l}$ (entspricht einer Leitfähigkeit von ca. $1000 \text{ } \mu\text{S/cm}$ in einer Calciumchloridlösung) nicht überschreitet. Natürliche Böden können durchaus Leitfähigkeiten im Bereich von $1000 - 2000 \text{ } \mu\text{S/cm}$ aufweisen. Aus diesem Grund werden weitere Prüfungen erforderlich sein, die an Prüflösungen von ca. $0,01 \text{ mol/l}$ und $0,025 \text{ mol/l}$ und ggf. auch $0,05 \text{ mol/l}$, entsprechend $2000 \text{ } \mu\text{S/cm}$, $5000 \text{ } \mu\text{S/cm}$ und $10000 \text{ } \mu\text{S/cm}$ durchgeführt werden. Die Untersuchungen werden tlw. bereits durchgeführt und die Ergebnisse erlauben dann eine Eignung bestimmter GTDs bei höheren Leitfähigkeiten auch langfristig eine ausreichende Permittivität aufzuweisen. Eine solche Eigenschaft sollte aber nicht dazu führen, dass der durch die Deponieverordnung geforderte Grenzwert der Leitfähigkeit für Rekuböden nach Tabelle 2 [1], der bei $500 \text{ } \mu\text{S/cm}$ liegt, systematisch überschritten wird.

5 Zusammenfassung

Die in diesem Aufsatz angerissene Punkte stellen den aktuellen Stand der durch Zulassung geregelten Produkte und der derzeit in Diskussion befindlichen Anforderungen für Geokunststoffe vor. Die Erstellung von klaren Anforderungsprofilen an die Zulassung von Geokunststoffen ist in Verbindung mit dem Inkrafttreten der Deponieverordnung ein großer Schritt hin zu einer vereinfachten und nachvollziehbaren Möglichkeit alternative Abdichtungskomponenten im Deponiebau sowohl in der Planung als auch der Genehmigung zu berücksichtigen. Die Zulassung bietet dem Planer und seinem Auftraggeber Planungssicherheit und der Genehmigungsbehörde Rechtssicherheit bei der Beurteilung der Gleichwertigkeit von geosynthetischen Komponenten im Vergleich zu mineralischen Baustoffen. Die wesentlichen Funktionen, die von Geokunststoffen in Abdichtungssystemen übernommen werden

können, sind bereits durch Zulassungsprofile seitens BAM und LAGA geregelt. Derzeit offen sind noch die Anforderungen, die an Geogitter zu stellen sind und wie deren Verankerung langfristig vom rechnerischen Ansatz sicher gestellt werden kann. Hierzu sind 2 Vorschläge vorgestellt worden, die in der Diskussion sind und voraussichtlich in 2012 zu einer Zulassungsrichtlinie für Geokunststoffbewehrungen im Deponie führen wird.

Literatur

- [1] BUND: Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV); BGBl Teil 1, Seite 900, 29.4.2009
- [2] BAM: Richtlinie für die Zulassung von Schutzschichten für Kunststoffdichtungsbahnen in Deponieabdichtungen, AG „Kunststoffe in der Geo- und Umwelttechnik“; 2. Auflage Oktober 2010
- [3] DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR GEOTECHNIK (DGGT): Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponiebauwerke“: GDA E 2-7: Nachweis der Gleitsicherheit von Abdichtungssystemen, Bautechnik 85 (2008), Heft 9
- [4] DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR GEOTECHNIK (DGGT): Empfehlungen des Arbeitskreises 5.2: Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen - EBGEO, 2. Auflage 2010
- [5] MÜLLER, W.: Zur Bemessung der Verankerung von Bewehrungsgittern aus Kunststoff beim Schutz von Böschungen vor hangparallelem Gleiten; Bautechnik 88 (2011), Heft 6
- [6] BUND: Zweite Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Abfall); Bek. BMU WA II 5 – 30121-1/8, 12.3.1991
- [7] BUND: Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Siedlungsabfall); Bundesanzeiger Jahrgang 45 Nr. 99a, 14.05.1993
- [8] LAGA AD-HOC-AG „DEPONIETECHNIK“: Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard [5-5] Oberflächenabdichtungskomponenten aus geosynthetischen Dichtungsbahnen; 31.05.2010
- [9] BAM: Richtlinie für die Zulassung von Geotextilien zum Filtern und Trennen für Deponieabdichtungen, AG „Kunststoffe in der Geo- und Umwelttechnik“; 2. Auflage Oktober 2010
- [10] BAM: Tabelle der BAM-zugelassenen Geokunststoffe, Polymere und serienmäßig hergestellten Dichtungskontrollsysteme für Deponieabdichtungssysteme sowie die Listen der Produzenten, AG „Kunststoffe in der Geo- und Umwelttechnik“; Juli 2011
- [11] LAGA AD-HOC-AG „DEPONIETECHNIK“: Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard [5-0] Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten, Übergreifende Anforderungen; 12.05.2011
- [12] DIBT: Grundsätze für den Eignungsnachweis von Dichtungselementen in Deponieabdichtungssystemen; Nov. 1995
- [13] EGLOFFSTEIN, T.: Der Einfluss des Ionenaustauschs auf die Dichtwirkung von Bentonitmatten in Oberflächenabdichtungen von Deponien, ICP Eigenverlag Bauen und Umwelt, 2000

Tagungsleitung / Referenten

Karl Drexler
Bayer. Landesamt für Umwelt
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: 0821 9071-5362
E-Mail: Karljohann.Drexler@lfu.bayern.de

Jürgen Kohl
Bayer. Landesamt für Umwelt
Dienststelle Hof
Hans-Högn-Str. 12
95030 Hof
Tel.: 09281 1800-4660
E-Mail: Juergen.Kohl@lfu.bayern.de

Dr. Ulrich Henken-Mellies
LGA - Grundbauinstitut
Tillystraße 2
90431 Nürnberg
Tel.: 0911 655-5587
E-Mail: Wolf-Ulrich.Henken-Mellies@de.tuv.com

Ingo Hölzle
Externer Doktorand an der
Technischen Universität München
Pettenkofenstr. 30
80336 München
E-Mail: Ingo.Hoelzle@mytum.de

Wolfgang Huber
AU Consult GmbH
Friedberger Str. 155
86163 Augsburg
Tel.: 0821 26199-40
E-Mail: W.Huber@au-consult.de

Jürgen Kanitz
CDM Consult GmbH
Am Umweltpark 3 - 5
44793 Bochum
Tel.: 0234 68775-810
E-Mail: Juergen.Kanitz@cdm-ag.de

Helmut Ludwig
Landratsamt Landsberg a. Lech
Kommunale Abfallwirtschaft
Von-Kühlmann-Str.15
86899 Landsberg
Tel.: 08191 129-312
E-Mail: Helmut.Ludwig@lra-ll.bayern.de

Robert Meder
Bayer. Landesamt für Umwelt
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: 0821 9071-5377
E-Mail: Robert.Meder@lfu.bayern.de

Wolfgang Schreier
Umweltanalytik RUK GmbH
Im Paesch 1a
54340 Longuich
Tel.: 06502 9339-23
E-Mail: W.Schreier@rukgmbh.com

Andreas Schweizer
Bayer. Landesamt für Umwelt
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: 0821 9071-5358
E-Mail: Andreas.Schweizer@lfu.bayern.de

Ole Syllwasschy
HUESKER Synthetic GmbH
Fabrikstraße 13 - 15
48712 Gescher
Tel.: 02542 701-308
E-Mail: Syllwasschy@huesker.de

