

LANDFILL 2007 – Deponien in Südafrika

Gemeinsamkeiten und Trends – ein Erfahrungsbericht

VERANLASSUNG

Begonnen hat ein Erfahrungsaustausch mit Südafrikanischen Beteiligten bezüglich Deponiebau bereits in 2004. Entscheidungsträger haben damals aufmerksam den Worten Bob Koerners bezüglich des Einsatzes von Geokunststoffen per Video broadcast zugehört [1]. In der Folge fanden intensive Diskussionen bezüglich des Einsatzes und der Lebensdauer von Geokunststoffen statt. Die Veranstaltung des SKZ unter Leitung von Herrn Zanzinger - "Lebensdauer von Geokunststoffen" [2] wurde auch von einer südafrikanischen Delegation besucht. Die Diskussionspunkte dieser Veranstaltung und die Eindrücke von Würzburg wurden während der Landfill 2007 unter der Leitung der Landfill Interest Group (LIG) präsentiert. In der Folge wurden wir gebeten über Erfahrungen mit Geokunststoffen in deutschen Deponien zu berichten.

Der folgende Beitrag fasst die während der Landfill 2007 gesammelten Eindrücke und Erkenntnisse zusammen. Da man von den Problemen hier wie dort interessante Aspekte für alle Geokunststoffe in Deponien ziehen kann, möchten wir die heutige SKZ Konferenz zum Anlaß nehmen die in Südafrika gesammelten Eindrücke hier wiederzugeben.

Wir werden im folgenden auf Konzepte der südafrikanischen Abdichtungssysteme und auf dortige technische Anforderungen an die Geokunststoffe eingehen, über Erfahrungen mit Musterdeponien (als auch mit weniger mustergültigen) berichten, und die aktuelle Diskussion hinsichtlich Langzeitverhalten der Geokunststoffe vorstellen. Interessant ist sicherlich ein Exkurs über die Probleme der Deponiebetreiber.

1 KONZEPTIONEN FÜR ABDICHTUNGSSYSTEME

1.1 Regelwerk

Die aktuellen Regelungen für die Standortwahl, die Planung, die Errichtung, den Betrieb und die Nachsorge von Deponien sind in den "Minimum Requirements for Waste Disposal, Hazardous Waste Management and Monitoring Regulations", im späteren nur als Minimum Requirements bezeichnet, beschrieben [Department for Water Affairs and Forestry]. Die jetzt gültige zweite Fassung ist derzeit in Überarbeitung. Das neue Regelwerk, das sich über mehrere hundert Seiten erstreckt, beinhaltet entsprechend des Titels so genannte Mindestanforderungen für zahlreiche Aspekte im Bereich Abfallmanagement [3].

In dem Regelwerk werden neben den Regelungen für Deponien auch temporäre Anlagen, Umschlagplätze, Materialrecycling-Anlagen, Müllbehandlung und -verbrennung behandelt.

1.2 Klassifizierung

Deponien werden in Südafrika generell in 2 Klassen unterschieden: Sondermülldeponien sowie Deponien für Gemischtabfälle. Gemischtabfälle bestehen aus Hausmüll, gewerblichen Abfällen und Bauschutt. Der Ansatz, Gemischtabfälle nicht weiter zu klassifizieren liegt darin begründet, dass vorausgesetzt wird, dass ein geregelter Deponiebetrieb entsprechend der Minimum Requirements keine Gefährdung für die Umwelt darstellt.

Ein weiterer Unterschied im Vergleich zu den deutschen Regelwerken ergibt sich durch die generelle Klassifizierung der Deponieklassen und damit des zu errichtenden Abdichtungssystems entsprechend ihrer Größe bzw. des Müllaufkommens.

Klassifizierung	Müllvolumen
Kommunale Deponien	< 2,5 to/Tag
Kleine Deponien	25 – 150 to/Tag
Mittlere Deponien	150 – 500 to/Tag
Große Deponien	> 500 to/Tag

Tabelle 1: Klassifizierung nach Volumenstrom

Weiter erfolgt die Klassifizierung hinsichtlich der zu erwartenden Sickerwassermenge. Eine B+ Klassifizierung bedeutet eine hohe zu erwartende Sickerwassermenge, eine B- Klassifizierung eine geringe zu erwartende Sickerwassermenge.

Bereits bei der Planung einer Deponie muss die Schließung und Nachsorge berücksichtigt werden.

Etwa 5 % der Deponien sind Sondermülldeponien, um die 50 % sind Deponien für Gemischtabfälle, der Rest sind nicht genehmigte oder illegale Müllkippen.

1.3 Abdichtungssysteme

1.3.1 Basisabdichtung

Anforderungen bezüglich der Standortwahl sind nicht mit den deutschen Prinzipien zu vergleichen. Es wird ein Mindestabstand zu Grundwasserleitern bzw. maximalem Grundwasserpegel gefordert, aber keine geologische Barriere. Es wird neben ökonomischen und ökologischen Aspekten die Akzeptanz in der Öffentlichkeit berücksichtigt. Zum Beispiel werden die mögliche Hauptwindrichtung, Verfügbarkeit von Bodenmaterial für die spätere Abdeckung, Nähe zu Bebauungen oder die Einbettung der Deponie im Landschaftsbild in Betracht bezogen, und diese Aspekte unter Einbeziehung der Öffentlichkeit für die Wahl des Standortes zugrunde gelegt. Es sollte möglichst ein toniger Boden sein und insgesamt viel Bodenmaterial verfügbar sein, auf dem die Deponie errichtet wird, oder aber es müssen entsprechend dickere Lagen eines anderen Bodens eingebaut werden. Der Abstand zwischen Müllkörper und maximalen Grundwasserstand muss mindestens 2 m betragen. Bei ungenügenden Eigenschaften des Bodens müssen die Anforderungen hinsichtlich der Abdichtungsschichten erhöht werden.

Sämtliche Deponien mit signifikanter Sickerwasserbildung müssen abgedichtet und das Sickerwasser gesammelt werden. Ausgenommen davon sind kommunale Deponien, bei denen aber zumindest die Sickerwasserbildung mit Erkennungssystemen überwacht werden muß. Im Falle von Sickerwasser sind hohe Anforderungen an ein Sickerwassermanagementsystem mit Sickerwassersammlung, Leckortung und Sickerwasserbehandlung gestellt. Nur die Deponierung von gefährlichen Abfällen fordert zwingend eine Kombinationsabdichtung.

Dichtungsbahnen sind nur für Sondermüll innerhalb einer Kombinationsabdichtung mit 1,5 bzw. 2,0mm, dort auch als Doppelabdichtung vorgeschrieben, werden aber weitaus häufiger eingebaut als in den Minimum Requirements gefordert. In der Basisabdichtung werden hauptsächlich PEHD-Dichtungsbahnen, aber auch PELLD-Dichtungsbahnen, Bentonitmatten sowie in der Vergangenheit auch fPP-Dichtungsbahnen eingebaut. Oberhalb der Abdichtung aus Dichtungsbahnen ist eine Schutzlage gefordert, die häufig als mineralische Lage ausgeführt wird. Darüber ist die Dränageschicht mit einer Trennlage zum Müllkörper angeordnet. Im Einzelnen werden bis zu 14 verschiedene Schichten beschrieben.

1.3.2 Oberflächenabdichtung

Aufgrund der Trockenheit in den meisten Gebieten soll die Oberflächenabdichtung zur Trennung des Müllkörpers von der Umwelt kontrollierte Mengen an Wasser durchlassen können, um die Umsetzung des Mülls zu ermöglichen. Es wird in diesem Zusammenhang auch über zu akzeptierende, freiwerdende Gasmengen gesprochen. Voraussetzung dafür ist in jedem Fall ein funktionierendes Basisabdichtungssystem. Für aufsteigendes Kapillarwasser oder Gase muss die Oberflächenabdichtung der Sondermülldeponien vollständig dicht sein. Deshalb sind die geringsten Anforderungen hinsichtlich der Dichtwirkung in trockenen Gebieten, bzw. für B-Deponien gestellt,

Generell sind für Oberflächenabdichtungen keine Kunststoffdichtungsbahnen erforderlich, sondern es wird der Einbau von Ton favorisiert ohne dabei auf die europäischen Erkenntnisse zu blicken. Häufig kommen Bentonitmatten zum Einsatz, zum Teil aber auch PELLD- und PEHD-Dichtungsbahnen.

Die Entgasung erfolgt bei den bestehenden Deponien fast nur passiv. Das Gas wird nicht weiterverwendet. Bei neueren Projekten wird die aktive Entgasung mit vertikalen Gasbrunnen realisiert.

Die Oberflächendrainage muss die Trennung von sauberen und kontaminierten Oberflächenwasser gemäß dem nationalen Wasserhaushaltsgesetzes gewährleisten. Oberhalb der 30 cm Tondichtung, die nur bei kommunalen Deponien nicht erforderlich ist, wird der Oberboden in einer Stärke von 20 cm eingebaut. Für die Oberfläche werden bis zu 7 verschiedene Lagen beschrieben.

2 ERFAHRUNGEN MIT MUSTERGÜLTIGEN HAUSMÜLLDEPONIEEN

Die großen Südafrikanischen Städte Durban, Johannesburg und Kapstadt verfolgen durchaus ambitionierte Ziele in ihren Deponiebaukonzepten. Auch dort hat sich in den Jahren über einlagige Dichtungssysteme, Verwendung von flexiblen Polypropylen-Dichtungsbahnen (fPP) bis hin zum Einbau von doppellagigen Dichtungsbahnen inzwischen ein Stand der Technik entwickelt, der unserem zumindest auf dem Papier sehr nahe kommt. DSW (Durban Solid Waste) ist in einem Punkt sogar Weltmarktführer - dies ist die Ausbeutung des Deponiegases und die Erwirtschaftung von CER, Kohlendioxid-Reduktionszertifikaten, die sich an der Börse in Geld umwandeln lassen. Interessierten Deponiebetreibern sei empfohlen, zu diesem Thema Kontakt mit der KfW aufzunehmen.



Bild 1 mustergültiger Deponiebetrieb – Umwandlung von Deponiegas in Elektrizität [4]

Festhalten kann man, dass die Kombinationsabdichtung auch hier Stand der Technik ist, auch wenn diese in den Minimum Requirements nur für die Lagerung von Sondermüll gefordert ist.

PEHD als Bahnenmaterial gilt inzwischen auch dort als technischer Standard, allerdings findet man sehr viel mehr Bentonitmatten als Sekundärdichtung. Fehlerhafte Abdichtungen vermutet man allerdings dort, wo nicht HDPE eingesetzt wurde. Hier werden von DSW aktuell Untersuchungen durchgeführt.

Im Rahmen der CDM-Projekte wurden Probleme mit anstehendem Sickerwasser erkannt. Nur mit funktionierender Abdichtung und Entwässerung kann eine effektive Gasausbeute erreicht werden. Auch sollten an die Oberflächenabdichtung höhere Anforderungen gestellt werden.

Auch bei der Sickerwassersammlung und -behandlung lassen sich ganz unterschiedliche Standards erkennen. Bei den Positivbeispielen erfolgt die Sammlung z. B. in abgedichteten Bontontanks. Der gesammelte Schlamm wird abgelagert, das Wasser mit Hilfe von Schilf gereinigt und anschließend zur Bewässerung genutzt. Ziel dieser mustergültigen Deponien ist am Ende eine vollständige Integration in die Landschaft (Bild 2).



Bild 2 Integration der Deponie ins Landschaftsbild – [4]

3 TECHNISCHE ANFORDERUNGEN AN DIE GEOKUNSTSTOFFE

Entsprechend der Minimum Requirements kommen folgende Geokunststoffe zum Einsatz:

- Schutzvliese / Trennvliese / Gewebe
- Gewebeverstärkte Bentonitmatten
- PEHD-Dichtungsbahnen / LLDPE Dichtungsbahnen
- Dränmatten

Dichtungsbahnen müssen dem amerikanischen Standard GRI-GM 13 / GM 17 [5/6] und den Anforderungen der SANS 1526:2003 [7] genügen. Die Materialdicke liegt bei 1,5 bzw. 2,0 mm. Natürlich können, wenn notwendig, darüber hinaus weitere Anforderungen durch die Umweltbehörde definiert werden. Im Gespräch sind die Ansätze der BAM. Insbesondere die Übersetzung des „Handbuchs der PEHD-Dichtungsbahnen in der Geotechnik“ [8] läßt auf den deutschen Standard blicken.

Bentonitmatten müssen gewebeverstärkt sein. Die Eigenschaften (Durchlässigkeit, Chemikalienbeständigkeit, Belastbarkeit) sollen einer 60 cm Tondichtung entsprechen. Dieses muss projektbezogen nachgewiesen werden und durch die jeweils zuständige Umweltbehörde freigegeben werden. Leider bezieht man sich hier häufig nur auf Kurzzeitprüfungen, was in Folge zu der später beschriebenen aktuellen Diskussion geführt hat.

An die Geotextilien werden in dem Regelwerk keine Anforderungen definiert. Es wird nur darauf hingewiesen, dass Trennvliese filterstabil sein sollten. Vielfach finden für Schutzvliese PET-Recyclingmaterialien Einsatz.

4 AKTUELLE DISKUSSION BEZÜGLICH DER ABDICHTUNGSKOMPONENTEN

Bezüglich der Wahl der Geotextilien gibt es keine aktuellen Diskussionen. Durch deutsche Hersteller wurde unter anderem auch die Anforderungen der BAM dargestellt, insbesondere hinsichtlich der Anforderungen an die Flächenmasse und die Langzeitbeständigkeit.

Themenschwerpunkte waren die Chemikalienbeständigkeit bzw. Kationenaustausch bei Bentonitmatten sowie die Temperaturbeständigkeit von Dichtungsbahnen.

Bentonitmatten

Es werden zurzeit umfangreiche Untersuchungen hinsichtlich der langfristigen Durchlässigkeit von Flüssigkeiten und Gasen mit Hinblick auf den Einsatz als oft alleiniges Abdichtungselement in Deponien durchgeführt. Bentonitmatten haben in Südafrika eine große Popularität. Insbesondere wird der Vorteil des Einsatzes von vorgequollenen Bentonitmatten diskutiert. Untersuchungen an rückgebauten Bentonitmatten hatten meistens immense Steigerungen der Durchlässigkeit ergeben.

In den aktuellen Langzeituntersuchungen werden Durchlässigkeitsprüfungen gegenüber verschiedenen chemischen Lösungen durchgeführt. Es wird festgestellt, dass die Durchlässigkeit insbesondere dann stark ansteigt, wenn der erste Kontakt mit der Chemikalie selbst stattfindet. Weiterhin wurde klargestellt, dass die Bentonitmatte gegen Kationenaustausch sowie Austrocknung geschützt werden muss – welches über Jahre kein Thema war. Somit muss auch mehr Augenmerk auf die unterschiedlichen Bodenmaterialien gelegt werden. Weiterhin waren die Überlappungsbreite, sowie die Nahtbehandlung mit zusätzlicher Bentonitpaste in Diskussion, da sich Fälle ergeben hatten, bei denen die Bentonitmatten stark verschoben waren.

Dichtungsbahnen

Insbesondere lag hier das Augenmerk auf der Langzeitbeständigkeit. Zurzeit gelten die Anforderungen der GRI GM 13 bzw. GRI GM 17 [5/6]. Aber auch die Untersuchungen der BAM, publiziert in „HDPE Geomembrane in Geotechnics“ [9], sind im Gespräch.

Aktuell wird die Temperaturbeständigkeit diskutiert, da es in der Vergangenheit Versagensfälle der Basisabdichtung gegeben hatte, dies allerdings nicht an PEHD-Dichtungsbahnen. Dazu werden von DSW seit 2006 Prüfungen durchgeführt.

In Deutschland werden im Deponiesickerwasser Temperaturen um die 40°C erwartet. Dieses ist auch regelmäßig z. B. bei der Kamerabefahrung oder mit Messsonden nachgewiesen worden.

Diese Temperatur ist eine bekannte Kalkulationsgröße hinsichtlich der Lebensdauererwartung der PEHD-Dichtungsbahn.

Auch in den USA werden vom Geosynthetic Research Institut Temperaturmessungen durchgeführt.

In Südafrika liegen keine umfangreichen Messergebnisse vor. Es wird aber eine wesentlich höhere Temperatur aufgrund der Müllzusammensetzung mit z.T. 65% organischen Anteilen sowie der Menge und damit der Höhe der täglichen Müllmenge erwartet. Um dies zu klären, werden jetzt Messungen in Hausmülldeponien durchgeführt. Im Rahmen der Landfill 2007 wurde eine Deponie im Raum Durban vorgestellt. Hier wurde innerhalb eines halben Jahres in mehreren Parzellen, in denen mit der Mülleinlagerung begonnen wurde, ein Temperaturanstieg von 20°C gemessen, von etwa 30°C auf 50°C. Es wurde festgestellt, dass die mineralische Schutzlage oberhalb der Dichtungsbahn kein Puffer gegenüber der Temperatureinwirkung ist. Weiter wurde bei der Messung innerhalb der verschiedenen Zellen festgestellt, dass die Höhe der jeweils eingebauten Müllschicht die Höhe der Temperatur entscheidend beeinflusst.

5 QUALITÄTSSICHERUNG BEIM BAU

Insgesamt wird im Vergleich zum übrigen Kontinent ein sehr hohes Qualitätsniveau erreicht. Die Entwicklung und der Einsatz von Geokunststoffen sind parallel zu der in Deutschland erfolgt. Dabei sind hier aber deutlich die amerikanischen Einflüsse zu spüren, die im Gegensatz zum deutschen Ansatz dünnere, aber viele Dichtungslagen favorisieren.

Die Qualität der einzubauenden mineralischen Schichten wird auch in den Minimum Requirements behandelt. Leider können wir an dieser Stelle aber weder über die Qualität noch über die Qualitätssicherung beim Einbau berichten, da dies im Rahmen der Konferenz nicht diskutiert wurde, und es zuviel Zeit in Anspruch genommen hätte, sich in das Regelwerk einzuarbeiten

Die Schulung der Monteure zur Verlegung der Dichtungsbahnen liegt in der Eigenverantwortung der Verlegefirmen. Verantwortliche Verleger lassen neben der Schulung durch Schweißgerätehersteller und werksinternen Schulungen zusätzlich die Zertifizierung durch IAGI (International Association of Geosynthetic Installers) ausführen.

Für den Einbau der Dichtungsbahnen werden entsprechend der SANS 10409:2005 [10] Qualitätssicherungspläne erstellt, deren Inhalt durchaus vergleichbar mit dem deutschen Standard ist (vgl. QSP-KDB-„NN“, AKGWS[11]). In der SANS 10409:2005 wird die Verlegung mit Verweis auf die Richtlinie des Geosynthetic Research Institute GRI-GM 19 [12] geregelt.

Die Prüfung der Schweißarbeiten hat sowohl auf der Baustelle zu erfolgen, muss aber zusätzlich unter Laborbedingungen abgesichert werden. Dies muss aber nicht zwangsläufig durch eine externe Fremdprüfung geschehen. Trotzdem findet dieser Stand der Technik auch dort Anwendung. Ein großes Problem ist, dass es nur sehr wenige Labore gibt, die über das entsprechende Know-How und die Prüftechnik verfügen. International renommierte Unternehmen wie auch lokale Anbieter entwickeln aber auch auf diesem Sektor inzwischen eine große Initiative.

Einsatz und Überwachung der weiteren Geokunststoffe werden meist nur in den Ausschreibungen geregelt und sind gegenüber den Anforderungen an die Dichtungsbahn eher gering.

6 QUALITÄTSSICHERUNG UND PROBLEME BEIM BETRIEB

Der Deponiebetrieb wird regelmäßig durch externe Auditoren hinsichtlich der Einhaltung der Minimum Requirements überwacht. Ein großes Problem hierbei ist, dass nicht alle Auditoren entsprechend geschult sind. Häufig werden die Fehler von solchen Auditoren zwar erkannt, es fehlen aber die Ansätze für Abhilfemaßnahmen.

Eine häufig auftretende Problematik ist die Ablagerung von Abfällen neben der eigentlichen Ablagerungsfläche oder aber auch nicht angezeigte Umnutzung – d. h. Ablagerung von z. B. Sondermüll auf einer Gemischtdeponie. Deshalb wird eine entsprechende Schulung und Zertifizierung der Auditoren in den neuesten Minimum Requirements festgelegt.

Deponiebetreiber in Südafrika sehen sich einem Phänomen gegenüber, welches in Europa mit Ausnahmen der Vergangenheit angehört. Wie im folgenden Bild gezeigt leben und arbeiten sogenannte Scavenger oder Waste Picker nahezu auf jeder Deponie.



Bild 3 Waste Picker beim täglichen Erwerb [4]

Dabei kommt es regelmäßig auch zu Unfällen mit Müllfahrzeugen oder Planiergeräten.

Nun sollte man meinen, eine Absicherung des Geländes würde solch ein Problem beheben. Dies wird immer wieder versucht. Es kommt im Bereich der Deponie in der Folge zu unruheähnlichen Aufständen, da ganzen Clans die Einnahmequelle entzogen worden war. Die überwiegende Zahl der Betreiber ist unter diesem Druck dazu übergegangen, diese Scavenger in das System zu integrieren. Dieses Phänomen wird auch in der neuesten Version der „Minimum Requirements“ behandelt.

Recycling von Wertstoffen, wie im folgenden Bild gezeigt, findet also statt - nur mit anderen Mitteln.



Bild 4 Lagerplatz für gesammelte Wertstoffe [13]

Damit die Betreiber einigermaßen ihrer Verantwortung für die auf der Deponie arbeitenden Menschen gerecht werden, wird Gefahren-Aufklärung gelehrt. Scavenger leben nun am Depo- nierand, arbeiten zum Teil in geregelter Schichtbetrieb und schulen ihr eigenes Personal im Umgang mit Abfall. Es werden ärztliche Untersuchungen durchgeführt und ein Mindestmaß an Schutzmaßnahmen eingehalten. Mit der Integration dieser Arbeiter kommen natürlich andere Risiken auf die Deponiebetreiber zu, wie z. B. die Verantwortung für daraus möglicherweise ent- stehende Krankheiten. Deshalb ist es auch hier schwierig, einen einheitlichen Konsens zu fin- den.

Es wäre sicherlich wünschenswert, diese Zustände abstellen zu können. Aber es fehlen die Al- ternativen für die große Zahl illegaler Einwanderer, Einkommensquellen zu finden. Somit bewegt man sich hier ständig in einem Kreislaufsystem.

Das Problem der Scavenger wird nach unserer Kenntnis inzwischen auch von den Geber- ländern für Infrastrukturprojekte in ähnlicher Form in anderen afrikanischen Ländern umgesetzt.

7 ZUSAMMENFASSUNG / RESÜMEE

Mit den Minimum Requirements ist in Südafrika ein Mindestmaß an die Errichtung, den Bau, den Betrieb, die Nachsorge und die Stilllegung von Deponien entsprechend der finanziellen Gegebenheiten und des hohen Müllvolumens geregelt und nach unseren Erfahrungen auch häufig ein sehr hoher Standard in die Praxis umgesetzt.

Klimatische Bedingungen führen zu sehr unterschiedlichen Ansätzen für die Dichtungssysteme im Vergleich mit deutschen Regelwerken. Es werden insgesamt sehr deutliche Unterschiede zwischen einzelnen Standorten ersichtlich. Auch wenn wir bei einigen Betrachtungsansätzen erheblich gestaunt haben, ist bei anderen durchaus ein Vorbildcharakter vorhanden. Die LIG 2007 ist eine Veranstaltung, die zum intensiven Erfahrungsaustausch auch über die Grenzen Südafrikas hinaus genutzt wurde. Der hohe Standard Deutschlands, insbesondere beim Einsatz von Geokunststoffen, stößt auf reges Interesse und ist durch die Übersetzung des „Handbuchs der PEHD-Dichtungsbahnen in der Geotechnik“ [8] sicherlich auch ein Stück näher gebracht worden. Dieser Standard sollte auch weiterhin seinen Vorbildcharakter behalten. Für uns hat die Teilnahme viele interessante Aspekte aufgezeigt.

Literaturverzeichnis

- [1] "1st 'Video' & 'Internet' – Conference on Geomembranes", Hamburg, 16.03.2004
- [2] "Seminar: Lifetime of Geosynthetics", Würzburg 24th and 25th April 2007
- [3] Minimum Requirements for Waste Disposal, Hazardous Waste Management and Monitoring, Draft 3rd edition, Department for Water Affairs and Forestry (2005)
- [4] Strachnan, L.J.; Robinson, H.D.; Pass, J. and Couth, B.: Credit where it's due – An Overview of Africa's first registered – and – commissioned Landfill Gas CDM Project, Landfill 2007
- [5] GRI GM 13, revision 7, Februar 2006, Geosynthetic Research Institute
- [6] GRI GM 17, revision 4, Februar 2006, Geosynthetic Research Institute
- [7] SANS 1526: 2003; Thermoplastic sheeting for use as a geomembrane
- [8] Müller, W.W. (2001), Handbuch der PE-HD-Dichtungsbahnen in der Geotechnik, Birkhäuser Verlag
- [9] Müller, W.W. (2007), HDPE-Geomembranes in Geotechnics,
- [10] SANS 10409:2005; Design, selection and installation of geomembranes
- [11] QSP-KDB-„NN“; AKGWS
- [12] GRI GM 19, revision 1, Mai 2003
- [13] Bloem, J.: The Round Trip of Scavengers to Harvesters to Salvagers, Landfill 2007