

Wirkungsweise der Kombinationsdichtung und Anforderungen an die mineralische Oberfläche

Dipl.-Ing. Rolf Schicketanz

1. Einführung

Aus einsichtigen Gründen ist es erforderlich, das Bauwerk Sonderabfall - oder Siedlungsabfalldeponie, auf dem schadstoffhaltige Abfälle gelagert werden sollen, so zu bauen und zu "dichten", daß für die Natur und die Bewohner in der nahen und fernen Umgebung langfristig keine negativen Beeinträchtigungen zu befürchten sind.

Für eine langjährige wirksame Sperre gegen Schadstoffemissionen aus derartigen Deponien werden in schon bestehenden oder demnächst Gültigkeit erlangenden Vorschriften und Regelwerken in Fortschreibung des Standes der Technik sogenannte Kombinations- oder besser: Mehrschicht-Verbunddichtungen vorgeschrieben.

Diese bestehen aus einer Kombination von verschiedenartigen Dichtungsmaterialien, die aufgrund des Zusammenspiels unterschiedlicher Stofftransportcharakteristika und Stofflösungsmechanismen die Nachteile der Einzelkomponente für sich bei Erhalt ihrer materialspezifischen Vorteile kompensieren und damit die Sperrwirkung erhöhen.

Im Rahmen des Multibarrierenkonzeptes, d.h. des Zusammenwirkens mehrerer Sperrbarrieren, kommt neben der stofflichen Barriere "Abfall" und der geologischen Barriere insbesondere der technischen Barriere "Deponieabdichtung" eine besondere Bedeutung zu. Anzustrebendes

Ziel ist dabei ein "Null-Effekt" an Stofftransporten durch das Dichtungssystem über einen mehrere Generationen umfassenden Zeitraum.

Die Kombinationsdichtung scheint nach den bisherigen Erfahrungen und Untersuchungen hierfür das geeignete Konzept zu sein.

Diese besteht im Regelfall aus einer mineralischen Dichtungsschicht definierter Eigenschaft und festgelegter Mindestdicke und einem polymeren Dichtungselement, der Kunststoff-Dichtungsbahn (KDB), im Verbund mit einer wirksamen Dränageschicht (Flächenfilter) zur raschen Ableitung des anfallenden Sickerwassers.

Voraussetzung allerdings ist, daß bei Entwurf und Ausführung der Wirkungsmechanismus derartiger Verbunddichtungen beachtet und das Zusammenwirken der Einzelkomponenten ermöglicht wird.

Dazu trägt unter anderem sowohl eine "Verbund-gerechte" Oberfläche der mineralischen Dichtungskomponente als auch eine einwandfreie glatte Auflage des polymeren Dichtungselementes durch geeignete Einbaumethoden bei.

Eingehenden Laboruntersuchungen - insbesondere der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) - haben die optimale Sperrwirkung eines ordnungsgemäßen Verbund-Dichtungssystems nachgewiesen /2,3 /.



Abb. 1 und 2: Planliegende Kunststoff-Dichtungsbahnen vor dem Schutzschicht- und Flächenfiltereinbau

2. Wirkungsweise der Kombinationsdichtung

Der allgemeine Sprachbegriff "Dichtung" oder "Abdichtung" erfordert zur Klarstellung weitere Erläuterungen. So hält ein "wasserdichter" Beton Wasser nicht vollständig zurück, sondern läßt gegenüber einem normalen Beton bei vergleichbarem hydrostatischem Druck Wasser nur weniger schnell durch.

Erdstoffdichtungen sind auch nicht "dicht", wie schon die Definition eines materialspezifischen Durchlässigkeitskennwertes K nach *Darcy* als Maß der Restdurchlässigkeit von Wasser besagt. Gleiches gilt für polymere Werkstoffe, jedoch unter anderen Stofftransportbedingungen. Lediglich Metalle ab einer bestimmten Schichtdicke können gegenüber Wasser als technisch "dicht" im strengen Sinn angesehen werden.

Die multiplikative Wirkungsweise einer **Kombinationsdichtung**, bestehend aus einer Erdstoffdichtung im Verbund mit einer **Kunststoff-Dichtungsbahn**, kann durch die Betrachtung der Stofftransportvorgänge in den Einzel-Dichtungselementen und ihrer Interaktion erklärt werden.

Im wesentlichen sind zwei Transportvorgänge zu betrachten: die **Flüssigkeits** oder **Gasströmung** und die molekulare **Diffusion**. Beide Transportmechanismen sind

an gewisse Voraussetzungen gebunden, deren Kenntnis zur Beeinflussung und damit zur Erhöhung der Sperrwirkung genutzt werden kann.

Stofftransporte durch Strömung setzen das Vorhandensein mikro- und makroskopischer Risse, Löcher, Poren und/oder Kapillaren in Verbindung mit einem Flüssigkeits-Druckgradienten zwischen Ober- und Unterseite des Dichtungselementes voraus.

Bei Auftreten eines Druckgradienten ($i > 0$) können Flüssigkeiten die Erdstoffschicht passieren. Eine Beeinflussung dieses Vorganges kann jedoch durch in Wasser gelöste Schadstoffe eintreten, wenn diese in Wechselwirkung mit den Feststoffen der Erdstoffschicht treten.

Die Sperrwirkung von reinen Erdstoffdichtungen ist somit beeinflussbar sowohl durch die Reduzierung des Druckgradienten als auch durch die Reduzierung des Durchlässigkeitskennwertes k .

Diesem Stofftransportvorgang durch Strömung bei mineralischen Dichtungsschichten steht ein Stofftransport in molekularer Form (Lösungsdiffusion) bei intakten Kunststoff-Dichtungsbahnen gegenüber [2,4].

Dabei unterscheidet man in vereinfachter Form drei Teilvorgänge:

- die **Absorption**, d.h. das Wassermolekül gibt seinen eigenen Flüssigkeitsverband auf und dringt in den Festkörper

(Dichtungsbahn) ein. Dieses geschieht um so eher, je ähnlicher die elektrischen Bindungskräfte (polar, unpolar) der Moleküle in Flüssigkeit und Festkörper sind. Unterstützt wird dieser Vorgang durch die Höhe der chemischen Affinität zwischen Schadstoff und der Dichtungsbahn ("Gleiches löst Gleiches");

- die **Diffusion** als Wanderungsbewegung des Moleküls im Festkörper von Orten hoher Konzentration zu Orten niedriger Konzentration, deren Mechanismus nach der Theorie des freien Volumens /4/ erklärt wird und
- die **Desorption** als Austritt des Moleküls aus dem Festkörper und Bildung eines Flüssigkeitsverbandes.

So werden - vereinfacht - von einer Dichtungsbahn aus unpolarem Werkstoff (z.B. PE-HD) bevorzugt unpolare Schadstoffe (CKW etc.) absorbiert, während die Dichtungsbahn für polare Stoffe (z.B. Wasser) als Hürde wirkt.

Die Diffusionsrate kann durch die Wahl größerer Wanddicken beeinflusst werden, deren Größe durch zunehmende Handhabungsprobleme allerdings beschränkt ist (für PE-HD-Dichtungsbahnen: über 3 mm).

Für sich allein stellt sowohl das mineralische als auch das polymere Dichtungselement keine Dichtung mit anzustrebendem "Nulleffekt" dar. Aus einer Kombination beider Schichten kann sich jedoch - eine ordnungsgemäße Einbautechnik vorausgesetzt - diesem hohen Ziel angenähert werden.

An einigen Hinweisen sei dies erläutert:

- durch eine intakte Kunststoff-Dichtungsbahn ist der für die Durchströmung von Erdstoffschichten erforderliche Druckgradient gleich Null,
- durch die Kombination polarer und un-

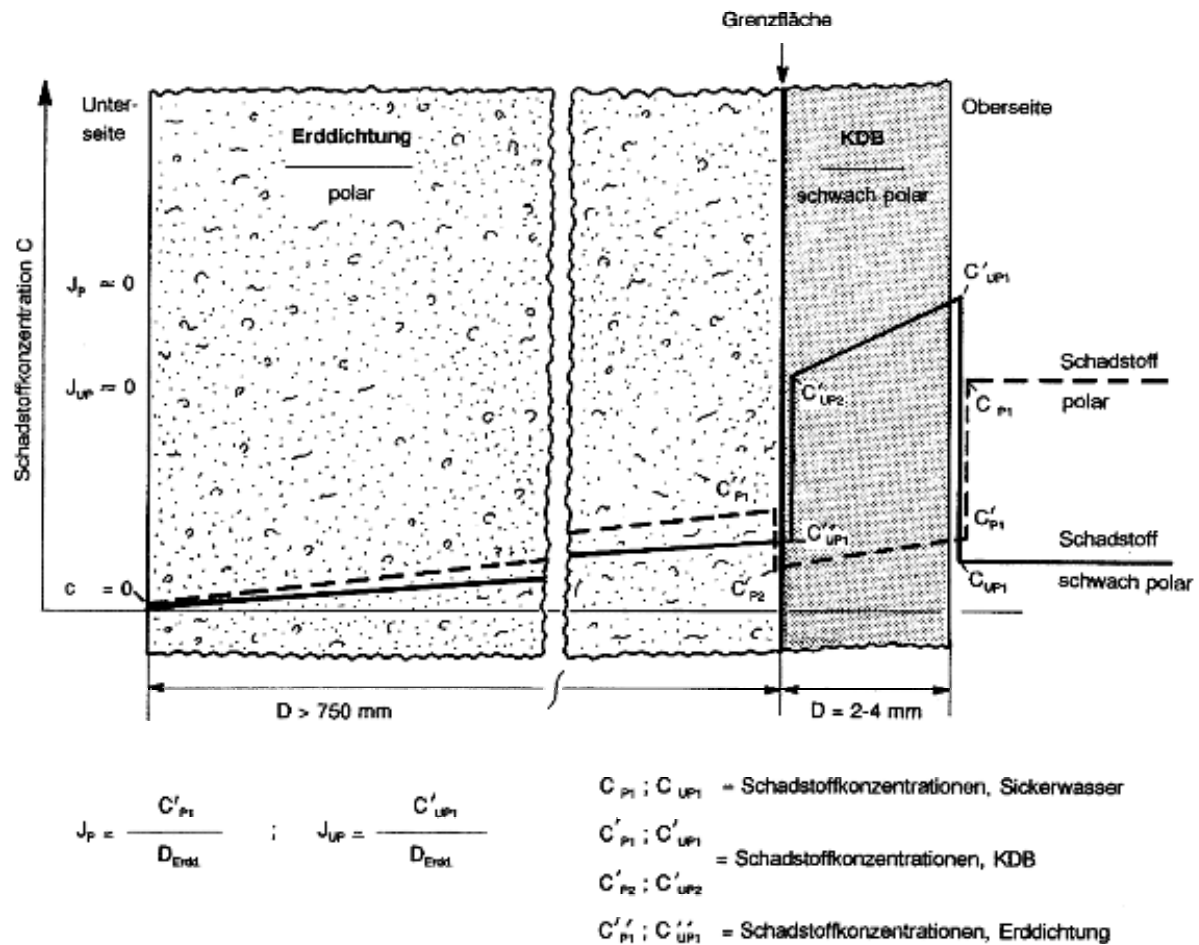
polarer Werkstoffe können Lösungs- und Diffusionsvorgänge - zeitlich - stark behindert werden,

- durch intakte Grenzflächen zwischen den Dichtungsschichten kann bei lokalen Fehlern die Schadstoffausbreitung begrenzt werden.

Die Wirkungsweise einer Kombinationsdichtung kann modellhaft an nachfolgendem Schema nachvollzogen werden /2/.

Unpolare Schadstoffe (z.B. CKW) mit der Konzentration c_{upl} im Sickerwasser können wegen ihrer hohen Affinität zum PE-HD Werkstoff an der Oberfläche absorbiert werden, ($c'_{upl} \gg c_{upl}$). Wegen der sehr geringen Löslichkeit dieser Stoffe in der Erdstoffdichtung (Wasser) kommt es zu einer gewissen Aufkonzentration innerhalb der Kunststoff-Dichtungsbahn mit der Folge der Verringerung des Konzentrationsgradienten in der Kunststoff-Dichtungsbahn von c'_{upl}/d_{KDB} auf $(c'_{upl} - c'_{up2})/d_{KDB}$ und der Schadstofftransportrate durch die Kunststoff-Dichtungsbahn. Für den weiteren Transport der unpolaren Schadstoffe ist das Konzentrationsgefälle c''_{upl}/d_{Erd} maßgebend. Wegen der geringen Konzentration c''_{upl} und der großen Dicke d_{ERD} der Erdstoffdichtung, kann das Konzentrationsgefälle beliebig klein gemacht werden. Die Diffusion durch die Erdstoffdichtung wird damit geschwindigkeitsbestimmend für den gesamten Prozeß. Die "Induktionszeit" (das ist die Zeit, bis bei konstantem Schadstoffangebot Schadstoffmengen überhaupt durch die Kombinationsdichtung kommen) wird im Vergleich zu den Durchsickerungszeiten einfacher mineralischer Dichtungen als extrem lang erwartet, da die Induktionszeit mit dem Quadrat der Dicke der Dichtung zunimmt (Fick'sches Gesetz). Dagegen nimmt die reine Durchsickerungszeit nach Darcy nur linear mit der Dicke zu.

Wirkungsweise einer Kombinationsdichtung



Konzentrationsprofile polarer (p) und unpolarer (UP) Schadstoffe bei dem Stofftransport durch eine Kombinationsdichtung aus einer unpolaren Dichtungsbahn (PE-HD) im Verbund mit einer polaren Erdstoffdichtung (Ton).



Abb 3.: Planlage der Kunststoffdichtungsbahnen beim Aufbau der Endriegel

Zu diesen Modellüberlegungen wurden insbesondere in der Bundesanstalt für Materi-

alforschung und -prüfung (BAM) seit 1984 systematische Untersuchungen durchgeführt, deren Ergebnisse bisher die gedanklichen Annahmen bestätigt haben /3/.

Schwierigkeiten entstehen jedoch bei der Umsetzung der konstruktiven Randbedingungen eines solchen Diffusions-Null-effektes im Baualltag.

Hier treten nach den Erfahrungen zwei Problembereiche in den Vordergrund:

- die Gestaltung der **Oberfläche der mineralischen Dichtung** als Grenzfläche und
- die Glattlage der **Kunststoff-Dichtungsbahn** auf dieser Grenzfläche.

3. Anforderungen an die mineralische Dichtungsoberfläche und an die Glattlage der Kunststoff-Dichtungsbahn

Die Auswahl des **mineralischen Dichtungsmaterials** darf nicht ausschließlich unter dem Gesichtswinkel seiner Durchlässigkeit, Verdichtbarkeit, Kornverteilung etc. erfolgen, sondern muß auch die Witterungsstabilität und Bearbeitbarkeit seiner Oberfläche im Hinblick auf seine Eignung für eine Auflager- und Grenzfläche einer Verbunddichtung beinhalten.

Dieser Gesichtspunkt wird häufig wenig beachtet oder gar ignoriert, da die notwendigen Anforderungen nicht ausreichend bekannt bzw. in Regelwerken und Vorschriften nicht eingehend reglementiert sind.



Abb. 4: Unzulässige mineralische Dichtungsoberfläche mit Trockenrissen

So beinhaltet z.B. der Entwurf einer Richtli-

nie über mineralische Deponieabdichtungen des Landes Nordrhein-Westfalen vom Januar 1991 /6/ wiederum keine klaren Anforderungen an die mineralische Dichtungsoberfläche beim Bau von Kombinationsdichtungen, obwohl sich dieses im Zusammenhang mit der Überarbeitung der bekannten NRW-Dichtungsbahnrichtlinie aus dem Jahr 1985 anbieten würde.

Ein in der Überwachungspraxis häufig anzutreffendes Argument seitens der Bodenkundler bei beanstandeten Unregelmäßigkeiten an der Mineraldichtungsoberfläche, daß durch eine erfolgte Überhöhung der Einbaudicke der mineralischen Dichtungsschichten Unregelmäßigkeiten durch z.B. Trocknungsrisse oder Vernässungen ausgeglichen seien, ist für den Bau einer Verbunddichtung nicht haltbar (Abbildung 4). Die Wirkungsmechanismen einer Verbunddichtung sollten von den betreffenden Fachleuten akzeptiert und berücksichtigt werden. Auch der oft beschworene "Selbstheilungseffekt" mineralischer Dichtungsmaterialien zeigt offensichtlich nicht die erhoffte Wirkung beim Schließen von Trockenrissen unter einer polymeren Dichtungsbahn unter Auflast, wie Untersuchungen nachgewiesen haben /7/.

In der nachfolgenden Übersicht sind die aus derzeitiger Sicht sich ergebenden Anforderungen an eine mineralische Dichtungsoberfläche zusammengefaßt:

Anforderungen an die Mineralische Dichtungsoberfläche als Auflageplanum für Kunststoff-Dichtungsbahnen

Materialstruktur:

Die Oberfläche als Auflageplanum darf keine Körner > 10 mm enthalten. Die Kiesanteile im Erdstoff müssen schwimmend eingelagert und allseitig von bindigem Bodenmaterial umgeben sein. Die Bildung von Kiesnestern ist auszuschließen.

Oberflächengeometrie:

Über eine Horizontalabstand von 4 m sind Unebenheiten von nicht mehr als ± 2 cm tolerierbar. Eindruckunterschiede (abrupte Höhenänderungen/Stufen), zum Beispiel verursacht durch benachbarte Bandageneindrücke, sollen 0,5 cm nicht überschreiten.

Nicht tolerierbar sind tiefe Trockenrisse oder eine vernäzte bzw. pulvrig-trockene Mineraloberfläche beim Verlegen der Kunststoff-Dichtungsbahn, auch wenn die vorgeschriebene Mindestdicke der mineralischen Dichtung davon nicht beeinflusst wird.

Welchen negativen Effekt scharfkantige Körner und Körner > 20 mm in der unmittelbaren Oberfläche der mineralischen Dichtungsschicht auf die aufliegende Kunststoff-Dichtungsbahn haben, konnte in Simulationsversuchen mittels Drucktöpfen über 100 bzw. 1000 Stunden Versuchszeit vom Autor nachgewiesen werden /8/.

Die erforderliche **Glattlage der Kunststoff-Dichtungsbahn** ist in der Praxis auch ein häufiger Anlaß zu Diskussionen.



Abb. 5: Unzulässige Korngrößen in der mineralischen Dichtungsoberfläche

Beim Verlegen von Kunststoff-Dichtungsbahnen wird meist nicht beachtet, daß z.B.

PE-HD einen um etwa den Faktor 20 höheren Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweist als vergleichsweise Stahl.



Abb. 6: Bei ihrer Überschüttung mit Flächenfilterkies verweilte Kunststoff-Dichtungsbahnen nach ihrer Wiederaufgrabung

Diese Eigenschaft führt unter Sonneneinstrahlung zu einer erheblichen Verweilung der ausgelegten Bahnen und es gehört langzeitige Erfahrung des Schweißpersonals dazu, beim Fügevorgang diese Verweilungen so zu meistern, daß keine "Taschen" durch Wellenversatz mit eingeschweißt werden.

Andererseits kann diese hohe Wärmeausdehnung dazu genutzt werden, in den zu meist kühleren Abendstunden eine Glattlage der Dichtungsbahn zu erreichen, wie sie mit mechanischen Mitteln nicht möglich ist.

Das Büro des Autors hat dazu nach vielfältigen Erkenntnissen und Beobachtungen die **Einspannmethode** entwickelt, indem noch vor Erreichen der endgültigen Glattlage an markanten Punkten der ausgelegten Dichtungsbahnfläche streifenförmige "Ankerriegel" aus der aufzubringenden Brechkorn- oder Filterkiesschicht aufgebracht werden und somit eine Einspannung mit Straffung der Dichtungsbahn durch die Abendkühle erreicht wird.

Nach Glattlage der Dichtungsbahn erfolgt unverzüglich der Aufbau einer flächigen Ballastierung z.B. durch die Brechkornschicht nach Auslegung des geotextilen Schutzvlieses.

Dieses Verfahren konnte schon bei mehreren Deponiebaumaßnahmen seine Wirk-

samkeit unter Beweis stellen.

Es ist unverständlich, wenn heute noch in Vorträgen, Publikationen oder Werbebildern die verwellte Kunststoff-Dichtungsbahn als nicht änderbares Phänomen der Verbunddichtung hingestellt und der Versuch ihrer Beherrschung durch untaugliche Mittel z.B. durch nachträgliche Aufgrabungen mit Sanierung beschrieben wird.

Auch die häufig gestellte Frage nach der zulässigen Anzahl und Höhe von Dichtungsbahn-Wellen während der Mineral-schichtbelegung erübrigt sich, wie Aufgrabungen verwehert, aber dennoch überschüt-teter Dichtungsbahnbereiche gezeigt haben.

4. Qualitätssicherung beim Bau einer Kombinationsdichtung

Ein wesentliches Element zur Realisierung einer ordnungsgemäßen Verbunddichtung stellt dabei das Qualitätssicherungsprogramm dar.

Die Praxis zeigt, daß aus vielerlei Gründen eine konsequente und detaillierte Qualitätssicherung erforderlich ist, um die im üblichen Bauablauf festzustellenden und trotz Normungswerk und eindeutiger Vorschriften dennoch häufig auftretenden Fehler und Mängel weitestgehend auszuschließen.

Der Aufwand einer Qualitätssicherung leuchtet jedoch jedem ein, der bedenkt, daß Abfalldeponien Bauwerke sind, auf denen schadstoffhaltige Abfälle so gelagert werden sollen, daß langfristig keine negativen Beeinträchtigungen zu befürchten sind. Die Möglichkeiten einer nachträglichen Feststellung und Reparatur von Fehlerstellen sind bei der heute üblichen Bauweise sehr beschränkt und extrem kostenaufwendig.

Durch Anregungen aus dem Normenwerk (DIN 18 200: "Güteüberwachung von Baustoffen, Bauteilen und Bauarten") und ausländischen Erfahrungen (USA) hat zwischenzeitlich eine mehrstufige Qualitätssicherungshierarchie Eingang in bestehende Verordnungen und Erlasse sowie in die geübte Praxis als Vorgriff auf zukünftige Vorschriften gefunden.

Im Regelfall wird derzeit eine Deponiebau-maßnahme durch eine **Eigenüberwachung** des Bauunternehmers und eine unabhängige **Fremdüberwachung** im Auftrage des Bauherrn begleitet, wobei die **Fremdüberwachung** zumeist gleichzeitig die fachliche Kompetenz der behördlichen Überwachung durch die Fachbehörde darstellt.

Die entsprechenden Vorschriften der "TA Abfall" sind in Pos. 9.4.1.2 (Qualitätssicherungsplan) vorgenannter Verordnung zusammengefaßt:

Hierarchie der Qualitätssicherung nach TA-Abfall
Eigenprüfung: durch den Hersteller selbst
Fremdprüfung: durch unabhängige Dritte (Ingenieurbüro, Bau-grundinstitut) im Auftrag des Bauherrn und im Einvernehmen mit der zuständigen Behörde
Kontrollprüfung: durch die zuständige Fachbehörde

Diese gelten streng genommen nur für Baumaßnahmen für besonders über-wachungsbedürftige Abfälle, werden aber mit unterschiedlichen Interpretationen auch auf Baumaßnahmen für Siedlungsabfall angewandt.

Nach derzeitigem Stand wird die geplante TA Siedlungsabfall dieses Überwachungs-prinzip übernehmen.

Inhalt und Gliederung eines Qualitätssicherungsplanes	
Inhalt:	<ul style="list-style-type: none"> - Verantwortlichkeiten und Aufgaben - Beschreibung der Qualitätsmerkmale - Qualitätslenkende Maßnahmen, - Art und Anzahl der Qualitätsprüfungen - Art und Umfang der Dokumentation
Gliederung:	<ol style="list-style-type: none"> 1 Allgemeiner Teil: <ol style="list-style-type: none"> 1.1 Verantwortlichkeit für den Qualitätssicherungsplan 1.2 Verantwortlichkeit für die Durchführung des Qualitätssicherungsprogramms (Hierarchie, Personen, Behörden) 1.3 Organisation (Eigen-, Fremd-, Behördenüberwachung) 2 Allgemeiner technischer Teil: <ol style="list-style-type: none"> 2.1 Normen und Vorschriften 2.2 Vorschriften des Planfeststellungsbeschlusses 3 Spezieller technischer Teil: <ol style="list-style-type: none"> 3.1 Angaben zur Qualitätslenkung 3.2 Art und Anzahl der Qualitätsprüfungen <ul style="list-style-type: none"> - an den Baustoffen - an den Bauausführungen - am fertigen Bauteil (Abnahme) 4 Dokumentation

Die Systematik der Qualitätssicherung findet ihren Ausdruck in dem sog. **Qualitätssicherungsplan**, der die speziellen Elemente der Qualitätssicherung sowie die Zuständigkeiten, sachlichen Mittel und Tätigkeiten so festlegt, daß die beschriebenen Qualitätsmerkmale der Deponiebauelemente eingehalten werden.

Hierin gehört auch die Formulierung der Anforderungen an die mineralische Dichtungsschicht-Oberfläche und an die Glattlage der Kunststoff-Dichtungsbahn zur Erzielung eines Dichtungsverbundes.

Die Freigabe der mineralischen Dichtungsschicht-Oberfläche für den Weiterbau hat deshalb **gemeinsam** zwischen der mineralischen und polymeren Fremdüberwachung zu erfolgen.

Ein Leistungsprofil der Fremdüberwachung für diese Positionen könnte wie folgt aussehen:

8

Leistungsprofil der Fremdüberwachung		
Ort	Parameter	Anforderung
Oberfläche mineralische Dichtung	- Kornfreiheit	Körner < 10 mm auf $\geq 0,1$ m Tiefe, nicht scharfkantig, schwimmend eingebettet in Feinmineralien.
	- Ebenheit	Keine abrupten Höhenänderungen > 0,5 cm eben ± 2 cm auf 4 m.
	- Abtrocknung, Vernässung	Keine tiefen Risse > 1 cm, Einbaufeuchte, keine Erosionseinflüsse, begehbar.
Kunststoff-Dichtungsbahn	<ul style="list-style-type: none"> - - Überprüfung der Glattlage im Feld- und Anschlußbereich - 	<p>Glattlage so, daß eine ganzflächige Auflage mit Verbundwirkung erzielt wird und beim Belegen mit Schutz- und Filterschichten keine Verwulung/Überfaltung eintritt.</p> <p>Bewertung: Kurz vor dem Beginn der Belegung mit Schutz- und Filterschichten</p>

5. Zusammenfassung

In der vorliegenden Ausarbeitung wird die Wirkungsweise einer Kombinationsdichtung beschrieben und daraus Anforderungen an die Oberfläche der obersten mineralischen Dichtungsschicht als Grenzfläche zur aufliegenden Kunststoff-Dichtungsbahn abgeleitet.

Bisher häufig vertretene Auffassungen der Bodenkundler, daß Unregelmäßigkeiten der mineralischen Oberfläche durch einen überhöhten Schichtdickeneinbau ausgeglichen werden können, werden der Kombinationsdichtung nicht gerecht.

Gleiches gilt auch für die erforderliche Glattlage der Kunststoff-Dichtungsbahnen, die nachgewiesenermaßen durch geschickte Nutzung der Wärmedehnungseigenschaften

des PE-HD-Materials bis auf unbedeutende Restbereiche erreicht werden kann.

Als Instrument zur Sicherung dieser Anforderungen hat sich die mehrstufige Qualitätssicherung bewährt, wobei der fachverantwortlichen Fremdüberwachung eine besondere Bedeutung zukommt. Hier dürfen nur Fachingenieure der Bodenkunde bzw. der Kunststofftechnik mit nachweislich vertieften Kenntnissen des Deponiebaus ihren Einsatz finden; für den Einsatz von hin und wieder anzutreffenden Aushilfskräften sollte kein Platz sein.

Kontrollaufgrabungen in vom Autor fremdüberwachten Deponien haben gezeigt, daß bei ordnungsgemäßer Herstellung der Dichtungsschichten ein inniger Verbund zwischen Kunststoff-Dichtungsbahn und Mineralstoffdichtung herstellbar und somit eine Kombinationsdichtung im Sinn des Wortes realisierbar ist.

LITERATUR

- /1 / Zweite Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Abfall); Teil I GMBI. 1990; Entwurf "TA Siedlungsabfall", voraussichtlich TA Abfall, Teil 3 BUNR, November 1990
- /2/ August, H.
Untersuchungen über Kunststoffdichtungen, Deponie 2, Ablagerung von Abfällen EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH Berlin 1988
- /3/ August, H., Tatzky-Gerth, R.
Neuere Forschungsergebnisse zur Sperrwirkung von Kombinationsdichtungen für Deponien; Fortschritte der Deponietechnik 1990 Erich Schmidt Verlag, Berlin 1991
- /4/ Dung Tu,
Permeation, Diffusion, Plastifizierung und Permeabilität von flüssigen Kohlenwasserstoffen durch reine und gefüllte Thermoplaste (PE und PP). Dissertation 1978, Universität Stuttgart
- /5/ Mortimer, C.E. Chemie Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1980
- /6/ Mineralische Deponiedichtungen, Entwurf einer Richtlinie Abfallwirtschaft NRW, Nr. 15, 01/1991
- /7/ Melchior, St. et al.
Testfeld- und Traceruntersuchungen zur Wirksamkeit verschiedener Oberflächendichtsysteme für Deponien und Altlasten Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Hannover, 1990
- /8/ Schicketanz, R.
Versuchsbericht über den Einfluß der mineralischen Dichtungsschicht auf das polymere Dichtungselement in einer Kombinationsdichtung; Bericht für den Kreis Olpe, Ingenieurbüro Schicketanz, 1991

Dipl.-Ing. Rolf Schicketanz Ingenieurbüro Schicketanz
Beratende Ingenieure für Kunststofftechnik, Korrosionsschutz, Qualitätswesen VDI
Herzogstr. 31, D-5100 Aachen

Jetzt (Januar 2003)
Ingenieurbüro Schicketanz
Beratender Ingenieur für Kunststoffmechanik, Korrosionsschutz, Qualitätswesen VDI
Graf-Schwerin-Str. 1 a, D-52066 Aachen
Tel.:0241 62648, Fax: 0241 61997
e-mail schicketanz@t-online.de;
<http://www.ingenieurbuero-schicketanz.de>