



# Technische Anforderungen und Empfehlungen für Deponieabdichtungssysteme

Konkretisierungen und Empfehlungen zur  
Deponieverordnung

[LANUV-Arbeitsblatt 13](#)





**Technische Anforderungen und Empfehlungen für  
Deponieabdichtungssysteme**

Konkretisierungen und Empfehlungen zur Deponieverordnung

**LANUV-Arbeitsblatt 13**

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Dritte aktualisierte Neuauflage Recklinghausen 2015

## IMPRESSUM

Herausgeber	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) Leibnizstraße 10, 45659 Recklinghausen Telefon 02361-305-0 Telefax 02361-3053215 E-Mail: poststelle@lanuv.nrw.de
	Dritte aktualisierte Neuauflage 2015
Autoren	Dr.-Ing. Michael Tiedt Dipl.-Ing. Michael Trapp
Titelfoto	Errichtung des Oberflächenabdichtungssystems auf einer Deponie (Foto: LANUV)
ISSN	1864-8916 LANUV-Arbeitsblätter

---

Informations-  
dienste: Informationen und Daten aus NRW zu Natur, Umwelt und  
Verbraucherschutz unter  
• [www.lanuv.nrw.de](http://www.lanuv.nrw.de)  
Aktuelle Luftqualitätswerte zusätzlich im  
• WDR-Videotext Tafeln 177 bis 179

Bereitschafts-  
dienst: Nachrichtenbereitschaftszentrale des LANUV  
(24-Std.-Dienst): Telefon (02 01) 71 44 88

Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur unter Quellenangaben und Überlassung von  
Belegexemplaren nach vorheriger Zustimmung des Herausgebers gestattet.  
Die Verwendung für Werbezwecke ist grundsätzlich untersagt.

## Inhalt

Einführung.....	7
1 Standort und Geologische Barriere.....	8
1.1 Standort.....	8
1.2 Geologische Barriere.....	9
1.2.1 Technische Anforderungen für die einzelnen Deponieklassen.....	9
1.2.2 Technische Maßnahmen bei einer unvollständigen geologischen Barriere.....	11
1.2.3 Errichtung einer künstlichen geotechnischen Barriere .....	13
1.3 Vertikaldichtungen.....	14
1.3.1 Anforderungen.....	14
1.3.2 Bauweisen.....	17
1.4 Überlagerung stillgelegter Deponieabschnitte.....	18
2 Abdichtungssysteme .....	21
2.1 Allgemeine Anforderungen .....	21
2.1.1 Langfristige Funktionserfüllung.....	21
2.1.2 Herstellbarkeit .....	21
2.1.3 Standsicherheit.....	22
2.1.4 Qualitätsmanagement .....	22
2.2 Nachweis der Eignung.....	22
2.2.1 Geokunststoffe .....	22
2.2.2 Sonstige Abdichtungskomponenten .....	23
2.3 Basisabdichtungssystem .....	23
2.3.1 Allgemeines.....	23
2.3.2 Anforderungen.....	24
2.3.3 Entwässerungsschicht.....	28
2.4 Oberflächenabdichtung .....	29
2.4.1 Allgemeines.....	29
2.4.2 Geokunststoffe .....	30
2.4.3 Serienmäßige / Standardisierte Produkte .....	37
2.4.4 Sonstige Dichtungssysteme .....	47
2.4.5 Entwässerungsschicht.....	50
2.4.6 Dichtungskontrollsysteme.....	51
2.4.7 Ausnahmeregelungen für die Nachbehandlung des Abfallkörpers.....	53
3 Rekultivierung/Folgenutzung .....	56
3.1 Rekultivierungsschicht.....	56
3.1.1 Funktionen der Rekultivierungsschicht .....	56
3.1.2 Bemessung .....	61
3.2 Wasserhaushaltsschicht.....	67
3.3 Methanoxidationsschicht .....	68
3.4 Empfehlungen zum Einbau und zur Qualitätssicherung.....	69
3.4.1 Material .....	69
3.4.2 Einbau.....	71
3.4.3 Qualitätssicherung.....	72
3.5 Rekultivierungsmaßnahmen bei besonderen Standorten .....	73
3.6 Anpflanzung von Bäumen auf Rekultivierungsschichten.....	74

3.7	Technische Funktionsschichten.....	77
3.7.1	Allgemeine Anforderungen an technische Funktionsschichten .....	77
3.7.2	Asphaltbetondecke.....	77
3.7.3	Mineralische Abdeckung .....	81
3.7.4	Deckschicht aus Pflastersteinen oder Platten.....	81
Literatur	.....	82
Verzeichnis der Abbildungen	.....	88
Verzeichnis der Tabellen	.....	90
Stichwortregister.....		91
Anhang	.....	93
A 1	Hinweise zur Permeabilitätsberechnung der geologischen Barriere .....	94
A 2	Schutz mineralischer Dichtungskomponenten .....	97
A 3	Hinweise zur Prüfung der Filterstabilität bei Rekultivierungsschicht.....	109
A 4	Meteorologische Informationen für NRW .....	119
A 5	Wurzeltiefen mitteleuropäischer Baumarten .....	123
A 6	Bundeseinheitliche Eignungsbeurteilungen und Qualitätsstandards .....	126

## Einführung

Mit dem Inkrafttreten der Deponieverordnung am 16. Juli 2009 haben sich die Anforderungen an Deponieabdichtungskomponenten gegenüber den früheren Vorgaben der Deponieverordnung und den Technischen Anleitungen TA Abfall und TA Siedlungsabfall deutlich verändert. Insbesondere wird seitdem auf die Vorgabe eines Regelaufbaus verzichtet, der früher ohne Nachweis der grundsätzlichen Eignung als genehmigungsfähig anzusehen war. Stattdessen werden nun alle Dichtungssysteme gleichbehandelt und werden an einheitlichen Anforderungen an die Leistungsfähigkeit und Beständigkeit gemessen.

Gleichzeitig sind in den vergangenen Jahren mehrere alternative Technologien entwickelt worden, die zunehmend Eingang in den Deponiebau finden. Somit steht im Regelfall für den Bau einer Deponieabdichtung eine Palette möglicher technischer Lösungen zur Verfügung, aus der die technisch und ökonomisch günstigste Variante auszuwählen ist.

Dieses Arbeitsblatt soll einen Überblick über die derzeit angebotenen bzw. verfügbaren Dichtungssysteme geben und damit die Entscheidungsfindung bei der Planungsarbeit erleichtern. Es richtet sich sowohl an Deponiebetreiber und Planungsbüros als auch an Genehmigungsbehörden. Das Arbeitsblatt fasst bestehende technische Anforderungen an Deponieabdichtungssysteme zusammen und ergänzt sie mit Empfehlungen zur Bemessung und Ausführung. Das Arbeitsblatt wird regelmäßig aktualisiert und ergänzt, um den sich wandelnden Stand der Technik zeitnah wiederzugeben.

# 1 Standort und Geologische Barriere

## 1.1 Standort

Die Eignung des Standortes ist eine notwendige Voraussetzung dafür, dass das Wohl der Allgemeinheit durch eine Deponie nicht beeinträchtigt wird. Die folgenden Standortkriterien sind bei der Wahl eines Deponiestandortes besonders zu berücksichtigen. Das bedeutet, dass bei der Wahl eines Standortes für eine neue Deponie im Regelfall die in Anhang 1 Nr. 1 DepV. aufgeführten Kriterien einzuhalten sind. Im Ausnahmefall ist unter strenger Abwägung der verschiedenen Beweggründe jedoch auch eine Abweichung davon zulässig, wenn das Wohl der Allgemeinheit dadurch nicht beeinträchtigt wird.

### **Geologische / hydrogeologische Bedingungen**

Der Untergrund muss alle bodenmechanischen Belastungen aus der Deponie aufnehmen können, so dass keine schädlichen Setzungen am Basisabdichtungssystem einschließlich des Entwässerungssystems eintreten können.

Er soll darüber hinaus eine mögliche Schadstoffausbreitung aus der Deponie maßgeblich behindern können (geologische Barriere). Karstgebiete und Gebiete mit stark klüftigem Untergrund weisen natürlicherweise nur unzureichende Eigenschaften einer Schadstoffrückhaltung auf.

### **Grundwasserabstand / Grubenlage**

Der Abstand der Oberkante der geologischen Barriere soll permanent (also auch nach Abklingen der Untergrundsetzungen) einen Abstand von mindestens 1 m zum höchsten zu erwartenden Grundwasserspiegel einhalten.

Bei Haldendeponien soll das Planum eine entsprechende Höhenlage aufweisen.

Bei Grubendeponien sind höhere Grundwasserdruckspiegel zulässig, wenn durch die Einbindung in eine grundwassersperrende Schicht und/oder ein Dichtwandsystem das anstehende Grundwasser nicht beeinträchtigt wird. Das bedeutet, dass Sickerwasser nicht in das anstehende Grundwasser übertreten kann und das anstehende Grundwasser nicht in den Deponiekörper eindringt. Siehe hierzu auch Kapitel 1.3.

Das gesammelte Sickerwasser soll in freiem Gefälle abfließen können. Bei Grubendeponien ist eine Abweichung zulässig, wenn sichergestellt ist, dass das anfallende Sickerwasser dauerhaft aus dem Deponiekörper gehoben werden kann.

### **Abstand von Schutzgebieten**

Deponien dürfen nicht in Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebieten und entsprechenden Reserveflächen errichtet werden, wenn nicht im Einzelfall auf Grund besonderer Gegebenheiten die Eignung des Standortes nachgewiesen werden kann.

Naturschutzgebiete, Landschaftsschutzgebiete und Biotopflächen sind zu meiden.



Zu Gebieten mit sensibler Nutzung, z.B. Wohngebieten und Erholungsflächen ist ein ausreichender Schutzabstand einzuhalten. Der Runderlass des *Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW* vom 6.6.2007 sieht für oberirdische Deponien aus Gründen des Lärmschutzes einen Mindestabstand von reinen und allgemeinen Wohngebieten von 500 m sowie von Misch-, Dorf- und Kerngebieten von 300 m vor.

### **Gefahr von Schadensereignissen**

Gebiete, in denen in Folge von Erdbeben, tektonisch aktiven Störungszonen, Bodensenkungen, Bergsenkungen, Tagebrüchen, Erdfällen, Hangrutschungen oder Lawinen solch starke Bodenbewegungen eintreten können, dass die Standsicherheit oder Funktionsfähigkeit der Deponie beeinträchtigt wird, sind für die Errichtung einer Deponie nicht geeignet.

Bei Standorten in Überschwemmungsgebieten sind die möglichen Auswirkungen auf die Standsicherheit und den Betrieb der Deponie zu berücksichtigen.

## **1.2 Geologische Barriere**

Sofern der Untergrund unter der Deponie sowie im weiteren Umfeld auf Grund seiner geringen Durchlässigkeit, seiner Mächtigkeit und Homogenität sowie seines Schadstoffrückhaltevermögens in der Lage ist, die Ausbreitung ggf. aus der Deponie austretender Schadstoffe maßgeblich zu behindern, liegt eine natürliche geologische Barriere vor.

Eine vollständige, natürliche geologische Barriere liegt vor, wenn die Anforderungen nach DepV Anhang 1 Nr. 1.2 erfüllt sind.

Die geologische Barriere und das Basisabdichtungssystem sollen im unmittelbaren Verbund angeordnet sein, d.h. das Basisabdichtungssystem soll direkt auf der geologischen Barriere aufsetzen. Liegt dieser unmittelbare Verbund nicht vor, muss sichergestellt sein, dass das ggf. durch das Basisabdichtungssystem austretende Sickerwasser auf Grund der hydraulischen Situation in jedem Fall die geologische Barriere passiert und nicht lateral (z. B. in einem Grundwasserleiter) abströmen kann.

Tonmineralien wirken sich günstig auf das Schadstoffrückhaltevermögen einer geologischen Barriere aus und sollten daher in einem bestimmten Mindestmaß enthalten sein. Die Bestimmung des Tonmineralgehalts ist allerdings aufwändig. Die Abschätzung des Tonmineralgehalts über den Tongehalt nach der Schlämmanalyse erscheint daher vertretbar und wird im Folgenden zu Grunde gelegt.

### **1.2.1 Technische Anforderungen für die einzelnen Deponieklassen**

Die im Folgenden aufgelisteten Mindestanforderungen an die Mächtigkeit und Durchlässigkeit der geologischen Barriere sind dem Anhang 1 der Deponieverordnung entnommen und zwingend einzuhalten.

Die darüber hinaus formulierten Anforderungen an das Schadstoffrückhaltevermögen sind dagegen als konkretisierende Empfehlungen zur quantitativen Festlegung des Schadstoffrückhaltevermögens zu verstehen. Sie orientieren sich an den Maßgaben des Merkblattes

Nr. 12 des *Landesumweltamtes NRW* zur Anwendung der TA Siedlungsabfall und sind an die Anforderungen der Deponieverordnung angepasst.

**Tabelle 1** Anforderungen und Empfehlungen für die geologische Barriere  
 GT: Gesamttongehalt der Barriere über die gesamte Mächtigkeit

Eigenschaft	Anforderung	Regelwerk
<b>Deponieklasse 0</b>		
Mächtigkeit	$d \geq 1 \text{ m}$	DepV Anh. 1 Nr. 2.2 Tab. 1
Durchlässigkeit	$k \leq 1 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$	DepV Anh. 1 Nr. 2.2 Tab. 1
Schadstoffrückhalte- vermögen		empfohlene Werte, bezogen auf die Mindestmächtigkeit von 1 m <sup>1)</sup>
Tongehalt	$c_t \geq 5 \text{ Gew.-%}$	
Gesamttongehalt <sup>2)</sup>	$GT \geq 65 \text{ kg/m}^2$	
<b>Deponieklasse I</b>		
Mächtigkeit	$d \geq 1 \text{ m}$	DepV Anh. 1 Nr. 2.2 Tab. 1
Durchlässigkeit	$k \leq 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$	DepV Anh. 1 Nr. 2.2 Tab. 1
Schadstoffrückhalte- vermögen		empfohlene Werte, bezogen auf die Mindestmächtigkeit von 1 m <sup>1)</sup>
Tongehalt	$c_t \geq 20 \text{ Gew.-%}$	
Gesamttongehalt <sup>2)</sup>	$GT \geq 260 \text{ kg/m}^2$	
<b>Deponieklasse II</b>		
Mächtigkeit	$d \geq 1 \text{ m}$	DepV Anh. 1 Nr. 2.2 Tab. 1
Durchlässigkeit	$k \leq 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$	DepV Anh. 1 Nr. 2.2 Tab. 1
Schadstoffrückhalte- vermögen		empfohlene Werte, bezogen auf die Mindestmächtigkeit von 1 m <sup>1)</sup>
Tongehalt	$c_t \geq 20 \text{ Gew.-%}$	
Gesamttongehalt <sup>2)</sup>	$GT \geq 260 \text{ kg/m}^2$	
<b>Deponieklasse III</b>		
Mächtigkeit	$d \geq 5 \text{ m}$	DepV Anh. 1 Nr. 2.2 Tab. 1
Durchlässigkeit	$k \leq 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$	DepV Anh. 1 Nr. 2.2 Tab. 1
Schadstoffrückhalte- vermögen		empfohlene Werte, bezogen auf die Mindestmächtigkeit von 5 m <sup>1)</sup>
Tongehalt	$c_t \geq 20 \text{ Gew.-%}$	
Gesamttongehalt <sup>2)</sup>	$GT \geq 1.300 \text{ kg/m}^2$	

<sup>1)</sup> Soweit die Mächtigkeit der technischen Maßnahmen die o.g. Mindestmächtigkeit überschreitet, können die Anforderungen an das Schadstoffrückhaltevermögen rechnerisch entsprechend verringert werden.

<sup>2)</sup> Die Bestimmung des Gesamttongehalts wird in Anbetracht des höheren Analyseaufwandes für die Bestimmung des Tonmineralgehalts als hinreichend angesehen, wenn der einzubauende Ton aus einer grundsätzlich geeigneten Lagerstätte stammt.

### **1.2.2 Technische Maßnahmen bei einer unvollständigen geologischen Barriere**

Vom Vorhandensein einer natürlichen geologischen Barriere ist dann auszugehen, wenn in einer flächig verbreiteten, homogenen geologischen Schicht über eine Mächtigkeit von mehreren Dezimetern die hydraulische Leitfähigkeit einen Wert von  $k \leq 1 \cdot 10^{-6}$  m/s nicht überschreitet und deren Tongehalt eine nicht nur unmaßgebliche Schadstoffrückhaltung bewirkt.

Soweit die natürlichen Eigenschaften den Anforderungen des Anhangs 1 DepV nicht vollständig genügen, kann die vorhandene geologische Barriere durch technische Maßnahmen vervollständigt, verbessert oder ganz durch eine geotechnische Barriere ersetzt werden. Der Bereich der Nachbesserung bzw. der künstlichen Errichtung soll sich dabei über die gesamte Fläche erstrecken, von der eine Gefährdung des Grundwassers ausgehen kann; mindestens soll er 5 m über den Umriss des Ablagerungsbereiches einschließlich aller Sickerwasserschächte hinaus reichen.

Die Anforderungen an die technischen Maßnahmen ergeben sich mit Ausnahme der Mindestmächtigkeit aus den Anforderungen in Tabelle 1. Die Mindestmächtigkeit beträgt in diesem Fall 0,5 m. Die weiteren Anforderungen sind entsprechend der tatsächlich im Einzelfall gewählten Mächtigkeit umzurechnen (z. B. Durchlässigkeit). Gegebenenfalls ergeben sich aus den Anforderungen an den Gesamttongehalt (insb. für DK III) in der Praxis höhere Mindestmächtigkeiten als 0,5 m.

**Tabelle 2** Anforderungen und Empfehlungen für geotechnische Barrieren  
 Anforderungen an die künstliche Vervollständigung oder Verbesserung einer geologischen/geotechnischen Barriere  
 GT: Gesamttongehalt der Barriere über die gesamte Mächtigkeit

Eigenschaft	Anforderung	Regelwerk
<b>Deponieklasse 0</b>		
Mächtigkeit	$d \geq 0,5 \text{ m}$	DepV Anh. 1 Nr. 1.2 Nr. 3 Satz 3
Durchlässigkeit	$k \leq 9 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}^{1)}$	DepV Anh. 1 Nr. 2.2 Tabelle 1
Schadstoffrückhaltevermögen Gesamttongehalt <sup>2)</sup>	$GT \geq 65 \text{ kg/m}^2$	empfohlene Werte, bezogen auf die gesamte Mächtigkeit
<b>Deponieklasse I</b>		
Mächtigkeit	$d \geq 0,5 \text{ m}$	DepV Anh. 1 Nr. 1.2 Nr. 3 Satz 3
Durchlässigkeit	$k \leq 9 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}^{1)}$	DepV Anh. 1 Nr. 2.2 Tabelle 1
Schadstoffrückhaltevermögen Gesamttongehalt <sup>2)</sup>	$GT \geq 260 \text{ kg/m}^2$	empfohlene Werte, bezogen auf die gesamte Mächtigkeit
<b>Deponieklasse II</b>		
Mächtigkeit	$d \geq 0,5 \text{ m}$	DepV Anh. 1 Nr. 1.2 Nr. 3 Satz 3
Durchlässigkeit	$k \leq 9 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}^{1)}$	DepV Anh. 1 Nr. 2.2 Tabelle 1
Schadstoffrückhaltevermögen Gesamttongehalt <sup>2)</sup>	$GT \geq 260 \text{ kg/m}^2$	empfohlene Werte, bezogen auf die gesamte Mächtigkeit
<b>Deponieklasse III</b>		
Mächtigkeit	$d \geq 0,5 \text{ m}$	DepV Anh. 1 Nr. 1.2 Nr. 3 Satz 3
Durchlässigkeit	$k \leq 6 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}^{1)}$	DepV Anh. 1 Nr. 2.2 Tabelle 1
Schadstoffrückhaltevermögen Gesamttongehalt <sup>2)</sup>	$GT \geq 1.300 \text{ kg/m}^2$	empfohlene Werte, bezogen auf die gesamte Mächtigkeit

<sup>1)</sup> Der k-Wert wurde bei einem hydrostatischen Überstau von 0,03 m (DK I - III) bzw. 0,10 m (DK 0) so auf die Mindestmächtigkeit von 0,5 m umgerechnet, so dass die Durchsickerungsmenge im Bezugszeitraum (DK I und II: 300 Jahre, DK III: 500 Jahre) dem Regelaufbau entspricht.

<sup>2)</sup> Die Bestimmung des Gesamttongehalts wird in Anbetracht des höheren Analyseaufwandes für die Bestimmung des Tonmineralgehalts als hinreichend angesehen, wenn der einzubauende Ton aus einer grundsätzlich geeigneten Lagerstätte stammt.

Für die technischen Maßnahmen zur Nachbesserung oder Vervollständigung kommen in Anlehnung an die *GDA-Empfehlung E 2-38* als natürliche Erdstoffe in erster Linie Lehm bzw. Ton und schluffiger Ton der Bodengruppen TA (ausgeprägt plastisch) und TM (mittelplastisch) nach DIN 18 196 in Betracht.

Mit den nachstehenden Formeln lässt sich der Gesamttongehalt einer mineralischen Schicht aus den spezifischen Materialangaben umrechnen:

$$GT \left[ \text{kg} / \text{m}^2 \right] \cong 10 \cdot c_t \left[ \text{Gew.} - \% \right] \cdot \rho_d \left[ \text{t} / \text{m}^3 \right] \cdot d \left[ \text{m} \right]$$

GT: Gesamttongehalt über die betrachtete Mächtigkeit  
 $c_i$ : spezifischer Tongehalt  
 $\rho$ : Trockendichte  
 $d$ : Dicke der geotechnischen Barriere

$$10 \cdot 15 \text{ Gew.} - \% \cdot 1,65 \text{ g} / \text{cm}^3 \cdot 1,0 \text{ m} = 247 \text{ kg} / \text{m}^2 \text{ (Rechenbeispiel)}$$

Insbesondere bei den Deponieklassen II und III kann sich die erforderliche Mächtigkeit der Nachbesserung einer geologischen Barriere – unter Beachtung einer Mindestmächtigkeit von 0,5 m – aus den Anforderungen an den Tongehalt ergeben. Die Mächtigkeit ist dann so zu bemessen, dass der Wert für GT nach Tabelle 2 erreicht wird.

Beispiel:

Am Standort einer Deponie soll ein weiterer Deponieabschnitt der Klasse III errichtet werden. Die vorhandene geologische Barriere weist eine Mächtigkeit von 0,70 m und einen Tongehalt von 18 Gew.-% auf. Daraus ergibt sich bei einer Trockendichte von  $1,3 \text{ t/m}^3$  ein Gesamttongehalt GT von  $164 \text{ kg/m}^2$ . Für den erforderlichen Gesamtwert von  $1.300 \text{ kg/m}^2$  sind durch die technische Vervollständigung weitere  $1.136 \text{ kg/m}^2$  zu ergänzen. Das für die Nachbesserung zur Verfügung stehende Material hat einen spezifischen Tongehalt von 30 Gew.-%. Die für das Schadstoffrückhaltevermögen erforderliche Mächtigkeit der Vervollständigungsschicht beträgt demnach:

$$d = \frac{1.136 \text{ kg} / \text{m}^2}{10 \cdot 30 \cdot 1,3} = 2,91 \text{ m}$$

Die vorhandene geologische Barriere wäre in diesem Fall mit einer zusätzlichen Schicht in einer Mächtigkeit von mindestens 2,91 m zu vervollständigen, so dass sich eine Gesamtmächtigkeit von 3,61 m ergäbe. Die zusätzlichen Anforderungen an die hydraulische Leitfähigkeit sind hier nicht betrachtet worden.

Hinweis: Würde die natürliche geologische Barriere ganz fehlen, müsste die geotechnische Barriere gemäß DepV in voller Mächtigkeit von 5 m nach den Maßgaben der Tabelle 1 errichtet werden.

### 1.2.3 Errichtung einer künstlichen geotechnischen Barriere

Soweit keine geologische Barriere vorliegt, die die Anforderungen nach Anhang 1 Nr. 1.2 Ziffer 2. erfüllen kann, d.h. der Untergrund

- eine höhere Durchlässigkeit als  $k = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$  aufweist oder
- nicht mit einer Mächtigkeit von mehreren Dezimetern flächig verbreitet ist oder
- Inhomogenitäten aufweist, die die Wirkung als geologische Barriere vermindern oder
- einen Tonmineralgehalt aufweist, der nur eine unmaßgebliche Schadstoffrückhaltung bewirkt

muss eine geotechnische Barriere künstlich errichtet werden, die die in Tabelle 1 aufgeführten Anforderungen erfüllt. Eine Verminderung der Mächtigkeit gegenüber den Anforderungen des Anhangs 1 Nr. 2.2 Tabelle 1 ist in diesem Fall **nicht zulässig**.



*Zu technischen Maßnahmen an der geologischen Barriere liegen folgende Handlungsempfehlungen vor:*

- *LAGA-BQS 1-0 Technische Maßnahmen betreffend die geologische Barriere*  
[www.laga-online.de](http://www.laga-online.de) ☞ Informationen ☞ Deponiebaustoffe, Deponietechnische Vollzugsfragen ☞ Bundeseinheitliche Qualitätsstandards

## 1.3 Vertikaldichtungen

Als Vertikaldichtungen werden Bauweisen verstanden, in denen ein Abdichtungselement im Wesentlichen vertikal ausgerichtet ist und einen horizontalen Wasserstrom vom Übertritt aus oder in den Deponiekörper abhalten soll. Der häufigste Fall solcher Vertikaldichtungen sind Dichtwände. Aber im Zuge der Erschließung neuer Deponiestandorte können auch andere vertikale Bauweisen erforderlich werden. Steile Böschungen, an denen Abdichtungskomponenten in konventioneller Bauweise ausgeführt werden können, sind von den folgenden Ausführungen nicht berührt. Für sie gelten die regulären Anforderungen des Anhangs 1 DepV.

### 1.3.1 Anforderungen

Für Vertikaldichtungen sind die Anforderungen des Anhangs 1 der Deponieverordnung nicht konzipiert worden. Anforderungen an Vertikaldichtungen können daher nicht unmittelbar aus dem Anhang 1 Deponieverordnung abgelesen werden. Es bedarf hier einer Analogiebetrachtung in Orientierung an die Regelanforderungen der Deponieverordnung, in der die Ziele der Deponieverordnung in geeigneter Weise auf die besonderen Randbedingungen von Vertikalabdichtungen projiziert werden. Vertikale Dichtungen fallen nicht unter die Begriffe ‚Basisabdichtung‘ oder ‚Oberflächenabdichtung‘, sofern sie nicht integraler Bestandteil dieser Dichtungssysteme (z. B. zur Überbrückung kleinerer Höhenstufen innerhalb des jeweiligen Systems) sind. Grundsätzlich sind die Leistungsanforderungen an alle Dichtungskomponenten im Anhang 1 der DepV unter den allgemeinen Anforderungen (Nr. 2.1.1) aufgeführt. Die **allgemeinen Anforderungen** umfassen z. B. die Eignung, die Herstellbarkeit, die Standsicherheit und die Beständigkeit gegenüber verschiedenen Einflüssen. Da die Dichtungssysteme dort nicht weiter spezifiziert werden, gelten diese Anforderungen auch für vertikale Dichtungen. Im Gegensatz dazu sind die Anforderungen der Tabellen 1 und 2 Bestandteil der **besonderen Anforderungen**, die für Vertikaldichtungen **nicht** gelten.

Die Dichtigkeit ist als allgemeine Anforderung gemäß Nr. 2.1.1 Ziffer 1. zwar an den Anforderungen der Tabellen 1 und 2 (Anhang 1) zu bemessen. Dies stellt aber keinen unmittelbaren Verweis auf die unter Nr. 2.2 und Nr. 2.3 konkretisierten Anforderungen an den Durchlässigkeitsbeiwert und die Mächtigkeit dar. Vielmehr sind die Anforderungen für Vertikaldichtungen so an deren besondere Umstände anzupassen, dass die Durchlässigkeit im Endergebnis den Maßstäben entspricht, wie sie die Deponieverordnung grundsätzlich zu Grunde legt. Die

folgenden Ausführungen stellen Empfehlungen dar, mit denen die konkreten Anforderungen an Vertikaldichtungen in diesem Sinne festgelegt werden können.

Für die Systematisierung von Anforderungen an Vertikaldichtung sind einige grundlegende Konstellationen zu unterscheiden, die im Folgenden wiedergegeben werden.

### **Grubenlage oberhalb des Grundwasserspiegels**

Das Planum solcher Deponien liegt – obwohl in Grubenlage – oberhalb des höchsten Grundwasserstands. Das Sickerwasser wird gefasst und kann in freiem Gefälle (z. B. durch einen Stollen) abgeleitet werden oder wird durch Pumpen auf Geländeniveau gehoben. Solche Deponien werden in der Regel mit einem umlaufenden Dichtwandssystem eingeschlossen, um den horizontalen Austrag von Sickerwasser in das umgebende Gebirge zu verhindern.

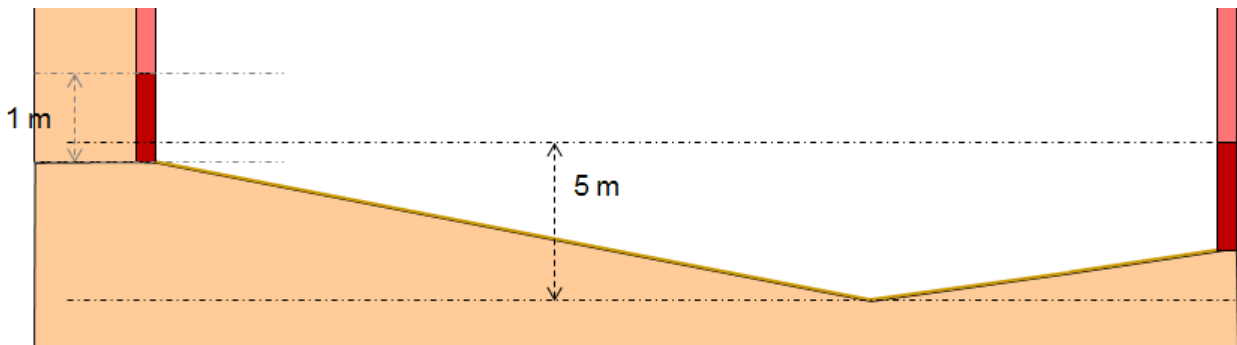
Beim Aufstau des Sickerwassers stellt sich ein hydraulischer Gradient von innen nach außen ein. Um die Deponie auch gegen diesen Zustand zu sichern, müssen Vertikaldichtungen im unteren Bereich (im Folgenden: Basishöhe) gemäß den Anforderungen des Basisabdichtungssystems aufgebaut werden. Dies betrifft sowohl Zahl und Art der Abdichtungskomponenten (zweilagig bei den Deponieklassen II und III) als auch die Mächtigkeit und die Durchlässigkeit einer mineralischen Komponente.

In Anlehnung an die Prüfgrundsätze des DIBt [21] hinsichtlich ungünstiger Betriebsszenarien sind Vertikaldichtungen bei diesen Deponien mindestens bis zu einer Basishöhe von mindestens

- 5 m über dem tiefsten Punkt der Oberkante des Basisabdichtungssystems (Entwässerungspunkt) und
- 1 m über der Oberkante der lokal anschließenden Basisabdichtung (als Sicherheit gegen lokale Stauhohizonte)

nach den Anforderungen an das Basisabdichtungssystem zu bemessen (siehe schematische Darstellung in Abbildung 1). Dies umfasst auch die Errichtung einer geotechnischen Barriere, soweit diese im Umfeld der Deponie nicht natürlicherweise vorhanden ist. Als zweite Komponente kann z. B. eine in die Dichtwand eingezogene Kunststoffdichtungsbahn dienen. Bei getrennten Entwässerungsabschnitten sind die Maßgaben auf jeden einzelnen Entwässerungsabschnitt separat anzuwenden.

Oberhalb dieser Basishöhe ist weder mit einem Eindringen von Grundwasser in den Deponiekörper noch mit einem Austrag von Deponiesickerwasser in das umgebende Gebirge zu rechnen. Die Bemessung von Vertikaldichtungen kann sich hier an den Mindestanforderungen der DepV für mineralische Abdichtungskomponenten orientieren; dies bedeutet einen Durchlässigkeitsbeiwert von  $k \leq 5 \cdot 10^{-9}$  m/s (Oberflächenabdichtung DK I-II). Es reicht hier für alle Deponieklassen eine Abdichtungskomponente aus. Eine zusätzliche geotechnische Barriere ist oberhalb der Basishöhe nicht erforderlich.



**Abbildung 1** Ermittlung der Ausbauhöhe von Dichtwänden nach den Anforderungen an das Basisabdichtungssystem

Die Basishöhe der Vertikaldichtung nach den Anforderungen an das Basisabdichtungssystem ist hier dunkelrot gekennzeichnet.

### Hanglage oberhalb des Grundwasserspiegels

Diese Konstellation entspricht in den wesentlichen Zügen der oben bereits dargestellten Konstellation. Sie bildet die besondere Situation an Steinbrüchen in Hanglage ab. Im Gegensatz zu Fall A sind hier für die freie Ableitung des Sickerwassers keine Sickerwasserhebung oder ein Stollenbauwerk erforderlich, weil die Ableitung mit einfachen Mitteln auf Geländehöhe erfolgen kann. Die Vertikaldichtung bildet für einen Teil des Deponieumfangs (Steilwand) die Begrenzung zum angrenzenden Gebirge.

Es ist im Bereich der Vertikaldichtung weder mit einem Eindringen von Grundwasser in den Deponiekörper noch mit einem Austrag von Deponiesickerwasser in das umgebende Gebirge zu rechnen. Die Bemessung solcher Vertikaldichtungen kann sich daher wieder an den Mindestanforderungen für mineralische (Oberflächen-)Abdichtungssysteme orientieren. Es reicht hier für alle Deponieklassen eine Abdichtungskomponente aus. Eine zusätzliche geotechnische Barriere in den Vertikaldichtungen ist nicht erforderlich.

Druckloses Hangwasser kann mit einer der Vertikaldichtung hinterlegten Entwässerungsschicht oder einem Dränelement abgeführt werden. Durch bauliche Maßnahmen ist zu verhindern, dass die Vertikaldichtung durch scharfe Gesteinskanten oder Steinschlag beschädigt wird.

### Grubenlage unterhalb des Grundwasserspiegels

Diese Konstellation ist in aller Regel auf Grund der in der DepV vorgegebenen Standortkriterien nicht genehmigungsfähig. Im seltenen Ausnahmefall könnte jedoch im Ergebnis einer Abwägung der verschiedenen Standortkriterien ein höherer Grundwasserstand hingenommen werden müssen. Das Planum von Deponien dieser Fallgestaltung liegt dann auf Dauer unterhalb des höchsten zu erwartenden Grundwasserspiegels. In vielen Fällen wird der Grundwasserspiegel zeitweise künstlich abgesenkt und steigt nach Einstellung der Sumpfung wieder auf sein natürliches Niveau. Nach diesem Wiederanstieg liegt die Deponiebasis unterhalb des freien Grundwasserspiegels. Solche Deponien müssen daher mit einem Dichtwandensystem gegen den ungehinderten Zutritt von Grundwasser gesichert werden.

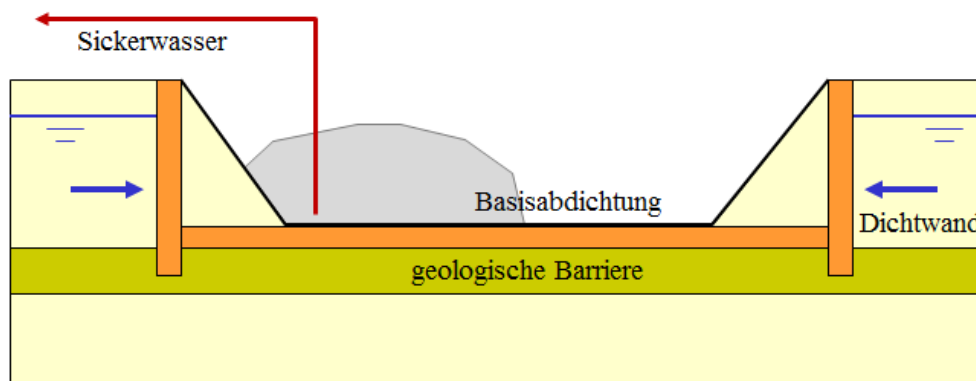


Das Sickerwasser im Deponiekörper muss gefasst und entweder in freiem Gefälle (z. B. durch einen Stollen oder einen Kanal) oder durch Pumpen nach außen abgeleitet werden. Hierdurch baut sich ein hydraulischer Gradient von außen nach innen auf. Es tritt folglich kein Sickerwasser aus der Deponie aus sondern Grundwasser durch die Dichtungssysteme in den Deponiekörper ein.

Die Anforderungen an die Dichtigkeit der Vertikaldichtung sind daher wasserwirtschaftlich begründet. Der Zutritt von Grundwasser in die Deponie würde indirekt zu seiner Verunreinigung führen, weil dieses durch den Kontakt mit dem abgelagerten Abfall und dem „echten“ Sickerwasser belastet würde. Der Zustrom von Grundwasser muss deshalb auf ein nach den technischen Möglichkeiten unvermeidbares Maß reduziert werden. Als Orientierungsmaß dient die Wassermenge, die – unter Vernachlässigung einer Konvektionssperre - bei einem Deponiekörper gleicher Grundfläche ein ansonsten regelkonformes Basisabdichtungssystem einschließlich der geologischen Barriere passieren würde. Aus dieser Wassermenge ist die maximale Durchlässigkeit der Vertikaldichtung unter Berücksichtigung von Länge und Höhe der Dichtwand sowie des hydraulischen Gradienten zu ermitteln. Hieraus kann sich im Extremfall auch ein k-Wert für die Vertikaldichtung ergeben, der gegenüber den Regelanforderungen des Anhangs 1 DepV strenger ausfällt.

Das Erfordernis einer zusätzlichen geotechnischen Barriere in den Vertikaldichtungen besteht hier nicht, da kein Austrag von Schadstoffen aus dem Deponiekörper in das Grundwasser zu besorgen ist.

Die folgende Abbildung gibt beispielhaft eine Grubendeponie mit Basis unterhalb des höchsten Grundwasserspiegels wieder.



**Abbildung 2** Beispiel Grubendeponie ohne freie Entwässerung

### 1.3.2 Bauweisen

Für Vertikaldichtungen kommen verschiedene Bauweisen in Betracht. Die Wahl der geeigneten Bauweise richtet sich im Wesentlichen nach der technischen Herstellbarkeit. Beispiele sind:

- Dichtwände  
Sie kommen regelmäßig zum Einsatz, wo im Lockergestein Deponien in Gruben-

lage errichtet werden und eine Abböschung im üblichen Gefälle nicht möglich ist. Dichtwände können mit einer eingehängten Kunststoffdichtungsbahn zu einem Kombinationssystem aufgewertet werden.

- **Synthetische Elemente**  
Sofern es die bauliche Situation zulässt, können Vertikaldichtungen durch das Abhängen einer Kunststoffdichtungsbahn oder einer geosynthetischen Tondichtungsbahn hergestellt werden. Die Anforderungen an die Herstellung dichter Nahtverbindungen sind uneingeschränkt einzuhalten; Perforationen zu Befestigungszwecken sind nicht zulässig.
- **Kerndichtungen aus Ton oder Deponieasphalt**  
Erforderlichenfalls kommen auch Vertikaldichtungen in Betracht, die mit dem lagenweisen Aufbau eines schmalen, horizontal eingebauten Dichtungskerns innerhalb eines Randwalls errichtet werden. Diese Bautechnik entspricht im Wesentlichen Kerndichtungen im Talsperrenbau. Sie ist sehr aufwändig und bedingt das regelmäßige Herstellen neuer Dichtungslagen synchron zum Verfüllfortschritt des Abfallkörpers.



*Zur Herstellung von Dichtwänden liegt folgende GDA-Empfehlung vor:*

- *E 4-01 Herstellung von Dichtwänden*  
[www.gdaonline.de](http://www.gdaonline.de)  *Empfehlungen*

## 1.4 Überlagerung stillgelegter Deponieabschnitte

Mit der Zielsetzung den Flächenverbrauch zu minimieren, kann es sinnvoll sein, neue Deponien oder Deponieabschnitte auf bereits stillgelegten Deponieabschnitten zu errichten. Rechtlich ist die Überlagerung einer stillgelegten Deponie bzw. eines Deponieabschnitts grundsätzlich zulässig. Auf die sich im Einzelnen ergebenden verfahrensrechtlichen Fragen wird hier jedoch nicht weiter eingegangen.

Zu den technischen Voraussetzungen gehören insbesondere:

- Durch die Überlagerung werden keine Einrichtungen oder Bauteile längerfristig oder dauerhaft unzugänglich gemacht, die noch betrieben, gewartet oder ggf. repariert werden müssen.
- Die Setzungen des unteren Deponiekörpers müssen soweit abgeklungen sein, dass das Basisabdichtungssystem des überlagernden Deponiekörpers keine schädlichen Verformungen erfahren kann.
- Die durch die weitere Ablagerung von Abfällen zu erwartende Auflasterhöhung darf keine Verformungen des unteren Deponiekörpers verursachen, die zu schädigenden Einwirkungen auf die Dichtungssysteme oder andere deponietechnische Einrichtungen führen können (z.B. Dränage, Gasfassung). Hierzu zählen auch Zugkräfte, die auf Dichtungskomponenten wirken. Die ggf. vorhandenen baulichen Einrichtungen müssen eine hinreichende Tragfähigkeit aufweisen, um die zusätzliche Auflast aufzunehmen.

Soweit die rechtlichen und technischen Voraussetzungen erfüllt sind, kann auf der Oberfläche eines bestehenden Deponiekörpers eine neue Deponie oder ein neuer Deponieabschnitt errichtet werden. Für die Kombination von Oberflächenabdichtung des unteren Deponiekörpers und geotechnischer Barriere und Basisabdichtungssystem des oberen Deponiekörpers gilt, dass die unterschiedlichen Funktionen der Komponenten beider Systeme ganz oder teilweise in gemeinsamen Komponenten zusammengefasst werden dürfen, wenn dies unter Wahrung der funktionalen Eigenschaften technisch möglich ist. Die technischen Anforderungen an solche multifunktionalen Komponenten richten sich bei konkurrierenden Regelungen nach den jeweils strengeren Vorgaben. Die Rekultivierungsschicht entfällt in dieser Konstellation; die Schutzfunktionen der Rekultivierungsschicht (z. B. gegen Frost und Austrocknung) werden durch die überlagernde Ablagerung erbracht und die weiteren Funktionen durch die Rekultivierungsschicht der Oberflächenabdichtung des überlagernden Deponiekörpers.

Tabelle 3 zeigt ein solches Anforderungsprofil für ein typisches Beispiel der Überlagerung eines alten Abschnittes der Deponieklasse II mit einem neuen Abschnitt der Deponieklasse I.

**Tabelle 3** Anforderungen an eine bi-funktionale Zwischenabdichtung  
Beispiel für die Überlagerung eines DK II-Abschnittes durch einen DK I-Abschnitt

<b>Funktion für unteren Deponiekörper (DK II)</b>	<b>Komponente</b>	<b>Funktion für oberen Deponiekörper (DK I)</b>
	<i>Abfall DK I</i>	<i>Ablagerung</i>
Rekultivierungsschicht	-	
Entwässerungsschicht Oberfläche	<b>Kiesdränage</b> 16/32 mm oder ähnlich <b>Sickerrohre</b>	Entwässerungsschicht Basis
1. Abdichtungskomponente	<b>Kunststoffdichtungsbahn</b> d ≥ 2,5 mm	1. (und einzige) Abdichtungskomponente
2. Abdichtungskomponente	<b>Tonmineralische Dichtungsschicht</b> d ≥ 1 m bzw. 0,5 m <sup>1)</sup> k ≤ 1* 10 <sup>-9</sup> m/s	geotechnische Barriere (siehe auch Kapitel 1.2.2)
Ausgleichs-/Gasdränschicht	<b>Ausgleichsschicht</b>	Tragschicht
<i>Ablagerung</i>	<i>Abfall DK II</i>	

<sup>1)</sup> Die Anforderungen an die Mächtigkeit richten sich nach den Vorgaben des Anhangs 1 Nr. 1.2 Ziffern 3. und 4 DepV. Von einer (unvollständigen) geologischen Barriere darf dann ausgegangen werden, wenn mindestens die Anforderungen sowohl an die Basisabdichtung als auch an die geologische Barriere des unterliegenden Abschnittes wenigstens teilweise erfüllt werden. Fehlt eine der beiden Komponenten ganz, gilt die Vorgabe des Anhangs 1 Nr. 1.2 Ziffer 4 DepV.

Aufgrund der bi-funktionalen Wirkung der Systemkomponenten und der stärkeren Restriktionen für Basisabdichtungssysteme sind der Auswahl alternativer Abdichtungskomponenten hier enge Grenzen gesetzt (im Wesentlichen: Deponieasphalt statt Kunststoffdichtungsbahn). Der Einsatz einer geosynthetischen Tondichtungsbahn als tonmineralische Dichtungsschicht einer bi-funktionalen Zwischenabdichtung ist auf Grund der Mindestanforderungen an die Mächtigkeit und den Tongehalt nicht zulässig.

Bezüglich ggf. erforderlicher Vertikalanschlüsse der bi-funktionalen Zwischendichtung mit darunter liegenden Dichtungssystemen des überlagerten Deponieabschnitts siehe Kapitel 1.3.

Die Anforderungen an das Oberflächenabdichtungssystem des überlagernden Deponieabschnitts richten sich ausschließlich nach den für dessen Deponieklasse geltenden Festlegungen.

Hinsichtlich der Verwendung von Deponieersatzbaustoffen gelten für die Tragschicht unterhalb der Zwischendichtung die Anforderungen gemäß Anhang 3 Tabelle 1 Nr. 3 DepV (Baumaßnahmen im Deponiekörper), für die übrigen Komponenten die Anforderungen der Nrn. 1 und 2 (Betrachtung als geologische Barriere bzw. Basisabdichtung).

## 2 Abdichtungssysteme

### 2.1 Allgemeine Anforderungen

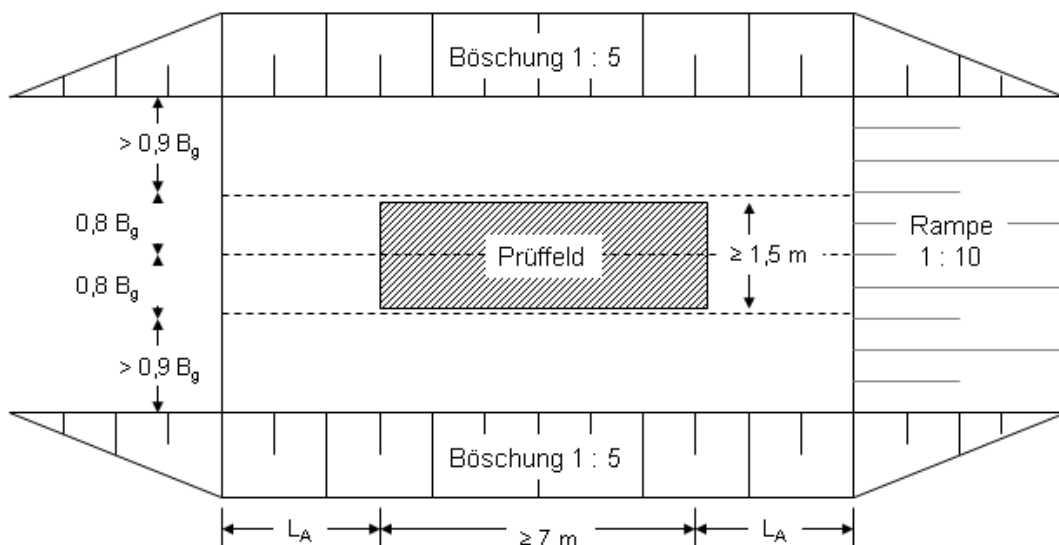
#### 2.1.1 Langfristige Funktionserfüllung

Die Herstellung von Abdichtungskomponenten muss gemäß Anhang 1 Nr. 2.1.1 DepV hinsichtlich der Wahl der Materialien und der Einbautechnik so erfolgen, dass die Funktionserfüllung der Abdichtungssysteme unter allen äußeren und gegenseitigen Einwirkungen über einen Zeitraum von mindestens 100 Jahren gegeben ist. Die langfristige Funktionserfüllung ist hinsichtlich der folgenden Kriterien im Einzelfall oder im Zuge einer Zulassung bzw. Eignungsbeurteilung nachzuweisen.

- Dichtigkeit, Begrenzung der Durchflussrate
- Widerstand gegenüber mechanischen und hydraulischen Einwirkungen (Auflast, Verkehrslasten, Suffosion, Erosion, Verformungen, Setzungen)
- Widerstand gegenüber chemischen und biologischen Einwirkungen (Sickerwasser, Mikroorganismen)
- Widerstand gegenüber Witterungseinflüssen (Frost, Wärme)
- Beständigkeit gegenüber alterungsbedingten Materialveränderungen (Oxidation, Versprödung, Diffusion)

#### 2.1.2 Herstellbarkeit

Die Herstellbarkeit von Abdichtungskomponenten und des gesamten Abdichtungssystems wird durch die Anlage von Probefeldern nachgewiesen, auf denen der Einbau unter Baustellenbedingungen probeweise ausgeführt wird.



**Abbildung 3** Abmessungen für ein Probefeld

$B_g$ : Gerätebreite

$L_A$ : Beschleunigungs- und Verzögerungsstrecke

Hinweise zur Anlage eines Probefeldes bei mineralischen Abdichtungen gibt das Arbeitsblatt Nr. 6 des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW [41].

### 2.1.3 Standsicherheit

Sämtliche Bauteile einer Deponie sind standsicher zu errichten. Zu den wesentlichen Fragen der Standsicherheit einer Deponie gehört die Gleitsicherheit der Schichten in Böschungsf lächen.

Zu beachten ist, dass zu den Kriterien für eine mögliche Entlassung aus der Nachsorge die Frage der dauerhaften Standsicherheit gehört. Bauteile aus synthetischen Materialien, die zur Standsicherheit des Bauwerkes beitragen, unterliegen Alterungsprozessen, die die Funktionserfüllung nicht dauerhaft sicherstellen. Dies gilt insbesondere für Geogitter und geosynthetische Tondichtungsbahnen, die in Böschungen eingesetzt werden.

### 2.1.4 Qualitätsmanagement

Für die Herstellung von Abdichtungssystemen ist ein Qualitätsmanagementplan nach den „Grundsätzen des Qualitätsmanagements“ des Arbeitskreises 6.1 – *Geotechnik der Deponiebauwerke* – der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) e.V. aufzustellen [14].



*E 5-1 Grundsätze des Qualitätsmanagements*

<http://www.gdaonline.de/> (E5-01.pdf)

## 2.2 Nachweis der Eignung

Um sicherzustellen, dass die vorgenannten Anforderungen erfüllt werden, sind für den Einsatz von Abdichtungssystemen Maßgaben für die Feststellung der Eignung getroffen worden.

### 2.2.1 Geokunststoffe

Geokunststoffe sowie serienmäßig hergestellte Dichtungskontrollsysteme bedürfen einer Zulassung oder Eignungsfeststellung durch die Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung. Hierunter fallen:

- Kunststoffdichtungsbahnen
- Kunststoffgewebe oder -vliese als Schutzschichten
- Dränelemente aus Kunststoffen (Dränmatten)
- Bewehrungselemente aus Kunststoffen (Geogitter)
- Polymere (z.B. auch zur Vergütung mineralischer Materialien)
- serienmäßig hergestellte Dichtungskontrollsysteme (z.B. elektronische Leckageortungssysteme)

## **2.2.2 Sonstige Abdichtungskomponenten**

Für andere Abdichtungskomponenten und Baustoffe als Geokunststoffe (siehe 2.2.1) ist ein Einzelnachweis gegenüber der zuständigen Genehmigungsbehörde zu führen, soweit nicht eine bundeseinheitliche Eignungsbeurteilung der Länder vorliegt. Bestehende Eignungsbeurteilungen der Länder sowie Zulassungen der *Bundesanstalt für Materialforschung (BAM)* und –prüfung gelten dabei fort, soweit deren Befristung nicht abgelaufen oder die Zulassung nicht für ungültig erklärt worden ist. Diese Fortgeltung betrifft insbesondere die durch die *LAGA ad-hoc-AG Deponietechnische Vollzugsfragen* (jetzt: *Deponietechnik*) erstellten Eignungsbeurteilungen für verschiedene Systeme (s. u.).

Für den Nachweis der Eignung sind die in Anhang 1 Nr. 2.1.1. DepV aufgeführten Kriterien der langfristigen Funktionserfüllung zu beachten. Konkretisierte Anforderungen werden von der *LAGA ad-hoc-AG Deponietechnik* für verschiedene Dichtungssysteme als bundeseinheitliche Qualitätsstandards erarbeitet und veröffentlicht (siehe Anhang A 6).

## **2.3 Basisabdichtungssystem**

### **2.3.1 Allgemeines**

Gemäß Anhang 1, Nummer 2.2 DepV ist im Ablagerungsbereich ein Basisabdichtungssystem nach Tabelle 1 Nummern 2 bis 4 zu errichten. Danach besteht das Abdichtungssystem aus Systemkomponenten, deren jeweiliges Erfordernis sich nach den unterschiedlichen Deponieklassen richtet.

Bei Deponien der Klasse 0 ist eine Abdichtung an der Basis nicht erforderlich. Die bezweckte Schutzwirkung wird hier durch die geologische Barriere mit aufliegender mineralischer Entwässerungsschicht erreicht.

Bei Deponien der Klasse I ist eine einzige Abdichtungskomponente erforderlich. Diese kann als mineralische Dichtung oder als Konvektionssperre hergestellt werden.

Bei Deponien der Klassen II und III wird am bewährten Konzept der Kombinationsabdichtung festgehalten. Diese soll aus einer Konvektionssperre über einer mineralischen Komponente bestehen.

Eine Übersicht der möglichen Abdichtungskomponenten ist in Tabelle 4 dargestellt.

**Tabelle 4** Übersicht über mögliche Abdichtungssysteme (Basis)

- Einsatz möglich
- ⊙ in Kombination mit einer weiteren Dichtungskomponente
- \* Es liegen nicht mehr gültige Zulassungen oder Empfehlungen vor.

Dichtungssysteme	I	II	III	Feststellung der Eignung
Kunststoffdichtungsbahn	●	⊙	⊙	Zulassung BAM
Abdichtungskomponente aus Deponieasphalt	●	⊙	⊙	Einzelfallnachweis *
Mineralische Abdichtung	●	⊙	⊙	Einzelfallnachweis
Wasserglasvergütete Mineralgemische	●	⊙	⊙	Einzelfallnachweis
Bentokies	●	⊙	⊙	Einzelfallnachweis
CHEMOTON	●	⊙	⊙	Einzelfallnachweis *
DYWIDAG-Mineralgemisch	●	⊙	⊙	Einzelfallnachweis *

## 2.3.2 Anforderungen

### 2.3.2.1 Kunststoffdichtungsbahn

Kunststoffdichtungsbahnen als Abdichtungskomponenten für Deponien werden aus Polyethylen hoher Dichte (PEHD) in einer Dicke von 2,5 mm hergestellt. Sie sind gas- und wasserdicht. Die Kunststoffdichtungsbahn ist eine Konvektionssperre im Sinne der Deponieverordnung.

PEHD ist gegenüber chemischen Einwirkungen äußerst widerstandsfähig. Allein oxidativer Abbau kann über lange Zeiträume hinweg zu nachteiligen Materialveränderungen führen. Bei ausreichendem Schutz gegen UV-Licht kann der oxidative Abbau auf ein sehr geringes Maß reduziert werden. Die Beständigkeit von *BAM*-zugelassenen und fachgerecht eingebauten Kunststoffdichtungsbahnen ist für Zeiträume von deutlich mehr als 100 Jahren nachgewiesen worden [2].

Kunststoffdichtungsbahnen dürfen nur von erfahrenen Verlegebetrieben mit qualifiziertem Personal verlegt werden. Es dürfen dabei nur solche Kunststoffdichtungsbahnen eingesetzt werden, die über eine Zulassung gemäß der Zulassungsrichtlinien der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung verfügen [6].

Kunststoffdichtungsbahnen können eingesetzt werden:

- als einzige Abdichtungskomponente in der Deponieklasse I, oder
- als Konvektionssperre über einer mineralischen Abdichtungskomponente in den Deponieklassen II und III.



### Anforderungen gemäß Deponieverordnung

Deponieklassen I, II, III	
Dicke	$d \geq 2,5 \text{ mm}$

Kunststoffdichtungsbahnen dürfen nur mit einer Zulassung durch die *Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)* eingesetzt werden.

**i** *Zulassungen der BAM werden auf deren Homepage veröffentlicht.*

- *Liste der Zulassungen*

[www.bam.de](http://www.bam.de)  
*☞ Service ☞ Amtliche Mitteilungen ☞ Abfallrecht*

#### 2.3.2.2 Deponieasphalt

Deponieasphalt besteht aus Mineralstoffen bestimmter Art und Körnung sowie Bitumen bestimmter Sorten als Bindemittel. Hinsichtlich der Zusammensetzung und der Eigenschaften des Deponieasphalts wird unterschieden zwischen Deponieasphalt zur Verwendung für Tragschichten (T-DA) und Deponieasphalt zur Verwendung für die Dichtungsschicht (D-DA). Die Zusammensetzung und Eigenschaften des Mischgutes werden in der *Güterichtlinie Abdichtungskomponenten aus Deponieasphalt [19]* festgelegt.

Asphaltabdichtungen können eingesetzt werden:

- als einzige Abdichtungskomponente in der Deponieklasse I, oder
- als Konvektionssperre über einer mineralischen Abdichtungskomponente in den Deponieklassen II und III.

Es können zwei Bauweisen zur Ausführung kommen (siehe auch Abbildung 11).

- Zweischichtige Bauweise mit getrennter Trag- und Dichtungsschicht (Variante A)
- Einschichtige Bauweise mit einer kombinierten Tragdichtungsschicht (Variante B)

Positive Erfahrungen aus den zurückliegenden Jahrzehnten und strenge Anforderungen an die Herstellung und das Qualitätsmanagement lassen es heute zu, dass Abdichtungskomponenten aus Deponieasphalt einlagig hergestellt werden können. Dabei kommt der Ausbildung und Behandlung des Schichtverbundes und der Nähte zwischen zwei Bahnen eine herausragende Bedeutung zu. Insgesamt ist zu betonen, dass die Herstellung von Abdichtungskomponenten aus Deponieasphalt besondere Erfahrung und Sorgfalt seitens der bauausführenden Firma erfordert.

Bei zweischichtiger Ausbildung gelten die folgenden Mindestanforderungen der Güterichtlinie:

**Anforderungen gemäß Güterichtlinie (Variante A)**

Deponieklassen I - III	
Dichtungsschicht AC 11 D-DA	
Lagen	1
Mächtigkeit	≥ 0,04 m
Tragschicht AC 16 T-DA	
Lagen	1
Mächtigkeit	≥ 0,06 m

Bei einschichtiger Ausbildung gelten die entsprechenden Anforderungen der Güterichtlinie. Besondere Anforderungen sind hier an die Tragfähigkeit des Auflagers zu stellen ( $E \geq 80 \text{ MN/m}^2$ ).

**Anforderungen gemäß Güterichtlinie (Variante B)**

Deponieklassen I - III	
Tragdichtungsschicht AC 16 TD-DA	
Lagen	1
Mächtigkeit	≥ 0,08 m



*Für Dichtungselemente aus Deponieasphalt steht eine bundeseinheitliche Eignungsbeurteilung kurz vor der Fertigstellung.*

- *Güterichtlinie Abdichtungskomponenten aus Deponieasphalt [www.dggt.de](http://www.dggt.de) (noch nicht veröffentlicht)*
- *Eignungsbeurteilung Abdichtungskomponenten aus Deponieasphalt (noch nicht veröffentlicht)*
- *BQS 2-4 Abdichtungskomponenten aus Deponieasphalt in Basisabdichtungssystemen von Deponien (noch nicht veröffentlicht) [www.laga-online.de](http://www.laga-online.de) ☞ Informationen ☞ Deponiebaustoffe, Deponietechnische Vollzugsfragen ☞ Bundeseinheitliche Qualitätsstandards*

**2.3.2.3 Mineralische Abdichtung**

Mineralische Abdichtungskomponenten aus natürlichen, mineralischen Materialien (z. B. Ton, Schluff, Lehm), deren Wirkung auf der Begrenzung des Porenvolumens und der hydraulischen Leitfähigkeit beruht, können eingesetzt werden:

- als einzige Abdichtungskomponente in der Deponieklasse I, oder
- als mineralische Abdichtungskomponente unterhalb einer Konvektionssperre in den Deponieklassen II und III.

### Anforderungen gemäß Deponieverordnung

Deponieklassen I, II, III	
Mindestmächtigkeit	$d \geq 0,50 \text{ m}$
Anzahl der erforderlichen Lagen	2
Durchlässigkeitsbeiwert	$k \leq 5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$



*Zu mineralischen Basisabdichtungskomponenten aus natürlichen Baustoffen liegen folgende Handlungsempfehlungen vor:*

- *LAGA-BQS 2-0 Mineralische Basisabdichtungskomponenten – übergreifende Anforderungen*
- *LAGA-BQS 2-1 Mineralische Basisabdichtungskomponenten aus natürlichen mineralischen Baustoffen*  
[www.laga-online.de](http://www.laga-online.de) ☞ Informationen ☞ Deponiebaustoffe, Deponietechnische Vollzugsfragen ☞ Bundeseinheitliche Qualitätsstandards

Die Anforderungen der Deponieverordnung werden durch das *LANUV-Arbeitsblatt 6 Mineralische Deponieabdichtungen* [41] konkretisiert. Hinweise für die Beurteilung der Langzeitbeständigkeit natürlicher mineralischer Dichtungen gibt der LANUV-Fachbericht 25 „Langzeitbeständigkeit mineralischer Deponieabdichtungen“ [39].

#### 2.3.2.4 Vergütete Mineralgemische

Die im Folgenden aufgelisteten Rezepturen für die Vergütung von Mineralgemischen sind in den letzten Jahren nicht mehr zum Einsatz gekommen. Gleichwohl ist ihr Einsatz bei entsprechendem Eignungsnachweis weiterhin zulässig.

##### System Kügler

Das *System Kügler* geht vom Grundsatz her von der Vergütung eines natürlich anstehenden Materials (z.B. Lößlehm) mit Wasserglas aus. Die Herstellung des Abdichtungsmaterials erfolgt auf der Basis eines kornabgestuften Mineralgemisches. Der abdichtende Effekt beruht auf einer Verklebung und Verstopfung der Bodenporen durch die aus dem Wasserglas gebildeten Kieselsäuresole und -gele. Das pulverförmige Wasserglas löst sich durch das Bodenwasser langsam auf und verteilt sich im Porenraum.

##### System Dynagrout

Von der Firma *HÜLS AG Troisdorf* wurde ein System zur Wasserglasvergütung entwickelt, bei dem ausgewählte Zuschlagstoffe wie Kiese, Sande sowie nicht-quellbare Tonminerale verwendet werden. Der noch verbleibende mineralisierte Porenraum in der verdichteten Masse wird mit einem speziell angepassten Hydrosilikatgel als Binder verfüllt.

##### CHEMOTON

*CHEMOTON* ist ein Dynagrout-Hydrosilikatgel-vergütetes Mineralgemisch, für das das DIBt eine *allgemeine bauaufsichtliche Zulassung* erteilte, die inzwischen abgelaufen und nicht mehr gültig ist. In der abgelaufenen Zulassung kommt als Mineralgemisch ein Kies-Ton-

Gemisch (GT\*) bzw. Sand-Ton-Gemisch (ST\*) zur Anwendung, für welches drei alternative Kornverteilungen nach dem Fullerprinzip festgelegt sind.

Der Einbau wasserglasvergüteter Mineralgemische führt zu einem erhöhten Bauaufwand und erfordert den Einsatz erfahrener Fachfirmen.

### Bentokies

Durch die Zugabe von Tonmehlen können gemischtkörnige Mineralgemische, die für sich nicht die Anforderungen an die Dichtigkeit einhalten, vergütet werden. Hierfür können gemischtkörnige Materialien in Betracht kommen, deren Kornabstufung in etwa der Fuller-Kurve entspricht, z.B. anstehende sandige Kiese, wenn zur Porenfüllung quellfähige Tonmehle zugemischt werden. Für die Erstellung einer Bentokiesabdichtung ist ein erhöhter Bauaufwand erforderlich.

### DYWIDAG-Mineralgemisch

Das *DYWIDAG-Mineralgemisch 16/32* ist ein gemischtkörniger Boden, toniger Kies und besteht aus Mineralstoffen bestimmter Art und Körnung sowie Bentonit als Feinanteil. Das DIBt erteilte eine *allgemeine bauaufsichtliche Zulassung*, die inzwischen abgelaufen ist.

Vergütete Mineralgemische können eingesetzt werden:

- als einzige Abdichtungskomponente in der Deponieklasse I oder
- als mineralische Abdichtungskomponente unterhalb einer Konvektionssperre in den Deponieklassen II und III.

#### Anforderung gemäß Deponieverordnung

Deponieklassen I, II, III	
Mindestmächtigkeit	$d \geq 0,50 \text{ m}$
Anzahl der erforderlichen Lagen	2
Durchlässigkeitsbeiwert	$k \leq 5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$



*Zu mineralischen Basisabdichtungskomponenten aus vergüteten, natürlichen Baustoffen liegen folgende Handlungsempfehlungen vor:*

- *LAGA-BQS 2-0 Mineralische Basisabdichtungskomponenten – übergreifende Anforderungen*
- *LAGA-BQS 2-2 Mineralische Basisabdichtungskomponenten aus vergüteten natürlichen mineralischen Baustoffen*  
[www.laga-online.de](http://www.laga-online.de) ☞ Informationen ☞ Deponiebaustoffe, Deponietechnische Vollzugsfragen ☞ Bundeseinheitliche Qualitätsstandards

### 2.3.3 Entwässerungsschicht

Die wesentliche Funktion der Entwässerungsschicht besteht in der Fassung und Ableitung von Deponiesickerwasser, um einen Einstau in den Deponiekörper zu verhindern. Die Anforderungen an die mineralische Entwässerungsschicht ergeben sich aus Anhang 1, Tabelle 1

DepV und der DIN 19667. Die DIN 19667 gilt ausdrücklich für Entwässerungssysteme im Basisabdichtungssystem. Sie bestimmt, dass die Basisentwässerung aus einer flächigen mineralischen Entwässerungsschicht mit integrierten Sickerleitungen (Sickerrohre) herzustellen ist [24].

#### Anforderungen gemäß Deponieverordnung

Deponieklasse 0	
Mindestmächtigkeit	$d \geq 0,30 \text{ m}$
Deponieklassen I, II, III	
Mindestmächtigkeit	$d \geq 0,50 \text{ m}$

Wenn nachgewiesen wird, dass es langfristig zu keinem Einstau von Wasser im Deponiekörper kommt, kann mit Zustimmung der zuständigen Behörde bei Deponien der Klassen I, II und III die Entwässerungsschicht mit einer geringeren Schichtstärke oder anderer Körnung hergestellt werden.



*Zu mineralischen Entwässerungsschichten liegen folgende Handlungsempfehlungen vor:*

- *LAGA-BQS 3-1 Mineralische Entwässerungsschichten aus natürlichen Baustoffen in Basisabdichtungskomponenten*
- *LAGA-BQS 3-2 Mineralische Entwässerungsschichten aus nicht natürlichen Baustoffen in Basisabdichtungskomponenten*  
[www.laga-online.de](http://www.laga-online.de) ☞ Informationen ☞ Deponiebaustoffe, Deponietechnische Vollzugsfragen ☞ Bundeseinheitliche Qualitätsstandards

## 2.4 Oberflächenabdichtung

### 2.4.1 Allgemeines

Der Aufbau des Abdichtungssystems richtet sich nach der jeweiligen Deponieklasse (s. Deponieverordnung, Anhang 1, Tabelle 2).

#### Ausgleichsschicht

Eine Ausgleichsschicht ist ggf. erforderlich, um Unebenheiten der Oberfläche des abgelagerten Abfalls auszugleichen oder bestimmte Tragfähigkeiten herzustellen, um die weiteren Systemkomponenten ordnungsgemäß einbauen zu können. Sie schützt die restlichen Oberflächenabdichtungskomponenten gegen Durchdringungen aus dem Deponiekörper. Die Ausgleichsschicht ist ausreichend zu dimensionieren. Dies ist in der Regel bei einer Mächtigkeit von 0,50 m gegeben.

Nach Abklingen der Setzungen muss zur Sicherstellung der Oberflächenentwässerung ein ausreichendes Gefälle ( $\geq 5\%$ ) vorhanden sein.

Bei ausreichender Gasdurchlässigkeit und Dicke kann sie die Funktion der Gasdränschicht mit erfüllen. Die durch Druck- oder Temperaturdifferenzen ausgelösten konvektiven Gas- oder Wasserdampfströmungen in der Gasdränschicht können zur Austrocknung einer aufliegenden mineralischen Dichtungsschicht führen. In diesen Fällen soll die mineralische Dich-

tung nicht unmittelbar auf der Gasdränschicht aufliegen, sondern eine zusätzliche Ausgleichsschicht mit geringem Porenvolumen und –durchmesser angeordnet werden.

### Abdichtungskomponente

Die Deponieverordnung gibt nur die Zahl und die erforderliche Leistungsfähigkeit der Abdichtungskomponenten vor. Im Fall von zwei erforderlichen Abdichtungskomponenten sollen diese möglichst aus verschiedenen Materialien bestehen und auf die verschiedenen Einwirkungen unterschiedlich reagieren, um so einen höheren Schutz zu bieten.

Bei der Kombination verschiedener dünnlagiger Dichtungskomponenten (z. B. Kunststoffdichtungsbahn und geosynthetische Tondichtungsbahn) sind besondere organisatorische Vorkehrungen gegen mechanische Perforation während der Bauphase zu treffen.

Wird auf eine Konvektionssperre ganz verzichtet, ist ein Kontrollfeld zu errichten (siehe hierzu 2.4.6.4).

Tabelle 5 gibt eine Übersicht über mögliche Abdichtungskomponenten in Oberflächenabdichtungssystemen. Die Aufzählung ist nicht abschließend, deckt aber die gängigen Bauarten ab.

**Tabelle 5** Übersicht über mögliche Abdichtungskomponenten (Oberfläche)

- Einsatz möglich
- ⊙ in Kombination mit einer weiteren Dichtungskomponente
- mit Einschränkungen
- \* Es liegen nicht mehr gültige Zulassungen oder Empfehlungen vor.

Dichtungskomponente	I	II	III	Feststellung der Eignung
Kunststoffdichtungsbahn	●	⊙	⊙	Zulassung BAM
Dichtungselement aus Deponieasphalt	●	⊙	⊙	Einzelfallnachweis *
geosynthetische Tondichtungsbahn	●	⊙	-	Eignungsbeurteilung LAGA
Mineralische Abdichtung	●	⊙	⊙	Einzelfallnachweis
Trisoplast	●	⊙	⊙	Eignungsbeurteilung LAGA
METHA-Material	●	⊙	-	Eignungsbeurteilung LAGA
Kapillarsperre	●	⊙	○	Einzelfallnachweis
Kombikapillarsperre	●	●	- ○	Eignungsbeurteilung LAGA Einzelfallnachweis
vergütete Mineralgemische	●	⊙	⊙	Einzelfallnachweis
Wasserhaushaltsschicht	○	-	-	in NRW i. d. R. nicht möglich

## 2.4.2 Geokunststoffe

### 2.4.2.1 Kunststoffdichtungsbahn

Kunststoffdichtungsbahnen als Abdichtungskomponenten für Deponien werden aus Polyethylen hoher Dichte (PEHD) in einer Dicke von 2,5 mm hergestellt. Sie sind gas und was-



serdicht. Die Kunststoffdichtungsbahn ist eine Konvektionssperre im Sinne der Deponieverordnung.

Kunststoffdichtungsbahnen weisen ein sehr günstiges Verformungsverhalten auf, das es ermöglicht, begrenzten Setzungen auch nach langer Zeit noch schadlos zu folgen. Die Kunststoffdichtungsbahn ist im unversehrten Zustand wurzel- und nagetierversicher.

PEHD ist gegenüber chemischen Einwirkungen äußerst widerstandsfähig. Allein oxidativer Abbau kann über lange Zeiträume hinweg zu nachteiligen Materialveränderungen führen. Bei ausreichendem Schutz gegen UV-Licht kann der oxidative Abbau auf ein sehr geringes Maß reduziert werden. Die Beständigkeit von BAM-zugelassenen und fachgerecht eingebauten Kunststoffdichtungsbahnen ist für Zeiträume von deutlich mehr als 100 Jahren nachgewiesen worden [2].

Kunststoffdichtungsbahnen dürfen nur von erfahrenen Verlegebetrieben mit qualifiziertem Personal verlegt werden. Es dürfen dabei nur solche Kunststoffdichtungsbahnen eingesetzt werden, die über eine Zulassung gemäß der Zulassungsrichtlinien der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung verfügen [6].

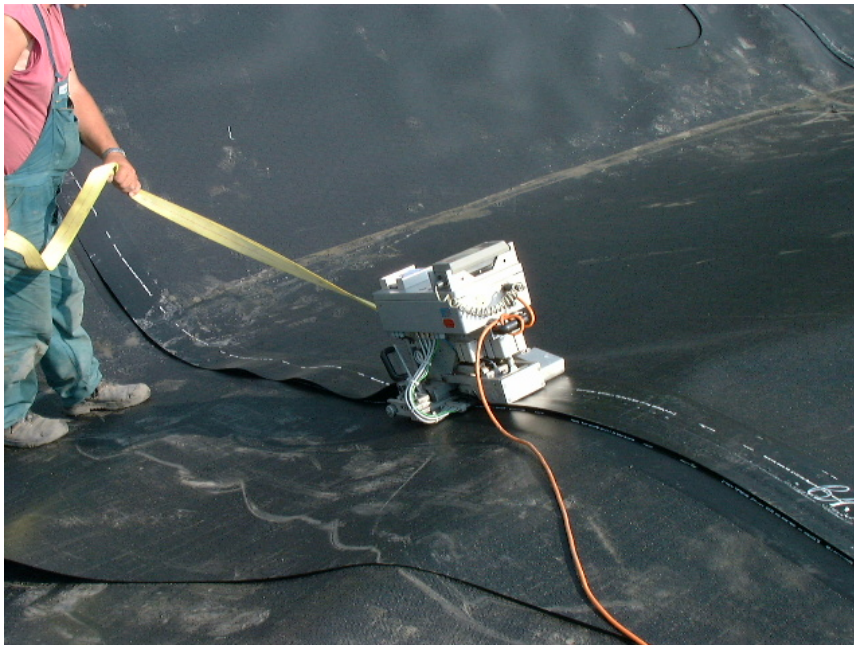


*Zulassungen der BAM werden auf deren Homepage veröffentlicht.*

- *Liste der Zulassungen*

[www.bam.de](http://www.bam.de)

*☞ Service ☞ Amtliche Mitteilungen ☞ Abfallrecht*



**Abbildung 4** Verschweißen zweier Kunststoffdichtungsbahnen

### 2.4.2.2 Geogitter

Geogitter werden im Deponiebau zur Stabilisierung von steilen Böschungen eingesetzt. Ihre Wirkung besteht darin, dass sie die Zugspannungen aufnehmen, die sich aus dem Eigengewicht der Rekultivierungsschicht und der Entwässerungsschicht ergeben und damit den Aufbau einer unverträglichen Schubspannung auf die unterliegenden Komponenten verhindern. Die Zugkräfte werden in einen Einbindegraben auf dem Plateaubereich abgetragen.

Geogitter werden aus Polyethylen hoher Dichte (PEHD) Polypropylen (PP), Polyester (z.B. PET) oder Polyvinylalkohol (PVA) hergestellt. Als Bautypen werden gestreckte, gewebte und gelegte Geogitter unterschieden. Bei gestreckten (gereckten) Geogittern werden die Moleküle im Produktionsprozess durch Streckung in Belastungsrichtung ausgerichtet, so dass sich bei der späteren Belastung im Einbauzustand keine Anfangsdehnung einstellt; gleiches gilt für gelegte Geogitter aus vorgestreckten Bändern oder Stäben.



**Abbildung 5** gelegtes Geogitter in einer steilen Böschung

Foto: Bezirksregierung Düsseldorf

Es dürfen nur solche Geogitter eingesetzt werden, die eine Zulassung der *Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung* (BAM) haben.

Geogitter haben zwar eine lange aber letztlich endliche Beständigkeit und Funktionsdauer. Nach Erreichen der Langzeitbeständigkeit droht Materialversagen und damit i. d. R. der Verlust der Standsicherheit der Böschungsf lächen. Dies ist bei der Entscheidung über die Entlassung aus der Nachsorge zu berücksichtigen.



*Seit 2013 liegen auf Grund einer vorläufigen Prüfrichtlinie Zulassungen für mehrere Produkte vor.*



▪ *Liste der Zulassungen*

[www.bam.de](http://www.bam.de)

☞ Service ☞ Amtliche Mitteilungen ☞ Abfallrecht

### 2.4.2.3 Dränelemente

Ein Kunststoff-Dränelement ist ein überwiegend aus Kunststoff vorgefertigtes, flächenartiges Entwässerungselement. Solche Elemente können als Matten oder als Rollenware verlegt werden. Sie werden in Form von Gittern, grobstrukturierten Partikeln oder Wirrgelegen angeboten, die zwischen zwei Filtertextilen oder Filtervliesen eingebunden sind (Geokomposits). Das Grundmaterial besteht in der Regel aus Polyethylen (PE) oder Polypropylen (PP).

Synthetische Dränelemente können als Entwässerungsschichten auf Deponien eingesetzt werden, wenn die folgenden Eigenschaften gegeben sind:

- ausreichendes Wasserableitvermögen
- ausreichende Filterstabilität gegenüber den angrenzenden Schichten, Mindeststärke des Deckvlieses 300 g/m<sup>2</sup>.
- ausreichende Sicherheit gegen Funktionsversagen infolge Durchwurzelung
- Langzeitbeständigkeit
- Standsicherheit

Der Nachweis dieser Eigenschaften ist im Zuge der Bemessung des Dränelementes zu führen.



**Abbildung 6** Dränmatte mit Wirrgelege

Es dürfen nur Dränmatten mit einer Zulassung der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM) eingesetzt werden [8]. Seit 2014 werden Zulassungen nur noch für Dränelemente mit einem Mindestgewicht des Filtervlieses von 300 g/m<sup>2</sup> erteilt. Eine Übergangsregelung zum Einsatz von Dränelementen mit einem Vliesgewicht von 200 g/m<sup>2</sup> ist seit 2014 nicht mehr anwendbar.



Zulassungen der BAM werden auf deren Homepage veröffentlicht.

- Liste der Zulassungen

[www.bam.de](http://www.bam.de)

☞ Service ☞ Amtliche Mitteilungen ☞ Abfallrecht

Die Bemessung soll nach der *Empfehlung E 2-20* des *Arbeitskreises 6.1 Geotechnik der Deponiebauwerke* erfolgen [15]. Die Abminderungsfaktoren sind entsprechend der Empfehlung E 2-20 zu verwenden.

**Tabelle 6** Sicherheitsbeiwerte für die Bemessung von Dränmatten  
nach GDA-Empfehlung E 2-20 [15]

Beiwert	Einfluss	Wert
D <sub>1</sub>	Streuung der Messdaten	1,3
D <sub>2</sub>	Materialbeanspruchungen beim Einbau	1,2
D <sub>3</sub>	Überlappungen, Anschlüsse	1,2
D <sub>4</sub>	biologische und chemische Ausfällungen, Eindringen von Bodenbestandteilen und Wurzeln (siehe Tabelle 7)	1,1-2,0

Demnach ergibt sich der Eingangswert des Langzeit-Wasserableitvermögens zu:

$$q_{LZ,d} = \frac{q_{LZ}}{D_1 \cdot D_2 \cdot D_3 \cdot D_4}$$

Der Abminderungsfaktor D<sub>4</sub> für Beeinträchtigungen des Wasserableitvermögens durch lokale Querschnittsveränderungen (Durchwurzlung und Ausfällungen) ist abhängig von der Gestaltung der Rekultivierungsschicht. Für die Bemessung werden folgende Orientierungswerte empfohlen:

**Tabelle 7** empfohlener Abminderungsfaktor D<sub>4</sub> zur Bemessung von Dränelementen

Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht	weitere Voraussetzungen	D <sub>4</sub>
1,0 m	Pflanzenauswahl nach Wurzeltiefe	2,0
1,5 m	Pflanzenauswahl nach Wurzeltiefe sonst	1,5 1,75
2,0 m	Vermeidung tiefwurzelnder Bäume	1,2
2,5 m	Vermeidung tiefwurzelnder Bäume	1,1

Der Rekultivierungsboden sollte grundsätzlich so aufgebaut sein, dass der Austrag von Feinpartikeln weitgehend unterbunden ist. Ansonsten besteht die Gefahr, dass sich langfristig Kolmationserscheinungen am Deckvlies einstellen, die den Eintritt des Sickerwassers in das Dränelement erschweren oder (im Extremfall) verhindern und so zu Standsicherheitsproblemen in Böschungen führen.

Eine zusätzliche Dränkapazität kann durch den gezielten Aufbau der Rekultivierungsschicht erreicht werden, wenn die untere Zone der Rekultivierungsschicht (siehe Abbildung 7) durch Auswahl eines durchlässigen Bodenmaterials ein zusätzliches laterales Wasserleitvermögen aufweist ( $k \geq 1 \cdot 10^{-6}$  m/s). Dies kann dann sinnvoll sein, wenn der Boden der Rekultivierungsschicht eine hohe Feinkornmobilität aufweist und der Eintritt des Sickerwassers durch das Deckvlies der Dränmatte erheblich beeinträchtigt werden kann (s. o.). Die Anforderungen an die nutzbare Feldkapazität für die gesamte Rekultivierungsschicht sind dabei einzuhalten.

Der Sicherheitsfaktor  $S$  für Ungenauigkeiten bei den hydraulischen Lastannahmen kann zu 1,1 gewählt werden, wenn die Eintrittswassermenge (Dränspende) auf Grund von spezifischen Untersuchungen des örtlichen Niederschlagsverhaltens ermittelt wurde. Er ist entsprechend höher anzusetzen, wenn die Eintrittswassermenge aus der Übertragung von anderen Standorten (je nach Vergleichbarkeit und räumlicher Nähe) oder aus allgemeinen Ansätzen übernommen wurde. Er ist ggf. auch höher anzusetzen, wenn das Vorhandensein bevorzugter Fließwege durch Wühltiergänge zu erwarten ist.

Die *GDA-Empfehlung E 2-20* empfiehlt für die Vorbemessung der Dränmatten einen Wert von  $q_s = 25$  mm/d als maximale Dränspende. Dieser Wert kann auch in Nordrhein-Westfalen in großen Bereichen angesetzt werden. Allerdings gibt es Gebiete ausgeprägter Starkniederschläge in der Eifel, im Bergischen Land und im Sauerland, in denen von höheren Vorbemessungsansätzen ausgegangen werden sollte. In Abbildung 34 sind die 72 h-Niederschlagssummen für Nordrhein-Westfalen für eine 100-jährliche Wiederkehrwahrscheinlichkeit dargestellt. Ab einer Niederschlagssumme von 120 mm sollte bei der Vorbemessung als maximale Dränspende  $q_s = 40$  mm/d (für bindige Böden 25 mm/d) angesetzt werden. Die konkrete Bemessungseintrittswassermenge sollte grundsätzlich auf der Grundlage örtlicher hydrologischer Auswertungen ermittelt werden.

Beim Einsatz einer Dränmatte ist grundsätzlich zu beachten, dass der Auslaufbereich am Böschungsfuß so gestaltet wird, dass ein möglichst guter Übertritt des Dränwassers in die Entwässerungseinrichtungen gewährleistet ist. Dies kann über die Einbindung des Fußbereichs in eine ausreichend bemessene Kiespackung mit hoher hydraulischer Leitfähigkeit, ggf. mit Öffnung der Decktextilien, erreicht werden.



**Abbildung 7** Rekultivierungsschicht mit Zoneneinteilung  
Gestuffer Aufbau der Rekultivierungsschicht auf Geogitter, Dränmatte und Kunststoffdichtungsbahn  
Foto: HYDR.O. Geologen und Ingenieure

Grundlagen für den Entwurf, die Bemessung und den Bau von geotextilen Entwässerungsschichten hat die *Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT)* in den Empfehlungen E 2-9 [14] und E 2-20 [15] veröffentlicht.



*Zum Einsatz von synthetischen Dränelementen liegen folgende Handlungsempfehlungen vor:*

- *E 2-9 Einsatz von Geotextilien im Deponiebau*
- *E 2-20 Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen*

[www.gdaonline.de](http://www.gdaonline.de) *Empfehlungen*

#### 2.4.2.4 **Filtertextilien**

Sofern die Filterstabilität zweier angrenzender mineralischer Schichten nicht durch die Kornabstufung gegeben ist, können Geotextilien eingesetzt werden, um Kontakterosion zu vermeiden. Es dürfen nur solche Filtertextilien eingesetzt werden, die über eine Zulassung oder Eignungsfeststellung der *Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung* verfügen [9]. Seit 2014 werden Filtervliese nur noch mit einem Mindestgewicht von 300 g/m<sup>2</sup> erteilt. Eine Liste mit Zulassungen ist unter der folgenden Internet-Adresse abrufbar:



*Zulassungen der BAM werden auf deren Homepage veröffentlicht.*

- *Liste der Zulassungen*


[www.bam.de](http://www.bam.de)

*Service* *Amtliche Mitteilungen* *Abfallrecht*

Hinweise zur Beurteilung der Filterstabilität befinden sich im Anhang A 3.

#### 2.4.2.5 Schutzschichten

Neben mineralischen Schutzschichten werden Geotextilien oder Kombinationen aus Geotextilien und mineralischen Materialien verwendet. Geotextilien dürfen als Schutzschicht nur dann eingesetzt werden, wenn sie über eine Zulassung oder Eignungsbeurteilung der *Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung* verfügen. Eine Liste mit Zulassungen ist unter der folgenden Internet-Adresse abrufbar:



*Zulassungen der BAM werden auf deren Homepage veröffentlicht.*

- *Liste der Zulassungen*

[www.bam.de](http://www.bam.de)  
☞ *Service* ☞ *Amtliche Mitteilungen* ☞ *Abfallrecht*

#### 2.4.3 Serienmäßige / Standardisierte Produkte

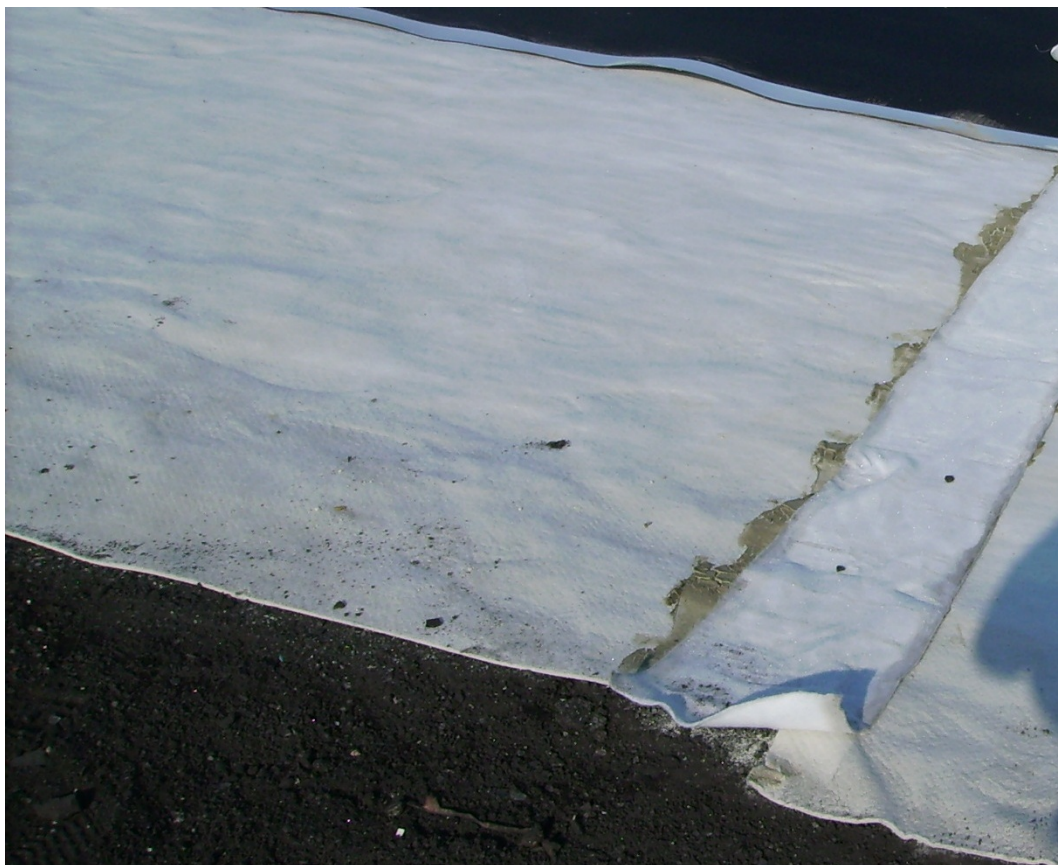
Die von der *LAGA ad-hoc-AG Deponietechnische Vollzugsfragen* erstellten Eignungsbeurteilungen sind im Internet abrufbar (siehe Kapitel 2.2.2).

##### 2.4.3.1 Geosynthetische Tondichtungsbahnen

Geosynthetische Tondichtungsbahnen (Bentonitmatten) sind serienmäßig hergestellte Geotextilien, die mit einer Einlage von Bentonitmehl oder –granulat befüllt sind. Die dichtende Wirkung von geosynthetischen Tondichtungsbahnen beruht auf der Quellfähigkeit des Bentonits, die bei Zutritt von Feuchtigkeit und hinreichend großer Auflast zu einer inneren Verdichtung des Bentonits und Schließung fließwirksamer Poren führt. Die damit erzielte, geringe hydraulische Leitfähigkeit erlaubt es, geosynthetische Tondichtungsbahnen in sehr geringen Baudicken einzusetzen.

In Böschungen kommt der geosynthetischen Tondichtungsbahn neben der Dichtungswirkung auch die Funktion der Übertragung der Schubkräfte aus der überlagernden Entwässerungsschicht und Rekultivierungsschicht zu. Bentonit hat selbst einen sehr geringen Reibungswinkel, so dass es eine Schubkraftübertragung in Böschungsflächen nicht sicherstellen kann. Diese Aufgabe übernehmen die synthetischen Fasern und Filamente der geosynthetischen Tondichtungsbahn. Deren Beständigkeit bestimmt in Böschungsflächen die Funktionsdauer einer geosynthetischen Tondichtungsbahn. Laborversuche im Rahmen der Eignungsbeurteilungen der haben gezeigt, dass die Beständigkeit für deutlich mehr als hundert Jahre nachgewiesen werden kann.





**Abbildung 8** geosynthetische Tondichtungsbahn  
Überlappungszone (Querstoß) mit aufgetragener Bentonitpaste  
Foto: Naue GmbH & Co. KG

#### Anforderungen

Deponieklassen I, II	
Mindestmächtigkeit	-
Anzahl der erforderlichen Lagen	1



#### *Bundeseinheitliche Eignungsbeurteilungen:*

- *Bentofix B 4000 (NAUE GmbH & Co. KG)*
- *Bentofix BZ 6000 (NAUE GmbH & Co. KG)*
- *Bentofix NSP 4900 (NAUE GmbH & Co. KG)*
- *Bentomat GDA (Beco Bermüller & Co. GmbH)*
- *NaBento RL-C (HUESKER Synthetic GmbH)*
- *NaBento RL-N (HUESKER Synthetic GmbH)*

[www.laga-online.de](http://www.laga-online.de)

☞ *Publikationen / Informationen* ☞ *Deponiebaustoffe, Deponietechnische Vollzugsfragen* ☞ *Bundeseinheitliche Eignungsbeurteilungen*

### 2.4.3.2 Mineralische Dichtungsbahn

Eine mineralische Dichtungsbahn besteht aus einer Hülle aus synthetischem Gewebe und einer Füllung aus einem Sand-Bentonit-Gemisch, das die Dichtungsfunktion übernimmt. Die mineralische Dichtungsbahn wirkt funktional ähnlich der geosynthetischen Tondichtungsbahn. Die mineralische Dichtungsbahn wird als Bahnenware vertrieben, deren Überlappungskanten abgeschrägt werden. Die Dichtungseigenschaften des Sand-Bentonit-Gemisches ähneln funktional dem Baustoff *TRISOPLAST*.

Auf Grund des hohen Sandanteils und des höheren inneren Reibungswinkels sind gegenüber der geosynthetischen Tondichtungsbahn Vorteile in der Standsicherheit in Böschungsflächen zu erwarten.

### 2.4.3.3 Kombikapillarsperre

Die Kombikapillarsperre ist eine Bauvariante der klassischen Kapillarsperre, die in eine Kombinationsdichtung mit einer Kunststoffdichtungsbahn integriert ist. Die Kunststoffdichtungsbahn wird zwischen der Kapillarschicht und dem Kapillarblock angeordnet. Die Kapillarschicht ist dabei gleichzeitig die Entwässerungsschicht der Oberflächenabdichtung. Während der Funktionsfähigkeit der Kunststoffdichtungsbahn übernimmt der Kapillarblock keine Funktion. Nach Eintreten von Schäden oder alterungsbedingten Funktionseinbußen in der Kunststoffdichtungsbahn wirkt der Kapillarblock im Zusammenspiel mit der Kapillarschicht als klassische Kapillarsperre.



- *Beurteilung der grundsätzlichen Eignung der Kombikapillarsperre durch die LAGA-ad-hoc-AG Deponietechnische Vollzugsfragen*  
[www.gewerbeaufsicht.niedersachsen.de](http://www.gewerbeaufsicht.niedersachsen.de)  
☞ Umweltschutz ☞ Kreislauf- und Abfallwirtschaft ☞ Deponietechnik ☞  
*LAGA-ad-hoc-AG Deponietechnische Vollzugsfragen (bis 2009)*

### 2.4.3.4 Kapillarblockbahn (KBB)

Die Kapillarblockbahn ist ein geosynthetisches Bauelement, das die Funktion des Kapillarblocks einer Kapillarsperre übernimmt. Die Kapillarblockbahn wird als Bahnenware vertrieben. Die Füllung aus Feinkies oder Grobsand wird durch die beidseitige Umhüllung mit einem synthetischen Gewebe eingeschlossen. Die Körnung der Kapillarschicht muss auf die Körnung der Kapillarblockbahn (2-5 mm) abgestimmt werden, damit die Kapillarsperre die angestrebte Wirkung entfalten kann.



**Abbildung 9** Verlegung einer Kapilllarblockbahn (KBB)  
Foto: G quadrat Geokunststoffgesellschaft mbH



- *Eignungsbeurteilung der LAGA-ad-hoc-AG Deponietechnik für die Kapilllarblockbahn der Firma G quadrat GmbH*

[www.laga-online.de](http://www.laga-online.de)

☞ Publikationen / Informationen ☞ Deponiebaustoffe, Deponietechnische Vollzugsfragen ☞ Bundeseinheitliche Eignungsbeurteilungen

#### 2.4.3.5 METHA-Material

Der *METHA*-Schlick fällt bei der Aufbereitung von Baggergut aus dem Hamburger Hafen an. Es wird mittels **ME**chanischer **T**rennung und **E**ntwässerung von **HA**fensedimenten (*METHA*) in Sand und Schlick getrennt und die Schlickfraktion entwässert. Die Schlickfraktion kann als Baustoff für mineralische Deponieabdichtungen verwendet werden. Auf Grund seines hohen Anteils an Feinkorn weist das Material nach dem Einbau eine geringe hydraulische Leitfähigkeit auf.

Um die volle Dichtungswirkung des Systems zu erreichen, ist eine Auflastspannung von 35 kN/m<sup>2</sup> erforderlich; das entspricht in etwa einer Überdeckung von 2,0 m.

##### Anforderungen

Deponieklassen I, ( II )	
Mindestmächtigkeit	0,80
Anzahl der erforderlichen Lagen	2

Obwohl das Material größtenteils natürlichen Ursprungs ist, ist es auf Grund seiner Entstehung und Gewinnung als Abfall einzustufen (Baggergut). Es weist einen relativ hohen Anteil



organischer Substanz auf und ist mit anthropogenen Schadstoffen belastet. Daher ist in jedem Einzelfall die Zulässigkeit des Einbaus hinsichtlich der Anforderungen des Anhangs 3 DepV an die Schadstoffbelastung zu prüfen.

**i** ■ *Eignungsbeurteilung für das METHA-Material für die Deponieklasse I durch die LAGA-ad-hoc-AG Deponietechnische Vollzugsfragen*

[www.gewerbeaufsicht.niedersachsen.de](http://www.gewerbeaufsicht.niedersachsen.de)

☞ Umweltschutz ☞ Kreislauf- und Abfallwirtschaft ☞ Deponietechnik ☞ LAGA-ad-hoc-AG Deponietechnische Vollzugsfragen (bis 2009)

### 2.4.3.6 TRISOPLAST®

*TRISOPLAST* ist ein mineralisches Abdichtungsmaterial für Oberflächenabdichtungssysteme. Es besteht aus den Komponenten Sand (oder einem anderen mineralischen Zuschlagstoff), natrium-aktivierten Bentonit und einem Polymer.

Die Dichtungswirkung dieses Gemischs entfaltet sich bei Zutritt von Feuchtigkeit durch das starke Aufquellen des Bentonits, das in Folge der bestehenden Auflast eine innere Verdichtung der Matrix bewirkt wird, die die fließwirksamen Poren verschließt. Dem Polymer kommt dabei die Funktion zu, das Bentonit am Korngerüst zu fixieren. Auf diese Weise wird eine sehr hohe Dichtigkeit erreicht, die es ermöglicht, *TRISOPLAST* in relativ geringer Mächtigkeit als Dichtungsschicht zu verwenden.

#### Anforderungen

Deponieklassen I, II, III	
Mindestmächtigkeit	0,08 m
Anzahl der erforderlichen Lagen	1

Die Einbauversuche an mehreren Baustellen haben gezeigt, dass der visuell rissfreie Einbau von *TRISOPLAST* mit Schwierigkeiten verbunden ist (z.B. Walzrisse). Es wird daher empfohlen, mit der Ausführung eine mit dem Einbau von *TRISOPLAST* erfahrene Baufirma zu beauftragen und die Herstellung im Versuchsfeld hinreichend zu erproben.



**Abbildung 10** Verdichtung einer TRISOPLAST-Dichtungsschicht



- *Eignungsbeurteilung für TRISOPLAST durch die LAGA-ad-hoc-AG Deponietechnische Vollzugsfragen*

[www.laga-online.de](http://www.laga-online.de)

☞ *Publikationen / Informationen* ☞ *Deponiebaustoffe, Deponietechnische Vollzugsfragen* ☞ *Bundeseinheitliche Eignungsbeurteilungen*

#### **2.4.3.7 Dichtungselement aus Deponieasphalt**

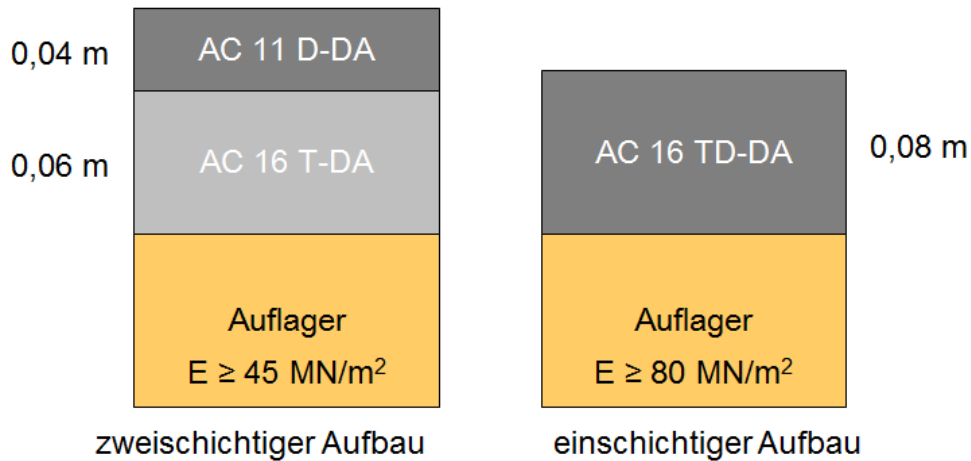
Deponieasphalt besteht aus Mineralstoffen bestimmter Art und Körnung sowie Bitumen bestimmter Sorten als Bindemittel. Hinsichtlich der Zusammensetzung und der Eigenschaften des Deponieasphalts wird unterschieden zwischen Deponieasphalt zur Verwendung für Tragschichten (T-DA) und Deponieasphalt zur Verwendung für die Dichtungsschicht (D-DA). Die Zusammensetzung und Eigenschaften des Mischgutes werden in der *Güterichtlinie Abdichtungskomponenten aus Deponieasphalt [19]* festgelegt.

Asphaltabdichtungen können eingesetzt werden:

- als einzige Abdichtungskomponente in der Deponieklasse I, oder
- als Konvektionssperre in Kombination mit einer weiteren Abdichtungskomponente in den Deponieklassen II und III.

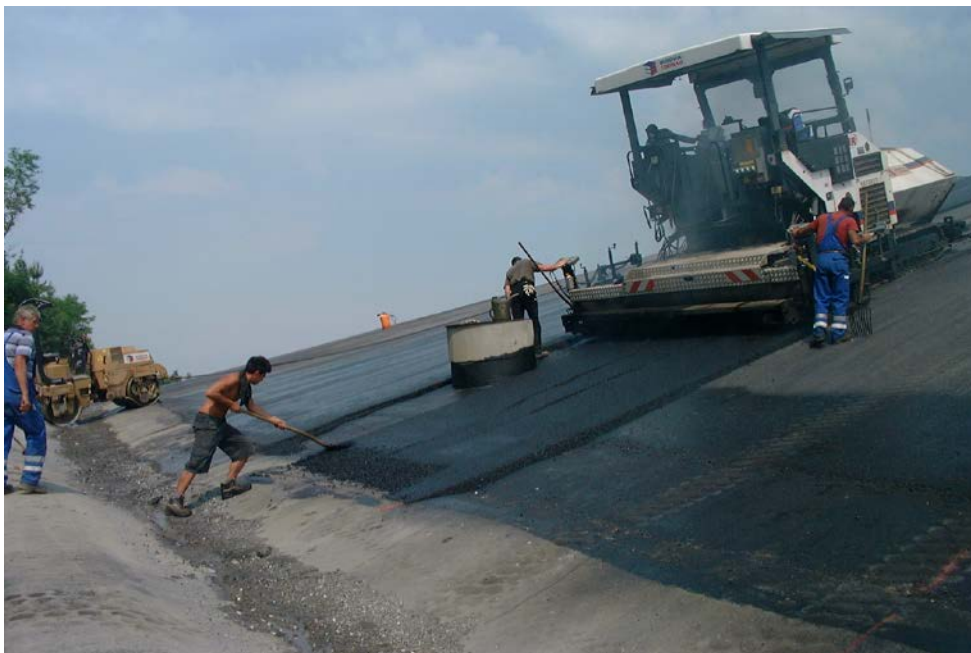
Es können zwei Bauweisen zur Ausführung kommen.

- Zweischichtige Bauweise mit getrennter Trag- und Dichtungsschicht (Variante A)
- Einschichtige Bauweise mit einer kombinierten Tragdichtungsschicht (Variante B)



**Abbildung 11** alternative Bauweisen für Deponieasphalt

Positive Erfahrungen aus den zurückliegenden Jahrzehnten und strenge Anforderungen an die Herstellung und das Qualitätsmanagement lassen es heute zu, dass Abdichtungskomponenten aus Deponieasphalt einlagig hergestellt werden können. Dabei kommt der Ausbildung und Behandlung des Schichtverbundes und der Nähte zwischen zwei Bahnen eine herausragende Bedeutung zu. Insgesamt ist zu betonen, dass die Herstellung von Abdichtungskomponenten aus Deponieasphalt besondere Erfahrung und Sorgfalt seitens der ausführenden Firma erfordert.



**Abbildung 12** Einbau von Deponieasphalt mit einem Fertiger

Deponieasphalt kann auf Grund seines hohen Bindemittelanteils relativ starken Verformungen folgen und ist daher für Oberflächenabdichtungssysteme gut geeignet.

Bei zweischichtiger Ausbildung gelten die folgenden Mindestanforderungen der Güterichtlinie:

**Anforderungen gemäß Güterichtlinie (Variante A)**

Deponieklassen I - III	
Dichtungsschicht AC 11 D-DA	
Lagen	1
Mächtigkeit	≥ 0,04 m
Tragschicht AC 16 T-DA	
Lagen	1
Mächtigkeit	≥ 0,06 m

Bei einschichtiger Ausbildung gelten die entsprechenden Anforderungen der Güterichtlinie. Besondere Anforderungen sind hier an die Tragfähigkeit des Auflagers zu stellen ( $E \geq 80 \text{ MN/m}^2$ ).

**Anforderungen gemäß Güterichtlinie (Variante B)**

Deponieklassen I - III	
Tragdichtungsschicht AC 16 TD-DA	
Lagen	1
Mächtigkeit	≥ 0,08 m

Abdichtungskomponenten aus Deponieasphalt sind für eine Überdeckung mit einer Entwässerungsschicht und einer Rekultivierungsschicht konzipiert. Die Rekultivierungsschicht bietet den notwendigen Schutz gegenüber Witterungseinflüssen, die den Asphalt langfristig schädigen könnten. Auch das Auflager muss gegen Frosteinflüsse geschützt werden.

Die hier beschriebene Bauweise ist nicht geeignet, eine befahrbare Asphaltdecke aus Deponieasphalt herzustellen. Eine solche würde hinsichtlich der Tragfähigkeit eine andere Zusammensetzung erfordern. Siehe hierzu auch Kapitel 3.7.2.

**i** *Für Dichtungselemente aus Deponieasphalt steht eine bundeseinheitliche Eignungsbeurteilung kurz vor der Fertigstellung.*

*Güterichtlinie Abdichtungskomponenten aus Deponieasphalt*  
[www.dggt.de](http://www.dggt.de) (noch nicht veröffentlicht)

- *Eignungsbeurteilung Abdichtungskomponenten aus Deponieasphalt (noch nicht veröffentlicht)*

*BQS 5-4 Abdichtungskomponenten aus Deponieasphalt in Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien (noch nicht veröffentlicht)*  
[www.laga-online.de](http://www.laga-online.de) ☞ Informationen ☞ Deponiebaustoffe, Deponietechnische Vollzugsfragen ☞ Bundeseinheitliche Qualitätsstandards

**2.4.3.8 Wasserglasvergütete Mineralgemische**

Wasserglas ist ein Sammelbegriff für technisch hergestellte Alkalisilikate, die in einem Schmelzprozess aus Quarzsand und Soda gewonnen werden. Je nach Wassergehalt kann

Wasserglas als Glas, als Pulver oder als Lösung vorliegen. Wasserglasvergütete mineralische Abdichtungen bestehen aus feinkörnigen oder gemischtkörnigen, natürlichen Materialien, denen in einem gesteuerten Prozess Silikat beigemischt wird, um die erforderlichen Eigenschaften zu erreichen. Die abdichtende Wirkung von wasserglasvergüteten Systemen besteht darin, dass die Wasserglaslösung im Boden kondensiert und die Poren durch Bildung eines Gels ausfüllt. Der für die Konvektion beanspruchte Porenraum steht damit nur noch in geringem Maße zur Verfügung und reduziert so die Durchlässigkeit des Mineralgemisches. Die Wirkung hängt vom verfügbaren Porenvolumen und von der Konzentration der Wasserglaslösung ab. Es können Durchlässigkeiten von  $k = 1 \cdot 10^{-12}$  m/s erreicht werden. Durch die z.T. langsam ablaufenden Kondensationsprozesse werden die endgültigen  $k$ -Werte erst nach einiger Zeit erreicht.

### **System Kügler**

Das *System Kügler* besteht im Grundsatz in der Vergütung eines natürlich anstehenden Materials (z.B. Lößlehm) mit Wasserglas. Die Herstellung des Abdichtungsmaterials erfolgt auf der Basis eines kornabgestuften Mineralgemisches. Der abdichtende Effekt beruht auf einer Verklebung und Verstopfung der Bodenporen durch die aus dem Wasserglas gebildeten Kieselsäuresole und -gele. Das pulverförmige Wasserglas löst sich durch das Bodenwasser langsam auf und füllt den Porenraum aus.

### **DynagROUT**

Von der Firma *HÜLS AG Troisdorf* wurde ein System zur Wasserglasvergütung entwickelt, bei dem ausgewählte Zuschlagstoffe wie Kiese, Sande sowie nicht-quellbare Tonminerale verwendet werden. Der noch verbleibende mineralisierte Porenraum in der verdichteten Masse wird mit einem speziell angepassten Hydrosilikatgel als Binder verfüllt. Die Veränderung der Grenzflächen- und Kapillareigenschaften des Dichtungsmaterials verhindert bzw. erschwert ein Eindringen und Durchströmen von Schadstoffen.


### **CHEMOTON**

*CHEMOTON* ist ein *DynagROUT*-Hydrosilikatgel-vergütetes Mineralgemisch zur Herstellung mineralischer Dichtungselemente in (Basis- oder) Oberflächenabdichtungen von Deponien. Als Mineralgemisch kommt ein Kies-Ton-Gemisch (GT\*) bzw. Sand-Ton-Gemisch (ST\*) zur Anwendung, für welches drei alternative Kornverteilungen nach dem Fullerprinzip in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung festgelegt sind.

Der Einbau wasserglasvergüteter Dichtungsmaterialien führt zu einem erhöhten Bauaufwand und erfordert den Einsatz erfahrener Fachfirmen. Wasserglasvergütete, weitgestufte Mineralgemische weisen einen hohen Widerstand gegen Durchwurzlung auf, da die zugänglichen Poren nach kurzer Zeit mit Wasserglas ausgefüllt und verschlossen sind. Für alle Systeme einer wasserglasvergüteten Abdichtung sind entsprechende Eignungsnachweise zu erbringen, die u. a. die Frage der Rissanfälligkeit darlegen. Der Einsatz von Klärschlamm in wasserglasvergüteten Dichtungsmaterialien ist wegen der Anforderungen des Anhangs 3 DepV nicht zulässig.

**Anforderungen**

Deponieklassen I, II	
Mindestmächtigkeit	0,50 m
Anzahl der erforderlichen Lagen	2

	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>BQS 5-0 „Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten – übergreifende Anforderungen“</i></li> <li>▪ <i>BQS 5-2 „Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten aus vergüteten natürlichen mineralischen Baustoffen“</i></li> </ul> <p><a href="http://www.laga-online.de">www.laga-online.de</a>  <small>☞ Publikationen / Informationen ☞ Deponiebaustoffe, Deponietechnische Vollzugsfragen ☞ Bundeseinheitliche Qualitätsstandards</small></p>
---	---

**2.4.3.9 Sonstige vergütete Mineralgemische**

**Bentokies**

Durch die Zugabe von Tonmehlen können gemischtkörnige Mineralgemische, die für sich nicht die Anforderungen an die Dichtigkeit einhalten, vergütet werden. Hierfür können gemischtkörnige Materialien in Betracht kommen, deren Kornabstufung in etwa der Fuller-Kurve entspricht, z.B. anstehende sandige Kiese, wenn zur Porenfüllung quellfähige Tonmehle zugemischt werden.

Wesentliche Vorteile dieses Systems sind:

- Es können steile Böschungen standsicher ausgeführt werden, weil das Dichtungsmaterial eine hohe Scherfestigkeit aufweist.
- Die mögliche Verwendung örtlicher Baumaterialien kann zu ökonomischen und ökologischen Vorteilen führen.
- Die Dichtung ist relativ schrumpfungsunempfindlich und damit durch Austrocknungsprozesse weniger gefährdet.

Für die Erstellung einer *Bentokies*-Abdichtung ist ein erhöhter Bauaufwand erforderlich.

**Anforderungen**

Deponieklassen I, II	
Mindestmächtigkeit	0,50 m
Anzahl der erforderlichen Lagen	2

Die Eignung ist gegenüber der zuständigen Behörde mit einem Einzelfallnachweis zu belegen. Die Vorteile der Bauweise können unter günstigen Randbedingungen durch eine Abminderung der Schichtstärke berücksichtigt werden. Eine Mindeststärke von 0,30 m darf in keinem Fall unterschritten werden.



## DYWIDAG-Mineralgemisch

Das *DYWIDAG-Mineralgemisch 16/32* ist ein gemischtkörniger Boden, toniger Kies und besteht aus Mineralstoffen bestimmter Art und Körnung sowie Bentonit als Feinanteil. Es dient zur Herstellung der mineralischen Dichtungsschicht in Basis- oder Oberflächenabdichtungen von Deponien.

### Anforderungen

Deponieklassen I, II	
Mindestmächtigkeit	0,20 m
Anzahl der erforderlichen Lagen	1

## 2.4.4 Sonstige Dichtungssysteme

### 2.4.4.1 Mineralische Abdichtung

Tonmineralische Abdichtungskomponenten werden aus natürlichen, mineralischen Materialien hergestellt, deren Wirkung auf der Begrenzung des Porenvolumens und der hydraulischen Leitfähigkeit beruht.

### Anforderungen gemäß Deponieverordnung

Deponieklassen	I, II	III
Anzahl der erforderlichen Lagen	2	
Durchlässigkeitsbeiwert	$k \leq 5 \cdot 10^{-9}$ m/s	$k \leq 5 \cdot 10^{-10}$ m/s

Die Anforderungen der Deponieverordnung werden durch das LANUV-Arbeitsblatt 6 „Mineralische Deponieabdichtungen“ [34] konkretisiert. Hinweise für die Beurteilung der Langzeitbeständigkeit natürlicher mineralischer Dichtungen gibt der Fachbericht 25 „Langzeitbeständigkeit mineralischer Deponieabdichtungen“ des LANUV NRW [39].



*BQS 5-0 „Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten – übergreifende Anforderungen“*

*BQS 5-1 „Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten aus natürlichen mineralischen Baustoffen“*

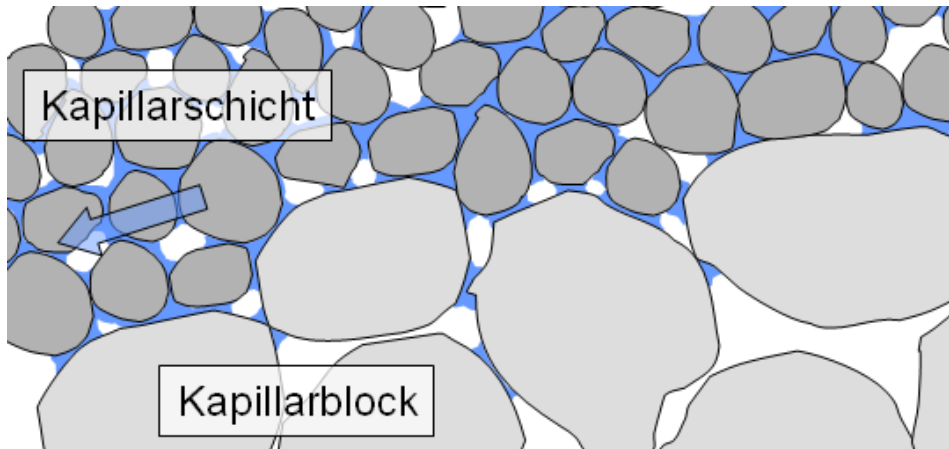
[www.laga-online.de](http://www.laga-online.de)

☞ Publikationen / Informationen ☞ Deponiebaustoffe, Deponietechnische Vollzugsfragen ☞ Bundeseinheitliche Qualitätsstandards

### 2.4.4.2 Kapillarsperre

Eine Kapillarsperre besteht aus zwei Lagen nicht-bindigen Bodenmaterials unterschiedlicher Körnung, deren Porengrößen so auf einander abgestimmt sind, dass die überlagernde Kapillarschicht das Wasser lateral abführt, ohne dass es zu einem relevanten Wassereintrag in den unterlagernden Kapillarkblock kommt. Dabei überlagert eine feinkörnige Kapillarschicht (KS) einen grobkörnigen Kapillarkblock (KB). Die hohen Kapillarkräfte in der feinkörnigen

Schicht führen dazu, dass das Wasser gegen die Schwerkraft gehalten und lateral abgeleitet werden kann (Abbildung 13).



**Abbildung 13** Wirkungsprinzip einer Kapillarsperre

Eine funktionierende Kapillarsperre kann in Verbindung mit einer geeigneten Rekultivierungsschicht nahezu 100 % des Niederschlagswassers zurückhalten und abführen. Bei außergewöhnlich starken Niederschlägen kann - insbesondere bei einer gering dimensionierten Rekultivierungsschicht - eine zeitweise Überlastung auftreten, die zu einem kurzzeitigen Versagen führt, nach der das System jedoch seine volle Funktionsfähigkeit zurückerlangt.



**Abbildung 14** Einbau einer Kapillarsperre  
Aufbringen der Kapillarschicht auf den Kapillarblock



### Anforderungen gemäß Deponieverordnung

Deponieklassen	I, II	III
Durchsickerungsmenge im 5-jährigen Mittel	20 mm/a	10 mm/a

Die Dimensionierung der Kapillarsperre, insbesondere der Kapillarschicht, muss durch eine Einzelbeurteilung auf der Grundlage einer hydraulischen Bemessung erfolgen. Wesentlicher Faktor der Dimensionierung ist die ausreichende Neigung, damit die anfallenden Wassermengen trotz geringerer ungesättigter Wasserleitfähigkeit lateral abgeführt werden können. Als Mindestgefälle wird ein Wert von 1:7 empfohlen; bis zu Neigungen von 1:2,5 lassen sich einfache Kapillarsperren problemlos ausführen. Die Mächtigkeit des Kapillarblocks muss nur so hoch sein, dass die (sehr geringe) Kapillarhöhe deutlich überschritten wird, um den Kapillarsprung sicherzustellen. Mit zunehmender Mächtigkeit des Kapillarblocks erhöht sich die Sicherheit gegenüber hydraulischen Brücken.



*Es liegt ein bundeseinheitlicher Qualitätsstandard vor, der auf die GDA-Empfehlung verweist.*

*GDA-Empfehlung E 2-33 Kapillarsperren in Oberflächenabdichtungssystemen (Entwurf)*

[www.gdaonline.de](http://www.gdaonline.de) ☞ Empfehlungen

#### 2.4.4.3 Abdichtungskomponente aus mineralischen Abfällen (Deponieersatzbaustoffe)

Abdichtungskomponenten aus mineralischen Abfällen als Deponieersatzbaustoffe können verwendet werden:

- als einzige Abdichtungskomponente in der Deponieklasse I, oder
- als mineralische Abdichtungskomponente unterhalb einer Konvektionssperre in der Deponieklasse II und III.

Die Anforderungen an die Zahl der Lagen und der Durchlässigkeit der Abdichtungsschichten entsprechen denen an natürliche tonmineralische Dichtungen (siehe 2.4.4.1).

Es sind ausschließlich mineralische Abfälle zugelassen, und dies nur in einer Menge, die für die Baumaßnahme erforderlich ist. Sie müssen neben den bautechnischen Anforderungen die Zuordnungskriterien nach Anhang 3 DepV einhalten.

Die Eignung eines Ersatzbaustoffes ist in jedem konkreten Einzelfall zu beurteilen, da die Herkunft, die Zusammensetzung und die Eigenschaften der zur Verwendung vorgesehenen Abfälle erheblich variieren können.



*BQS 5-0 „Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten – übergreifende Anforderungen“*

*BQS 5-3 „Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten aus Deponieersatzbaustoffen“*

[www.laga-online.de](http://www.laga-online.de) ☞ Publikationen / Informationen ☞ Deponiebaustoffe,

## 2.4.5 Entwässerungsschicht

Für die Entwässerungsschicht gelten die Anforderungen in Anhang 1 Nr. 2.3 Tabelle 2 der Deponieverordnung.

### Anforderungen gemäß Deponieverordnung

Deponieklassen I, II, III	
Mindestmächtigkeit	$d \geq 0,30 \text{ m}$
Durchlässigkeit	$k \geq 1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$
Gefälle	$\geq 5 \%$

Abweichungen von den Anforderungen an die Entwässerungsschicht sind möglich, wenn die hydraulische Leistungsfähigkeit und die Standsicherheit der Rekultivierungsschicht dauerhaft gewährleistet sind.

Der Übergang von der Rekultivierungsschicht zur Entwässerungsschicht muss filterstabil ausgebildet oder mit einem Filtertextil versehen sein. Hinweise zur Beurteilung der Filterstabilität sind in Anhang A 3 wiedergegeben.



*BQS 6-1 „Mineralische Entwässerungsschichten aus natürlichen Baustoffen in Oberflächenabdichtungssystemen“*

*BQS 6-2 „Mineralische Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen aus nicht natürlichen Baustoffen“*

[www.laga-online.de](http://www.laga-online.de)

☞ Publikationen / Informationen ☞ Deponiebaustoffe, Deponietechnische Vollzugsfragen ☞ Bundeseinheitliche Qualitätsstandards

### Unmittelbare Überlagerung einer mineralischen Dichtungsschicht

Wenn die Entwässerungsschicht unmittelbar eine mineralische Abdichtungsschicht oder eine geosynthetische Tondichtungsbahn überlagert, ist sicherzustellen, dass es nicht durch kapillaren Aufstieg oder Zirkulation von Luftströmungen zu einer schädlichen Wassergehaltsänderung in der darunter liegenden Dichtungsschicht kommt.

Die Entwässerungsschicht muss in diesen Fällen zum einen als kapillarbrechende Schicht wirken, die verhindert, dass der Dichtungsschicht Porenwasser durch kapillaren Aufstieg entzogen wird und diese schädliche Wasserspannungen erfährt.

Zum anderen soll mit einer geeigneten Körnung verhindert werden, dass Wasser in der Dampfphase durch konvektiven Transport über die Luftströmung ausgetragen wird. Dies kann verhindert werden, in dem das Porenvolumen und insbesondere die Porengröße so weit reduziert werden, dass die konvektive Strömung von Luft deutlich behindert wird. Alternativ zu einer insgesamt geringen Porengröße der Entwässerungsschicht kann hier auch eine unmittelbar auf der Abdichtungsschicht liegende Schutzschicht geringer Körnung (z.B. Sand) zum Einsatz kommen.

Siehe hierzu auch Kapitel 3.1.2.

## 2.4.6 Dichtungskontrollsysteme

Dichtungskontrollsysteme sind zur flächigen Überwachung eines fertig hergestellten Oberflächenabdichtungssystems bei Deponien der Klasse III erforderlich.

Bei Deponien der Klasse II, bei denen der Deponiebetreiber Maßnahmen nach § 25 Absatz 4 DepV zur Beschleunigung biologischer Abbauprozesse und zur Verbesserung des Langzeitverhaltens nachweislich erfolgreich durchgeführt hat, kann das Dichtungskontrollsystem an Stelle der zweiten Abdichtungskomponente eingebaut werden.

Wird bei Deponien der Klassen I bis III das Oberflächenabdichtungssystem ohne Konvektionssperre hergestellt, ist ein Kontrollfeld zu errichten, mit dem der Durchfluss durch das Oberflächenabdichtungssystem bis zum Abschluss der Nachsorgephase bestimmt werden kann.



- *Richtlinie für die Zulassung von Dichtungskontrollsystemen für Deponieoberflächenabdichtungen*

[www.bam.de](http://www.bam.de)

☞ Service ☞ Amtliche Mitteilungen ☞ Abfallrecht

### 2.4.6.1 Elektrische Dichtungskontrollsysteme

Elektrische Dichtungskontrollsysteme beruhen auf der Messung von verschiedenen physikalischen Messgrößen.

Bekannt sind derzeit

- Systeme, die unter Nutzung der Isolationswirkung der Kunststoffdichtungsbahn die lokale Anomalie des elektrischen Widerstandes messen,
- Systeme, die Wassergehaltsänderungen in der mineralischen Dichtung durch die Bestimmung der Dielektrizitätszahl des mineralischen Dichtungsmaterial messen,
- Systeme, die Temperaturanomalien in und/oder unterhalb eines Abdichtungselementes mittels optischer Verfahren erfassen.

Es wurde eine Zulassungsrichtlinie bei der *Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM)* erarbeitet, auf deren Grundlage die Zulassungen erteilt werden sollen.



- *Richtlinie für die Zulassung von Dichtungskontrollsystemen für Deponieoberflächenabdichtungen*

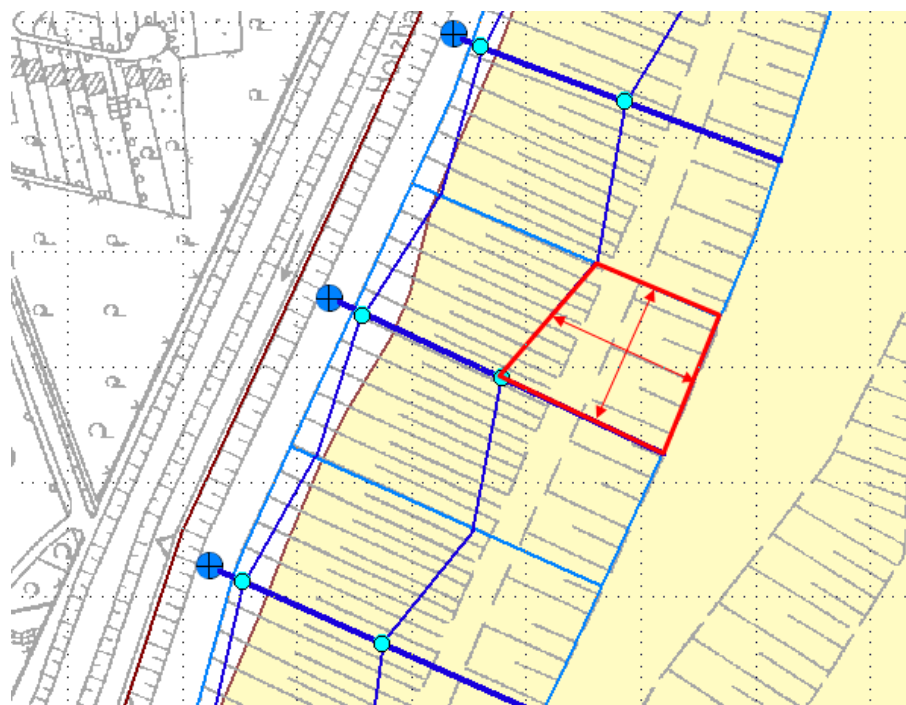
[www.bam.de](http://www.bam.de)

☞ Service ☞ Amtliche Mitteilungen ☞ Abfallrecht

Nach Deponieverordnung müssen Dichtungskontrollsysteme für Konvektionssperren über einen Zeitraum von mindestens 30 Jahren ihre Funktion erfüllen. Für elektrische Dichtungskontrollsysteme, die z.B. zur Überwachung von mineralischen Abdichtungskomponenten eingesetzt werden gilt die allgemeine Anforderung der Deponieverordnung einer Funktionsdauer von wenigstens 100 Jahren.

### 2.4.6.2 Kapillarsperre als Kontrollsystem

Auch der Einsatz einer Kapillarsperre als Kontrollsystem ist möglich und bereits in der Praxis erfolgt. Die Funktion der Kapillarsperre als kontrolliertes System erfordert es, dass die Abflüsse in Kapillarschicht und Kapillarblock getrennt erfasst und bilanziert werden. Zur Lokalisierung und Instandsetzung von Fehlstellen muss die flächig angelegte Kapillarsperre in hinreichend kleine Kontrollsektoren unterteilt werden. Abbildung 15 zeigt dies beispielhaft.



**Abbildung 15** Dichtungskontrollsektor in einer Kapillarsperre

### 2.4.6.3 Kontrolldränschichten

Eine Dichtungskontrolle kann für jedes Abdichtungssystem auch in Form einer Kontrolldränage angelegt werden. Analog der unter 2.4.6.2 beschriebenen Bauweise in einem Kapillarblock kann eine entsprechende Dränage auch unter anderen Dichtungskomponenten vorgesehen werden. Die Kontrolldränage muss flächendeckend angelegt und zur Lokalisierung und Instandsetzung von Fehlstellen in hinreichend kleine Kontrollsektoren unterteilt werden.

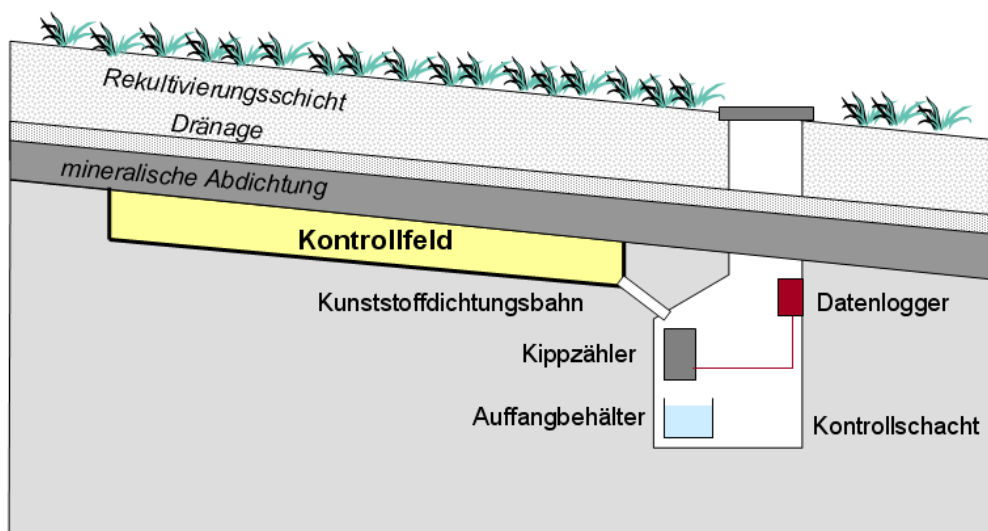
### 2.4.6.4 Kontrollfelder

Wird ein Oberflächenabdichtungssystem ohne eine Konvektionssperre (Kunststoffdichtungsbahn, Deponieasphalt) errichtet, ist ein Kontrollfeld anzulegen, mit dem langfristig die tatsächliche Durchsickerung des Oberflächenabdichtungssystems gemessen werden kann. Diese Messung dient dazu, die langfristige Funktionsfähigkeit des Oberflächenabdichtungssystems bis zum Abschluss der Nachsorge überprüfen zu können.

- Die Größe des Kontrollfeldes muss mindestens 300 m<sup>2</sup> betragen.

- Das Kontrollfeld muss an repräsentativer Stelle im Oberflächenabdichtungssystem angeordnet sein. Dabei sind insbesondere die Exposition und die Neigung der Oberfläche sowie die Wetterbedingungen zu berücksichtigen.
- Werden im Oberflächenabdichtungssystem signifikant unterschiedliche Systeme ohne Konvektionssperre (z.B. in Plateau und Böschung) verwendet, ist für jedes dieser Systeme ein gesondertes Kontrollfeld anzulegen.
- Das Kontrollfeld ist bis zum Abschluss der Nachsorge zu betreiben.
- Für die Gestaltung des Kontrollfeldes werden die folgenden Empfehlungen gegeben:
  - Das Kontrollfeld ist zur zuverlässigen quantitativen Erfassung der Durchsickerungsmengen nach unten und zu den Seiten mit einer wasserundurchlässigen Kunststoffdichtungsbahn zu versehen.
  - Die Aufzeichnung der Durchsickerungsmengen in angemessener zeitlicher Auflösung ist Voraussetzung für eine qualifizierte Bewertung der Durchsickerungsmenge und der Funktionsfähigkeit des Dichtungssystems. Es bietet sich an, hierfür selbstaufzeichnende Geräte (z.B. Kippzähler und Datenlogger) zu installieren.
  - Die Abdichtungskomponenten und die technischen Einrichtungen müssen vor Frosteinwirkungen geschützt werden.
  - Bei Kapillarsperren kann der Kapillarblock als Kontrolldränage verwendet werden. Die ergänzende Kontrolle der Kapillarschicht bietet zusätzliche Erkenntnisse über die Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems.

Abbildung 16 gibt beispielhaft die Gestaltung eines Kontrollfeldes wieder, das in die Oberflächenabdichtung integriert ist.



**Abbildung 16** Gestaltungsvorschlag für ein Kontrollfeld am Beispiel einer mineralischen Abdichtungsschicht

#### 2.4.7 Ausnahmeregelungen für die Nachbehandlung des Abfallkörpers

Bei Deponien oder einzelnen Deponieabschnitten, auf denen Hausmüll oder hausmüllähnliche Gewerbeabfälle mit hohen organischen Bestandteilen abgelagert worden sind, kann eine



nachweislich erfolgreiche Nachbehandlung des Abfallkörpers zu Erleichterungen bei der Gestaltung des Oberflächenabdichtungssystems führen.

### 2.4.7.1 Voraussetzungen

Die Voraussetzungen, die bei der Nachbehandlung einzuhalten sind, sind in § 25 DepV geregelt.

**Tabelle 8** Voraussetzungen für die Nachbehandlung von Hausmüll und ähnlichen, organikhaltigen Abfällen

Befeuchtung (Infiltration)	Belüftung (Aerobisierung)
Basisabdichtung, Fassung des Sickerwassers	
aktive Deponiegasfassung	kontrollierbare Ablufterfassung und -behandlung, Vermeidung schädlicher Emissionen
geregelt und kontrollierbare Infiltrationstechnik	gezielte und kontrollierbare Belüftungstechnik
Kontrolle des Gas- und Wasserhaushalts	
Standesicherheit des Deponiekörpers	
relevante Mengen an biologisch abbaubarer, organischer Substanz im Deponiekörper	



**Abbildung 17** Gasbrunnen für eine Aerobisierungsmaßnahme

### **2.4.7.2 Abdichtungssysteme bei erfolgreicher Nachbehandlung**

Bei nachweislich erfolgreicher Nachbehandlung des Abfallkörpers kommen zwei Möglichkeiten in Betracht, am Oberflächenabdichtungssystem für eine Deponie der Klasse II Abweichungen von den Anforderungen nach Anhang 1 Nr .2.3 Tabelle 2 DepV vorzusehen:

- Die obligatorisch geforderte zweite Abdichtungskomponente kann durch eine Wasserhaushaltsschicht ersetzt werden, sofern diese die Anforderungen der Deponieverordnung einhält. Die Einhaltung dieser Anforderungen ist in Nordrhein-Westfalen auf Grund der meteorologischen Bedingungen in der Regel nicht möglich.
- Auf eine zweite Abdichtungskomponente kann auch ganz verzichtet werden, wenn als erste Komponente eine Konvektionssperre gewählt wird, d.h. eine Kunststoffdichtungsbahn oder ein Dichtungselement aus Deponieasphalt. In diesem Fall muss ein Kontrollsystem für die verbleibende Abdichtungskomponente angelegt werden. Siehe hierzu auch Kapitel 2.4.6.1.

## 3 Rekultivierung/Folgenutzung

### 3.1 Rekultivierungsschicht

Die Rekultivierungsschicht ist eine der Systemkomponenten eines Oberflächenabdichtungssystems auf Deponien. Neben ihrer Aufgabe, den Deponiekörper gestalterisch in die umgebende Landschaft einzubinden, erfüllt sie wichtige Funktionen zum Schutz der unterliegenden Dichtungskomponenten. Diese Schutzfunktionen machen es erforderlich, die Gestaltung der Rekultivierungsschicht funktional an die besonderen Erfordernisse der jeweils verwendeten Dichtungskomponenten anzupassen.

#### 3.1.1 Funktionen der Rekultivierungsschicht

##### 3.1.1.1 Trägersubstrat

Eine landschaftlich angepasste Vegetation benötigt ein geeignetes, kulturfähiges Bodenmaterial als Trägersubstrat. Mit der Vielfalt vorkommender Pflanzen variieren die Anforderungen an den Boden. Der Schutz der unterliegenden Dichtungskomponenten schränkt die Möglichkeiten bei der Auswahl eines geeigneten Bewuchses jedoch deutlich ein, so dass die Anforderungen enger gefasst werden müssen.



**Abbildung 18** Gras- und Krautvegetation auf einer rekultivierten Deponie

Grundsätzlich ist die Differenzierung der Rekultivierungsschicht in Oberbodenzone und Unterbodenzone sinnvoll. Die ca. 30 cm mächtige Oberbodenzone soll dabei einen höheren organischen Anteil (humoses Material) aufweisen als die Unterbodenzone. Als optimales Bodenmaterial gelten lehmige Sande mit Sand- oder Kiesanteilen. Eine Kompostzugabe kann das Wasserspeichervermögen erhöhen.



Ein zu hoher Humusanteil (> 8 %) in der Oberbodenzone ist angesichts der erstrebten extensiven Bepflanzung nicht bedarfsgerecht und soll vermieden werden. Die Oberbodenzone soll eine ausreichende Luftkapazität aufweisen. Diese ist Voraussetzung für die Sauerstoffversorgung der Pflanzenwurzeln und für eine natürliche Bodenentwicklung.

Die Unterbodenzone dient eher der mechanischen Sicherung des Bewuchses sowie der Wasserversorgung der Pflanzen in der niederschlagsfreien Zeit. Nach diesen beiden Funktionen richtet sich die Auswahl des Materials. Als optimal gelten Schluffe, schluffige Sande, lehmige Sande, schluffiger Lehm und sandiger Lehm. Mit zunehmender Tiefe kann und soll der humose Anteil des Unterbodens abnehmen. Ein Humusgehalt bzw. Anteil organischer Bestandteile von 1,5 Gew.-% (bestimmt als Glühverlust) in der Unterbodenzone soll nicht überschritten werden. Höhere Gehalte bewirken eine Austragung der Nährstoffe und eine Belastung des durchsickernden Niederschlagswassers (z.B. mit Stickstoff). Außerdem können sie bei unzureichender Durchlüftung zu einer Verockerung und damit zu einem langfristigen Versagen der Entwässerungsschicht führen. Siehe hierzu auch Anhang A 2.

Die Mächtigkeit sollte sich nach der zu erwartenden Durchwurzelungstiefe und dem benötigten Wasserspeichervermögen richten. In niederschlagsreichen Gebieten kann das Wasserspeichervermögen geringer ausfallen als in ausgeprägten Trockenregionen. Gegenüber den meisten natürlichen Standorten weisen Rekultivierungsschichten für die Vegetation den Nachteil auf, dass es hier keinen kontinuierlichen Nachschub durch kapillaren Aufstieg aus dem tiefer liegenden Grundwasser gibt. Der Bodenwasservorrat muss daher den Wasserbedarf der Pflanzen in der niederschlagsarmen Zeit decken können, ohne dass bei den Pflanzen Trockenstress entsteht.

### **3.1.1.2 Durchwurzelungsschutz**

Ein vegetationsfähiger Boden wird von den Pflanzen in unterschiedlicher Tiefe durchwurzelt.

Die Durchwurzelungstiefe lässt sich durch Auswahl von geeigneten Pflanzen nur bedingt und kurzfristig begrenzen. Zahlreiche tief wurzelnde Arten siedeln sich im Zuge der natürlichen Sukzession von selber an und lassen sich auch durch intensive Pflege nur zum Teil kontrollieren. Um die Durchwurzelung auf eine Tiefe von weniger als 2 m eingrenzen zu können, sollten gezielte Maßnahmen getroffen werden.

Um die Durchwurzelungstiefe über das Wasser- und Nährstoffangebot zu steuern, sollte die Oberbodenzone humushaltig sein (s. o.) und mit zunehmender Tiefe nährstoffärmer angelegt werden, so dass der Anreiz zur Ausbildung tief reichender Wurzeln geringer ausfällt. Das Wasserspeichervermögen sollte so gut ausgebildet sein, dass ausreichend Wasser in der Rekultivierungsschicht zur Verfügung steht und die Pflanzen nicht durch Trockenstress zum tieferen Wurzeln getrieben werden. Die Abbildung 19 zeigt schematisch die Wasserversorgung von Pflanzen im Jahresverlauf.

Die folgende Tabelle gibt die ungefähren Wurzeltiefen typischer Deponiepflanzen wieder:

**Tabelle 9** Durchwurzelungstiefen typischer Deponiepflanzen  
nach [11], [26], [50]

Pflanze	Botanischer Name	Wurzeltiefe
Geruchlose Kamille	Matricaria perforata	0,70 m
Roter Schwingel	Festuca rubra	0,80 m
Ackerkratzdistel	Cirsium arvense	1,50 - 3,00 m
Glatthafer	Arrhenatherum elatius	1,10 - 2,00 m
Krauser Ampfer	Rumex crispus	1,30 - 3,20 m
Stumpfbblätteriger Ampfer	Rumex obtusifolius	1,50 - 3,00 m
Pfeilkresse	Cardaria draba	1,20 m
Gemeiner Löwenzahn	Taraxacum officinale	0,70 - 2,00 m
Mehlige Königskerze	Verbascum lychnitis	1,50 m

Sofern sich die Durchwurzelungstiefe nicht mit den o. g. Maßnahmen begrenzen lässt, können konstruktive Maßnahmen ergriffen werden, z.B. Wurzelsperren oder der Einbau einer stark verdichteten untersten Lage im Unterboden, die dem Wurzelwachstum einen mechanischen Widerstand bietet und den für das Wurzelwachstum benötigten Sauerstoff verknüpft. Um dabei die für die Standsicherheit von Böschungen erforderliche hydraulische Durchlässigkeit zu erhalten, sollten hierfür enggestufte, stark steinige oder sandige Substrate zum Einsatz kommen.

Bei Einbau einer *BAM*-zugelassenen Kunststoffdichtungsbahn besteht ein sicherer Schutz gegen Durchwurzelung während der Dauer ihrer vollen Funktionsfähigkeit (>100 Jahre). Nach der alterungsbedingten Materialschwächung und dem Eintreten von Rissen und Perforationen verliert die Kunststoffdichtungsbahn diese Schutzwirkung.

Sofern aus landschaftsästhetischen Gründen die Anpflanzung von Bäumen vorgesehen ist, müssen solche Bereiche mit einer deutlich dickeren Rekultivierungsschicht (>2,5 m, je nach Bauminventar auch mehr) ausgestattet werden. Siehe hierzu Kapitel 3.5.

### 3.1.1.3 Sickerwasserverminderung

Die bezweckte Verringerung der Durchsickerung von Niederschlagswasser richtet sich vor allem auf die Intensität der Sickerwasserströmung. Eine Minderung der hydraulischen Belastungsspitzen ermöglicht eine geringere Dimensionierung der Entwässerungsschicht.

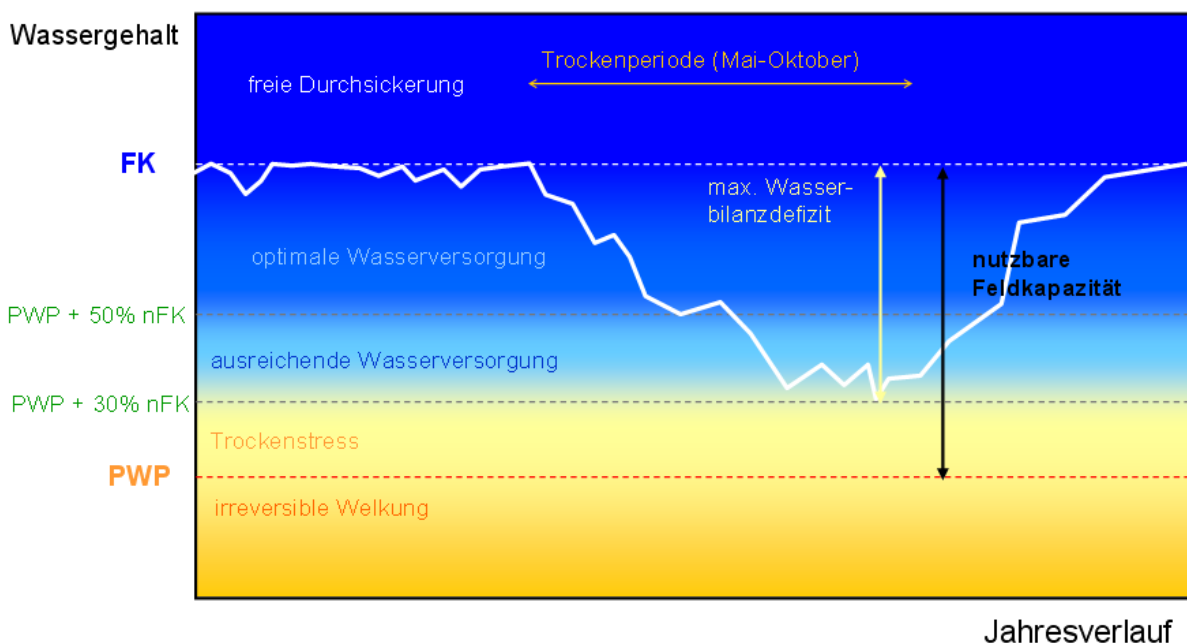
Erreicht wird die Minderung der Durchflussspitzen durch die Zwischenspeicherung im Porenvolumen der Rekultivierungsschicht. Mit zunehmendem Wasserspeichervermögen fällt die durchsickernde Restwassermenge und -intensität geringer aus. Im Extremfall und bei geeigneten meteorologischen Verhältnissen kann die Rekultivierungsschicht so ausgebaut sein, dass kein Sickerwasser nach unten dringt (Wasserhaushaltsschicht).

Die Speicherwirkung der Rekultivierungsschicht kann mit geeigneten Simulationsmodellen berechnet und bemessen werden. Dies ist insbesondere dann erforderlich, wenn das Speichervermögen für die Funktionsfähigkeit des gesamten Dichtungssystems von Bedeutung ist, z.B. bei der Bemessung der Entwässerungsschicht in Ansatz gebracht wurde.

Die entscheidende Eigenschaft eines Untergrundes für ein hohes Wasserspeichervermögen ist das Porenvolumen im Bereich der mittelgroßen Poren (0,2-50 µm). In diesem Bereich kann Bodenwasser gut bei Niederschlägen gespeichert und bei Trockenheit wieder abgegeben werden. Zur quantitativen Beschreibung der Fähigkeit des Bodens, Wasser in pflanzenverfügbare Form wieder abzugeben, wird die nutzbare Feldkapazität nFK verwendet. Die nutzbare Feldkapazität bewegt sich bei kultivierungsfähigen Böden häufig in einem Bereich von 15 bis 22 Vol.-% und reicht bei sehr schluffreichen Böden bis 28 Vol.-%. Durch Zugabe von Humus kann die nutzbare Feldkapazität erhöht werden.

### 3.1.1.4 Schutz gegen Austrocknung

Die Gefahr der Austrocknung einer mineralischen Dichtungsschicht entsteht beim Wasserentzug durch Pflanzenwurzeln im Zuge der Transpiration sowie durch den kapillaren Aufstieg von Bodenwasser infolge austrocknungsbedingter, hoher Wasserspannungen in der Rekultivierungsschicht. Die Wirkung der Rekultivierungsschicht als Austrocknungsschutz für die mineralische Dichtungsschicht oder für eine geosynthetische Tondichtungsbahn beruht deshalb auf ihrem Wasserspeichervermögen. Solange für die Evapotranspiration genügend Bodenwasser in der Rekultivierungsschicht zur Verfügung steht, wird das Austrocknen tiefer liegender Schichten verhindert. Zudem lässt sich das Fortschreiten einer Austrocknungsfront von oben nach unten dadurch verhindern oder hemmen, dass der kapillare Aufstieg von Bodenwasser in die oberen Bodenzonen unterbrochen wird.



**Abbildung 19** Bodenwasservorrat im Jahresverlauf

- FK: Feldkapazität
- nFK: nutzbare Feldkapazität
- PWP: Permanenter Welkepunkt

Ein wirksamer Schutz mineralischer Abdichtungen gegen Austrocknung besteht also vorrangig in der Bereitstellung ausreichend großen Bodenwasservolumens in der Rekultivierungsschicht sowie in einer kapillARBrechenden Schicht zwischen Rekultivierungsschicht und mineralischer Dichtung.

### 3.1.1.5 Schutz gegen Temperaturschwankungen und Frost

Die Rekultivierungsschicht gleicht kurzzeitige Temperaturschwankungen aus, die ansonsten die Dichtungssysteme übermäßigen mechanischen Belastungen aussetzen könnten. Der Schutz der mineralischen Dichtungsschicht gegen die Einwirkung von Frost ist durch eine ausreichende Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht zu erreichen. Die erforderliche Mächtigkeit ergibt sich aus der Frosteindringtiefe abzüglich der Dicke der Entwässerungsschicht. Die Frosteindringtiefe ist nach Frosteindringzonen gestaffelt. Abbildung 36 im Anhang stellt die Frosteindringtiefen für Nordrhein-Westfalen dar.

Zone I	0,80 m
Zone II	1,00 m
Zone III	1,20 m

Unter Einhaltung der Mindestmächtigkeiten von 1 m für die Rekultivierungsschicht und 0,30 m für die Entwässerungsschicht bestünde in Nordrhein-Westfalen immer eine ausreichende Sicherheit gegen Frosteinwirkung. Bei der Verwendung von synthetischen Dränelementen sowie von Rekultivierungsschichten oder anderen Abdeckungen, die gegenüber dieser Mindestmächtigkeit reduziert sind, ist die Frostsicherheit im Einzelfall zu prüfen.

### 3.1.1.6 Schutz gegen Wühltiere

Die Rekultivierungsschicht stellt aufgrund der angestrebten Nähe zu einem natürlichen Boden einen geeigneten Lebensraum für Wühltiere dar. An Deponien ist in erster Linie mit dem Auftreten von Feldmäusen, Wanderratten, Kaninchen und Maulwürfen zu rechnen. Insbesondere die relativ steilen Böschungen bieten günstige Voraussetzungen für das Anlegen von Bauten.

Die WühlTätigkeit von Kleintieren führt zu einem zu starken Wasserwegsamkeiten in den Wühlgängen. Diese kann das angestrebte Wasserspeichervermögen und die ausgleichende Wirkung der Rekultivierungsschicht deutlich herabsetzen. In Kombination mit einer Entwässerungsschicht, deren hydraulische Leistungsfähigkeit geringer ausgelegt wird, kann sich daraus eine Überlastung der Entwässerungsschicht ergeben, die auch zu Standsicherheitsproblemen führen kann.

Ein vollständiger Schutz gegen die WühlTätigkeit ließe sich praktisch nur durch konstruktive Maßnahmen sicherstellen, da die Grabtiefe einiger Tiere mehrere Meter betragen kann (z.B. Kaninchen). Erfahrungen aus dem Deichbau zeigen aber, dass eine konventionell hergestellte mineralische Dichtung dem Angriff von WühlTieren in der Regel widersteht, da der hohe Verdichtungsgrad WühlTiere abschreckt [4].

Eine Entwässerungsschicht, die aus grobem, scharfkantigem Kies besteht, bietet gegenüber Wühltieren einen erheblichen Widerstand. In der Kombination mit einer regelkonformen Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht ist dann mit einer Durchdringung nicht zu rechnen.

Alternativ kann die unterste Zone der Rekultivierungsschicht aus stark verdichtetem, grobem und scharfkantigem Mineral hergestellt werden, um den gleichen Effekt innerhalb der Rekultivierungsschicht zu erreichen. Dies vermindert jedoch die nutzbare Feldkapazität und muss mit einer höheren Mächtigkeit ausgeglichen werden. Als weitere Möglichkeit bleibt der Einbau von widerstandsfähigen Gittern in oder unterhalb der Rekultivierungsschicht.

### **3.1.2 Bemessung**

#### **3.1.2.1 Idealzusammensetzung**

Die ideale Rekultivierungsschicht erfüllt alle gewünschten Schutzfunktionen und weist alle günstigen Eigenschaften auf, die hierzu beitragen. Einige der im Folgenden genannten Zielvorstellungen kollidieren miteinander, so dass diese Idealkonstellation tatsächlich nicht erreichbar ist. In der praktischen Umsetzung sind der Optimierung der Rekultivierungsschicht zudem Grenzen gesetzt, die sich aus der Verfügbarkeit von geeignetem Material, der baulichen Ausführbarkeit und den finanziellen Belastung ergeben können. Insofern soll die Rekultivierungsschicht an die Erfordernisse im Einzelfall und insbesondere an das unterliegende Dichtungssystem angepasst werden.

- a) Das Wasserspeichervermögen der Rekultivierungsschicht ist so hoch, dass das gespeicherte Wasser ausreicht, den Pflanzen auch in Trockenperioden gute Bedingungen zu liefern. Die untere Zone der Rekultivierungsschicht ist immer feucht.
- b) Die Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht ist so groß, dass alle standorttypischen Pflanzen ihr Wurzelwerk in der Rekultivierungsschicht ausbilden können ohne in tiefere Schichten vorzudringen.
- c) Die Rekultivierungsschicht ist so mächtig, dass Wühltiere nicht bis zur Unterfläche vordringen.
- d) Aufgrund unterschiedlicher Funktionen weist die Rekultivierungsschicht verschiedene Zonen auf: Oberbodenzone, Unterbodenzone, wurzelhemmende Schicht.
- e) Um eine möglichst große Menge Niederschlagswasser aufnehmen zu können, ist die Oberbodenzone stark durchlässig.
- f) Die obere Zone der Rekultivierungsschicht weist ein bedarfsgerechtes Nährstoffangebot auf, welches den Pflanzen eine ausreichende Versorgung sichert.
- g) Im Wurzelbereich weist die Rekultivierungsschicht eine mittlere Luftkapazität (LK) auf, die eine gute Versorgung mit Sauerstoff sicherstellt.
- h) Die untere Zone der Rekultivierungsschicht weist ein geringes Nährstoffangebot, ein geringeres Wasserdargebot und einen mechanischen Widerstand gegenüber Wurzelbildung auf.

- i) Am Übergang zwischen Rekultivierungsschicht und Entwässerungsschicht stellt sich ein Porengrößenprung ein, der Wurzeln von der weiteren Ausbreitung in die Tiefe abhält.
- j) Die Entwässerungsschicht ist so grobkörnig, dass der kapillare Aufstieg aus der mineralischen Dichtung verhindert wird.
- k) Die Entwässerungsschicht ist so feinkörnig, dass ein konvektiver Dampftransport aus der mineralischen Dichtungsschicht weitgehend vermieden wird.
- l) Die Rekultivierungsschicht ist so bepflanzt, dass eine gute Transpirationsleistung über das ganze Jahr gewährleistet, eine zu starke Austrocknung im Sommer jedoch nicht zu besorgen ist.

### 3.1.2.2 Anforderungen

Die Bemessung einer Rekultivierungsschicht muss sich gemäß Anhang 1 Nr. 2.3.1 DepV nach den Schutzerfordernissen der darunter liegenden Systemkomponenten richten. Darüber hinaus sind unabhängig von diesen Schutzerfordernissen bestimmte Mindestanforderungen einzuhalten:

- Mindestmächtigkeit  $\geq 1,0$  m
- nutzbare Feldkapazität  $\geq 140$  mm (bezogen auf die Gesamtdicke)

Es liegen zahlreiche Erkenntnisse vor, dass in vielen Fällen eine Rekultivierungsschicht mit diesen Mindestanforderungen ohne weitere, gezielte Maßnahmen keine ausreichende Schutzwirkung gegen Austrocknung und Durchwurzelung bietet. Insofern wird empfohlen, diese Werte als eine Untergrenze anzusehen, die bei Vorliegen günstiger Verhältnisse und bei unempfindlichen Dichtungssystemen ausreichen kann. Im Folgenden werden neben dieser Minimalkonfiguration zwei weitere Varianten ausgeführt, die jeweils ein höheres Schutzniveau erreichen lassen.

Die Schutzniveaus berücksichtigen die unterschiedlich starken Ansprüche, die sich aus der Wahl des Oberflächenabdichtungssystems ergeben. Die im Folgenden aufgeführten Empfehlungen orientieren sich zum einen an den grundsätzlich geltenden Anforderungen des Anhangs 1 der Deponieverordnung, zum anderen an fachtechnischen Richtlinien und Empfehlungen (z.B. *LAGA*, *DGGT*). Sie sind als Orientierungswerte zu verstehen, die bei Vorliegen besonderer Umstände eine angemessene Abweichung erlauben.

Mit der folgenden Staffelung werden drei verschiedene Schutzniveaus beschrieben, die im Detail an die Besonderheiten des einzelnen Systems anzupassen sind.

**Tabelle 10** Empfehlungen zu Schutzniveaus für die Rekultivierungsschicht  
 In einzelnen Fällen kommen je nach Ausführung der Dichtungskomponente mehrere Möglichkeiten für die Rekultivierungsschicht in Betracht.

Schutzerfordernis Dichtungskomponente/-system	Schutzniveau 1	Schutzniveau 2	Schutzniveau 3
<b>Kombinationsabdichtungen</b> (mit KDB oder Asphaltbeton)	•		
<b>Dichtungssysteme als Einzelkomponente</b>			
Kunststoffdichtungsbahn	•		
Asphaltbetondichtung	•		
<i>TRISOPLAST</i>		• <sup>1)</sup>	
tonmineralische Abdichtung			•
gemischtkörnige mineralische Abdichtung <sup>2)</sup>		•	•
geosynthetische Tondichtungsbahn			• <sup>1)</sup>
Kapillarsperre <sup>2)</sup>		•	•
<i>METHA</i> -Material			• <sup>1)</sup>
Vergütete mineralische Dichtungen <sup>2)</sup> (Mächtigkeit 0,5 m) (Mächtigkeit < 0,5 m)		•	•

<sup>1)</sup> Für diese Dichtungssysteme sind konkrete Festlegungen in den Eignungsbeurteilungen getroffen worden, die vorrangig einzuhalten sind.

<sup>2)</sup> Die Empfehlung richtet sich im Einzelfall nach den baulichen Besonderheiten des Dichtungssystems

### 3.1.2.3 Schutzniveau 1 (Mindestschutzfunktion)

Die Rekultivierungsschicht erfüllt in dieser Variante nur geringe Schutzfunktionen für die unterliegenden Systemkomponenten. Die Hauptfunktion liegt in der Bereitstellung eines kulturfähigen Bodens als Trägersubstrat für die vorgesehene Bepflanzung. Die Entwässerungsschicht wird bei angepasster Bepflanzung und Pflege soweit geschützt, dass ihre dauerhafte Funktionsfähigkeit sichergestellt ist. Die Rekultivierungsschicht in dieser Variante stellt die Minimallösung dar, die den Mindestanforderungen des Anhangs 1 der Deponieverordnung genügt.

**Tabelle 11** Anforderungen und Empfehlungen für eine Rekultivierungsschicht mit Schutzniveau 1

<b>Eigenschaft</b>	<b>Anforderung</b>	<b>Bemerkung</b>
Mächtigkeit	≥ 1,0 m	
nutzbare Feldkapazität	≥ 140 mm	bezogen auf die Gesamtmächtigkeit
Anteil organischer Bestandteile	2-8 Gew.-%	Empfehlung für die obere Zone (≈ 0,3 m)
(bestimmt als Glühverlust)	≤ 1,5 Gew.-%	Empfehlung für die untere Zone (≈ 0,7 m)
Luftkapazität	≥ 8 Vol.-%	Empfehlung für die obere Zone (≈ 0,3 m)
	≥ 5 Vol.-%	Empfehlung für die untere Zone (≈ 0,7 m)

Der Übergang zur Entwässerungsschicht ist mit einer geeigneten Kornabstufung oder durch ein Trennvlies zu stabilisieren. Da infolge der geringen Überdeckung mit dem Eindringen von Pflanzenwurzeln in die Entwässerungsschicht zu rechnen ist, muss diese ausreichend groß bemessen werden, um Einschränkungen in der hydraulischen Leistungsfähigkeit zu kompensieren.

Diese Variante einer Rekultivierungsschicht kann mit Dichtungssystemen kombiniert werden, die keines besonderen Schutzes gegen Durchwurzelung und Austrocknung bedürfen (siehe Tabelle 10).

Zu beachten ist, dass bei Kombinationsabdichtungen die Schutzfunktion für eine unterliegende mineralische Dichtung nur solange und soweit gegeben ist, wie die Kunststoffdichtungsbahn intakt ist. Für die Gewährleistung eines vollständigen Redundanzprinzips und einen dauerhaften Schutz gegen Durchwurzelung wird ein weitergehender Schutz gegen Durchwurzelung (Schutzniveau 2) empfohlen.

#### **3.1.2.4 Schutzniveau 2 (mittlere Schutzfunktion)**

Die Rekultivierungsschicht nach dem Schutzniveau 2 ergänzt die systemeigenen Schutzmechanismen soweit, dass geringer empfindliche Systemkomponenten bei regelkonformer Ausbildung mit einer hinreichenden Sicherheit dauerhaft funktionsfähig bleiben. Das Wasserspeichervermögen reicht aus, um Austrocknungserscheinungen auf ein für das jeweilige Dichtungselement zuträgliches Ausmaß zu begrenzen. Ebenso führt das hohe Wasserspeichervermögen dazu, dass die Durchwurzelung im Zusammenspiel mit den systemeigenen Widerständen hinreichend begrenzt werden kann.



**Tabelle 12** Empfehlungen für eine Rekultivierungsschicht mit Schutzniveau 2

Eigenschaft	Anforderung	Bemerkung
Mächtigkeit	≥ 1,3 m	
nutzbare Feldkapazität	≥ 170 mm	Empfehlung, bezogen auf die Gesamtmächtigkeit
Anteil organischer Bestandteile	2-8 Gew.-%	Empfehlung für die obere Zone (≈ 0,3 m)
(bestimmt als Glühverlust)	≤ 1,5 Gew.-%	Empfehlung für die untere Zone (≈ 1 m)
Luftkapazität	≥ 8 Vol.-%	Empfehlung für die obere Zone (≈ 0,3 m)
	≥ 5 Vol.-%	Empfehlung für die untere Zone (≈ 1 m)

Der Übergang zur Entwässerungsschicht ist mit einer geeigneten Kornabstufung oder durch ein Trennvlies zu stabilisieren. Die Entwässerungsschicht soll den kapillaren Aufstieg von Bodenwasser aus der mineralischen Dichtungsschicht unterbrechen, den konvektiven Transport von Wasserdampf hemmen und Feuchtigkeit über einen längeren Zeitraum speichern, um der Gefahr der Austrocknung der mineralischen Dichtung weiter entgegenzuwirken. Hierfür kommt eine Entwässerungsschicht mit einer relativ feinen Körnung (z.B. 0/8 mm) in Betracht oder eine Sandschutzschicht mit vergleichbaren Eigenschaften, die zwischen Entwässerungsschicht und Dichtungskomponente angeordnet ist.

An wenigen Standorten Nordrhein-Westfalens, die ein feuchtes und kühles Klima aufweisen, können ggf. geringere Anforderungen ausreichend sein, die gewünschte Schutzwirkung zu entfalten. Eine geringere Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht ist dann geeignet, wenn mit einer Wasserhaushaltsberechnung nachgewiesen wird, dass auch bei extremen Trockenperioden ein Wassergehalt von mindestens 50 mm über dem Permanenten Welkepunkt eingehalten werden kann. Die Mindestmächtigkeit liegt in diesem Fall bei 1,00 m.

Diese Variante einer Rekultivierungsschicht kann mit Dichtungssystemen kombiniert werden, die nur eines Grundschatzes gegen Durchwurzelung und Austrocknung bedürfen (siehe Tabelle 10).

### 3.1.2.5 Schutzniveau 3 (hohe Schutzfunktion)

Die Rekultivierungsschicht nach dem Schutzniveau 3 bietet so hohe Schutzfunktionen, dass auch empfindliche Systemkomponenten bei regelkonformer Ausbildung mit einer hinreichenden Sicherheit dauerhaft funktionsfähig bleiben. Das Wasserspeichervermögen ist so hoch, dass Austrocknungserscheinungen mit hoher Wahrscheinlichkeit vermieden werden. Ebenso führt das hohe Wasserspeichervermögen dazu, dass die Durchwurzelung mit hoher Wahrscheinlichkeit hinreichend begrenzt werden kann.

Für die Unterbodenzone eignen sich z.B. Böden mit hohem Schluffanteil, die eine hohe nutzbare Feldkapazität aufweisen.

**Tabelle 13** Empfehlungen für eine Rekultivierungsschicht mit Schutzniveau 3

Eigenschaft	Anforderung	Bemerkung
Mächtigkeit	$\geq 1,5$ m	
nutzbare Feldkapazität	$\geq 200$ mm	Empfehlung, bezogen auf die Gesamtmächtigkeit
Anteil organischer Bestandteile	2-8 Gew.-%	Empfehlung für die obere Zone ( $\approx 0,3$ m)
(bestimmt als Glühverlust)	$\leq 1,5$ Gew.-%	Empfehlung für die untere Zone ( $\approx 1,2$ m)
Luftkapazität	$\geq 8$ Vol.-%	Empfehlung für die obere Zone ( $\approx 0,3$ m)
	$\geq 5$ Vol.-%	Empfehlung für die untere Zone ( $\approx 1,2$ m)

An wenigen Standorten Nordrhein-Westfalens, die ein feuchtes und kühles Klima aufweisen, können ggf. geringere Anforderungen ausreichen, um die gewünschte Schutzwirkung zu entfalten. Eine geringere Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht oder eine geringere nutzbare Feldkapazität sind dann geeignet, wenn mit einer Wasserhaushaltssimulation nachgewiesen wird, dass auch bei extremen Trockenperioden ein Wassergehalt von mindestens 90 mm über dem Permanenten Welkepunkt eingehalten werden kann. Die Mindestmächtigkeit sollte in diesem Fall bei 1,30 m liegen; weitergehende Anforderungen (z.B. der Auflast) an die Mächtigkeit bleiben unberührt.

Der Übergang zur Entwässerungsschicht ist mit einer geeigneten Kornabstufung oder durch ein Trennvlies zu stabilisieren. Die Entwässerungsschicht soll den kapillaren Aufstieg von Bodenwasser aus der mineralischen Dichtungsschicht unterbrechen, den konvektiven Transport von Wasserdampf hemmen und Feuchtigkeit über einen längeren Zeitraum speichern, um der Gefahr der Austrocknung der mineralischen Dichtung weiter entgegenzuwirken. Hierfür kommt eine Entwässerungsschicht mit einer relativ feinen Körnung (z.B. 0/8 mm) in Betracht oder eine Sandschutzschicht mit vergleichbaren Eigenschaften, die zwischen Entwässerungsschicht und Dichtungskomponente angeordnet ist.

Diese Variante einer Rekultivierungsschicht kann mit Dichtungssystemen kombiniert werden, die eines besonderen Schutzes gegen Durchwurzelung und Austrocknung oder gegen hohe Sickerwasserraten bedürfen (siehe Tabelle 10).



*Für Rekultivierungsschichten liegen die folgenden Handlungsempfehlungen vor:*

- *LAGA-BQS 7-1 Rekultivierungsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen*  
[www.laga-online.de](http://www.laga-online.de) ☞ Informationen ☞ Deponiebaustoffe, Deponietechnische Vollzugsfragen ☞ Bundeseinheitliche Qualitätsstandards
- *GDA-Empfehlung E 2-31 Rekultivierungsschichten*  
[www.gdaonline.de](http://www.gdaonline.de) ☞ Empfehlungen

### 3.2 Wasserhaushaltsschicht

An Stelle einer Rekultivierungsschicht kann eine Wasserhaushaltsschicht vorgesehen werden. Das wesentliche Merkmal einer Wasserhaushaltsschicht ist der nahezu vollständige Ausgleich von Niederschlag und Evapotranspiration durch das Wasserspeichervermögen des eingebauten Bodenmaterials.

Anhang 1 Nr. 2.3.1.1 DepV i.V.m. Nr. 2.3.1. stellt strenge Anforderungen an die Eigenschaften der Wasserhaushaltsschicht.

#### Anforderungen nach Deponieverordnung

Einsatzbereich	als eigenständige Dichtungskomponente (DK I)	als Ersatz für Dichtungskomponente (DK II)
Durchsickerungsmenge	≤ 20 mm/a	≤ 60 mm/a
max. Anteil am Jahresniederschlag	-	≤ 10 %

Ergänzend werden hier weitere Empfehlungen analog denen zur Rekultivierungsschicht ausgesprochen.

**Tabelle 14** Anforderungen und Empfehlungen an die Wasserhaushaltsschicht

Eigenschaft	Anforderung	Bemerkung
Mächtigkeit	≥ 1,5 m	
nutzbare Feldkapazität	≥ 220 mm	bezogen auf die Gesamtmächtigkeit
Anteil organischer Bestandteile	2-8 Gew.-%	Empfehlung für die obere Zone (≈ 0,3 m)
(bestimmt als Glühverlust)	≤ 1,5 Gew.-%	Empfehlung für die untere Zone (≥ 1,2 m)
Luftkapazität	≥ 8 Vol.-%	Empfehlung für die obere Zone (≈ 0,3 m)
	≥ 5 Vol.-%	Empfehlung für die untere Zone (≈ 1,2 m)

Grundbedingung für die Wirksamkeit einer Wasserhaushaltsschicht ist eine ausgeglichene oder negative klimatische Wasserbilanz, d. h. eine potenzielle Verdunstung, deren Höhe die Niederschlagshöhe erreicht oder übertrifft. Diese Bedingungen werden in Nordrhein-Westfalen in keiner Region erreicht (siehe Abbildung 35). Erfahrungsgemäß können sie dann auftreten, wenn die Jahresniederschlagssumme deutlich unter 600 mm liegt. Dies ist in Nordrhein-Westfalen nur auf einer sehr kleinen Fläche gegeben (siehe Abbildung 33). Es ist allerdings nicht auszuschließen, dass in Folge eines günstigen Kleinklimas geeignete Bedingungen auch auf Standorten mit geringfügig höheren Jahresniederschlägen anzutreffen sind. In jedem Fall ist der Wirkungsgrad der Wasserhaushaltsschicht anhand von Modellberechnungen nachzuweisen.



*Für Wasserhaushaltsschichten liegt der folgende Bundeseinheitliche Qualitätsstandard vor:*

- *LAGA-BQS 7-2 Wasserhaushaltsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen*  
[www.laga-online.de](http://www.laga-online.de) *☞ Informationen ☞ Deponiebaustoffe, Deponietechnische Vollzugsfragen ☞ Bundeseinheitliche Qualitätsstandards*

### 3.3 Methanoxidationsschicht

Auf Deponien, in denen die Bildung von Deponiegas so gering ist oder soweit zurück gegangen ist, dass die aktive Fassung und Verwertung bzw. Behandlung des Deponiegases nicht mehr notwendig ist, kann die Errichtung einer Methanoxidationsschicht eine kostengünstige und effektive Möglichkeit sein, diffuse Methanemissionen aus dem Deponiekörper zu verhindern.

Für die Ausgestaltung der Methanoxidationsschicht gibt es einen relativ weiten Spielraum. Dabei ist zu berücksichtigen, dass im Regelfall die Primärfunktionen des Oberflächenabdichtungssystems (Minimierung des Niederschlagseintrags) Vorrang gegenüber weiteren Funktionen haben.

Für den Einsatz von Methanoxidationsschichten gibt es drei Ausführungsvarianten:

- Sanierung von emissionsintensiven Punkten (Hotspots). Hierfür kommen alte, bereits rekultivierte Deponien infrage, die über keine Oberflächenabdichtung und über keine Entgasungseinrichtung verfügen.
- Einbau von Methanoxidationsfenstern als integriertem Bestandteil eines Oberflächenabdichtungssystems (z. B. Wasserhaushaltsschicht mit Gasfenstern).
- Bau einer Methanoxidationsschicht auf der gesamten Deponieoberfläche als (Teil der) Rekultivierungsschicht.

Die Methanoxidation findet in einer begrenzten Zone (aktive Schicht) der Rekultivierungsschicht statt. Die Deponieverordnung gibt vor, dass die Wechselwirkungen der Methanoxidation und des Wasserhaushalts der Rekultivierungsschicht zu bewerten sind. Das Material muss gewährleisten, dass auch nach ergiebigen Niederschlägen atmosphärischer Sauerstoff in ausreichender Menge über die wasserfreien Grobporen zu den Methan oxidierenden Mikroorganismen in der aktiven Schicht gelangt. Die in der Methanoxidationsschicht benötigte Sauerstoffmenge ist vom Methandargebot abhängig.

Der Einbau der für die Methanoxidation vorgesehenen Rekultivierungsschicht muss möglichst ohne Verdichtung erfolgen (z. B. mit Langarmbaggern oder Moorraupen), da eine Verdichtung insbesondere das Volumen der Grobporen (Luftkapazität) drastisch verringert. Auch bei einer Folgenutzung der Deponieoberfläche ist darauf zu achten, dass die Methanoxidationsschicht nicht weiter verdichtet wird. Das Material muss außerdem biologischen Abbauprozessen lange Zeit widerstehen können, um das Porengerüst stabil zu halten. Der Hauptanteil sollte daher aus mineralischem Material bestehen; Kompost allein ist hierfür nicht geeignet. Zur Vermeidung bevorzugter Strömungsbahnen (Hotspots) darf das Material nur eine geringe Neigung zur Rissbildung zeigen.

Zur Umsetzung eines diffusen Methanaustrags aus dem Deponiekörper von beispielsweise  $0,5 \text{ l CH}_4/(\text{m}^2\text{h})$  sollte das Bodenmaterial ein Luftporenvolumen von 17 Vol.-% nicht unterschreiten. Dies wird durch schwach bis mittel schluffige, lehmige oder tonige Sande bei geringer bis mittlerer Verdichtung erfüllt. Schluffige Sande sind am besten für die Methanoxidation geeignet. Mit einer geeigneten Gasausgleichsschicht unterhalb der aktiven Oxidationsschicht lässt sich die Methanoxidation optimieren [27].



*Für Wasserhaushaltsschichten liegt der folgende Bundeseinheitliche Qualitätsstandard vor:*

- *LAGA-BQS 7-3 Methanoxidationsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen*  
[www.laga-online.de](http://www.laga-online.de) ☞ Informationen ☞ Deponiebaustoffe, Deponietechnische Vollzugsfragen ☞ Bundeseinheitliche Qualitätsstandards

### **3.4 Empfehlungen zum Einbau und zur Qualitätssicherung**

Der Aufbau einer Rekultivierungsschicht, die die vorgesehenen Funktionen dauerhaft erfüllt, bedarf eines sorgfältigen Einbaus und einer anspruchsvollen Qualitätssicherung. Nur wenn die Materialien die Qualitätskriterien vollständig erfüllen und der Einbau die besonderen Eigenschaften einer Rekultivierungsschicht berücksichtigt, kann davon ausgegangen werden, dass die Rekultivierungsschicht eine Systemkomponente mit qualifizierten Eigenschaften bildet.

#### **3.4.1 Material**

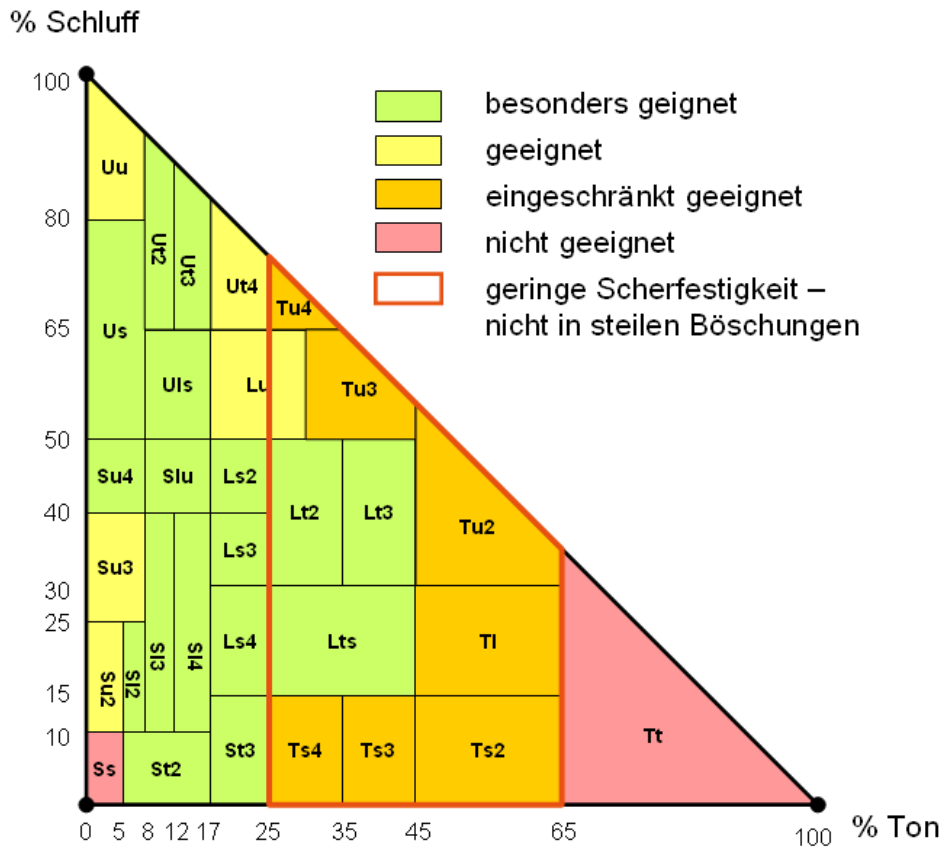
Die Rekultivierungsschicht wird aus mineralischem Bodenmaterial aufgebaut. Üblicherweise stammt solches Material aus dem Aushub im Rahmen von Baumaßnahmen. Zum Teil kommen auch gezielt hergestellte Bodenmaterialien aus Erdenwerken zum Einsatz. Bei der gezielten Aufbereitung von Bodenmaterial dürfen nur solche Stoffe zugegeben werden, die für die Herstellung der Bodenfunktionen geeignet und erforderlich sind. Mischprozesse können bei bestimmten Bodenmaterialien zur Zerkleinerung der Aggregate und damit zu einer Verschlechterung der Bodenkennwerte führen. Es ist daher vorher zu prüfen, ob die verwendeten Bodenmaterialien hierfür geeignet sind.

An das Bodenmaterial werden Anforderungen gestellt, die sicherstellen sollen, dass sich die Bodenfunktionen nach dem Einbau so einstellen, wie es die Planung vorsieht. Insbesondere die Bodenzusammensetzung (Bodenart, Korngrößenverteilung) ist eine wichtige Voraussetzung für die spätere Funktionsfähigkeit der Rekultivierungsschicht.

Für die Gewährleistung einer hohen nutzbaren Feldkapazität kommen insbesondere die folgenden Bodenarten in Betracht:

- schluffiger Sand
- lehmiger Sand
- schluffiger Lehm
- sandiger Lehm

Eine vollständige Übersicht über die Eignung der unterschiedlichen Bodenarten bietet Abbildung 20.



**Abbildung 20** Eignung der Feinbodenarten als Rekultivierungsmaterial nach [36] , (Bodendiagramm nach [1])

Für die Oberbodenzone soll das Material einen ausreichenden Humusgehalt (2-8 Gew.-%) aufweisen. Humus hilft das Korngerüst zu stabilisieren und das Grobporenvolumen länger zu erhalten. Für die Unterbodenzone ist ein hoher Humusgehalt eher schädlich, da dieser zur Sauerstoffzehrung beiträgt; der Humusanteil soll hier nicht mehr als 1,5 Gew.-% (bestimmt als Glühverlust) betragen. Eine gezielte Steuerung des Humusgehaltes kann ggf. durch das Untermischen bzw. Einfräsen von Kompost in die Oberfläche erreicht werden. Das Einbringen von Nährstoffen ist entsprechend den Pflanzenerfordernissen zu begrenzen. Hinweise zur nutzungsgerechten Nährstoffeinbringung gibt das *LUA-Merkblatt Nr. 44 - Anforderungen an das Aufbringen und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden gemäß § 12 Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung [44]*.

Die Zwischenlagerung angelieferter Materialien in großen Mieten kann zu deutlichen Qualitätseinbußen führen. Die Beurteilung der Böden sollte dies berücksichtigen. Muss Bodenmaterial zwischengelagert werden, ist es vor Verdichtungen und Vernässungen zu schützen. Das Lager soll nicht mit Radfahrzeugen befahren werden. Die Miete sollte profiliert und geglättet werden. Zur Begrenzung der auflastbedingten Verdichtung sollte die Mietenhöhe bei humosem Bodenmaterial höchstens 2 m betragen [23].

Die Beurteilung der Eignung sollte sich in ihrem Umfang danach ausrichten, wie stark die Materialeigenschaften aufgrund wechselnder Herkunft oder Inhomogenität schwanken. In dieser Hinsicht sind gezielt hergestellte Bodenmaterialien aus Erdenwerken gegenüber wechselnden Lieferungen leichter zu überwachen.

### **3.4.2 Einbau**

Die Maßgaben für den Einbau richten sich nach den im Einzelnen festgelegten Eigenschaften und Qualitäten der Rekultivierungsschicht.

Ist ein mehrschichtiger Aufbau der Rekultivierungsschicht vorgesehen, muss zwischen den betriebstechnischen und bodenkundlichen Vor- und Nachteilen eines mehrlagigen Einbaus abgewogen werden.

Der lagenweise Einbau bietet betriebstechnische Vorteile, birgt aber die Gefahr von unerwünschten Verdichtungseffekten. Eine ggf. vorgesehene untere Schicht des Unterbodens, die zum Schutz gegen Durchwurzelung stark verdichtet sein soll, kann auf diese Weise problemlos eingebaut werden. Sie sollte jedoch keinen stauenden Horizont bilden, um die Standsicherheit einer Böschung nicht zu gefährden. Die Schichten, die aufgrund ihrer Porenstruktur eine hohe nutzbare Feldkapazität und ausreichende Luftkapazität erreichen sollen, sind gegen Verdichtungsprozesse äußerst empfindlich. Insbesondere die in den Grobporen vorliegende Luftkapazität reagiert sensibel auf Verdichtungsprozesse. Die Lagen sollten in einem Zuge eingebaut und nicht verdichtet werden. Das Einplanieren mit einer Raupe mit Moorblättern kann ggf. einen geeigneten Kompromiss zwischen betriebstechnischen und bodenkundlichen Erfordernissen darstellen. Benötigte Fahrstraßen können überhöht angelegt und zum Abschluss aufgelockert und rückgebaut werden.

Verdichtungen und mehrfache Überfahrten können zu Verdichtungshorizonten führen, die zu einer Stauwasserbildung neigen und damit sowohl den Wasserhaushalt stören als auch die Standsicherheit insbesondere von Böschungsflächen gefährden.

Alternativ kommt der Einbau der Rekultivierungsschicht in einer Lage in Betracht. Mit dieser Einbautechnik werden Überfahrten und Verdichtungen des Materials vermieden. Dies bietet aus bodenkundlicher Sicht Vorteile. Der Einbau mehrerer Schichten in einem Zuge ist allerdings bautechnisch schwierig und aufwändig, da Überfahrten des eingebauten Materials nicht möglich sind. Erfahrungen zeigen auch, dass bei dieser Einbauweise mit Problemen der Erosion und Standsicherheit zu rechnen ist. Ebenso ist damit zu rechnen, dass das zunächst sehr große Porenvolumen durch Sackungen mit der Zeit zurückgeht.

Die Anforderungen an das Bodenmaterial richten sich beim einlagigen Einbau nach den Anforderungen an die Unterbodenzone. Der Humusgehalt bzw. der Anteil organischer Bestandteile ist auf max. 1,5 Gew.-% (bestimmt als Glühverlust) zu begrenzen. Die gewünschte Erhöhung des Humusgehaltes an der Oberfläche kann durch oberflächennahes Einfräsen (bis 30 cm) von Kompost erreicht werden. Die Kompostzugabe sollte auf 2-5 l/m<sup>2</sup> (Frischmasse) begrenzt werden; bei nährstoffarmem Kompost (entsprechend Typ 1 nach *Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V.*) kann die Zugabe auf das Doppelte erhöht werden. Für das Einfräsen ist ein Fahrzeug mit möglichst geringer Bodenpressung zu verwenden (Pistenraupe, Moorblätter).



Die gut geeigneten Bodenarten sind aufgrund ihres bindigen Anteils gleichzeitig sehr witterungsempfindlich. Eine Vernässung verhindert auf längere Zeit die Befahrbarkeit und damit die Möglichkeit des Einbaus. Der Einbau des Materials muss auf jeden Fall bei geringem Wassergehalt erfolgen, damit Verdichtungsvorgänge minimiert werden. Die Einbaudichte soll bei 1,2-1,5 g/cm<sup>3</sup> liegen (mittlere Trockenrohichte).

Die unvermeidliche Konsolidierung der unverdichtet eingebauten Rekultivierungsschicht muss bei der Bemessung der Einbau durch eine entsprechende Überhöhung berücksichtigt werden. Eine spätere Aufhöhung erhöht den Aufwand und verursacht vermeidbare Verdichtungseffekte.

Durch nachbehandelnde Maßnahmen kann die Stabilität der Rekultivierungsschicht verbessert werden:

- Gegen Erosionsvorgänge der ungeschützten Oberfläche insbesondere in Böschungsbereichen kann ein leichtes Andrücken der Oberfläche vorteilhaft sein. Verstärkt werden kann dieser Effekt, in dem eine Raupe die Böschung in Richtung der Falllinie befährt und mit ihren Ketten horizontal verlaufende Konturen in die Oberfläche einprägt, die den oberflächlichen Abfluss hemmen.
- Um zu verhindern, dass die unbedeckte Rekultivierungsschicht bei starken Niederschlägen verschlämmt und die Grobporen verschlossen werden, kann eine Lage Mulch unmittelbar nach dem Einbau aufgebracht werden.
- Bei mehrlagigem Einbau der Rekultivierungsschicht soll der Oberboden unmittelbar nach dem Unterboden eingebaut werden, um eine Verschlämmung des Unterbodens zu vermeiden.
- Wesentlich für die Ausbildung einer guten Bodenstruktur und für die Mineralisierung von Nährstoffen sind Regenwürmer. Eine produktive Population von Regenwürmern stellt sich - außer bei sehr kleinen Flächen - nur bei einer gezielten Besiedlung zeitnah ein [36].

### **3.4.3 Qualitätssicherung**

Im Folgenden werden Eigenschaften aufgelistet, die für Eignungsprüfungen grundsätzlich in Betracht kommen. Umfang und Ausmaß tatsächlich erforderlicher Eignungsprüfungen richten sich nach den Verhältnissen im Einzelfall. Grundsätzlich sollen Umfang und Ausmaß der Qualitätssicherung mit den Ansprüchen an die Wirksamkeit der Rekultivierungsschicht steigen. Mindestens für das Schutzniveau 3 sollten aufgrund der hohen Bedeutung für die Wirksamkeit die folgenden Eigenschaften grundsätzlich im Zuge einer Qualitätssicherung geprüft werden.

- Korngrößenzusammensetzung
- Zustandsgrenzen / Konsistenz, Wasseraufnahme
- Trockendichte
- Scherfestigkeit
- Durchlässigkeit, Infiltrationsvermögen
- Luftkapazität, Feldkapazität, Permanenter Welkepunkt, nutzbare Feldkapazität
- Humusgehalt, Nährstoffgehalt

- Kalkgehalt, Eisengehalt.



- *LAGA-BQS 7-1 Rekultivierungsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen*  
[www.laga-online.de](http://www.laga-online.de) ☞ Informationen ☞ Deponiebaustoffe, Deponietechnische Vollzugsfragen ☞ Bundeseinheitliche Qualitätsstandards
- *GDA-Empfehlung E 2-31 Rekultivierungsschichten*  
[www.gdaonline.de](http://www.gdaonline.de) ☞ Empfehlungen

Konkretere Hinweise zur Qualitätssicherung von Rekultivierungsschichten bieten die *GDA-Empfehlungen E 2-31*.

Die nutzbare Feldkapazität als dominanter Kennwert für das Wasserspeichervermögen lässt sich im eingebauten Zustand nicht bzw. unmittelbar nach dem Einbau nur eingeschränkt ermitteln, da sich die Porenverteilung nach dem Einbau durch Nachverdichtung und Umwandlung von Primär- in Sekundärporen noch deutlich verändert. Die Konsolidation der eingebauten Rekultivierungsschicht sowie die durch Pflanzen und Tieren ausgelöste Gefügebildung verändern die nutzbare Feldkapazität noch lange Zeit (mehrere Jahre) nach dem Einbau. Diese Prozesse müssen abgeschätzt werden, wenn die angelieferten Materialien auf deren Eignung beurteilt werden. Gleiches gilt in noch stärkerem Maße für die Luftkapazität. Mit Hilfe einer Korngrößenanalyse und der Trockenrohddichte können diese Werte jedoch abgeschätzt werden. Die Schätzwerte für die nutzbare Feldkapazität müssen um den Grobbodenanteil (> 2 mm) vermindert werden.

Eine geeignete Methode zur unmittelbaren Feststellung von Verdichtungshorizonten ist die Bestimmung des Eindringwiderstandes mit einem Penetrometer.

Sofern die Rekultivierungsschicht nach dem Schutzniveau 3 aufgebaut werden soll, sollte ein geeignetes Versuchsfeld angelegt werden, an dem Materialeigenschaften und Einbautechnik erprobt werden können.

### **3.5 Rekultivierungsmaßnahmen bei besonderen Standorten**

Die harmonische Einbindung einer Deponie in die landschaftliche Umgebung kann es in Einzelfällen erforderlich machen, von den Sollvorgaben der Deponieverordnung abzuweichen, um die Rekultivierungsschicht an die Standortbedingungen der umgebenden Landschaftsbestandteile anzupassen. So kann z.B. im Umfeld von ehemaligen Kalksteinbrüchen die Wahl eines steinig oder steinig durchsetzten Rekultivierungsmaterials geeignet sein, eine umgebungstypische Vegetation zu fördern. Solche Materialien können naturbedingt die Anforderungen an die nutzbare Feldkapazität und eine möglichst hohe Evapotranspiration nicht erfüllen.

Die Anforderungen an die Rekultivierungsschicht müssen in solchen Fällen die Vorgaben des Anhangs 1 DepV Nr. 2.3.1 an

- die Mindestmächtigkeit von 1 m (Ziffer 1.)
- den Schutz der unterliegenden Dichtungskomponenten (Ziffer 1.)
- die stoffliche Beschaffenheit des Materials (Ziffer 4.)

zwingend einhalten.

Von den Anforderungen an die nutzbare Feldkapazität (Ziffer 2.) und an eine möglichst hohe Evapotranspiration (Ziffer 3.) kann dagegen abgewichen werden, wenn die Anpassung des Bodensubstrats an die umgebende Landschaft dies erfordert.

Diese Abweichungen von den Sollvorgaben der Deponieverordnung sind nur dann zulässig, wenn die Schutzerfordernisse des unterliegenden Abdichtungssystems dennoch in vollem Umfang erfüllt werden kann. Dies ist z. B. bei Dichtungssystemen aus Kunststoffdichtungsbahnen und aus Deponieasphalt im Regelfall gegeben.

### 3.6 Anpflanzung von Bäumen auf Rekultivierungsschichten

Bei der Anpflanzung von Bäumen auf Deponieoberflächen ergeben sich besondere Schwierigkeiten, die bei der Bemessung und Gestaltung der Rekultivierungsschicht berücksichtigt werden müssen. Insbesondere die Wurzeltiefe der Bäume kann mit den Schutzerfordernissen der unter der Rekultivierungsschicht liegenden Komponenten des Oberflächenabdichtungssystems kollidieren.



**Abbildung 21** Baumsetzlinge auf einer rekultivierten Deponie

Das Eindringen von Wurzeln in die Entwässerungsschicht kann dazu führen, dass durch die Ausfüllung der abflusswirksamen Poren der dort benötigte Abflussquerschnitt durch die Wur-

zelmasse verringert wird. Sobald die hydraulische Leistungsfähigkeit der Entwässerungsschicht unter das erforderliche Maß sinkt, wird die untere Zone der Rekultivierungsschicht eingestaut. In Böschungsbereichen kann das den Verlust der Standsicherheit der Böschung nach sich ziehen, da das Bodenmaterial unter Auftrieb schlechtere Standsicherheitsparameter aufweist.

Das Wachstum von Pflanzenwurzeln ist kaum vom Verdichtungsgrad des anstehenden Substrats sondern hauptsächlich von der Porosität des Substrats abhängig. Pflanzenwurzeln können durch ihren osmotischen Druck zum Teil einen Wurzeldruck von 5-10 bar aufbauen und damit selbst stark verdichtete Schichten durchbrechen. Sie können allerdings nicht in Substrate eindringen, die keinen Porenraum aufweisen oder deren Porendurchmesser zu gering ist. Das Eindringen von Pflanzenwurzeln ist daher grundsätzlich auch bei allen porösen Dichtungssystemen möglich, d.h. vor allem bei mineralischen Dichtungen (Tondichtungen) und Kapillarsperren. Das Einwurzeln in extrem feinporige Texturen ist dabei allerdings deutlich erschwert oder gar nicht möglich. An glatten Grenzflächen unterschiedlicher Dichte folgen Wurzeln auf Grund ihres Aufbaus solchen Grenzflächen und dringen nicht in das dichtere Material ein, solange außerhalb genügend Wurzelraum verfügbar ist [61].

Kunststoffdichtungsbahnen gelten wegen ihrer porenfreien Herstellung bei ordnungsgemäßer Verlegung während ihrer Funktionsfähigkeit als durchwurzelungssicher. Deponieasphaltdichtungen sind bei ordnungsgemäßer Herstellung ebenfalls wurzelbeständig.

Bei tonmineralischen Dichtungen treten zwei nachteilige Effekte auf, wenn Wurzeln in die Dichtungsmatrix eindringen:

- Die Wurzelkanäle bilden nach dem Absterben der Wurzeln bevorzugte Fließwege, durch die das Oberflächensickerwasser in den Deponiekörper eindringen kann. Je dicker die Wurzeln werden, umso stärker wird später die mögliche Durchströmung.
- Die Wurzeln entziehen der Dichtung einen Teil ihres Porenwassers. Die dadurch hervorgerufenen Kapillarkräfte sorgen für eine Kontraktion des Bodengefüges, die zur Rissbildung führt. Diese Risse bilden zum einen wiederum bevorzugte Fließwege und zum anderen bevorzugte Wurzelwege, die den Prozess verstärken.

In Auslegung der deponierechtlichen Vorgaben ist die Rekultivierungsschicht so mächtig zu gestalten, dass die Wurzeln der Bäume allenfalls in geringem, unschädlichem Maß in die Entwässerungsschicht und nicht in mineralische Dichtungssysteme eindringen.

Die umfangreichste Befassung mit dem Durchwurzelungsverhalten von Pflanzen, auch Bäumen, findet sich in den Wurzelatlanten von *Kutschera*, insbesondere im „Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher“ [37]. Aus den dort enthaltenen Beschreibungen des Wurzelverhaltens von Bäumen hat das LANUV eine Orientierungstabelle erstellt, die das Wurzelverhalten auf natürlichen Böden beschreibt (siehe Tabelle 19 im Anhang A 5). Demnach liegen gängige Wurzeltiefen zwischen 0,6 m und 3 m. Als besonders tief wurzelnde Bäume werden u. a. Stieleiche, Robinie und Feldulme genannt. Die hier beschriebenen Wurzeltiefen sind aber nur bedingt auf Deponiestandorte zu übertragen. Während natürlich gewachsene Böden in der Tiefe eine stark zunehmende Verdichtung aufweisen, sind Rekultivierungsschichten über die gesamte Mächtigkeit sehr locker geschüttet, um ein gutes Wasserspeichervermögen zu erreichen. Eine tiefgründige Lockerheit des Bodensubstrats kann

zu einer erheblich tieferen Durchwurzelung führen. Auf sonnenexponierten Böschungen kann zudem die tiefgründige Erwärmung von Rekultivierungsschichten das Wurzelwachstum fördern.

Untersuchungen an Baumstämmen, die durch Sturmeinwirkungen entwurzelt wurden, zeigten, dass Schäden an Dichtungssystemen bei einer Überdeckung von 2,5 m und mehr unwahrscheinlich sind. Diese Untersuchungen beziehen sich auf natürliche Böden. Im Straßenbau wird für Leitungen im Bereich von Straßenbäumen eine Mindestdiefe von 2,5 m vorgeschrieben. Beide Situationen sind auf Deponien eingeschränkt übertragbar.

Auch auf Deponien wurde das Wurzelwachstum von Bäumen bereits untersucht. Unstrittig ist, dass mineralische Tondichtungen nicht an sich wurzelbeständig sind, wie mehrere Fälle von durchwurzelten Dichtungsschichten belegen. Es ist aber zu beobachten, dass stark verdichtete, intakte Tondichtungen einer Durchwurzelung durchaus standhalten können. Eine geschlossene Oberfläche ohne Ansätze von Rissbildung erschwert das Eindringen von Wurzeln so erheblich, dass mit einer Durchwurzelung nicht unbedingt zu rechnen ist.

Zur Begrenzung des Wurzelwachstums sind zwei Strategien bekannt: passive technische Maßnahmen als Wurzelwiderstand und aktive Maßnahmen zur Beeinflussung des Wurzelwachstums.

Als technische Wurzelsperren wurden verschiedene Systeme erprobt, deren Wirkung mit einer Ausnahme nicht eindeutig nachgewiesen werden konnte. Die Ausnahme ist die Kunststoffdichtungsbahn nach *BAM* (2,5 mm), die durch Wurzeln eindeutig nicht durchdrungen werden kann, wenn sie intakt ist. Andere Techniken wie Verdichtungshorizonte aus scharfkantigem Gestein, Korngrößenprünge oder Kupfervliese haben sich nicht durchgehend bewährt. Grobkörnige Kiesschichten können wegen ihres Mineralstoffgehaltes sogar attraktiv auf Baumwurzeln wirken.

Als aktive Maßnahmen, die das Tiefenwachstum der Baumwurzeln beeinflussen können, gelten:

- Schaffung eines hohen Bodenwasservorrates oberhalb der Dichtungsebene  
Diese Maßnahme geht einher mit einer extrem geringen Verdichtung, die wiederum das Tiefenwachstum anregt. Belastbare Ergebnisse über den Grad der Wirksamkeit liegen nicht vor.
- Gezielte Pflegemaßnahmen  
Das Auf-den-Stock-Setzen bzw. die Niederwald-Kultur vermindern nach übereinstimmender Auffassung von Forstexperten das Tiefenwachstum von Wurzeln. Es liegen aber keine quantifizierten Erkenntnisse über die Wirksamkeit hinsichtlich der maximalen Wurzeltiefe vor.

Auf flach geneigten Deponieflächen mit ausreichender Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht ( $\geq 2$  m) kann die Anlage einer Kurzumtriebsplantage (Niederwaldkultur) mit geeigneten Hölzern eine technisch und ökonomisch sinnvolle Variante darstellen, wenn man sie zum Beispiel für die Energieerzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen nutzt.

## **3.7 Technische Funktionsschichten**

### **3.7.1 Allgemeine Anforderungen an technische Funktionsschichten**

Anhang 1 Nr. 2.3.2 DepV sieht vor, dass die Rekultivierungsschicht durch eine technische Funktionsschicht ersetzt werden kann, wenn die Deponieoberfläche nach der endgültigen Stilllegung als Verkehrsfläche, zur Bebauung oder in ähnlicher Weise genutzt werden soll.

Die Bemessung der technischen Funktionsschicht richtet sich dann ausschließlich nach den Schutzanforderungen der darunter liegenden Systemkomponenten. Es ist dabei sicherzustellen, dass

- die Entwässerungsschicht – soweit erforderlich – langfristig funktionsfähig bleibt und nicht durch Durchwurzelung, Kolmation oder mechanische Schädigung in ihrer Entwässerungsleistung beeinträchtigt wird
- mineralische Abdichtungsschichten vor Schäden durch Frost, Austrocknung oder Durchwurzelung geschützt sind.

Die stofflichen Anforderungen an das eingesetzte Material richten sich nach den Anforderungen an den Einbau von Ersatzbaustoffen, die außerhalb von Deponieflächen unter vergleichbaren Randbedingungen gelten würden. Das in der Entwässerungsschicht oder auf der Oberfläche gefasste Wasser muss nach den wasserrechtlichen Vorschriften eingeleitet werden können.

Für technische Funktionsschichten gilt, dass nach Aufgabe der die technischen Funktionsschicht begründenden Nutzung die Deponieoberfläche so herzustellen ist, dass die Schutzanforderungen dauerhaft erfüllt und eine natürliche Funktion des Standortes erreicht werden können. Dazu wird in der Regel der Aufbau einer Rekultivierungsschicht nach Kapitel 3.1 erforderlich sein.

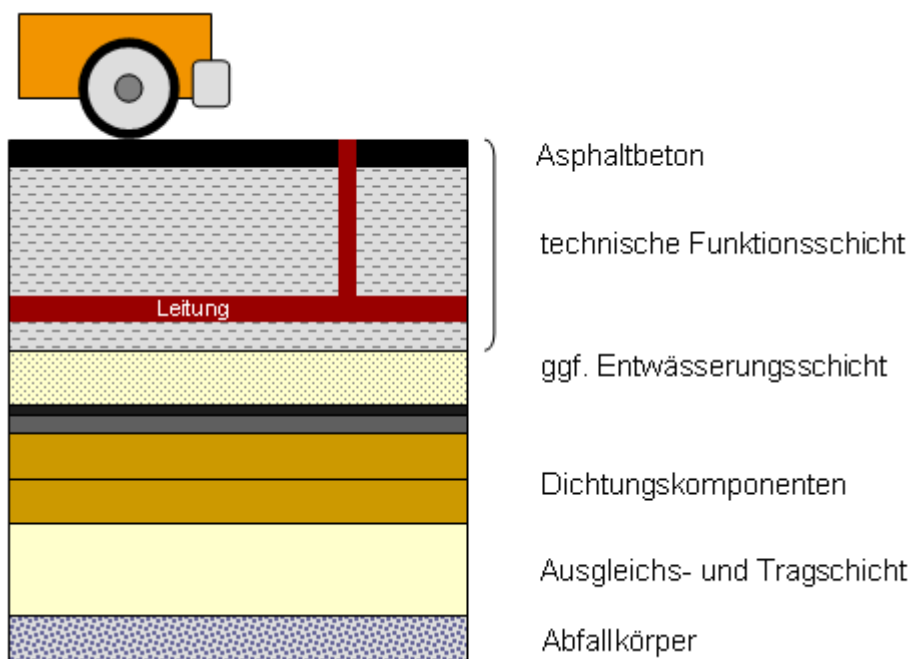
### **3.7.2 Asphaltbetondecke**

Für die Gestaltung der technischen Funktionsschicht aus Asphalt sind drei grundsätzliche Systemkonstellationen denkbar:

- als entkoppeltes System (siehe 3.7.2.1)
- als teil-entkoppeltes System (siehe 3.7.2.2)
- als gekoppeltes System (siehe 3.7.2.3)

#### **3.7.2.1 Entkoppelte Funktionen**

Als entkoppeltes System wird die vollständige Trennung der Funktion als Untergrund für eine Folgenutzung von der Dichtungsfunktion angesehen. Diese Trennung wird dadurch erreicht, dass das Abdichtungssystem unterhalb der Funktionsschicht in einer ausreichenden Tiefe ( $\geq 1$  m) errichtet wird.



**Abbildung 22** Schemadarstellung einer entkoppelten Funktionsschicht

Die Anforderungen an eine Asphaltbetondecke, die in einem solchen entkoppelten System oberhalb der Dichtungskomponenten als technische Funktionsschicht vorgesehen wird, richten sich ausschließlich nach den Erfordernissen der vorgesehenen Folgenutzung. Bei wasserundurchlässiger Ausbildung kann ggf. auch auf eine unterliegende Entwässerungsschicht verzichtet werden. Dabei ist zu beachten, dass eine ggf. unterliegende mineralische Dichtungsschicht durch eine ausreichende Zwischenschicht auch gegen Frosteinwirkungen zu schützen ist. Die stofflichen Anforderungen an die technische Funktionsschicht richten sich nach den allgemeinen Anforderungen von Anhang 1 Nr. 2.3.2 DepV (siehe 3.7.1).

Die Ausgestaltung einer technischen Funktionsschicht als entkoppeltes System erlaubt die Verlegung von Leitungen unterhalb der genutzten Oberfläche sowie flache Gründungen für Bauwerke.

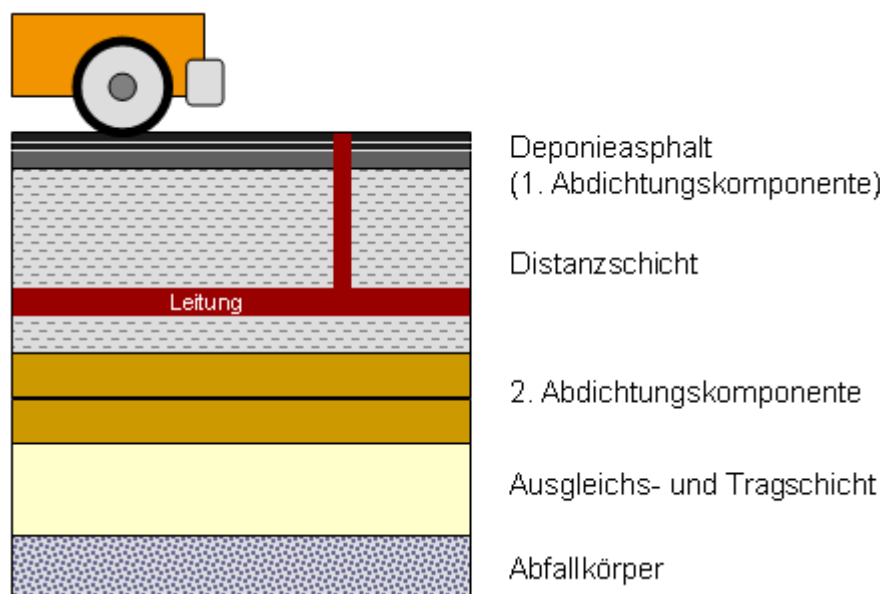
Ein vollständig entkoppeltes System bietet ggf. günstigere Voraussetzungen, über die Entlassung der Deponie aus der Nachsorge zu entscheiden, ohne die Folgenutzung aufgeben zu müssen.

### 3.7.2.2 teil-entkoppelte Funktionen

Als teil-entkoppeltes System wird die teilweise Trennung der Funktion als Untergrund für eine Folgenutzung von der Funktion als Dichtungselement angesehen. Diese teilweise Trennung wird dadurch erreicht, dass in Kombinationsabdichtungen die erste Abdichtungskomponente aus Deponieasphalt hergestellt wird und gleichzeitig als Betriebsfläche für eine Folgenutzung genutzt wird. Die zweite Abdichtungskomponente wird unterhalb einer Distanzschicht ( $\geq 1$  m) errichtet, so dass diese durch die Folgenutzung nicht beeinträchtigt wird. Eine technische Funktionsschicht oberhalb der Abdichtungskomponenten im engeren Sinne der DepV liegt hier nicht vor. Die Distanzschicht soll wenigstens gering durchlässig sein, um ggf.



durch eine temporäre Fehlstelle tretendes Niederschlagswasser oder Leckagewasser aus Leitungen lateral abführen zu können.



**Abbildung 23** Schemadarstellung einer teil-entkoppelten Funktionsschicht

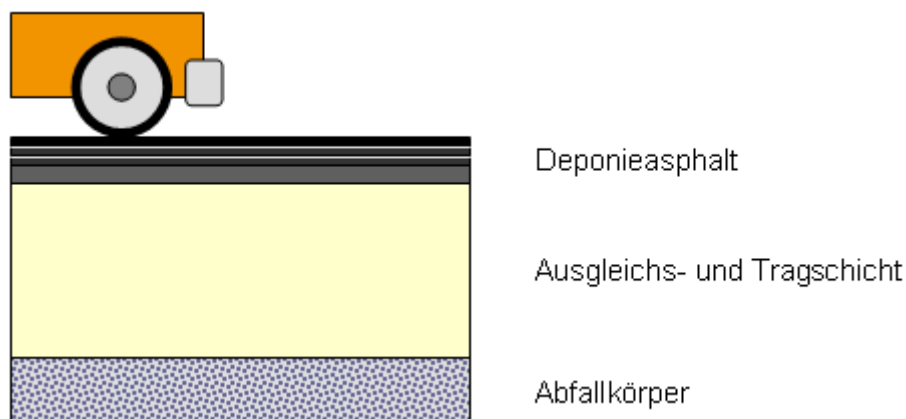
Die Anforderungen an die Asphaltdecke richten sich dann zum einen nach deponietechnischen Erfordernissen, zum anderen nach den statischen und sonstigen Erfordernissen der vorgesehenen Folgenutzung. Hier ist ein gesonderter Eignungsnachweis im Einzelfall zu führen, da diese Ausgestaltung nicht von der *Güterichtlinie Abdichtungskomponenten aus Deponieasphalt* erfasst wird. Für die Distanzschicht gelten die Anforderungen des Anhangs 3 Nr. 1 Tabelle 1 Zeile 4.1 DepV, da die Distanzschicht in die Abdichtungskomponenten integriert ist.

Die Ausgestaltung der Oberfläche als teil-entkoppeltes System erlaubt die Verlegung von Leitungen in der Distanzschicht unterhalb der genutzten Oberfläche sowie flache Gründungen für Bauwerke unter strengen Auflagen an die ständige Kontrolle und Instandsetzung der Leitungen und der Durchdringungen der Asphaltoberfläche.

Nach Aufgabe der Folgenutzung muss das Dichtungselement aus Deponieasphalt überprüft und instandgesetzt (Entfernung der Durchdringungen) werden, bevor die Rekultivierung der Oberfläche vorgenommen wird. Die Entlassung der Deponie aus der Nachsorge vor Aufgabe der Folgenutzung ist aus diesem Grunde in der Regel nicht möglich.

### 3.7.2.3 gekoppelte Funktionen

Als gekoppeltes System wird die Zusammenlegung der Funktionen als Untergrund für eine Folgenutzung und als Dichtungselement in einem System angesehen. Eine technische Funktionsschicht oberhalb der Abdichtungskomponenten im engeren Sinne der DepV liegt hier nicht vor.



**Abbildung 24** Schemadarstellung einer gekoppelten Funktionsschicht

Die Ausgestaltung einer Kombinationsabdichtung mit einer mineralischen Dichtungskomponente in einem gekoppelten System ist wegen der fehlenden Frostsicherheit in der Regel nicht möglich. In diesem Fall muss die zweite Abdichtungskomponente in einer frostunempfindlichen Bauart oder ggf. durch eine weitere Dichtungsschicht der Asphaltabdichtung ersetzt werden. Für eine solche Abdichtungskomponente aus Deponieasphalt ist ein gesonderter Eignungsnachweis im Einzelfall zu führen, da diese Bauweise nicht von der *Güterichtlinie Abdichtungskomponenten aus Deponieasphalt* umfasst wird.

In einem gekoppelten System sind Durchdringungen der Oberfläche und somit weder die Verlegung von Leitungen unterhalb der Oberfläche noch die Anordnung von Fundamenten möglich.

Nach Aufgabe der Folgenutzung muss das Dichtungselement aus Deponieasphalt überprüft und instandgesetzt werden, bevor die Rekultivierung der Oberfläche vorgenommen wird. Die Entlassung der Deponie aus der Nachsorge vor Aufgabe der Folgenutzung ist aus diesem Grunde in der Regel nicht möglich.

### 3.7.2.4 Anforderungen an die Asphaltbetondichtung einer Funktionsschicht

Die Tragfähigkeit der Asphaltbetondichtung muss die vorgesehene Folgenutzung - i.d.R. unter Erhöhung der Dicke der Tragschicht - schadlos ermöglichen. Die Oberfläche des Dichtungselements aus Deponieasphalt ist durch geeignete Maßnahmen gegen Witterungseinflüsse (UV-Bestrahlung und hohe Temperaturen) zu schützen. Das Auflager muss frostsicher ausgebildet sein. Sofern die vorgesehene Folgenutzung die Oberfläche einer mechanischen Belastung aussetzt, muss eine zusätzliche Verschleißschicht vorgesehen werden, die für die Einhaltung der Mindestanforderungen an das Dichtungssystem nicht angerechnet wird. Wird eine befahrbare Verkehrs- oder Betriebsfläche geschaffen, ist ebenso ein Nachweis der Unschädlichkeit von Verkehrslasten zu führen; mit der Rezeptur gemäß *Güterichtlinie Abdichtungskomponenten aus Deponieasphalt* wird dies nicht erreicht.

Die Oberfläche ist bei gekoppelten und teil-entkoppelten Systemen regelmäßig auf Schäden (Risse, Verformungen) zu prüfen, und diese sind unverzüglich zu beheben.

### **3.7.3 Mineralische Abdeckung**

Sofern die vorgesehene Folgenutzung die Herstellung einer regulären Rekultivierungsschicht mit einem geeigneten Bewuchs nicht zulässt, kann die Überdeckung des Deponiekörpers mit einer mineralischen Abdeckung erforderlich sein. Diese muss so aufgebaut sein, dass sie die unterliegenden Systemkomponenten wirksam schützt. Sofern eine mineralische Dichtung vorhanden ist, muss diese ausreichend vor Austrocknung und Frost geschützt werden. Dazu muss die mineralische Abdeckung eine ausreichende Mächtigkeit und ein ausreichendes Wasserspeichervermögen aufweisen, welches eine verstärkte Konvektion und Verdunstung von Porenwasser aus der mineralischen Dichtung verhindert.

Daneben muss die Abdeckung hinsichtlich der vorgesehenen Folgenutzung eine ausreichende Tragfähigkeit aufweisen und gegenüber Erosionen durch Wind und Wasser stabil sein. Gegebenenfalls ist die mineralische Abdeckung z.B. durch eine hydraulische Bindung oder durch konstruktive Maßnahmen zu stabilisieren.

Auf die Entwässerungsschicht kann dann verzichtet werden, wenn die mineralische Abdeckung selbst ein ausreichendes Ableitvermögen hat und eine Begünstigung der Austrocknung der mineralischen Dichtungsschicht durch Kapillarkwirkung nicht gegeben ist.

### **3.7.4 Deckschicht aus Pflastersteinen oder Platten**

Sofern die vorgesehene Folgenutzung die Herstellung einer regulären Rekultivierungsschicht mit einem geeigneten Bewuchs nicht zulässt, kann eine Überdeckung des Deponiekörpers mit einer Deckschicht aus Pflastersteinen oder Platten vorgesehen werden.

Sofern in den unterliegenden Systemkomponenten eine mineralische Dichtung vorhanden ist, muss diese ausreichend vor Austrocknung und Frost geschützt werden. Dazu muss eine mineralische Zwischenschicht in ausreichender Mächtigkeit und mit ausreichendem Wasserspeichervermögen vorhanden sein, welche eine verstärkte Konvektion und Verdunstung von Porenwasser aus der mineralischen Dichtung verhindert.

Sofern die unterliegenden Systemkomponenten keines Schutzes gegenüber Austrocknung oder Frost bedürfen, bestimmen sich die Anforderungen an die mineralische Zwischenschicht nach den konstruktiven Erfordernissen.

Auf eine Entwässerungsschicht kann verzichtet werden, wenn die Deckschicht das Einsickern von Niederschlagswasser ausreichend verhindert und die mineralische Zwischenschicht über ein ausreichendes Wasserableitvermögen verfügt.

## Literatur

- [1] Ad-hoc-AG Boden: Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage, Hannover, 2005
- [2] Albers, Müller: Kunststoffdichtungsbahnen als Abdichtungselement in Oberflächenabdichtungssystemen, Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Tagungsband Anforderungen an Deponieoberflächenabdichtungssysteme, Höxter, Band 06, 2007
- [3] Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L182 vom 16.7.1999: Richtlinie 1999/31/EG des Rates über Abfalldeponien vom 26. April 1999
- [4] ATV-DVWK: Merkblatt Nr. 226 - Landschaftsökologische Gesichtspunkte bei Flußdeichen, 1993
- [5] Baumgartl, Taubner, Horn: Wasserspannungsverläufe in Böden unter unterschiedlicher Nutzung als Entscheidungsgrundlage für die Prognose der Rissgefährdung mineralischer Dichtschichten, Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung, Heft 5, Berlin, 1998
- [6] Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Staatliche Geologische Dienste in der Bundesrepublik Deutschland: Geologisches Jahrbuch, Reihe G, Heft 4, Hannover, 1997
- [7] Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung: Richtlinie für die Zulassung von Kunststoffdichtungsbahnen für die Abdichtung von Deponien und Altlasten, Labor IV.32, Berlin, 1999  
[http://www.bam.de/de/service/amtl\\_mitteilungen/abfallrecht/abfallrecht\\_medien/rii\\_zul\\_kunststoffdichtungsbahnen.pdf](http://www.bam.de/de/service/amtl_mitteilungen/abfallrecht/abfallrecht_medien/rii_zul_kunststoffdichtungsbahnen.pdf)
- [8] Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung: Richtlinie für die Zulassung von Kunststoff-Dränelementen für Deponieoberflächenabdichtungen, Arbeitsgruppe „Kunststoffe in der Geo- und Umwelttechnik“ der Fachgruppe 4.3, Berlin, 2010
- [9] Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung: Richtlinie für die Zulassung von Geotextilien zum Filtern und Trennen für Deponieabdichtungen, Arbeitsgruppe „Kunststoffe in der Geo- und Umwelttechnik“ der Fachgruppe 4.3, Berlin, 2010
- [10] Bundesanzeiger Nr. 99a: Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Siedlungsabfall – Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen vom 14. Mai 1993
- [11] Bundesgesetzblatt I: Verordnung zur Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV) vom 27.4.2009 (BGBl. I, Nr. 22, S. 900), die durch Artikel 7 der Verordnung vom 2. Mai 2013 (BGBl. I S. 973) geändert worden ist
- [12] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Hydrologischer Atlas von Deutschland, Bonn/Berlin 2003

- [13] Degenbeck: Einfluss eingedrungener Pflanzenwurzeln auf die Funktionsfähigkeit von Kunststoffdränmatten in der Oberflächenabdichtung von Mülldeponien, Müll und Abfall, Heft 1, 2000
- [14] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT): Einsatz von Geotextilien im Deponiebau, Empfehlungen Geotechnik der Deponien und Altlasten E 2-9, 2005  
[www.gdaonline.de](http://www.gdaonline.de)
- [15] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT): Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen, Empfehlungen Geotechnik der Deponien und Altlasten E 2-20, 2011  
[www.gdaonline.de](http://www.gdaonline.de)
- [16] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT): Kapillarsperren in Oberflächenabdichtungssystemen (Entwurf), Empfehlungen Geotechnik der Deponien und Altlasten E 2-33, 2010  
[www.gdaonline.de](http://www.gdaonline.de)
- [17] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT): Herstellung von Dichtwänden, Empfehlungen Geotechnik der Deponien und Altlasten E 4-01, 1997  
[www.gdaonline.de](http://www.gdaonline.de)
- [18] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT): Grundsätze des Qualitätsmanagements, Empfehlungen Geotechnik der Deponien und Altlasten E 5-01, 1997  
[www.gdaonline.de](http://www.gdaonline.de)
- [19] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT): Güterrichtlinie Abdichtungskomponenten aus Deponieasphalt, noch nicht veröffentlicht
- [20] Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK): Anwendung von Geotextilien im Wasserbau, Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Merkblatt Nr. 221, Verlag Paul Parey, Hamburg/Berlin, 1992
- [21] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBT): Grundsätze für den Eignungsnachweis von Dichtungselementen in Deponieabdichtungssystemen, November 1995
- [22] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBT): Zulassungsgrundsätze für Dichtungsschichten aus natürlichen mineralischen Baustoffen in Basis- und Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien, Dezember 1997
- [23] Deutsches Institut für Normung: DIN 19731 - Verwertung von Bodenmaterial, Berlin, 1998
- [24] Deutsches Institut für Normung: DIN 19667 – Dränung von Deponien – Technische Regeln für Planung, Bauausführung und Betrieb, Ausgabe Mai 1991, Berlin, 1991
- [25] Egloffstein, T.: Der Einfluss des Ionenaustausches auf die Dichtwirkung von Bentonitmatten in Oberflächenabdichtungen von Deponien, ICP-Eigenverlag Bauen und Umwelt, Karlsruhe, 2000

- [26] Gartung, Neff: Empfehlungen des Arbeitskreises "Geotechnik der Deponiebauwerke", Bautechnik 77, Heft 9, 2000
- [27] Gebert, Pfeiffer (Hrsg): Mikrobielle Methanoxidation in Deponie-Abdeckschichten, Hamburger Bodenkundliche Arbeiten, Band 63, Verein zur Förderung der Bodenkunde in Hamburg, 2010, ISSN:0724-6382
- [28] Gemeinsames Ministerialblatt GMBI: Zweite allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Abfall – Teil 1: Technische Anleitung zur Lagerung, chemisch/physikalischen, biologischen Behandlung, Verbrennung und Ablagerung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen vom 12. März 1991
- [29] Geotechnisches Büro Prof. Dr.-Ing. H. Düllmann: Vergleichbarkeit von Kombinationsabdichtungssystemen mit wasserglasvergüteten Dichtungssystemen mit und ohne aktive Rißsicherung - Abschlußbericht über ein Fachgespräch am 7.9.1994 im MURL, Aachen, 1995
- [30] Giurgea, Hötzl: Langzeituntersuchungen von alternativen Oberflächenabdichtungssystemen in Großlysimetern: Deponie Karlsruhe-West, LGA-Grundbauinstitut Nürnberg, Veröffentlichung 82, Nürnberg, 2004
- [31] Henken-Mellies: Wirksamkeit und Wasserhaushalt einer mineralischen Deponie-Oberflächenabdeckung: Ergebnisse von Langzeituntersuchungen an einem Großlysimeter, Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Band 03, Höxter, 2002
- [32] Henken-Mellies, Gartung: Langzeituntersuchung an einem Versuchsfeld in Aurach, Müll und Abfall, Ausgabe 1, 2002
- [33] Holzlöhner: Rechnerische Abschätzung der Austrocknungsgefährdung von mineralischen Abdichtungsschichten in Deponieabdichtungssystemen, Schriftenreihe Angewandte Geologie, Heft 45, Karlsruhe, 1996
- [34] Horn: Analyse des Austrocknungsverhaltens von mineralischem Bodenmaterial anhand von Laboruntersuchungen, Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Band 03, Höxter, 2002
- [35] Horn: Auswirkung von periodischer Austrocknung und Wiederbewässerung auf die Schrumpfrissbildung von künstlich erzeugten Gemischen aus groben starren Körnern und quellfähigem Feinmaterial, Müll und Abfall, Heft 10, 2003
- [36] Konold, Wattendorf u.a.: Wasserhaushalt und Bodenentwicklung qualifizierter Re-kultivierungsschichten, Universität Freiburg, Freiburg, 2004
- [37] Kutschera: Wurzelatlas mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen, DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt, 1960
- [38] Kutschera, Lichtenegger: Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher, Leopold Stocker Verlag, Graz, 2002

- [39] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW: Langzeitbeständigkeit mineralischer Deponieabdichtungen, LANUV-Fachbericht 25, Recklinghausen, 2010
- [40] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): Arbeitspapiere der Arbeitsgruppe zu Oberflächenabdichtungen und -abdeckungen sowie weiteren Fragen, 2000
- [41] Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) / Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV): LANUV-Arbeitsblatt 6 - Mineralische Deponieabdichtungen, Augsburg/Recklinghausen, 2009
- [42] Landesamt für Wasser und Abfall NRW: Richtlinie Mineralische Deponieabdichtungen, Abfallwirtschaft NRW, Nr. 18, Düsseldorf 1993
- [43] Landesumweltamt NRW: Merkblatt zur Anwendung der TA Siedlungsabfall bei Deponien, Merkblatt Nr. 12, Essen, 1998
- [44] Landesumweltamt NRW: Anforderungen an das Aufbringen und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden gemäß § 12 Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, Merkblätter Nr. 44, Essen, 2004
- [45] LAGA: Empfehlungen der LAGA-Arbeitsgruppe Infiltration von Wasser in den Deponekörper und Oberflächenabdichtungen und -abdeckungen, 1999
- [46] LAGA: Beurteilung der grundsätzlichen Eignung der Kombikapillarsperre, 2007, [www.gewerbeaufsicht.niedersachsen.de](http://www.gewerbeaufsicht.niedersachsen.de)
- [47] LAGA: Eignungsbeurteilung von METHA-Material zur Herstellung von mineralischen Dichtungen, 2008 [www.gewerbeaufsicht.niedersachsen.de](http://www.gewerbeaufsicht.niedersachsen.de)
- [48] Linert: Verhalten von Pflanzenwurzeln in Oberflächenabdichtungssystemen - Umweltverträglichkeitsprüfung und Möglichkeiten der Optimierung
- [49] Maier-Harth, Melchior: Überprüfung der Wirksamkeit der mineralischen Oberflächenabdichtung der ehemaligen Industriemülldeponie Prael in Sprendlingen, Kreis Mainz-Bingen, Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Band 03, Höxter, 2002
- [50] Maier-Harth, Melchior: Überprüfung der Wirksamkeit der mineralischen Oberflächenabdichtung der ehemaligen Industriemülldeponie Prael in Sprendlingen, Kreis Mainz-Bingen, Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz, IGB, 1999
- [51] Melchior, Berger, Vielhaber, Miehlich: Großlysimeter Deponie Hamburg-Georgswerder: Wasserhaushalt und Wirksamkeit von Oberflächenabdichtungssystemen mit bindigen mineralischen Dichtungen, Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Band 03, Höxter, 2002
- [52] Melchior, Steiner, Boels: Aufgrabungen von Oberflächenabdichtungen mit Trisoplast - Zwischenergebnisse, Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Band 03, Höxter, 2002



- [53] Melchior, Vielhaber: Aufgrabungen von bindigen mineralischen Oberflächenabdichtungen mit und ohne Entwässerungsschicht, Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Band 03, Höxter, 2002
- [54] Müllner: Beitrag zur Untersuchung der Erosionssicherheit bindiger Mischböden bei vertikaler Durchströmung, Mitteilungen des Fachgebietes Grundbau, Boden- und Felsmechanik Gesamthochschule Kassel, Heft 4, Kassel, 1991
- [55] Neff: Untersuchung von Schrumpfrissen in einem mineralischen Abdichtungskörper, Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Band 03, Höxter, 2002
- [56] Ramke u.a. (Hrsg.): Austrocknungsverhalten mineralischer Abdichtungsschichten in Deponie-Oberflächenabdichtungssystemen, Tagungsband, Fachhochschule Lippe und Höxter, Höxter, 2002
- [57] Rödl, Heyer, Ranis: Feldstudien zum Langzeitverhalten mineralischer Deponieabdeckungen in Bayern, Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Band 03, Höxter, 2002
- [58] Scheffer, Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg und Berlin, 2002
- [59] SKZ, TÜV Rheinland/LGA: SKZ/TÜV-LGA-Güterichtlinie Rohre, Rohrleitungsteile, Schächte und Bauteile in Deponien, 2013
- [60] Steinert, Flöter, Melchior: Vergleichende Laboruntersuchungen des Austrocknungs- und Durchwurzelungsverhaltens von bindigen mineralischen Dichtungen aus Geschiebemergel und aus Trisoplast, Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Band 03, Höxter, 2002
- [61] Stützel, Bosseler: Wurzeleinwuchs in Abwasserleitungen und Kanäle, Kurzbericht, Bochum/Gelsenkirchen, 2007
- [62] Vielhaber, Melchior, Miehlisch: Felduntersuchungen zur temperaturinduzierten Austrocknungsgefährdung einer Kombinationsdichtung im Oberflächenabdichtungssystem der Deponie Hamburg-Georgswerder, Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Band 03, Höxter, 2002
- [63] Witt: Filtrationsverhalten und Bemessung von Erdstoff-Filtern, Veröffentlichungen des Instituts für Bodenmechanik und Felsmechanik der Universität Fridericiana in Karlsruhe, Heft 104, Karlsruhe, 1986
- [64] Witt, Zeh: Maßnahmen gegen Trockenrisse in mineralischen Abdichtungen, Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 81, Stuttgart, 2004
- [65] Witt, Zeh, Fabian: Kapillarschutzschichten für mineralische Dichtungskomponenten in Oberflächenabdichtungen, Müll und Abfall, Heft 11, 2004
- [66] Zepp: Bericht über das alternative Oberflächenabdichtungssystem auf der ZD Castrop-Rauxel, Ruhr-Universität Bochum, 2005

- [67] Zepp (Hrsg.): Oberflächenabdichtung nach dem Boden-Natur-Dichtungssystem (BND-System) auf der Zentraldeponie Castrop-Rauxel, Materialien zur Raumordnung, Nr. 74, Bochumer Universitätsverlag, Bochum, 2010

## Verzeichnis der Abbildungen

<b>Abbildung 1</b>	Ermittlung der Ausbauhöhe von Dichtwänden nach den Anforderungen an das Basisabdichtungssystem	16
<b>Abbildung 2</b>	Beispiel Grubendeponie ohne freie Entwässerung	17
<b>Abbildung 3</b>	Abmessungen für ein Probefeld	21
<b>Abbildung 4</b>	Verschweißen zweier Kunststoffdichtungsbahnen	31
<b>Abbildung 5</b>	gelegtes Geogitter in einer steilen Böschung	32
<b>Abbildung 6</b>	Dränmatte mit Wirrgelege	33
<b>Abbildung 7</b>	Rekultivierungsschicht mit Zoneneinteilung	36
<b>Abbildung 8</b>	geosynthetische Tondichtungsbahn	38
<b>Abbildung 9</b>	Verlegung einer Kapilllarblockbahn (KBB)	40
<b>Abbildung 10</b>	Verdichtung einer TRISOPLAST-Dichtungsschicht	42
<b>Abbildung 11</b>	alternative Bauweisen für Deponieasphalt	43
<b>Abbildung 12</b>	Einbau von Deponieasphalt mit einem Fertiger	43
<b>Abbildung 13</b>	Wirkungsprinzip einer Kapillarsperre	48
<b>Abbildung 14</b>	Einbau einer Kapillarsperre	48
<b>Abbildung 15</b>	Dichtungskontrollsektor in einer Kapillarsperre	52
<b>Abbildung 16</b>	Gestaltungsvorschlag für ein Kontrollfeld am Beispiel einer mineralischen Abdichtungsschicht	53
<b>Abbildung 17</b>	Gasbrunnen für eine Aerobisierungsmaßnahme	54
<b>Abbildung 18</b>	Gras- und Krautvegetation auf einer rekultivierten Deponie	56
<b>Abbildung 19</b>	Bodenwasservorrat im Jahresverlauf	59
<b>Abbildung 20</b>	Eignung der Feinbodenarten als Rekultivierungsmaterial nach [36] , (Bodendiagramm nach [1])	70
<b>Abbildung 21</b>	Baumsetzlinge auf einer rekultivierten Deponie	74
<b>Abbildung 22</b>	Schemadarstellung einer entkoppelten Funktionsschicht	78
<b>Abbildung 23</b>	Schemadarstellung einer teil-entkoppelten Funktionsschicht	79
<b>Abbildung 24</b>	Schemadarstellung einer gekoppelten Funktionsschicht	80
<b>Abbildung 25</b>	Durchwurzelungsintensität im Tiefenprofil	103
<b>Abbildung 26</b>	pF-Kurve verschiedener Bodenmaterialien	105
<b>Abbildung 27</b>	Wasserspannung in einer Rekultivierungsschicht	107
<b>Abbildung 28</b>	Filterdiagramm nach Cistin/Ziems	111
<b>Abbildung 29</b>	Äquivalenter Porenkanaldurchmesser	112
<b>Abbildung 30</b>	Schemadarstellung Kontaktersion	113
<b>Abbildung 31</b>	Bestimmungsdiagramm für Abminderung $\eta_G$	117
<b>Abbildung 32</b>	Bestimmungsdiagramm für Abminderung $\eta_v$	118

<b>Abbildung 33</b>	Jahresniederschlagssummen in Nordrhein-Westfalen in mm	119
<b>Abbildung 34</b>	Starkniederschlagsgebiete in NRW	120
<b>Abbildung 35</b>	Mittlere jährliche klimatische Wasserbilanz in NRW	121
<b>Abbildung 36</b>	Frosttiefezonen in Nordrhein-Westfalen	122

## Verzeichnis der Tabellen

<b>Tabelle 1</b>	Anforderungen und Empfehlungen für die geologische Barriere	10
<b>Tabelle 2</b>	Anforderungen und Empfehlungen für geotechnische Barrieren	12
<b>Tabelle 3</b>	Anforderungen an eine bi-funktionale Zwischenabdichtung	19
<b>Tabelle 4</b>	Übersicht über mögliche Abdichtungssysteme (Basis)	24
<b>Tabelle 5</b>	Übersicht über mögliche Abdichtungskomponenten (Oberfläche)	30
<b>Tabelle 6</b>	Sicherheitsbeiwerte für die Bemessung von Dränmatten	34
<b>Tabelle 7</b>	empfohlener Abminderungsfaktor $D_4$ zur Bemessung von Dränelementen	34
<b>Tabelle 8</b>	Voraussetzungen für die Nachbehandlung	54
<b>Tabelle 9</b>	Durchwurzelungstiefen typischer Deponiepflanzen	58
<b>Tabelle 10</b>	Empfehlungen zu Schutzniveaus für die Rekultivierungsschicht In einzelnen Fällen kommen je nach Ausführung der Dichtungskomponente mehrere Möglichkeiten für die Rekultivierungsschicht in Betracht.	63
<b>Tabelle 11</b>	Anforderungen und Empfehlungen für eine Rekultivierungsschicht mit Schutzniveau 1	64
<b>Tabelle 12</b>	Empfehlungen für eine Rekultivierungsschicht mit Schutzniveau 2	65
<b>Tabelle 13</b>	Empfehlungen für eine Rekultivierungsschicht mit Schutzniveau 3	66
<b>Tabelle 14</b>	Anforderungen und Empfehlungen an die Wasserhaushaltsschicht	67
<b>Tabelle 15</b>	Durchwurzelungsintensitätsstufen nach AG Boden [1]	101
<b>Tabelle 16</b>	Bodenkennwerte verschiedener Bodenarten	106
<b>Tabelle 17</b>	Übersicht über gängige Filterkriterien für Kornfilter	109
<b>Tabelle 18</b>	Filterbemessung nach DVWK	116
<b>Tabelle 19</b>	Wurzeltiefen mitteleuropäischer Baumarten	123

## Stichwortregister

<b>Aerobisierung</b> .....	50	Hotspots .....	64
Asphalt		Humusanteil .....	53
Basisabdichtung .....	21	Humusgehalt .....	67
Oberflächenabdichtung .....	38	Infiltration .....	50
technische Funktionsschicht.....	73	Kapillarsperre	
Ausgleichsschicht		Kombikapillarsperre .....	35
Oberflächenabdichtung .....	25	konventioneller Aufbau .....	43
Austrocknung.....	55, 93, 94	Kontakterosion .....	105
<i>BAM</i> .....	19, 21, 27, 28, 30, 32, 33, 47	Kontrollfeld .....	48
Bentokies .....	24	Konvektionssperre .....	20, 21, 38
Bentonitmatte .....	33	Kunststoffdichtungsbahn	
Bodenmaterial .....	65	Basisabdichtung.....	20
Kennwerte.....	102	Kontrollfeld .....	49
Zwischenlagerung .....	66	Oberflächenabdichtung.....	26
Bodenwasser .....	55	Kunststoffdränelement.....	29
Bundeseinheitliche Eignungsbeurteilungen	122	LAGA.....	33, 122, 124
Bundeseinheitliche Qualitätsstandards .....	123	Luftkapazität.....	60, 61, 62, 63, 67
CHEMOTON.....	23	METHA .....	36
Deponieasphalt		Methanoxidationsschicht .....	64
Basis .....	21	Mineralische Abdichtung	
Oberflächenabdichtung .....	38	Basisabdichtung.....	22
Deponiegas .....	64	Oberflächenabdichtung.....	43
<i>DGGT</i> .....	18, 32	Nachbehandlung.....	49
Dichtungskontrollsystem.....	47	Nährstoffe .....	66, 99
Dränschicht.....	48	nutzbare Feldkapazität.....	55, 58, 60, 61, 62, 63, 65, 100
elektrisch.....	47	Oberbodenzone .....	52, 66
Kapillarsperre .....	48	Permanenter Welkepunkt .....	100
Dichtwand .....	10	pF-Kurve .....	100
Dränelement .....	29	Probefeld.....	17
Dränmatte .....	29	Qualitätsmanagement.....	18, 65, 68
Durchlässigkeitsbeiwert.....	90	Rekultivierungsschicht	
Durchwurzelung.....	53, 70, 96	allgemein.....	52
Dynagrout		Bemessung .....	57
Basisabdichtung .....	23	Einbau .....	67
DYWIDAG-Mineralgemisch .....	24	Substrat.....	52, 65, 99
Entwässerungsschicht		Schadstoffrückhaltevermögen .....	5
Basisabdichtung .....	24	Schutzgebiete .....	4
Oberflächenabdichtung .....	46, 95	Schutzschicht.....	33
Feldkapazität .....	100	Standicherheit .....	18
Filterstabilität .....	105	System Kügler	
Filtertextil .....	32	Basisabdichtung.....	23
Frost.....	56, 118	Technische Funktionsschicht.....	73
Geogitter .....	28	TRISOPLAST.....	37
Geokunststoffe .....	18, 26	Unterbodenzone .....	52, 66
Geologische Barriere.....	90	Untergrund .....	4
Geosynthetische Tondichtungsbahn .....	33	Versuchsfeld .....	17
Gesamttongehalt .....	8	Wasserglas .....	40
Grubendeponie.....	4		
Grundwasserspiegel.....	4		

Wasserhaushaltsschicht.....	63	Wurzeltiefe .....	53, 71, 99, 119
Wasserspannung.....	100, 102	Zulassung .....	19
Wühltiere.....	56		



## Anhang

# A 1 Hinweise zur Permeabilitätsberechnung der geologischen Barriere

## Erläuterung der Zeichen

d	Mächtigkeit einer Schicht [m]
$h_w$	Überstauhöhe über der betrachteten Schicht [m]
I	hydraulischer Gradient [-]
k	Durchlässigkeitsbeiwert einer Schicht [m/s]
$k_m$	harmonisches Mittel des Durchlässigkeitsbeiwertes mehrerer Schichten [m/s]
q	fiktiver Vergleichswert für die Durchsickerungsrate [ $m^3/m^2a$ ]
v	Filtergeschwindigkeit der Durchsickerung [m/s]
$\psi$	Permeabilität [1/s]

## Erläuterung der Indizes

GB	Geologische Barriere
GT	Geotechnische Barriere
R	Regelaufbau
ÜD	Überdeckungsschicht

## Durchlässigkeitsbeiwert

Der Durchlässigkeitsbeiwert  $k$  oder  $k_f$  ist ein Maß für die Geschwindigkeit, mit der frei bewegliches Grundwasser oder Sickerwasser ein bestimmtes Lockergestein durchströmt. Der  $k$ -Wert entspricht der Filtergeschwindigkeit, die bei einem hydraulischen Gefälle von 1 (druckfreie Durchsickerung) erreicht wird.

Es werden in diesem Leitfaden zwei Werte der Durchlässigkeit unterschieden:

- **Laborwert  $k$**   
Durchlässigkeitsbeiwert nach der Ermittlung im Laborversuch
- **Gebirgsdurchlässigkeit  $k^*$**   
Durchlässigkeitsbeiwert unter natürlichen Verhältnissen. Im Festgestein liegt die Gebirgsdurchlässigkeit  $k^*$  aufgrund natürlicher Inhomogenitäten um ein Vielfaches über der im Laborversuch ermittelten Durchlässigkeit  $k$  des Gesteins.

In den Berechnungsbeispielen wird durchgehend der Laborwert  $k$  verwendet.

In Festgesteinen ist die Durchlässigkeit mittels Feldversuchen zu ermitteln. Als Anforderungen bzw. als Vergleichswerte gelten dann die den Laborwerten entsprechenden Gebirgsdurchlässigkeiten  $k^*$  für Lockergesteine.

## Permeabilität

Als Rechenwert der Permeabilität wird oft der Quotient aus Durchlässigkeitsbeiwert und Mächtigkeit (Permittivität) einer Schicht ermittelt.

$$\psi = \frac{k}{d} \quad [1/s]$$

Dieser Quotient erlaubt den einfachen Vergleich verschiedener einschichtiger Dichtungssysteme bei einer bestimmten Druckhöhe. Bei im Verhältnis zur Schichtdicke geringen Überstauhöhen wirkt die Mächtigkeit der Schicht allerdings nur sehr untergeordnet auf die Durchsickerungsrate, da mit ihr das Druckpotenzial nahezu linear ansteigt. In diesen Fällen bietet der Quotient  $\Psi$  einen wenig aussagekräftigen Orientierungswert. Für die Beurteilung der geologischen Barriere werden deshalb in diesem Arbeitsblatt Vergleichswerte für die Durchsickerungsrate  $q$  zu Grunde gelegt.

## Fiktiver Vergleichswert $q$ für die Durchsickerungsrate

Der Vergleichswert  $q$  wird jeweils für einen konkreten hydraulischen Gradienten berechnet. Dieser bestimmt sich aus einem hydrostatischen Überstau von 0,10 m für die Deponiekategorie 0 (Fehlen einer Basisabdichtung) und von 0,03 m für die Deponieklassen I – III (Vorhandensein einer Basisabdichtung).

$$q = I * k * 3600 * 24 * 365 = \frac{d + h_w}{d} * k * 3600 * 24 * 365 \quad \text{in } m^3/m^2 a$$

Beispiel: geologische Barriere der Deponiekategorie I nach DepV:

Mächtigkeit:  $d = 1,00 \text{ m}$

k-Wert:  $k = 1 * 10^{-9} \text{ m/s}$

Überstauhöhe  $h_w = 0,03 \text{ m}$

$$q = I * k * 3600 * 24 * 365 = \frac{1,0 + 0,03}{1,0} * 1 * 10^{-9} * 3600 * 24 * 365 = 0,0325 \frac{m^3}{m^2 a}$$

## Fall 1 – Aufnahme des hydraulischen Drucks in der obersten Schicht

Dieser Fall liegt vor, wenn eine relativ gering durchlässige Schicht über einer stärker durchlässigen Schicht liegt und der hydraulische Überdruck nicht hoch genug ist, um sich bis in die untere Schicht auszuwirken. Die Filtergeschwindigkeit in der oberen Schicht (mit Überdruck) ist dann kleiner als in der unteren Schicht im freien Gefälle ( $I=1$ ).

Ein typischer Fall ist die künstliche Verbesserung oder Vervollständigung einer geologischen Barriere mit einer neu aufgetragenen, gering durchlässigen Schicht. Die Durchsickerungsrate richtet sich dann ausschließlich nach der oberen Schicht.

Die Anforderungen an eine geotechnische Barriere ( $d_{GT}$ ,  $k_{GT}$ ), die die gleiche hydraulische Durchlässigkeit entfaltet wie das Regelsystem, errechnen sich wie folgt:

$$k_{GT} = \frac{(d_R + h_D)}{d_R} \cdot k_R \cdot \frac{d_{GT}}{(d_{GT} + h_D)}$$

- $d_{GT}$ ,  $k_{GT}$ : Mächtigkeit und k-Wert der geotechnischen Barriere  
 $d_R$ ,  $k_R$ : Mächtigkeit und k-Wert einer Schicht nach Regelaufbau  
 $h_D$ : hydraulischer Druck auf dem Planum

### Fall 2 – Aufnahme des hydraulischen Drucks in beiden Schichten

Dieser Fall liegt immer vor, wenn eine durchlässige Schicht über einer relativ gering durchlässigen Schicht liegt. Er liegt auch vor, wenn die Filtergeschwindigkeit unter Ansatz des hydraulischen Gradienten in der oberen Schicht höher ist als die Filtergeschwindigkeit bei freiem Gefälle in der unteren Schicht. Die untere Schicht wirkt dann beim Abbau des hydraulischen Druckes mit.

Der mittlere k-Wert  $k_m$  errechnet sich dann als gewichtetes harmonisches Mittel der einzelnen k-Werte:

$$\frac{\Sigma d}{k_m} = \frac{d_1}{k_1} + \frac{d_2}{k_2} + \dots + \frac{d_n}{k_n} \quad \text{und} \quad k_m = \frac{\Sigma d}{\frac{d_1}{k_1} + \frac{d_2}{k_2} + \dots + \frac{d_n}{k_n}}$$

- $\Sigma d$ : Summe der Mächtigkeiten der einzelnen Schichten  
 $k_m$ : mittlere Durchlässigkeit (Durchlässigkeit einer einzelnen Vergleichsschicht)  
 $d_1, \dots, d_n$ : Mächtigkeiten der einzelnen Schichten 1 ... n  
 $k_1, \dots, k_n$ : Durchlässigkeiten der einzelnen Schichten 1 ... n

Der Vergleichswert  $q$  ergibt sich unter Verwendung dieses mittleren k-Wertes  $k_m$  zu:

$$q = k_m \cdot \frac{\Sigma d + h_D}{\Sigma d} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365$$

- $q$ : Vergleichswert für die Durchsickerungsrate in  $\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ a}$   
 $h_D$ : hydraulischer Druck auf dem Planum

## A 2 Schutz mineralischer Dichtungskomponenten

Die folgenden Ausführungen über die Probleme der austrocknungsbedingten Rissbildung und Durchwurzelung gelten für Oberflächenabdichtungssysteme mit mineralischen Dichtungsschichten ohne Kombination mit einer Kunststoffdichtungsbahn. In der Kombinationsdichtung prägen sich diese Probleme im Wesentlichen erst nach der alterungsbedingten Schädigung der Kunststoffdichtungsbahn und dann im verminderten Maße aus.

Aus einer Vielzahl von Ausgrabungen an Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien ist bekannt, dass mineralische Dichtungsschichten eine hohe Anfälligkeit insbesondere gegenüber Austrocknung und Durchwurzelung aufweisen. Beide Erscheinungen können die Wirksamkeit einer mineralischen Dichtung in wenigen Jahren deutlich mindern bzw. gänzlich aufheben.

Die Schäden lassen sich aber weitgehend vermeiden bzw. auf ein vertretbares Maß mindern, wenn den einzelnen Schadensfaktoren durch geeignete konstruktive Maßnahmen oder gezielte Schutzmechanismen begegnet wird. Dazu müssen die schädlichen Prozesse beschrieben werden.

### Rissbildung durch Schrumpfung

Bindige mineralische Dichtungsschichten neigen bei Austrocknung zur Bildung von Schrumpfrissen, die die Durchlässigkeit erheblich erhöhen und somit zum Teil-Versagen der Dichtungsschicht führen können. Bei wassergesättigten Bodenschichten setzt bei einem Wasserverlust zuerst die Normalschrumpfung ein, in der die Volumenänderung des Bodens dem Volumenverlust des Porenwassers folgt. Sobald das Porenwasser die Poren nicht mehr vollständig ausfüllen kann, beginnt die Phase der Restschrumpfung, in der Luft in den Porenraum eindringt. Das verbleibende Porenwasser bildet in den Poren Menisken, die ihre Oberflächenspannung auf das Korngerüst übertragen (Wasserspannung) und dieses unter Zugspannung setzen. Die Zugspannung wird dabei umso größer, je weniger große Poren vorhanden sind. Da der Bodenkörper dieser Zugspannung nicht ungehindert durch Kontraktion folgen kann, entstehen Spannungsrisse, die im Boden vertikal verlaufen.

Die Beziehung zwischen Wassergehalt und Wasserspannung wird mit der sogenannten pF-Kurve beschrieben. Insbesondere bindige Böden mit einem hohen Anteil quellfähiger Minerale weisen eine hohe Sensitivität der Wasserspannung gegenüber Wassergehaltsänderungen auf. Bereits eine relativ geringe Abnahme des Wassergehaltes kann eine sehr hohe Wasserspannung auslösen. Es ist davon auszugehen, dass in konventionellen Tondichtungen ab einer Wasserspannung von 40-50 kPa eine relevante Rissbildung eintritt [51], [59], [63].

Der Prozess der Rissbildung ist nur zum Teil reversibel. In einer anschließenden Quellung des Bodens bei Zufuhr von Wasser wird der ursprüngliche Verbund des Korngerüsts nicht wieder erreicht. Das wieder eingetretene Porenwasser lagert sich bevorzugt an den Rissflächen an, wo es bei der nächsten Austrocknung leichter mobilisiert wird. Bei wiederholter Austrocknung und Wiederbefeuchtung setzt eine Gefügebildung ein, die mit einer größeren hydraulischen Durchlässigkeit einher geht [35].

Das Auftreten von schrumpfungsbedingten Rissen lässt sich durch zwei Maßnahmen verhindern oder wenigstens begrenzen.

- das Vermeiden von Zugspannungen
- das Vermeiden der Austrocknung.

### **Vermeidung von Zugspannungen**

Die Bodenmatrix weist eine innere Zugfestigkeit auf, die sich nach den Bedingungen hinsichtlich Wassergehalt und Verdichtung beim Einbau richtet. Erst Wasserspannungen, die größer sind als die beim Einbau der Dichtungsschicht, bzw. Wassergehalte, die kleiner sind als die beim Einbau, führen zu Zugspannungen. Ein Teil dieser Zugspannungen kann über die Zugfestigkeit aufgefangen werden, bevor Schrumpfungsrisse entstehen. Der Einbauwassergehalt sollte folglich so gewählt werden, dass er möglichst im Bereich der minimal zu erwartenden Bodenwassergehalte liegt. Gut verdichtete tonreiche, mineralische Dichtschichten weisen eine Zugfestigkeit von 20-30 kPa auf, so dass mit einer Rissbildung bei Wasserspannungen unter 20 kPa nicht zu rechnen ist. Je nach Einbauwassergehalt kann die verträgliche Wasserspannung auch höher liegen. Die Wahl eines gemischtkörnigen Materials mit einem geringeren Anteil an quellfähigen Mineralen wirkt sich ebenfalls günstig auf die Verringerung von Zugspannungen aus; hier können Wasserspannungen bis 50 kPa überstanden werden [63].

### **Austrocknung**

Die Verminderung des Wassergehaltes in der mineralischen Dichtungsschicht kann verschiedene Ursachen haben:

- der kapillare Aufstieg des Porenwassers in die überliegenden Schichten bei Fehlen einer kapillarbrechenden Schicht
- der Transport von Wasserdampf in der Entwässerungsschicht
- der Transport von Wasserdampf durch die unterliegende Ausgleichsschicht bzw. Gasdränschicht
- der direkte Wasserentzug durch Pflanzenwurzeln.

### **Kapillarer Aufstieg**

Sofern die Rekultivierungsschicht durch Evaporation oder Transpiration so viel Wasser verloren hat, dass sie bis in die untere Zone ausgetrocknet ist, wird die entstehende Wasserspannung einen kapillaren Wassertransport aus der darunter liegenden mineralischen Dichtungsschicht nach sich ziehen. Eine Entwässerungsschicht unterbricht diesen Wassertransport, da ihre Körnung eine kapillarbrechende Wirkung entfaltet. Viele (schlechte) Beispiele von Oberflächenabdichtungssystemen, bei denen auf die Anordnung einer Entwässerungsschicht verzichtet wurde, zeigen, dass dieser kapillare Aufstieg zu Austrocknungserscheinungen bis in große Tiefen führen kann. Alle Untersuchungsbeispiele, in denen Austrock-

nungerscheinungen trotz relativ mächtiger Rekultivierungsschicht festgestellt worden sind, wiesen keine Entwässerungsschicht auf. Alles weist darauf hin, dass das Vorhandensein einer kapillarbrechenden Entwässerungsschicht zwingend erforderlich ist, um Austrocknungsprozesse zu vermeiden [31].

Auf der anderen Seite lässt sich der kapillare Aufstieg von Wasser auch dadurch mindern, dass die Wasserspannung an der Unterseite der Rekultivierungsschicht in verträglichen Grenzen gehalten wird. Wenn das Wasserspeichervermögen der Rekultivierungsschicht hinreichend groß ist, kann der Wasserverlust durch Evaporation und Transpiration aus dem Speicher der Rekultivierungsschicht gedeckt werden, ohne dass Wasser aus der unterliegenden mineralischen Dichtungsschicht abgezogen wird.

### **Wasserdampftransport in der Entwässerungsschicht**

Die in der Regel nicht wassergesättigte Entwässerungsschicht kann insbesondere bei großen, luftgefüllten Poren erheblich zum Entzug von Wasser aus der mineralischen Dichtungsschicht beitragen [30]. An der Grenzfläche zwischen mineralischer Dichtung und Entwässerungsschicht geht das Porenwasser in einen dampfförmigen Zustand über und kann mittels Konvektion oder Diffusion in der Entwässerungsschicht nach außen transportiert werden.

Mit drei konstruktiven Maßnahmen lässt sich der konvektive Transport minimieren:

- Die Entwässerungsschicht kann so gestaltet werden, dass die Luftströmung reduziert wird und sich niedrige Dampfdrücke nicht von außen in die Entwässerungsschicht übertragen können.
- Die Kornabstufung der Entwässerungsschicht kann so gewählt werden, dass die kapillarbrechende Wirkung (bei entsprechender Dimensionierung) erhalten bleibt, die Poren jedoch so klein werden, dass der Strömungswiderstand den konvektiven Transport von Wasserdampf erheblich behindert. Eine Kornabstufung von 4-8 mm [63], [65] erfüllt diesen Zweck. Eine feine Kornabstufung führt auch dazu, dass die Entwässerungsschicht nach einer Durchsickerung länger feucht bleibt und die mineralische Dichtungsschicht benetzt [51].
- Eine Kunststoffdichtungsbahn ist eine absolut wirksame Konvektions- und Diffusionssperre für Wasserdampf. Auch bei einer alterungsbedingten Schädigung ist davon auszugehen, dass die Kunststoffdichtungsbahn eine gegenüber Dampf flächenhaft wirkende Konvektionssperre darstellt, da die Übertrittsfläche selbst nach Auftreten von Sprödrissen gering sein wird. Dies gilt nicht gleichermaßen für Rissbildungen infolge größerer Verformungen.
- Insbesondere bei geotextilen Entwässerungsschichten muss mit einem erheblichen Anteil von Wasserdampfkonvektion gerechnet werden [5]. Eine zusätzliche feinkörnige Mineralschicht stellt einen wirksamen Feuchtigkeitsspeicher für die mineralische Dichtungsschicht dar (Kapillarschutzschicht). Beim Schutz von geosynthetischen Tondichtungsbahnen in Kombination mit Dränmatten wurden hiermit gute Wirkungen erzielt [30], [63], [65].

## **Wasserdampftransport in der Ausgleichsschicht**

Ein Wasserentzug in der mineralischen Dichtungsschicht kann auch über die unterliegende Ausgleichsschicht bzw. die Gasdränschicht erfolgen [63].

Bei Deponiekörpern, die aufgrund von Abbauprozessen noch eine relevante Wärmeentwicklung aufweisen, wird ein temperaturinduzierter Dampfdruckgradient im Winter vorliegen und von unten nach oben - in Richtung fallender Temperaturen - gerichtet sein. In diesem Fall wird Feuchtigkeit aus dem Deponiegas zur mineralischen Dichtungsschicht transportiert. Eine Austrocknung ist in dieser Phase nicht zu erwarten.

Bei Deponiekörpern, die keine exothermen Abbauprozesse aufweisen bzw. bei denen diese zum Erliegen gekommen sind, kommt es zu wechselnden konvektiven und diffusen Transportvorgängen. Während des Sommers liegt ein Temperaturgradient in Richtung des Abfallkörpers vor, der dazu führt, dass Wasser aus der mineralischen Dichtungsschicht in den Deponiekörper transportiert wird. Erfahrungen zeigen, dass sich dieser Prozess im Winter in der Regel soweit umkehrt, dass es zu keiner bzw. allenfalls zu einer sehr geringen Verlagerung von Wasser aus der Dichtung kommt. Es bietet sich aber an, nach Einstellung der aktiven Gasfassung die ggf. passive Fassung des Restgases so einzurichten, dass es nicht zu einer konvektiven Luftströmung in der Gasdränage kommen kann [62].

## **Durchwurzelung**

Eine Durchwurzelung der Oberflächenabdichtung, die bis in die mineralische Dichtungsschicht reicht, wird in der Regel zum Versagen der Dichtungsschicht führen. Zwei Effekte lassen die Dichtungswirkung erheblich abnehmen.

- Die Wurzeln bilden in der mineralischen Dichtungsschicht ein Gefüge mit bevorzugten Wasserleitbahnen. Insbesondere beim Absterben der Wurzeln verbleiben wassergängige Röhren, die die Durchlässigkeit erheblich heraufsetzen.
- Die Pflanzen entziehen der mineralischen Dichtung Wasser und verursachen so hohe Wasserspannungen, dass über die so aufgebrachten Zugspannungen eine weitere Aggregation der bindigen Matrix einsetzt und wassergängige Klüfte gebildet werden.

Die Durchwurzelungstiefe hängt von mehreren Faktoren ab. Zum einen wird die Durchwurzelungstiefe von der einzelnen Pflanzenart bestimmt. Zum anderen wird die tatsächliche Durchwurzelung auch von örtlichen Gegebenheiten beeinflusst. So können das Wasserangebot und die geomechanische Bodenbeschaffenheit die Durchwurzelung fördern oder einschränken.

Die typischerweise auf Deponieoberflächen anzutreffenden Pflanzen weisen unterschiedliche natürliche Durchwurzelungstiefen auf, die sich in einem Bereich zwischen 0 und 4 m bewegen [26], [49]. Die Durchwurzelungsintensität nimmt mit der Tiefe stetig ab. Grundsätzlich muss man mit einer Durchwurzelung bis in vier Metern Tiefe rechnen, wenn die Durchwurzelung nicht durch gezielte Maßnahmen beeinflusst wird.

Die nachfolgende Tabelle benennt die Kenngrößen der Durchwurzelungsintensität nach AG Boden [1].



**Tabelle 15** Durchwurzelungsintensitätsstufen nach AG Boden [1]

Index	Bezeichnung	Wurzeln/dm <sup>2</sup>
W0	keine Wurzeln	0
W1	sehr schwach	1 - 2
W2	schwach	3 - 5
W3	mittel	6 - 10
W4	stark	11 - 20
W5	sehr stark	21 - 50
W6	extrem stark bis Wurzelfilz	> 50

Faktoren die die Durchwurzelungstiefe und -intensität beeinflussen, sind im Folgenden auf-  
beschrieben.

### Pflanzeninventar

Das Wurzelbild von Pflanzen ist zum Teil genetisch bestimmt, zum Teil wird es durch die örtlichen Gegebenheiten geprägt. Die genetisch vorgesehene Wurzeltiefe korreliert nur sehr vage mit der oberirdischen Wuchshöhe von Pflanzen. Bäume weisen aufgrund biomechanischer Erfordernisse die höchsten Wurzeltiefen auf. Aber auch ausgesprochen kleine Pflanzen können erhebliche Wurzeltiefen erreichen (z.B. Löwenzahn). Gräser weisen in der Regel eine geringere Durchwurzelungstiefe auf als Kräuter. Durch eine fachgerechte Ansaat und häufige Mahd kann in den ersten Jahren ein dichter Grasbestand erreicht werden, der die Ansiedlung tiefwurzelnder Kräuter für einige Zeit erschwert.

Aufgrund des zu erwartenden Arteninventars ist bei einer dauerhaften Entfernung von tiefwurzelnden Pflanzen davon auszugehen, dass das Wurzelwachstum bei einer Tiefe von 1,50-1,80 m generell nur noch schwach ausgeprägt ist, im Einzelfall aber deutlich tiefer reichen kann [46], [53], [56]. Bäume erreichen ohne gezielte Maßnahmen zur Begrenzung des Wurzelwachstums Tiefen von 2,5-4 m. Gegebenenfalls können Maßnahmen zur Begrenzung des Tiefenwachstums der Wurzeln getroffen werden (z.B. "Auf den Stock setzen"); diese müssen in der Nachsorgephase fortgeführt werden.

### Wasserversorgung

Die Durchwurzelungsintensität der einzelnen Pflanzen ist nicht homogen über die Bodentiefe verteilt. Die stärkste Wurzelbildung vollzieht sich in einer Bodentiefe von weniger als 1,5 m [26]. Von dort decken die Pflanzen den größten Teil ihres Wasserbedarfs ab. Tiefer gehende Wurzeln dienen hauptsächlich der Überbrückung von Trockenperioden.

Wird also der Wurzelraum gut und dauernd mit Wasser versorgt, so wird sich die Wurzelmasse auf diesen Raum konzentrieren und ein Tiefenwachstum zumindest erheblich eingeschränkt. Trocknet der Wurzelraum dagegen zeitweise ab, werden Pflanzen, soweit sie nicht genetisch dazu völlig ungeeignet sind, ihre Wurzeln in größere Tiefen vortreiben um sich dort mit Wasser zu versorgen (Trockenstress) [63]. Für die meisten, typischerweise auf Deponien

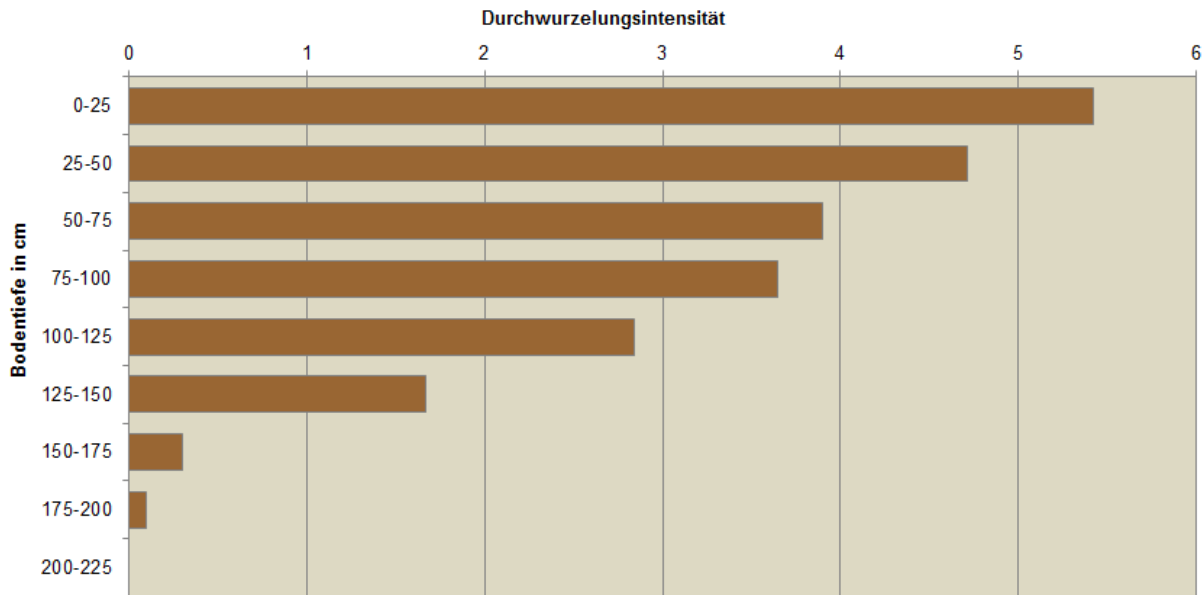
anzutreffenden Pflanzen sollte ein Wurzelraum von ca. 1 m ausreichend sein, um bei guter Wasser- und Nährstoffversorgung die pflanzenphysiologischen Mindestanforderungen zu erfüllen.

Eine optimale Wasserversorgung kann vereinfacht angenommen werden, wenn im effektiven Wurzelraum ein Wassergehalt gegeben ist, der bei 50-80 % der nutzbaren Feldkapazität liegt (Empfehlung des *Deutschen Wetterdienstes* für die Landwirtschaft). Für eine geeignete Rekultivierungsschicht mit günstigen Eigenschaften kann eine effektive Durchwurzelungstiefe von ca. 1,0 m und eine nutzbare Feldkapazität von ca. 200 mm/m angenommen werden. Der Wassergehalt für eine optimale Versorgung liegt dann bei ca. 100-160 mm (50-80 % nFK) über dem permanenten Welkepunkt. Bei einem Wassergehalt von mehr als 30 % ist die Wasserversorgung nicht optimal aber i.d.R. ausreichend. Daraus kann geschlossen werden, dass bei einem Wassergehalt von mehr als 60 mm (30 % nFK) über dem Permanenten Welkepunkt (bei einem geeigneten Rekultivierungsboden) - Pflanzen keinen Trockenstress erleiden und damit keinen ausgesprochenen Anreiz haben in tiefere und feuchtere Bodenzonen zu wurzeln. Es sollte deshalb sichergestellt werden, dass in der Rekultivierungsschicht dieser Wassergehalt am Ende der Trockenperiode nicht unterschritten wird.

Die in der Trockenperiode zwischen Mai und Oktober dem Boden durch Evaporation und Transpiration maximal entzogene Wassermenge kann je nach regionaler Lage (in Nordrhein-Westfalen) zu 100 bis 200 mm abgeschätzt werden; in den ausgesprochen niederschlagsreichen und kühleren Höhenlagen Nordrhein-Westfalens kann diese Menge auch niedriger liegen. Die nutzbare Feldkapazität sollte das maximale Wasserbilanzdefizit (im Sommer) ausgleichen können und darüber hinaus den Restwassergehalt von 60 mm sicherstellen, der als Schutz gegen Trockenstress erforderlich ist. Folglich ist im Allgemeinen eine gesamte nutzbare Feldkapazität von ca. 160-260 mm erforderlich [49]. Als unterer Richtwert für einen ausreichenden Wasserhaushalt kann der Wert von 180 mm dienen. Bei guten Rekultivierungsschichten mit einer hohen nutzbaren Feldkapazität kann das mit einer Mächtigkeit von 1,0 - 1,3 m [42] erreicht werden. Natürlicherweise tiefer wurzelnde Pflanzen werden ohne weitere Vorkehrungen allerdings auch diese Tiefe überschreiten (s.o.).

Ein weiter gehender Schutz gegen eine tiefere Durchwurzelung ist zu erreichen, wenn am Ende der stärksten zu erwartenden Trockenperiode noch ein Wassergehalt deutlich im optimalen Bereich (100-160 mm) vorliegt. In diesem Fall ist von einer erforderlichen gesamten nutzbaren Feldkapazität von 200-300 mm auszugehen. Als Richtwert für einen optimalen Wasserhaushalt kann der Wert von 250 mm dienen.

Günstig für die Begrenzung der Durchwurzelung ist es, wenn in der Entwässerungsschicht kein attraktives Wasserangebot zur Verfügung steht. Die Entwässerungsschicht sollte daher so mächtig sein, dass die obere Zone überwiegend trocken ist. Eine in dieser Hinsicht ebenfalls günstige, grobe Körnung weist allerdings Nachteile hinsichtlich des konvektiven Wasserdampftransportes auf.



**Abbildung 25** Durchwurzelungsintensität im Tiefenprofil  
Beispiel [50] - Durchwurzelungsintensität nach AG Boden

### Nährstoffhaushalt

Ähnlich wie ein gutes Wasserangebot die Wurzelbildung anregt und auf die ergiebigen Bodenzonen fokussieren kann, ist es - allerdings in geringerem Maße - möglich, die Wurzelbildung über die Verteilung von Nährstoffen zu steuern.

Eine weitgehende Konzentration der Nährstoffe in den oberen Bodenzonen führt dazu, dass die Wurzeln hier den größten Teil ihres Wurzelwerkes ausbilden, vorausgesetzt, dass auch das Wasserangebot in diesem Bereich ausreichend ist. Bei Rekultivierungsschichten lässt sich eine solche Nährstoffanreicherung leicht durch die begrenzte Zugabe von Kompost in der oberen Zone erreichen, die sich auch positiv auf den Wasserhaushalt auswirkt. In einem Fall konnte die Durchwurzelungstiefe mit dieser Maßnahme um 20-30 cm verringert werden [46].

### Substrat

Aus Feldbeobachtungen ist erkennbar, dass eine verdichtete Bodenlage im Vergleich zu einer entsprechenden, locker gelagerten Bodenschicht sehr viel geringer durchwurzelt wird. Ungeschädigte mineralische Dichtungsschichten weisen zum Teil keine oder nur sehr wenig Wurzelmasse auf, da die hohe Verdichtung für Pflanzen unattraktiv ist [56]. Aus diesen Beobachtungen resultiert die Empfehlung als Wurzelsperre eine untere, hoch verdichtete Schicht einzubauen. Es ist zu vermuten, dass die Neigung von verdichteten Bodenschichten zur Durchwurzelung nicht losgelöst von anderen Faktoren beurteilt werden kann. Verstärkter Trockenstress oder unzureichende Bodenmächtigkeit können Wurzeln auch in verdichteten Schichten tiefer treiben. Auch dieses belegen Ausgrabungen in mineralischen Dichtungsschichten, die mit unzureichenden Rekultivierungsschichten überdeckt waren. Besonders

gravierend ist in dieser Hinsicht das Vorhandensein von Schrumpfrissen, die den Pflanzenwurzeln das Eindringen in die mineralische Dichtung erheblich erleichtern.

Ein deutlicher Sprung in der Porengröße zwischen zwei Bodenzonen kann dazu führen, dass das Wurzelwachstum an der Grenzfläche abbricht. Dieser Effekt kann jedoch von anderen Faktoren überlagert und aufgehoben werden, wie die Durchwurzelung auch von grobkörnigen Entwässerungsschichten zeigt.

## Wasserhaushalt in der Rekultivierungsschicht

Ein gezielt aufgebauter Wasserhaushalt ist der wirkungsvollste Ansatz zur Erreichung der vorgesehenen Schutzziele.

Ein hohes Wasserspeichervermögen bildet dafür die wichtigste Voraussetzung. Das Wasserspeichervermögen begründet sich in dem Gesamtvolumen der Mittelporen, die im Wurzelraum vorhanden sind und Wasser über längere Zeit speichern können.

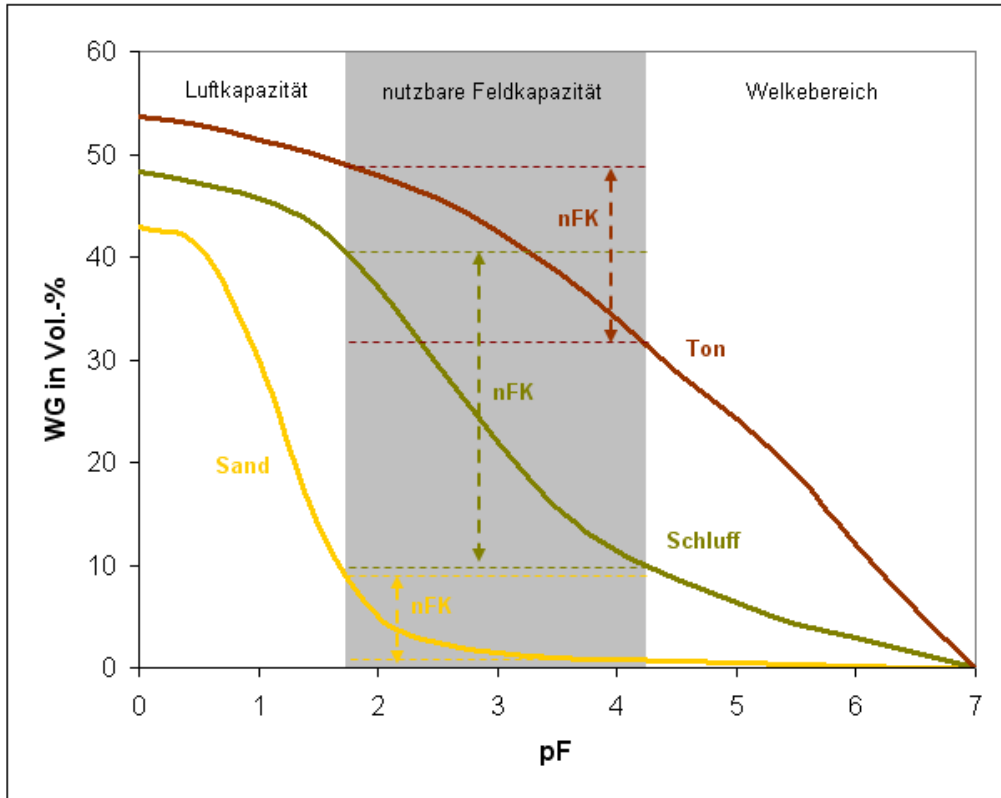
Das Vermögen eines Bodens, Wasser zu speichern, wird in der Bodenkunde im Wesentlichen mit drei Parametern beschrieben:

- Die **Feldkapazität FK** beschreibt den Wassergehalt in Vol.-% oder mm/m, bei dem ein Boden das in seinen Poren enthaltene Wasser weitestgehend gegen die Schwerkraft zu halten vermag. Die zugehörige Wasserspannung liegt bei ca. 6 kPa ( $pF$  1,8); der zugehörige Porendurchmesser liegt bei 50  $\mu m$ .  
Bei dieser Wasserspannung wird auch die Luftkapazität bestimmt, die das in diesem Zustand vorhandene Bodenluftvolumen kennzeichnet.
- Der **Permanente Welkepunkt PWP** beschreibt den Wassergehalt in Vol.-% oder mm/m, bei dem das in den Poren gespeicherte Wasser von der Saugspannung der Pflanzen nicht mehr erfasst werden kann. An diesem Punkt beginnen Pflanzen irreversibel zu welken. Die zugehörige Wasserspannung liegt bei ca. 1.600 kPa ( $pF$  4,2); der zugehörige Porendurchmesser liegt bei 0,2  $\mu m$ .
- Die **nutzbare Feldkapazität nFK** bezeichnet die Differenz der beiden vorgenannten Wassergehalte in Vol.-% oder mm/m und somit den Anteil des Porenvolumens, das in der Lage ist, Wasser längerfristig zu speichern und an die Pflanzen abzugeben. Dies sind Poren mit einem äquivalenten Durchmesser zwischen 0,2 und 50  $\mu m$ .

Grobkörnige und enggestufte Böden weisen eine geringe Feldkapazität auf, da die großen Poren einen Großteil des Wassers sofort versickern lassen. Sehr feinkörnige Böden (Tone) weisen zwar eine hohe Feldkapazität auf, jedoch ebenso einen hohen Permanenten Welkepunkt. Die nutzbare Feldkapazität ist daher auch hier nicht sehr hoch. Optimal sind Böden mit einem großen Anteil von Mittel- und engen Grobporen, z.B. Lehm- und Schluffböden.

Die nachstehende Abbildung zeigt die  $pF$ -Kurve, die die Beziehung zwischen Wassergehalt und Wasserspannung wiedergibt. Die Wasserspannung  $pF$  ist als Logarithmus aufgetragen. Der grau unterlegte Bereich grenzt die nutzbare Feldkapazität ab. Links des grauen Bereiches kann das Porenwasser nicht gegen die Schwerkraft gehalten werden. Rechts des grauen Bereiches kann das Porenwasser von Pflanzen nicht mehr aufgenommen werden.

Der Schluffboden weist im grauen Bereich die höchste Spannweite des Wassergehaltes und somit das höchste Wasserspeichervermögen auf.



**Abbildung 26** pF-Kurve verschiedener Bodenmaterialien

Die punktierten Linien geben den Bereich der nutzbaren Feldkapazität an

Die folgende Tabelle 16 gibt eine Übersicht über typische Werte der nutzbaren Feldkapazität für verschiedene Bodenarten.

**Tabelle 16** Bodenkennwerte verschiedener Bodenarten

bei mittlerer Trockenrohdichte

PWP: Wassergehalt am Permanenten Welkepunkt

FK: Wassergehalt an der Feldkapazität

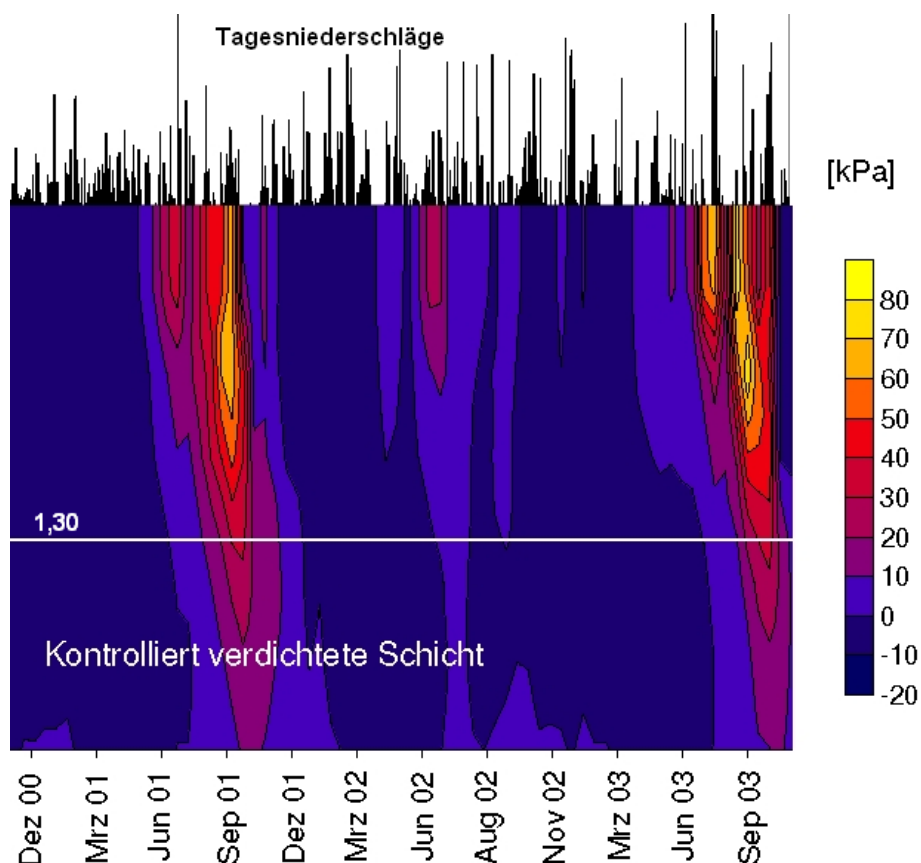
nFK: nutzbare Feldkapazität (FK-PWP)

Bodenart	Kurz	PWP Vol.-%	FK Vol.-%	nFK Vol.-%
Mittelsand	mS	4,0	10,0	6,0
reiner Sand	Ss	4,0	11,0	7,0
mittel schluffiger Sand	Su3	8,0	29,0	21,0
stark schluffiger Sand	Su4	9,0	32,0	23,0
schluffig lehmiger Sand	Slu	12,0	33,0	21,0
mittel sandiger Lehm	Ls3	17,0	33,0	16,0
schluffiger Lehm	Lu	19,0	36,0	17,0
reiner Schluff	Uu	12,0	38,0	26,0
sandiger Schluff	Us	10,0	35,0	25,0
sandig lehmiger Schluff	Uls	13,0	35,0	22,0
stark schluffiger Ton	Tu4	20,0	37,0	17,0
reiner Ton	Tt	30,0	43,0	13,0

Die Wasserbilanz einer Rekultivierungsschicht ist durch die folgenden Größen gekennzeichnet:

- Niederschlag
- Oberflächenabfluss / lateraler Abfluss
- Verdunstung
- Transpiration über Pflanzen
- Abfluss in die Dränage
- kapillarer Aufstieg aus der Dränschicht
- Porenwasservolumen

Idealerweise fällt in regenreichen Zeiten ein Wasserüberschuss an, der im Porenvolumen gespeichert wird. Wird die Feldkapazität der Rekultivierungsschicht überschritten, entsteht ein Abfluss über die Dränschicht. In Trockenzeiten wird der Wasserentzug durch Verdunstung und Transpiration aus dem Porenwasservolumen gespeist. Dabei verringert sich der Wassergehalt ausgehend von der Oberfläche in zunehmende Tiefen und führt zu entsprechenden Wasserspannungen. Die nachfolgende Grafik veranschaulicht diesen Prozess sehr anschaulich. Hier wurde der Wasserspannungsverlauf der Rekultivierungsschicht und der mineralischen Dichtungsschicht über mehrere Jahre aufgezeichnet.



**Abbildung 27** Wasserspannung in einer Rekultivierungsschicht  
 Zeitlicher Verlauf in einem Beispiel  
 Quelle: Ruhr-Universität Bochum, Prof. H. Zepp

Mit dem Wiedereinsetzen von Niederschlag wird der Wassergehalt wieder aufgestockt und die Wasserspannungen werden entsprechend abgebaut. Wasserhaushaltsberechnungen ergaben für einige Deponien in Nordrhein-Westfalen (im Rheinland und im Münsterland) in der außergewöhnlich warmen Sommerperiode des Jahres 2003 Wasserbilanzdefizite zwischen 125 und 190 mm.

Aus dem in Abbildung 27 dargestellten Beispiel ist erkennbar, dass Wasserspannungen von 200 hPa (20 kPa) schon unter normalen klimatischen Verhältnissen und guter nutzbarer Feldkapazität (200 mm) durchaus Tiefen von mehr als 1,5 m erreichen können [54], [66]. Dieses Fortschreiten geschieht umso schneller, je geringer die nutzbare Feldkapazität ist, und reicht umso tiefer, je leichter der kapillare Aufstieg fällt. Vergleichbare Ergebnisse liefern eine Lysimeteruntersuchung auf der *Deponie Karlsruhe-West* [30] und die Untersuchung eines Versuchsfeldes in Aurach [32].

Durch das Vorhandensein von tief wurzelnden Pflanzen mit hoher Transpirationsleistung kann sich der Verlauf der Wasserspannungen auch ungünstiger einstellen, da sich dann zum kapillaren Wasserentzug noch der direkte Entzug durch die Pflanzen addiert.

Das Fortschreiten einer Austrocknungsfront kann wirksam verhindert werden, wenn die nutzbare Feldkapazität so hoch ist, dass auch ungewöhnliche Trockenperioden ohne Abtrocknung der unteren Zone der Rekultivierungsschicht überstanden werden. Bei einer ma-

ximalen Wasserspannung von 50 kPa an der Untergrenze der Rekultivierungsschicht in Verbindung mit einer kapillarbrechenden Entwässerungsschicht sollte die Gefahr der Übertragung von schädlichen Wasserspannungen auf die mineralische Dichtung weitgehend gebannt sein.

Ein günstiger Wasserhaushalt lässt sich durch die folgenden Bedingungen fördern:

- hohe Infiltrationsleistung der Oberbodenzone, damit ein möglichst hoher Anteil des Niederschlags die Rekultivierungsschicht speist.
- große Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht und eine hohe nutzbare Feldkapazität, damit möglichst viel Wasser langfristig gespeichert werden kann.
- angepasstes Pflanzeninventar, das durch eine gute Transpirationsleistung die Tiefenversickerung begrenzt, jedoch die Rekultivierungsschicht in Trockenzeiten nicht zu stark belastet
- Das Fehlen einer Entwässerungsschicht erscheint zwar für den Wasserhaushalt der Rekultivierungsschicht selbst günstig, führt jedoch zur Übertragung von Wasserspannungen auf die unterliegende Dichtungsschicht.



## A 3 Hinweise zur Prüfung der Filterstabilität bei Rekultivierungsschicht

### A3.1 Übergang zu einem Kornfilter

Unter den Kriterien zur Prüfung der Filterstabilität eines Bodens gegenüber einem Kornfilter (Kontakterosion) sind zwei Hauptgruppen zu unterscheiden.

- Geometrische Filterkriterien gründen auf dem Vergleich der Öffnungsweite der Poren des Filtermediums mit dem Durchmesser der transportierten Körner des Bodens.
- Hydraulische Filterkriterien vergleichen die verfügbaren Strömungskräfte der Durchsickerung von Boden und Filter mit der für eine Erosion und Verschleppung von Körnern notwendigen Transportenergie in Abhängigkeit der Öffnungsweite der Filterporen.

Die geometrischen Filterkriterien fallen für Strömungsverhältnisse im Bereich der Rekultivierungsschicht grundsätzlich strenger aus als hydraulische Filterkriterien, da die verfügbare Schleppkraft auf Grund des sehr geringen hydraulischen Gradienten im Vergleich zu Anwendungen im Brunnen- oder Dammbau äußerst gering sind. Insbesondere bei bindigen Böden stellen die hydrodynamischen Verhältnisse den limitierenden Faktor für eine Feinkornmobilisierung dar. Die in der Regel leichter anwendbaren geometrischen Kriterien können u. U. bereits soweit Klarheit liefern, dass bei einem positiven Ergebnis die Anwendung der hydraulischen Kriterien entfallen kann.

Unter den gebräuchlichen Filterkriterien finden sich die folgenden Ansätze:

**Tabelle 17** Übersicht über gängige Filterkriterien für Kornfilter

Kriterium	Charakter	Bemerkung
Terzaghi/Peck	geometrisch	für eng gestufte Böden und Filtermaterialien
Cistin/Ziems	geometrisch	für weiter gestufte Böden und Filtermaterialien
Davidenkoff	hydraulisch	für Ton- und Schluffböden
Rehfeld	hydraulisch	für Mischböden
Müllner	hydraulisch	für bindige Mischböden

Unter den hydraulischen Filterkriterien bietet bei gleichen Gegebenheiten der Ansatz nach Davidenkoff die höchste, der Ansatz nach Rehfeld die geringste Sicherheit.

#### Filterkriterium nach Terzaghi/Peck

Das Filterkriterium nach *Terzaghi* und *Peck* ist das Bekannteste im Grundbau. Es basiert auf einem geometrischen Modell, in dem die Porenraumweite innerhalb einer kugelförmigen Packung runder und gleichkörniger Filterkörnern. Das Kriterium gilt deshalb nur für enggestufte

Bodenmaterialien und Filter ( $C_u < 2$ ), deren Kornverteilungskurven annähernd parallel verlaufen.

$$\frac{D_{F15}}{D_{B85}} < 4 \quad \text{nach Terzaghi/Peck}$$

$D_{F15}$  Korndurchmesser des Filtermaterials bei 15 % Siebdurchgang

$D_{B85}$  Korndurchmesser des Basismaterials bei 85 % Siebdurchgang

$C_u$  Ungleichförmigkeitszahl =  $D_{60}/D_{10}$

Die Höhe der Sicherheit ist bei diesem Kriterium nicht quantifiziert.

#### **Filterkriterium nach Cistin/Ziems**

Das Filterkriterium nach *Cistin/Ziems* ist ebenfalls ein geometrisches Kriterium und lässt sich auf weniger eng gestufte Böden anwenden ( $2 < C_u < 25$ ). Das zu Grunde liegende Modell betrachtet die Porenstruktur realistischer als die *Terzaghi*-Regel. Anwendbar ist das Kriterium nach *Cistin/Ziems* für Bodenmaterialien  $0,1 \text{ mm} < D < 20 \text{ mm}$  und Filtermaterialien  $4 \text{ mm} < D < 100 \text{ mm}$  und hydraulische Gradienten  $< 9$ .

Die Prüfung der Filterstabilität erfolgt über das Diagramm in Abbildung 28. Als Eingangsdaten dienen die Ungleichförmigkeitszahlen für das Boden- und das Filtermaterial.

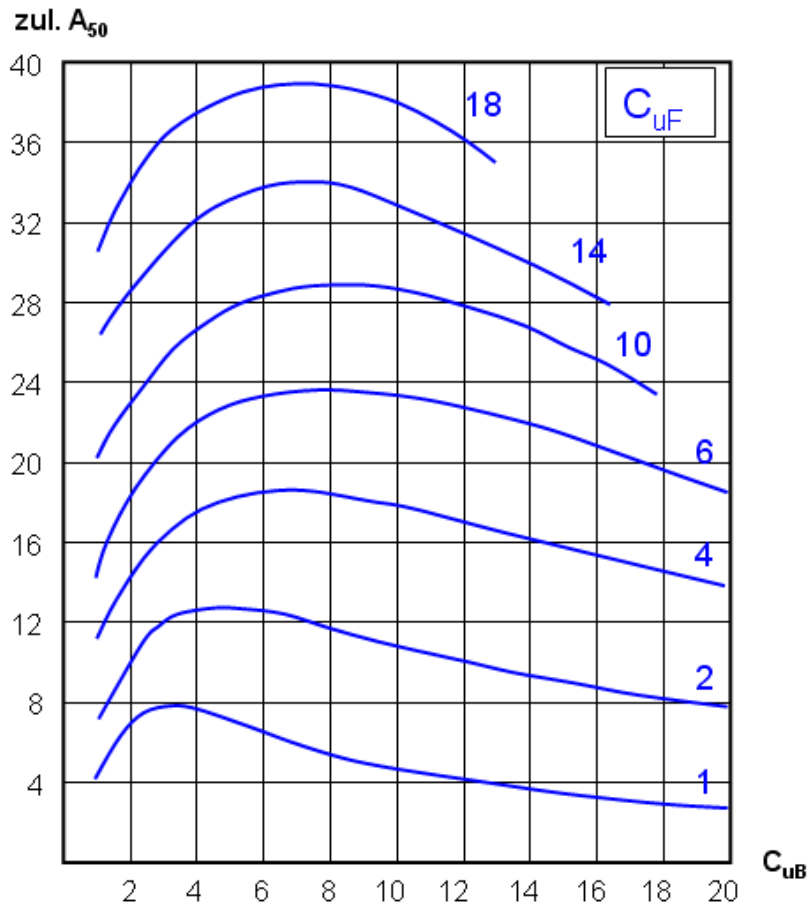


Abbildung 28 Filterdiagramm nach Cistin/Ziems

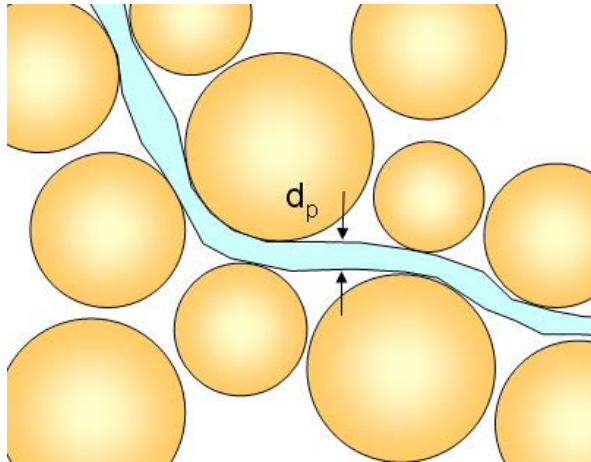
- $D_{B50}$  Korndurchmesser des (feinkörnigen) Basismaterials bei 50 % Siebdurchgang
- $D_{F50}$  Korndurchmesser des Filtermaterials bei 50 % Siebdurchgang
- $C_{uB}$  Ungleichförmigkeitszahl des (feinkörnigen) Basismaterials ( $D_{B60}/D_{B10}$ )
- $C_{uF}$  Ungleichförmigkeitszahl des Filtermaterials ( $D_{F60}/D_{F10}$ )
- $A_{50}$  Abstandsverhältnis ( $D_{F50}/D_{B50}$ )

Filterstabilität ist nach *Cistin/Ziems* dann gegeben, wenn das tatsächliche Abstandsverhältnis der Korndurchmesser geringer ist als das zulässige Abstandsverhältnis nach Abbildung 28. Die Sicherheit beträgt 1,5.

$$A_{50} \leq \text{zul. } A_{50}$$

#### äquivalenter Porenkanaldurchmesser

Die hydraulischen Filterkriterien stellen die Sicherheit gegen Kontakterosion in Abhängigkeit des hydraulisch äquivalenten Porenkanaldurchmessers  $d_p$  des Filtermaterials. Der äquivalente Porenkanaldurchmesser stellt dabei den Durchmesser einer gedachten Röhre dar, die die gleichen hydraulischen Eigenschaften wie das Porenraumsystem aufweist.



**Abbildung 29** Äquivalenter Porenkanaldurchmesser

Der äquivalente Porenkanaldurchmesser lässt sich anhand verschiedener Formeln abschätzen.

$$d_p = 0,414 \cdot D_{50} \quad \text{nach Müller}$$

idealisiert für Kugelpackung in lockerster Lagerung

$$d_p = 0,155 \cdot D_{50}$$

idealisiert für Kugelpackung in dichtester Lagerung

$$d_p = 0,535 \cdot \sqrt[6]{C_u} \cdot e \cdot D_{F17} \quad \text{nach Pawtschitsch}$$

für gemischtkörnige Materialien

$$d_p = 0,455 \cdot \sqrt[6]{C_u} \cdot e \cdot D_{F17}$$

für gemischtkörnige Materialien

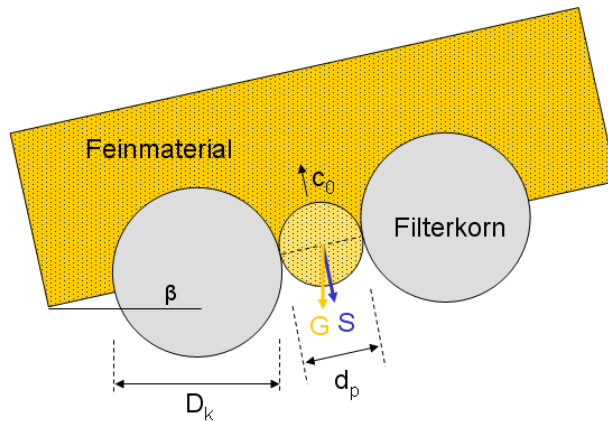
$C_u$  Ungleichförmigkeitszahl des Filtermaterials

$D_{F17}$  Korndurchmesser des Filtermaterials bei 17 % Siebdurchgang

$e$  Porenzahl

#### Filterkriterium nach Davidenkoff

Das Filtermodell von *Davidenkoff* geht davon aus, dass ein halbkugelförmiges Aggregat des feinkörnigen Materials an der Grenzschicht zum Filter aus der feinkörnigen Matrix herausgelöst und durch einen Porenkanal mit dem Durchmesser  $d_p$  transportiert wird. Die Sicherheit gegen diese Form der Kontakterosion ermittelt sich aus dem Verhältnis der haltenden (Zugfestigkeit  $c_0$ ) und der treibenden Kräfte (Schwerkraft  $G$ , Strömung  $S$ ). Abbildung 30 zeigt das Modell schematisch.



**Abbildung 30** Schemadarstellung Kontaktterrosion nach Davidenkoff

$$\eta = \frac{6 \cdot c_0}{d_p \cdot (i \cdot \gamma_w + \gamma \cdot \cos \beta)} \quad \text{nach Davidenkoff}$$

- $\eta$  Sicherheitsbeiwert gegen Kontaktterrosion [-]
- $c_0$  Zugfestigkeit des bindigen Bodens in Abhängigkeit von der Kohäsion [kN/m<sup>2</sup>]
- $d_p$  äquivalenter Porenkanaldurchmesser [m]
- $i$  hydraulischer Gradient der Sickerströmung [-]
- $\gamma$  Wichte des Feinmaterials [kN/m<sup>2</sup>]
- $\gamma_w$  Wichte des Wassers [kN/m<sup>2</sup>]
- $\beta$  Neigungswinkel der Grenzfläche zur Horizontalen [°]

Wird der Wert für den Porenkanaldurchmesser  $d_p$  durch den entsprechenden Korndurchmesser bei kugelförmiger, lockerster Lagerung (ungünstigste Annahme) umschrieben, ergibt sich die folgende Darstellung:

$$\eta = \frac{15 \cdot c_0}{D_{50} \cdot (i \cdot \gamma_w + \gamma \cdot \cos \beta)} \quad \text{nach Davidenkoff (modifiziert)}$$

Parameter wie oben

$D_{50}$  Korndurchmesser des Filtermaterials bei 50 % Siebdurchgang [m]

Ersetzt man in der Ausgangsgleichung nach Davidenkoff die Zugfestigkeit  $c_0$  über die empirische Formel nach *Griffith* durch folgenden Term,

$$c_0 \approx \frac{1}{4} \cdot c_u$$

so erhält man die folgende Gleichung

$$\eta = \frac{1,5 \cdot c_u}{d_p \cdot (i \cdot \gamma_w + \gamma \cdot \cos \beta)} \quad \text{nach Davidenkoff (modifiziert)}$$

Parameter wie oben

- $c_u$  undrÄnierte KohÄsion [kN/m<sup>2</sup>]
- $d_p$  Äquivalenter Porenkanaldurchmesser [m]

#### Filterkriterium nach Rehfeld

Das Modell nach *Rehfeld* basiert auf dem Modell von *Davidenkoff*, wÄhlt als transportables Aggregat jedoch eine Kugel statt einer Halbkugel. Dadurch erhöhen sich Gewichtskraft und Strömungskraft jeweils um den Faktor 2. Von der KohÄsion wird nur der Anteil berucktigt, der entgegen der Strömungsrichtung verlÄuft. Daraus ergibt sich die Formel

$$\eta = \frac{3 \cdot c_0}{2 \cdot d_p \cdot (i \cdot \gamma_w + \gamma \cdot \cos \beta)} \quad \text{nach Rehfeld}$$

Parameter wie *Davidenkoff*

Das Kriterium nach *Rehfeld* bietet im Vergleich zum Kriterium von *Davidenkoff* eine höhere Sicherheit, da die haltenden KrÄfte weniger stark, die treibenden KrÄfte dagegen stÄrker gewichtet werden. Die beiden Sicherheitsbeiwerte unterscheiden sich um den Faktor 4.

Ersetzt man auch hier die Zugfestigkeit  $c_0$  nach *Griffith* (s.o.), ergibt sich die Gleichung

$$\eta = \frac{3 \cdot c_u}{8 \cdot d_p \cdot (i \cdot \gamma_w + \gamma \cdot \cos \beta)} \quad \text{nach Rehfeld (modifiziert)}$$

#### Filterkriterium nach Müllner

Das Kriterium nach *Müllner* [54] ist anhand von Finite-Elemente-Berechnungen entwickelt und mit Versuchen an unterschiedlichen, kohÄsiven Böden verifiziert worden.

$$\eta = \frac{6,2 \cdot c'}{d_p \cdot i \cdot \gamma_w} \quad \text{nach Müllner}$$

Parameter wie *Davidenkoff*

- $c'$  drÄnierte KohÄsion [kN/m<sup>2</sup>]

Ersetzt man die drÄnierte KohÄsion  $c'$  durch die Zugfestigkeit  $c_0$  und dann wieder nach *Griffith* durch die undrÄnierte KohÄsion  $c_u$ , so ergibt sich die folgende Gleichung:

$$\eta = \frac{6,2 \cdot \tan \varphi' \cdot c_u}{4 \cdot d_p \cdot i \cdot \gamma_w} \quad \text{nach Müllner (modifiziert)}$$

Parameter wie oben

- $\varphi$  Winkel der Scherfestigkeit des Bodenmaterials [°]
- $c_u$  undrÄnierte KohÄsion [kN/m<sup>2</sup>]

### **A3.1 Übergang zu einem Textilfilter**

Die Filterstabilität der Rekultivierungsschicht gegenüber einem Filtertextil lässt sich über den Vergleich der Korngrößen mit der wirksamen Öffnungsweite  $O_{90,w}$  des Filtertextils beurteilen. Filtertextilien sollen eine so hohe Dicke aufweisen, dass eine Tiefenfiltration stattfindet und die Bildung eines Filterkuchens auf der Oberfläche des Filtertextils vermieden wird.

Das Merkblatt zur Wasserwirtschaft Nr. 221 „Anwendung von Geotextilien im Wasserbau“ beschreibt die Bemessung von textilen Filtern für Böden verschiedener Körnungsbereiche [19]. Zu prüfen sind die

- mechanische Filterfestigkeit  
das Vermögen, den Rekultivierungsboden sicher zurückzuhalten und den Eintrag von Bodenpartikeln durch den Filter zu verhindern
- hydraulische Filterwirksamkeit  
das Vermögen, das Sickerwasser ohne hohen Druckverlust durch den Filter in die Entwässerungsschicht strömen zu lassen.

#### **Mechanische Filterfestigkeit**

Für die mechanische Filterfestigkeit ist zuerst festzustellen, ob der Rekultivierungsboden eine hohe Einzelkornmobilität aufweist. Für drei verschiedene Körnungsbereiche sind unterschiedliche Kriterien und Bemessungsregeln maßgebend. Die Kriterien und Bemessungsregeln sind in Tabelle 18 wiedergegeben:

**Tabelle 18** Filterbemessung nach DVWK

Die Bemessungsregeln sind nur für die hydrostatische Belastung wiedergegeben

Körnungsbereich	Kriterien für hohe Einzelkornmobilität (ein Kriterium muss erfüllt sein)	Bemessung
<b>A</b> $D_{B40} \leq 0,06 \text{ mm}$	für Kornfraktion $< 0,06 \text{ mm}$ : $C_u = D_{B60}/D_{B10} < 15$ ?	$O_{90,w} < 10 \cdot D_{B50}$  zusätzlich: $O_{90,w} < 10 \cdot D_{B90}$ bei hoher Einzelkornmobilität $O_{90,w} < 2 \cdot D_{B90}$ bei langfristig stabiler Kohäsion
	Anteil der Kornfraktion $0,02 \text{ mm} < D < 0,1 \text{ mm} > 50$ % ?	
	Plastizitätszahl $I_p < 0,15$ ? <i>oder (ersatzweise)</i> Verhältnis Ton/Schluff $< 0,5$ ?	
<b>B</b> $D_{B15} \geq 0,06 \text{ mm}$	für Kornfraktion $< 0,06 \text{ mm}$ : $C_u = D_{B60}/D_{B10} < 15$ ?	$O_{90,w} < 5 \cdot D_{B10} \cdot \sqrt{C_u}$ $O_{90,w} < 2 \cdot D_{B90}$
	Anteil der Kornfraktion $0,02 \text{ mm} < D < 0,1 \text{ mm} > 50$ % ?	
<b>C</b> $D_{B15} \leq 0,06 \text{ mm}$ <u>und</u> $D_{B40} > 0,06 \text{ mm}$	für Kornfraktion $< 0,06 \text{ mm}$ : $C_u = D_{B60}/D_{B10} < 15$ ?	zusätzlich: $O_{90,w} < D_{B90}$ bei hoher Einzelkornmobilität
	Anteil der Kornfraktion $0,02 \text{ mm} < D < 0,1 \text{ mm} > 50$ % ?	
	Plastizitätszahl $I_p < 0,15$ ? <i>oder (ersatzweise)</i> Verhältnis Ton/Schluff $< 0,5$ ?	

$D_{B10}$  Korndurchmesser des Basismaterials bei 10 % Siebdurchgang

$D_{B15}$  Korndurchmesser des Basismaterials bei 15 % Siebdurchgang

$D_{B40}$  Korndurchmesser des Basismaterials bei 40 % Siebdurchgang

$D_{B60}$  Korndurchmesser des Basismaterials bei 60 % Siebdurchgang

$D_{B90}$  Korndurchmesser des Basismaterials bei 90 % Siebdurchgang

$O_{90,w}$  wirksame Öffnungsweite des Filtertextils

$O_{90}$  charakteristische Öffnungsweite des Filtertextils ( $\approx$  wirksame Öffnungsweite)

$C_u$  Ungleichförmigkeitszahl des Basismaterials ( $D_{B60}/D_{B10}$ )

Die tatsächlich gewählte charakteristische Öffnungsweite  $O_{90}$  des Filters sollte zwischen  $0,8 \cdot O_{90,w}$  und  $O_{90,w}$  (ermittelter Wert) liegen.



Neben der Öffnungsweite des Filtertextils ist auch die Dicke des Filtertextils von erheblicher Bedeutung für die Wirksamkeit des Filters. Mit zunehmender Beanspruchung sollte das Filtertextil eine höhere Dicke aufweisen. Als Orientierungswert kann gelten:

$$d \geq (25 - 50) \cdot O_{90} \quad \text{und} \\ d \geq 3 \text{ mm}$$

BAM-zugelassene Dränelemente erfüllen diese Kriterien mit einer obligatorischen Minstdicke von  $30 \cdot O_{90}$  und 3 mm [8].

### Hydraulische Filterwirksamkeit

Hinweise für die Bemessung der Hydraulischen Filterwirksamkeit von Geotextilien gibt das DVWK-Merkblatt Nr. 22 [19], aus dem die folgenden Ausführungen übernommen wurden.

Der Wasserdurchlässigkeitsbeiwert  $k$  des Geotextils muss im Gebrauchszustand höher sein als der des anstehenden Rekultivierungsmaterials. Der Wasserdurchlässigkeitsbeiwert ist in Abhängigkeit der Öffnungsweite und des anstehenden Bodens mit einem Anpassungsfaktor zu korrigieren.

Für dünne Filtertextilien ( $d < 2,0 \text{ mm}$ ) kann der Abminderungsfaktor  $\eta_G$  nach dem folgenden Diagramm abgelesen werden.

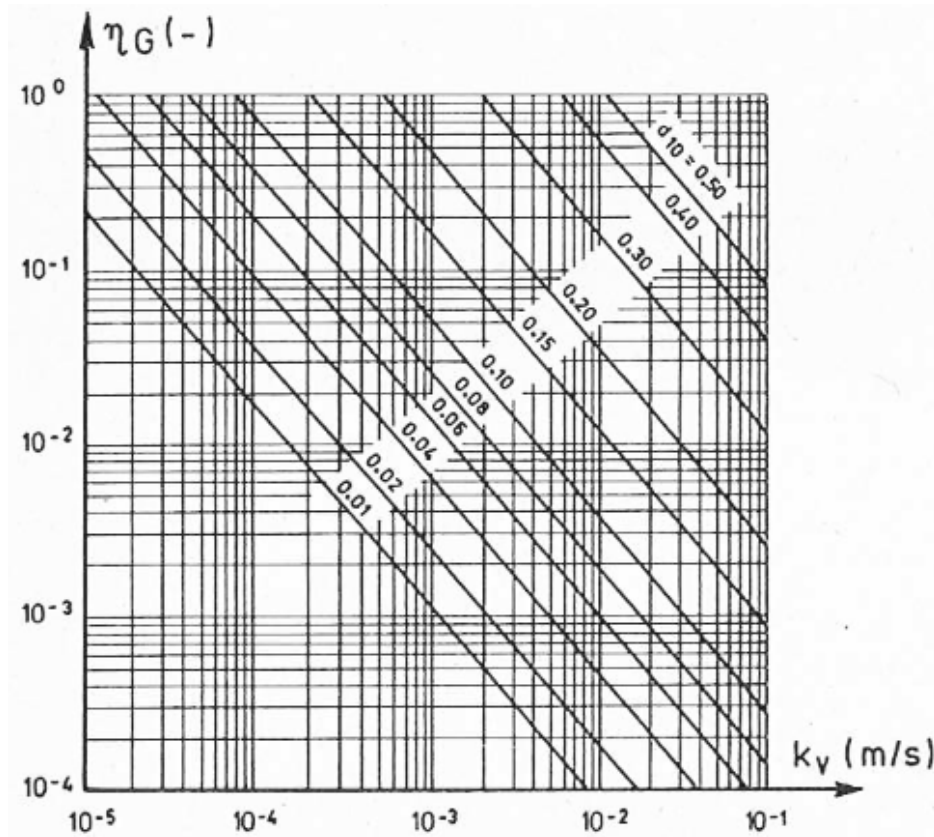
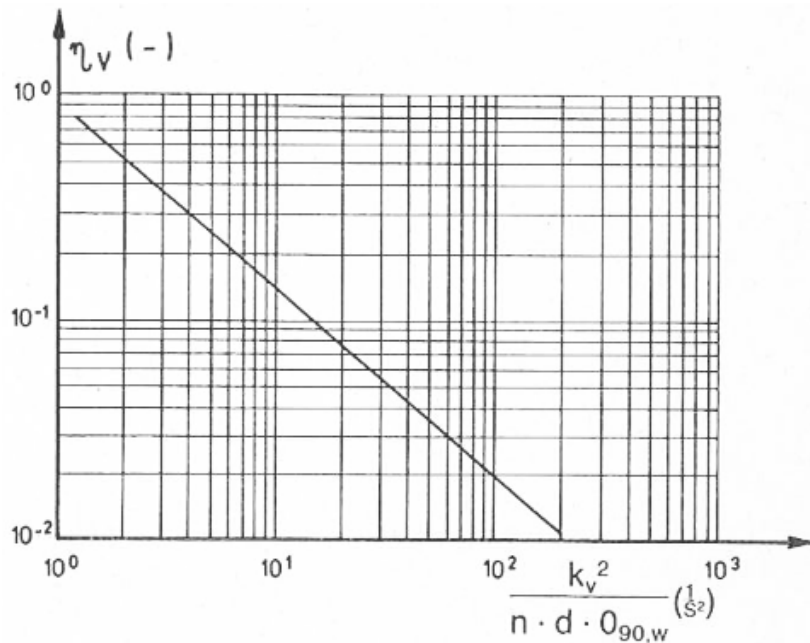


Abbildung 31 Bestimmungsdiagramm für Abminderung  $\eta_G$

- $d_{10}$  Korndurchmesser des Bodenmaterials bei 10 % Siebdurchgang ( $D_{10}$ )
- $k_v$  hydraulischer Durchlässigkeitsbeiwert des Filtertextils ohne Bodenkontakt

Für stark schluffige Sande bis Sande kann zur genaueren Erfassung der hydraulischen Filterwirksamkeit von mechanisch verfestigten Vliesstoffen ( $d \geq 2$  mm) der Abminderungsfaktor  $\eta_v$  aus dem folgenden Diagramm abgelesen werden.



**Abbildung 32** Bestimmungsdiagramm für Abminderung  $\eta_v$

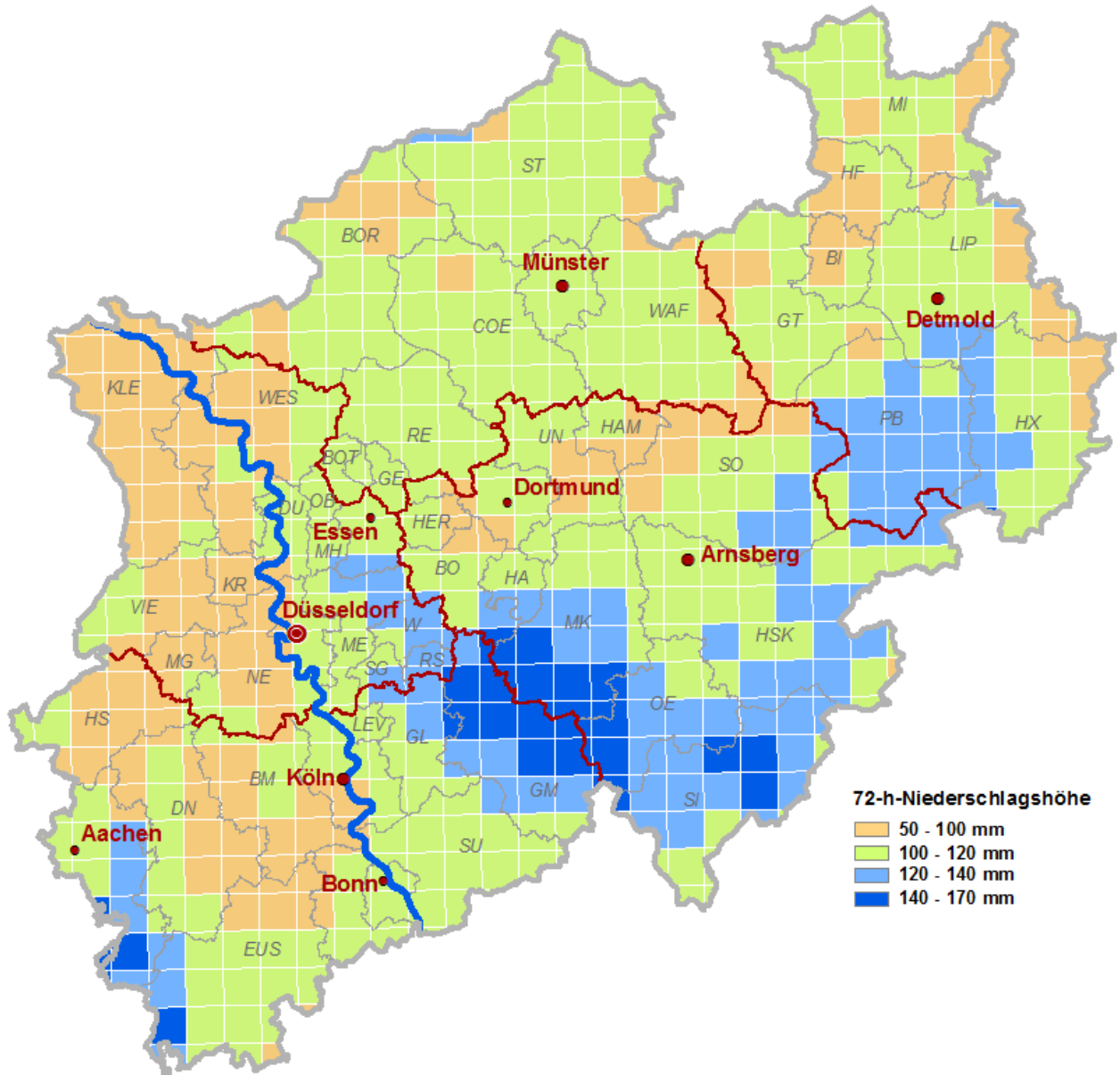
- $d$  Dicke des Filtertextils bei 2 kPa Auflastspannung
- $k_v$  hydraulischer Durchlässigkeitsbeiwert des Filtertextils ohne Bodenkontakt
- $n$  Porenanteil Bodenmaterial

## A 4 Meteorologische Informationen für NRW

### Niederschlag



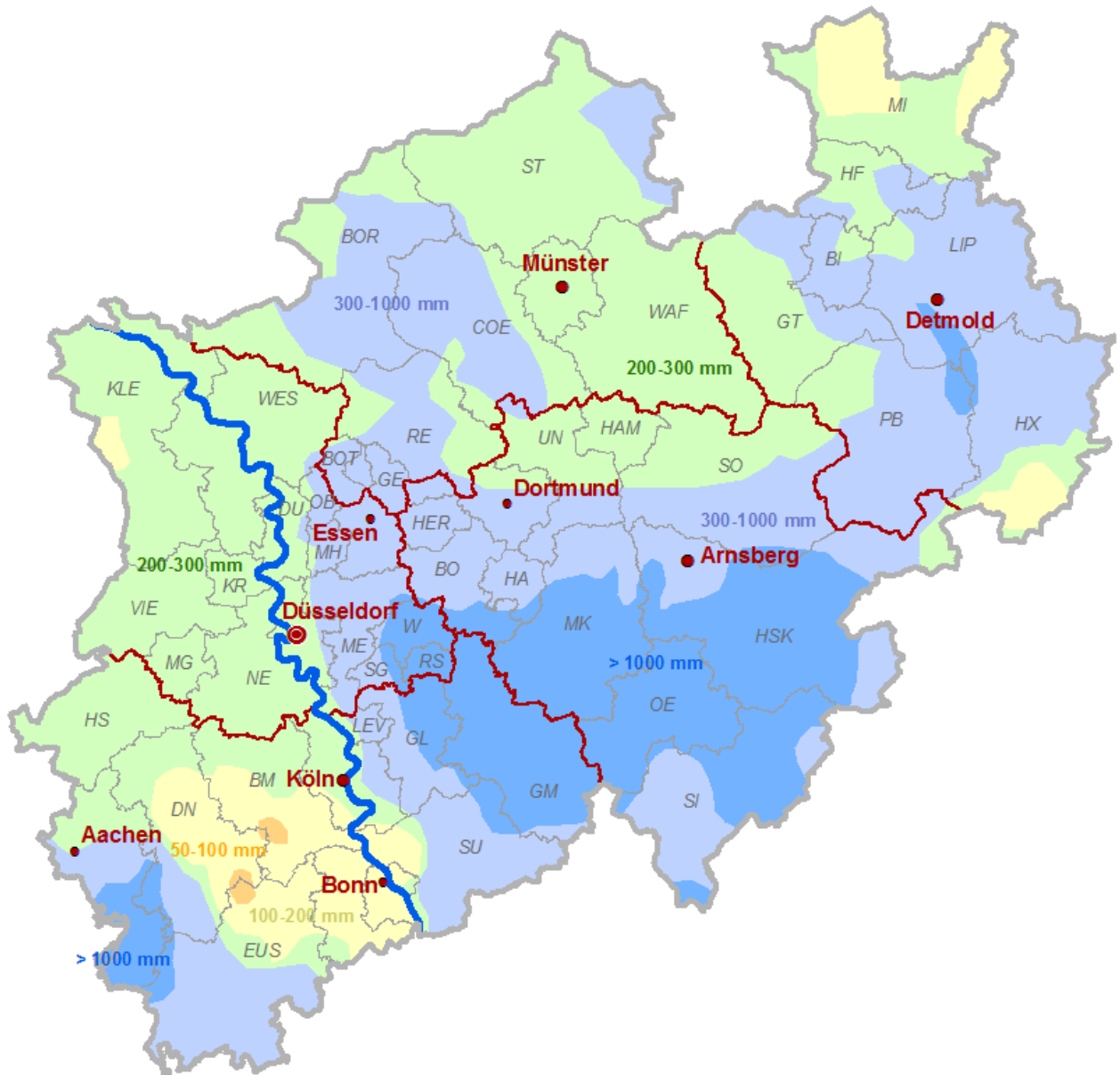
Abbildung 33 Jahresniederschlagssummen in Nordrhein-Westfalen in mm



**Abbildung 34** Starkniederschlagsgebiete in NRW

regionalisierte Niederschlagssummen für einen Zeitraum von 72 Stunden bei einer Jährlichkeit von 100 Jahren

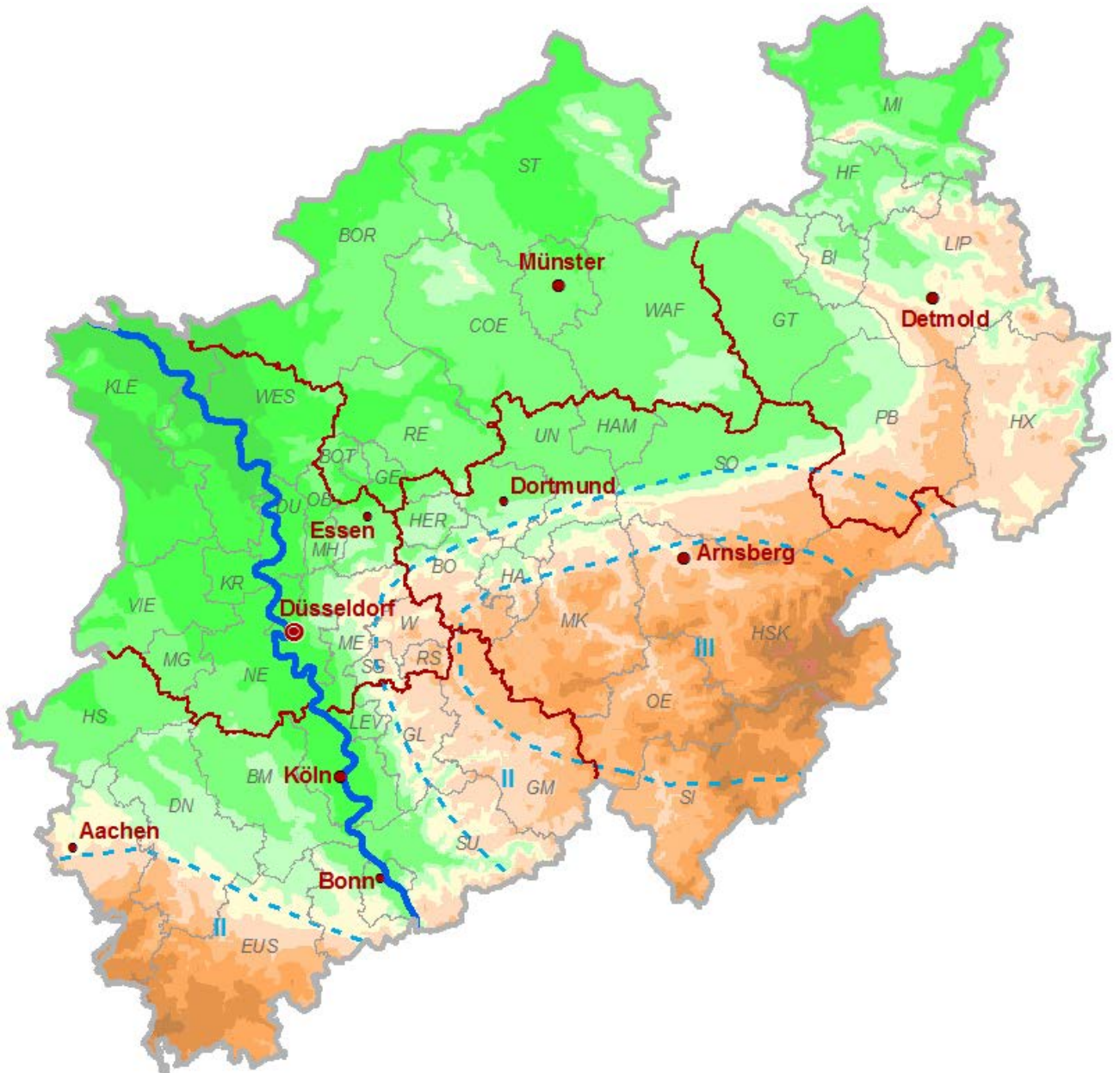
Quelle: Deutscher Wetterdienst



**Abbildung 35** Mittlere jährliche klimatische Wasserbilanz in NRW als Differenz von Niederschlag und Verdunstung (modifiziert nach [11])  
 In Nordrhein-Westfalen gibt es keine großflächigen Bereiche mit ausgeglichener oder negativer klimatischer Wasserbilanz. Es ist aber nicht auszuschließen, dass sich kleinräumig solche Bereiche auf Grund besonderer örtlicher, klimatischer Bedingungen ergeben.



## Frost



**Abbildung 36** Frosttiefezonen in Nordrhein-Westfalen  
Die Zonen II und III sind hellblau markiert; die restliche Fläche gehört zu Zone I.

## A 5 Wurzeltiefen mitteleuropäischer Baumarten

**Tabelle 19** Wurzeltiefen mitteleuropäischer Baumarten

nach [38]

WT: auf natürlichen Standorten beobachtete Wurzeltiefe in m

Baumart	Botanischer Name	WT	Bemerkung
<b>Laubbäume</b>			
Berberitze	<i>Berberis vulgaris</i>	2,50	gilt für warme, gut durchlüftete Böden
Wilde Pimpernuss	<i>Staphylea pinnata</i>	0,60	
Weißdorn	<i>Crataegus monogyna</i>	1,80	
Wildbirne	<i>Pyrus pyrastra</i>	3,00	
Wildapfel, Holzapfel	<i>Malus sylvestris</i>	3,50	
Elsbeere	<i>Sorbus torminalis</i>	2,00	
Eberesche	<i>Sorbus aucuparia</i>	2,50	gilt für tiefgründig lockere Böden
Speierling	<i>Sorbus domestica</i>	3,00	Art nur in warmen Gebieten vertreten
Felsenbirne	<i>Amelanchier ovalis</i>	2,00	
Traubenkirsche	<i>Prunus padus</i>	1,50	
Vogel- oder Süßkirsche	<i>Prunus avium</i>	1,60	
Schlehe	<i>Prunus spinosa</i>	2,30	
Gewöhnlicher Kreuzdorn	<i>Rhamnus cathartica</i>	1,00	
Faulbaum	<i>Frangula alnus</i>	0,60	
Edelkastanie	<i>Castanea sativa</i>	3,00	
Rotbuche	<i>Fagus sylvatica</i>	2,00	
Roteiche	<i>Quercus rubra</i>	1,50	
Traubeneiche, Winter-eiche	<i>Quercus petraea</i>	2,00	
Stieleiche	<i>Quercus robur</i>	3,00	
Gewöhnliche Birke	<i>Betula pendula</i>	2,00	
Schwarz-, Roterle	<i>Alnus glutinosa</i>	3,00	
Grau-, Weißerle	<i>Alnus incana</i>	1,20	
		2,20	gilt für tiefgründig erwärmte Böden
Haselstrauch	<i>Corylus avellana</i>	3,50	gilt für tiefgründig lockere, erwärmte Böden
Hainbuche	<i>Carpinus betulus</i>	1,40	
		3,50	gilt für tiefgründig lockere, erwärmte Böden
Walnuss	<i>Juglans regia</i>	2,50	
Bergulme	<i>Ulmus glabra</i>	2,00	

Feldulme	<i>Ulmus minor</i>	3,50	
Flatterulme	<i>Ulmus laevis</i>	1,80	
Gewöhnliche Robinie	<i>Robinia pseudoacacia</i>	3,50	
Roskastanie	<i>Aesculus hippocastanum</i>	3,00	
Bergahorn	<i>Acer pseudoplatanus</i>	1,90	
Spitzahorn	<i>Acer platanoides</i>	3,00	
Feldahorn	<i>Acer campestre</i>	3,50	
Winterlinde	<i>Tilia cordata</i>	2,50	
Sommerlinde	<i>Tilia platyphyllos</i>	1,60	
Silberpappel	<i>Populus alba</i>	2,50	
Kanada-Pappel	<i>Populus canadensis</i>	3,50	
Schwarzpappel	<i>Populus nigra</i>	1,50	
Zitterpappel	<i>Populus tremula</i>	2,50	gilt für tiefgründig erwärmte Böden
Silberweide	<i>Salix alba</i>	3,00	gilt für tiefliegenden Grundwasserspiegel
Purpur-, Steinweide	<i>Salix purpurea</i>	2,00	gilt für tiefliegenden Grundwasserspiegel
Sal-, Palmweide	<i>Salix caprea</i>	2,00	gilt für tiefliegenden Grundwasserspiegel
Asch-, Grauweide	<i>Salix cinerea</i>	1,40	
Spindelstrauch	<i>Evonymus europaea</i>	1,00	
Roter Hartriegel	<i>Cornus sanguinea</i>	1,00	
Stechpalme	<i>Ilex aquifolium</i>	1,00	
Schmalblättrige Esche	<i>Fraxinus angustifolia</i>	1,70	
Gewöhnliche Esche	<i>Fraxinus excelsior</i>	1,50	
		2,00	gilt für tiefgründig erwärmte Böden
Liguster	<i>Ligustrum vulgare</i>	1,50	
Schwarzer Holunder	<i>Sambucus nigra</i>	3,00	gilt für tiefgründig erwärmte Böden
Roter Holunder	<i>Sambucus racemosa</i>	1,80	gilt für tiefgründig erwärmte Böden
Wolliger Schneeball	<i>Viburnum lantana</i>	1,50	
Gewöhnlicher Schneeball	<i>Viburnum opulus</i>	1,00	



<b>Nadelbäume</b>			
Weißtanne	<i>Abies alba</i>	1,60	gilt für feinsandige Sedimente in wärmeren Klimaten nimmt die Wurzeltiefedeutlich zu
Fichte	<i>Picea abies</i>	1,20	
		2,10	gilt für tiefgründig erwärmte Böden
Waldkiefer, Rotkiefer	<i>Pinus sylvestris</i>	4,50	gilt für Lößlehm und warmes Klima; Wurzeltiefe korreliert mit Wärme
Schwarzkiefer	<i>Pinus nigra</i>	4,50	gilt für feinsedimentreichen Boden
Douglasie	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	2,20	
Wacholder	<i>Juniperus communis</i>	3,00	gilt für tiefgründig erwärmte Böden
Eibe	<i>Taxus baccata</i>	1,50	

Die Wurzeltiefen gelten für natürliche Standorte unterschiedlicher Ausprägung. Es ist davon auszugehen, dass die Wurzeltiefen auf tiefgründig locker geschütteten Rekultivierungsschichten auf Deponien höher ausfallen.

## A 6 Bundeseinheitliche Eignungsbeurteilungen und Qualitätsstandards

### Bundeseinheitliche Eignungsbeurteilungen

Gemäß Anhang 1 Nr. 2.1 kann der Nachweis der Eignung für sonstige Materialien, Komponenten oder Systeme durch eine bundeseinheitliche Eignungsbeurteilung der Länder geführt werden.

Folgende Eignungsbeurteilungen liegen vor:

- Eignungsbeurteilung von Bentomat<sup>®</sup> GDA / Bentomat<sup>®</sup> LAGA zur Herstellung von mineralischen Dichtungen in Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien vom 24.3.2009
- Eignungsbeurteilung von NaBento<sup>®</sup> RL-C zur Herstellung von mineralischen Dichtungen in Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien vom 27.1.2009
- Eignungsbeurteilung von NaBento<sup>®</sup> RL-N / NaBento<sup>®</sup> RL-N 5000 LAGA zur Herstellung von mineralischen Dichtungen in Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien vom 27.01.2009
- Eignungsbeurteilung von Bentofix<sup>®</sup> NSP 4900 zur Herstellung von mineralischen Dichtungen in Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien vom 27.1.2009
- Eignungsbeurteilung von Bentofix<sup>®</sup> B 4000 zur Herstellung von mineralischen Dichtungen in Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien vom 27.1.2009
- Eignungsbeurteilung von Bentofix<sup>®</sup> BZ 6000 zur Herstellung von mineralischen Dichtungen in Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien vom 27.1.2009
- Eignungsbeurteilung der Kapillarblockbahn (KBB) als Abdichtungskomponente in Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien der Klassen I, II und III vom 2.12.2010 / Fortschreibung am 4.12.2012
- Eignungsbeurteilung von Trisoplast<sup>®</sup> zur Herstellung von mineralischen Dichtungen in Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien vom 26.01.2009

Die bundeseinheitlichen Eignungsbeurteilungen werden auf der Homepage der LAGA veröffentlicht:



[www.laga-online.de](http://www.laga-online.de)

☞ Publikationen / Informationen ☞ Deponiebaustoffe, Deponietechnische Vollzugsfragen ☞ Bundeseinheitliche Eignungsbeurteilungen

### **Bundeseinheitliche Qualitätsstandards**

Gemäß Anhang 1 Nr. 2.1.2 DepV legen die Länder für den Einsatz von natürlichem, ggf. vergütetem Boden- und Gesteinsmaterial aus der Umgebung sowie von Abfällen Prüfkriterien und Anforderungen an den fachgerechten Einbau sowie an das Qualitätsmanagement in bundeseinheitlichen Qualitätsstandards (BQS) fest.

Folgende Qualitätsstandards liegen bislang vor:

- BQS 1-0 „Technische Maßnahmen betreffend die geologischen Barriere“ vom 4.12.2014
- BQS 2-0 „Mineralische Basisabdichtungskomponenten – übergreifende Anforderungen“ vom 4.12.2014
- BQS 2-1 „Mineralische Basisabdichtungskomponenten aus natürlichen mineralischen Baustoffen“ vom 4.12.2014
- BQS 2-2 „Mineralische Basisabdichtungskomponenten aus vergüteten mineralischen Baustoffen“ vom 4.12.2014
- BQS 2-3 „Mineralische Basisabdichtungskomponenten aus Deponieersatzbaustoffen“ vom 4.12.2014
- BQS 2-4 „Basisabdichtungskomponenten aus Deponieasphalt“, noch nicht veröffentlicht
- BQS 3-1 „Mineralische Entwässerungsschichten aus natürlichen Baustoffen in Basisabdichtungssystemen“ vom 4.12.2014
- BQS 3-2 „Mineralische Entwässerungsschichten in Basisabdichtungssystemen aus nicht natürlichen Baustoffen“ vom 4.12.2014
- BQS 4-1 „Trag- und Ausgleichsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen“ vom 4.12.2014
- BQS 5-0 „Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten – Übergreifende Anforderungen“ vom 4.12.2014
- BQS 5-1 „Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten aus natürlichen mineralischen Baustoffen“ vom 4.12.2014
- BQS 5-2 „Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten aus vergüteten mineralischen Baustoffen“ vom 4.12.2014
- BQS 5-3 „Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten aus Deponieersatzbaustoffen“ vom 4.12.2014
- BQS 5-4 „Oberflächenabdichtungskomponenten aus Deponieasphalt“, noch nicht veröffentlicht
- BQS 5-5 „Oberflächenabdichtungskomponenten aus geosynthetischen Dichtungsbahnen“ vom 7.5.2014
- BQS 5-6 „Kapillarsperren in Deponieoberflächenabdichtungssystemen“ vom 9.11.2010
- BQS 6-1 „Mineralische Entwässerungsschichten aus natürlichen Baustoffen in Oberflächenabdichtungssystemen“ vom 7.6.2011

- BQS 6-2 „Mineralische Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen aus nicht natürlichen Baustoffen“ vom 4.12.2014
- BQS 7-1 „Rekultivierungsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen“ vom 4.2.2015
- BQS 7-2 „Wasserhaushaltsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen“ vom 20.10.2011
- BQS 7-3 „Methanoxidationsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen“ vom 20.10.2011
- BQS 7-4a „Technische Funktionsschichten – Photovoltaik auf Deponien“ vom 2.8.2012
- BQS 8-1 „Rohre, Rohrleitungsteile, Schächte und Bauteile in Basis- und Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien“ vom 24.9.2013
- BQS 9-1 „Qualitätsmanagement – Fremdprüfung beim Einbau mineralischer Baustoffe in Deponieabdichtungssystemen“ vom 9.4.2014

Die bundeseinheitlichen Qualitätsstandards werden auf der Homepage der LAGA veröffentlicht:



[www.laga-online.de](http://www.laga-online.de)

☞ Publikationen / Informationen ☞ Deponiebaustoffe, Deponietechnische Vollzugsfragen ☞ Bundeseinheitliche Qualitätsstandards

Landesamt für Natur, Umwelt  
und Verbraucherschutz  
Nordrhein-Westfalen  
Leibnizstraße 10  
45659 Recklinghausen  
Telefon 02361 305-0  
poststelle@lanuv.nrw.de

[www.lanuv.nrw.de](http://www.lanuv.nrw.de)

