



## **Eignungsbeurteilung der Oberflächenabdichtung nach dem Boden- Natur-Dichtungssystem (BND-System)**

---

Mit dieser Eignungsbeurteilung wird die grundsätzliche Eignung für Oberflächenabdichtungen nach dem BND-System für den Einsatz auf Deponien der Klasse II bestätigt. Die Eignungsbeurteilung gilt nur für das Gebiet des Landes Nordrhein-Westfalen.

Gemäß der Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV) vom 24. Juli 2002 ist in der Stilllegungsphase einer Deponie ein Oberflächenabdichtungssystem nach Anhang 1, Tabelle 2 oder aus gleichwertigen Systemkomponenten oder durch eine gleichwertige Kombination von Systemkomponenten zu errichten.

Die kombinatorische Wirkung der Systemkomponenten des BND-Systems erreicht eine Systemwirksamkeit, die dem Regelaufbau nach Anhang 1 der Deponieverordnung entspricht. Das BND-System stellt insoweit eine gleichwertige Kombination von Systemkomponenten gegenüber den Regelkomponenten nach Anhang 1, Tabelle 2 der Deponieverordnung vom 24.7.2002 dar.

Die im Folgenden niedergelegte Eignungsbeurteilung orientiert sich an den „Allgemeinen Grundsätzen für die Eignungsbeurteilung von Abdichtungskomponenten der Deponieoberflächenabdichtungssysteme“ der LAGA-ad-hoc-AG Deponietechnische Vollzugsfragen.

Recklinghausen, 14. Mai 2009

(Dr. Michael Tiedt)

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz  
Nordrhein-Westfalen  
Fachbereich 72 – Technologie der Abfallverwertung  
und -beseitigung, VAwS  
Leibnizstraße 10  
45659 Recklinghausen

# **1 Beschreibung, Wirkungsweise und Anwendungsbereich**

Antragstellerin:           AGR mbH  
                                  Im Emscherbruch 11  
                                  45699 Herten

## **1.1 Beschreibung des „BND-Systems“**

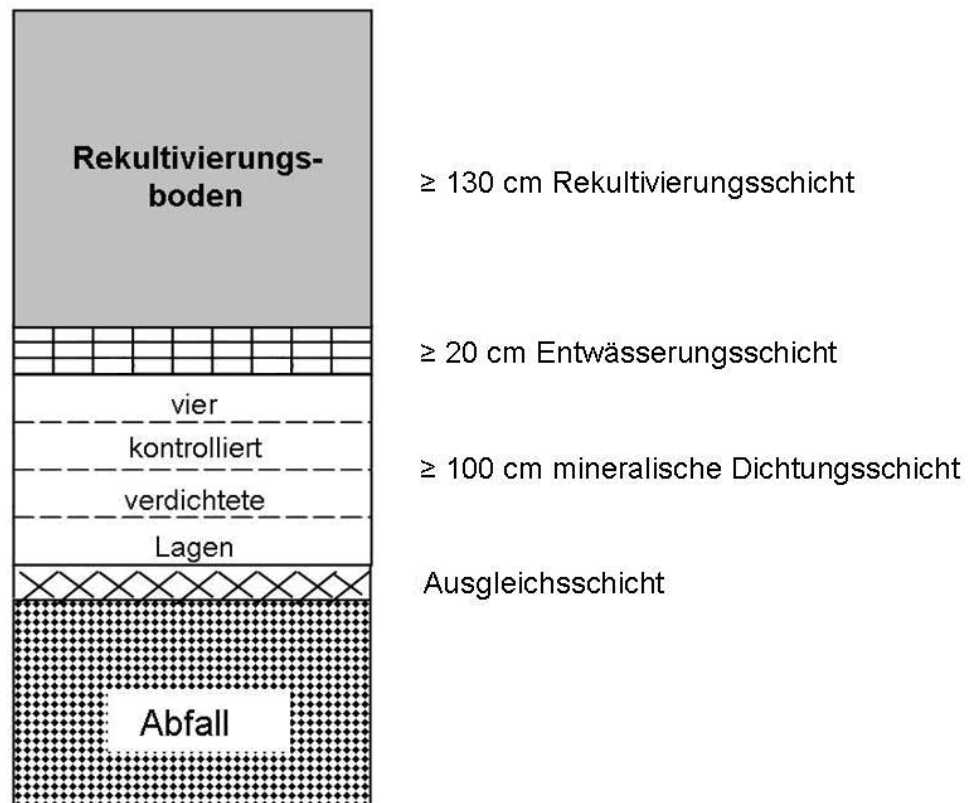
Bei der Boden-Natur-Dichtung (BND) handelt es sich um ein  $\geq 2,70$  m mächtiges, mineralisches Oberflächenabdichtungssystem mit kontrollierter Verdichtung.

Die Boden-Natur-Dichtung ist im Rahmen von über 9 Jahren andauernden wissenschaftlichen Untersuchungen vom Geographischen Institut der Ruhr-Universität Bochum (RUB) intensiv geprüft worden. Die Niederschlagsinfiltration und der Wasserhaushalt sowie die Langzeitbeständigkeit sind die zentralen Kriterien, die bei den wissenschaftlichen Beobachtungen des Abdichtungssystems umfassend untersucht wurden.

Im praktischen Feldversuch auf der Zentraldeponie Castrop-Rauxel ist auf einer schwach geneigten Fläche (3% Quer- und 1% Längsgefälle) die Ausgleichsschicht aufgebracht worden. Darauf sind vier kontrolliert verdichtete Schichten à 25 cm Mächtigkeit aus verdichtungsfähigem Lößlehm (schwach toniger Schluff) aufgebracht worden. Diese Schichten stellen die mineralische Dichtung dar.

Direkt auf der mineralischen Dichtung wurde eine 20 cm starke Entwässerungsschicht aus Schmelzkammergranulat unverdichtet aufgetragen (siehe Abbildung 1).

Auf die Entwässerungsschicht ist der Rekultivierungsboden mit einer Mächtigkeit von 1,3 m ohne Verdichtung aufgebracht worden.



**Abbildung 1** Aufbau des BND-Systems

## 1.2 Wirkungsweise

Die Wirkung des BND-Systems setzt sich zusammen aus der Speicherfunktion der Rekultivierungsschicht und der Dichtungsfunktion der mineralischen Dichtungsschicht. Die Rekultivierungsschicht wirkt durch ihre Speicherkapazität gleichzeitig als dauerhafter Schutz gegen schädliche Wassergehaltsänderungen in der mineralischen Dichtungsschicht. Dieser Schutz gegenüber Austrocknung wird durch die Ausgestaltung der Entwässerungsschicht unterstützt. Diese verhindert einen kapillaren Aufstieg von Porenwasser aus der mineralischen Dichtung. Durch den im Vergleich zu konventionellen Entwässerungsschichten geringen Hohlraumgehalt und -durchmesser wird der Transport von Wasser in der Dampfphase durch konvektive Luftströmungen in der Entwässerungsschicht praktisch unterbunden.

Anhand der wissenschaftlichen Untersuchungen zur Niederschlagsinfiltration und des Wasserhaushaltes wurde die Wirksamkeit des BND-Systems eingehend untersucht. Bei den langjährigen Beobachtungen wurden unterschiedliche Bodenwasserbewegungen mit periodischem Verlauf festgestellt.

Die Permeation des Gesamtsystems liegt danach unter 1 Prozent des Niederschlags.

### **1.3 Anwendungsbereich**

Der Einsatz des BND-Systems ist möglich auf Deponien der Klasse II und den niedrigeren Deponieklassen.

Bezüglich des Anfalls von Deponiegas bestehen keine Einschränkungen gegenüber konventionellen Dichtungssystemen mit Kombinationsabdichtung.

Aufgrund des erforderlichen Beitrags der Wasserhaushaltsfunktion der Rekultivierungsschicht zur Systemwirksamkeit der Oberflächenabdichtung wird die Geltung der Eignungsbeurteilung auf Standorte begrenzt, an denen eine jährliche Niederschlagssumme von 1.200 mm/a im langjährigen Mittel (30 Jahre) nicht überschritten wird.

Diese Eignungsbeurteilung berührt nicht die zukünftige Anforderungen der Deponieverordnung (Inkrafttreten 16.7.2009) Anhang 1 Nr. 2.3, dass bei Deponien mit Oberflächenabdichtungssystemen ohne Konvektionssperre ein Kontrollfeld von wenigstens 300 m<sup>2</sup> an repräsentativer Stelle einzurichten ist, mit dem der Durchfluss durch das Oberflächenabdichtungssystem bis zum Ende der Nachsorgephase zu bestimmen ist.

## **2 Entwurf und Bemessung**

Das BND-System wird auf einem tragfähigen Planum errichtet. Hierfür ist eine Ausgleichsschicht in ausreichender Mächtigkeit aufzubringen, die eine ausreichende Tragfähigkeit für die Verdichtung der mineralischen Dichtungsschichten aufweist.

Das BND-System besteht aus folgenden Systemkomponenten:

- Mineralische Dichtungsschicht ( $\geq 100$  cm)
- Entwässerungsschicht ( $\geq 20$  cm) ggf. mit Dränagerohren
- Rekultivierungsschicht ( $\geq 130$  cm)

### **2.1 Ausgleichsschicht**

Vor dem Einbau der verdichteten Schichten ist die Deponieoberfläche zu egalisieren und mit einer verdichtet aufgetragenen mineralischen Ausgleichsschicht in ausreichender Stärke (mindestens 20 cm) zu überdecken. Dabei ist eine ausreichende Tragfähigkeit zu gewährleisten. Anforderungen an die Gaswegsamkeit bleiben unberührt.

### **2.2 Mineralische Dichtungsschicht**

Die mineralische Dichtungsschicht besteht aus 4 Lagen à 25 cm verdichtet eingebautem, bindigem Material.

Der k-Wert der gesamten mineralischen Dichtungsschicht wird als harmonisches Mittel der vier Einzellagen bestimmt und darf  $1 \cdot 10^{-9}$  m/s mit dem hierfür erforderlichen Verdichtungsgrad nicht überschreiten. Die k-Werte der Einzellagen werden jeweils als arithmetisches Mittel der Einzelmessungen bestimmt. Jede Einzellage darf an keiner Stelle den Wert von  $5 \cdot 10^{-9}$  m/s überschreiten.

### **2.3 Entwässerungsschicht**

Die Entwässerungsschicht wird in einer Stärke von mindestens 20 cm aufgebracht. Je nach Gestaltung des Einzelfalles (Niederschlagsstärke, Abschlagslängen, Böschungsneigung) sind größere Stärken erforderlich, um die nötige hydraulische Leistungsfähigkeit der Entwässerungsschicht zu gewährleisten. Die Dränageleistung kann bei Bedarf durch das Einlegen von Dränagerohren unterstützt werden.

### **2.4 Rekultivierungsschicht**

Der Rekultivierungsboden wird in einer Mächtigkeit von mindestens 1,15 m aufgebracht und mit 15 cm humushaltigem Oberboden überdeckt. Steht geeigneter Oberboden nicht in ausreichenden Mengen zur Verfügung, so kann durch geeignete Maßnahmen (z.B. Kompost, Kalk und Volldünger) verbesserter kulturfähiger Boden aufgebracht werden. Der Rekultivierungsboden und der Oberboden werden locker und ohne Verdichtungen (z. B. kein Überfahren mit schweren Geräten) aufgebracht.

Die Mindestdicke der Rekultivierungsschicht von 1,30 m ist nach Abklingen ggf. zu erwartender Sackungen einzuhalten. Beim Einbau ist deshalb eine entsprechende Sackungsreserve vorzusehen. Die fertig gestellte Rekultivierungsschicht muss ein hohes Wasserrückhaltevermögen aufweisen, um die Wasserhaushaltsfunktionen erfüllen zu können. Die nutzbare Feldkapazität soll wenigstens 200 mm, bezogen auf die Gesamtdicke der Rekultivierungsschicht, betragen. Im Übrigen sind für die Anforderungen an die Rekultivierungsschicht die Vorgaben der Deponieverordnung zu beachten. Auf der Oberfläche ist eine standortgerechte Gras-Kraut-Vegetation zu begründen und zu erhalten. Tiefwurzelnde Pflanzen sind regelmäßig zu entfernen.

Die Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht von mindestens 1,30 m bezieht sich auf das Rekultivierungsziel ‚Grünland‘ mit Gras-Kraut-Vegetation. Sofern das Rekultivierungsziel aus flach wurzelnden Gehölzen und Sträuchern (z.B. Niederwaldkultur) besteht, ist die Rekultivierungsschicht mit mindestens 2,00 m anzusetzen.

## **2.5 Konstruktive Gestaltung von Details**

Da die Oberflächenabdichtung nach dem BND-System von fach- und erdbautechnisch versierten Firmen herzustellen ist, sind an konstruktive Details wie Anschlüsse, Durchdringungen und Wasserfassungen keine besonderen, von der üblichen Praxis abweichende Anforderungen zu stellen.

## **3 Nachweis der Leistungsfähigkeit**

Der Nachweis der Leistungsfähigkeit wird durch nachfolgende Anforderungen beschrieben.

### **3.1 Dichtigkeit**

#### **Einzelwirksamkeit der Rekultivierungsschicht**

Die Wirksamkeit der Rekultivierungsschicht hängt von den meteorologischen Randbedingungen des Standortes und des jeweiligen Wasserwirtschaftsjahres ab. Unter den Randbedingungen des Standortes Castrop-Rauxel und im Zeitraum zwischen 1999 und 2008 ergab sich durch Verdunstung eine Reduzierung der Sickerwassermenge in der Rekultivierungsschicht von 63,9 % des Gesamtniederschlages.

#### **Einzelwirksamkeit der mineralischen Dichtungsschicht**

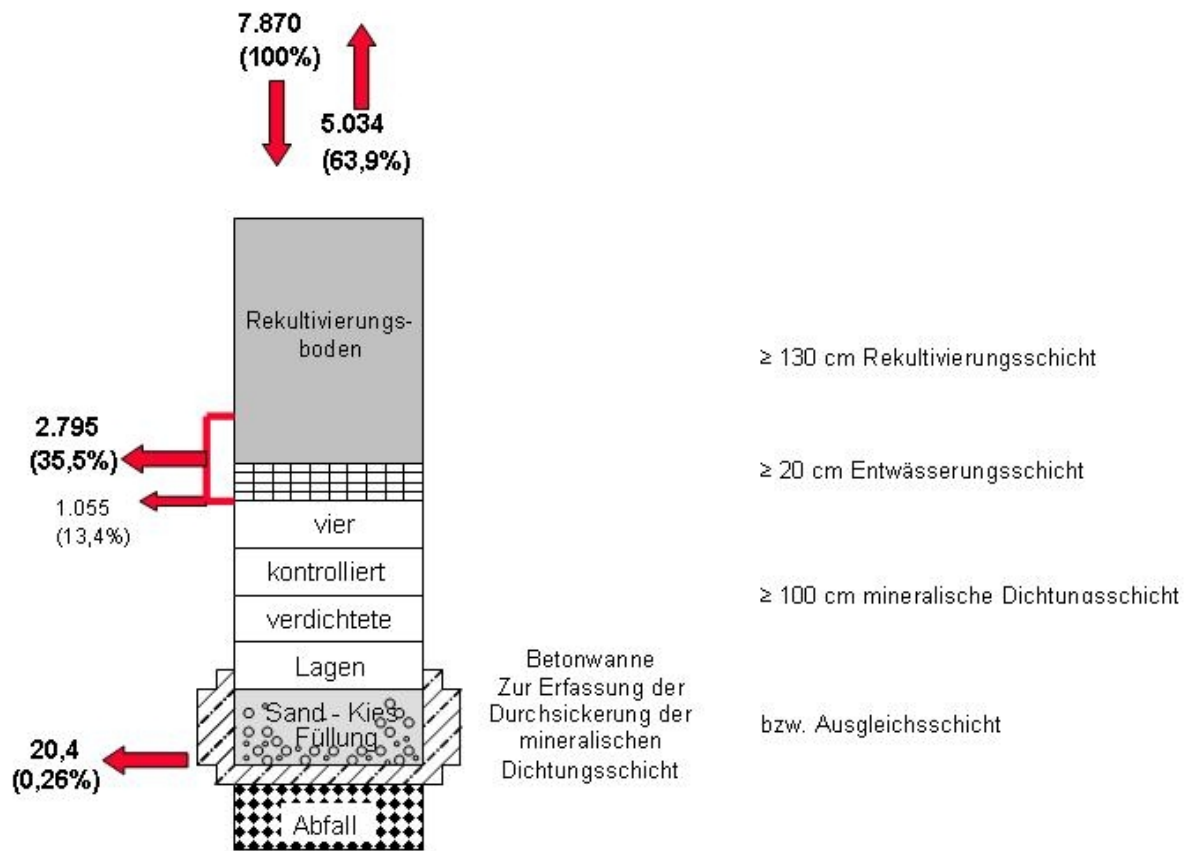
Durch die Anforderung an den mittleren k-Wert (harmonisches Mittel) der gesamten mineralischen Dichtungsschicht ergibt sich eine rechnerische Durchsickerungsrate bei einem dauernden hydrostatischen Überdruck von 0,3 m zu:

$$q = \frac{1,0 + 0,3}{1,0} \cdot 1 \cdot 10^{-9} = 1,3 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ s}$$

#### **Systemwirksamkeit**

Die Systemwirksamkeit der Kombination von Rekultivierungsschicht, Entwässerungsschicht und mineralischer Dichtungsschicht kann nicht deterministisch abgeleitet werden. Sie lässt sich aber anhand der im Zeitraum von 1999 bis 2008 angestellten Untersuchungen an der Zentraldeponie Castrop-Rauxel quantifizieren.

Die im Beobachtungszeitraum 09/1999 – 10/2008 registrierte Durchsickerung durch die mineralische Dichtung war gering. Die Gesamtmenge betrug 20,4 l/m<sup>2</sup> und entspricht rechnerisch 0,26% des Niederschlages bzw. einer Durchsickerungsrate von 2,3 mm/a oder  $7,2 \cdot 10^{-11}$  m/s, der durch das System gesickert ist (siehe Abbildung 2 und Tabelle 1). Die maximale jährliche Durchsickerung betrug im Wasserwirtschaftsjahr 2005 3,9 l/m<sup>2</sup> (mm) (siehe Tabelle 1).



**Abbildung 2** Profil der Boden-Natur-Dichtung und Wasserbilanzgrößen (in mm) für den Zeitraum vom 04.09.1999 bis 31.10.2008

**Tabelle 1** Abfluss bzw. Durchsickerung in l/m<sup>2</sup> sowie in % des Niederschlags für den Zeitraum vom 04.09.1999 bis 31.10.2008

Feldversuch Zeitraum	Durchsickerung mineralische Dichtung		Abfluss aus der Oberflächen- drainage		Niederschlag [mm]
	[l/m <sup>2</sup> ]	[%]	[l/m <sup>2</sup> ]	[%]	
04.09. - 31.10.1999	1,28	1,03	0,24	0,19	124,1
01.11.1999 - 30.04.2000	0,46	0,09	6,38	1,24	516,0
01.05. - 31.10.2000	0,73	0,14	4,77	0,92	516,0
01.11.2000 - 30.04.2001	0,51	0,13	50,87	13,07	389,1
01.05. - 31.10.2001	0,88	0,24	2,33	0,65	358,4
01.11.2001 - 30.04.2002	0,25	0,05	199,84	38,67	516,7
01.05. - 31.10.2002	0,84	0,20	22,41	5,44	411,8
01.11.2002 - 30.04.2003	0,21	0,05	207,02	50,55	409,5
01.05. - 31.10.2003	1,01	0,24	4,96	1,19	417,9

01.11.2003 - 30.04.2004	0,69	0,17	157,79	39,63	398,1
01.05. - 31.10.2004	2,09	0,45	3,24	0,70	460,6
01.11.2004 - 30.04.2005	1,92	0,45	88,06	20,67	426,0
01.05. - 31.10.2005	1,97	0,54	0,00	0,00	365,4
01.11.2005 - 30.04.2006	1,33	0,41	55,23	17,07	323,6
01.05. - 31.10.2006	1,82	0,48	6,77	1,77	381,5
01.11.2006 - 30.04.2007	1,11	0,23	141,66	29,92	473,5
01.05. - 31.10.2007	1,10	0,20	36,47	6,66	547,5
01.11.2007 - 30.04.2008	0,94	0,23	66,86	16,34	409,3
01.05. - 31.10.2008	1,26	0,30	0,19	0,04	424,6
<b>Summe</b>	<b>20,40</b>	<b>0,26</b>	<b>1055,09</b>	<b>13,41</b>	<b>7869,6</b>

Die Durchsickerung der mineralischen Dichtungsschicht lässt sich im Gesamtbeobachtungszeitraum in vier Phasen einteilen (siehe Abbildung 3). Die erste Phase reicht von September bis Dezember 1999. In dieser „Kompressionsphase“ ist der relativ hohe Abfluss auf die einbaubedingte Kompression der Dichtschicht durch die aufliegende Rekultivierungsschicht zurückzuführen. Das überschüssige Wasser wird aus der kontrolliert verdichteten Schicht nach unten gedrückt (siehe Zepp & Hennig 2002-2). Die zweite Abflussphase beginnt im Januar 2000 und endet 2003. Sie ist gekennzeichnet durch einen periodischen Verlauf der Durchsickerungen mit einem Maximum im Sommer und einem Minimum im Winter. In der dritten Phase (April 2004 bis Oktober 2006) kommt es zu einer geringen Erhöhung der Abflüsse gegenüber der zweiten Phase. Die monatlichen Abflusssummen bewegen sich zwischen April 2004 und Oktober 2006 zwischen 0,142 und 0,406 mm. Der periodische Verlauf der Durchsickerung ist weniger stark ausgeprägt als in der vorherigen Phase. In der vierten Phase (ab November 2006) kommt es gegenüber der dritten Phase wieder zu einer Abnahme der monatlichen Betonwannenabflüsse.

Über die Kippzähler der Oberflächendrainage wurden im Beobachtungszeitraum September 1999 bis Oktober 2008 insgesamt 1055 mm Bodenwasser abgeführt – dies entspricht 13,4% des Gesamtniederschlages von 7.870 mm im Beobachtungszeitraum (siehe Abbildung 2). Der Abfluss aus der Entwässerungsschicht macht einen Teil des gesamten lateralen Abflusses oberhalb der kontrolliert verdichteten Schicht aus; zusätzliches Wasser verlässt in seitlicher Richtung den Boden oberhalb der Entwässerungsschicht.

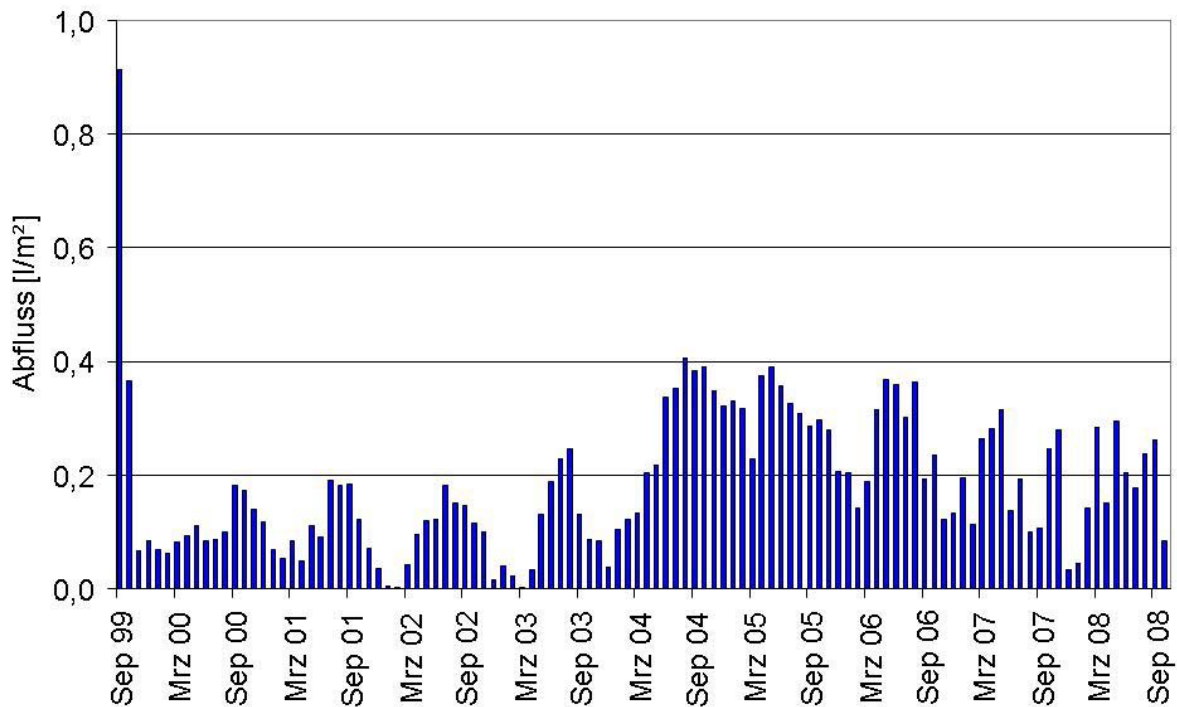


Abbildung 3      **Monatliche Durchsickerung [l/m<sup>2</sup>] der mineralischen Dichtungsschicht für den Zeitraum vom 04.09.1999 bis 31.10.2008**

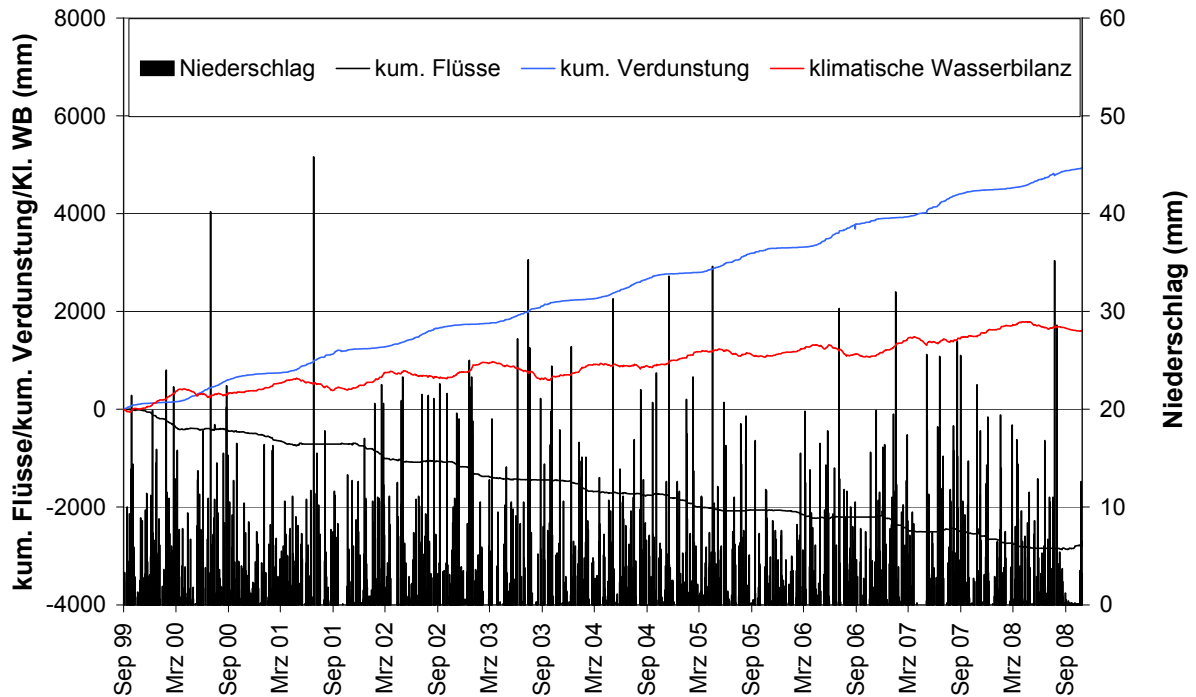
### **Bilanzierungsergebnisse zum Wasserhaushalt**

Eine Bestimmung der Wasserhaushaltsgrößen für das Oberflächenabdichtungssystem, die nicht gemessen worden sind, erfolgte über ein kombiniertes Klimatisches Wasserbilanz-/ Wasserscheiden-Verfahren.

In Tabelle 2 und Abbildung 2 und 4 sind die wichtigsten Wasserhaushaltsgrößen aufgeführt.

**Tabelle 2 Wasserbilanzgrößen nach der kombinierten Klimatische Wasserbilanz-/Wasserscheiden - Methode und gemessener Durchsickerung der mineralischen Dichtungsschicht für den Zeitraum vom 04.09.1999 bis 31.10.2008**

Feldversuch Zeitraum	Niederschlag [mm]	Verdunstung (exp.) [mm]	Niederschlag abzg. Verdunstung (exp.) [mm]	Lateraler Fluss berechnet [mm]	Durchsickerung mineralische Dichtung [mm]
04.09. - 31.10.99	124,1	107,4	16,7	-8,6	-1,3
01.11.99 - 30.04.00	516,0	160,2	355,8	-381,1	-0,5
01.05. - 31.10.00	516,0	421,4	94,6	-87,6	-0,7
01.11.00 - 30.04.01	389,1	125,8	263,3	-263,3	-0,5
01.05. - 31.10.01	358,4	403,4	-45,0	34,6	-0,9
01.11.01 - 30.04.02	516,7	145,3	371,4	-350,5	-0,3
01.05. - 31.10.02	411,8	353,2	58,6	-36,6	-0,8
01.11.02 - 30.04.03	409,5	114,7	294,8	-331,7	-0,2
01.05. - 31.10.03	417,9	368,6	49,4	-29,0	-1,0
01.11.03 - 30.04.04	398,1	151,9	246,2	-257,7	-0,7
01.05. - 31.10.04	460,6	406,5	54,1	-34,9	-2,1
01.11.04 - 30.04.05	426,0	131,2	294,8	-302,3	-1,9
01.05. - 31.10.05	365,4	390,5	-25,1	-13,9	-2,0
01.11.05 - 30.04.06	323,6	110,0	213,6	-165,1	-1,3
01.05. - 31.10.06	381,5	466,2	-84,7	25,7	-1,8
01.11.06 - 30.04.07	473,5	157,9	315,6	-303,2	-1,1
01.05. - 31.10.07	547,5	457,3	90,2	-36,9	-1,1
01.11.07 - 30.04.08	409,3	138,1	271,2	-267,9	-0,9
01.05. - 31.10.08	424,6	424,1	0,5	0,9	-1,3
<b>04.09.99 - 30.04.08</b>	<b>7.870</b>	<b>5.034</b>	<b>2.836</b>	<b>-2.809</b>	<b>-20,4</b>



**Abbildung 4** Tagesniederschlag (mm), kumulierte Bodenwasser-Flüsse (mm), kumulierte Verdunstung (mm) und Klimatische Wasserbilanz (mm) aus dem Feldversuch für den Zeitraum vom 04.09.1999 bis 31.10.2008

#### Bilanzierungsergebnisse für laterale Abflüsse

In Tabelle 3 sind wichtige Wasserhaushaltsgrößen des Feldversuches den gemessenen lateralen Abflüssen gegenübergestellt. Beim Feldversuch besteht seit dem Messbeginn im Winterhalbjahr 2001/02 bis einschließlich des hydrologischen Sommerhalbjahres 2003 eine gute Übereinstimmung zwischen dem vor Ort gemessenen und dem für über das Wasserscheiden-/Wasserbilanzverfahren ermittelten lateralen Abfluss. Der Unterschied betrug 9,6 mm in 24 Monaten. Anschließend öffnete sich bis zum Abschluss des Sommerhalbjahres 2006 eine Schere zugunsten der gemessenen Abflüsse.

Im hydrologischen Winterhalbjahr 2006/07 und 2007/08 wurde beim Feldversuch ein höherer lateraler Abfluss berechnet als gemessen. Dies ist damit zu erklären, dass die zu verwendeten Haude-Monatskoeffizienten im Winterhalbjahr zu niedrig waren, um die mittleren phänologischen Verhältnisse einer Wachstumspause der Grasvegetation widerzuspiegeln. Die Witterung hatte aber eventuell eine höhere Transpirationsleistung bewirkt. Da diese wegen der niedrigen Haude-Koeffizienten nicht berechnet wurden, musste rechnerisch der laterale Fluss höher ausfallen. Er bildete das Restglied des Berechnungsverfahrens. Im Sommerhalbjahr 2007 kehrte sich diese Beobachtung um. Es wurde ein höherer Abfluss gemessen als berechnet. Dies war damit zu erklären, dass aufgrund der verwendeten Haude-Koeffizienten, die im Sommer höher als im Winter waren, eine größere Verdunstung berechnet wurde, und der berechnete laterale Abfluss als Restglied zu klein ausfiel.

Für den gesamten Versuchszeitraum ergab sich eine Differenz zwischen gemessenen und berechneten Abfluss von ca. 120 mm beim Feldversuch; entsprechend übertraf der gemessene den berechneten um +4,9%.

**Tabelle 3 Wasserbilanzgrößen (Zeitraum: 01.11.2001 – 31.10.2008) des Feldversuches**

<b>Feldversuch Zeitraum</b>	<b>Niederschlag N [mm]</b>	<b>Verdunstung (exp.) [mm]</b>	<b>berechneter lateraler Fluss [mm]</b>	<b>gemessener lateraler Fluss [mm]</b>
01.11.2001-30.04.2002	516,7	145,3	350,5	339,8
01.05.-31.10.2002	411,8	353,2	36,6	35,1
01.11.2002-30.04.2003	409,5	114,7	331,7	357,3
01.05.-31.10.2003	417,9	368,6	29,0	6,0
01.11.2003-30.04.2004	398,1	151,9	257,7	327,3
01.05.-31.10.2004	460,6	406,5	34,9	25,3
01.11.2004-30.04.2005	426,0	131,2	302,3	325,6
01.05.-31.10.2005	365,4	390,5	13,9	8,3
01.11.2005-30.04.2006	323,6	110,0	165,1	210,5
01.05.-31.10.2006	381,5	466,2	-25,7	12,0
01.11.2006-30.04.2007	473,5	157,9	303,2	272,3
01.05.-31.10.07	547,5	457,3	36,9	74,7
01.11.2007-30.04.08	409,3	138,1	267,9	226,1
01.05.-31.10.08	424,6	424,1	-0,9	0,8
<b>01.11.2001-31.10.2008</b>	<b>5.966</b>	<b>3.815</b>	<b>2.103</b>	<b>2.221</b>

### 3.2 Standsicherheit

Standsicherheitsberechnungen für Böschungen haben für die bei dem Feldversuch verwendeten Materialien ergeben, dass die Standsicherheit für Böschungen unter 20° (1:2,7) gewährleistet ist. Diese Angabe stellt einen Anhaltswert dar und ersetzt in keinem Fall Bau begleitende Bestimmungen und Beurteilungen der Standsicherheit. Bei steifer oder halbfester Konsistenz ist eine Neigung von 25° zulässig [11].

### 3.3 Verformbarkeit

Die Planung der Bauausführung des BND-Systems erfolgt nach den gleichen Grundsätzen, wie sie auch für das Oberflächenabdichtungssystem mit einer konventionellen Kombinationsabdichtung für Deponien der Klasse II nach DepV gelten. Auflastbedingte Verformungen und Setzungen des Dichtungsauflegers dürfen die Funktionstüchtigkeit des BND-Systems nicht beeinträchtigen.

Nach dem derzeitigen Kenntnisstand kann ein entsprechender Nachweis entfallen, wenn bei mindestens mittelplastischem feinkörnigen Boden der zu erwartende Krümmungsradius den Wert von  $R = 200$  m nicht unterschreitet.

Aufgrund dieser Randbedingungen ist vor Aufbringung der Boden-Natur-Dichtung anhand einer Setzungsprognose und Verformungsbetrachtung am bestehenden Deponiekörper nachzuweisen, dass

die Formstabilität der Oberflächenabdichtung gewährleistet ist. Bei der Verformungsbetrachtung ist zu berücksichtigen, dass die Krümmungsradien für das Oberflächenabdichtungssystem unschädlich sind.

### **3.4 Hydraulische Widerstandsfähigkeit**

Das BND-System weist gegenüber konventionellen, mineralischen Dichtungsschichten keine relevanten Unterschiede auf.

### **3.5 Langzeitbeständigkeit**

Der Feldversuch mit den Untersuchungen zur Funktionsfähigkeit des BND-Systems ist in 1998 eingerichtet worden. Die wissenschaftlichen Untersuchungen von 1999 bis 2008 sind mit dem Berichtswesen des Geographischen Instituts der Ruhr-Universität Bochum [1] bis [9] dokumentiert worden.

Die mineralischen Bestandteile der Boden-Natur-Dichtung erscheinen aus Analogiebetrachtungen heraus dauerhaft beständig. Das Gefüge der mineralischen Dichtungsschicht und der Rekultivierungsschicht ist grundsätzlich den gleichen gefügebildenden Faktoren unterworfen wie jeder natürliche Boden. Hier sind insbesondere Belastungen aus der Veränderung des Wassergehaltes und der damit einhergehenden Wasserspannungen kritisch zu betrachten.

Die Untersuchungen zeigen aber, dass in den bislang 9 Jahren der Beobachtung keine Wasserspannungen festgestellt werden konnten, die das Gefüge der mineralischen Dichtung negativ beeinträchtigen könnten. Dies gilt auch für die beiden überdurchschnittlich trockenen und warmen Sommer 2001 und 2003 (siehe Abbildung 5).

Es ist deshalb mit großer Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass auch zukünftig zu erwartende Sommerperioden mit hoher Temperatur und geringen Niederschlägen nicht dazu führen, dass hohe Wasserspannungen eine nachteilige Veränderung des Gefüges der mineralischen Dichtungsschicht und damit Einbußen in der Dichtungswirkung auslösen.

*siehe auch 3.9*

### **3.6 Beständigkeit gegen Niederschlagswasser**

Das BND-System weist gegenüber konventionellen, mineralischen Dichtungsschichten keine relevanten Unterschiede auf.

### **3.7 Beständigkeit gegen Mikroorganismen**

Das BND-System weist gegenüber konventionellen, mineralischen Dichtungsschichten keine relevanten Unterschiede auf.

### **3.8 Beständigkeit gegenüber Pflanzenwurzeln**

Da das Abdichtungssystem wurzelbeständig sein soll, muss eine Durchwurzelung der mineralischen Dichtungsschichten ausgeschlossen werden. Dazu ist die Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht an das Rekultivierungsziel anzupassen.

Bei der vorliegenden Eignungsbeurteilung zum BND-System beträgt die Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht

- 1,30 m bei Grünland-Nutzung mit Gras-Kraut-Vegetation und
- 2,00 m bei forstlicher Nutzung mit flach wurzelnden Gehölzen (Niederwaldkultur)

Die Auswahl der flach wurzelnden Sträucher und Gehölze ist so vorzunehmen, dass die Entwässerungsschicht und die mineralische Dichtungsschicht nicht von den Wurzeln in ihrer Funktion beeinträchtigt werden.

### **3.9 Beständigkeit gegen Wassergehaltsänderungen (Austrocknung)**

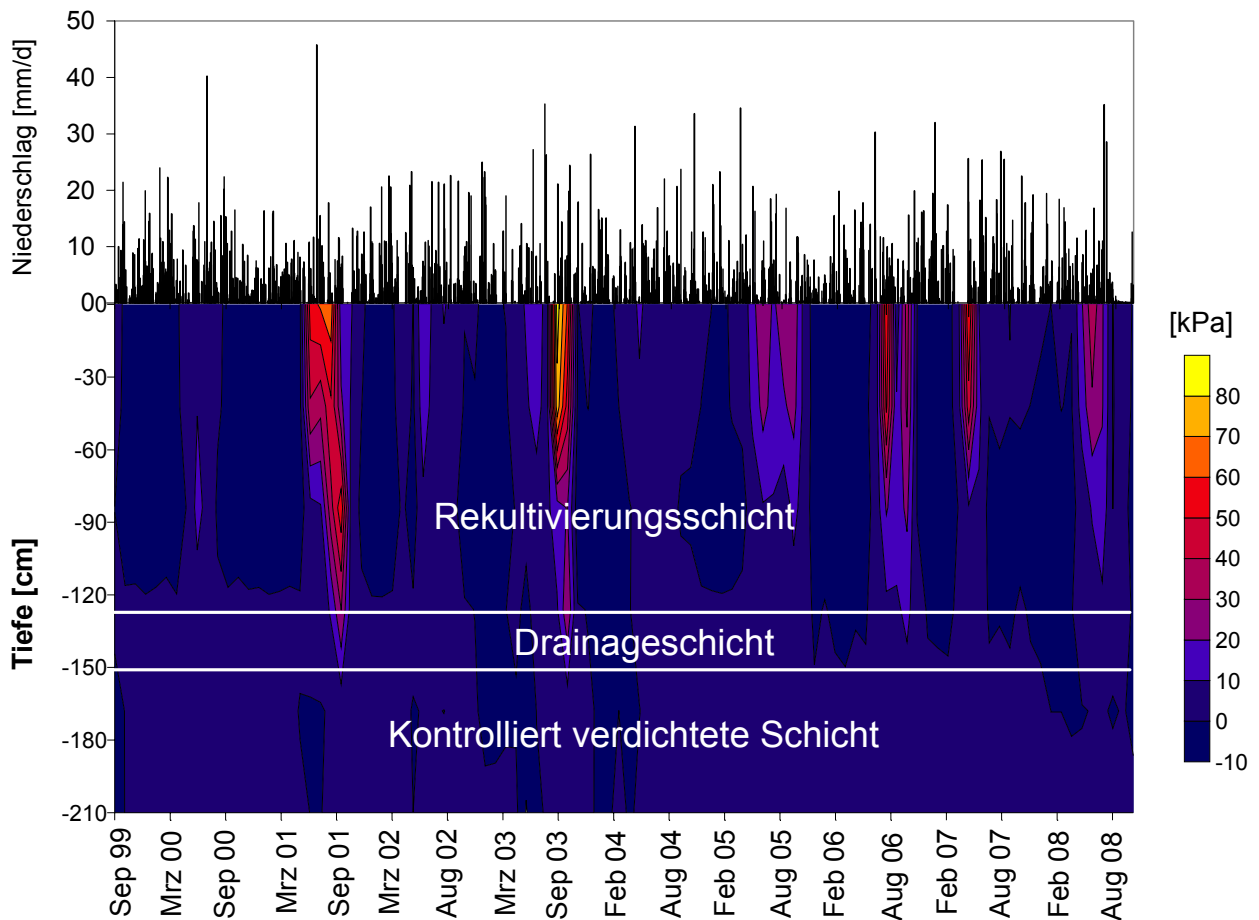
Der Schutz der mineralischen Dichtungsschichten vor Austrocknungsschäden wird im Wesentlichen durch die Mächtigkeit und das Wasserspeichervermögen der Rekultivierungsschicht erzielt. Begleitend trägt die Entwässerungsschicht durch ihre kapillarbrechende Wirkung und die Begrenzung des konvektiven Wasserdampftransports zu diesem Schutz bei.

Der Schutz gegen Wassergehaltsänderungen lässt sich anhand der Untersuchungsergebnisse am Standort der Zentraldeponie Castrop-Rauxel dokumentieren.

Im Beobachtungszeitraum 04.09.1999 – 31.10.2008 war eine fast lückenlose stündliche Erfassung der Messdaten möglich. Aufgrund von Defekten am Logger bzw. Laptop liegen an 145 Tagen von den insgesamt 3.345 Versuchstagen keine Daten vor.

Die Änderungen der Wasserspannungen über die Tiefe des Bodenaufbaus werden für den Zeitraum September 1999 bis Oktober 2008 in IsoPLEthen-Diagrammen (siehe Abbildung 5) dargestellt. Beim Feldversuch wurde ein jahrestypischer Verlauf der Wasserspannungen wiedergespiegelt. In den Winterhalbjahren liegen die Wasserspannungen in allen Messtiefen im Bereich der Wassersättigung. Der Beginn der Vegetationsperiode wird in jedem Jahr durch eine über die Tiefe zeitlich versetzte Abtrocknung des Bodens gekennzeichnet.

Beim Feldversuch dient die zwischen Rekultivierungsboden und der kontrolliert verdichteten Schichten eingebaute Entwässerungsschicht, die im Vergleich zu dem restlichen verwendeten Materialien einen sehr hohen Durchlässigkeitsbeiwert hat, als Barriere für den aufwärtsgerichteten Wasserfluss aus der kontrolliert verdichteten Schicht. Somit kommt es in den Tiefen von 150 – 210 cm zu keinen nennenswerten Wasserspannungsänderungen. Die Messwerte lagen in der mineralischen Dichtungsschicht dauerhaft um den Sättigungspunkt (siehe Abbildung 5). Die im gesamten Versuchszeitraum in der mineralischen Dichtungsschicht gemessenen maximalen Wasserspannungen betragen an der Oberkante in 150 cm Tiefe 6,4 kPa (im Oktober). Damit liegen die maximalen Wasserspannungen, die nur vereinzelt und kurzzeitig erreicht werden, deutlich unter den für eine Schrumpfrissbildung als kritisch geltenden Werten von 20-50 kPa.



**Abbildung 5** Wasserverspannung (kPa) über die Tiefe (30 – 210 cm) und Tagesniederschlag(mm) beim Feldversuch im Zeitraum 04.09.1999 – 31.10.2008

Die Gefahr der Schrumpfrissbildung in der mineralischen Dichtungsschicht in Folge von Austrocknungsprozessen kann daher mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.

### 3.10 Beständigkeit gegenüber Deponiegas

Das BND-System weist gegenüber konventionellen, mineralischen Dichtungsschichten keine relevanten Unterschiede auf.

### 3.11 Herstellbarkeit

Das BND-System weist gegenüber konventionellen, mineralischen Dichtungsschichten keine relevanten Unterschiede auf.

## 4 Anforderungen an Material und Bauausführung

### 4.1 Materialanforderungen

#### Mineralische Dichtungsschicht

Die mineralischen Dichtungsschichten sind aus verdichtungsfähigem natürlichem, bindigem Boden auf der Ausgleichsschicht aufzubauen. Die Körnung des Bodens soll sich in der durch die Abbildung 6 vorgegebenen Bandbreite bewegen. Es darf kein stark quellfähiges Material verwendet werden. Wenn Lößlehm verwendet wird, ist sichergestellt, dass keine stark quellfähigen Tone vorkommen. Ein Sandanteil ist grundsätzlich als positiv im Hinblick auf die Verdichtungsfähigkeit des Materials zu bewerten. Der Steingehalt (Körnung > 2 mm) darf 5% nicht übersteigen. Die Eignung anderer Substrattypen mit ähnlichen Eigenschaften wie Lößlehm muss zuvor durch Eignungsprüfungen nachgewiesen werden. Die Obergrenze für den Tongehalt gilt auch für diese Substrate.

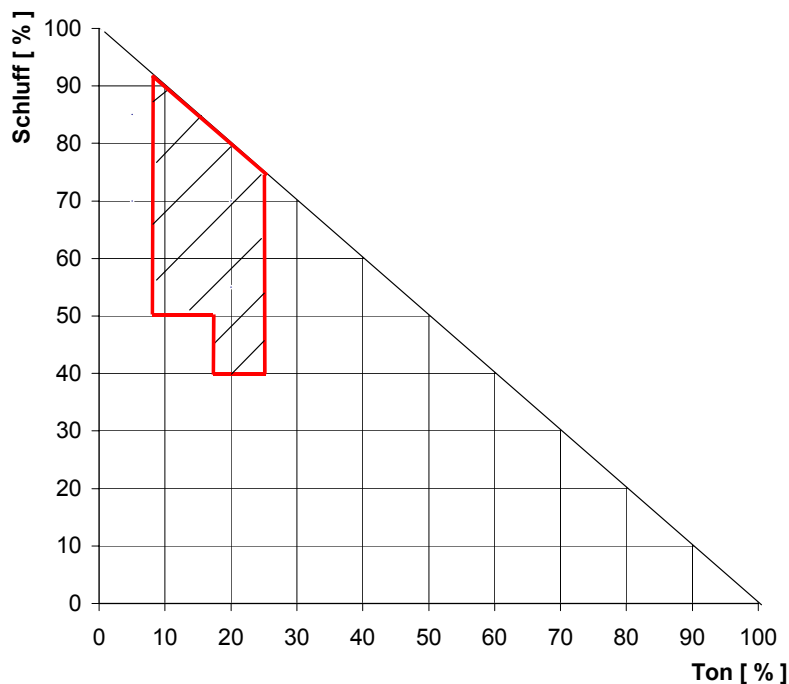


Abbildung 6 Zulässiger Körnungsbereich für die mineralische Dichtungsschicht

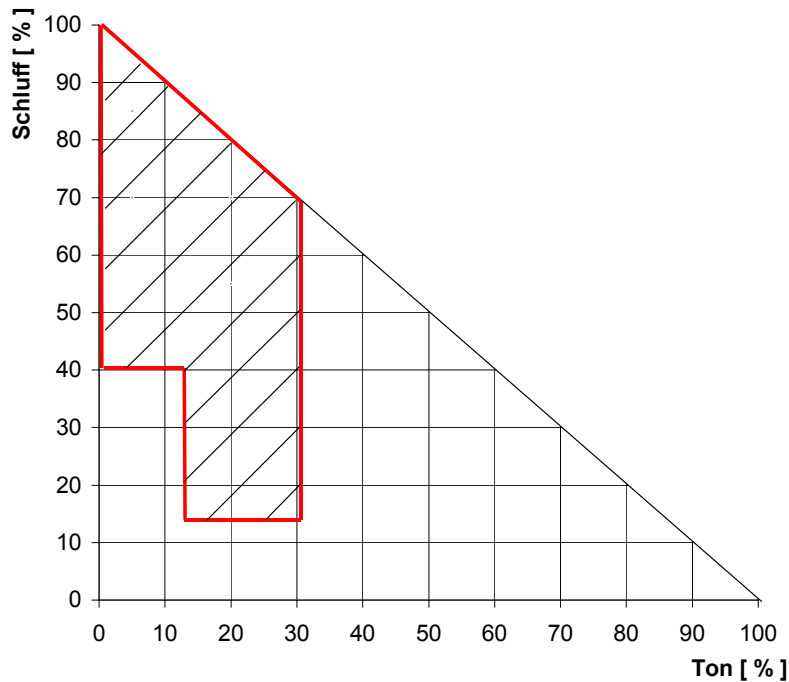
#### Entwässerungsschicht

Das Material der Entwässerungsschicht soll aus einem Material mit der Körnung 0/8 mm bestehen. Die Körnung wird bei der Eignungsprüfung der Materialien nachgewiesen.

Alternativ zum Schmelzkammergranulat kann ein anderes langzeitbeständiges Filtermaterial nach Vorlage des entsprechenden Eignungsnachweises eingesetzt werden. Das Material soll nach dem Einbau eine Wasserleitfähigkeit (k-Wert) von  $\geq 10^{-3}$  m/s aufweisen.

### Rekultivierungsschicht

Die zulässige Körnung ist in der Abbildung 7 definiert. Der Steingehalt (Körnung > 2 mm) darf 15% nicht übersteigen.



**Abbildung 7** Zulässiger Körnungsbereich für die Rekultivierungsschicht

## 4.2 Einbauverfahren

Der lagenweise Einbau der Materialien der Boden-Natur-Dichtung erfolgt mit Verfahren des konventionellen Erdbaus. Die Einbauanforderungen an Oberflächendichtungen mit dem BND-System werden für das Probefeld und den flächenhaften Dichtungsbau einschließlich der erforderlichen Prüfumfänge im Qualitätssicherungsplan dargelegt.

Beim erdbautechnischen Einbau unterscheiden sich die Systemkomponenten hinsichtlich der Verdichtung.

- Mit Verdichtung werden die einlagige Ausgleichsschicht und die vierlagige mineralische Dichtungsschicht eingebaut. Als Verdichtungsgeräte kommen Schafffußwalzen und Glattmantelwalzen ggf. mit Vibration in Betracht, die ihre Arbeit durch mehrmaliges Befahren verrichten. Die Anzahl der Überfahrten wird im Probefeld ermittelt und im Qualitätssicherungsplan festgeschrieben.
- Ohne Verdichtung werden die Entwässerungsschicht und die Rekultivierungsschicht in sogenannter Vor-Kopf-Schüttung eingebaut. Beim Material der Entwässerungsschicht wird

damit die Kornform für die Filterstabilität aufrecht erhalten. Bei der Rekultivierungsschicht soll durch den Einbau in lockerer Lagerung bewirkt werden, dass eine aerobe Optimierung des nutzbaren Wurzelraumes erfolgt.

Das Einbauverfahren soll sicherstellen, dass die Systemkomponenten im eingebauten Zustand homogen sind und die geforderten bodenmechanischen und geometrischen Anforderungen erfüllen. Zwischen den einzelnen Dichtungslagen ist ein inniger Verbund mit einer guten Verzahnung herzustellen. Vor dem Aufbringen der jeweils nächsten Lage ist sicherzustellen, dass sich in der zuvor aufgetragenen Lage keine sichtbaren Trockenrisse gebildet haben. Erforderlichenfalls muss die zuletzt aufgetragene Schicht befeuchtet und nachverdichtet werden. Die mineralische Dichtung soll einen gleichmäßigen Einbauwassergehalt aufweisen und die Oberfläche soll glatt und profilgerecht für die Aufbringung der Entwässerungsschicht sein.

### **4.3 Bauausführung**

Für den flächenhaften Dichtungseinbau gelten folgende Anforderungen:

Die Herstellung darf nicht bei Wetterlagen erfolgen, die einer Einhaltung der Anforderungen an die eingebaute Dichtung (Scherfestigkeit, Durchlässigkeitsbeiwert) entgegenstehen, wie z. B. Frostwetterlagen und ergiebige Regenfälle.

Kippstellen für den Materialumschlag sind so herzustellen, dass ein Durchmischen mit Fremdbestandteilen vermieden wird.

Randbereiche der hergestellten Dichtung nach dem BND-System an Baufeldgrenzen sind gegen Austrocknung oder andere schädliche Einwirkungen zu schützen.

Seitliche Anschlüsse von neuen Dichtungsabschnitten an bereits bestehende sind so herzustellen, dass zunächst der Endbereich der bestehenden Dichtung um 0,5 m rückgebaut wird. Danach wird abschnittsweise jede Lage der bestehenden Dichtung um diese 0,5 m rückgebaut und stufenweise die entsprechende neue Dichtungslage angeschlossen. Das gleiche Verfahren gilt für den seitlichen Anschluss sowie bei der Reparatur von örtlichen Fehlstellen nach Ausbau von mangelhaften Dichtungsbereichen.

Schürfe, Probenahmestellen und Sondieröffnungen in dem BND-System sind so zu verschließen, dass die flächig geforderte Einbauqualität mindestens erreicht wird.

## **5 Pflege, Bewirtschaftung und Nutzung der fertig gestellten Oberfläche**

### **5.1 Allgemeines**

Die Boden-Natur-Dichtung soll auf einem ehemaligen Deponiestandort die Wiederherstellung der Kulturlandschaft und dauerhafte Sicherung ihrer Funktion gewährleisten.

### **5.2 Rekultivierung mit Gras-Kraut-Vegetation**

Durch fachgerechte Pflege, Bewirtschaftung und Nutzung soll eine langfristig stabile Gras-Kraut-Vegetation etabliert werden. Die Grünflächen sind je nach Aufwuchs i. d. R. zweimal pro Jahr zu mähen und zu mulchen. Dieses erfolgt unter Berücksichtigung der Entwicklung der Pflanzengesellschaft und des Wasserverbrauchs (Evapotranspiration).

### **5.3 Besondere Anforderungen bei der forstwirtschaftlicher Nutzung**

Die mit Jungpflanzen bestockten Flächen sind bei Bedarf frei zu schneiden, um die ungestörte Entwicklung der Gehölze sicherzustellen. Beispielsweise müssen Goldrute und Staudenknöterich in den ersten Jahren zurückgedrängt werden. Das Auf-den-Stock-setzen erfolgt erstmalig nach 15-20 Jahren, danach ca. alle 15 Jahre. Bis zu diesem Zeitpunkt sollten tief wurzelnde Gehölze, die spontan auftreten können, entfernt werden.

## 6 Qualitätsmanagement

Mit Durchführung der Baumaßnahme sollten Firmen beauftragt werden, die über einschlägige Erfahrungen im Erdbau und Kulturbau verfügen.

Zur Qualitätssicherung bei der Herstellung und Aufbringung des BND-Systems ist ein Qualitätssicherungsplan aufzustellen. Darin sind die kontrollierenden Aufgaben der Eigen- und Fremdüberwachung sowie die Anforderungen an die Auswahl, Lagerung und Einbau der Materialien festzulegen.

### 6.1 Eignungsprüfung der Materialien

Die Eignungsnachweise (DIN-Verfahren) vor dem Einbau müssen enthalten:

- a) kontrolliert verdichtete Schicht
  - Körnung
  - Verdichtungsfähigkeit
  - Proctorversuch
  - k-Wert-Bestimmung am verdichteten Boden
  - Zustandsgrenzen nach DIN 18122 zur Ermittlung der Plastizitätszahl
- b) Entwässerungsschicht
  - k-Wert
  - Körnung (zur Beurteilung der Filterstabilität)
- c) Rekultivierungsschicht
  - Körnung

Im Weiteren sind für die Anforderungen an die Rekultivierungsschicht die Vorgaben der Deponieverordnung, zu beachten.

### 6.2 Einbaukontrolle

Der Aufbau von Versuchfeldern zur Ermittlung der optimalen Einbautechniken ist sinnvoll.

Beim Einbau sind folgende Kontrolluntersuchungen durchzuführen:

- a) Ausgleichsschicht
  - Glattheit
  - Tragfähigkeit
  - ggf. erforderliche Funktion der Gasableitung
  - Lagenstärke

- b) Mineralische Dichtungsschicht
  - Körnung
  - k-Wert
  - Verdichtungsgrad
  - Stärke der Lagen
  - Glattheit der oberen Lage
- c) Entwässerungsschicht
  - k-Wert
  - Körnung
  - Schichtdicke
- d) Rekultivierungsschicht
  - Körnung
  - Schichtdicke
  - lockere Lagerung

## 7 Technische Bezugsdokumente

Die Funktionsfähigkeit des BND-Systems ist durch das Berichtswesen des Geographischen Instituts der Ruhr-Universität Bochum gegenüber dem LANUV NRW dokumentiert worden. Sämtliche hier angeführte Dokumente liegen dem LANUV vor.

Dazu gehören folgende Abschlussberichte die erste Projektphase „Niederschlagsinfiltration und Wasserhaushalt im Abdecksystem der Zentraldeponie Castrop-Rauxel“:

- [1] Abschlussbericht zum 1. Förderzeitraum (01.11.1998 – 31.05.2000) vom Mai 2000
- [2] Abschlussbericht zum 2. Förderzeitraum (01.06.2000 – 31.12.2001) vom Nov. 2001
- [3] Abschlussbericht zum 3. Förderzeitraum (01.01.2002 – 31.12.2003) vom Nov. 2003
- [4] Abschlussbericht zum 4. Förderzeitraum (01.01.2003 – 31.12.2004) vom Nov. 2004
- [5] Abschlussbericht zum 5. Förderzeitraum (01.01.2004 – 31.12.2005) vom Nov. 2005
- [6] Zusammenfassender Bericht vom Juli 2005 zu den vorgenannten Förderzeiträumen,

und die weiteren Abschlussberichte für die zweite Projektphase „Hydrologisches Monitoring des alternativen Oberflächenabdichtungssystems der Zentraldeponie Castrop-Rauxel“:

- [7] Abschlussbericht zum 1. Förderzeitraum (01.01.2006 – 31.12.2006) vom Nov. 2006
- [8] Abschlussbericht zum 2. Förderzeitraum (01.01.2007 – 31.12.2007) vom Nov. 2007
- [9] Abschlussbericht zum 3. Förderzeitraum (01.01.2008 – 31.12.2008) vom Nov. 2008.

Als weiteres technisches Bezugsdokument ist die Handlungsempfehlung beigelegt, die im Rahmen der projektbegleitenden Beratungen zwischen den Beteiligten entwickelt wurde:

- [10] Handlungsempfehlung vom 19.06.2006 der Ruhr-Universität Bochum zu den Anforderungen an den Aufbau des alternativen Oberflächenabdichtungssystems.

Hinsichtlich der Standsicherheit der Boden-Natur-Dichtung liegt folgendes Gutachten vor:

- [11] Bericht vom 02.07.2003 des Erdbaulabors Dr. Achim Hennig über Böschungsbruchberechnungen für das geplante Oberflächenabdichtungssystem der Zentraldeponie Castrop-Rauxel.

Die Eignungsbeurteilung ist gemäß den Eignungsgrundsätzen der ‚LAGA-ad-hoc-AG Deponietechnische Vollzugsfragen‘ aufgebaut.

- [12] LAGA ad-hoc-AG Deponietechnische Vollzugsfragen: Allgemeine Grundsätze für die Eignungsbeurteilung von Abdichtungskomponenten der Deponieoberflächenabdichtungssysteme vom 19.4.2005.

Die nachfolgenden Dokumente sind veröffentlicht:

- Kathrin Weiß, Prof. Dr. Harald Zepp: Wirksamkeit eines alternativen Deponie-Oberflächenabschlussystems mit mineralischer Dichtschicht, Müll und Abfall, Heft 3, 2004.
- Zepp, H., Lohmann, A.: Neue Lösungen für Oberflächenabdichtungen von Deponien, 35. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft vom 20.03.-22.03.2002 in Essen,

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. M. Dohmann, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Rhein.-Westf. Techn. Hochschule Aachen, Aachen 2002.

- Zepp, H., Henning, A.,: Auflastbedingte Konsolidation einer mineralischen Dichtschicht, Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Abteilung Höxter der Fachhochschule Lippe und Höxter, Tagungsband Austrocknungsverhalten mineralischer Abdichtungsschichten in Deponie-Oberflächenabdichtungssystemen -Status Workshop- am 31.Januar/01.Februar 2002, Herausgeber: H.-G. Ramke, E. Gartung, G. Heibrock, W. Lükewille, St. Melchior, B. Vielhaber, K. Bohne, U. Maier-Harth, K.-J. Witt, Band 03, Höxter, November 2002.
- Prof. Dr. Harald Zepp: Bericht über das alternative Oberflächenabdichtungssystem auf der ZD Castrop-Rauxel (1999-2005), Ruhr-Universität-Bochum, Fakultät für Geowissenschaften Geografisches Institut, Bochum, Juli 2005, (LANUV-Internet).