



## Deponien zwischen 2005 und 2009 – Ende oder Weiterbetrieb



Fachtagung am 27. September 2007

UmweltSpezial



## **Deponien zwischen 2005 und 2009 – Ende oder Weiterbetrieb**

**Fachtagung am 27. September 2007**

**UmweltSpezial**

## Impressum

Deponien zwischen 2005 und 2009 – Ende oder Weiterbetrieb  
Fachtagung des LfU am 27. September 2007  
ISBN (Online-Version): 978-3-940009-35-7

### Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg  
Tel.: (0821) 90 71 - 0  
Fax: (0821) 90 71 - 55 56  
E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)  
Internet: [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)

Eine Behörde im Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz.

### Bearbeitung:

LfU Referat 12

### Druck:

Eigendruck Bayer. Landesamt für Umwelt

Gedruckt auf Papier aus 100 % Altpapier.

### Stand:

September 2007

Diese Broschüre wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Broschüre auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalt nicht verantwortlich.

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Aktuelle Deponiesituation in Bayern – Hatte der 01.02.2007 Auswirkungen</b>	<b>5</b>
Karl Drexler, Bayerisches Landesamt für Umwelt	
<b>Registerpflichten bei Deponien – NachwV, DepV, E-PRTR-VO</b>	<b>11</b>
Jürgen Kohl, Bayerisches Landesamt für Umwelt	
<b>Deponieverhalten mineralsicher Abfälle nach 2005</b>	<b>14</b>
Dr. A. Heindl, FES, Rednitzhembach, Univ. Prof. Dr. S. Heuss-Aßbichler, LMU München	
<b>Schäden in Deponieentwässerungssystemen und Strategien zur Sanierung</b>	<b>39</b>
Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Edenberger, ICP Ingenieurgesellschaft Prof. Czurda und Partner mbH, Urbach	
<b>Was bewirkt ein Korngrößenwechsel im Aufbau einer Deponie? Dargestellt am Beispiel einer MV-Deponie</b>	<b>56</b>
Dipl. Geologin Daniela Sager, LMU München	
<b>Sanierung des Schlackenbergs in Sulzbach-Rosenberg – Oberflächenabdichtungssysteme in Planung und Ausführung</b>	<b>76</b>
Dr.-Ing. Richard Bosl, Regierung der Oberpfalz, Baudienststelle Schlackenberg	
<b>Testfelder auf der Deponie „Im Dienstfeld“ – welche Aussagen lassen sich für künftige Abdichtungen ableiten?</b>	<b>84</b>
Dr. Ulrich Henken-Mellies, LGA, Nürnberg	
<b>Sickerwassermenge und -zusammensetzung in der Nachsorgephase auf bayerischen Deponien</b>	<b>99</b>
Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Huber, Dipl.-Ing. (FH) Stefan Schatz, AU Consult GmbH	
<b>Tagungsleitung / Referenten</b>	<b>109</b>



# Aktuelle Deponiesituation in Bayern – Hatte der 01.02.2007 Auswirkungen

**Karl Drexler, Bayerisches Landesamt für Umwelt**

## **1 2005 – 2007 – 2009**

### **1.1 2005**

#### **1.1.1 Abfallablagerungsverordnung - Deponieklassen I und II**

1. Frist mit

Einhaltung der Zuordnungswerte und der Anforderungen an die Basisabdichtung

Dies hatte doch deutliche Auswirkungen, da zum 01.06.2005 die Menge der zu behandelnden Abfälle deutlich angestiegen ist, was zur Zwischenlagerung geführt hat. Die Zahl der Deponien hat sich auch verringert, dazu kommt, dass einige Deponien das Ziel hatten zum 01.06.2005 den Ablagerungsbetrieb einzustellen.

#### **1.1.2 Deponieverwertungsverordnung - Deponieklassen 0 - 3**

Regelungen für die Verwertung mineralischer Abfälle auf Deponien

Hier konnten gleiche Ausgangsbestimmungen für die Verwertung auf Deponien geschaffen werden. Hier gab es keine großen Probleme.

### **1.2 2007**

Umsetzung der Ratsentscheidung der EU zur Annahme von Abfällen auf Deponien

Dies gilt für alle Deponieklassen, so dass Änderungen zum 01.02.2007 Auswirkungen für die Deponiebetreiber hatten. Dazu soll gesondert eingegangen werden.

Für die Umsetzung für die Deponiekategorie 0 wurde das LfU-Merkblatt grundlegend überarbeitet. Es ist im Internet verfügbar. Die Änderungen sind rot dargestellt. Es ist durch die Genehmigungsbehörden umzusetzen.

### **1.3 2009**

#### **1.3.1 Abfallablagerungsverordnung - Deponieklassen 0 - 2**

2. Frist mit

Anforderungen an die geologische Barriere und den Standort für Deponien

Neben den Deponien der Klassen I und II sind vor allem Deponien der Klasse 0 betroffen. Bei der Zahl der Inertabfalldeponien ist eine deutliche Verringerung zu erwarten. Derzeit laufen die Einschätzungen zu einem möglichen Weiterbetrieb.

### 1.3.2 Integrierte Deponieverordnung

Die Bundesregierung ist aufgefordert, die im Deponiebereich vorhandenen Verordnungen und Verwaltungsvorschriften

AbfAbIV, DepV und DepVerwV sowie TA Abfall und TA Siedlungsabfall

zusammenzufassen und eine Verordnung zu erstellen. Dazu hat das BMU einen Arbeitsentwurf vorgelegt, ein zweiter Entwurf soll Ende September 2007 den Betroffenen, Behörden und Verbänden, zugeleitet werden.

Diese Verordnung könnte 2009 in Kraft treten und nochmals eine deutliche Veränderung ergeben.

## 2 Die aktuelle Deponiesituation

Zahl der Deponien, abgelagerte Abfallmengen, Deponievolumen und mögliche Laufzeiten auf der Grundlage der Abfallbilanz 2006

### 2.1 Zahl der Deponien

Die Zahl der Deponien der Klassen I und II auf denen aktuell Abfälle abgelagert werden beträgt 36. Daneben ruht auf einigen Deponien der Ablagerungsbetrieb, so dass die Zahl von 40 aus dem Jahr 2005 weiter zutreffend ist, was die Zahl der potentiellen Deponien betrifft.

Von den 2005 verbliebenen 40 Deponien könnten 32 als Deponien der Klasse II (mindestens ein Abschnitt mit Klasse II) und 8 Deponien als Deponien der Klasse I weitergenutzt werden. Dies liegt jedoch in der Entscheidung des jeweiligen Deponiebetreibers.

Übersicht über die einzelnen Regierungsbezirke

Kommunale Deponien – DK I, II, III

Regierungs- bezirk	Einstufung Deponien nach AbfAbIV/DepV								
	31.05.2005*			01.06.2005**			16.07.2009***		
	Zahl	I	II	Zahl	I	II	Zahl	I	II
Oberbayern	15	0	15	8	0	8	8	5	3
Niederbayern	3	0	3	3	0	3	3	0	3
Oberpfalz	5	1	4	4	3	1	3	2	1
Oberfranken	8	1	7	6	2	4	4	1	3
Mittelfranken	9	0	9	5	2	3	5	2	3
Unterfranken	9	1	8	7	0	7	7	3	4
Schwaben	7	0	7	7	1	6	6	2	4
Bayern	56	3	53	40	8	32	36	15	21

Für die Entsorgung gefährlicher Abfälle steht weiterhin die SAD Gallenbach des Staatsbetriebes Sonderabfalldeponien zur Verfügung. Der Betrieb der SAD Raindorf ruht derzeit. Daneben gibt es firmeneigene Deponien der Klasse III.

## 2.2 abgelagerte Mengen

### 2.2.1 Abfälle zur Beseitigung bei Deponien der Klassen I und II

Grundlage der Auswertung sind die Abfallbilanzen der letzten Jahre.

Abfallart	Menge in t 2003	Menge in t 2004	Menge in t 2005	Menge in t 2006
Rückstände aus der thermischen Behandlung + MBA	141.500	135.000	113.000	196.000
Klärschlämme und vergleichbare Schlämme		3.300	2.400	
Restabfall aus Haushalt und Gewerbe	209.000	204.000	78.000	2.200
Abfälle i. S. der AbfAbIV	321.000	450.000	425.000	384.000
	671.500	792.300	618.400	582.000

Die abgelagerte Menge ging von 2005 mit 618.000 t in 2006 nun auf 582.000 t zurück, wobei der Anteil der Rückstände aus der Behandlung gestiegen ist.

### 2.2.2 Abfälle zur Verwertung auf Deponien der Klassen I und II

Nach den Angaben der Abfallbilanzen wurden folgende Abfallmengen verwertet:

	2005	2006
• Oberbayern	ca. 356.000 t	177.064 t
• Niederbayern	ca. 1.000 t	118.423 t
• Oberpfalz	ca. 42.000 t	----,---- t
• Oberfranken	ca. 310.000 t	186.553 t
• Mittelfranken	ca. 4.000 t	30.529 t
• Unterfranken	ca. 100.000 t	23.113 t
• Schwaben	ca. 50.000 t	123.976 t

Die Menge aus 2005 mit 877.000 t ging in 2006 um 207.000 t auf 670.000 t zurück

Diese verwerteten Mengen sind stark abhängig von Baumaßnahmen und Maßnahmen an Deponien, so dass starke Verschiebungen auftreten. Dies wird auch künftig so sein. Derzeit erscheint aber, dass die verwertete Menge über der zu beseitigen Menge liegt.

## 2.3 Restvolumen der Deponieklassen I und II

Die Einschätzung der Betreiber in der Abfallbilanz 2006 ergibt ein

- genehmigtes Restvolumen von ca. 10,7 Mio. m<sup>3</sup>
- verfügbares Restvolumen von ca. 6,5 Mio m<sup>3</sup>

Somit steht ein ausreichendes Deponievolumen zur Verfügung, wobei nach den derzeitigen Schätzungen nach 2009 noch 3,5 Mio. m<sup>3</sup> der Klasse II zur Verfügung stehen. Dazu kommt Volumen der Deponieklasse I.

### 3 Hatte der 01.02.2007 Auswirkungen?

Die Umsetzung der Ratsentscheidung für die Annahme von Abfällen auf Deponien hatte Auswirkungen auf Deponien, auch auf die Zahl der Deponien. Davon waren Deponien der Klassen 2 bis 3 nicht betroffen, aber Deponien der Klasse 0 waren durch die nicht mehr zulässige Ablagerung von Asbest und KMF betroffen und auf Deponien der Klasse 1 war die Ablagerung von Abfällen aus Schadensfällen nicht mehr möglich.

Was ist neu:

Begriffe und Anforderungen:

<u>Charakterisierung von Abfällen</u>	ausführliche Beschreibung und Untersuchung vor der Ablagerung
<u>Schlüsselparameter</u>	Parameter, die bei der Kontrolluntersuchung auf der Deponie zu bestimmen sind
<u>Zusätzliche Parameter</u>	nur für Deponien, auf denen gefährliche Abfälle abgelagert werden
<u>Kontrollanalysen</u>	Verpflichtung geht auf den Deponiebetreiber über
<u>Gefährliche Abfälle</u>	Die Begriffe werden geändert: Inertabfälle, nicht gefährliche Abfälle, gefährliche Abfälle
<u>Bestimmte Abfallarten</u>	Wenn nachgewiesen wird, dass es sich um Inertabfälle (keine Belastung) handelt, muss keine Untersuchung durchgeführt werden

Bedingungen

1. der Abfall aus einem einzigen Herkunftsbereich (aus einer einzigen Quelle) stammt,
2. keine Anhaltspunkte bestehen, dass er durch Schadstoffe verunreinigt ist,
3. keine Anhaltspunkte bestehen, dass die Zuordnungskriterien des Anhanges 3 für die Deponieklasse 0 überschritten werden und
4. der Abfall nicht mehr als 5 Masseprozent an Fremdstoffen wie Metalle, Kunststoffe, Humus, organische Stoffe, Holz, Gummi enthält.

10 11 03	Glasfaserabfall	Nur ohne organische Bindemittel
15 01 07	Verpackungen aus Glas	
17 01 01	Beton	Nur ausgewählte Abfälle aus Bau- und Abrissmaßnahmen
17 01 02	Ziegel	Nur ausgewählte Abfälle aus Bau- und Abrissmaßnahmen
17 01 03	Fliesen und Keramik	Nur ausgewählte Abfälle aus Bau- und Abrissmaßnahmen

17 01 07	Gemische aus Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik	Nur ausgewählte Abfälle aus Bau- und Abrissmaßnahmen
17 02 02	Glas	
17 05 04	Boden und Steine	Ausgenommen Oberboden und Torf sowie Boden und Steine aus kontaminierten Flächen
19 12 05	Glas	
20 01 02	Glas	Nur getrennt gesammeltes Glas
20 02 02	Boden und Steine	Nur Abfälle aus Gärten und Parkanlagen; ausgenommen Oberboden und Torf

#### Anforderungen an die geologische Barriere bei Deponiestandorten der Klassen 0 bis III:

Dem Wortlaut der Fußnote 1 Tab. 1 Anhang 1 DepV zufolge können neue Deponieabschnitte nur in Betrieb genommen werden, wenn der Untergrund am Standort der Deponie eine zumindest unvollständige geologische Barriere aufweist. Für diesen Fall ist diese durch technische Maßnahmen zu vervollständigen bzw. zu verbessern. Für den Fall, dass am Deponiestandort keine geologische Barriere vorhanden ist, kann sie künftig auch künstlich durch technische Maßnahmen geschaffen werden.

#### Leitfähigkeit (bei DK 0)

Überschreitungen der Leitfähigkeit bis zu einem Wert von 2.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  zulässig, wenn der Standort zusätzlich über hydrogeologisch günstige Voraussetzungen **wie eine flächig verbreitete mindestens 2 m mächtige geologische Schicht** mit einem hohen Rückhaltevermögen für Schadstoffe, die die erhöhte Leitfähigkeit begründen, verfügt.

#### Asbesthaltige Abfälle und KMF

Künftig ist eine Ablagerung nur noch auf Abschnitten von Deponien der Klassen I und II zulässig, wobei diese Abfälle bei der Berücksichtigung der Fußnoten der DepV und des Anhangs 3 nicht als gefährliche Abfälle zu werten sind.

#### Abfälle aus Katastrophenfällen, z. B. Brandabfälle

Derartige Abfälle dürfen nur mit Zustimmung der zuständigen Behörde auf Deponien der Klasse II verbracht werden

#### Registerpflicht

Erfassen der Abfälle nach Art und Menge, bei denen Überschreitungen der Zuordnungswerte zugelassen wurden.

## **4 integrierte Deponieverordnung**

Der Wille der Bundesländer ist eine Zusammenfassung, nicht eine Verordnung mit neuen Anforderungen, wobei jedoch Vollzugsprobleme berücksichtigt werden sollen. Der Bund tendiert im Moment zu einer 1:1 Umsetzung der EU-Vorgaben um Vertragsverletzungsverfahren zu vermeiden. Das bedeutet aber, dass bisherige Vorgaben, wie z. B. für die Oberflächenabdichtung, lediglich in Vorgaben für ein oder zwei Dichtungselemente festgeschrieben werden und die Genehmigungsbehörde die Gleichwertigkeit prüfen muss.

Über das Weiterbestehen von TA Abfall und TA Siedlungsabfall muss nachgedacht werden, da dort auch Regelungen für andere Anlagen enthalten sind. Welche anderen Regelungen sind möglich?

Für Altanlagen soll eine Regelung enthalten sein, so dass es sinnvoll ist jetzt entsprechende rechtliche Festlegungen festzuschreiben, wie die Deponien oder Deponieabschnitte eingestuft werden.

Eine offene Frage ist noch die bundesweite Zulassung von Dichtungssystemen. Bei Kunststoffen wird es weiterhin die BAM sein, bei anderen Komponenten wird nach einer Lösung gesucht.

## **5 Zusammenfassung**

Wenn man 2005 vom Ende der Deponie lesen konnte so ist das eine krasse Fehleinschätzung, denn Deponien und auch das Deponierecht werden uns weiter beschäftigen. Und da ist noch die Zahl der Deponien in der Nachsorge, über deren Entlassung aus der Nachsorge zu entscheiden ist.

Herausforderungen an die Behörden, Betreiber und Beratungsbüros, die uns noch Jahre beschäftigen werden.

# Registerpflichten bei Deponien – NachwV, DepV, E-PRTR-VO

**Jürgen Kohl, Bayerisches Landesamt für Umwelt**

Die geänderten gesetzlichen Vorgaben erlegen Anlagenbetreibern und Behörden innerhalb der Abfallwirtschaft neue Pflichten auf. Die Termini „Register“ bzw. „Registerpflicht“ werden dabei von drei Verordnungen unterschiedlich belegt. Im Folgenden werden die Pflichten und die Pflichtigen kurz dargestellt, um inhaltliche Unterschiede zu verdeutlichen.

## 1 Register im Vollzug der Abfallnachweisverordnung (NachwV)

Registerpflichtig: Deponiebetreiber als Entsorger gefährlicher und nicht gefährlicher Abfälle.

Meldepflicht: grundsätzlich keine, Kontrolle durch Überwachungsbehörde.

Gegenstand der Registrierung: jede Abfallanlieferung pro Entsorgungsanlage.

Seit 01.02.2007 gelten auf Grundlage des § 42 KrW-/AbfG und der NachwV Registerpflichten für alle an der Entsorgung Beteiligten. Diese Vorschrift übernimmt die Registerpflichten der EU-Abfallrahmenrichtlinie sowie der EU-Richtlinie über gefährliche Abfälle.

Das Register tritt an die Stelle des bisherigen Nachweisbuches. Solange Register noch in Papierform geführt werden dürfen, handelt es sich um eine ständig zu ergänzende, unter inhaltlichen und zeitlichen Gesichtspunkten systematisch geordnete sowie vollständige Loseblattsammlung von Entsorgungsnachweisen, Begleit- und Übernahmescheinen oder Liefer-/Wiegescheinen („Praxisbelege“).

In den verschiedenen Gremien der LAGA ist die Diskussion noch nicht abgeschlossen, ob das bloße Führen des Deponietagebuches die Registerpflicht erfüllt.

Das Register einer Entsorgungsanlage für nicht gefährliche Abfälle besteht aus Deckblättern („Überschrift“) mit Abfallschlüssel, Firmennamen und Adresse, nach AVV-Nummern geordnet, unter denen die Praxisbelege in zeitlicher Reihenfolge mit Angabe zur Abfallmenge und dem Datum der Annahme spätestens nach 10 Kalendertagen unterschrieben („chargenscharfe Signatur“) in das Register einzustellen sind.

Analog dazu erfolgt bei gefährlichen Abfällen die Ablage der Begleitscheine unter den nach AVV-Nr. geordneten Entsorgungsnachweisen. Für gefährliche Abfälle besteht ab 01.04.2010 die Verpflichtung zur Führung eines elektronischen Registers einschließlich elektronischer Signatur.

## 2 Register im Vollzug der Deponieverordnung (DepV) im Rahmen der Umsetzung der „EU-Ratsentscheidung“

Registerpflichtig: Kreisverwaltungsbehörden bei DK 0 und Regierungen bei DK I bis III.

Meldepflicht: Deponiebetreiber an zuständige Genehmigungsbehörde.

Gegenstand der Registrierung: Zulassungen von Zuordnungswertüberschreitungen bei der Ablagerung im Rahmen der Fußnotenregelung und bei Mono-deponien.

Die in § 6 Abs. 5 DepV angeführte Registerpflicht dient der Umsetzung der Nr. 2 Abs. 1 der Ratsentscheidung über die Mitteilungspflicht von zugelassenen Überschreitungen von Grenzwerten.

Zunächst war diese Pflicht nur auf spezifische Massenabfälle, die auf Monodeponien abgelagert werden, bezogen. Das StMUGV war deshalb an das BMU herangetreten, ob aufgrund der Formulierung in der Ratsentscheidung die Registerpflicht nicht weiter zu fassen sei, um dieser Mitteilungspflicht umfassend nachzukommen und bei den zuständigen Behörden einen Nacherhebungsbedarf zu vermeiden.

Das BMU hatte in seiner Antwort vom 02.01.2007 diese Auffassung grundsätzlich geteilt. Den zuständigen Behörden (Kreisverwaltungsbehörden, Regierungen) wird daher empfohlen, Fälle, bei denen Überschreitungen der Grenzwerte der Ratsentscheidung zugelassen werden, laufend wie dem Schreiben des StMUGV vom 10.01.2007 zur Umsetzung der EU-Ratsentscheidung zu entnehmen ist, zu dokumentieren:

- Deponienname
- Datum der Zulassung
- Abfallart und AVV-Schlüssel
- Menge
- Angabe der Parameter mit Überschreitung

Diese Daten aus den von den zuständigen Behörden geführten Registern sind jährlich, jeweils zum 31. Januar des Folgejahres an das LfU zu übermitteln. Das LfU erstellt eine landesweite Jahresübersicht für die Mitteilungen an die EU-Kommission.

Gemäß LAGA-Beschluss vom 05./06.09.2007 sollen nun die Entscheidungen unter Nennung der jeweiligen Abfallart(en) und Parameter von den Ländern übermittelt werden. Verkürzt dargestellt betrifft das insbesondere Deponien der Klasse I und II bei Überschreitung der Parameter DOC, Arsen und Fluor.

Für spezifische Massenabfälle betrifft es die Überschreitungen von Arsen und den Schwermetallen, die bis zum 3-fachen des jeweiligen Zuordnungswertes der Deponieklassen I bis III zulässig sind. Bei DK I tritt die Berichtspflicht allerdings erst ein, wenn die Zuordnungswerte der DK II überschritten werden.

Bei DK III ergibt sich die Berichtspflicht bei Ausnahmen für DOC, Arsen und Schwermetalle für alle gefährlichen Abfälle.

Die Umsetzung für Bayern ist abzuwarten, so z. B. bei TOC-Überschreitungen. Bislang ist das Register nach den Vorgaben im Schreiben des StMUGV vom 10.01.2007 zu führen.

### **3 Register im Vollzug der Europäischen PRTR-VO auf Grundlage des Gesetzes zur Ausführung des Protokolls über Schadstofffreisetzungs- und -verbringungsregister vom 21. Mai 2003 sowie zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 166/2006 vom 6. Juni 2007 (SchadRegProtAG)**

Registerpflichtig: LfU

Meldepflicht: Deponiebetreiber (DK I bis DK III) als Emittent in Luft und Wasser sowie als Abfallerzeuger.

Gegenstand der Registrierung: über bestimmte Mengenschwellen hinaus angefallene Abfälle (i. d. R. Sickerwässer) sowie Emissionen in die Luft (z. B. Methan) und in das Wasser (z. B. Sickerwasser).

Die EU-Richtlinie 96/61/EG über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung vom 24.09.1996 (IVU-Richtlinie) fordert die EU-Mitgliedstaaten auf, Informationen über die wichtigsten Emissionen und ihre Quellen in regelmäßigen Abständen zu erfassen und an die Kommission zur Veröffentlichung im Internet weiterzuleiten. Auch Abfalldeponien, außer für Inertabfälle, fallen als Anlagenkategorie unter deren Geltungsbereich.

Das EPER (European Pollutant Emission Register) (Grundlage war Art. 15 der IVU-Richtlinie) wird ab dem Berichtsjahr 2007 vom PRTR (Pollutant Release and Transfer Register) abgelöst. Für das PRTR werden ab 2009 öffentlich zugängliche Daten zu Freisetzungen in Luft, Wasser und Boden sowie zu Verbringungen von Abfall zur Verfügung gestellt werden. (Grundlage ist die PRTR-VO). Ebenso sind Emissionen aus diffusen Quellen in das PRTR aufzunehmen.

Dieses Schadstofffreisetzungs- und -verbringungsregister informiert den Bürger zukünftig online z.B. über Schadstoffe, die von PRTR-Anlagen, die neben großen Industriebetrieben u. a. auch Deponien enthalten, in seiner Region freigesetzt werden.

# Deponieverhalten mineralischer Abfälle nach 2005

Dr. A. Heindl, FES, Rednitzhembach, Univ. Prof. Dr. S. Heuss-Aßbichler, LMU München

## 1 Veranlassung

Das Abfallablagerungsverhalten auf Deponien ändert sich in Deutschland seit dem 1. Juni 2005 aufgrund folgender Punkte:

- Es entstehen Deponien bzw. Deponiebauabschnitte mit überwiegend mineralischen Inhaltsstoffen, da die Ablagerung von unbehandeltem Hausmüll, hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen, Klärschlämmen und anderen Abfällen mit hohen organischen Anteilen längstens bis zum 31. Mai 2005 zu befristen war. Seit dem 1. Juni 2005 können, abgesehen von wenigen, explizit zugelassenen Ausnahmen, nur noch Abfälle mit einem organischen Gesamtkohlenstoffgehalt (TOC)  $\leq 1$  Gew.-% (Zuordnungswert für die Deponieklasse I) bzw.  $\leq 3$  Gew.-% (Zuordnungswert für die Deponieklasse II) abgelagert werden. Gleichwertig zum TOC kann der Glühverlust angewandt werden. Eine gesonderte Regelung ist für mechanisch-biologisch vorbehandelte Abfälle vorgesehen, die jedoch in Bayern nur eine untergeordnete Rolle im Abfallaufkommen spielen.
- Die Umsetzung der „Ratsentscheidung zur Festlegung von Kriterien und Verfahren für die Annahme von Abfällen und Abfalldeponien“ in nationales Recht trat am 1. Februar 2007 in Kraft. Dadurch kann eine Verschiebung bei den bisherigen Zuordnungen von Abfällen zu den oberirdischen Deponieklassen 0, I, II und III eintreten, da die Richtlinie gegenüber der vorherigen AbfAbIV und DepV zusätzliche Untersuchungsparameter bzw. eine teilweise Veränderung der Zuordnungswerte vorsieht.

Seit dem 1. Juni 2005 gelangen im Wesentlichen mineralische Bau- und Abbruchabfälle, mineralische Abfälle aus chemischen Prozessen und Aschen aus der Haumüllverbrennung bzw. aus Kraftwerken und anderen Verbrennungsanlagen auf Deponien der Klassen I und II zur Ablagerung.

Diese mineralischen Abfälle werden auf den Deponien der Klassen I und II wie folgt abgelagert:

Zum Teil werden die mineralischen Abfälle auf Deponien bzw. Bauabschnitten abgelagert, auf denen bis 2005 überwiegend oder teilweise Siedlungsabfälle und weitere Abfälle mit organischen Inhaltsstoffen zur Ablagerung gelangten (im Weiteren als vermischte Bauabschnitte bezeichnet).

Zum Teil findet eine Ablagerung der mineralischen Abfälle, getrennt von Siedlungsabfällen oder anderen Abfällen mit organischen Inhaltsstoffen, auf eigenen Deponien bzw. Bauabschnitten (im Weiteren als mineralische Bauabschnitte bezeichnet) statt. Dies hat zur Folge, dass sich in diesen mineralischen Bauabschnitten keine größeren Mengen organischer Inhaltstoffe im Abfallkörper befinden.

Für die neu entstehenden mineralischen Bauabschnitte bzw. mineralischen Deponien fehlen bislang Erfahrungen über ihr Deponieverhalten. Das Vorhaben EU 21 trägt dazu bei, zeitnah mit der Entstehung der neuer Deponieabschnitte Daten zum Deponieverhalten zu sammeln und damit fachliche Erkenntnisse für eine möglichst effiziente und nachhaltige Ablagerung der mineralischen Reststoffe zu erreichen.

## 2 Zusammenfassung

Folgende wesentliche Aussagen zum Deponieverhalten der mineralischen Abfälle lassen sich aus den Ergebnissen des Vorhabens formulieren:

- a) Die auf Deponien der Klassen I und II abgelagerten Mengen an mineralischen Abfällen zu Beseitigung betragen in den Jahren 2000 bis 2005 im jährlichen Mittel 497.000 Mg. Die Hauptmengen waren 167.000 Mg Rost- und Kesselaschen, 118.000 Mg Boden und Steine, 30.000 Mg gemischte Bau- und Abbruchabfälle, 23.000 Mg asbesthaltige Baustoffe, 23.000 Mg Gleisschotter, 20.000 Mg Beton bzw. Gemische aus Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik, 19.000 Mg Straßenkehricht und 17.000 Mg kohlenteeerhaltige Bitumengemische.
- b) Das Eluatverhalten der überwiegenden Anzahl der mineralischen Abfälle weist auf ein inertes Deponieverhalten der Abfälle hin. Bei einer Menge von ca. 50 bis 80 % der mineralischen Abfälle kann eine Einstufung nach DK I erfolgen.
- c) In Hinblick auf die neuen Parameter Ba, Mo, Sb und Se wird lediglich für Sb in Einzelfällen eine Neuordnung von DK I zu DK II bzw. von DK II zu DK III erforderlich sein.
- d) Eine Deponierung mineralischer Abfälle ist in vielen Fällen aufgrund erhöhter Feststoffgehalte der Parameter PAK, KW, Cyanide oder Schwermetalle erforderlich.
- e) Aufgrund der geringen organischen Restmenge von 1 bzw. 3 Gew.-%, die nur von wenigen Abfällen ausgeschöpft bzw. überschritten wird, ist eine Deponiegasbildung, die eine Deponiegaserfassung und -behandlung erfordern würde, nicht gegeben.
- f) PAK im Feststoff werden im Eluat nur nach einer Eluationsdauer von mehreren Monaten bis zu ca. 0,2 Gew.-% des Gesamtinventars gelöst.
- g) Organische Inhaltsstoffe werden über das Sickerwasser nur begrenzt gelöst. Einzig der DOC, der AOX und die Phenole treten in relevanten Konzentrationen im Sickerwasser auf. Die organischen Stoffgruppen BTEX, KW, LHKW, PAK, PCB und PBSM sind in Sickerwässern aus mineralischen Bauabschnitten in der Regel nicht bzw. nur in äußerst geringen, nicht umweltgefährdenden Konzentrationen nachzuweisen. In Bauabschnitten mit vermischter Ablagerung (gemeinsame Ablagerung von mineralischer Abfällen und Abfällen mit erhöhten organischen Inhaltsstoffen vor Juni 2005) sind die beiden organischen Stoffgruppen LHKW und PAK in einzelnen Sickerwasserproben in leicht erhöhten Konzentrationen nachzuweisen. Die restlichen organischen Stoffgruppen sind auch in diesen Sickerwässern nur in äußerst geringen Konzentrationen nachzuweisen.
- h) Eine mittel- bis langfristige Mobilisierung der Schwermetalle aus mineralischen Abfällen ist bei schwach alkalischen pH-Werten und geringen Salzkonzentrationen, die im Abfallkörper langfristig vorliegen, nicht gegeben.
- i) Eine Ablagerung von mineralischen Abfällen auf Hausmüll führte bislang bei den untersuchten Deponien zu keiner Verschlechterung des Deponieverhaltens. Umgekehrt kann eine Ablagerung/Umlagerung von Hausmüll auf mineralischen Abfällen nachteilig sein.
- j) Sickerwasser aus mineralischen Deponieabschnitten ist als gering belastet einzuordnen und kann den Anforderungen des Anhangs 51 der Abwasserverordnung (AbwV) genügen. Um dies dauerhaft sicher zu stellen, ist eine gesteuerte Ablagerung der Abfälle erforderlich. Dies ist auch sinnvoll, um Inkrustationen in Sickerrohren zu vermeiden.
- k) Eine abiotische Wasserstoffbildung kann bei stark alkalischen Bedingungen und erhöhten Anteilen an metallischem Aluminium auftreten.



# Deponieverhalten mineralischer Abfälle nach 2005

A. Heindl & S. Heuss-Aßbichler

– Deponien zwischen 2005 und 2009 –  
Ende oder Weiterbetrieb

EU 21: Deponieverhalten nach 2005

## Forschungsvorhaben EU21



**Projektdauer November 2004 bis Mai 2007**



Dieses Projekt wird vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz im Rahmen der EU-Strukturförderung für regionale Entwicklung (EFRE) finanziert



Fachtagung am 27. September 2007  
LfU, Augsburg

## Warum das Vorhaben EU21?



### veränderte Deponien bzw. Bauabschnitte seit dem 01.06.2005

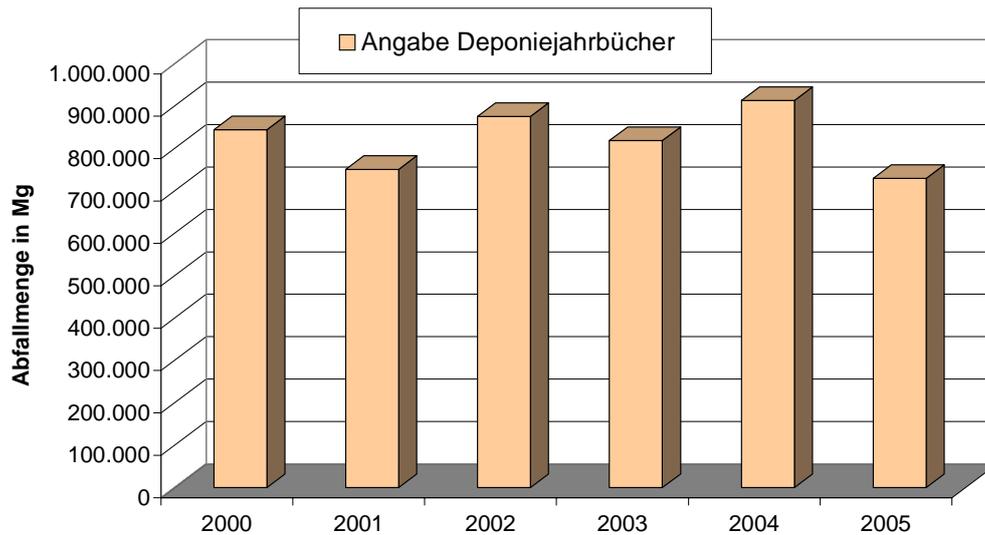
- keine bzw. gering biologisch abbaubare Abfälle
- keine Deponiegasbildung bzw. Deponiegasfassung?
- wenig AOX, CSB und Ammonium/Nitrat im Sickerwasser?
- Sickerwasserbehandlung?
- Nachsorgephase?
- ist eine „Steuerung“ der Abfallablagerung sinnvoll?

Fachtagung am 27. September 2007  
LfU, Augsburg

## Gesamtabfallmengen in Bayern



Gesamtmenge abgelagerter Abfälle in Bayern auf DK I und II in Mg



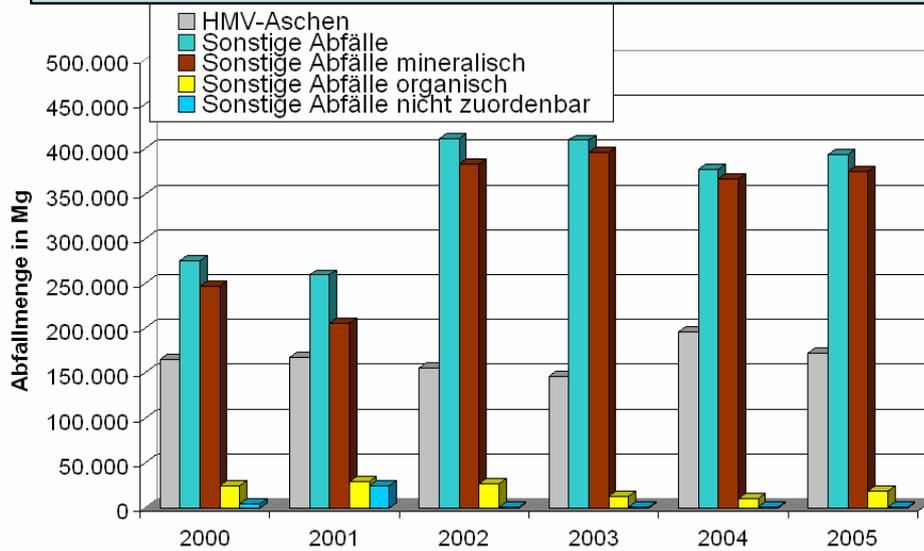
Fachtagung am 27. September 2007  
LfU, Augsburg

EU 21: Deponieverhalten nach 2005

## HMV-Aschen/Sonstige Abfälle/AVV



~150.000 (HMV-Aschen) + ~350.000 (sonstige mineralische Abfälle)  
= ~ 500.000 Mg mineralische Abfälle

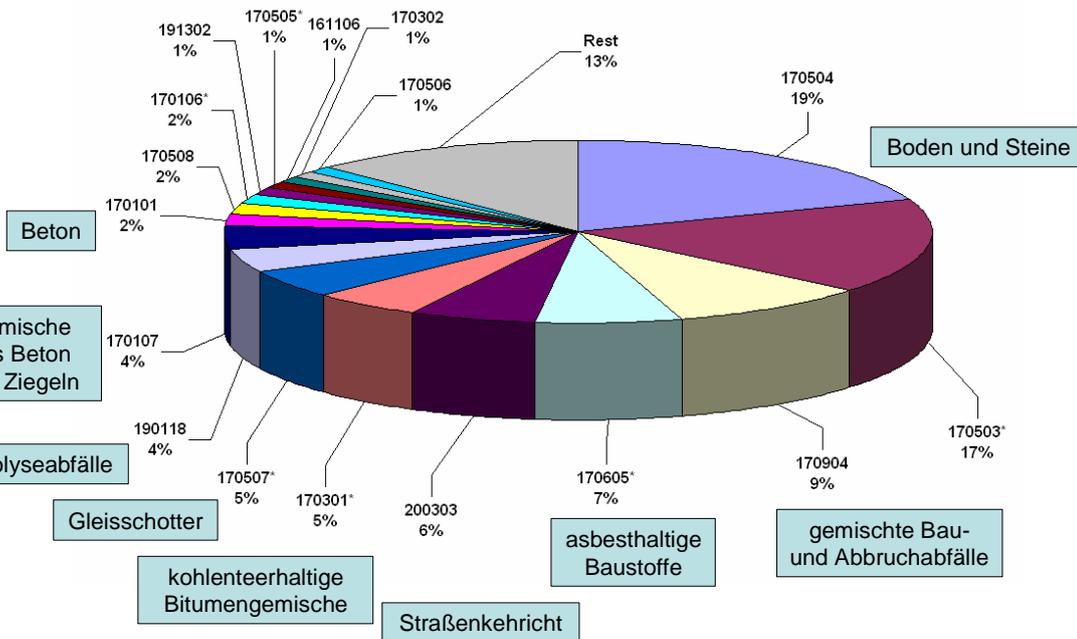


Fachtagung am 27. September 2007  
LfU, Augsburg

- 5 -

Deponieverhalten nach 2005

## Mineralische Abfallarten (2000-2005)



Fachtagung am 27. September 2007  
LfU, Augsburg

- 6 -

## Was darf weiterhin abgelagert werden?



### ▪ Feststoffkriterien DK I und DK II:

- Glühverlust 3 bzw. 5 %
- TOC 1 bzw. 3 %
- Extrahierbare lipophile Stoffe 0,4 bzw. 0,8 %

### ▪ Eluatparameter, organisch DK I und DK II:

- DOC 50 bzw. 80 mg/l
- AOX 0,3 bzw. 1,5 mg/l
- Phenole 0,2 bzw. 50 mg/l

Fachtagung am 27. September 2007  
LfU, Augsburg

## Neue AbfAbIV seit 01.02.07 in Kraft



Überschreitungen des Feststoff-TOC auf **bis zu 5 Masse%** sind unter der Voraussetzung, dass die Überschreitung nicht auf Abfallbestandteile zurückzuführen ist, die zu erheblicher Deponiegasbildung führen, bei folgenden Abfällen zulässig:

**Bodenaushub; Abfälle auf Gipsbasis; Faserzemente; mineralische Bauabfälle mit geringfügigen Fremdanteilen; Gießereialtsand; Straßenaufbruch auf Asphaltbasis; Schlacken; vergleichbar zusammengesetzte Abfälle.**

Überschreitungen des Feststoff-TOC **über 5 Masse%** hinaus sind unter der Voraussetzung zulässig, dass der Zuordnungswert Nummer 4.03 (DOC) eingehalten wird und der Deponiebetreiber gegenüber der zuständigen Behörde nachweist, dass das Wohl der Allgemeinheit – gemessen an den Anforderungen der Deponieverordnung und denen dieser Verordnung – nicht beeinträchtigt wird. Eine Ablagerung des Abfalls ist nur zulässig, wenn entweder die biologische Abbaubarkeit des Trockenrückstandes der Originalsubstanz (Parameter Nummer 5 nach Anhang 2 dieser Verordnung) unterschritten oder der gemessene organische Anteil des Trockenrückstandes der Originalsubstanz bestimmt als TOC durch elementaren Kohlenstoff verursacht wird **und in beiden Fällen der Brennwert des Abfalls 6000 kJ/kg nicht übersteigt.**

Fachtagung am 27. September 2007  
LfU, Augsburg

## TOC-Brennwert?



### Überschlagsformeln zu Brennwertberechnung auf Basis C-H-O-N-S:

#### Formel nach Boie:

Heizwert (unterer) bzw. Brennwert in kJ/kg:

$$H_u = c \cdot 34,83 + h \cdot 93,87 + o \cdot 10,80 + s \cdot 10,47 + n \cdot 2,44 - w \cdot 2,44$$

$$H_o = \text{Brennwert} = H_u + (9 \cdot h + w) \cdot 2,44$$

Teer (55% C, 6% H, 35% O)

bei TOC ~10 Gew.-%; Brennwert um ca. 4,0 MJ/kg

Bitumen (85% C, 10% H, 1% O, 3% S, 1%N)

bei TOC ~10 Gew.-%; Brennwert um ca. 4,9 MJ/kg

Fachtagung am 27. September 2007  
LfU, Augsburg

## Relevante Parameter



- **im Feststoff:**  
GV, TOC, PAK, extrahierbare lipophile Stoffe bzw. Kohlenwasserstoffe
- **im Eluat:**  
pH, Lf, DOC, Phenolindex, Chrom(VI), Cu, Pb, wasserlöslicher Anteil

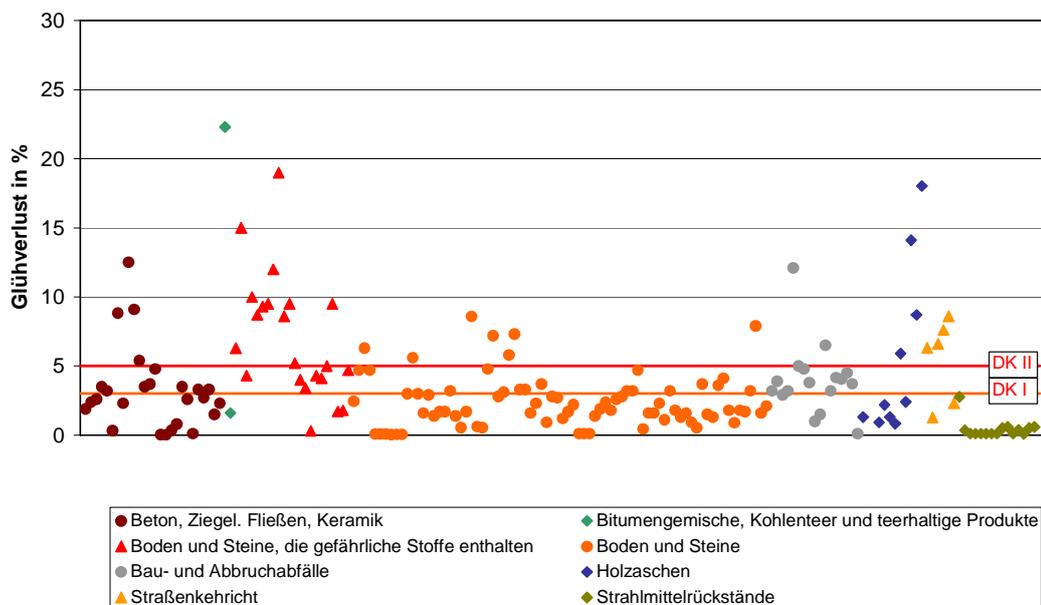
Fachtagung am 27. September 2007  
LfU, Augsburg

## Abfalldatenbank: z.B. 170503



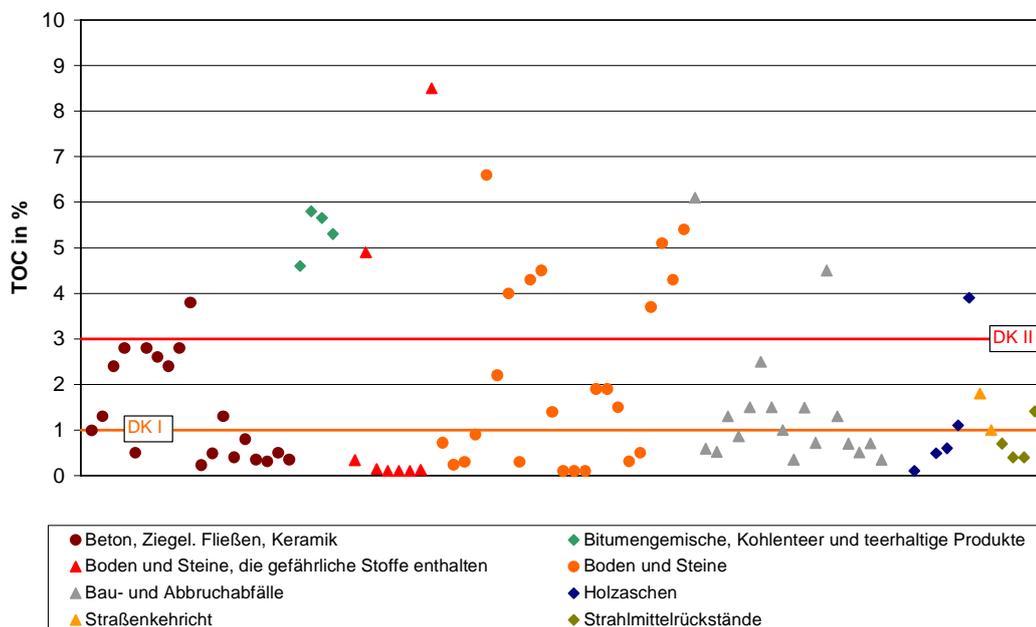
Laufende Nummer		DK I	DK II	1	2	3	4	5	34	35	36	37
Feststoff												
TR	Gew %			92,4	65,2			93,9	80,7	95		
TOC	Gew %	1	3	0,34	4,8							
GV	Gew %	3	5									
Extrahierbare lipophile Stoffe	Gew. %	0,4	0,8	< 0,01	< 0,01							
PAK	mg/kg TS	100	200	0,98		448		139	208	0,07	120	172,4
Eluat												
pH		13	13	8,4	7,6				10,7	11,9		
Lf	µS/cm	10.000	50.000	59,4	143				580	1520		
ADR	mg/l	3.000	6.000	36	32							
DOC	mg/l	50	80	2	14							
Phenole	mg/l	0,2	50	< 0,5	0,56				< 10	< 10		
AOX	mg/l	0,3	1,5	< 0,1	< 0,1							
As	mg/l	0,2	0,2	< 0,002	< 0,002				0,002	< 0,001		
Ba	mg/l	5	10	0,009	0,032							
Cd	mg/l	0,05	0,1	< 0,001	< 0,001		0,0084		< 0,5	0,0008		
Cr	mg/l	0,3	1	< 0,002	< 0,002				0,014	0,021		
Cr(VI)	mg/l	0,05	0,1	< 0,05	< 0,05							
Cu	mg/l	1	5	< 0,001	0,013				0,021	0,005		
Hg	mg/l	0,005	0,02	< 0,0001	< 0,0001			0,0005	< 0,2	< 0,2		
Mn	mg/l	0,3	1	0,004	< 0,002							
Ni	mg/l	0,2	1	0,002	0,037				0,001	0,002		
Pb	mg/l	0,2	1	< 0,008	< 0,008				< 2	< 2		
Sb	mg/l	0,03	0,07	< 0,001	< 0,002							
Se	mg/l	0,03	0,05	< 0,002	< 0,002							
Zn	mg/l	2	5	0,002	0,05				< 10	0,014		
Ammoniumstickstoff	mg/l	4	200	< 0,08	< 0,08							
Chlorid	mg/l	1.500	1.500	< 1	8,12				1,80	4,10		
Cyanide, I. fr.	mg/l	0,1	0,5	< 0,03	< 0,03							
Fluorid	mg/l	5	15	< 1	< 2							
Sulfat	mg/l	2.000	2.000	3	6				170	23		
Nitrat	mg/l			< 1	2,1							
KV-Index	mg/l			< 0,4	< 0,25							
Zuordnung der Abfälle nach												
AbfAbIV Anhang I	DK I eingehalten	DK I	DK I				DK I		DK I			
keine möglichen Überschreitungen berücksichtigt	DK II eingehalten	DK II						DK II		DK II	DK II	DK II
ADR-Kriterium statt Chlorid - Sulfat berücksichtigt	DK II nicht eingehalten	> DK II		> DK II	> DK II			> DK II				
Parameter, die DK I überschreiten	TOC-Cd			Phenole				PAK <sub>1</sub>		PAK <sub>1</sub>	PAK <sub>1</sub>	PAK <sub>1</sub>
Parameter, die DK I überschreiten	Cr-Cyanid											
Parameter, die DK I überschreiten	Chlorid-Sulfat											
Parameter, die DK II überschreiten	TOC-Cu			TOC	PAK <sub>1</sub>				PAK <sub>1</sub>			
Parameter, die DK II überschreiten	Hg-Sulfat											
	Summe DK II	20	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
	Summe >DK II	31	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
	Summe DK II und höher	51										
	Summe DK I	42										
	Analysezahl	93										

## Feststoffparameter: Glühverlust



EU 21: Deponieverhalten nach 2005

### Feststoffparameter: TOC

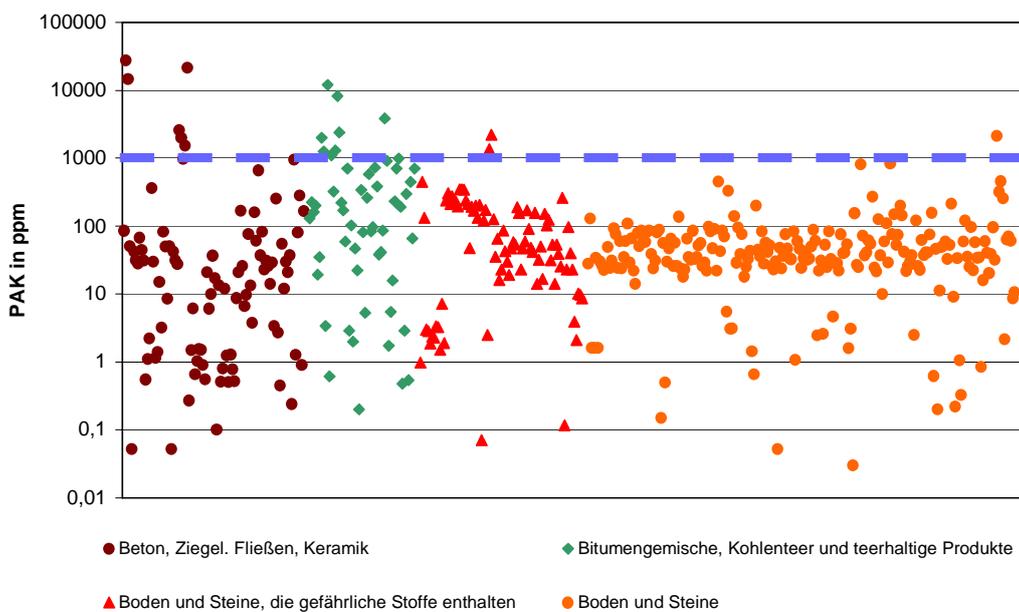


- 13 -

Fachtagung am 27. September 2007  
LfU, Augsburg

EU 21: Deponieverhalten nach 2005

### Feststoffparameter: PAK



- 14 -

Fachtagung am 27. September 2007  
LfU, Augsburg

## Ablagerung gefährlicher Abfälle

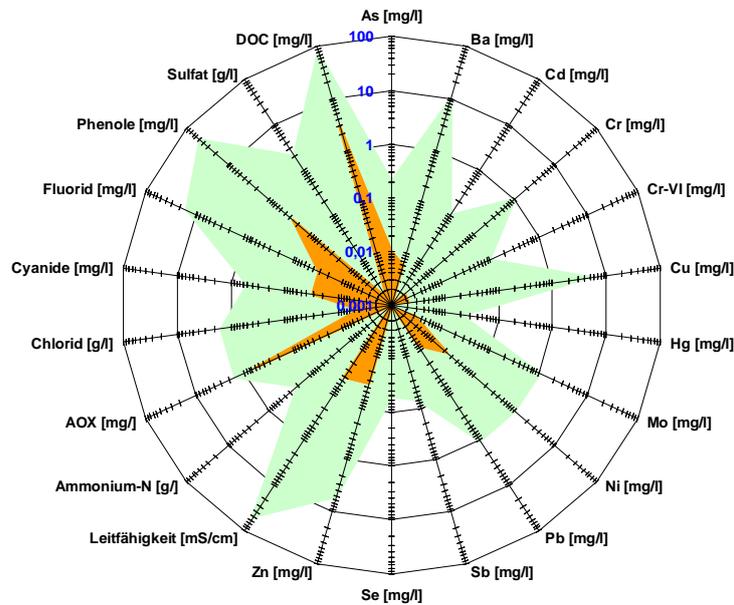


### DepV § 6, Absatz 3:

Abweichend von Absatz 2 können **stabile, nicht reaktive** gefährliche Abfälle, deren Auslaugverhalten dem von Abfällen entspricht, die die jeweiligen **Zuordnungskriterien nach Anhang 1 der Abfallablagerungsverordnung einhalten**, auf einer Deponie oder einem Deponieabschnitt der Klasse I oder II abgelagert werden. Diese Abfälle dürfen nicht gemeinsam mit biologisch abbaubaren Abfällen abgelagert werden.

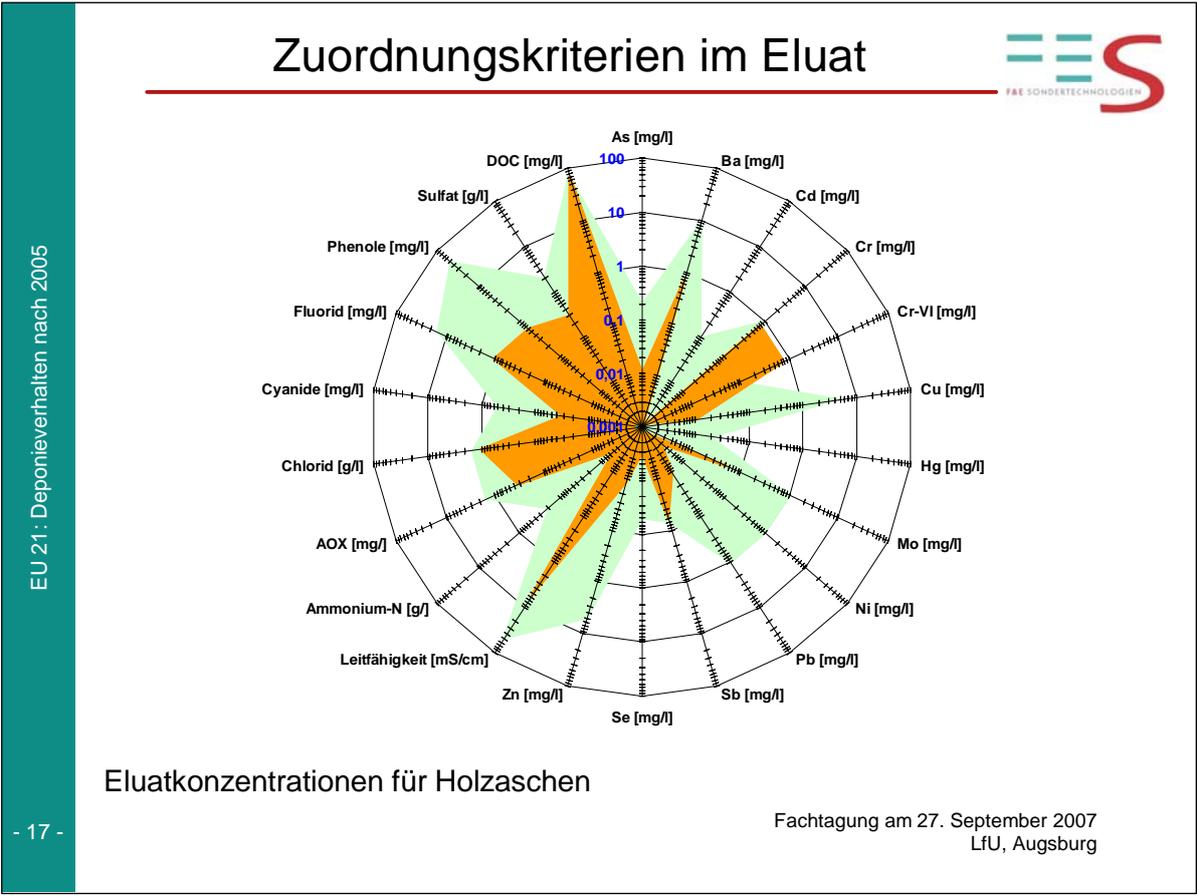


## Zuordnungskriterien im Eluat



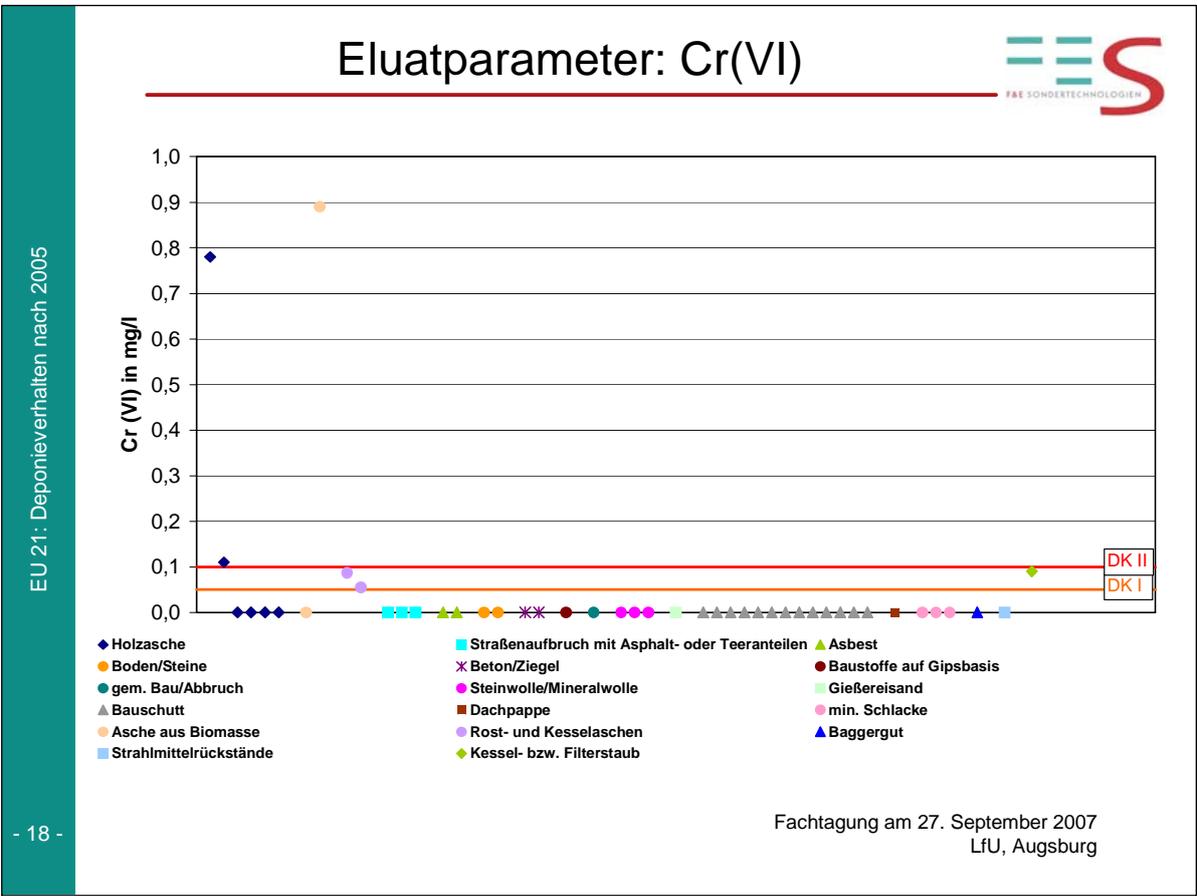
Eluatkonzentrationen für Straßenaufbruch auf Asphaltbasis

Fachtagung am 27. September 2007  
LfU, Augsburg



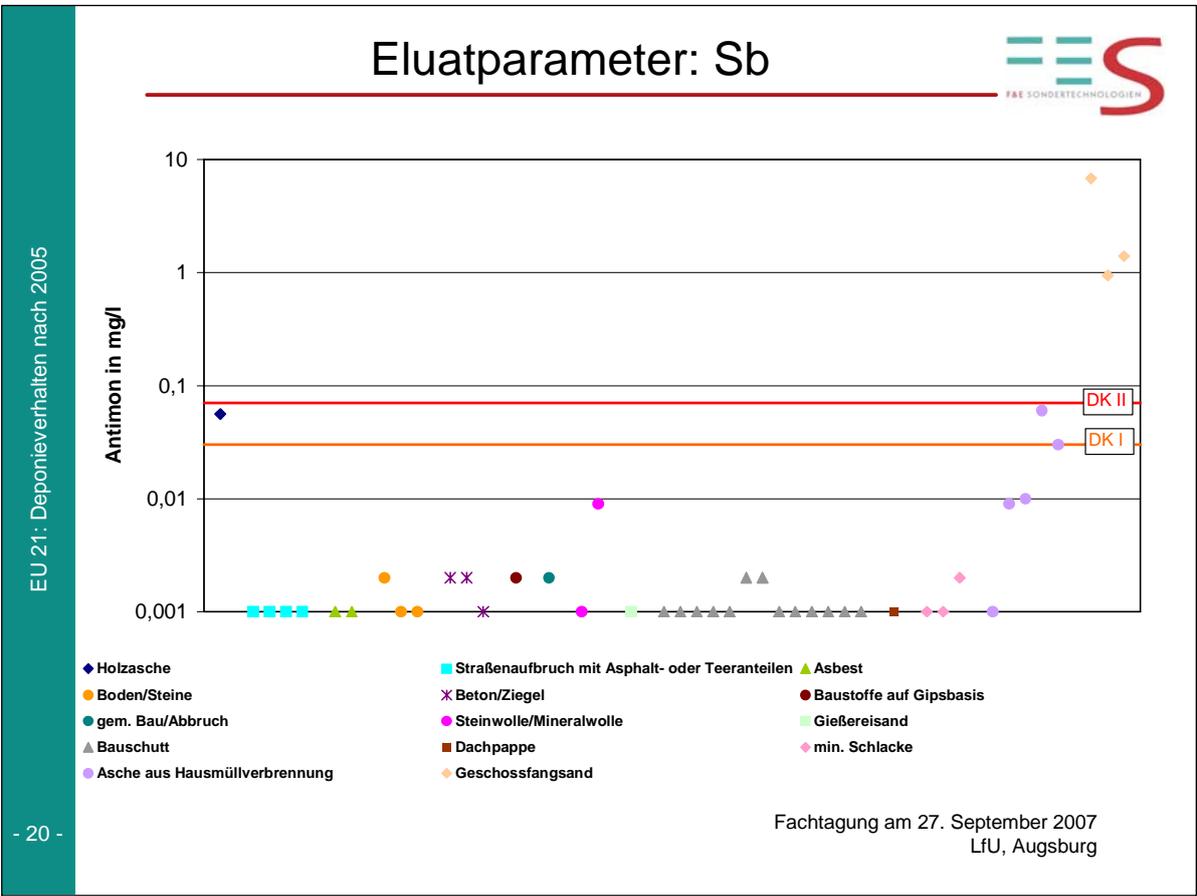
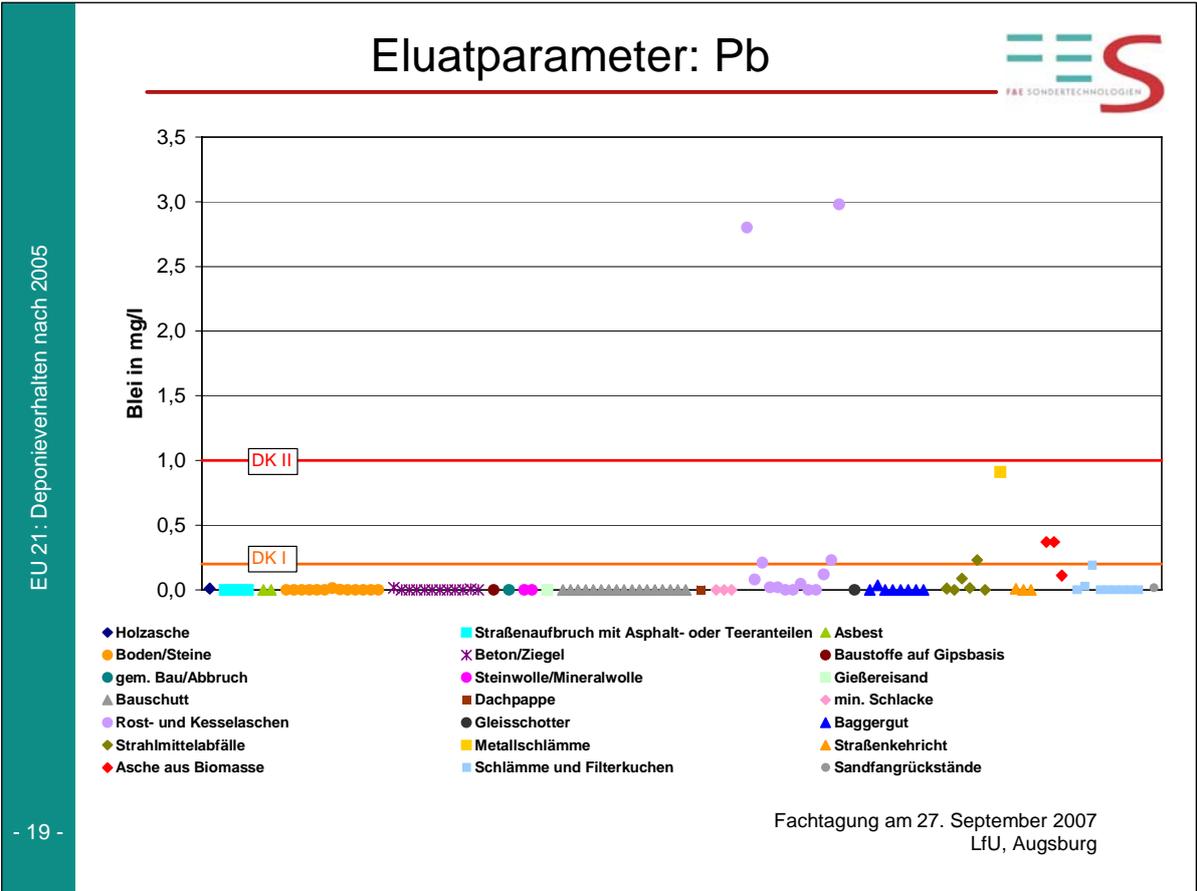
EU 21: Deponieverhalten nach 2005

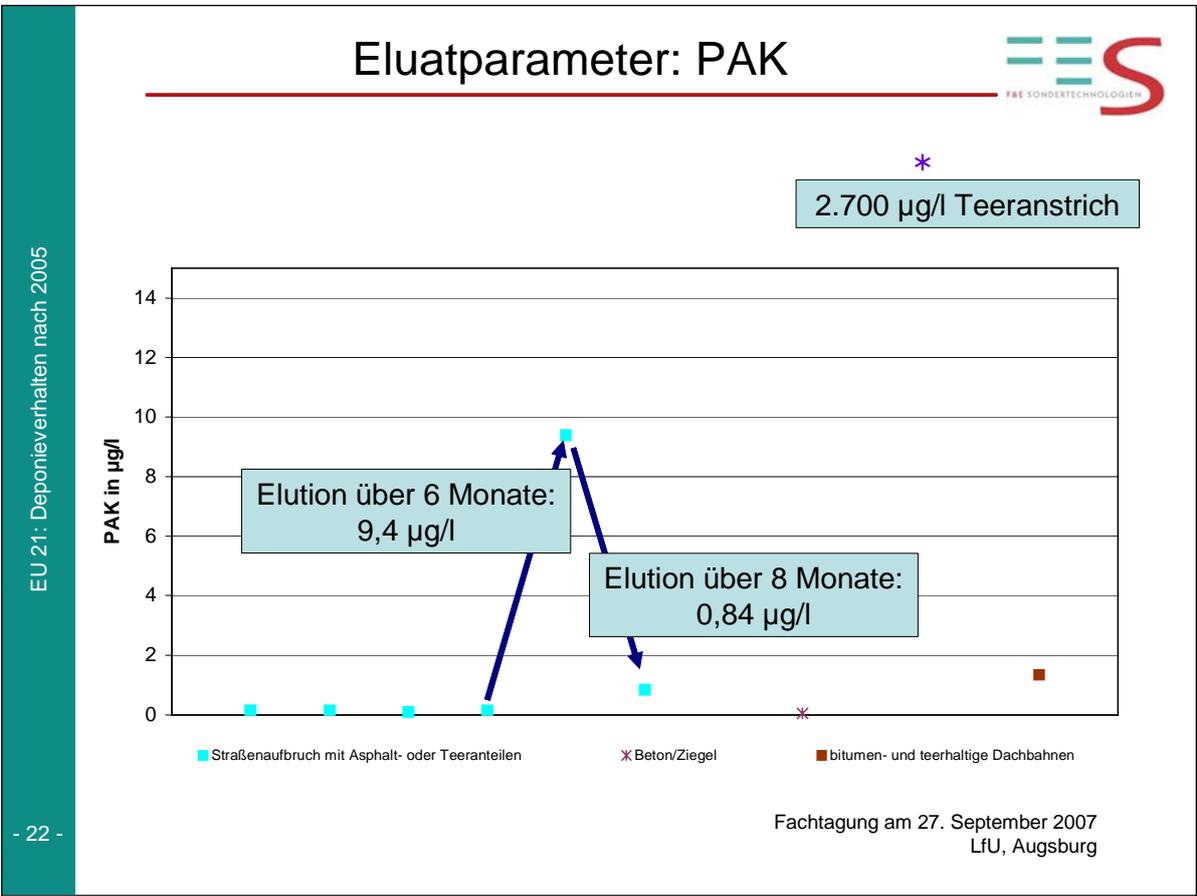
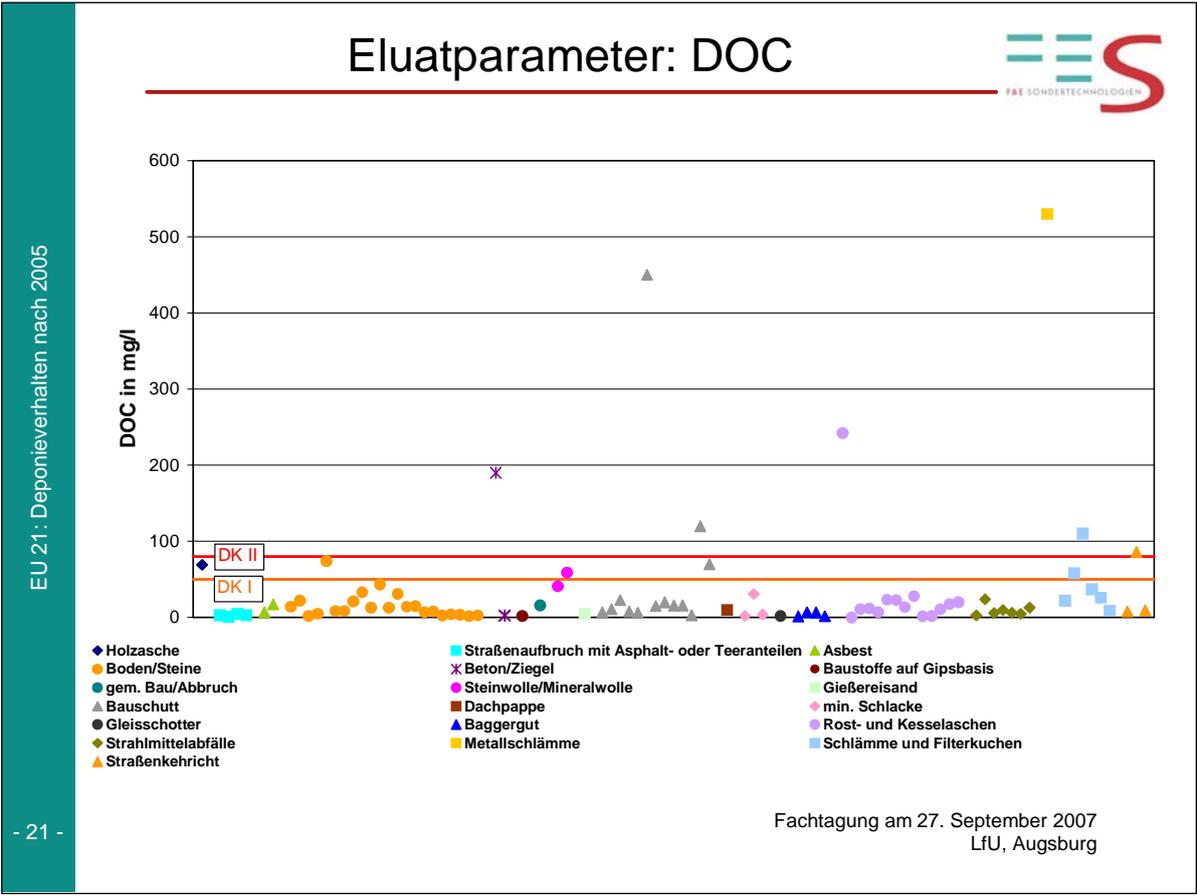
- 17 -



EU 21: Deponieverhalten nach 2005

- 18 -





## DK I oder DK II?



ASN	Analysenzahl	DK I	DK II	ASN	Analysenzahl	DK I	DK II
080803	6	0	6	161106	1	1	0
100101	19	3	16	170101	27	18	9
100105	1	1	0	170103	7	4	3
100119	1	1	0	170106	7	1	6
100201	6	2	4	170107	67	44	23
100202	2	2	0	170301	18	3	15
100215	1	0	1	170302	38	21	17
100906	3	0	3	170503	93	42	51
100908	1	1	0	170504	234	172	62
101008	1	1	0	170505	12	4	8
101010	1	0	1	170507	25	16	9
101105	1	1	0	170508	6	2	4
101111	1	1	0	170601	4	0	4
101112	2	0	2	170603	1	0	1
101205	1	1	0	170801	1	1	0
101213	1	1	0	170904	21	4	17
101306	1	1	0	190112	13	6	7
110110	11	2	9	190802	2	1	1
120116	1	0	1	191211	5	2	3
120117	23	13	10	191212	9	1	8
120118	1	0	1	191301	5	4	0
120121	1	0	1	200303	8	3	5
<b>Summe</b>	<b>690</b>	<b>381</b>	<b>309</b>				

Fachtagung am 27. September 2007  
LfU, Augsburg

- 23 -

## DK I oder DK II?



**Menge ASN x Anteil DK I = Menge ASN für DK I**

**Beispiel für ASN 170504 (Böden und Steine):**

63.284 Mg x 0,735 (Analysenanteil DK I) = 46.516 Mg DK I

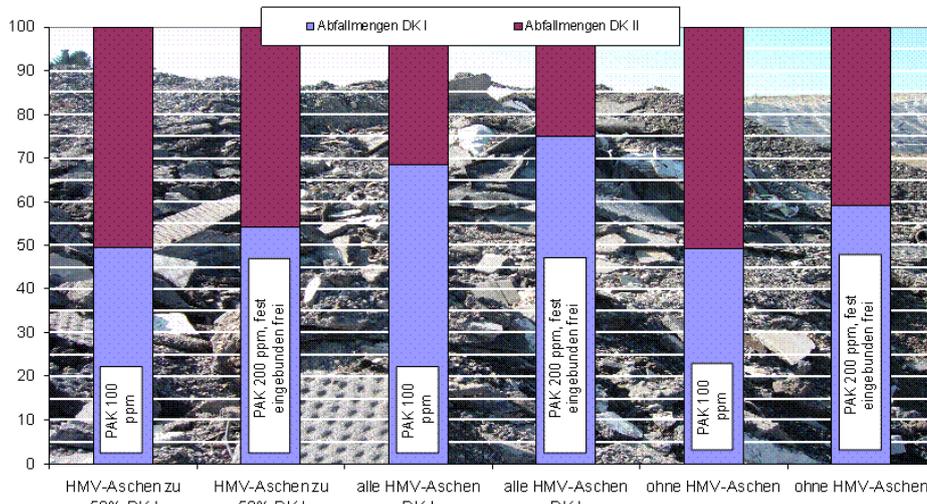
63.284 Mg x 0,265 (Analysenanteil DK II) = 16.768 Mg DK II

Fachtagung am 27. September 2007  
LfU, Augsburg

- 24 -

EU 21: Deponieverhalten nach 2005

## DK I oder DK II?

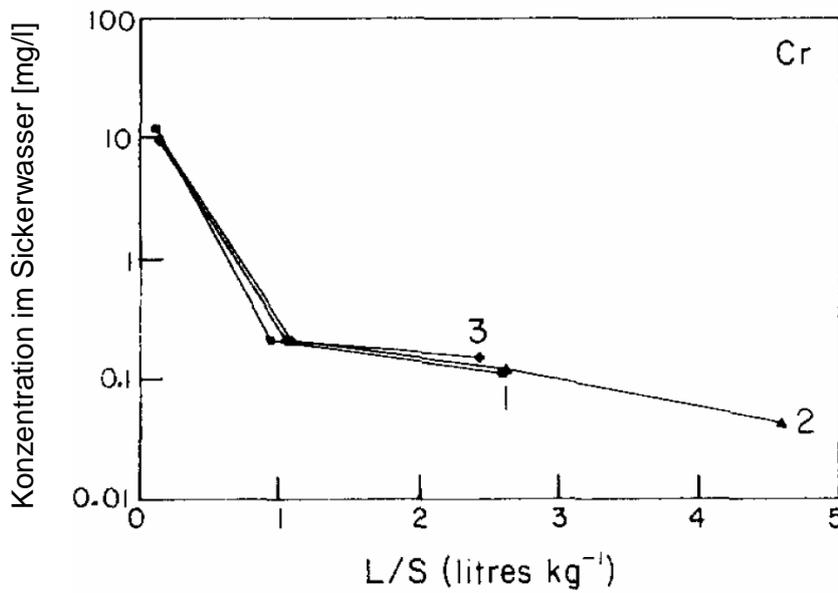


- 25 -

Fachtagung am 27. September 2007  
LfU, Augsburg

EU 21: Deponieverhalten nach 2005

## Eluat – Sickerwasser - L/S?

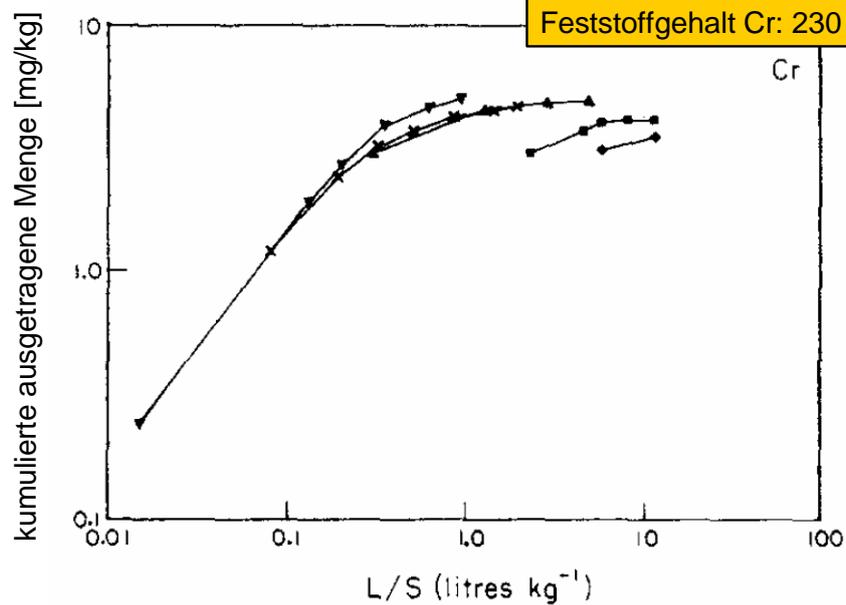


Leachate from Land Disposal of Coal Fly Ash; O. Hjelmar: Waste Management & Research, 1990, 8, 429-449

- 26 -

Fachtagung am 27. September 2007  
LfU, Augsburg

## Eluat – Sickerwasser - L/S?



Leachate from Land Disposal of Coal Fly Ash; O. Hjelm: Waste Management & Research, 1990, 8, 429-449

- 27 -

Fachtagung am 27. September 2007  
LfU, Augsburg

## Wann ist ein L/S von 1 erreicht?



$$t = t_0 + L/S \times d_d \times H/I$$

$$t_0 = 1 \text{ Jahr}$$

$$L/S = 1$$

$$d_d = 1,0 \text{ kg/dm}^3$$

$$H = 5 \text{ m}$$

$$I = 200 \text{ mm/Jahr}$$

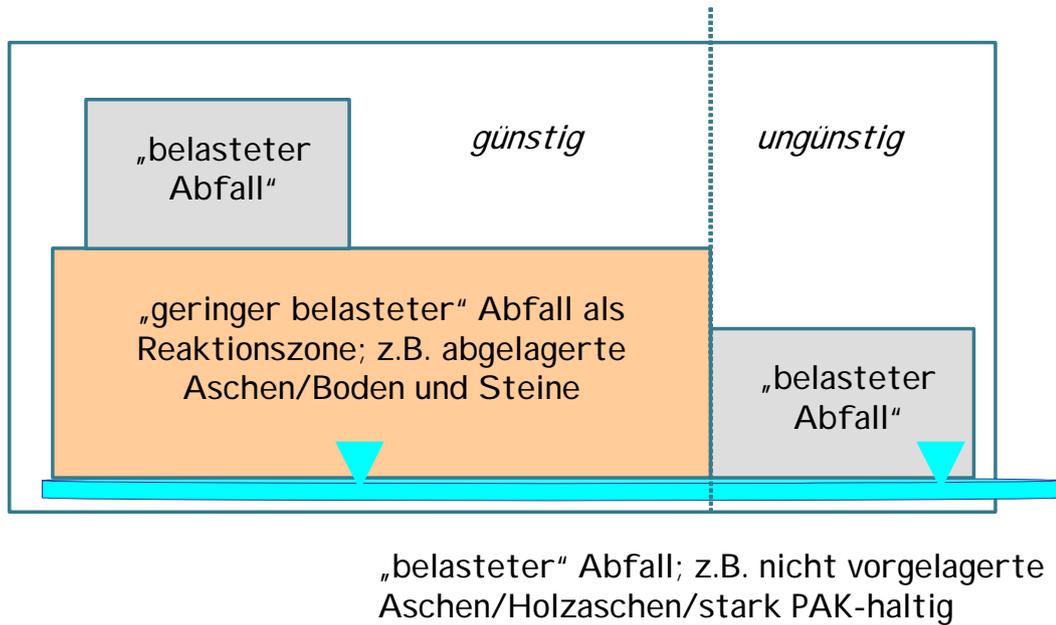
$$t = 26 \text{ Jahre bis } L/S = 1$$

- 28 -

Fachtagung am 27. September 2007  
LfU, Augsburg

EU 21: Deponieverhalten nach 2005

## Sickerwasserqualität und Ablagerungsort?

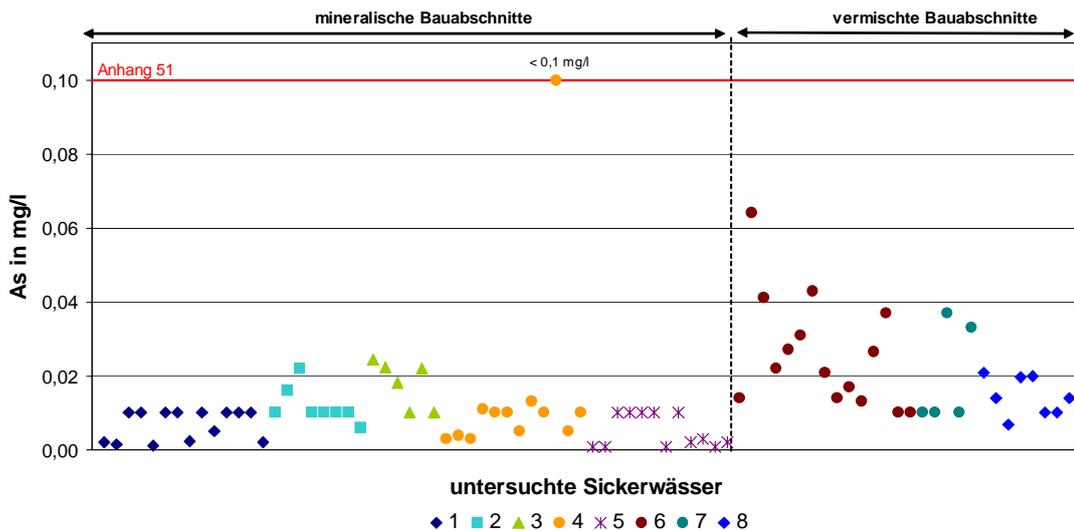


- 29 -

Fachtagung am 27. September 2007  
LfU, Augsburg

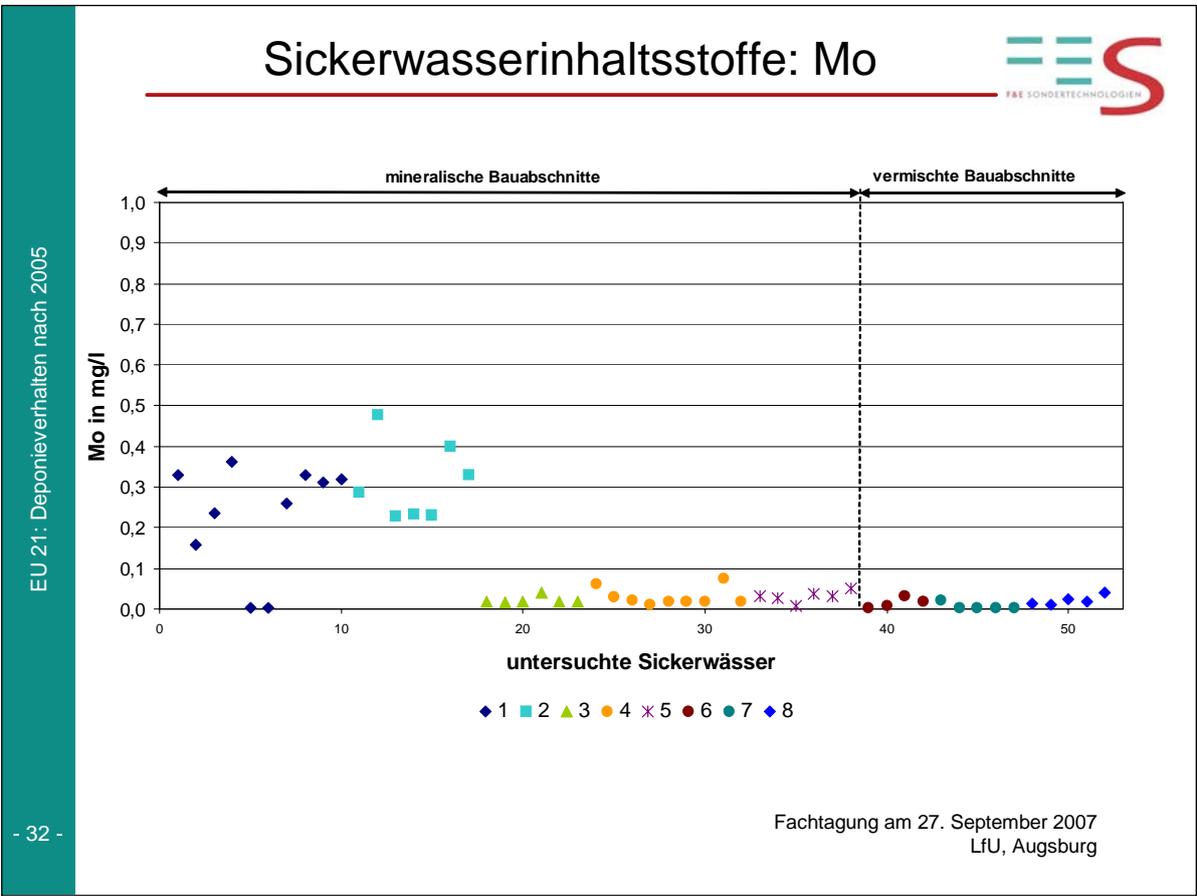
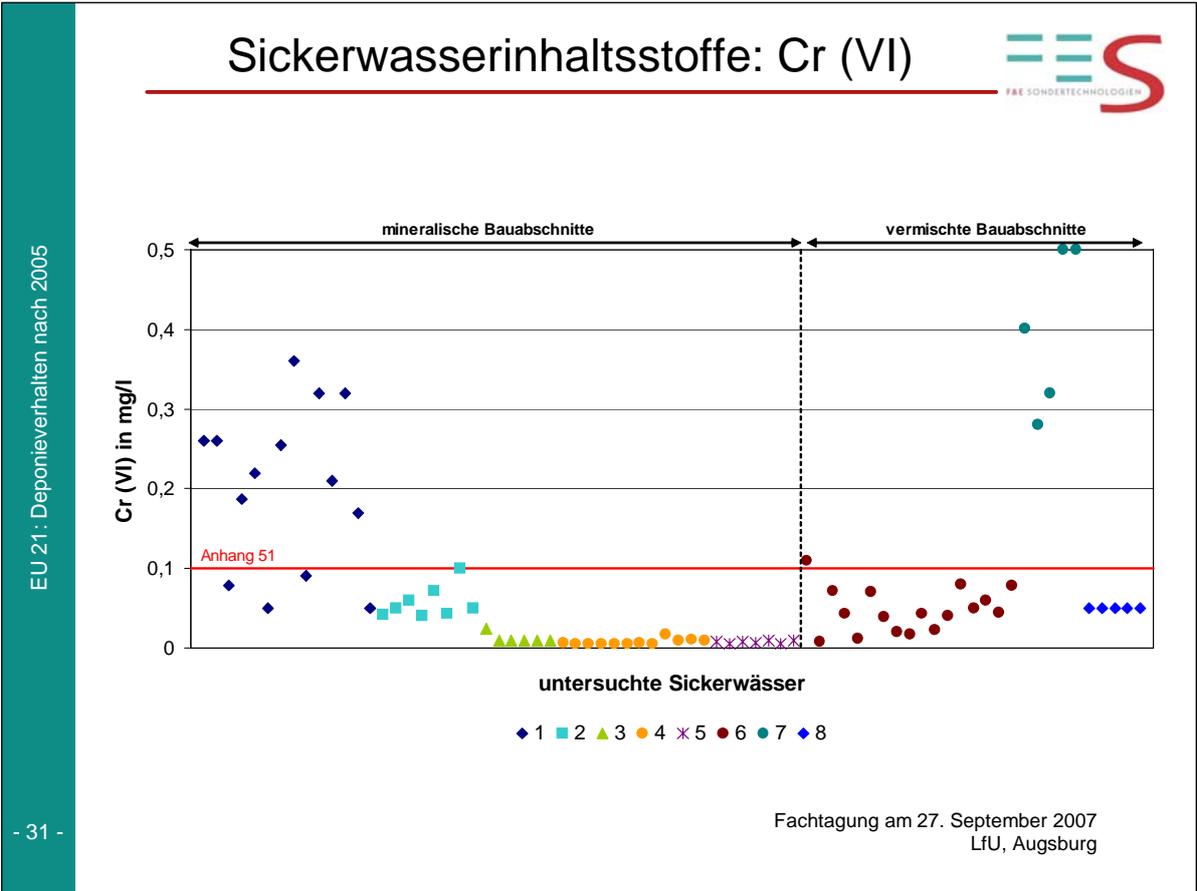
EU 21: Deponieverhalten nach 2005

## Sickerwasserinhaltsstoffe: As



- 30 -

Fachtagung am 27. September 2007  
LfU, Augsburg



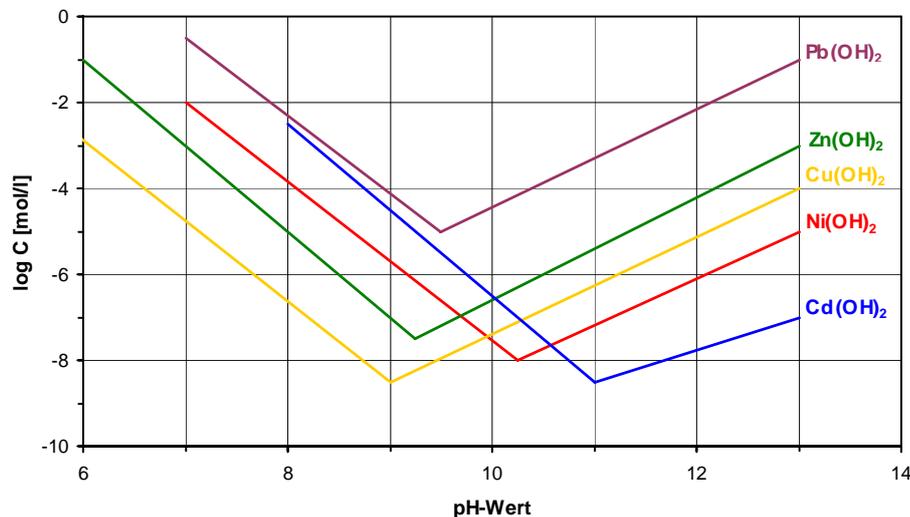
EU 21: Deponieverhalten nach 2005

- 31 -

EU 21: Deponieverhalten nach 2005

- 32 -

## Fixierung durch Mineralbildung



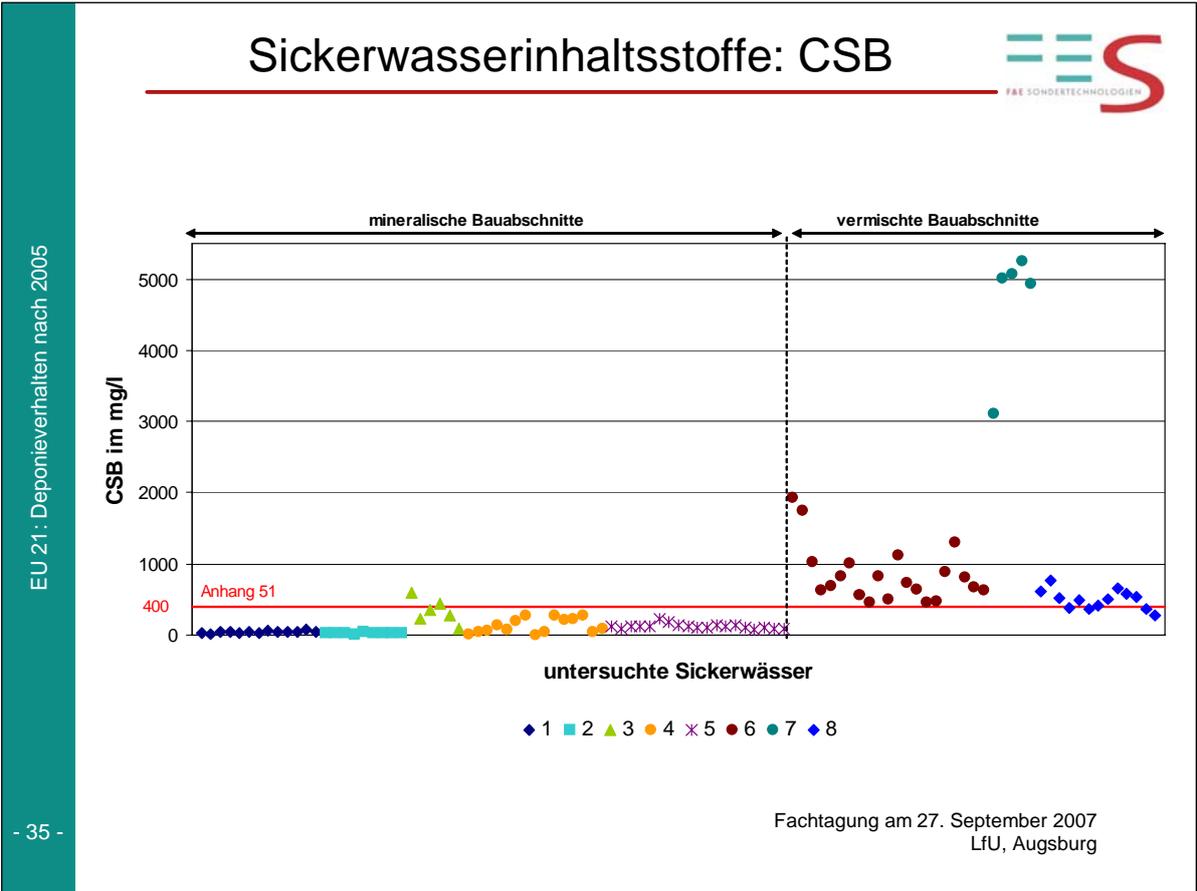
Fachtagung am 27. September 2007  
LfU, Augsburg

## Fixierung durch Mineralbildung

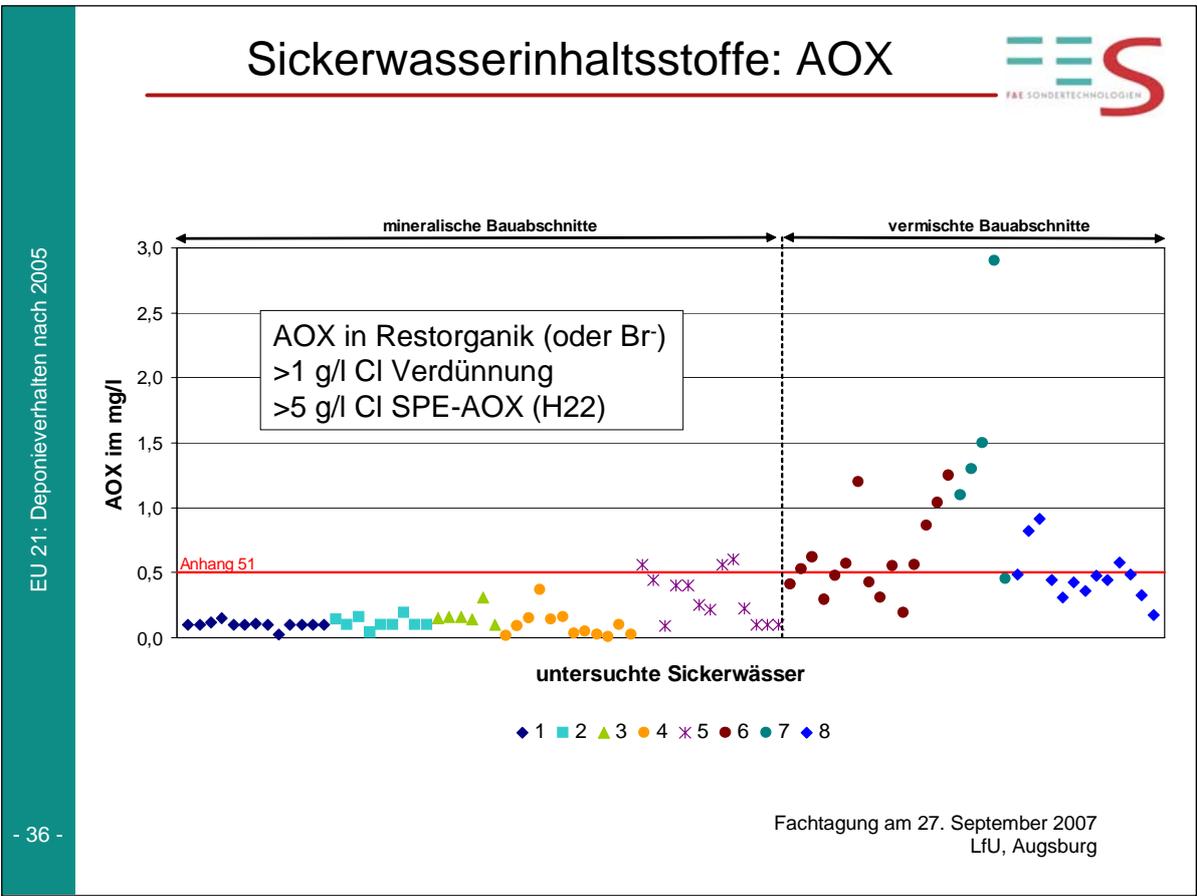


Mineral	Formel	Restlöslichkeit in mg/l
<i>Chalkanthit</i>	<i>CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O</i>	<i>81.000</i>
Brochantit	Cu <sub>4</sub> SO <sub>4</sub> (OH) <sub>6</sub>	0,36
<i>Tolbachit</i>	<i>CuCl<sub>2</sub></i>	<i>300.000</i>
Atacamit	Cu <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub>	1,7
Tenorit	CuO	0,014
Malachit	Cu <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (OH) <sub>2</sub>	0,13
Azurit	Cu <sub>3</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub>	12
Libenthenit	Cu <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> OH	0,78
<i>Goslarit</i>	<i>ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O</i>	<i>52.000</i>
Zinkit	ZnO	11,8
Hydrozinkit	Zn <sub>5</sub> (OH) <sub>6</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	2,8
Hopeit	Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	0,73
<i>Retgersit</i>	<i>NiSO<sub>4</sub>·6H<sub>2</sub>O</i>	<i>140.000</i>
Reevesit	Ni <sub>6</sub> Fe <sub>2</sub> (CO <sub>3</sub> )(OH) <sub>16</sub> ·4H <sub>2</sub> O	0,91
Anglesit	PbSO <sub>4</sub>	28
Cerussit	PbCO <sub>3</sub>	0,10
-	Cr(OH) <sub>3</sub>	0,001

Fachtagung am 27. September 2007  
LfU, Augsburg



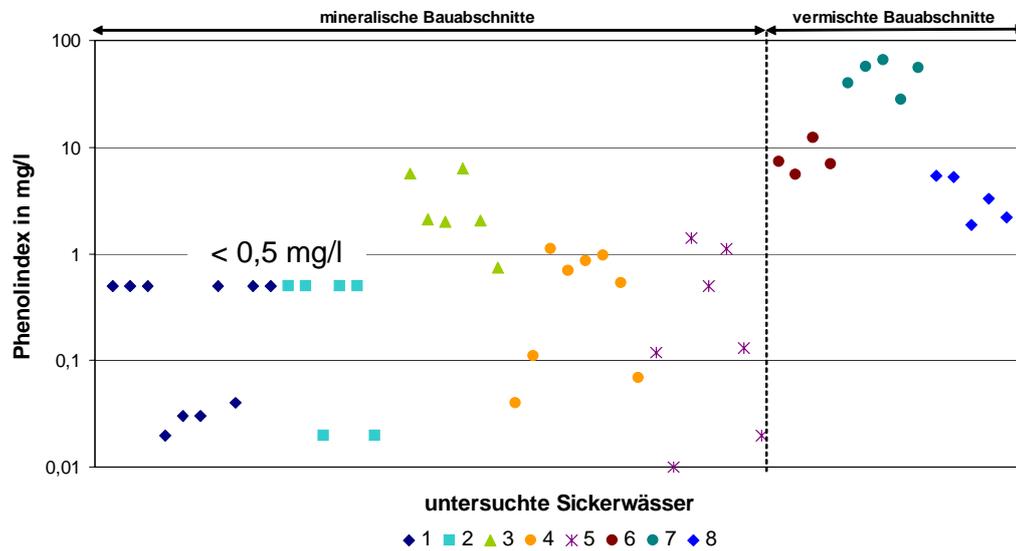
EU 21: Deponieverhalten nach 2005



EU 21: Deponieverhalten nach 2005

EU 21: Deponieverhalten nach 2005

## Sickerwasserinhaltsstoffe: Phenole

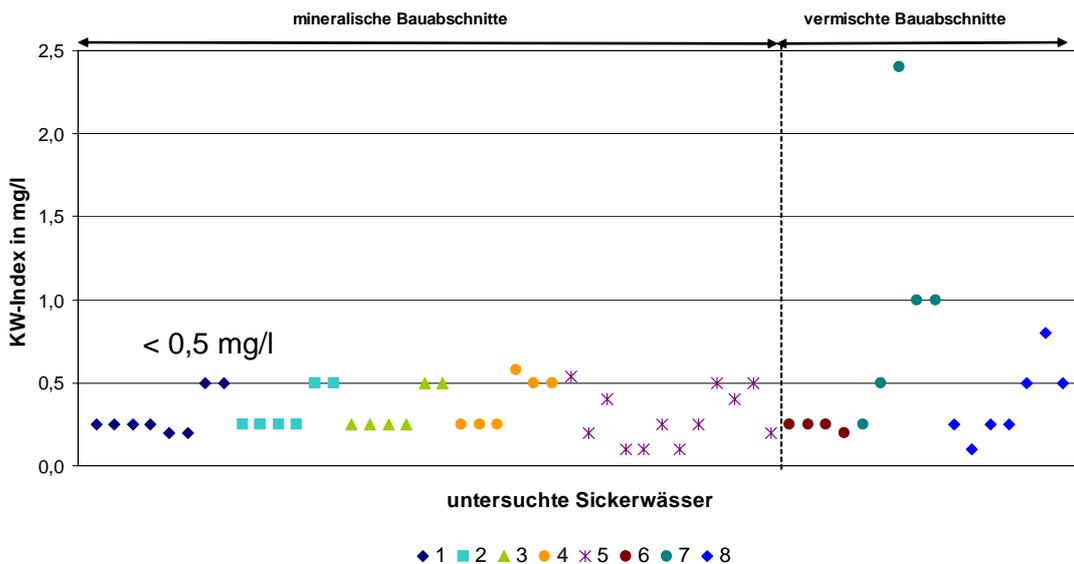


- 37 -

Fachtagung am 27. September 2007  
LfU, Augsburg

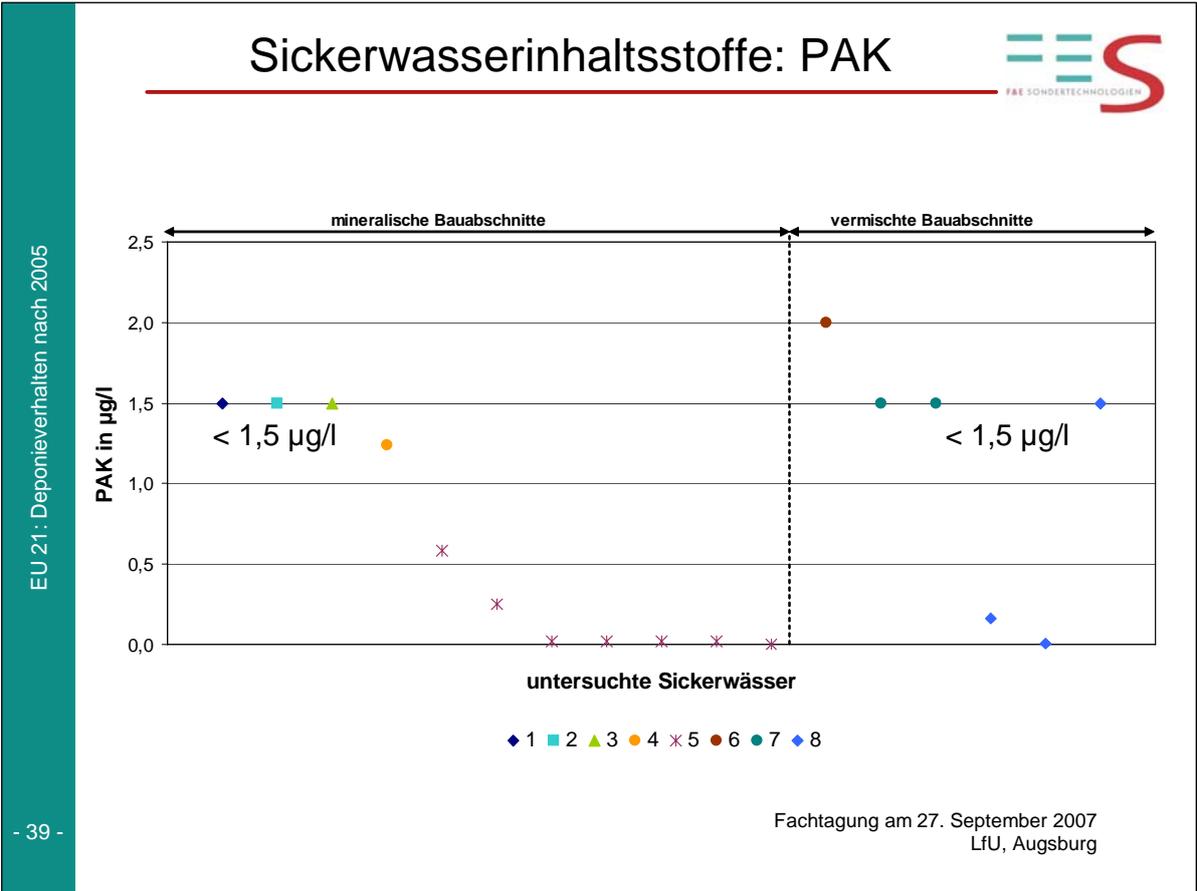
EU 21: Deponieverhalten nach 2005

## Sickerwasserinhaltsstoffe: KW



- 38 -

Fachtagung am 27. September 2007  
LfU, Augsburg



### Was geschieht mit der Organik?

**DOC:** 100 mg/l im Eluat entspricht 1.000 mg/kg oder 0,1%  
 1 g C pro kg Abfall bis zu 1,868 Liter Deponiegas: CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>  
 GB<sub>21</sub> ≤ 20 l/kg entspricht ca. 1% vollständig abbaubarer TOC

**PAK:** stark unterschiedliches Abbauverhalten

Naphthalin: aerob: Halbwertszeit 1 bis 30 Tage  
 anaerob: auch nach 3 Monaten kein Abbau

Anthracen: aerob: Halbwertszeit 5 bis 200 Tage

Benz[a]anthracen, Benzo[a]pyren:  
 aerob: Halbwertszeit 50 Tage bis 10 Jahre

## Was geschieht mit der Organik?



**Phenol:** aerob: gut; Industriemülldeponie, Halbwertszeit 1,6 Jahre

**BTEX:** aerob: Halbwertszeit 5 bis 60 Tage;  
anaerob: Persistenz über viele Jahre

**LHKW:** bevorzugt anaerob, Halbwertszeiten 1 bis 2 Jahre

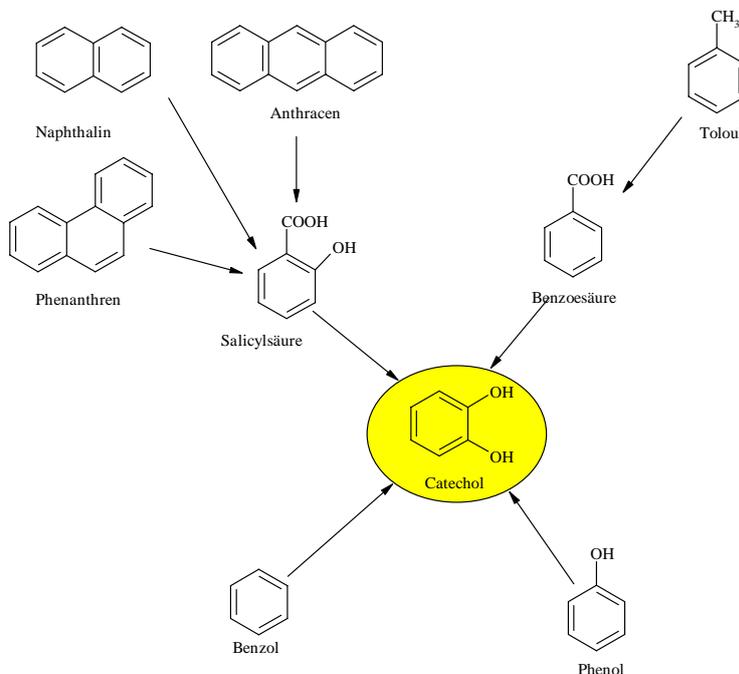
**KW:** aerob: 1 bis 4 Wochen; anaerob: 1 bis mehrere Jahre

**PCB, PCDD/F:** persistent (EU-POP)



Fachtagung am 27. September 2007  
LfU, Augsburg

## Aromatenabbau zu Catechol



Fachtagung am 27. September 2007  
LfU, Augsburg

## Bewertung Sickerwasserqualität



Parameter	Zielwert*	Anhang 51	Sickerwässer	Einheit
pH	6,0 – 9,0	-	7,0 – 9,8	-
el. Leitfähigkeit	2.500	-	1.140 – 4.100	µS/cm
Antimon (Sb)	(40)	-	< 1 – 31	µg/l
Arsen (As)	100	100	< 1 – 25	µg/l
Barium (Ba)	(1.200)	-	10 – 380	µg/l
Blei (Pb)	400	500	< 8 – 57	µg/l
Cadmium (Cd)	50	100	< 0,1 – 2	µg/l
Chrom (Cr, gesamt)	(200)	500	< 10 – 360	µg/l
Chrom (Cr-VI)	100	100	< 5 – 320	µg/l
Kupfer (Cu)	1.000	500	< 3 – 190	µg/l
Molybdän (Mo)	(200)	-	< 2 – 480	µg/l
Nickel (Ni)	200	1.000	< 1 – 100	µg/l
Quecksilber (Hg)	5	50	< 0,1 – 3,2	µg/l
Selen (Se)	(40)	-	< 1 – 23	µg/l
Zink (Zn)	2.000	2.000	< 2 – 890	µg/l
Ammonium-N (NH <sub>4</sub> -N)	50	70	< 0,08 – 15	µg/l
Chlorid (Cl <sup>-</sup> )	-	-	160 – 2.100	mg/l
Cyanid, leicht freisetzbar (CN <sup>-</sup> )	100	200	< 30	µg/l
Fluorid (F <sup>-</sup> )	25	-	< 1 – < 10	mg/l
Sulfat (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	-	-	110 – 3.300	mg/l
Sulfid (S <sup>2-</sup> )	-	1.000	< 20 – 520	µg/l
PAK	(2)	-	<0,15 – 1,2	µg/l
LHKW	(40)	-	< 1	µg/l
Kohlenwasserstoffe	(1.000)	-	< 250	µg/l
BTEX	(100)	-	< 0,5	µg/l
Phenolindex	500	-	< 10 – 6.400	µg/l
AOX	500	500	< 10 – 700	µg/l
CSB	400	400	20 – 600	mg/l
DOC	150	(100)	16 – 140	mg/l

EU 21: Deponieverhalten nach 2005

- 43 -

\*: Zielwert nach Stegmann, R., Heyer, K.-U. & Hupe, K. (2006): Deponienachsorge – Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge bzw. kursiv Stufe-2-Werte des LfU-Merkblattes 3.8/1, Wirkungspfad Boden-Grundwasser

## Verbesserung der Sickerwasserqualität



- basisnahe Ablagerung von carbonatisierten Aschen/Boden/Material mit geringem Elutionsvermögen und nicht gefährlichen Abfällen
- oberflächennahe Ablagerung von gefährlichen und reaktiven Abfällen hohem Elutionsvermögen, hohen organischen Feststoffgehalten (Aschen mit Cr(VI), nicht carbonatisierte, stark alkalische Aschen, stark PAK-haltige Abfälle)
- Einrichtung von Monobereichen nicht zielführend



EU 21: Deponieverhalten nach 2005

- 44 -

## Verbesserung der Sickerwasserqualität



- pH-Absenkung ( $\leq 10$ ) durch Carbonatisierung (z.B. Aschen)
- vermischte Ablagerung von Abfällen mit gegenseitigem Fixierungspotential (z.B. Carbonate, Hydroxosulfate, Phosphate, adsorptiver Rückhalt durch eisenhaltige Abfälle, Böden)
- Entfernung/Teilentfernung von Chrom(VI) und Sb(V) durch Reduktion, bei basisnaher Ablagerung
- Befeuchtung des Abfallkörpers während der Betriebsphase plus ca. drei bis fünf Jahre nach Einbauende



- 45 -

## Zusammenfassung



- 1) ca. 350.000 + 150.000 = 500.000 Mg mineralische Abfälle
- 2) ca. 50 % bis 75 % der mineralischen Abfälle können auf DK I abgelagert werden
- 3) keine Deponiegasbildung, abiotische  $H_2$ -Bildung zu vermeiden
- 4) Sickerwasser hält in der Regel Anhang 51 AbwV ein, keine Vorbehandlung erforderlich; bevorzugte SW-Fassung
- 5) Steuerung der Abfallablagerung kann erforderlich sein, um Ziele zu erreichen
- 6) Empfehlungen zur Steuerung der Abfälle in Leitfaden zusammengefasst (Anhang zum Schlussbericht)

- 46 -

LfU, Augsburg

# Schäden in Deponieentwässerungssystemen und Strategien zur Sanierung

**Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Edenberger, ICP Ingenieurgesellschaft Prof. Czurda und Partner mbH, Urbach**

## 1 Einleitung

Das Entwässerungssystem einer Deponie stellt einen unverzichtbaren Bestandteil des Abdichtungssystems, speziell an der Deponiebasis dar. Die in die Flächendrainage integrierten gelochten bzw. geschlitzten Entwässerungsleitungen (nach dem früheren Standard aus Ton oder Steinzeug, nach dem derzeitigen Stand der Technik aus PE) haben die Aufgabe, das anfallende Sickerwasser aus dem Deponiekörper abzuleiten und einer entsprechenden Behandlung zuzuführen. Treten in diesem wichtigen Teil des Bauwerks Deponie Schäden auf, so kann dies bekannterweise fatale Folgen für die Abdichtung und demzufolge auch für die Umwelt haben. Besonders auch die Anforderungen an die Funktionstüchtigkeit des Entwässerungssystems in der Nachsorgephase einer Deponie sind sehr hoch und sollten trotz realisierter Oberflächenabdichtungen nicht unterschätzt werden. Die Entwässerungsleitungen müssen auch nach dem Abschluss des Deponiekörpers, nicht zuletzt auch aufgrund der Tatsache einer über lange Zeiträume andauernden Eigenentwässerung des Deponiekörpers, funktionsfähig bleiben.

Ist das Entwässerungssystem beschädigt, stellt dies für viele Deponiebetreiber eine Gratwanderung zwischen der Durchführung kostspieliger Sanierungen oder einem „Abwarten“ und beobachten bzw. überwachen von Schadensentwicklungen dar.

Die folgenden Ausführungen zeigen verschiedene Möglichkeiten und Beurteilungsansätze, die letztendlich zur Entscheidung führen sollen, ob und in welcher Art und Weise eine Sanierung von Schäden sinnvoll durchgeführt werden kann oder eine entsprechend adäquate Wartung und Überwachung ausreichend ist.

## 2 Schäden in Deponieentwässerungssystemen

### 2.1 Darstellung von typischen Schadensbildern

Zunächst soll ein Überblick gegeben werden über den aktuellen Kenntnisstand von Schäden in Deponieentwässerungsleitungen und deren Entwicklungsstufen.

#### **Versackungen (Senken)**

Versackungen stellen sich durch örtliche Verformung, z. B. Setzung des Untergrunds im Bereich des Rohraufagers ein. Ursache hierfür können örtlich schlechterer Baugrund oder örtlich stark erhöhte Lasten sein. In den Senken staut sich das abfließende Wasser auf, so dass hier ab bestimmten Tiefen die Kanalkamera unter Wasser gerät.



Abb. 1: Senke mit Sickerwasseransammlung

Im Bereich von Senken staut sich innerhalb der Deponieflächen Sickerwasser auf der Basisabdichtung. Da eine Behebung des Schadens in der Regel nur durch großräumiges Freilegen möglich ist, werden geringe Senken (10 bis 20 cm) in überschütteten Deponien in der Regel hingenommen.

### Muffenspalten

Muffenspalten ergeben sich durch unsachgemäße Rohrverlegung, zu große Abwinkelungen, und bei PE-Rohren durch Nichtbeachtung des Temperaturdehnungsverhaltens (große Ausdehnung bei Erwärmung) bei der Verlegung.

Muffenspalten in Drainleitungen (Sickerrohren) sind ohne Belang solange sie Spülarbeiten, die TV-Befahrung und die Standsicherheit der Rohre nicht beeinträchtigen.

Muffenspalten in Transportleitungen (Sickerwasserkanälen) außerhalb der Deponie deuten auf Undichtigkeiten hin und sind unbedingt zu prüfen sowie gegebenenfalls zu sanieren bzw. abzudichten.

### Verformungen des Rohrquerschnittes

Verformungen des Rohrquerschnittes ohne Rissbildung treten nur bei sogenannten biegeweichen Rohren auf. Ursache hierfür sind zu hohe Lasten, unsachgemäße Auflagerung (Rohrbettung), starke Senken oder zu hohe Temperaturen (insbesondere bei PE-Rohren).

Ein vollständiges Beulen (Zusammenfallen des Rohrquerschnittes) bei Kanalrohren aus PE tritt bei etwa 35 bis 40 % Verformung ein. Bei Verformungen ab etwa 25 bis 30 % sind wegen des drohenden Kollabierens geeignete Sanierungsmaßnahmen einzuleiten. Ab ca. 50 % Verformung wird in der Regel von einer Kamerainspektion abgesehen, da das Risiko zu groß ist, durch ein Kollabieren der Leitung die Kamera zu verlieren (Abb. 2).

Bei der Beurteilung von Querschnittsverformungen ist des Weiteren von Bedeutung, ob das betreffende Rohr zukünftig durch zusätzliche Aufschüttung (z. B. Oberflächenabdichtungen) höhere Lasten erfährt, oder ob das Rohr nicht zusätzlich belastet wird. **In letzterem Falle kann sich eine stabile Situation einstellen, da sich das Rohr durch die Verformung teilweise der Last entzieht.**

Dieser Aspekt kann auch im Hinblick auf eine Abwägung der zu wählenden Sanierungsstrategie von Bedeutung sein.

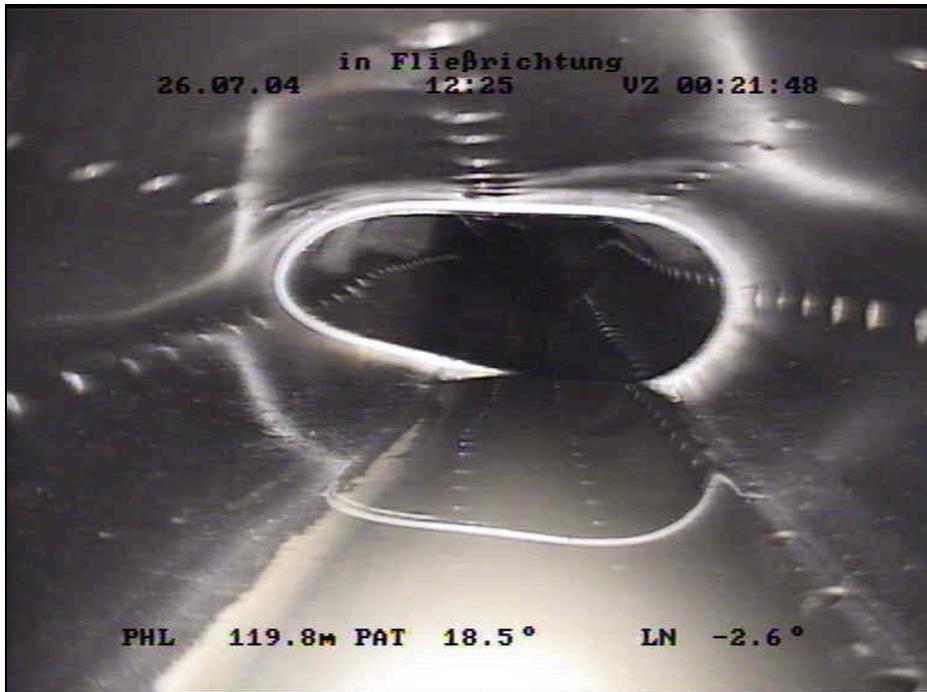


Abb. 2: Starke Verformung einer PE Leitung

## Risse

Risse treten überwiegend bei sogenannten biegesteifen Rohren (wie z. B. Steinzeug) auf. In neuerer Zeit werden aber auch bereits in PE Leitungen entsprechende Rissbilder festgestellt, die jedoch in jedem Fall eine Untersuchung anhand sehr spezieller Randbedingungen bedürfen. Risse werden nach ATV M 143 unterschieden in:

- Längsrisse
- Querrisse
- Risse von einem Punkte ausgehend

Bereichsweise auftretende Risse können auch eine bautechnische Ursache haben, z. B. in der nicht sachgerechten Einbettung der Muffenbereiche in den Untergrund nach DIN 4033. Hierbei kommt es zu unzulässigen Punktlagerungen, d. h. zu einem sogenannten Muffenreiten. Dieser Fehler tritt häufig bei der Verlegung von Steinzeugrohren auf, deren Muffenaußendurchmesser wesentlich größer ist als der Außendurchmesser des Rohres selbst.

Längsrisse entstehen in Drainageleitungen entweder durch ein unsachgemäß ausgebildetes Rohrauf-lager, d. h. durch eine Linienlagerung die nach DIN 4033 nicht zulässig ist, oder durch eine zu hohe Auflast auf das Rohr selbst. Eine Linienlagerung bewirkt die Überschreitung der Ringbiegezugfestigkeit.

Scheitel- und Sohlenrisse öffnen sich im Allgemeinen auf der Innenseite der Rohrwandung; Kämpfer-risse auf der Außenseite.

Die Bildung von Querrissen in Deponiedrainageleitungen kann auch die Ursache in einer unsachgemäßen Rohrauflagerung sowie im Einwirken von großen Lasten auf dem Rohr haben. Querrisse verlaufen oft im gesamten Rohrumfang und treten bei schlechtem Rohraufleger meist in der Rohrmitte auf.

Risse von einem Punkt ausgehend stammen ebenfalls von einer zu hohen Auflast, können jedoch auch von auf die Rohrwandung drückenden Einzellasten herrühren. Diese Punktlasten können auch beim unsachgemäßen Einbau der ersten Müllage (Sperrmüll etc.) entstehen. Hierbei kann es vorkommen dass sperrige Teile wie Balken, Stahlträger o. ä. die Kiesrigole über dem Rohr durchdringen und auf die Rohrwand drücken.

Rissursache und Rissart stehen nach den obigen Ausführungen also in einem gewissen Zusammenhang. Allerdings kann es hierbei auch zu Überlagerungen kommen, die unter Umständen zu Scherbenbildungen führen können.

Sich verzweigende Risse (längs und quer) führen letztendlich zu Scherbenbildung und Rohrbruch (als Rohrbruch wird das Fehlen mehr oder weniger großer Stücke der Rohrwandung bezeichnet) und im Extremfall zum Einsturz der Leitung. Ein Einsturz ist die folgenschwerste Phase in der Zerstörung einer Rohrleitung. Er unterbricht den Rohrquerschnitt und macht Kontroll- und Wartungsarbeiten sowie einige Sanierungsverfahren unmöglich. Die Abbildungen 3 bis 5 zeigen verschiedene Entwicklungsstadien der erwähnten Risse auf.

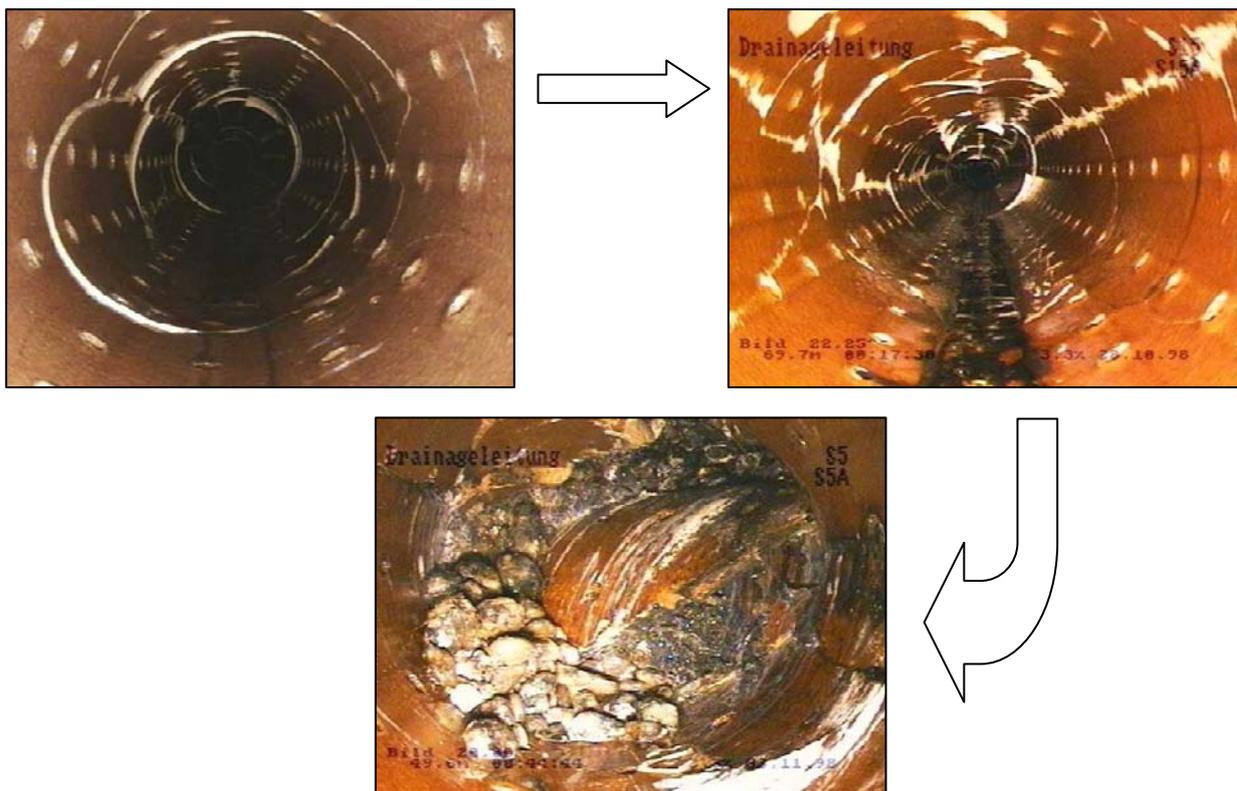


Abb. 3 bis 5: Entwicklungsstadien der Rissbildung in biegesteifen Rohren

In Steinzeug- oder Tondrainagerohren vorhandene Quer- und Längsrisse sowie partiell auftretende Scherbenbildungen, vor allem in Muffenbereichen (Steinzeug), deuten im allgemeinen darauf hin, dass die gewählten Rohre gegenüber der hohen Auflast durch den Deponiekörper nicht standsicher genug sind.

Bei den nachfolgend betrachteten Leitungen handelt es sich um biegeweiche Rohre (PE - HD). Ein derartiges Schadensbild ist für biegeweiche Rohre eigentlich atypisch. Es treten jedoch in letzter Zeit immer häufiger auch Risse in PE-Rohren auf, wobei diese Schäden aufgrund des Materials nach erstmaligem Auftreten ständig weiter fortschreiten.

Nach den aktuellen Erkenntnissen des Verfassers zeichnen sich die Rissbilder in PE Leitungen in verschiedenen Entwicklungsstufen ab, die teilweise sehr rasch verlaufen. Die Entwicklung zeigt zunächst eine Vertiefung an der Oberfläche, im zweiten Stadium ein anreißen und „ziehen“ des PE-Materials bis hin zum klaffenden Riss.



Abb. 6 bis 8: Entwicklungsstadien der Rissbildung in biegesteifen Rohren

Auffällig ist, dass die Schäden verstärkt bei Deponien auftraten, bei welchen die PE-Leitungen auf einer Zwischenabdichtung verlegt wurden. Hier wurden, wahrscheinlich aufgrund der Wärmebildung ober- und unterhalb der Dichtung sehr hohe Temperaturen von dauerhaft über 50 °C beobachtet.

Als Ursache für eine Rissbildung in PE-Rohren können eventuell ungeeignete PE-Formmassen verantwortlich sein, dies wurde bereits durch Untersuchungen an einem konkreten Fall bestätigt. Dauerhaft hohe Temperaturen (s. o.) und dadurch stark beschleunigte Versprödung können als Ursache ebenfalls in Betracht gezogen werden.

Eine zusätzliche Beanspruchung der Rohre besteht in der Lochung bzw. Schlitzung. Durch die Lochung und insbesondere die Schlitzte wird eine Kerbwirkung mit einer Spannungsüberhöhung an bestimmten Stellen verursacht, die zu einer Rissbildung führen kann (siehe hierzu Abb. 9).



Abb. 9: Riss ausgehend von einem Schlitz

Ebenso wie in geschlitzten Rohren treten jedoch auch in gelochten Rohren derartige Rissbilder auf (Abb. 10).



Abb.10: Typischer Längsris beginnend an einem Drainageloch

Immer häufiger wird festgestellt, dass diese Art der Risse nicht unbedingt mit einer vorherigen Verformung der Leitung einhergeht. Haben sich im Bereich der Löcher oder Schlitze erst einmal Risse gebildet, schreiten diese immer weiter fort. In aller Regel geschieht dies von Loch zu Loch oder über die Ecken der einzelnen Drainageschlitze.

Derartige Strukturen können sich über mehrere Meter fortsetzen. Anders als bei den im Steinzeugrohr verwendeten Steckmuffen, an denen in aller Regel Streckenrisse unterbrochen werden und sich dadurch verlieren, springen die Risse in den formschlüssigen Schweißverbindungen der PE Rohre in den nächsten Rohrstrang über.

Als besonders problematisch erscheint jedoch in vielen Fällen die Tatsache, dass sich Risse nicht nur an den Schwachstellen (Loch oder Schlitz) einstellen, sondern auch in der Rohrsohle oder im Rohrscheitel (Abb. 11). Prägnanterweise zeigen sich derartige Risse auch hier oftmals ohne vorherige Verformung der Leitung.



Abb. 11: Riss in der Rohrsohle einer PE-Leitung

Kommt es zu einer Überlagerung der verschiedenen Längsrisse mit Querrissen, kann dies auch zu einem Einsturz der PE-Leitung führen wie er ansonsten nur von den biegeweichen Steinzeugleitungen bekannt ist (Abb. 12).



Abb.12: Einsturz einer gelochten PE-Leitung

### Inkrustationen

Inkrustationen entstehen durch Ausfällung von im Sickerwasser gelösten Stoffen in den Rohrleitungen. Sie können die Funktion einer Flächendrainage weitgehend stören.

Die Inkrustationen sind hauptsächlich auf Ausfällungsreaktionen zurückzuführen, bei denen im Sickerwasser gelöste Stoffe durch einen Milieuwechsel (Zutritt von O<sub>2</sub>, Temperatur- oder pH-Wert-Änderungen, biochemische Vorgänge etc.) in weniger lösliche Stoffe überführt werden. Die üblichen Ausfällungsprodukte Calciumcarbonat (meist als Kalzit) sowie Eisen- und Manganverbindungen verfestigen das Kiesmaterial und blockieren Drainageöffnungen der Sammelleitungen. Somit können Inkrustationen zu einem fast vollständigen Verlust der Drainagewirkung des gelochten Rohres und seiner Umgebung führen.

Inkrustationen lassen sich in einem gewissen Umfang durch siphonierte Leitungen (kein Luftzutritt) reduzieren. Gänzlich zu unterbinden sind sie in Deponien nicht. Am besten zu entfernen sind sie durch eine rechtzeitige, regelmäßige Hochdruckreinigung.

## 2.2 Beurteilung und Einordnung von Schadensbilder

Die vorigen Ausführungen machen deutlich, dass zur Einschätzung von bestimmten Schadenskonstellationen, hinsichtlich der gesuchten Sanierungsstrategie, ein eingehender Kenntnisstand zu den einzelnen Stufen einer Schadensentwicklung erforderlich ist.

Schäden müssen hierbei insbesondere in zwei Hauptkategorien unterteilt werden:

- **Schadenstagnation** über einen zu definierenden Zeitraum
- **Schadensintensivierung** über einen zu definierenden Zeitraum

Neben der Aufstellung von Zeitreihen zur Schadensentwicklung wird grundsätzlich eine Analyse des Entwässerungssystems im Gesamtkomplex der jeweiligen Deponie durchgeführt. Hierbei müssen folgende Betrachtungen und Überlegungen angestellt werden, die nicht selten zunächst mit einer umfangreichen Akteneinsicht bzw. -recherche einhergehen:

- Besteht auf der Basisabdichtung ein ausreichend dimensionierter Flächenfilter?
- Wurden die Entwässerungsleitungen flächendeckend verlegt und wie groß ist der Abstand der einzelnen Leitungen?
- Wie groß ist der Durchmesser der einzelnen Leitungen?
- Welches Gefälle weisen die einzelnen Leitungen auf?
- Wie sind die Gefälleverhältnisse der Basisabdichtung auf die einzelnen Leitungen?
- Aus welchem Material bestehen die Leitungen und wie alt sind diese?
- Wie soll eine mögliche Oberflächenabdichtung realisiert werden?
- Wie wurde die Basisabdichtung gestaltet?
- Welche geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse werden außerhalb des Deponiekörpers angetroffen?

Die genannten Faktoren werden letztendlich auch maßgeblich zur Entscheidungsfindung herangezogen, ob eine Sanierung notwendig ist oder eine weiterhin entsprechende Überwachung der Schadensentwicklung langfristig ausreicht.

### 3 Auswahl einer Sanierungsstrategie

Um eine Entscheidung treffen zu können ob und in welcher Art und Weise eine schadhafte Leitung saniert werden soll oder eine regelmäßige Überwachung ausreicht, hängt von mehreren Faktoren ab. Insbesondere fließen die Erkenntnisse der regelmäßigen TV-Inspektionen sowie der Beurteilung und Einordnung der Schäden im Gesamtentwässerungssystem ein. Bewährt hat sich hier die Erstellung von Erstbewertungen die in Abstimmung mit den Aufsichtsbehörden eine entsprechende Strategie offen legen, wie eine langfristige Entwässerung des Deponiekörpers sichergestellt werden soll. In dieser Erstbewertung wird das gesamte Entwässerungssystem analysiert und die Wertstellung einzelner Halungen erarbeitet.

Maßgebend ist hier die Einstufung und Beurteilung der einzelnen Leitungen nach folgenden Kriterien:

- Entwässerungsfunktion innerhalb des Gesamtsystems
- Grad der Schädigungen und Gefahr des Funktionsverlustes
- Stagnation oder Voranschreiten der Schädigungen über mehrere Jahre
- Lage der Leitung (innerhalb, außerhalb des Deponiekörpers)
- Vorgesehene und bereits vorhandene Überschüttungshöhen

Im Ergebnis dieser Erstbewertung werden zum einen notwendige Sanierungen und zum anderen Leitungen dargestellt, die lediglich weiter überwacht und gereinigt werden sollten. Hierunter können auch Leitungen fallen die zwar Schäden aufweisen, bei denen jedoch aufgrund der oben genannten Einordnungen eine Sanierung unwirtschaftlich oder nicht sinnvoll erscheint.

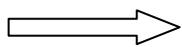
Die Erstbewertung beinhaltet letztendlich folgende Informationen bzw. Ergebnisse:

- Darstellung einzelner Entwässerungsbereiche und deren Priorität für die Gesamtentwässerung des Deponiekörpers
- Reinigungs- und Inspektionslängen der einzelnen Leitungen
- Schäden in den einzelnen Haltungen, deren Lage und Länge
- Darstellung der langfristigen Entwässerungsstrategie, mit der Kennzeichnung langfristig zu erhaltender Leitungen
- Bei Bedarf, Darstellung von notwendigen Sanierungsmaßnahmen in verschiedenen Zeithorizonten (kurzfristig, mittelfristig, langfristig)

Die nachfolgenden Beispiele sollen verdeutlichen welche Ergebnisse hinter der genannten Erstbewertung stehen können. Es ist zu beachten, dass diese Beispiele keine Allgemeingültigkeit haben. Grundsätzlich sind hier immer Einzelfallbetrachtungen durchzuführen.

### Beispiel 1:

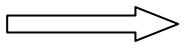
Eine PE-Leitung ist stark verformt (ca. 50 %). Die Leitung hat eine hohe Priorität im Gesamtentwässerungssystem und ist von zentraler Bedeutung. Die Überschüttung dieser Leitung wird nicht mehr erhöht. Die Verformungen stagnieren nachweislich über fünf Jahre (Ergebnis der Auswertung der jährlichen Inspektion). Die Temperaturverhältnisse in der Leitung bewegen sich seit mehreren Jahren stabil im unkritischen Bereich (ca. 30°). Die Leitung kann auf der gesamten Länge gereinigt und mit speziellen Inspektionstechniken überwacht werden.



Eine Sanierung ist nicht notwendig. Die Leitung muss jedoch weiterhin sehr genau beobachtet werden.

### Beispiel 2:

Eine Steinzeugleitung weist massive Scherbenbildungen auf. Die Leitung hat eine hohe Priorität im Gesamtentwässerungssystem und ist von zentraler Bedeutung. Die Überschüttung dieser Leitung wird mit dem Aufbringen der Oberflächenabdichtung nochmals um 8 m mehr erhöht. Die Scherbenbildung entstand über einen Zeitraum von drei Jahren durch Rissüberlagerung. Die Leitung kann auf der gesamten Länge gereinigt und mit speziellen Inspektionstechniken überwacht werden.



Eine Sanierung ist grundsätzlich notwendig. Durch den Schadensverlauf sowie die zu erwartende weitere Auflast durch die Oberflächenabdichtung ist ein Kollabieren der Leitung durch einen Einsturz als wahrscheinlich anzusehen. Es sollten mittel- bis langfristig Sanierungsmaßnahmen eingeleitet werden.

Um die Ertüchtigung des Entwässerungssystems im Sinne der Erstbewertung umzusetzen sind Maßnahmen in verschiedenen Zeithorizonten durchzuführen:

### Kurzfristige Maßnahmen

Kurzfristige Maßnahmen müssen direkt im Anschluss an die aktuelle Kamerabefahrung durchgeführt werden. Hierzu bedarf es einer engen Zusammenarbeit zwischen dem ausführenden Firma und dem Entscheidungsträger des Deponiebetreibers bzw. dem überwachenden Ingenieurbüro, da oftmals vor Ort über die weitere Vorgehensweise entschieden werden muss.

Vordergründig sollten solche kurzfristige Maßnahmen ergriffen werden bei

- einer akuten Gefährdung der Umwelt durch Schäden in einer Leitung von zentraler Bedeutung
- massiven Ablagerungen die einen Rohrverschluss zur Folge haben könnten

In der Regel müssen akute Schäden kurzfristig durch bestimmte Sanierungsverfahren der offenen oder geschlossenen Bauweisen behoben werden. Eine detaillierte Zusammenstellung aller Möglichkeiten kann z. B. den Ausführungen in [3] entnommen werden.

Die kurzfristige Beseitigung von Ablagerungen kann zum Beispiel durch Rotationsdüsen, Ketten-schleudern oder Rohrfräsen erfolgen.

Die Aufgabe der kurzfristigen Maßnahmen besteht somit in einer direkten Abwendung von akuten Gefährdungen.

### **Mittelfristige Maßnahmen**

Noch vor dem nächsten Untersuchungszyklus sollten, auf der Basis der Auswertung aus der TV-Inspektion, mittelfristige Maßnahmen zur Verbesserung der Entwässerungssituation ergriffen werden. Aufgabe der mittelfristigen Maßnahmen ist es, eine Verbesserung der Wartungs- und Untersuchungsmöglichkeiten herbeizuführen.

Folgende Maßnahmen sollten zwischen zwei Untersuchungszyklen realisiert werden:

- Sanierung von einzelnen Schadenstellen die zum Abbruch der Kamerabefahrung und damit zu fragmentierten Erkenntnissen führen
- Schaffung von Zugängen zu bis dato nicht befahrbaren Leitungen z.B. durch Ertüchtigung einzelner Schächte
- Entfernung massiver Ablagerungen bzw. Ablagerungsansätzen im Nachgang zur turnusmäßigen Reinigung
- Färbeversuche, mittels Uranin® o. ä., zur Erkundung von nicht bekannten Zusammenhängen im Entwässerungssystem

Erforderlich werdende Sanierungsmaßnahmen können bei einer mittelfristigen Umsetzung der Maßnahmen in der Regel nur durch planerische Tätigkeiten realisiert werden. Hierbei muss durch eine gezielte Auswahl geeigneter Sanierungsverfahren ein effizienter Kosten-/Nutzenfaktor erzielt werden [3].

Des weiteren sollten bei Bedarf, vor Beginn des nächsten Wartungszyklus, Festlegungen zur Änderung der Reinigungsintervalle bzw. der Reinigungsstrategie erfolgen, um die zur Verfügung stehenden Techniken noch effektiver einsetzen zu können.

Die mittelfristigen Maßnahmen sollten unter anderem dazu führen, dass die Erkenntnisse über den Zustand des Entwässerungssystems, mit der darauf als Nachweis dienenden TV-Inspektion, erweitert werden.

### **Langfristige Maßnahmen**

Langfristige Maßnahmen gehen direkt aus der erwähnten Erstbewertung hervor und sollten innerhalb von zwei bis fünf Jahren realisiert werden.

In der Regel ist der Investitionsbedarf bei langfristigen Maßnahmen am höchsten, sodass hier auch längerfristige Budgetierungen notwendig werden.

Langfristige Maßnahmen umfassen in der Regel folgendes:

- Sanierung ganzer Leitungsabschnitte bzw. Haltungen, welche für die Gesamtentwässerung von Bedeutung sind. Hervorgehend aus den Aussagen der Erstbewertung.
- Sicherung des, durch die kurz- und mittelfristigen Maßnahmen erreichten Zustands der Leitungen.

- Beobachtung von prägnanten Schadenstellen hinsichtlich Fortschritt bzw. Konsolidierung (Verformungen, Rissbildungen, Ablagerungen) insbesondere in Haltungen die nach der Erstbewertung in die Kategorie „überwachen“ eingestuft wurden.

## 4 Allgemeine Darstellung verschiedener Sanierungsverfahren

Nachfolgend werden mögliche Verfahren zur Sanierung von Deponiesickerwasserleitungen erläutert. Die Erläuterungen sollen einen Gesamtüberblick verschaffen, obwohl in speziellen Anwendungsfällen zahlreiche Verfahren aufgrund vorhandener Schadenbilder bzw. der gegebenen Randbedingungen schon im Vorfeld ausscheiden.

In die Auswahl des Sanierungsverfahrens werden folgende Hauptaspekte einbezogen:

- Hydraulische Notwendigkeiten bei der langfristigen Funktion der Leitung
- Funktion der Haltungen im Sinne einer flächenhaften Entwässerung im Verbund mit benachbarten Leitungen
- Möglichst Vermeidung von Aufgrabungen im Müllkörper
- Generelles Kosten- / Nutzenverhältnis
- Ausführungsrisiko des betrachteten Sanierungsverfahrens
- Nachhaltigkeit der gewählten Sanierungsmethode

### 4.1 Offene Bauweisen

#### 4.1.1 Offener Graben ohne Verbau

Der Aushub eines offenen Grabens ohne Verbau in einer Deponie ist grundsätzlich möglich. Die üblicherweise im Abfall auftretenden (bzw. sicherheitshalber angesetzten) Scherwinkel erlauben etwa Böschungen bis zu einem Winkel von 45°. Bei entsprechendem Nachweis wären etwa Böschungswinkel bis 60° möglich, wenn keine größeren Klärschlammeinlagerungen etc. vorgenommen wurden.

Aufgrund der sicherheitshalber einzustellenden Böschungswinkel (Annahme 45°, hier wäre zunächst zur Bestimmung eine Erdstatik erforderlich) ergeben sich sehr große Aushubmengen. Bei 30 m Tiefe ergeben sich beispielsweise ca. 1.130 m<sup>3</sup> Aushub je Meter Rohrgraben!

Aus geotechnischer Sicht ist es eventuell denkbar, den Leitungsgraben im unteren Bereich mit senkrechten Wänden auszubilden, wenn er nicht betreten wird und der Aushub ausschließlich von oben erfolgt. Der letztere Fall wurde bisher noch nicht ausgeführt und soll daher nicht weiter betrachtet werden. Zudem ergeben sich bautechnische Schwierigkeiten im Bereich der Berme.

#### Praktische Erfahrungen

Über Grabarbeiten im Müll liegen hinreichend Erfahrungen vor. Im speziellen Anwendungsfall wären die Böschungswinkel und Bermenbreiten über eine „Erdstatik“ zu bestimmen.

#### 4.1.2 Offener Graben mit Verbau

Im Gegensatz zum im vorigen Kapitel beschriebenen Graben erhält in diesem Fall der Leitungsgraben einen festen Verbau. Die Reihenfolge wäre somit Vorabtrag, Aushub des Leitungsgrabens, Verbau, Sanierung, Rückbau. Die Aushubmassen ließen sich hierdurch auf ca. 780 m<sup>3</sup> je lfdm Graben (bei 30 m Tiefe) verringern. Dafür kämen für den Leitungsgraben erhöhte Aushub- und Verfüllkosten sowie die Kosten des Verbaus hinzu. Auch mit dieser Art des Bauens im Müll liegen hinreichend Erfahrungen vor.

### 4.1.3 Offener Graben mit Spundwandverbau

In diesem Falle wird zunächst ein Spundwandkasten gerammt (Baulänge etwa 20 bis 30 m, Breite ca. 4 m). Im Schutz dieses Verbaus kann dann der Müll ausgehoben werden. Die Standsicherheit der Grube wird durch Gurtungen (Aussteifung; nach Statik) gewährleistet, was jedoch den Müllabtrag erschwert. Im oberen Bereich der Baugrube ist evtl. ein geringer Vorabtrag bzw. in jedem Fall ein Planieren der Fläche für die Baugeräte erforderlich.

Die Spundwände müssen ausreichend Abstand von der Basis erhalten, damit ein Durchstanzen der Basisabdichtung ausgeschlossen werden kann.

#### Praktische Erfahrungen

Dieses Verfahren wurde bereits mehrfach auf Deponien eingesetzt.

### 4.1.4 Beurteilung der Verfahren der offenen Bauweise

Die voran beschriebenen Verfahren bedingen einen massiven Müllaushub. Besonders Überdeckungen vieler Leitungen von teilweise bis zu 50 m sowie weitere bestimmende Randbedingungen schließen diese Verfahrenstechnik oftmals aus. Selbst bei einer Teilsanierung in Bereichen geringerer Müllüberschüttung sind die hierbei entstehenden Kosten verhältnismäßig hoch.

## 4.2 Geschlossene Bauweisen

### 4.2.1 Relining – Verfahren/Inlining – Verfahren

Die Relining-Verfahren gehören zu den sogenannten Einzieh-Verfahren, wobei mittlerweile auch hinreichende Erfahrungen mit dem „Einschieben“ der Leitung gemacht wurden. Der zu sanierende Rohrstrang dient hierbei quasi als Mantelrohr, in welches die neuen Rohre von einem Startschacht oder einer Startgrube aus eingezogen bzw. eingeschoben werden. Das Ziehen erfolgt in der Regel mittels Seil von einer Zielgrube (Zielschacht) aus. Neben Kurzrohr- Langrohr- und Rohrstrangrelining sind noch Wickelrohrrelining und Schlauchrohrrelining bekannt. Einzelne Firmen haben hierzu verschiedene Verfahren anzubieten. Die Verfahren werden im folgenden summarisch beschrieben.

### 4.2.2 Kurz- und Langrohrrelining, Rohrstrangrelining

Mit Rohrrelining wird das Einziehen oder Einschieben von Rohren in vorhandene Kanäle bezeichnet. Es werden folgende Verfahren unterschieden:

- Kurzrohrrelining
- Langrohrrelining
- Rohrstrangrelining

Im Falle des Kurzrohr- oder Langrohrrelinings werden im Arbeitstakt „Anschweißen (oder -schrauben) eines Rohrschusses“, „Einziehen eines Rohrschusses“, „Anschweißen eines Rohrschusses“ die Rohre in die zu sanierende Leitung eingezogen, bis der Zielschacht (bzw. die Zielgrube) erreicht ist. Kurzrohre können hierbei auch in engen Startschächten oder -gruben verwendet werden.

Lassen es die Platzverhältnisse und die Geometrie der Startgrube zu, kann das einzuziehende bzw. einzuschiebende Rohr auch vorab auf Endlänge verschweißt werden (konventionelles Rohrstrangrelining). Dies wirkt sich günstig auf die Kosten aus.

Da das Relining-Rohr einen etwas kleineren Außendurchmesser als der Innendurchmesser des zu sanierenden Rohres aufweist, halten sich die erforderlichen Zugkräfte in Grenzen, wenn die alte Leitung keine zu starken Verformungen, Knickpunkte oder Schäden aufweist. Je nach Steifigkeit des einzuziehenden Rohres können Krümmungen mit einem Biegeradius von bis zum 50-fachen des Rohrdurchmessers und evtl. vorhandene Abwinkelungen bis zu maximal 5° durchzogen werden.

Das eingezogene Rohr übernimmt langfristig die Aufgabe der Entwässerung und im Falle eines Versagens des Hüllrohres auch die entsprechenden Auflasten.

Herkömmlicherweise werden die einzubringenden PE Rohre auf der Außenseite mit aufgeschweißten PE Abstandshaltern, sogenannten Kufen versehen, um die Mantelreibung zwischen altem und neuen Rohr so gering wie möglich zu halten. Der entstehende Zwischenraum wird bei vollwandigen Leitungen anschließend mit einem Fließmörtel verpresst, was sich zusätzlich günstig auf die Statik auswirkt. Es entsteht in der Regel eine Querschnittverringering von ca. 10 % bis 15 % des ursprünglichen Rohrdurchmessers.

Bei Drainagerohren ist es denkbar hier geschlitzte Rohre einzubringen, um die Drainagewirkung durchgehend zu erhalten.

#### **4.2.3 Wickelrohrrelining**

Beim Wickelrohrrelining z. B. dem RIB-LOC® Verfahren wird aus einem bandförmigen Profil vor Ort ein kreisförmiges Spiralrohr gewickelt und gleichzeitig in die vorhandene Leitung eingebracht. Das Zusammenfügen des bandförmigen Profils erfolgt formschlüssig nach Art einer „Nut und Feder“-Verbindung, wobei zusätzlich eine Verschweißung oder Verklebung erfolgen kann.

#### **4.2.4 Schlauchrelining**

Ein Schlauch aus Trägermaterial, der mit Folien beschichtet sein kann, wird mit Reaktionsharz getränkt und dann über einen Schacht mit Wasser- oder Luftdruck in den Kanal umgestülpt (inversiert) oder mit Hilfe einer Winde in den Kanal eingezogen. Die Aushärtung erfolgt bei Normaltemperatur, durch Wärmezufuhr oder UV-Licht unter Innendruck. Es entsteht ein muffenloser Inliner, der am bestehenden Kanal, bzw. der bestehenden Leitung formschlüssig anliegen muss oder mit diesem verbunden sein kann.

Verfahren des Schlauchrelining kommen für die Sanierung von Drainageleitungen dann in Frage wenn im Nachgang mittel Fräsroboter die Drainageöffnungen wieder gebohrt werden, was prinzipiell möglich ist.

Die Wandstärke des „Liners“ kann den statischen Erfordernissen angepasst werden.

Eine Variante der Inliner-Verfahren die vor allem bei längeren Einzelschäden eingesetzt wird, sind sogenannte Longliner. Diese Longliner haben eine maximale Länge von 15 m und werden wie Teilliner mit einem Luftdruckpacker in das Rohr eingezogen bzw. eingeschoben, platziert und mit verschiedenen Techniken ausgehärtet. Diese Longliner können auch entsprechend in Reihe gesetzt werden.

#### **4.2.5 Trolining-Verfahren**

Eine Besonderheit stellt das Trolining-Verfahren (Trolining GmbH, Hüls Troisdorf AG) dar, bei dem ein Schlauch eingezogen wird, welcher aus einer genoppten PE-HD-Bahn gefertigt wurde. Der Raum zwischen den Noppen, die an die alte Rohrwandung anliegen, wird anschließend verpresst. Das System lässt sich durch die Kombination von unterschiedlichen PE-Bahnen variieren. Es kann sogar ein Rohr mit Kontrollringraum hergestellt werden.

Nach Herstellerangaben sind Einbaulängen bis zu 100 m, unter günstigen Vorraussetzungen 150 m realisierbar.

Das Verfahren selbst bewirkt eine Rohrquerschnittsverengung um ca. 10 %. Vorteilhaft stellt sich die neu entstehende Rohrwandung dar (bei DN 200, 10 bis 15 mm), die eine zusätzliche statische Festigkeit des Rohres bewirkt. Die vorgenannte Methodik kommt nur bei geschlossenen Rohren in Frage.

#### 4.2.6 Teilliner / Glasfaserlaminat

Teilliner werden in der Regel bei sektionalen Schäden wie Scherbenbildung, beginnender Scherbenbildung und Rissüberlagerungen eingesetzt. Beim Einbau von Teillinern werden in der Regel Zugeinrichtungen benötigt, um die Sanierungspacker entsprechend positionieren zu können. Kann keine Zugvorrichtung eingerichtet werden, muss der Sanierungspacker mit einer Schiebestangen positioniert werden. Unter günstigen Voraussetzungen kann man bis zu 200 m mit Schiebestangen in den Kanal einfahren.

Das beim GFK-Teilliner (glasfaserverstärkter Kunststoff) verwendete Material ist ein Glasfasergewebe mit einer Stärke von 2 bis 6 mm. In der Regel haben die Teilliner eine Länge von ca. 1 m. Das Glasfasergewebe wird mit einem Harz getränkt das nach dem Einbringen des Teilliners an der Schadenstelle aushärtet und somit eine „steife“ Hülle ergibt.

Der Einsatz erfolgt in Durchmessern von DN 150 bis DN 800. Anfällig sind GFK-Teilliner bei einragenden Scherben und größeren Ausbrüchen der Rohrwandung, da es hier leicht zur Verletzungen der Teillinerhaut kommen kann. Hier müssen die Scherbenkanten im Vorfeld einer Sanierung mittels Fräsroboter abgetragen werden.

Der Einsatz von Glasfaserlaminaten gewinnt in der Deponietechnik immer mehr an Bedeutung und wurde bereits auf mehreren Deponien erfolgreich durchgeführt.

#### 4.2.7 Berstlining-Verfahren

Beim Berstlining-Verfahren sind statische und dynamische Verfahren bekannt. Bei den dynamischen Verfahren werden solche mit oder ohne Zugseil unterschieden. Bei dem in Deponien hauptsächlich eingesetzten dynamisch arbeitenden Berstverfahren wird ein durch Pressluft angetriebener Verdrängungskörper, der dynamische Schlagimpulse aussendet, durch die Leitung gezogen. Der Vortrieb erfolgt hierbei in der Regel durch die Berstrakete. Die Unterstützung durch ein Zugseil ist nur begrenzt möglich. Durch die Schlagimpulse wird die vorhandene Leitung zerstört, und die Scherben werden in den umgebenden Boden bzw. in die Kiesumhüllung verdrängt. Zusammen mit dem Verdrängungskörper wird die daran angekoppelte neue Leitung in den entstehenden Hohlraum eingezogen.

Bei diesem Verfahren ist es sogar möglich, Leitungen einzuziehen, die einen etwas größeren Durchmesser aufweisen als die zu ersetzende.

Vorbedingung für dieses Verfahren ist meist, dass die bestehenden Leitungen noch soweit gangbar sind, dass eine Seil- Zuggestängeverbindung zwischen den Endpunkten der zu sanierenden Strecken herstellbar ist.

Es wird bei diesem Verfahren in der Regel ein Zugseil zur Richtungsstabilisierung und zur Unterstützung des Vortriebes des Verdrängungshammers benötigt. Teilstrecken von Haltungen wurden bereits auch ohne Zugseil durchfahren.

Um eine möglichst rasche und kostengünstige Sanierung vorzunehmen, wird in der Regel nicht mit Kurzrohren gearbeitet, sondern es werden in die einzelnen Haltungen bereits vorher verschweißte Rohrstränge komplett eingebracht.

#### 4.2.8 Rohrvortrieb innerhalb des Deponiekörpers

Die Rohrsanierung in- und außerhalb eines Deponiekörpers mittels Rohrvortrieb wurde bereits erfolgreich ausgeführt.

Es kann z. B. ein Stahlrohr DN 1200 unter dem Deponiekörper vorgetrieben werden. Ständiger Überdruck würde für eine einwandfreie Atmosphäre im Rohr sorgen. Eine Wasserhaltung ist nicht erforderlich. Im Vortriebsrohr kann dann das alte Rohr rückgebaut und das neue Rohr eingebracht werden.

#### 4.2.9 Microtunneling außerhalb und innerhalb des Deponiekörpers

Eine im Deponieumfeld einsetzbare, weiterentwickelte Form des Rohrvortriebs stellt das Microtunneling dar. Diese Verfahren lassen eine Leitungsverlegung ohne offenen Graben zu. Sonderverfahren können bereits bestehende Leitungen überfahren und ersetzen. Im Folgenden werden einzelne Verfahrensvarianten vorgestellt (ohne Anspruch auf Vollständigkeit). Zum besseren Verständnis wird zunächst das Grundprinzip dieses Verfahrens anhand der herkömmlichen Methodik erläutert.

Beim Microtunneling verwendet man einen steuerbaren, lasergeführten Bohrkopf, der von einer Startbaugrube aus in Richtung eines Zielschachtes vorangetrieben wird. Das konventionelle Verfahren basiert auf dem Pressbohrvortrieb, hierbei erfolgt der Vortrieb von Schutz- und Produktrohren bei gleichzeitigem Bodenabbau an der Ortsbrust und Abförderung mittels Förderschnecken. Die Steuerbarkeit wird dadurch erreicht, dass die Vortriebsmaschine aus zwei miteinander gelenkig verbundenen Teilen (Steuerkopf und Nachläufer) besteht, die über Steuerzylinder gegeneinander in alle Richtungen abgewinkelt werden können. Im Nachläufer der Vortriebsmaschine ist eine Zieltafel für den Laserrichtungsstrahl installiert.

Mit Hilfe einer Kamera wird das Bild des auf die Zieltafel auftreffenden Laserstrahls aufgenommen und in den Steuerstand auf einen Bildschirm übertragen. Eine Digitalanzeige gibt die notwendige Richtungskorrektur mittels Koordinaten an. Entsprechend können die Steuerzylinder manuell ein- und ausgefahren werden.

#### 4.2.10 Horizontalbohrverfahren

Die konventionellen horizontalen Bohrverfahren lassen sich grundsätzlich in steuerbare und nichtsteuerbare Verfahren unterteilen. Im Deponiebau kommen in der Regel nur steuerbare Verfahren in Betracht. Diese Systeme basieren alle auf dem Prinzip des hydraulischen Rohrvortriebs und stellen entweder Weiterentwicklungen des nichtsteuerbaren Verfahrens oder Neuentwicklungen dar.

Hauptsächlich werden bei diesen Verfahren zwei Varianten angewandt:

- Vortrieb in einer Phase
- Vortrieb in zwei Phasen

Beim Vortrieb in einer Phase wird das Produktrohr in einem Arbeitsvorgang vorgetrieben, d.h. Vortriebs- und Produktrohr sind identisch. Beim sogenannten Langstreckenvortrieb können je nach Rohrdurchmesser und in Abhängigkeit der Bodenverhältnisse Vortriebslängen von über 100 m erzielt werden. Hierbei wird der Vortrieb ausschließlich mit Schildvortriebsmaschinen und hydraulischer Förderung realisiert.

Der Vortrieb in zwei Phasen basiert auf dem herkömmlichen Rohrvortrieb, dabei wird zunächst ein Mantelrohr vorgetrieben und anschließend in diesem Schutzrohr das Produktrohr eingezogen.

Das Verfahren ist zum einen sehr kostenintensiv zum anderen können durch die inhomogenen „Bodenverhältnisse“ oftmals Stockungen auftreten die ein Freigraben des Bohrkopfs notwendig machen.

#### 4.2.11 Spülbohrverfahren

Eine Möglichkeit zur grabenlosen Verlegung von Leitungen außerhalb und unter speziellen Voraussetzungen innerhalb des Deponiekörpers, stellt das Spülbohrverfahren dar.

Bei diesem Verfahren handelt es sich um ein verlaufgesteuertes Nassbohrverfahren. Gebohrt wird mit dünnen, scharfen, schneidenden Wasserstrahlen, die aus den Düsen an der Bohrkopfspitze austreten und ein Lösen des Lockergesteins bzw. Mülls bewirken. Beim Spülbohren wird zunächst eine kleinräumige Gefügelösung erreicht. Die anschließend notwendige Gefügeumlagerung wird durch die vorwärtsgerichtete Bewegung der Bohrsuspension sowie den nachrückenden Bohrkopf bewirkt. Neu-

entwicklungen lassen die Anwendung dieses Verfahren auch durch einen Müllkörper hindurch zu. Die Problematik der Hindernisse im Müllkörper bleibt jedoch nach wie vor.

Nach Herstellerangaben sind derzeit Bohrlängen von über 200 m möglich, jedoch nimmt die Ortbarkeit des Bohrkopfes mit zunehmender Tiefenlage ab, was sich hinsichtlich einer z. B. 20 m mächtigen Müllüberdeckung als problematisch erweisen könnte.

#### **4.2.12 Fräs-Vortriebs-Relining (Pipe-eating)**

Die Methode des Fräs-Vortriebs-Relinings (Pipe-eating) stellt eine spezielle Art des Microtunnelings dar, bei der das zu sanierende Rohr direkt überbohrt wird.

Bei diesem Verfahren zerfräst eine Frässcheibe am Bohrkopf der Vortriebsmaschine das zu ersetzende Rohr. Die Bruchstücke werden von einem Kreiselbrecher zerkleinert und ausgetragen. Gleichzeitig wird das neue Rohr oder zunächst ein Schutzrohr (Vortriebsrohr) nachgeschoben. In das Vortriebsrohr kann bei Bedarf ein Produktenrohr eingezogen werden. Der wichtigste Vorteil dieses Verfahrens ist die Tatsache, dass keine störenden Reststoffe im Boden zurückbleiben, die eine Beschädigung der einzuziehenden Rohre nach sich ziehen könnten. Die Kosten für dieses Verfahren sind mit 1.000,- €/m sehr hoch. Aufgrund der, bei großen Müllüberdeckungen zu erwartenden starken Mantelreibung wären alle 30 bis 50 m Zwischenschächte notwendig.

#### **4.2.13 Robotersanierungsverfahren**

Roboterverfahren eignen sich vor allem zur Behebung von örtlich begrenzten Schäden wie sektionalen Scherben- oder Rissbildungen. Die Roboter werden über einen Monitor überwacht und von einem Kommandopult aus gesteuert. Auf dem Markt befinden sich mehrere patentrechtlich geschützte Systeme. Hierbei handelt es sich meist um eine Kombination aus Fräs- und Spachtelroboter die z. B. Risse ausfräsen und mit einer Spachtelmasse, meist Epoxidharz, wieder zukitten. Mit einem Fräsroboter lassen sich auch einragende Hindernisse entfernen. Des Weiteren werden mit Fräsrobotern durch Inlinerrohre bzw. -schläuche verschlossene Seiteneinläufe wieder aufgefräst.

Der Einsatz eines Frässanierungsroboters kann ohne Zugeinrichtung, je nach Gefälleverhältnissen in der Leitung, bis zu einer Länge von ca. 100 m erfolgen, mit Zugeinrichtung wesentlich länger.

Eine neue Generation von hydrodynamischen Fräsrobotern erlaubt mittlerweile das Abfräsen von z. B. Schweißwülsten in PE Leitungen bis zu einer Einfahrlänge von ca. 350 m. Grundvoraussetzung ist hier allerdings ein unverformter Rohrquerschnitt, da ansonsten die Gefahr besteht, dass die umlaufende Fräse die Rohrwandung schwächt bzw. zerstört.

## **5 Zusammenfassung/Resümee**

Die Sanierung von Deponieentwässerungsleitungen stellt immer wieder eine Herausforderung sowohl in technischer als auch in finanzieller Sicht dar. Der Überwachung und Einordnung von beschädigten Leitungen wird deshalb in den nächsten Jahren eine hohe Priorität eingeräumt werden müssen.

In jedem Fall muss vermieden werden, dass die schon ohnehin knappen Kassen durch unnötige „Schnellschüsse“ belastet werden. Eine konsequente und regelmäßige Inspektion der Entwässerungsleitungen sowie eine entsprechende Auswertung der Ergebnisse kann oftmals als Grundlage für eine wirtschaftlich effiziente Sanierung herangezogen werden.

Eine Erstbewertung des Entwässerungssystems dient dabei zunächst als probate Grundlagenermittlung. Hier werden nicht nur Schäden in einzelnen Leitungen betrachtet sondern eine Bewertung des Entwässerungssystems in der Gesamtheit des Bauwerks Deponie erarbeitet. Als Ergebnis steht eine

Strategie, die unter einem hohen Kosten-/Nutzenverhältnis nur wirklich notwendige Sanierungen in verschiedenen Zeithorizonten vorsieht. Wichtig sind hierbei auch fundierte Kenntnisse über die Entstehung und Entwicklung von Schäden in Deponieentwässerungsleitungen, um konkrete Prognosen hinsichtlich einer langfristigen Funktionstüchtigkeit einzelner Leitungen abgeben zu können.

Die Entscheidung eine Sickerwasserleitung zu sanieren kann erfahrungsgemäß etwa nach drei bis fünf Jahren der regelmäßigen Überwachung und Bewertung des Entwässerungssystems erfolgen, da über diesen Zeitraum eine Schadensstagnation oder ein Voranschreiten von Schädigungen erkennbar wird.

Die in den letzten Jahren entstandene Bandbreite an verschiedenen Sanierungstechniken ermöglicht die Bewältigung immer extremerer Aufgabenstellungen. Hieraus resultiert eine immer größere Effizienz bei der langfristigen Ertüchtigung des Entwässerungssystems. Bereiche und Schäden, die noch Jahre zuvor als „unsanierbar“ galten, können heute erschlossen und ertüchtigt werden.

Wenn die sich bietenden Möglichkeiten konsequent umgesetzt werden, ist die Entwässerung eines Deponiekörpers nachhaltig gesichert.

# Was bewirkt ein Korngrößenwechsel im Aufbau einer Deponie? Dargestellt am Beispiel einer MV-Deponie

Dipl. Geologin Daniela Sager, LMU München



Dieses Projekt wird vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz im Rahmen der EU-Strukturförderung für regionale Entwicklung (EFRE) finanziert



## Was bewirkt ein Korngrößenwechsel im Aufbau einer Deponie?

### Dargestellt am Beispiel einer MV-Deponie

Daniela Sager  
Fachtagung am Bayerischen Landesamt für Umwelt  
27.09.2007



Sektion Mineralogie, Petrologie und Geochemie



## Fragestellungen

- Was bewirkt ein Korngrößenwechsel im vertikalen Aufbau innerhalb eines Deponiekörpers?
- Was bewirkt die Verdichtung einer Schicht innerhalb eines Deponiekörpers?
- Welche Auswirkungen hat eine Sperre auf die Sickerwasserentwicklung?
- Welche Auswirkungen hat eine gezielte Salzzugabe?
- Welche Prognosen können für die Langzeitüberwachung - Dauer der Nachsorge - erstellt werden?

Daniela Sager

## Korngrößenwechsel Grundlagen

- **hydraulische Barrieren**  
Schichten geringerer Durchlässigkeit begünstigen die Aufkonzentration leichtlöslicher Spezies im Sickerwasser und Ausfällung aus der Porenlösung
- Salzhorizont als „**Filterschicht**“  
mit leichtlöslichen Salzen werden Schwermetallsalze aus Deponiesickerwasser extrahiert
- Bildung eines Salzhorizonts  
ein neuer Ansatz im Sinne einer „**Inneren Barriere**“

Daniela Sager

## Laborversuche Plexiglassäulen

- Einbau einer Sperrschicht aus MV-Reststoffen:  
SFK (0-4 mm) und RGR
- 3 verschiedene Testansätze
- Gezielte Zugabe von Modellsickerwasser  
(angereichert an  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , Ca, Na, K, Cu, Pb, Zn und  
pH-Wert 11)
- Zeitversuche - Reaktionszeiten bis zu 26 Monate

Daniela Sager

## Laborversuche



Daniela Sager

## Feldversuche Testfelder und Lysimeter

- 4 Testfelder:  
Auswirkung salzärmer bis salzreicher Lösungen durch die Bewässerung mit Deponiesickerwasser und Konzentrat aus der Umkehrosmose.
- 2 Großlysimeter zusammen mit RGR:  
Salzreiche Bedingungen und erhöhte Auswaschung infolge niederschlagsreicher Verhältnisse.
- 2 Großlysimeter:  
Kontrollierte Bedingungen durch künstliche Bewässerung (Frachtenberechnung).

Daniela Sager

## Aufbau Lysimeter



Daniela Sager

LMU Sektion Mineralogie, Petrologie und Geochemie FES  
F&E SONDERTECHNOLOGIEN

## Aufbau Testfelder

4 x 5 m

Eberstetten

Daniela Sager

LMU Sektion Mineralogie, Petrologie und Geochemie FES  
F&E SONDERTECHNOLOGIEN

## Physikalische Parameter

### Durchlässigkeitsbeiwert $k_f$ -Wert

	Lysimeter Waldering	
	ohne Sperre	mit Sperre
Bohrtiefe	$k_f$ -Werte in m/s	
50 cm	$1,15 \cdot 10^{-4}$	$1,71 \cdot 10^{-4}$
80 cm	$1,23 \cdot 10^{-4}$	$8,60 \cdot 10^{-4}$
SFK	-	$2,02 \cdot 10^{-9}$
115 cm	$9,40 \cdot 10^{-5}$	$1,00 \cdot 10^{-4}$
140 cm	$2,50 \cdot 10^{-5}$	$1,05 \cdot 10^{-5}$

- Bohrproben aus der dritten Bohrkampagne

- Blindversuch: gleichmäßige Durchlässigkeit entlang des Profils
- Lysimeter mit Sperrschicht: Einbau des Schlacke-Feinkorns reduziert Durchlässigkeit stark, charakteristisch für tonigen Schluff

Daniela Sager

## Physikalische Parameter Modellversuch mit Kunststoffkugeln

- Physikalische Wirkung der Sperre auf Sickerwasseraustrag und Reaktionszeit
- Kunststoffkugeln (Durchmesser: 11 mm)  
    → Sperre (Durchmesser: 2 mm)
- Bewässerung mit 3-molarer NaCl-Lösung
- Menge: 300 mL und 150 mL/Woche
- Trocknen mit Pressluft

Daniela Sager

## Modellversuch



Groß: 11mm

Klein: 2 mm

Daniela Sager



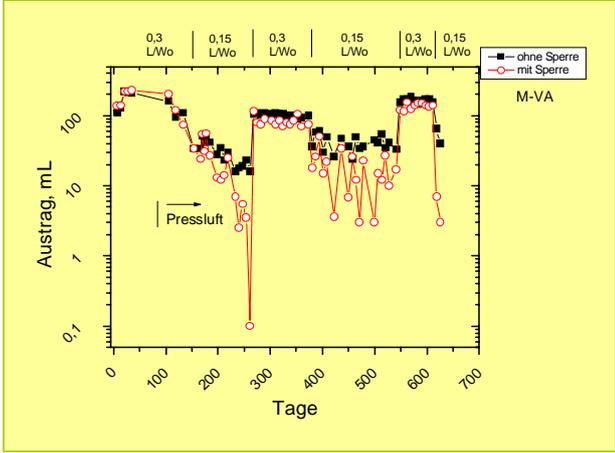
Sektion Mineralogie, Petrologie und Geochemie



F&E SONDERTECHNOLOGIEN

## Korngrößenwechsel im vertikalen Aufbau

### Sickerwasserentwicklung



MoV

- Austrag an SW in mL
- Bewässerung mit NaCl-Lösung

Daniela Sager

- Blindversuch: Überwiegend mehr Austrag an SW
- Sperre: Abnehmende Austragsmenge bei kleiner Bewässerungsmenge



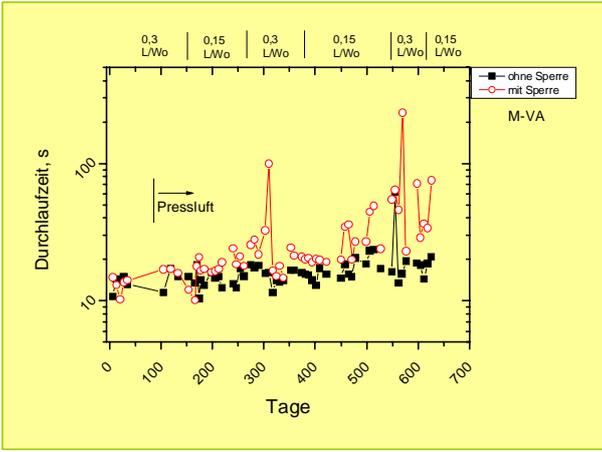
Sektion Mineralogie, Petrologie und Geochemie



F&E SONDERTECHNOLOGIEN

## Korngrößenwechsel im vertikalen Aufbau

### Sickerwasserentwicklung



MoV

- Durchlaufzeit des SW in Sekunden
- Bewässerung mit NaCl-Lösung

Daniela Sager

- Blindversuch: Durchlaufzeiten überwiegend im Bereich um 15 Sekunden
- Sperre: Durchlaufzeit nimmt kontinuierlich zu; Werte zwischen 20 und 100 Sekunden

## Korngrößenwechsel im vertikalen Aufbau

### Salzanreicherungen entlang des Profils



Daniela Sager

- Blindversuch – homogene Verteilung der Salzanlagerung infolge gleichmäßiger Benetzung
- Sperrschicht – ungleichmäßige Verteilung mit Verkrustung der Kugelzwischenräume speziell unterhalb der Sperre

## FAZIT zu physikalische Parameter

- Bewässerungsmenge:
  - Aufgabe geringer Wassermengen mit zeitlicher Unterbrechung erhöht Wasserrückhaltevermögen
  - Sobald Salzanreicherungen vorhanden, Rückhalt an Wasser
  - Salze besitzen große Speicherkapazität
  - Je geringer Wassermenge, desto stärker Wirksamkeit der Sperre

Daniela Sager



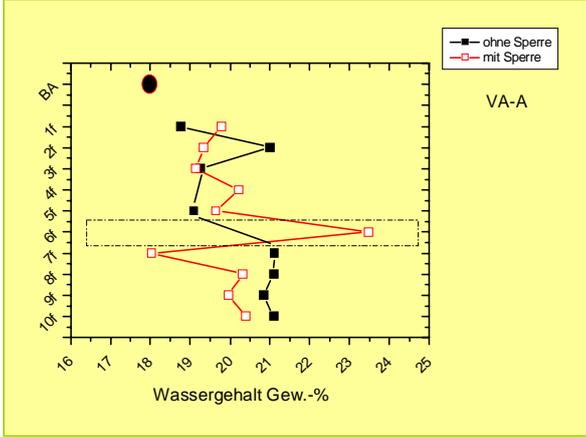
Sektion Mineralogie, Petrologie und Geochemie



F&E SONDERTECHNOLOGIEN

## Effekt des Korngrößenwechsels

### Wasserrückhaltevermögen



Säulen VA-A

- Wassergehalte der Feststoffproben (bei 105° C)
- Bewässerung mit Leitungswasser

- Blindversuch – gleichmäßige Verteilung, tendenzielle Zunahme an der Basis
- Sperrschicht – erhöhte Werte innerhalb und trockene Bedingungen unterhalb

Daniela Sager



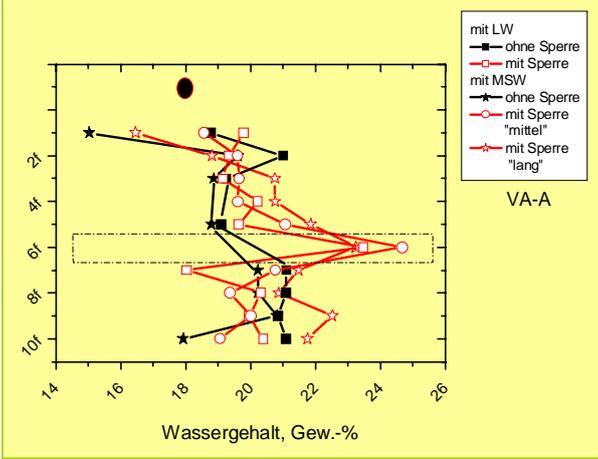
Sektion Mineralogie, Petrologie und Geochemie



F&E SONDERTECHNOLOGIEN

## Effekt des Korngrößenwechsels + Salze

### Wasserrückhaltevermögen



Säulen VA-A

- Wassergehalte der Feststoffproben (bei 105° C)
- Bewässerung mit Modellsickerwasser

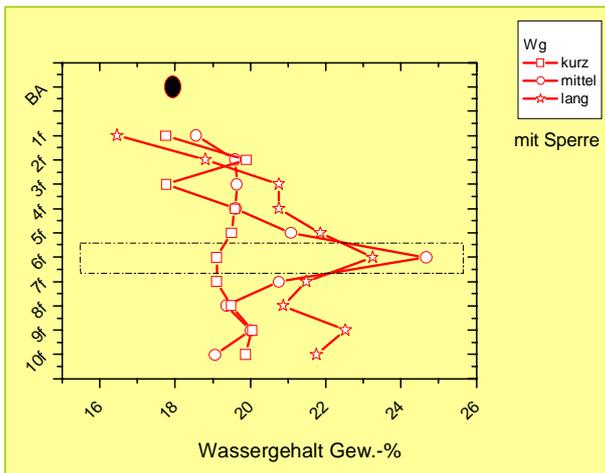
- Blindversuch – kein Einfluss
- Sperrschicht – erhöhte Werte v.a. ober- und unterhalb der Sperre

Daniela Sager

## Effekt des Korngrößenwechsels + Salze

### Zeitversuche

### Wasserrückhaltevermögen



Daniela Sager

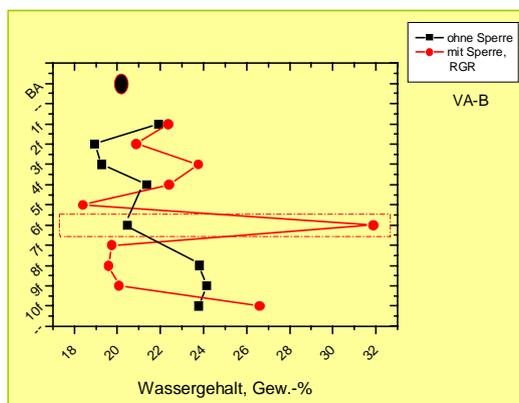
- Sperrschicht – keine Wirksamkeit bis 18 Wochen, für Versuch mit 42 Wochen bereits wirksam

- Säulen VA-A
- Wassergehalte der Feststoffproben (bei 105° C)
  - Bewässerung mit Modellsickerwasser - Zeitversuche

## Effekt des Korngrößenwechsels + Salze

### RGR + MSW

### Wasserrückhaltevermögen



Daniela Sager

- Sperrschichten – verschiedene Korngrößenübergänge bewirken Schichtung – wechselnde stark feuchte und sehr trockene Zonen

- Säulen VA-B
- Wassergehalte der Feststoffproben (bei 105° C)
  - Bewässerung mit Modellsickerwasser - RGR am Top



Sektion Mineralogie, Petrologie und Geochemie

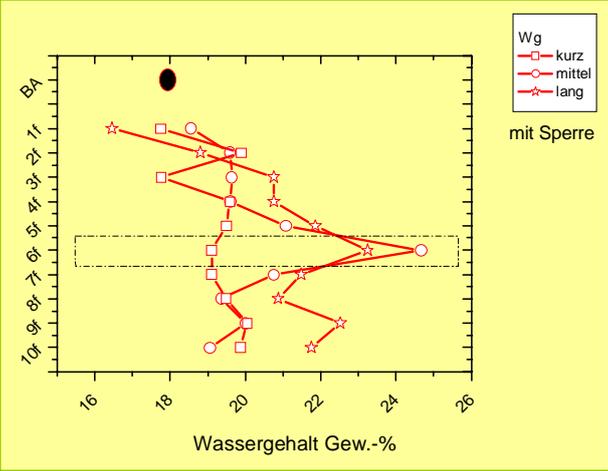


F&E SONDERTECHNOLOGIEN

## Effekt des Korngrößenwechsels + Salze

### Zeitversuche

### Wasserrückhaltevermögen



Wg  
□ kurz  
○ mittel  
★ lang  
 mit Sperre

Säulen VA-A

- Wassergehalte der Feststoffproben (bei 105° C)
- Bewässerung mit Modellsickerwasser - Zeitversuche

• Sperrschicht – keine Wirksamkeit bis 18 Wochen, für Versuch mit 42 Wochen bereits wirksam

Daniela Sager



Sektion Mineralogie, Petrologie und Geochemie

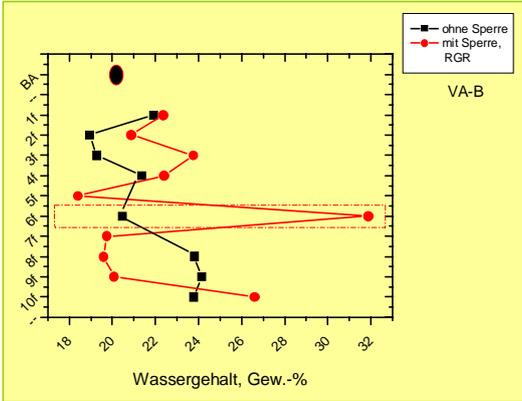


F&E SONDERTECHNOLOGIEN

## Effekt des Korngrößenwechsels + Salze

### RGR + MSW

### Wasserrückhaltevermögen



■ ohne Sperre  
● mit Sperre, RGR  
 VA-B

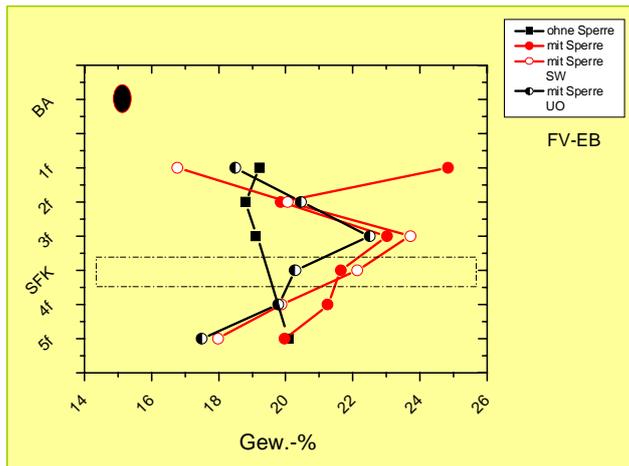
Säulen VA-B

- Wassergehalte der Feststoffproben (bei 105° C)
- Bewässerung mit Modellsickerwasser - RGR am Top

• Sperrschichten – verschiedene Korngrößenübergänge bewirken Schichtung – wechselnde stark feuchte und sehr trockene Zonen

Daniela Sager

## Effekt des Korngrößenwechsels + zunehmende Konzentrationen Wasserrückhaltevermögen



Daniela Sager

- Blindversuch – Zunahme vom Top zur Basis
- Sperrschicht – deutliche aufstauende Wirkung oberhalb der Sperre, mit Salzzugabe trockenere Bedingungen unterhalb der Sperre

FV-EB BK III  
➤ Wassergehalte der Feststoffproben (bei 105° C)

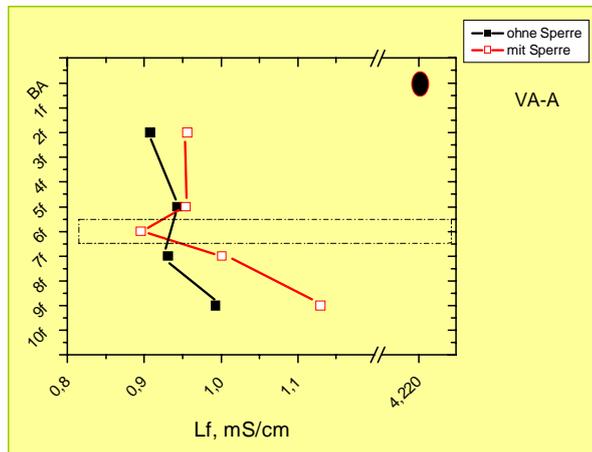
➤ Bewässerung mit NS, SW, UO

## FAZIT zu Korngrößenwechsel

- Diskontinuität kann als Sperre wirksam werden: Aufstauen von Sickerwasser, erhöhte Wassergehalte im Bereich der Sperre sind Hinweis auf Stauwasser
- Zugabe von Salzen: generell höhere Wassergehalte in den Feststoffproben, d.h. Verstärkung des Wasserrückhaltevermögens und Begünstigung eines vglw. trockenen Milieus v.a. in Horizonten unterhalb der Sperre
- Zeitversuche: Prozesse kommen erst nach einer gewissen Zeit zum Tragen (> 18 Wochen)
- Berechnungen zum kumulierten Wasserrückhalt: generell höhere Werte für Versuche mit Sperrschicht – Sperre erhöht Rückhalt (L/kg Schlacke)
- Frachtenberechnungen: für Versuchsanordnungen mit Sperre wird überwiegend mehr an leichtlöslicher Spezies aber auch an Schwermetallen ausgewaschen, Voraussetzung ist Bewässerung mit Leitungswasser; ansonsten auch Anreicherung möglich

Daniela Sager

## Längere Verweildauer – Salzanreicherungen entlang des Profils

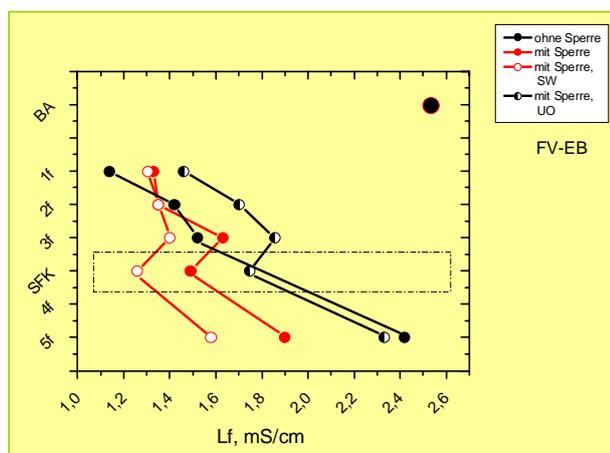


- Säulen VA-A
- Leitfähigkeit im Eluat (mS/cm)
  - Bewässerung mit Leitungswasser

Daniela Sager

- Blindversuch – gleichmäßige Verteilung
- Sperrschicht – Abreicherung innerhalb und Akkumulation unterhalb der Sperrschicht

## Längere Verweildauer + Salze – Salzanreicherungen entlang des Profils

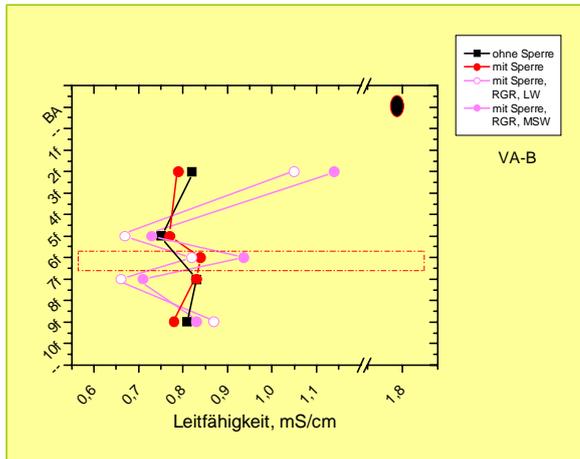


- FV-EB BK III
- Leitfähigkeit im Eluat (mS/cm)
  - Bewässerung mit NS, SW, UO

Daniela Sager

- Blindversuch – Zunahme vom Top zur Basis
- Sperrschicht – Abreicherung innerhalb und Akkumulation unterhalb, Zunahme der Leitfähigkeit mit Erhöhung der Konzentration

## Längere Verweildauer – Salzanreicherungen entlang des Profils



- Säulen VA-B
- Leitfähigkeit im Eluat (mS/cm)
  - Bewässerung mit Leitungs- und Modellsickerwasser

Daniela Sager

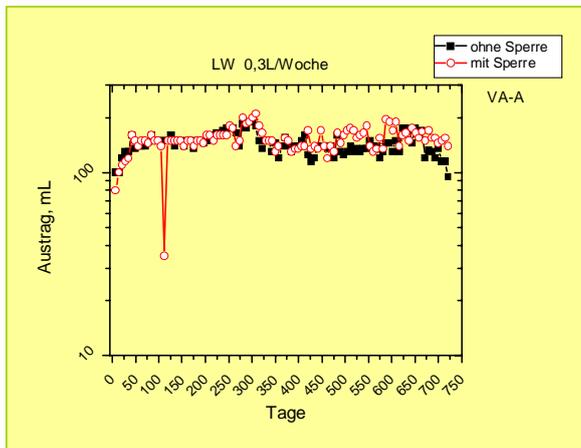
- Blindversuch – gleichmäßige Verteilung
- Sperrschichten – Akkumulation innerhalb und Abreicherung unter- sowie oberhalb der Sperrschicht

## FAZIT zu längere Verweildauer

- Korngrößenwechsel:
  - Ausfällung aus Porenlösung wird begünstigt bei vglw. Trockener Umgebung
  - Einbau einer Sperre erhöht v.a. oberhalb und unterhalb der Sperrschicht die Eluatkonzentrationen für leichtlösliche Spezies (Leitfähigkeit, Cl, Na) und innerhalb der Sperre ist mit niedrigen Eluat-Konzentrationen zu rechnen
  - Schichtung infolge RGR und SFK bewirkt ein stark salzarmes Milieu ober- und unterhalb der Sperre und eine Akkumulation innerhalb der Sperrschicht
- Zugabe von Salzen:
  - bewirkt Verschiebung zu höheren Werten

Daniela Sager

## Prognosen für Langzeitverhalten Sickerwasserentwicklung

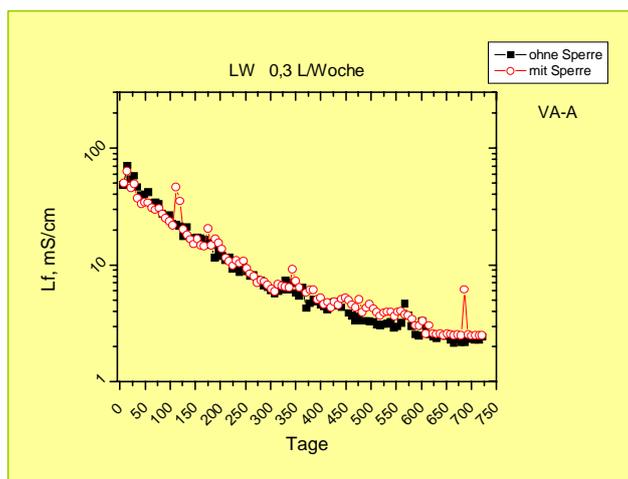


- Säulen VA-A
- Austrag an Sickerwasser (mL)
  - Bewässerung mit Leitungswasser

Daniela Sager

- Bis 250 Tage vergleichbare Entwicklung
- Ab 250 Tagen für Säule mit Sperre überwiegend höherer Austrag an Sickerwasser

## Prognosen für Langzeitverhalten Sickerwasserentwicklung

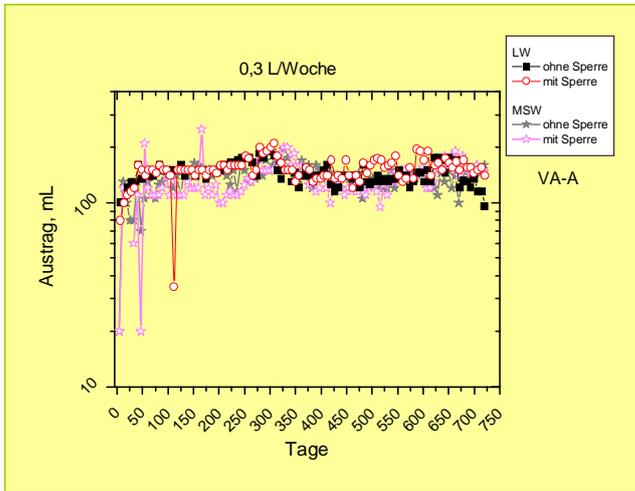


- Säulen VA-A
- Leitfähigkeit im SW (mS/cm)
  - Bewässerung mit Leitungswasser

Daniela Sager

- Blindversuch – Abnahme der Leitfähigkeit „wash-off“
- Sperrschicht – abweichende Entwicklung nach 400 Tagen

## Prognosen für Langzeitverhalten + Salze Sickerwasserentwicklung

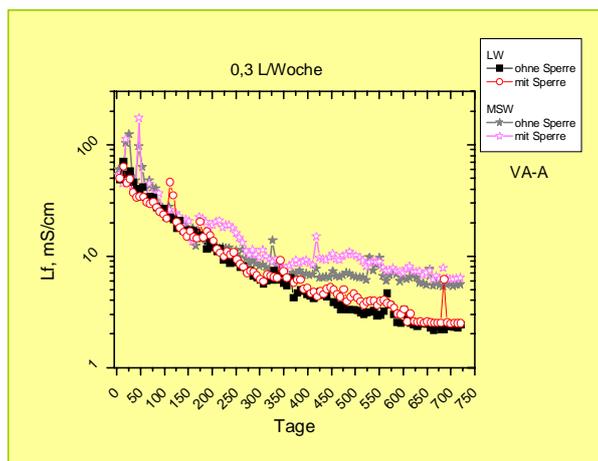


- VA-A
- Leitfähigkeit im SW (mS/cm)
  - Bewässerung mit MSW

Daniela Sager

- Entwicklung stärkeren Schwankungen unterworfen
- Sperrschicht – generell geringster Austrag an Sickerwasser

## Prognosen für Langzeitverhalten + Salze Sickerwasserentwicklung

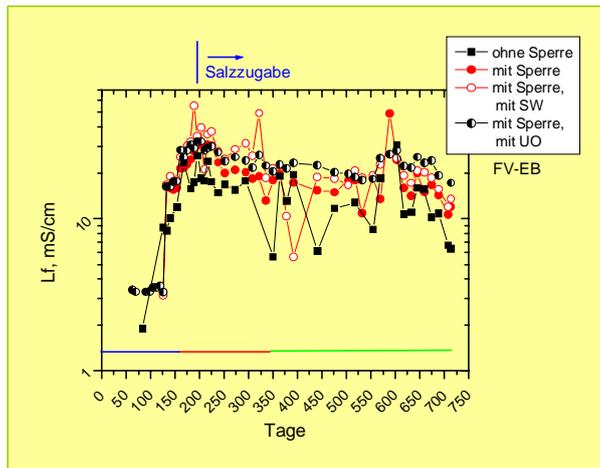


- VA-A
- Leitfähigkeit im SW (mS/cm)
  - Bewässerung mit MSW

Daniela Sager

- Zugabe von Salzen: höhere Leitfähigkeiten im Sickerwasser
- Sperrschicht – abweichende Entwicklung bereits nach 150 Tagen

## Prognosen für Langzeitverhalten + Salze Sickerwasserentwicklung



- FV-EB
- Leitfähigkeit im SW (mS/cm)
  - Bewässerung mit NS/SW/UO

Daniela Sager

- Blindversuch: Entwicklung verändert sich kaum, geringfügiger wash-off
- Sperrschicht: höhere Leitfähigkeiten im Sickerwasser
- Zugabe von Salzen: höhere Leitfähigkeiten mit steigendem Salzgehalt

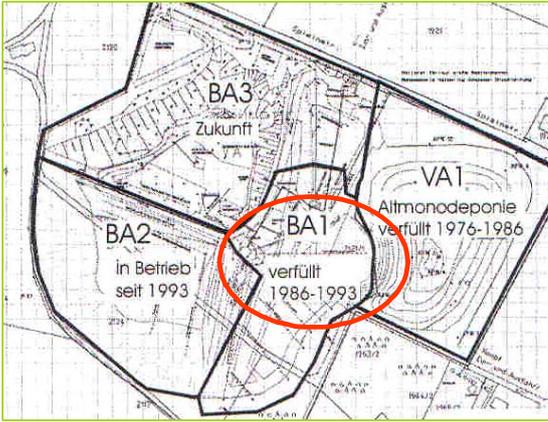
## FAZIT zu Prognosen für Langzeitverhalten

- Langzeitversuche:
  - Große Wichtigkeit
  - Verschiedene chemische und mineralogische Prozesse kommen erst nach einer gewissen Zeit zum Tragen
- Zugabe von salzreichen Lösungen:
  - dient als Zeitraffer
  - für die Säulenversuche wurden geringere Menge an Sickerwasser ausgetragen
  - Auswaschraten haben sich mit fortschreitender Versuchszeit verringert
  - für die Feldversuche geringe Auswaschraten und z.T. steigen die Leitfähigkeiten im Sickerwasser mit zunehmender Versuchszeit an

Daniela Sager

LMU Sektion Mineralogie, Petrologie und Geochemie FES F&E SONDERTECHNOLOGIEN

## Salzhorizont der Monodeponie Waldering

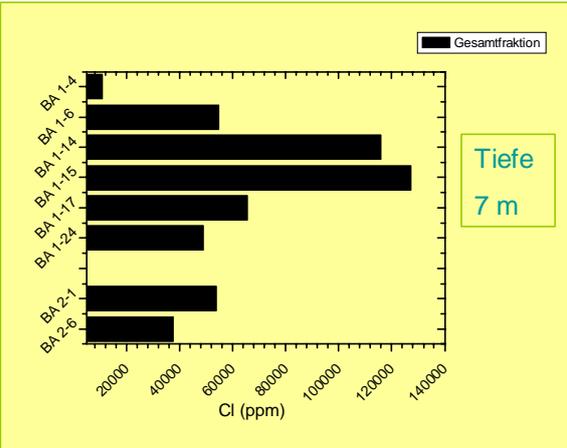


- Einbau von MV-Schlacken und RGR in Sandwichbauweise
- Geringe Belastung des Sickerwassers (BA1): Chlorid, Blei
- Salzhorizont in BA1

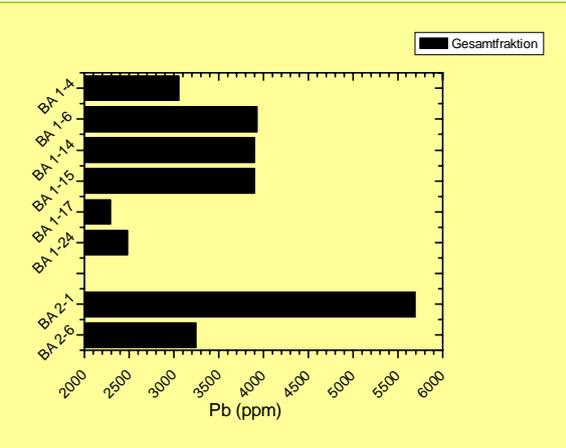
Daniela Sager

LMU Sektion Mineralogie, Petrologie und Geochemie FES F&E SONDERTECHNOLOGIEN

## Feststoffuntersuchung – Fraktion < 80 µm



Tiefe  
7 m

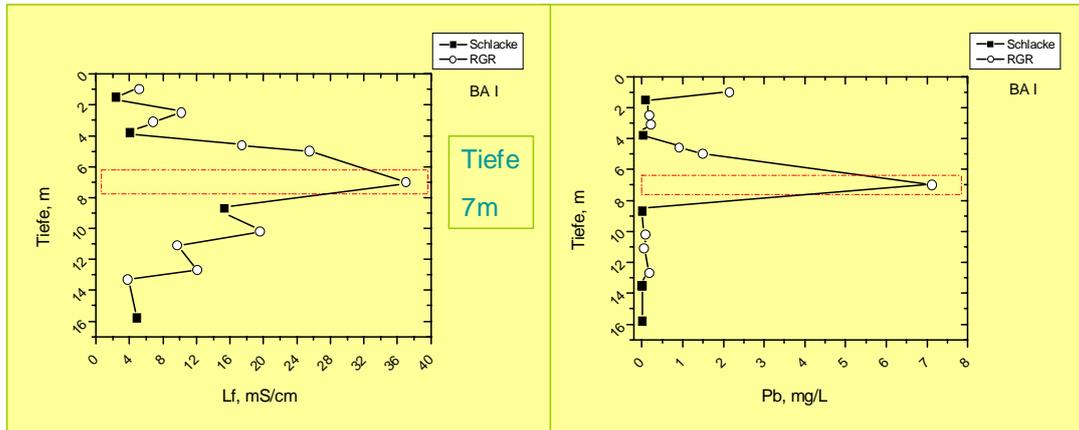


Parameter Chlor: 14,5 Gew.-%  
Schlacke: 0,9 Gew.-%  
RGR: 10,9 Gew.-%

Parameter Blei: 2840 ppm  
Schlacke: 2150 ppm  
RGR: 2470

Daniela Sager

## Eluatuntersuchungen

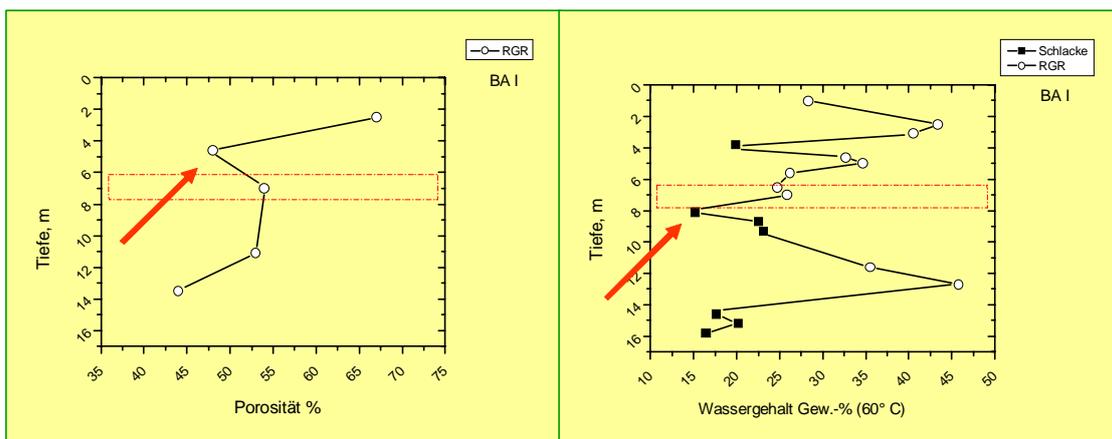


Daniela Sager

Parameter Leitfähigkeit: 37 mS/cm  
Schlacke: 1,5 mS/cm  
RGR: 29,6 mS/cm

Parameter Blei: 7 mg/L  
Schlacke: 0,01 mg/L  
RGR: 7,3 mg/L

## Physikalische Parameter



Daniela Sager

Parameter Porosität: 47%  
RGR: > 52%

Parameter Wassergehalt: 15 Gew.-%  
Schlacke: 10 Gew.-% (105° C)  
RGR: 27 Gew.-% (105° C)

## Zusammenfassung

- Humides Klima
- MV-Reststoffe bieten durch ihre erhöhten Salzgehalte Voraussetzung für Salzakкумуляtionen
- Salzhorizont der Monodeponie Waldering „Endzustand“
- Salzanreicherung im Profil:
  - Zusammenspiel zwischen ungesättigte Wasserbedingungen, d.h. klimatischen Wechselfolgen (geringe Bewässerung/ Trocknung), Korngrößenwechsel und/oder Verdichtung und chemischen Prozessen
- Vorteile:
  - Salzakкумуляtionen führen aufgrund ihrer hohen Speicherkapazität zu geringeren Austragsmengen an Sickerwasser
  - das erhöhte Wasserrückhaltevermögen zusammen mit der verstärkenden Wirkung von Salzanreicherungen bietet bei Starkregenereignissen ein stärkeres Puffervermögen

# Sanierung des Schlackenbergs in Sulzbach-Rosenberg – Oberflächenabdichtungssysteme in Planung und Ausführung

Dr.-Ing. Richard Bosl, Regierung der Oberpfalz, Baudienststelle Schlackenberg

## 1 Randbedingungen

### 1.1 Historie des Schlackenberges

Das Ortsbild von Sulzbach-Rosenberg wird heute zu einem nicht unwesentlichen Teil durch den Schlackenberg der ehemaligen Maxhütte bestimmt. Das Volumen des bis zu 55 Meter hohen Schlackenberges beträgt ca. 4,8 Mio. m<sup>3</sup> auf einer Fläche von etwa 31 ha. Bereits seit 1893 wurden am Schlackenberg Produktionsrückstände aus der Eisen- und Stahlproduktion der Maxhütte abgelagert. Insgesamt kann zwischen 19 unterschiedlichen Ablagerungsstoffen differenziert werden. Im Wesentlichen handelt es sich dabei um Hüttensande und Hüttenschutt, Hochofen- und Stahlwerksschlacken sowie Gichtgas- und Konverterstäube. Die Deponierung von Produktionsrückständen aus der Stahlproduktion auf dem Schlackenberg wurde am 31.01.1997 eingestellt.

### 1.2 Notwendigkeit für die Sanierung und Sicherung

Aufgrund der bestehenden Gefährdungspotentiale für die Umwelt ist die Sanierung, Sicherung und Rekultivierung der Deponie Schlackenberg zwingend erforderlich. Gefährdungen für die Umwelt bestehen insbesondere durch:

- flächige und punktuelle Schadstoffeintragen aus dem Deponiekörper in das Grundwasservorkommen,
- stark ölhaltige Ablagerungen in den Schlammteichen 3, 4 und 5,
- unzureichende Standsicherheit der Deponie in Teilbereichen,
- Staubemissionen.

Aufgrund der bestehenden Gefährdungspotentiale waren auf dem Schlackenberg vor Durchführung der Gesamtanierung präventive Sofortmaßnahmen zur Gefahrenabwehr zu ergreifen. Die bereits abgeschlossenen Sofortmaßnahmen hatten zum Ziel, zum einen die Standsicherheit in kritischen Bereichen des Schlackenberges deutlich zu verbessern und zum anderen dessen geordnete Erschließung zu gewährleisten. Sie umfassten im Wesentlichen folgende Arbeiten:

- Stützfußschüttung an der Südböschung einschließlich kontinuierlicher Verformungskontrollen mit Inklinometern und Seilzugmesssystemen),
- Entwässerung (Sickerwasseraufbereitung, Oberflächenentwässerung),
- Umzäunung sowie die Errichtung von Zufahrten.

### 1.3 Zielsetzungen

Die Sanierung, Sicherung und Rekultivierung der Deponie Schlackenberg hat folgende Zielsetzungen:

- Langzeit sichere Ablagerung der Produktionsrückstände aus der Eisen- und Stahlproduktion nach dem Stand der Technik (Oberflächenabdichtung),
- Gewährleistung der Standsicherheit und des Grundwasserschutzes,
- Erhaltung des charakteristischen Erscheinungsbildes des Schlackenbergs als Symbol für die Industriegeschichte von Sulzbach-Rosenberg,
- Nachfolgenutzung nach Abschluss der Sanierung,
- wirtschaftliche Abwicklung des Projekts,
- zeitliche Zielvorstellungen.

Daraus ist erkennbar, dass bei der Sanierung des Schlackenbergs neben technisch-funktionalen Zielen auch Ziele aus dem unmittelbaren Projektumfeld zu berücksichtigen sind.

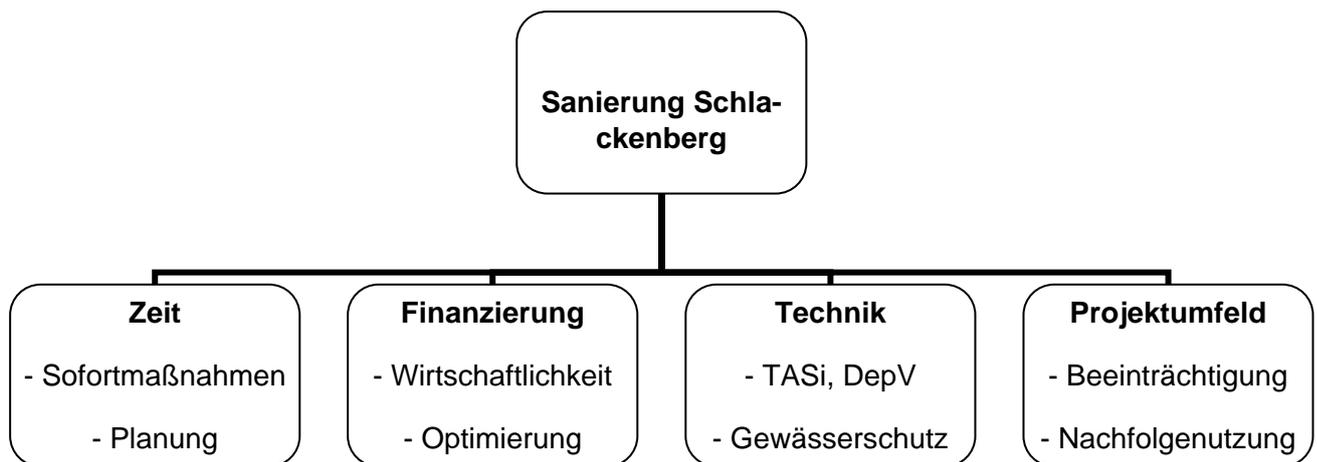


Abbildung 1: Projektziele

### 1.4 Projektorganisation

Vorhabensträger ist der Freistaat Bayern. Das Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz hat die Regierung der Oberpfalz mit der Durchführung des Projekts beauftragt. Die Projektleitung obliegt dem Leiter des Bereichs 5U an der Regierung der Oberpfalz. Zu dessen Unterstützung ist eine Lenkungsgruppe und ein Projektteam vor Ort eingerichtet worden. Die Lenkungsgruppe setzt sich aus Mitgliedern der Fachbehörden (Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaftsamt Weiden, Landratsamt Amberg-Sulzbach) und der Regierung der Oberpfalz zusammen. Die Aufgaben vor Ort werden vom Projektteam „Baudienststelle Schlackenberg“ wahrgenommen.

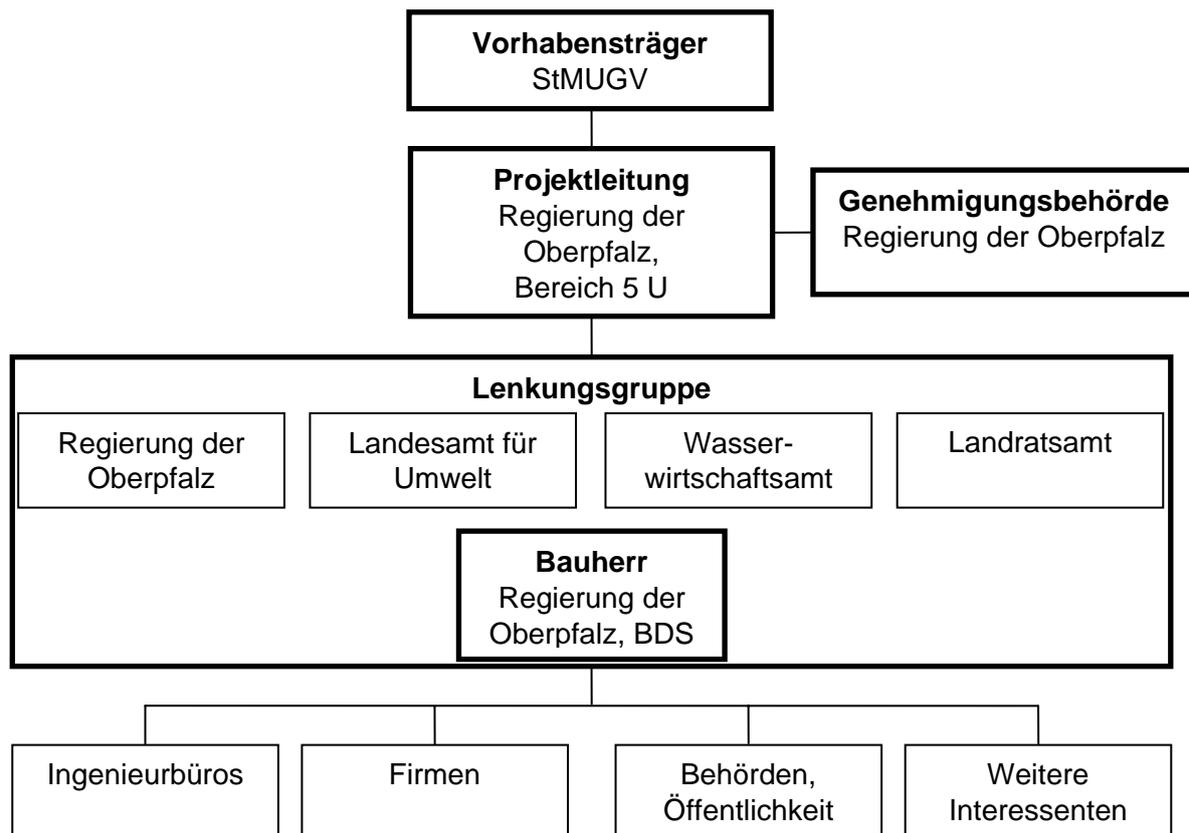


Abbildung 2: Projektorganisation

## 2 Gesamtsanierung

### 2.1 Eckpunkte

Im Rahmen der Gesamtsanierung des Schlackenbergs werden im Wesentlichen die nachfolgend genannten Maßnahmen umgesetzt:

- Profilierung des Haldenkörpers durch Abtrag und Wiedereinbau von am Standort vorhandenen Massen (ca. 420.000 m<sup>3</sup>), sowie durch Einsatz von extern anzuliefernden Deponieersatzbaustoffen (ca. 400.000 m<sup>3</sup>),
- Sicherung und Abfangung der Steilböschungen an den südlichen und westlichen Deponieböschungen,
- Installation und Betrieb von Entnahmebrunnen in den Schlammteichen 3, 4 und 5 zur weitest möglichen Entnahme und gezielten Entsorgung der flüssigen Schlammteichinhalte,
- Aufbringen eines Oberflächenabdichtungssystems auf dem profilierten Haldenkörper zur dauerhaften Unterbindung von Niederschlagswassereintrag,
- Rekultivierung und Nachfolgenutzung unter Berücksichtigung landschafts-pflegerischer Aspekte,
- Einrichtungen zur dauerhaften Überwachung und Kontrollierbarkeit des Sanierungserfolges (Monitoring).

Die Gesamtanierung wird in 3 Bauabschnitten abgewickelt und bis zum Jahr 2012 abgeschlossen:

- Bauabschnitt 1: Stabilisierung der Schlammteiche
- Bauabschnitt 2: Profilierung und Abdichtung des Nordbereichs
- Bauabschnitt 3: Profilierung und Abdichtung des Südbereichs

## 2.2 Abfallrechtliche Genehmigung

Die Sanierung des Schlackenbergs stellt eine wesentliche Änderung der Deponie Schlackenberg dar, so dass die Durchführung einer abfallrechtlichen Genehmigung nach dem KrW-/AbfG erforderlich war.

Die hierfür erforderlichen Unterlagen wurden in nur 6 Monaten erstellt. Dabei waren auch die Ergebnisse eines aufwändigen Bohrprogramms in den Schlammteichen 3, 4 und 5 zu berücksichtigen. Am 12.06.2006 wurden die Antragsunterlagen bei der Genehmigungsbehörde eingereicht. Die abfallrechtliche Genehmigung wurde nach knapp 2 Monaten am 08.08.2006 erteilt. Ausschlaggebend für das vergleichsweise kurze Genehmigungsverfahren waren die intensive Einbindung der Projektbeteiligten bereits während der Entwurfsphase, die konstruktive Mitarbeit aller Beteiligten, keine unmittelbaren Eingriffe auf die Rechte Dritter und nicht zuletzt die Qualität der Antragsunterlagen. Besonders in der Entwurfs- und Genehmigungsphase hat sich die Projektorganisation mit einer Lenkungsgruppe bewährt, da verwaltungsinterne Abstimmungen und Entscheidungen zügig herbeigeführt werden konnten.

## 3 Oberflächenabdichtungssysteme in Planung und Ausführung

### 3.1 Deponieklasse

Bei den vorhandenen Abfällen auf dem Schlackenberg handelt es sich vorwiegend um produktionsspezifische Rückstände aus der Eisen- und Stahlproduktion. Sie sind unter Berücksichtigung der Zuordnungskriterien gemäß Deponieverordnung (DepV) sowohl der Deponieklasse I als auch der Deponieklasse II zuzuordnen. Eine im Rahmen der Planung erstellte, flächendeckende Kartierung des Schadstoffinventars lässt eine differenzierte Zuordnung einzelner Ablagerungsflächen zu den Deponieklassen I oder II zu. Mit Ausnahme der Ablagerungen in den Schlammteichen 1 bis 5 und der Soda-Schlackendeponie sind die vorhandenen Produktionsrückstände der Deponieklasse I gemäß DepV zuzuordnen.



Abbildung 3: Bereiche mit DK I – bzw. DK II - Abdichtung

### 3.2 Alternative Oberflächenabdichtungssysteme

Zur Optimierung der Wirtschaftlichkeit wurden mehrere gleichwertige Oberflächenabdichtungssysteme ausgearbeitet und in Abstimmung mit dem Landesamt für Umwelt zur Genehmigung beantragt.

Alle 7 beantragten Systeme (DK I: 4 Systeme, DK II: 3 Systeme) wurden für diese Maßnahme explizit genehmigt. Hintergrund für diese Vorgehensweise war das Ziel, alle Alternativen in der später folgenden Bauausschreibung anzufragen, um letztendlich das Oberflächenabdichtungssystem zu realisieren, das sich zum Zeitpunkt der Baumaßnahme unter Wettbewerbsbedingungen als die wirtschaftlichste Alternative erweist.

Der Genehmigungsbescheid vom 08.08.2006 umfasst die nachfolgend genannten Oberflächenabdichtungssysteme:

### **Deponieklasse I**

- Regelsystem nach DepV (zweilagige mineralische Dichtung),
- Bentokiesdichtung statt mineralischer Dichtung,
- Trisoplastdichtung statt mineralischer Dichtung,
- Kunststoffdichtungsbahn mit BAM-Zulassung statt mineralischer Dichtung.

### **Deponieklasse II**

- Regelsystem nach DepV (zweilagige mineralische Dichtung und Kunststoffdichtungsbahn mit BAM – Zulassung),
- Bentokiesdichtung statt mineralischer Dichtung,
- Trisoplastdichtung statt mineralischer Dichtung.

Die Ausschreibung für den 2. Bauabschnitt beinhaltet unter anderem das Aufbringen einer Abdichtung auf einer Gesamtfläche von ca. 21 ha (DK I: ca. 16 ha, DK II: ca. 5 ha). Bei der Behandlung der alternativen Oberflächenabdichtungssysteme in der Ausschreibung waren neben den rein technischen Randbedingungen auch vergaberechtliche Aspekte im Vorfeld zu klären. Bei der Ausschreibung von Alternativpositionen ist beispielsweise zu beachten, dass diese vom Bieter auch zu preisen sind. Die Nichtpreisung einer Alternative führt zwangsläufig zu einem unvollständigen Angebot, das auszuschließen ist. Die Baudienststelle Schlackenberg hat daher jeweils einen Amtsvorschlag (DK I: Kunststoffdichtungsbahn, DK II: Regelsystem nach DepV) vorgegeben und die gleichwertigen Alternativen als Nebenangebote zugelassen. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass bei europaweiten Ausschreibungen die Mindestanforderungen für Nebenangebote in den Vergabeunterlagen anzugeben sind. Werden diese Mindestanforderungen nicht definiert, sind ggf. von Bietern abgegebene Nebenangebote von der Wertung zwingend auszuschließen. Die Mindestanforderungen an Nebenangebote für alternative Oberflächenabdichtungssysteme wurden auf Basis des Genehmigungsantrags und –bescheids in den Vergabeunterlagen definiert.

Neben der Kunststoffdichtungsbahn wurden Angebote für eine mineralische Dichtung und eine Trisoplastdichtung abgegeben. Eine Bentokiesdichtung wurde nicht angeboten. Folgende Mittelpreise (netto) liegen den Angeboten dabei zugrunde:

- Lieferung und Verlegung einer Kunststoffdichtungsbahn mit BAM-Zulassung: 11 €/m<sup>2</sup>,
- Lieferung und Einbau einer mineralischen Dichtung: 21 €/m<sup>3</sup>,
- Lieferung und Einbau einer Trisoplast-Dichtung: 11 €/m<sup>2</sup>,

Demzufolge weichen die Preise für die unterschiedlichen Abdichtungen nur gering voneinander ab. Die Prüfung und Wertung der Angebote hatte im vorliegenden Fall zum Ergebnis, dass die als Amtsvorschlag ausgeschriebenen Abdichtungen auch die wirtschaftlichsten Varianten darstellten und beauftragt wurden. Letztlich lassen jedoch die angegebenen Mittelpreise im Voraus keinen gesicherten Rückschluss für andere Projekte zu, welches Oberflächenabdichtungssystem die wirtschaftlichste Alternative ist. Diese Entscheidung bleibt dem Wettbewerb vorbehalten und ist von projektspezifischen Faktoren abhängig, wie beispielsweise der Verfügbarkeit von Ressourcen, Transportentfernungen, usw.

### 3.3 Massenmanagement

#### **Profilierung**

Bereits in einem frühem Stadium der Entwurfsplanung war über die Profilierung des Schlackenbergs zu entscheiden. Neben technischen Randbedingungen (z.B. Einhaltung von maximalen und minimalen Böschungsneigungen zur Aufbringung einer Oberflächenabdichtung, Gewährleistung der Standsicherheit, Bodenabtrag in stark verfestigten Bereichen) waren dabei auch gestalterische Zielsetzungen zu berücksichtigen. Hinsichtlich der Modellierung wurden mehrere Varianten untersucht und die Vor- und Nachteile einer Abwägung unterzogen. Da es sich auf dem Schlackenberg überwiegend um schwer lösbare Materialien handelt, die den Bodenklassen 6 und 7 zuzuordnen sind, wurde eine Marktrecherche durchgeführt, um Erkenntnisse über die wirtschaftliche Verfügbarkeit extern anzuliefernder Profilierungsmassen zu gewinnen. Das Ergebnis dieser Marktrecherche war, dass die Profilierung mit externen Profilierungsmassen deutlich wirtschaftlicher ist als mit den am Standort vorhandenen Massen. Für die Profilierungsmassen gelten dabei die Anforderungen nach Tabelle 2, Spalte 6 der Deponieverwertungsverordnung.

Dem Genehmigungsantrag liegt folglich eine optimierte Variante zugrunde, die den kostenintensiven Abtrag in stark verfestigten Bereichen minimiert und das bisherige Erscheinungsbild des Schlackenbergs weitgehend beibehält. Die Profilierung des Haldenkörpers erfordert den Abtrag und Wiedereinbau von am Standort vorhandenen Massen (ca. 420.000 m<sup>3</sup>) sowie den Einsatz von extern anzuliefernden Fremdmassen (ca. 400.000 m<sup>3</sup>). Die mittlerweile vorliegenden Ergebnisse einer durchgeführten Angebotseinholung für die Gestellung der Fremdmassen sind Beleg dafür, dass die wirtschaftlichste Variante gewählt worden ist.

#### **Rekultivierungsboden**

Für die Rekultivierung werden ca. 300.000 m<sup>3</sup> Boden benötigt, der den Anforderungen der DepV, Anhang 5, entsprechen muss. Die im Zusammenhang mit den Profilierungsmassen durchgeführte Marktrecherche brachte das Ergebnis, dass standortnah geeigneter Rekultivierungsboden in ausreichenden Mengen kostenneutral für den Bauherrn zur Verfügung gestellt werden kann. In der Bauausschreibung wurde diese Entnahmestelle einschließlich Abbau und Transport als Amtsvorschlag aufgenommen und Nebenangebote für die Gestellung des Rekultivierungsbodens zugelassen. Diesbezügliche Nebenangebote wurden jedoch nicht eingereicht.

Zusammenfassend hat das gewählte Vorgehen zur Gestellung der Profilierungsmassen und des Rekultivierungsbodens gegenüber einer konventionellen Vorgehensweise mit Aufnahme der Materiallieferung in die Bauausschreibung zu signifikanten Einsparungen geführt.

## 4 Kosten

Grundlage für die Erarbeitung der Entwurfs- und Genehmigungsplanung war ein favorisiertes Sanierungskonzept. Im Zuge des Planungsprozesses konnte dieses Konzept optimiert werden, so dass signifikante, wirtschaftliche Einsparungen – ohne Einbußen beim Qualitätsstandard – realisiert werden können. Die voraussichtlichen Kosten der Sanierung konnten nahezu halbiert werden und betragen ca. 50 Mio. €. Die Einsparungen sind insbesondere auf folgende Faktoren zurückzuführen:

- Verzicht auf eine aufwändige Umlagerung der Schlammteichinhalte und die Errichtung einer neuen Schlammdeponie auf dem Schlackenberg,
- Haldenmodellierung und Massenmanagement,

- ständige Optimierung der Wirtschaftlichkeit, wie beispielsweise die Auswahl des wirtschaftlichsten Oberflächenabdichtungssystems unter verschiedenen gleich-wertigen Alternativen,
- Förderung des Wettbewerbs und der Wirtschaftlichkeit durch die konsequente Durchführung von Vergabeverfahren.

## **5 Ausblick**

Die Arbeiten für den 1. Bauabschnitt haben im Januar 2007 begonnen und werden noch in diesem Jahr abgeschlossen. Nach Abschluss der europaweiten Ausschreibung ist im Juli 2007 mit der Ausführung für den 2. Bauabschnitt begonnen worden. Dessen Bauzeit beträgt 4 Jahre. Mit dem 3. Bauabschnitt kann erst begonnen werden, wenn die Stabilisierung der Schlammteiche abgeschlossen ist. Nach derzeitigem Kenntnisstand ist dies spätestens im Jahr 2011 der Fall. Das Ende der Gesamtsanierung ist für das Jahr 2012 vorgesehen.

# Testfelder auf der Deponie „Im Dienstfeld“ – welche Aussagen lassen sich für künftige Abdichtungen ableiten?

Dr. Ulrich Henken-Mellies, LGA, Nürnberg

## 1 Einleitung

- Sind tonmineralische Abdichtungen und Bentonitmatten auf Dauer dicht – oder versagen sie schon nach wenigen Jahren?
- Braucht man 3 m dicke Rekultivierungsschichten um mineralische Dichtungen vor Austrocknung zu schützen, oder tun es 1,2 m auch?
- Oder kann man einfach eine „Wasserhaushaltsschicht“ bauen und ganz auf die Abdichtungen verzichten?
- Bin ich auf der sicheren Seite, wenn ich meine Oberflächenabdichtung streng nach TASI baue?
- Auf diese einfachen Fragen gibt es keine einfachen Antworten.

Die Baukosten des Oberflächenabdichtungssystems machen in der Regel rund die Hälfte der Gesamtkosten für Deponiestilllegung und Nachsorge aus. Zur Vermeidung von teuren Fehlinvestitionen tun die Deponiebetreiber gut daran, zunächst eine (kostengünstige) temporäre Oberflächenabdichtung aufzubringen und sich aktiv um die Reaktionen im Deponiekörper (Deponiegas, Sickerwasser, Abbau der reaktiven Organik, Setzungen) zu kümmern. Was die endgültige Oberflächenabdichtung angeht, ist es nach meiner Meinung sinnvoll, zunächst die Endfassung der Integrierten Deponieverordnung abzuwarten und erst nach weitestmöglichem Abbau der organischen Substanz ein System zu wählen, von dem man überzeugt ist, dass es über 100 Jahre sicher abdichtet.

In den bisherigen Verwaltungsvorschriften und Verordnungen (TAA, TASI, AbfAbIV und DepV) wird implizit unterstellt, dass ein nach dem Regelsystem gebautes Oberflächenabdichtungssystem mit Kombinationsabdichtung (bestehend aus tonmineralischer Dichtungsschicht und einer Kunststoffdichtungsbahn) auf unbegrenzte Zeit wirksam ist. Insbesondere wird vorausgesetzt, dass die tonmineralische Dichtungsschicht durch die Rekultivierungsschicht nach Anhang 5, DepV vor äußeren Einflüssen so wirksam geschützt wird, dass sie ihre beim Einbau nachgewiesenen Eigenschaften (Wassergehalt, k-Wert etc.) auf unbegrenzte Zeit behält. An diesem – nicht nachgewiesenen – Anspruch werden alternative Systeme und Komponenten gemessen (vgl. DIBt-Grundsätze; LAGA – Allgemeine Grundsätze, 2005).

Hinsichtlich der langfristigen Wirksamkeit von tonmineralischen Dichtungsschichten an der Deponie-Basis besteht weitestgehend Einvernehmen. Im Gegensatz dazu muss die langfristige Wirksamkeit tonmineralischer Dichtungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen nach heutigem Kenntnisstand mit Fragezeichen versehen werden.

Es gibt eine Reihe dokumentierter Beispiele aus Aufgrabungen und Großlysimeter-Versuchen, die ein erhebliches Nachlassen der Dichtungswirkung nach wenigen Jahren belegen [1, 2]. Auch Auswertungen von Daten aus der Deponieüberwachung zeigen für mineralische Oberflächenabdichtungen bayerischer Deponien häufig höhere Sickerwasserabflussraten, als es auf der Grundlage der Einbau-Durchlässigkeitsbeiwerte zu erwarten gewesen wäre [3]. Demgegenüber gibt es nur wenige Untersuchungen, in denen die Wirksamkeit tonmineralischer Oberflächenabdichtungen tatsächlich nachgewiesen wurde: Mittels Aufgrabungen an mehreren Deponien in Bayern wurde festgestellt, dass mineralische Dichtungsschichten (ohne KDB) in vielen Fällen auch nach mehreren Jahren keine Schädigung

gungen zeigen [4, 5, 6]. Als vorteilhaft erwiesen sich dabei ausreichend dicke (ca. 1,5 m) Rekultivierungsschichten.

In diesem Zusammenhang liefern die langjährig durchgeführten Großlysimeter-Felduntersuchungen auf der Deponie „Im Dienstfeld“, Landkreis Ansbach (Bayern) einen Beitrag. Hier werden in Langzeit-Versuchen Wasserhaushalts- und Abflussmessungen an unterschiedlichen Oberflächenabdichtungssystemen mit tonmineralischen Komponenten als Forschungsprojekte durchgeführt, die vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) und vom Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) beauftragt und finanziert wurden.

## 2 Beschreibung der Versuchsfelder

### 2.1 Deponiestandort

Standort der Großlysimeter-Versuchsfelder ist die Südböschung der Deponie „Im Dienstfeld“, Aurach, der ehemaligen Hausmülldeponie des Landkreises Ansbach, Bayern (**Abbildung 1**). Die grundlegenden Daten des Standortes und die klimatischen Gegebenheiten sind in Tabelle 1 zusammengefasst.



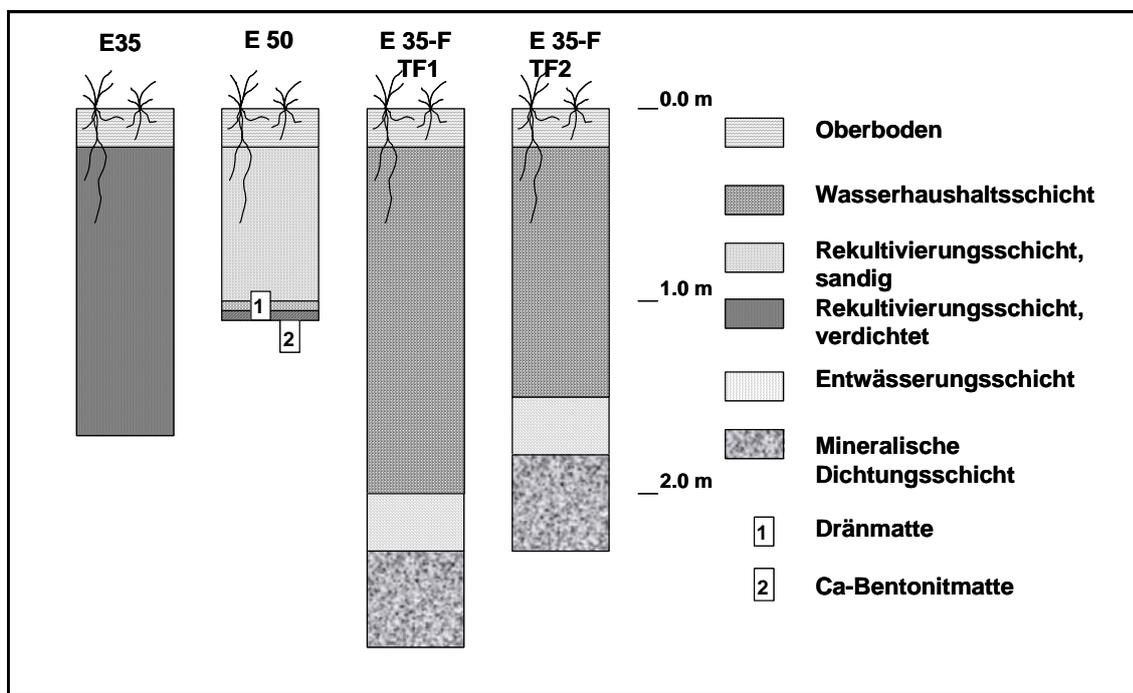
**Abbildung 1:** Luftbild der Deponie „Im Dienstfeld“/ Aurach.

**Tabelle 1:** Standortdaten der Deponie „Im Dienstfeld“ / Aurach.

Geographische Lage (Länge / Breite)	10° 23' Ost; 49° 15' Nord
Höhe über NN	ca. 500 m
Exposition; Hangneigung	Süd; ca. 20% Neigung
Jahres-Mitteltemperatur	9°C
mittlerer jährlicher Niederschlag	750 mm
mittlere jährliche potenzielle Verdunstung	550 mm

## 2.2 Großlysimeter

Die Aufgabenstellung für die Untersuchung der Oberflächenabdichtungen bestand darin, die Dichtungssysteme auf einem realen Deponiestandort unter Praxisbedingungen einzubauen, sie über einen Zeitraum von mehreren Jahren den realen Standortbedingungen (Witterung, Bewuchs) auszusetzen und gleichzeitig den Wasserhaushalt und die Wasserabflüsse der einzelnen Funktionsschichten zu messen. Hierzu wurden auf der bestehenden Deponieflanke „Großlysimeter-Versuchsfelder“ gebaut. Diese bestehen aus ca. 520 m<sup>2</sup> großen, mit Kunststoffdichtungsbahn ausgekleideten, dichten „Wannen“, in die das jeweils zu untersuchende Abdichtungssystem eingebaut wurde. Als unterste Schicht in der Wanne, unter dem zu untersuchenden Dichtungselement, ist eine Entwässerungsschicht (Kies bzw. Dränmatte) verlegt, um die durch die Dichtung sickernde Wassermenge abführen und messen zu können. Der Schichtenaufbau der Versuchsfelder ist in Abbildung 2 schematisch skizziert. Angaben zu den Bodenschichten sind in Tabelle 2 zusammengefasst.



**Abbildung 2:** Schematische Profile der Großlysimeter-Versuchsfelder

**Tabelle 2:** Schichtenaufbau der Versuchsfelder auf der Deponie „Im Dienstfeld“

Projekt	E 35 (1997 – 2001) einfache Abdeckung	E 50 Ca-Bentonitmatte	E 35-F (ab 2002) „DK 1“ mit erhöhter Re- ku-Schichtdicke
<b>Funktionsschicht</b>			
<b>Oberboden</b>	0,2 m Sand, schluffig, humushaltig *) Kornziffern: 5 / 14/ 77/ 4 Trockendichte: ca. 1,6 g/cm <sup>3</sup> k-Wert: ca. 10 <sup>-6</sup> m/s	0,2 m Sand, schluffig, humushaltig Kornziffern: 5 / 14/ 77/ 4 Trockendichte: ca. 1,6 g/cm <sup>3</sup> k-Wert: ca. 10 <sup>-6</sup> m/s	0,2 m Sand, schluffig, humushaltig Kornziffern: 5 / 14/ 77/ 4 Trockendichte: ca. 1,6 g/cm <sup>3</sup> k-Wert: ca. 10 <sup>-6</sup> m/s
<b>Unterboden</b>	1,5 m Sand, schluffig, verdichtet Kornziffern: 10/ 15/ 71/ 4 Trockendichte: 1,71-1,86 g/cm <sup>3</sup> k-Wert: 10 <sup>-7</sup> – 10 <sup>-10</sup> m/s	0,8 m; Sand, schwach schluffig Kornziffern: 4 / 9/ 85/ 2 Trockendichte: 1,68 g/cm <sup>3</sup> k-Wert: ca. 7 x 10 <sup>-6</sup> m/s	1,3 m (Teilfeld 1) bzw. 1,8 m (Teilfeld 2) Sand, schluffig; locker eingebaut Kornziffern: 10/ 15/ 71/ 4 Trockendichte: ca. 1,6 g/cm <sup>3</sup> k-Wert: ca. 10 <sup>-6</sup> - 10 <sup>-7</sup> m/s
<b>Entwässerungs- schicht</b>	-	0,01 m Dränmatte	0,3 m RC-Schotter (5/45 mm)
<b>Dichtungsschicht</b>	-	0,01 m Ca-Bentonitmatte Bentoniteinlage: 9.500 g/m <sup>2</sup> Permittivität: 8 x 10 <sup>-9</sup> 1/s	0,5 m Ton, schluffig, sandig Kornziffern: 25/ 50/ 24/ 1 Trockendichte: ca. 1,8 g/cm <sup>3</sup> k-Wert: 2 x 10 <sup>-10</sup> – 3 x 10 <sup>-9</sup> m/s

\*) Kornziffern: %-Anteile Ton / Schluff / Sand / Kies

Die Großlysimeter-Versuchsfelder befinden sich nebeneinander auf der Südflanke der vorhandenen Oberflächenabdeckung der Deponie „Im Dienstfeld“. Die Hangneigung beträgt ca. 1 : 4 bis 1 : 5. Nach dem Bau wurden die Versuchsfelder jeweils mit einer Gras/Kraut – Ansaatmischung begrünt. Der Bewuchs wird nicht gemäht; daher stellt sich im Laufe der Jahre eine natürliche, standortangepasste Vegetation ein, bei der neben Gräsern u.a. als Tiefwurzler bekannte Distel-, Ampfer- und Kleearten vertreten sind.

### 2.3 Versuchsfeld E 35 – einfache mineralische Oberflächenabdeckung

In das Versuchsfeld E 35 (1. Phase: 1997 – 2001) wurde eine 1,7 m dicke mineralische Oberflächenabdeckung eingebaut, in der Qualität, wie sie auch in den Bauabschnitten 1 und 2 der Deponie „Im Dienstfeld“ gebaut worden war. Es handelt sich um eine Abdeckung aus dem örtlich anstehenden tonig-schluffigen Sand (Keupersandstein-Zersatz), die ohne Qualitätsvorgaben gebaut wurde. Die Dichte liegt bei ca. 90% - 95% der Proctordichte; die k-Werte streuen zwischen ca. 10<sup>-7</sup> und 10<sup>-9</sup> m/s. Diese Art der Oberflächenabdeckung entsprechend dem „LAGA-Deponiemerkblatt“ kann für viele ältere Deponieabdeckungen als typisch gelten.

Das Großlysimeter wurde bis März 2001 untersucht. Nachdem sich im 4-jährigen Beobachtungszeitraum eindeutige Ergebnisse eingestellt hatten [7], wurde der Inhalt des Großlysimeters rückgebaut und die Messeinrichtung anschließend für das Folgeprojekt E 35(F) weitergenutzt.

## 2.4 Versuchsfeld E 35 (F) – Mineralische Abdichtung (vergleichbar DK I) mit erhöhter Dicke der Rekultivierungsschicht

Um die Wirkung mächtigerer Rekultivierungsschichten hinsichtlich der Austrocknungssicherheit mineralischer Dichtungsschichten zu untersuchen, wurden im Jahre 2001, in Fortsetzung des Forschungsprojekts E 35, im vorhandenen Großlysimeter, das in der Falllinie geteilt wurde, zwei neue Testfelder errichtet. Diese sind mit einer mineralischen Oberflächenabdichtung in Anlehnung an das Regelsystem für Deponieklasse I versehen. Die tonmineralische Dichtung wurde mit einem Wassergehalt von 2% unter dem optimalen Wassergehalt bei im Mittel 100% Proctordichte („auf dem trockenen Ast“) eingebaut. Die Entwässerungsschicht besteht aus Beton-Recyclingmaterial der Körnung 5/45 mm, das die LAGA Z 1.1-Werte einhält. Das Versuchsfeld ist in 2 Teilfelder unterteilt, in denen über gleichartiger Dichtungs- und Entwässerungsschicht eine unterschiedlich mächtige Rekultivierungsschicht (Schichtdicke 2,0 m bzw. 1,5 m) angeordnet ist. Die Rekultivierungsschicht aus schluffigem, schwach tonigem Sand wurde mit möglichst geringer Verdichtung in 2 Schüttlagen vor Kopf mit einer Moorwalze von oben nach unten eingebaut.

## 2.5 Versuchsfeld E 50 – Abdichtungssystem mit Bentonitmatte

Im Großlysimeter-Versuchsfeld „E 50“ wird ein alternatives Oberflächenabdichtungssystem mit Geokunststoffen untersucht. Unter der 1,0 m mächtigen Rekultivierungsschicht (0,2 m humoser, lehmiger Oberboden; 0,8 m schwach schluffiger Sand als Unterboden) befinden sich eine Dränmatte und eine Bentonitmatte. Um die Frage des Ionenaustauschs im Bentonit ( $\text{Na} \rightarrow \text{Ca}$ ) zu umgehen, wurde von vornherein eine Ca-Bentonitmatte eingesetzt (Flächengewicht  $9500 \text{ g/m}^2$ ). Die Permittivität der fabrikanneuen Bentonitmatte betrug  $8 \times 10^{-9} [\text{s}^{-1}]$ .

## 2.6 Messtechnische Ausstattung der Versuchsfelder

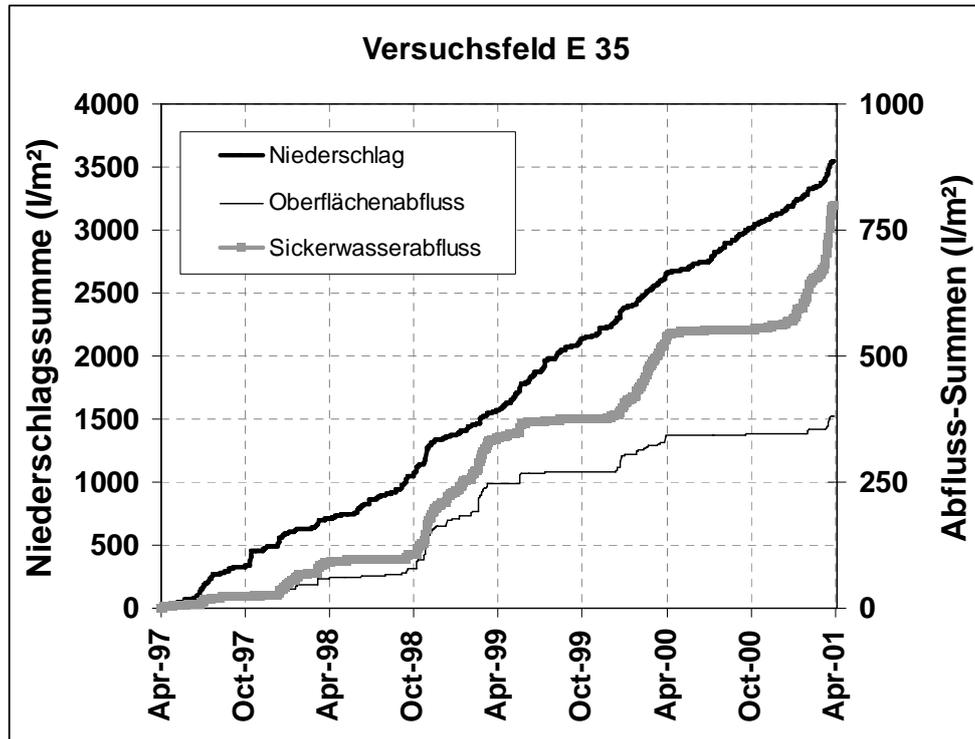
Die Versuchsfelder sind als Großlysimeter ausgebaut; das heißt, dass die relevanten Wasserabflüsse der Funktionsschichten (Oberflächenabfluss, Dränschichtabfluss, Durchsickerung der Dichtungsschicht) getrennt voneinander erfasst und kontinuierlich in Messcontainern gemessen werden. Die Wassermengenmessung erfolgte zunächst mittels einer Eigenentwicklung des LGA-Grundbauinstituts (Standzylinder mit Schwimmer-Messsystem), seit 2002 bzw. 2003 mittels Kippzählern. Neben den Versuchsfeldern befindet sich eine Wetterstation mit Niederschlagsmessgerät, so dass eine vollständige Wasserbilanz für die Versuchsfelder erstellt werden kann.

Die Versuchsfelder sind zusätzlich mit in-situ-Messgeräten ausgestattet zur Messung der Bodenfeuchte und der Bodentemperatur. Alle Messdaten aus den Versuchsfeldern werden kontinuierlich mit Datenloggern und PCs aufgezeichnet und stehen per Daten-Fernabfrage im LGA-Grundbauinstitut zur Überwachung und Auswertung zur Verfügung.

# 3 Ergebnisse der Großlysimeter-Felduntersuchungen

## 3.1 Ergebnisse der Niederschlags- und Abflussmessungen

Die Ergebnisse der Niederschlags- und Abflussmessungen der Großlysimeter-Versuchsfelder sind in den Abbildungen 3 bis 5 als Summenkurven (in mm bzw.  $\text{l/m}^2$ ) dargestellt. Die Niederschlags-Summenkurve steigt nahezu gleichmäßig an (schwarze Linie; abzulesen auf der linken y-Achse). Bei den Abflüssen sind dagegen deutliche saisonale Unterschiede festzustellen: Die Summenkurven (abzulesen auf der rechten y-Achse) zeigen einen treppenartigen Verlauf mit Plateaus (= keine Abflüsse) in den Sommermonaten und ansteigenden Kurvenabschnitten in den Wintermonaten.



**Abbildung 3:** Ergebnisse der Niederschlags- und Abfluss-Messungen im Versuchsfeld E 35 mit einfacher mineralischer Oberflächenabdeckung.

Der einfache 1-Schicht-Aufbau der mineralischen Oberflächenabdeckung des Versuchsfeldes E 35 ermöglicht nur Oberflächenabfluss und Sickerwasserabfluss (**Abbildung 3**). Aufgrund der relativ geringen Wasserdurchlässigkeit der gesamten Oberflächenabdeckung kommt es im Winterhalbjahr bei ergiebigen Niederschlägen zu Stauwasserbildung und zu Oberflächenabfluss. Nach Wassersättigung des Bodens kommt es im Winterhalbjahr zu erheblichen Sickerwasserabflüssen in der Größenordnung von 100 – 250 mm. Die Sickerwasserabflussbildung entspricht dem Prozess nach und von der zahlenmäßigen Höhe her in etwa der Grundwasserneubildung unter einem vergleichbaren Boden. Beim Vergleich der Abfluss-Summenkurven zeigt sich, dass der Anteil des Oberflächenabflusses im Laufe der 4 Jahre abnimmt, während der Sickerwasseranteil zunimmt. Offenbar nimmt die Wasserdurchlässigkeit der verdichtet eingebauten Oberflächenabdeckung im Laufe der Jahre infolge der Wirkung von Klima und Vegetation zu.

**Abbildung 4** zeigt die Abflüsse im Versuchsfeld E 50 mit Dränmatte und Bentonitmatte. Der Oberflächenabfluss auf der Rekultivierungsschicht aus schwach schluffigem Sand ist minimal. In der Entwässerungsschicht wird das Wasser abgeführt, das durch die Rekultivierungsschicht hindurchgesickert ist und von der darunter liegenden Bentonitmatte aufgestaut wird. Der Dränabfluss ist die quantitativ bedeutendste Abflusskomponente mit Jahressummen von 150 bis 520 mm/a im Laufe des 8-jährigen Beobachtungszeitraums. Dies entspricht im Mittel 32 % der Niederschlagssumme. Die Tageswerte des Dränabflusses erreichen maximal ca. 20 mm/d. Der Dränabfluss zeigt im Grundsatz ein sich jährlich wiederholendes Muster: Im Winterhalbjahr (vor allem in den Monaten November bis April) finden erhebliche Abflüsse statt; in den Sommermonaten gehen die Abflüsse auf Null zurück.

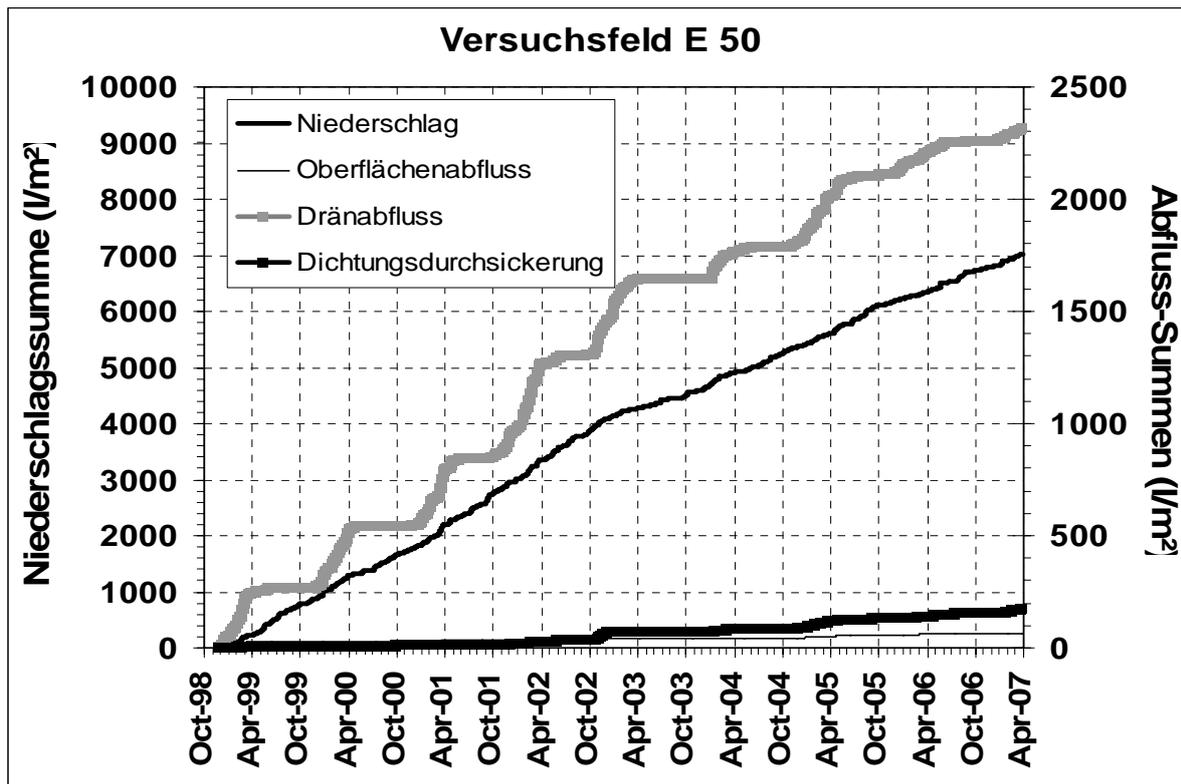
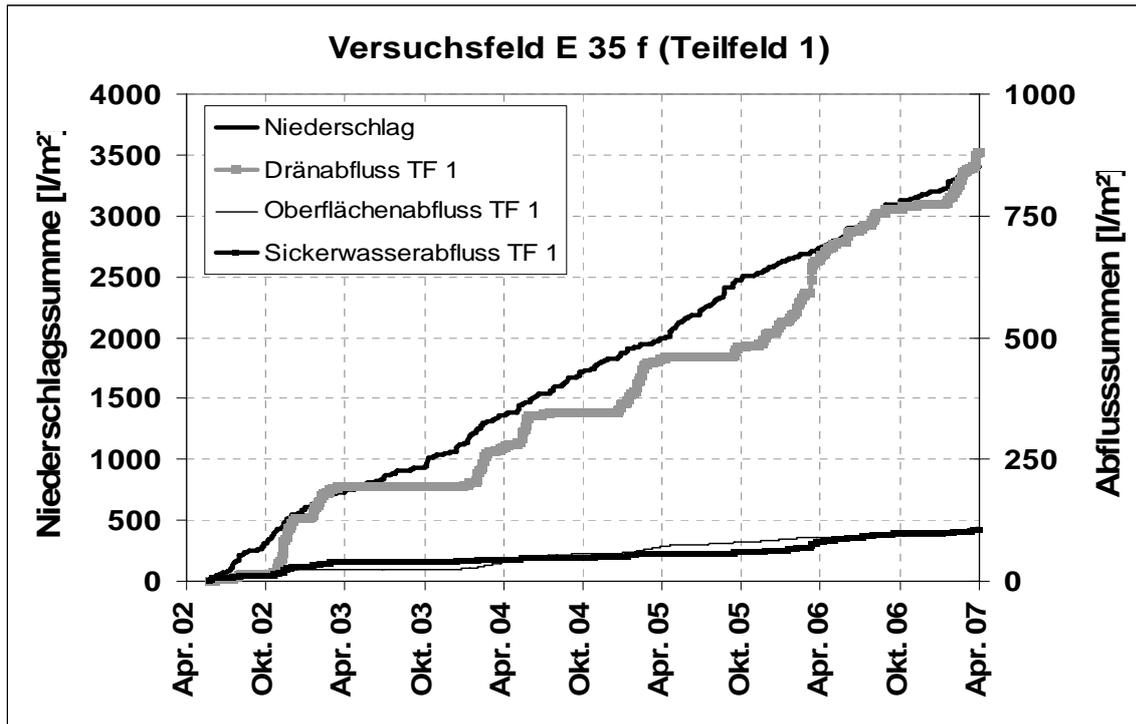


Abbildung 4: Summenkurven des Niederschlags und der Abflüsse im Versuchsfeld E 50 mit Bentonitmatte.

Die Durchsickerung der Bentonitmatte betrug in den ersten 3 Beobachtungsjahren (1999 – 2001) jeweils weniger als 10 mm/a, was einem Anteil von < 1% des Niederschlags entspricht. In den Jahren 2002 – 2006 stieg die Durchsickerung der Bentonitmatte auf 18 – 52 mm/a an. Bezogen auf den Dränabfluss betrug der Sickerwasserabfluss in den ersten Jahren 1% bis 3%; ab dem Jahr 2002 stieg der Sickerwasserabfluss auf 10 % bis 18% des Dränabflusses. Diese Zahlen belegen einen Rückgang der Abdichtungswirksamkeit der Bentonitmatte seit dem Jahr 2002 gegenüber den ersten drei Beobachtungsjahren.

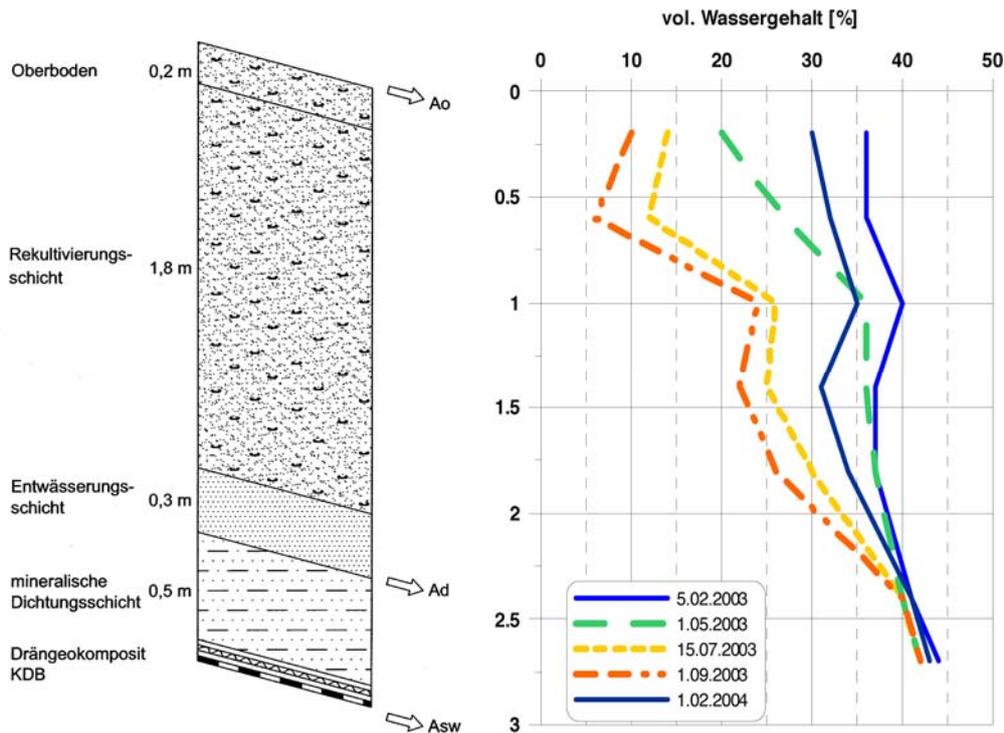
Die Ergebnisse der Abflussmessungen im Teilfeld 1 des Versuchsfeldes E 35-F (Abdichtung in Anlehnung an DK I, mit 2,0 m mächtiger Rekultivierungsschicht) sind in **Abbildung 5** als Summenkurven dargestellt. Auch hier tritt nur sehr wenig Oberflächenabfluss auf. Die quantitativ bedeutendste Abflusskomponente ist der Dränschichtabfluss von ca. 60 bis 170 mm/Jahr, der, wie in den anderen Versuchsfeldern auch, auf die Wintermonate konzentriert ist. Die Durchsickerung der mineralischen Dichtungsschicht liegt in der Größenordnung von 10 - 30 mm/Jahr; das entspricht ca. 15% vom Dränabfluss bzw. ca. 2% vom Niederschlag.



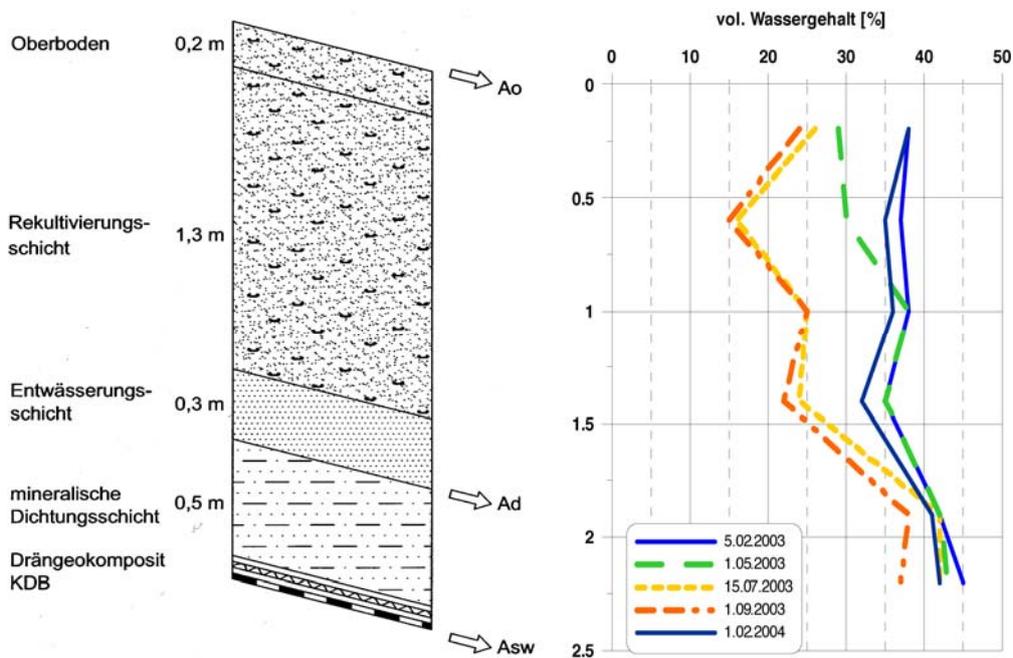
**Abbildung 5:** Versuchsfeld E 35 (F), Teilfeld 1 (DK I – Abdichtung mit 2,0 m dicker Rekultivierungsschicht); Summenkurven des Niederschlags und der Abflüsse.

### 3.2 Ergebnisse der In-situ-Messungen der Bodenfeuchte

In den **Abbildungen 6 und 7** sind Ergebnisse der mittels FDR-Sonden erzielten in-situ-Wassergehaltsmessungen als Tiefenprofile dargestellt. Die Diagramme zeigen den volumetrischen Wassergehalt in verschiedenen Tiefen der Rekultivierungsschicht und der mineralischen Dichtungsschicht zu verschiedenen Zeitpunkten der Jahre 2003/2004. Im Februar 2003 (rechte schwarze Linie) waren im gesamten Profil der Rekultivierungsschicht hohe Wassergehalte von 35 - 40 Vol.-% vorhanden. Im Laufe des Sommers ist eine sukzessive Abnahme der Wassergehalte zu verzeichnen, die sich im September 2003 (graue strickpunktierte Linie) bis zur Tiefe von 1,8 m deutlich auswirkt (Wassergehaltsabnahme um 12 % im Teilfeld 1 (Abb. 6) bzw. um 13% im Teilfeld 2 (Abb. 7)). Im Februar 2004 ist annähernd wieder der gleiche Wassergehalt erreicht wie im gleichen Vorjahresmonat.



**Abbildung 6:** Teilfeld 1 (mineralische Oberflächenabdichtung mit 2,0 m mächtiger Rekultivierungsschicht): Tiefenprofile ausgewählter Zeitpunkte der Wassergehaltsmessungen mittels FDR-Sonden in der Rekultivierungsschicht und in der mineralischen Dichtungsschicht.



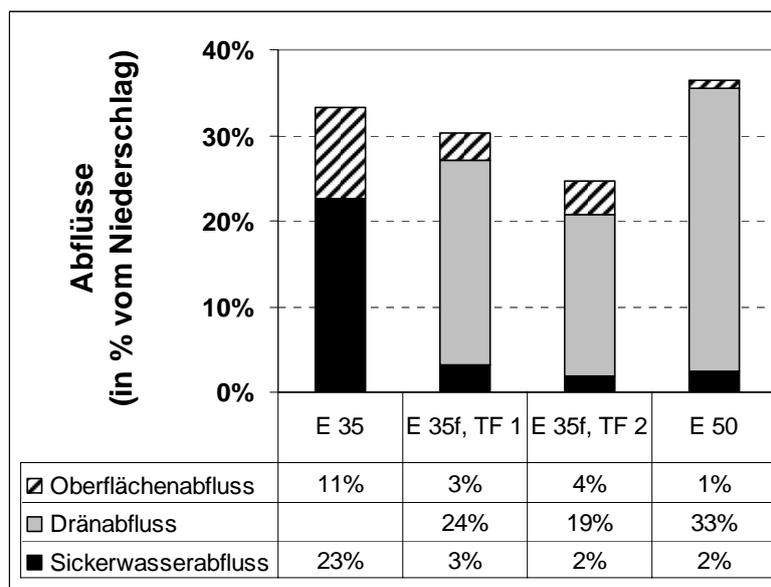
**Abbildung 7:** Teilfeld 2 (mineralische Oberflächenabdichtung mit 1,5 m mächtiger Rekultivierungsschicht): Tiefenprofile ausgewählter Zeitpunkte der Wassergehaltsmessungen mittels FDR-Sonden in der Rekultivierungsschicht und in der mineralischen Dichtungsschicht.

Der unterste Teil der Linien in Abb. 6 und 7 zeigt in der Profildarstellung die Spannbreite der Wassergehalte in der mineralischen Dichtungsschicht. Unter der 2,0 m dicken Rekultivierungsschicht des Teilfeldes 1 (Abb. 6) liegen die Wassergehalts-Linien zu allen Jahreszeiten eng beieinander. Im Fall der 1,5 m dicken Rekultivierungsschicht des Teilfeldes 2 (Abb. 7) wird dagegen deutlich, dass es bei extremer sommerlicher Trockenheit, wie im Jahr 2003, auch in der mineralischen Dichtungsschicht zu einem Rückgang des Wassergehalts kommen kann.

Die Messungen der Bodenfeuchte mit in-situ-Messgeräten haben gezeigt, dass in trockenen Sommerhalbjahren (wie z.B. 2003) die Rekultivierungsschicht bis zu ihrer Unterkante einen deutlichen Wasserverlust erleidet und im Teilfeld 2 sogar die mineralische Dichtungsschicht eine Wassergehaltsabnahme zeigt [8]. Dennoch ist im bisherigen, ca. 5-jährigen Versuchszeitraum weder beim Teilfeld 1 noch beim Teilfeld 2 (mit 1,5 m dicker Rekultivierungsschicht) eine Tendenz zu einer relativen Zunahme der Durchsickerung festzustellen.

### 3.3 Wasserbilanz der Versuchsfelder

Die Wasserbilanz der Versuchsfelder ist in **Abbildung 8** als Gesamtsumme des jeweiligen Versuchszeitraums zusammengefasst. Die Gesamtsumme der Abflüsse in den Versuchsfeldern liegt bei 25% bis 36% der Niederschlagssumme. Die übrigen Anteile der Niederschläge (64% bis 75%), die nicht in Form von Abflüssen gemessen wurden, wurden als Evapotranspiration wieder an die Atmosphäre abgegeben.



**Abbildung 8:** Wasserbilanz der Großlysimeter-Versuchsfelder auf der Deponie „Im Dienstfeld“: Abflüsse in % vom Niederschlag.

Im Versuchsfeld E 35-F mit einer 1,5m bzw. 2,0 m mächtigen, unter geringer Verdichtung eingebauten Rekultivierungsschicht liegt die Summe der Abflüsse bei 25% bis 31% des Niederschlags. Hier ist die Evapotranspiration höher als im Versuchsfeld E 50 mit der sandigen Rekultivierungsschicht und in E 35 mit verdichteter Oberflächenabdeckung, die ein erheblich geringeres Wasserspeichervermögen besitzen. Allerdings beträgt der Unterschied der erzielten Evapotranspiration nur wenige Prozent der Niederschlagssumme und ist damit geringer als angesichts des erhöhten Aufwandes erwartet wurde.

Die Ergebnisse der Versuchsfelder E 35-F geben auch Aufschlüsse darüber, wie viel Sickerwasserabfluss zu erwarten wäre, wenn dort keine Dichtung vorhanden wäre, sondern nur die als „Wasserhaushaltsschicht“ konzipierte dicke Rekultivierungsschicht: Die Wassermenge, die durch die Rekultivierungsschicht sickert, wird im Versuchsfeld als (Dränabfluss + Sickerwasserabfluss) gemessen. Die Durchsickerung der Rekultivierungsschicht beträgt somit ca. 20 % bis 28 % des Niederschlages bzw. ca. 150 - 200 mm/Jahr.

Die Durchsickerung der Bentonitmatte lag in den ersten Versuchsjahren, ähnlich wie die Durchsickerung der mineralischen Dichtungsschicht, in der Größenordnung von 10 mm/a. Nach 3 Versuchsjahren ist eine irreversible Verschlechterung der Abdichtungswirkung der Bentonitmatte eingetreten und die Durchsickerung hat auf ca. 20 – 50 mm/a (entspr. ca. 5% des Niederschlags) zugenommen. Die durch mächtige Rekultivierungsschichten geschützten mineralischen Dichtungen haben derzeit noch ihre volle Wirksamkeit. Die Weiterführung der Versuchsfelder wird zeigen, in wie weit die Abdichtungswirkung auf Dauer erhalten bleibt.

## 4 Bewertung der Großlysimeter-Feldversuche

Für die unterschiedlichen Deponieklassen gibt (bzw. gab) es Regelsysteme nach DepV und TASI / TA Abfall sowie Öffnungsklauseln für alternative Systeme oder Systemkomponenten. Der Entwurf der integrierten Deponieverordnung sieht erheblich mehr Freiheitsgrade bei der Planung von Oberflächenabdichtungen vor. Wie effektiv eine Oberflächenabdichtung in der Praxis ist, erweist sich erst im Laufe der Jahre und Jahrzehnte nach deren Bau durch Messung der tatsächlich anfallenden Sickerwassermengen. Bei dieser Vorgehensweise werden Systemfehler möglicherweise erst zu einem späten Zeitpunkt erkannt, wenn erhebliche Investitionen bereits getätigt worden sind.

In der zweiten Hälfte der 1990er Jahre förderte das Bayerische Umweltministerium den Bau von Versuchsfeldern zur Erkundung der langfristigen Wirksamkeit von Deponie-Oberflächenabdichtungssystemen. Die Investition in diese angewandten Forschungsvorhaben diente und dient dazu, rechtzeitig vor den in den Jahren ab 2005 zu erwartenden Deponieschließungen Erkenntnisse über wichtige Aspekte von Oberflächenabdichtungssystemen zu gewinnen, kritische Punkte zu erkennen und so die für den Deponieabschluss vorhandenen Rücklagen optimal nutzen zu können.

Großlysimeter-Feldversuche wie die hier dargestellten Vorhaben sind wichtig zur Erforschung der Prozesse, die sich in Oberflächenabdichtungssystemen abspielen. Es handelt sich nicht um Laborexperimente, sondern um Feldversuche, bei denen die jeweiligen Standortbedingungen (Klima, Vegetation, Bodeneigenschaften) eine prägnante Rolle spielen. Daher kann auch nicht ein einziger Versuch alle Fragen beantworten, sondern es sind gezielt an mehreren, unterschiedlichen Standorten gut dokumentierte Versuche erforderlich. Dem hat der Freistaat Bayern Rechnung getragen, indem an mehreren, klimatisch unterschiedlichen Standorten Versuchsfelder für unterschiedliche Oberflächenabdichtungssysteme gebaut und untersucht wurden.

Von entscheidender Bedeutung ist auch die Zeitdauer der Feldversuche; im Kurzzeitversuch sind auch mineralische Dichtungen und Bentonitmatten in der Regel sehr gut wirksam; wichtig ist jedoch die Beobachtung langer Jahresreihen, um etwaige Veränderungen infolge der möglichen Strukturveränderungen („Trockenrisse“) untersuchen zu können.

Die Untersuchungen am Standort „Im Dienstfeld“ gehören zu den am längsten und am genauesten beobachteten Großlysimeter-Versuchsfeldern von Deponieoberflächenabdichtungen. Insbesondere die inzwischen 8-jährige Beobachtungszeit des Versuchsfeldes E 50 übertrifft die Beobachtungsdauern weiterer Versuchsfelder mit Bentonitmatten erheblich.

Weitere Versuchsfelder für (alternative) Oberflächenabdichtungssysteme werden auf bayerischen Deponien im Auftrag des LfU langfristig beobachtet.

## 5 Folgerungen für die Planung von Oberflächenabdichtungen

### 5.1 Rekultivierungsschichten / Wasserhaushaltsschichten

An Rekultivierungsschichten werden unterschiedliche Anforderungen gestellt, die teilweise zu Zielkonflikten führen: Rekultivierungsschicht und Bewuchs sollen die Infiltration von Niederschlagswasser in das Entwässerungssystem minimieren. Gleichzeitig soll das Austrocknen einer ggf. darunter angeordneten mineralischen Dichtungsschicht oder Bentonitmatte verhindert werden, was die Sicherstellung von ausreichender Feuchtigkeit an der Basis der Rekultivierungsschicht erfordert.

#### **Wann bieten Rekultivierungsschichten Austrocknungssicherheit?**

Die Ergebnisse der Versuchsfelder am Standort der Deponien Hamburg-Georgswerder [1] und Bautzen/Nadelwitz [9] zeigen, dass eine zu dünne Rekultivierungsschicht (hier nur 0,5 bzw. 0,7 m) nach wenigen Jahren zu einem vollständigen Versagen der Abdichtungswirkung von Bentonitmatten und ebenso auch von Tondichtungen führt. Dies ist auch beim Bau von temporären Abdichtungen zu berücksichtigen.

Oberflächenabdichtungen, die als Langzeit-Dichtungselement eine Tondichtung oder eine Bentonitmatte enthalten, sind darauf angewiesen, dass die Rekultivierungsschicht eine irreversible Schädigung der Dichtung infolge von Austrocknung oder Durchwurzelung langfristig verhindert. Diese Anforderungen konnten von der 1,0 m dicken, aus schwach schluffigem Sand bestehenden Rekultivierungsschicht oberhalb der Bentonitmatte im Versuchsfeld E 50 nicht erfüllt werden: Die Rekultivierungsschicht zeigte jeweils zum Ende des Sommerhalbjahres ein Trockenfallen auch der tieferen Bereiche. Aber auch die als Wasserhaushaltsschicht konzipierte 1,5 m bzw. sogar 2,0 m dicke Rekultivierungsschicht der Versuchsfelder E 35-F bietet in Trockenjahren keine Austrocknungssicherheit.

Andererseits wurden bei mehreren Aufgrabungen auf Deponien unter Rekultivierungsschichten von ca. 1 m Dicke auch nach > 10 Jahren intakte mineralische Dichtungen vorgefunden, wenn die Vegetation aus Gräsern bestand und gezielt kurz gehalten wurde.

Eine grundsätzliche Strategie zur Verringerung des Austrocknungsrisikos besteht darin, die Schichten oberhalb der mineralischen Dichtung möglichst dick auszuführen. Mit entsprechend langer Vorlaufzeit ist es in der Regel möglich, große Materialmengen zu akquirieren (Anlage eines Bodenlagers) und dann 2 – 3 m dicke Rekultivierungsschichten aufzubringen. Dabei kann als wurzelhemmende Schicht eine untere Lage (bzw. der obere Teil einer erhöhten Dränageschicht) z. B. aus aufbereitetem Bau-schutt bestehen.

Austrocknungssicherheit und Schutz vor Durchwurzelung kann z. B. durch eine Kunststoffdichtungsbahn oberhalb der mineralischen Dichtung gewährleistet werden (zumindest während der Lebensdauer der KDB). Ob, bzw. bis zu welchem Grad speziell angeordnete, feinkörnige, mineralische Schichten („Kapillarschutzschichten“) langfristige Sicherheit vor Austrocknung und Durchwurzelung bieten, ist derzeit noch nicht nachgewiesen. Neuere Untersuchungen [10] zeigen, dass „Wurzelschutzschichten“ (untersucht wurden eine Kupfermatte, Dränbeton, verdichteter Sand und Glassplitt) eine Durchwurzelung nicht verhindern können.

Auch die Entwässerungsschicht kann dazu beitragen, die mineralische Dichtungsschicht feucht zu halten: Ein Kies mit Grobsand-Anteil erfüllt in der Regel die Anforderungen an die Entwässerung und behält gleichzeitig an der Basis einen Rest an Wasser im Porenraum. Dagegen stellt ein 8/16 mm

oder ein 16/32 mm – Kies zwar eine leistungsfähige Entwässerungsschicht dar; diese entwässert jedoch vollständig.

### **Rekultivierungsschichten als Wasserhaushaltsschichten**

Der Arbeitsentwurf der integrierten Deponieverordnung (iDepV) sieht im Anhang 1 vor, dass eine Komponente im Oberflächenabdichtungssystem ersetzt werden kann durch eine als Wasserhaushaltsschicht bemessene Rekultivierungsschicht, in der der Durchfluss im Mittel auf < 10 % vom Niederschlag minimiert wird. Die im Versuchsfeld E 35-F eingebauten 1,5 m bzw. 2,0 m dicken Rekultivierungsschichten, die aus Material mit geeigneter Körnung bestehen und gezielt locker eingebaut worden waren, erfüllen die Zielvorgabe für die Absickerung aus der Rekultivierungsschicht „< 10% des Jahresniederschlages“ nicht; die Abflüsse betragen ca. 20 % - 28 % vom Niederschlag.

Bei den Versuchsfeldern auf der Deponie Bayreuth-Heinersgrund (Dicke der Rekultivierungsschicht: 1,5 m) werden Durchsickerungen der Rekultivierungsschicht in der Größenordnung von 160 - 500 mm/Jahr gemessen (bzw. 28 % bis 50 % vom Niederschlag) [11]. Auch das Großlysimeter auf der Deponie Leonberg, das vom Institut für Landespflege der Universität Freiburg betreut und mit ausgesuchtem Material hoher Qualität errichtet wurde, zeigt Sickerwassermengen von 100 - 400 mm/a bzw. 14 - 45 % vom Niederschlag [12] und verfehlt somit die Zielvorgabe der iDepV.

Rechnerisch, unter Ansatz idealisierter bodenkundlicher Kennwerte, lässt sich die Wirksamkeit von Wasserhaushaltsschichten für Standorte mit geringen und durchschnittlichen Niederschlägen nachweisen, wobei die Zielvorgabe des Arbeitsentwurfs der iDepV „< 10 % des Jahresniederschlages“ ein ehrgeiziges Ziel darstellt. In der Praxis ist allerdings zu berücksichtigen, dass locker eingebaute Rekultivierungsböden im Laufe der Zeit durch die Wirkung ihres Eigengewichts sacken und so das Wasserspeichervermögen der Böden überschätzt werden kann. Hinzu kommt, dass in den letzten Jahren eine Tendenz zu erhöhten und intensiveren Winterniederschlägen zu beobachten ist. Ein weiterer Faktor, der in Rechenmodellen schwierig zu erfassen ist, betrifft die Absickerung entlang von präferenziellen Fließwegen, die zu erhöhter Sickerwasserbildung führen kann.

Wasserhaushaltsschichten, die die o. g. Vorgabe einhalten, sind daher wohl nur an ausgeprägten Trockenstandorten mit sehr geringen Winterniederschlägen realisierbar. Sie sollten dann sinnvollerweise mit nicht austrocknungsgefährdeten Dichtungsschichten kombiniert werden, oder als alleinige Oberflächenbarriere wirken.

## **5.2 Dichtungsschichten**

Wurde bis vor kurzem die Wirksamkeit tonmineralischer Dichtungsschichten nach TA-Abfall, Anhang E quasi kraft Verordnung als langfristig gegeben vorausgesetzt, so wird mittlerweile die Langzeitwirksamkeit schrumpfanfälliger mineralischer Komponenten von Oberflächenabdichtungen erheblich nüchterner und kritischer eingeschätzt [13, 14]. Ohne eine schützende KDB darüber scheint eine langfristig voll wirksame tonmineralische Dichtungsschicht oder Bentonitmatte eher die Ausnahme zu sein als der Regelfall.

Die den tonmineralischen Dichtungsschichten zugeordnete Aufgabe, als „Ewigkeitskomponente“ nach einem Unwirksamwerden der KDB (nach > 100 Jahren) die Abdichtungsfunktion zu übernehmen, können diese nach dem heutigen Kenntnisstand nicht erfüllen. Mittelfristig ist bei rein tonmineralischen Oberflächenabdichtungen mit einer Durchsickerung von ca. 10 – 15 % des Jahresniederschlags zu rechnen, wie die Auswertung von Deponiedaten [3] ergab. Wenn – je nach Gefährlichkeit der Deponie – neben der KDB eine weitere dauerhaft dichte Komponente erforderlich ist, so sollte dies vorzugsweise eine gezielt hinsichtlich der Austrocknungssicherheit geplante mineralische Komponente sein (z. B. eine gemischtkörnige Abdichtung, eine Kapillarsperre oder ähnliches).

## 6 Zusammenfassung

Auf der Deponie „Im Dienstfeld“, Bayern, werden seit mehreren Jahren Großlysimeter-Versuchsfelder zur Untersuchung unterschiedlicher (mineralischer) Oberflächenabdichtungssysteme betrieben. Die Ergebnisse der Abflussmessungen werden im Vergleich dargestellt und diskutiert. Das Oberflächenabdichtungssystem mit Bentonitmatte unter einer 1 m dicken sandigen Rekultivierungsschicht lässt nach 3 Jahren in der Wirksamkeit deutlich nach. Die Testfelder mit tonmineralischer Dichtungsschicht unter 1,5 m bzw. 2,0 m dicker, als Wasserhaushaltsschicht konzipierter Rekultivierungsschicht zeigen nach 5 Jahren noch ihre anfängliche Abdichtungswirkung.

Für Rekultivierungsschichten über (austrocknungsgefährdeten) mineralischen Dichtungsschichten sollte eine möglichst große Dicke angestrebt werden. So ist es m. E. sinnvoll, größere Mengen an Bodenaushub (anstelle einer Ablagerung auf einer DK 0 – Deponie) als Rekultivierungsschicht auf einer stillzuliegenden Deponie einzubauen.

Als mineralische Dichtungsschicht hat sich ein leicht- bis mittelplastischer Ton bewährt; eingebaut bei Wassergehalten unterhalb des Proctoroptimums und bei erhöhter Einbauenergie.

Jede Deponie-Oberflächenabdichtung ist grundsätzlich einzelfallbezogen im Hinblick auf die jeweiligen Standortgegebenheiten zu planen. Die Ergebnisse der Langzeituntersuchungen der Großlysimeter-Versuchsfelder auf der Deponie „Im Dienstfeld“ tragen dazu bei, den Wasserhaushalt von Deponieoberflächenabdichtungen zu verstehen und Kriterien für die dauerhafte Wirksamkeit sowie die Leistungsfähigkeit und Leistungsgrenzen von Abdichtungskomponenten zu erarbeiten.

## Literatur

[1] Melchior et al., (2002):

Großlysimeter Deponie Hamburg-Georgswerder: Wasserhaushalt und Wirksamkeit von Oberflächenabdichtungssystemen mit bindigen mineralischen Dichtungen. – in: Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Bd.3. FH Höxter, 2002, S. 57 – 74.

[2] Maier-Harth, u. & S. Melchior (2002):

Überprüfung der Wirksamkeit der mineralischen Oberflächenabdichtung der ehemaligen Industriedeponie Prael in Spredlingen, Kreis Mainz-Bingen. – in: Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Bd.3. FH Höxter, 2002, S. 239 – 252.

[3] Huber, W., S. Schatz & A. Quentin (2002):

Statistische Auswertung des Sickerwasseranfalls auf bayerischen Deponien, Endbericht. – Projekt 3260, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

[4] Hämmerle, E. (1997):

Ergebnisse der Aufgrabungen mineralischer Oberflächenabdichtungen. – Veröffentlichungen des LGA-Grundbauinstituts, Heft 76, S. 287 – 290.

[5] Rödl, P., D. Heyer & D. Ranis (2002):

Feldstudien zum Langzeitverhalten mineralischer Deponieabdeckungen in Bayern. – in: Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Bd.3. FH Höxter, 2002, S. 225 – 238.

[6] Eberle, M. (2004):

Bau der endgültigen Oberflächenabdichtung der SAD Schwabach - Integration der temporären Abdichtung. – in: Tagungsband 15. Nürnberger Deponieseminar, Veröffentlichungen des LGA Grundbauinstituts Heft 82, S. 197 – 216.

- [7] Henken-Mellies, W.U. & E. Gartung (2002):  
Wirksamkeit einfacher Deponie-Oberflächenabdeckungen: Langzeituntersuchungen an einem Versuchsfeld in Aurach. - Müll und Abfall 1/2002.
- [8] Henken-Mellies (2007):  
Water balance and effectiveness of mineral landfill covers – Results of large lysimeter test-fields. – in: T. Schanz (Ed.): Experimental Unsaturated Soil Mechanics. Springer Proceedings in Physics, Vol. 112, p. 369 – 376.
- [9] Müller et al. (2005):  
Langzeitbetrachtungen zu ausgewählten Deponieoberflächenabdichtungen anhand realer Testfelddaten und modellgestützter Simulationsrechnungen. – in: Tagungsband, Leipziger Deponiefachtagung, 2005.
- [10] Wattendorf, P. (2007):  
Wurzelsperren in Rekultivierungsschichten als Schutz der Dichtungselemente? – in: Tagungsband 3. Leipziger Deponiefachtagung, 2007.
- [11] Brühl, M. (2006): Oberflächenabdichtungen mit Kapillarsperre – Ergebnisse von Testfeldern auf der Deponie Heinersgrund. - in: Tagungsband 17. Nürnberger Deponieseminar, Veröffentlichungen des LGA Grundbauinstituts Heft 85, S. 93 – 103.
- [12] Wattendorf, Konold & Ehrman (2005):  
Rekultivierungsschichten und Wurzelsperren – Herstellung, Eigenschaften, Bodenentsicklung, Funktion. – Culterra; Schriftenreihe des Instituts für Landespflege der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Bd. 41, 2005.
- [13] Ramke, H.-G., E. Gartung et al. (Hrsg.) (2002):  
Austrocknungsverhalten mineralischer Abdichtungsschichten in Deponie-Oberflächenabdichtungssystemen - Tagungsband. Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Bd.3, FH Höxter, 2002
- [14] Henken-Mellies (2006):  
Kombinationsabdichtungen in Oberflächenabdichtungssystemen – in: Tagungsunterlagen zum DGGT Status-Workshop „Anforderungen an Deponie-Oberflächenabdichtungssysteme“, Höxter, 30.11. – 01.12.2006.

# Sickerwassermenge und -zusammensetzung in der Nachsorgephase auf bayerischen Deponien

Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Huber, Dipl.-Ing. (FH) Stefan Schatz, AU Consult GmbH

## 1 Einführung

Im Jahr 2002 hat die AU Consult GmbH im Auftrag des Landesamts für Umwelt (LfU) das Projekt „Statistische Auswertung des Sickerwasseranfalls auf bayerischen Deponien“ durchgeführt (Forschungsprojekt 3260). Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigten, dass trotz der mineralischen Oberflächenabdichtung der Sickerwasseranfall im Mittel bei ca. 15 % des Jahresniederschlags liegt und somit auch in der Nachsorge mit relevanten Sickerwassermengen zu rechnen ist, für die meist eine aufwendige Vorbehandlung erforderlich ist.

Da die Kosten für die Sickerwassererfassung und -behandlung in der Nachsorgephase die Nachsorgekosten wesentlich beeinflussen, ist es für die Deponiebetreiber von großem Interesse, zu wissen, nach welchen Nachsorgezeiträumen die im Anhang 51 der Abwasserverordnung enthaltenen Grenzwerte für die Indirekteinleitung bzw. die Direkteinleitung eingehalten werden und damit die Aufwendungen für die Sickerwasserbehandlung reduziert werden bzw. entfallen können.

Im Rahmen des hier vorgestellten Vorhabens wurde deshalb untersucht, ob auf der Basis der beim LfU vorliegenden Analysendaten aussagekräftige Erkenntnisse zum zeitlichen Verlauf der Sickerwasserzusammensetzung gewonnen werden können. Die Untersuchung erfolgte anhand relevanter Sickerwasserparameter.

## 2 Grundlagen und Vorgehensweise

Für die Auswertung wurden vom LfU Daten zur Qualität des Sickerwassers aus der Datenbank „infowas“ für 18 bayerische Altdeponien herangezogen. Von den Wasserwirtschaftsämtern werden die von den Deponiebetreibern übermittelten Daten aus dem Grund-, Oberflächen- und Sickerwassermonitoring in diese Datenbank „infowas“ eingepflegt. Da diese Datenbank zum Teil lückenhaft war, wurden als weitere Datenquellen die dem LfU vorliegenden Deponiejahrbücher und die Jahresberichte zum Deponiesickerwasser hinzugezogen.

Die Daten zu den Sickerwasser- und Niederschlagsmengen wurden aus dem o. g. Forschungsprojekt 3260 übernommen oder zusätzlich von den Betreibern abgefragt.

Aus den vorhandenen Daten wurden bei folgenden Sickerwasserparametern, die für die Beurteilung der Sickerwasserqualität entscheidend sind, die Jahresmittelwerte gebildet:

- Leitfähigkeit (LF) bei 20°C in  $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) in  $\text{mg}/\text{l}$
- Adsorbierbare organische Halogenverbindungen (AOX) in  $\text{mg}/\text{l}$
- Ammoniumstickstoff ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) in  $\text{mg}/\text{l}$
- Nitratstickstoff ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) in  $\text{mg}/\text{l}$
- Nitritstickstoff ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) in  $\text{mg}/\text{l}$
- Gesamtstickstoff (rechnerisch als Summe der o. g. N-haltige Parameter) in  $\text{mg}/\text{l}$

Bei der Beurteilung der nachfolgenden Ergebnisse ist zu beachten, dass von den Deponiebetreibern übermittelte Betriebsdaten ausgewertet wurden, die nicht unter exakten wissenschaftlichen Bedingungen erfasst wurden.

### 3 Ergebnisse der Auswertungen

#### 3.1 Allgemeine Beschreibung der Deponien

Es wurden Daten von 18 Deponien ausgewertet, die in der Regel vor 1985 in Betrieb gingen und vor 1995 abgeschlossen wurden. Die Deponien wurden überwiegend innerhalb von drei bis 20 Jahren verfüllt. Die eingelagerte Abfallmenge bei den betroffenen Deponien betrug in der Regel ca. 100.000 bis 800.000 m<sup>3</sup>. In zwei Fällen wurden 2,5 Mio. m<sup>3</sup> Abfälle abgelagert.

Bei den betrachteten Deponien wurden die für diese Betriebszeit typischen unbehandelten Abfälle – Hausmüll und hausmüllähnlicher Gewerbeabfall – mit relativ hohem Organikanteil abgelagert.

#### 3.2 Einzelauswertungen

Von den einzelnen Deponien wurden verschiedene tabellarische und grafische Auswertungen durchgeführt:

Es wurde qualitativ untersucht, ob und in welchem Zeitraum die aktuellen Grenzwerte für Direkteinleitung gemäß Anhang 51 der Abwasserverordnung aus heutiger Sicht (Stand 2006) für folgende Parameter erreicht werden:

- CSB
- NH<sub>4</sub>-N
- AOX

Die Ergebnisse dieser Auswertung sind in nachfolgender Tabelle 1 zusammengefasst.

Tab. 1: Auswertung der Sickerwasserqualität von 18 bayerischen Deponien anhand der Kriterien für die Direkteinleitung gem. Anhang 51 der Abwasserverordnung für die Parameter CSB, NH<sub>4</sub>-N und AOX.

Deponie	Ablagerungs- dauer	Abgelagerte Abfälle	Nachsorge- dauer bezogen auf das Jahr 2005	Anhang 51 wird eingehalten		
				CSB 200 mg/l	NH <sub>4</sub> -N 70 mg/l	AOX 0,5 mg/l
	a	m <sup>3</sup>	a			
B	9	692.228	15	10 - 15 a	ja	ja
C	20	2.500.000	13	20 - 30 a	30 - 40 a	kein Trend
D	12	400.000	8	ja	ja	ja
E	40	600.000	6	ja	ja	ja
F	3,5	94.000	17	10 - 15 a	> 50 a	ja, instabil
G	8	380.000	16	20 - 30 a	> 50 a	kein Trend
H	6,5	269.000	15	40 - 50 a	kein Trend	ja, instabil
I	5	280.000	18	15 - 20 a	kein Trend	kein Trend
J	17	425.000	15	ja	kein Trend	ja
K	15	870.000	6	10 - 15 a	10 - 15 a	keine Daten
L	5	130.000	14	ja	5 - 10 a	ja
M	3	45.000	18	10 - 15 a	kein Trend	ja
N	10	454.165	8	ja	kein Trend	ja, instabil
O	6	350.000	16	ja	ja	ja, instabil
P	30	600.000	16	ja	10 - 15 a	ja
Q	30	870.000	16	ja	20 - 25 a	ja, instabil
S	31	2.560.700	6	kein Trend	kein Trend	ja, instabil
T	11	600.000	8	50 - 60 a	30 - 40 a	ja, instabil

Diese Auswertung zeigt, dass bei zwei Deponien die Kriterien für die betrachteten Parameter bereits eingehalten sind. Bei weiteren fünf Deponien sind die Kriterien für zwei Parameter und bei drei Deponien für einen Parameter eingehalten.

Der Parameter CSB wird bei acht (ca. 40 %), der Parameter AOX ebenfalls bei sieben und der Parameter NH<sub>4</sub>-N bei vier Deponien (ca. 20 %) unterschritten.

Die Auswertung der Einzeldeponien lässt tendenziell erwarten, dass die Kriterien für die Direkteinleitung für den Parameter CSB und AOX in der Regel nach ca. 40 bis 50 Jahren eingehalten werden, während für den Parameter Stickstoff mit hoher Wahrscheinlichkeit mehr als 50 Jahre erforderlich sind, da bei einer Vielzahl der Deponien kein Trend erkennbar ist.

Aus Tabelle 1 ist zu entnehmen, dass die Beurteilung für die einzelnen Deponien sehr unterschiedlich ausfällt. Es gibt eine Vielzahl von Faktoren, die hierauf Einfluss nehmen können.

Einige davon sind nachfolgend aufgeführt:

- Deponiegröße (Fläche, Höhe, abgelagerte Abfallmenge)
- Deponielaufzeit
- Art der abgelagerten Abfälle
- Anfangskonzentration
- Art der Sickerwassererfassung (vollständig oder nur teilweise)
- Stabilisierungsmaßnahmen wie Infiltration, Belüftung und optimierte Entgasung

### 3.3 Auswertung nach Aufbringen der Oberflächenabdichtung

Aufbauend auf den Einzelauswertungen wurden für die Parameter Leitfähigkeit, CSB, Ammoniumstickstoff und AOX der Mittelwert, der Mindest- und Maximalwert für die Jahre nach Aufbringen der Oberflächenabdichtung (= Nachsorgephase) ermittelt. Die Mittelwerte aus dieser Betrachtung sind in nachfolgender Tabelle 2 zusammengefasst.

Tab. 2: Mittelwerte für die Parameter Leitfähigkeit, CSB, NH<sub>4</sub>-N und AOX im Sickerwasser von bayerischen Deponien in der Nachsorgephase.

Jahre nach Aufbringen der Oberflächenabdichtung	Leitfähigkeit in $\mu\text{S/cm}$	CSB in mg/l	AOX in mg/l	NH <sub>4</sub> -N in mg/l
1	11.503	1.835	0,85	497
2	10.476	1.279	0,78	517
3	8.611	832	0,90	339
4	8.092	734	1,01	353
5	7.026	580	0,65	250
6	7.266	587	0,78	287
7	7.701	633	0,66	332
8	7.851	590	0,63	369
9	7.562	638	0,60	373
10	6.051	507	0,62	286
11	7.248	660	0,63	333
12	6.744	438	0,63	354
13	6.319	539	0,50	331
14	7.011	339	0,50	344
15	6.709	319	0,48	342
16	7.356	429	0,43	327
17	6.012	414	0,53	309
18	4.609	321	0,47	256
19	4.954	320	0,45	267

### 3.3.1 Verlauf des Parameters Leitfähigkeit

In nachfolgender Abbildung 1 ist der Verlauf der Leitfähigkeit aus Tabelle 2 dargestellt und eine Trendlinie eingefügt.

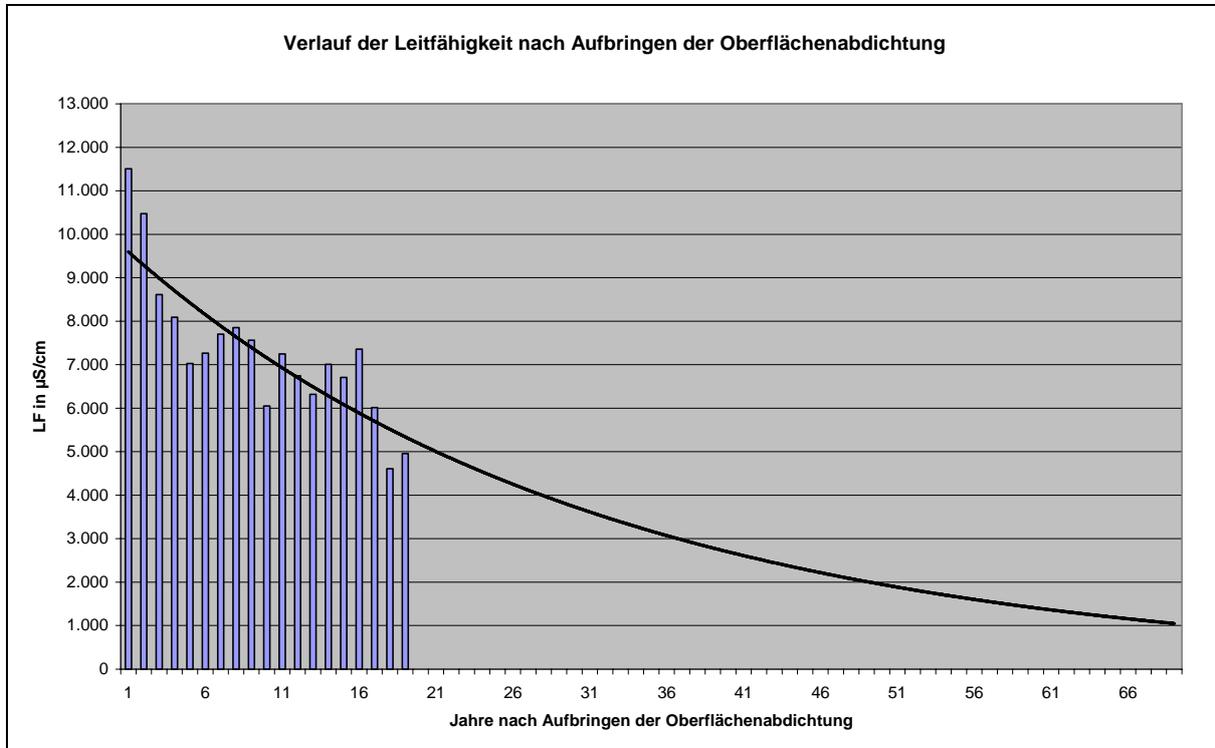


Abb. 1: Verlauf des Parameters Leitfähigkeit, Basis: Mittelwerte aus Tabelle 2

Nach etwa 10 Jahren Nachsorge hat der Mittelwert der Leitfähigkeit um ca. 30 % auf etwa 7.000  $\mu\text{S/cm}$  abgenommen. Nach weiteren 10 Jahren liegt der Mittelwert bei ca. 5.000  $\mu\text{S/cm}$ , d. h. der Wert hat sich um weitere ca. 30 % reduziert. Betrachtet man die Trendlinie, so wäre in ca. 70 bis 80 Jahren eine Leitfähigkeit von ca. 1000  $\mu\text{S/cm}$  erreicht. Für die Leitfähigkeit gibt es keinen Grenzwert. Hier ist im Einzelfall die örtliche Situation (z. B. Vorflut) ausschlaggebend.

### 3.3.2 Verlauf des Parameters CSB

In nachfolgender Abbildung 2 ist der Verlauf des CSB-Wertes aus der Tabelle 2 dargestellt und eine Trendlinie eingefügt.

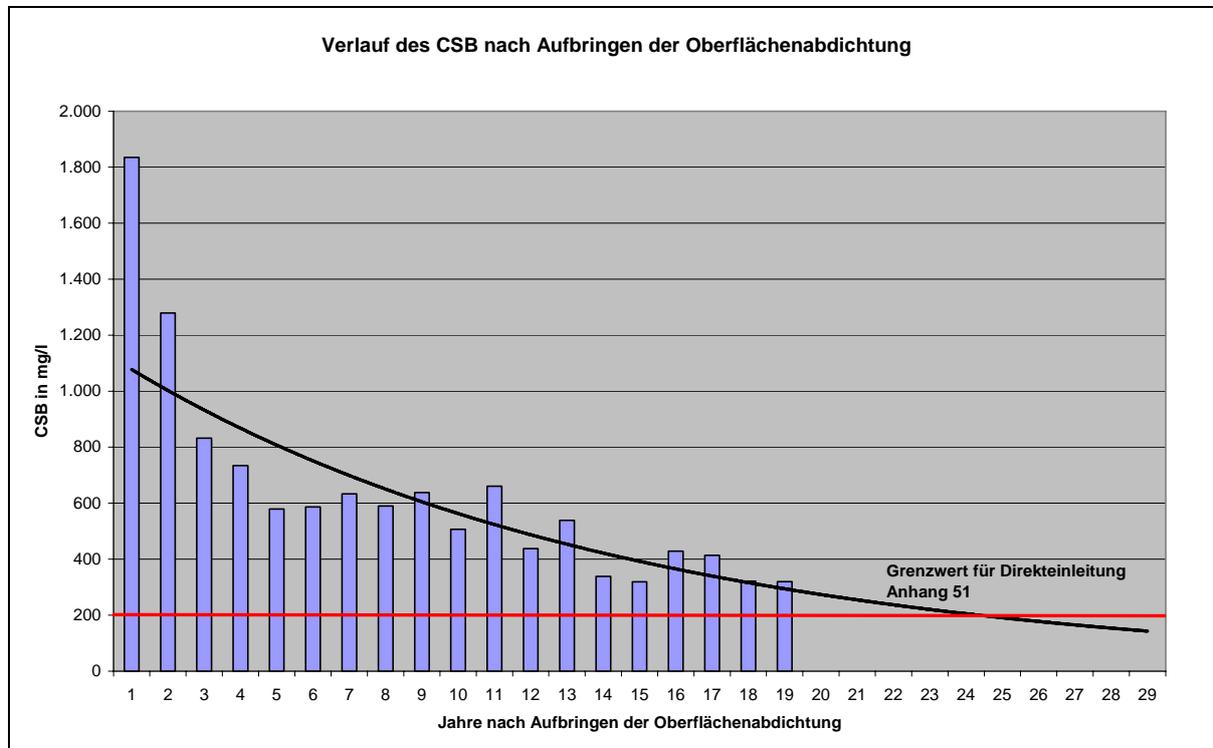


Abb. 2: Verlauf des Parameters CSB, Basis: Mittelwerte aus Tabelle 2

10 Jahre nach Aufbringen der Oberflächenabdichtung liegt der Mittelwert aller Deponien für den Parameter CSB bei etwa 570 mg/l und beträgt ca. 50 % des Wertes zu Beginn der Nachsorgephase. Nach ca. 20 Jahren Nachsorge liegt der Mittelwert etwa bei 300 mg/l und unterschreitet bereits den Wert für die Indirekteinleitung von 400 mg/l. Ein Unterschreiten der 200 mg/l-Linie<sup>1</sup> ist gemäß der oben dargestellten Trendlinie im Mittel voraussichtlich ca. 25 bis 30 Jahren nach Verfüllende zu erwarten.

<sup>1</sup> Der derzeitige Richtwert für die Direkteinleitung liegt gemäß Anhang 51 der Abwasserverordnung bei 200 mg/l.

### 3.3.3 Verlauf des Parameters AOX

In nachfolgender Abbildung 3 ist der Verlauf des AOX-Wertes aus der Tabelle 2 dargestellt und eine Trendlinie eingefügt.

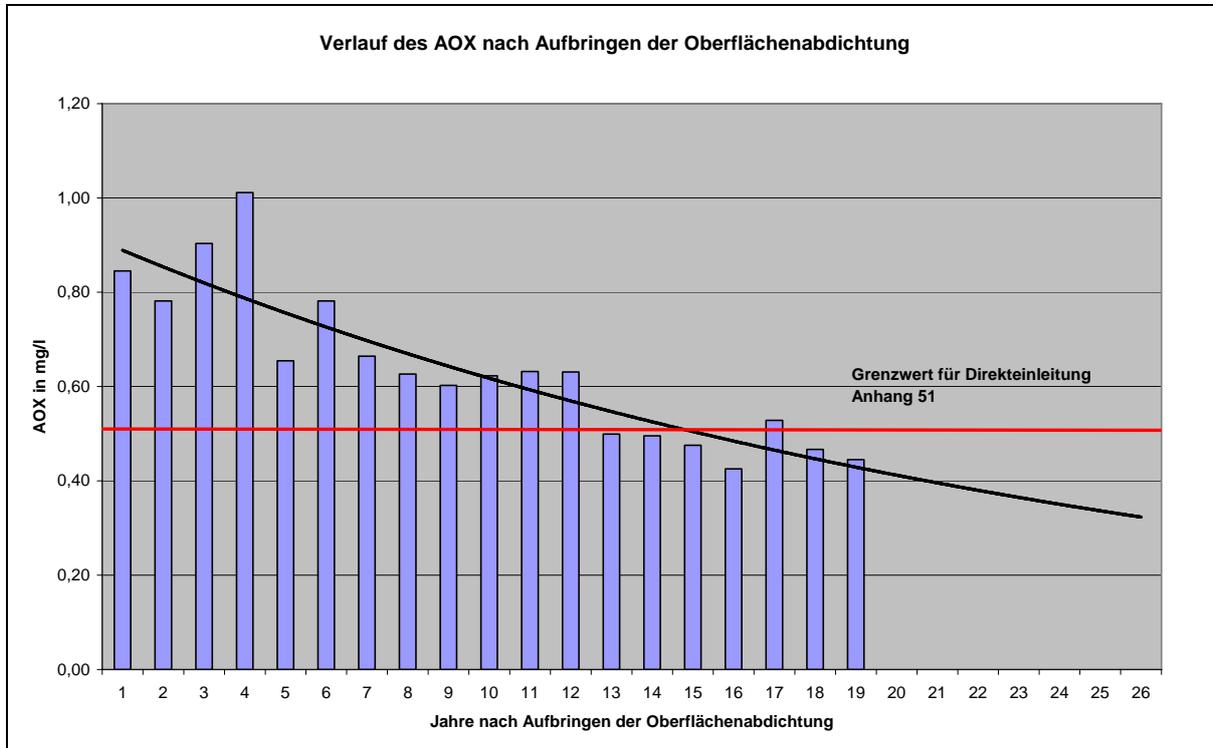


Abb. 3: Verlauf des Parameters AOX, Basis: Mittelwerte aus Tabelle 2

Bereits 10 Jahre nach Aufbringen der Oberflächenabdichtung liegt der Mittelwert für den Parameter AOX mit ca. 0,6 mg/l annähernd im Bereich des derzeitigen Grenzwertes für Indirekteinleitung des Anhangs 51 der Abwasserverordnung von 0,5 mg/l. Nach ca. 20 Jahren Nachsorge wird dieser Wert mit hoher Wahrscheinlichkeit von den betrachteten Deponien unterschritten.

### 3.3.4 Verlauf des Parameters $\text{NH}_4\text{-N}$

In nachfolgender Abbildung 4 ist der Verlauf des  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Wertes aus der Tabelle 2 dargestellt und eine Trendlinie eingefügt.

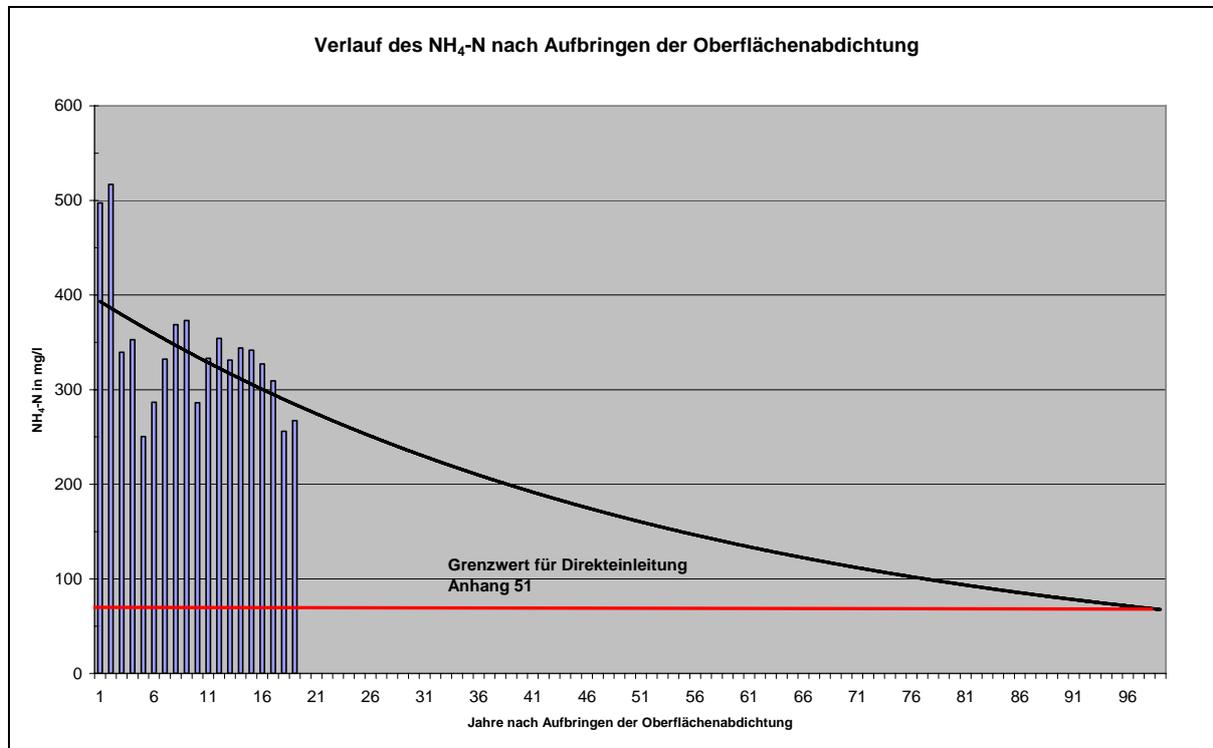


Abb. 4: Verlauf des Parameters Ammonium-N, Basis: Mittelwerte aus Tabelle 2

Nach ca. 20 Jahren Nachsorge liegt der Wert für den Parameter  $\text{NH}_4\text{-N}$  im Mittel bei 270 mg/l. Dies entspricht etwa 70 % des Wertes zu Beginn der Nachsorgephase. Die Trendlinie zeigt, dass für diesen Parameter im Mittel für den Rückgang mit deutlich längeren Zeiträumen als bei den Kohlenstoffparametern zu rechnen ist. Dies stimmt grundsätzlich auch mit Angaben in der Literatur überein, wo die Zeiträume für die Stickstoffparameter deutlich länger als für die Kohlenstoffparameter eingeschätzt werden. Ein Unterschreiten der 70 mg/l-Linie<sup>1</sup> ist nach der in Abbildung 4 dargestellten Trendlinie bestenfalls nach ca. 100 Jahren Nachsorge zu erwarten.

## 3.4 Diskussion der Ergebnisse

### Schlussfolgerungen

Die Auswertung der Analysedaten hat gezeigt, dass nach ca. 10 Jahren Nachsorge einige Deponien die Kriterien für die Parameter AOX, CSB und  $\text{NH}_4\text{-N}$  für die Direkteinleitung gemäß Anhang 51 der Abwasserverordnung bereits erfüllen. Einige wenige Deponien werden diese Kriterien innerhalb von 30 Jahren Nachsorge erfüllen. Der Großteil der Deponien wird diese Kriterien jedoch in den nächsten Jahrzehnten nicht unterschreiten.

<sup>1</sup> Der derzeitige Grenzwert für die Direkteinleitung liegt für Gesamtstickstoff gemäß Anhang 51 der Abwasserverordnung bei 70 mg/l.

Grundsätzlich ist zu erkennen, dass die Unterschreitung der Kriterien für die Direkteinleitung bei den Parametern CSB und AOX in der Regel früher als beim Parameter  $\text{NH}_4\text{-N}$  zu erwarten ist. Unter Einbeziehung der Kriterien für die Indirekteinleitung ( $\text{AOX} < 0,5 \text{ mg/l}$  und  $\text{CSB} < 400 \text{ mg/l}$ ) lassen die Auswertungen die Aussage zu, dass nach ca. 20 bis 25 Jahren Nachsorgezeit mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Indirekteinleitung in eine Kläranlage ohne Vorbehandlung möglich ist.

Einschränkend hierzu ist zu erwähnen, dass in der Literatur teilweise erheblich abweichende Zeiträume genannt werden. So hat z. B. Frau Dr. Krümpelbeck im Rahmen ihrer Dissertation zur „Untersuchung zum langfristigen Verhalten von Siedlungsabfällen“, 1999, bis zum Erreichen der Kriterien des Anhanges 51 der Abwasserverordnung für Direkteinleitung folgende Zeiträume genannt:

- für CSB 65 bis 230 Jahre
- für  $\text{NH}_4\text{-N}$  Jahrzehnte bis Jahrhunderte
- und für AOX 40 bis 100 Jahre.

Die Ergebnisse unserer Auswertungen liegen für die Parameter CSB und AOX deutlich unterhalb bzw. für den Parameter  $\text{NH}_4\text{-N}$  im unteren Bereich dieser Angaben. Eine statistisch abgesicherte Aussage, wann die o. g. Kriterien erreicht werden, ist auf der Grundlage der hier durchgeführten Auswertung aufgrund der großen Spreizung der Einzelergebnisse und der begrenzten Datenmenge von Deponien, die sich länger in der Nachsorge befinden, nicht möglich. Es muss deshalb immer eine Einzelfallbetrachtung erfolgen.

Es wurden ausschließlich Deponien mit einer mineralischen Oberflächenabdichtung mit den bekannten Restdurchlässigkeiten von 10 bis 15 % des Jahresniederschlages untersucht. Auf Deponien, die mit einer Kunststoffdichtungsbahn abgedichtet sind und eine sehr geringe Restdurchlässigkeit aufweisen, können diese Ergebnisse nicht übertragen werden.

### Empfehlungen

Die Auswertung der Mittelwerte nach Aufbringen der Oberflächenabdichtung lässt grundsätzlich eine kontinuierliche Abnahme der Sickerwasserkonzentrationen für alle Parameter erwarten. Bei Deponien bei denen keine oder nur geringe Abnahmen der Sickerwasserbelastung festzustellen ist, sollten die möglichen Ursachen untersucht werden. Gegebenenfalls ist über Maßnahmen nachzudenken, die Einfluss auf das Deponieverhalten nehmen können. Als Beispiele seien hier die aerobe Stabilisierung und die Sickerwasserinfiltration genannt.

### Fehlerbetrachtung

Bei den vorangegangenen Ergebnissen handelt es sich um Auswertungen aus der Datenbank „Infowas“, in der Betreiberangaben über die Jahre hinweg von einer Vielzahl unterschiedlicher Behörden und Personen erfasst wurden. Die Daten wurden vom LfU übermittelt und konnten im Rahmen der Auswertung lediglich auf Plausibilität geprüft werden.

Deshalb sind u. a. folgende Fehlerquellen bei der Auswertung der Daten möglich und bei der Interpretation der Ergebnisse zu beachten:

- Es ist nicht immer nachzuvollziehen, ob über die Jahre hinweg die gleiche Sickerwassermessstelle verwendet wurde.
- Bei der Auswertung wird unterstellt, dass potenziell sämtliches Sickerwasser, das auf der Einzugsfläche anfällt, erfasst wird.
- Zum Teil sind die Deponien nicht vollständig basisabgedichtet bzw. der vollständige Anschluss der Basisabdichtung an die Oberflächenabdichtung kann nicht vorausgesetzt werden, so dass unter

Umständen Fremdwasser in den mit einer Sickerwassererfassung ausgestatteten Einzugsbereich zuströmt.

- Bei der Mittelwertbildung für die Auswertung in Tabelle 2 ist zu bedenken, dass nicht für jedes Jahr gleich viele Daten zur Verfügung standen, da nicht alle Deponien den gleichen Nachsorgezeitraum aufweisen. Nur ca. 70 % der Deponien sind seit mehr als 10 Jahren in der Nachsorge und ca. 40 % mehr als 15 Jahre.
- Bei den Jahresmittelwerten lagen nicht für jedes Jahr gleich viele (in der Regel vier) Analysen vor, so dass u. U. die Momentaufnahme in einer ungünstigen Betriebszeit (z. B. jahreszeitbedingt wenig oder viel Sickerwasser) erfolgte.

## 4 Zusammenfassung

Im Jahr 2002 hat die AU Consult GmbH im Auftrag des Landesamts für Umwelt (LfU) das Projekt „Statistische Auswertung des Sickerwasseranfalls auf bayerischen Deponien“ durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigten, dass trotz der mineralischen Oberflächenabdichtung der Sickerwasseranfall im Mittel bei ca. 15 % des Jahresniederschlags liegt und somit auch in der Nachsorge mit relevanten Sickerwassermengen zu rechnen ist, die zum Teil aufwendig behandelt werden müssen.

Im Rahmen des hier vorgestellten Vorhabens wurde ergänzend untersucht, ob auf der Basis der beim LfU vorliegenden Analysendaten (Datenbank: „Infowas“) aussagekräftige Erkenntnisse zum zeitlichen Verlauf der Sickerwasserzusammensetzung gewonnen werden können. Dies wurde anhand exemplarisch ausgewählter Parameter durchgeführt.

Die Auswertung der Analysedaten hat gezeigt, dass bereits heute, ca. 10 Jahre nach Ablagerungsende, einige Deponien die Kriterien der Direkteinleitung des Anhanges 51 der Abwasserverordnung erfüllen. Der Großteil der betrachteten Deponien wird jedoch auch in den nächsten Jahrzehnten diese Kriterien nicht vollständig erfüllen. Nach den hier durchgeführten Untersuchungen besteht aber die berechtigte Hoffnung, dass bei vielen Deponien bereits nach 20 bis 30 Jahren Nachsorgezeit eine Indirekteinleitung des Sickerwassers ohne Vorbehandlung möglich ist. Einschränkend ist anzufügen, dass diese Aussagen nicht generell anzuwenden sind, da die Unterschiede bei den einzelnen Deponien zu groß sind und somit die Mittelwerte nur eingeschränkt repräsentativ sind. Bevor weitergehende Entscheidungen getroffen werden, ist immer eine Einzelfallbetrachtung erforderlich.

Es wurden ausschließlich Deponien mit einer mineralischen Oberflächenabdichtung mit den bekannten Restdurchlässigkeiten von 10 bis 15 % des Jahresniederschlags untersucht. Auf Deponien, die mit einer Kunststoffdichtungsbahn abgedichtet sind, können diese Ergebnisse deshalb nicht übertragen werden.

[1] Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Huber, Abfallwirtschaft & Umwelttechnik GmbH, Augsburg:  
Endbericht zum Projekt 3260 „Statistische Auswertung des Sickerwasseranfalls auf bayerischen Deponien“  
im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen, vertreten durch  
das LfU, Bayern

[2] Dr. Inge Krümpelbeck, Essen:  
Dissertation: „Untersuchungen zum langfristigen Verhalten von Siedlungsabfalldeponien“, 1999

## Tagungsleitung / Referenten

Jürgen Kohl  
Bayer. Landesamt für Umwelt  
Dienststelle Hof  
Hans-Högn-Str. 12  
95030 Hof  
Tel.: (09281) 18 00 – 46 60  
E-Mail: [Juergen.Kohl@lfu.bayern.de](mailto:Juergen.Kohl@lfu.bayern.de)

Karl Drexler  
Bayer. Landesamt für Umwelt  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg  
Tel.: (0821) 90 71 – 53 62  
E-Mail: [KarlJohann.Drexler@lfu.bayern.de](mailto:KarlJohann.Drexler@lfu.bayern.de)

Wolfgang Huber  
AU Consult GmbH  
Friedberger Str. 155  
86163 Augsburg  
Tel.: (0821) 261 99 – 0  
E-Mail: [W.Huber@au-consult.de](mailto:W.Huber@au-consult.de)

Dipl. Geologin Daniela Sager  
Department für Geo- und Umweltwissenschaften  
Sektion Mineralogie  
Theresienstr. 41/3  
80333 München  
Tel.: (089) 2180 – 42 72  
E-Mail: [Sager@min.uni-muenchen.de](mailto:Sager@min.uni-muenchen.de)

---

Dr.-Ing. Richard Bosl  
Regierung der Oberpfalz  
Baudienststelle Schlackenbergr  
Archivstraße 1  
92224 Amberg  
Tel.: (09621) 30 78 30  
E-Mail: [Richard.Bosl@wwa-am.bayern.de](mailto:Richard.Bosl@wwa-am.bayern.de)

Wolfgang Edenberger  
ICP Ingenieurgesellschaft  
Prof. Czurda & Partner mbH  
Größenwiesenweg 28  
73660 Urbach  
Tel.: (07181) 99 52 03  
E-Mail: [Edenberger@T-Online.de](mailto:Edenberger@T-Online.de)

Dr. Adi Heindl  
Forschungs- und Entwicklungszentrum für  
Sondertechnologien (FES)  
Siemensstraße 3  
91126 Rednitzhembach  
Tel.: (09122) 63 13 – 32  
E-Mail: [Adi.Heindl@fes-sondertechnologien.de](mailto:Adi.Heindl@fes-sondertechnologien.de)

Univ. Prof. Dr. S. Heuss-Aßbichler  
Department für Geo- und Umweltwissenschaften  
Sektion Mineralogie  
Theresienstr. 41/3  
80333 München  
Tel.: (089) 2180 – 42 52  
E-Mail: [Soraya@min.uni-muenchen.de](mailto:Soraya@min.uni-muenchen.de)

Dr. Ulrich Henken-Mellies  
LGA  
Tillystraße 2  
90431 Nürnberg  
Tel.: (0911) 65 55 587  
E-Mail: [Wolf-Ulrich.Henken-Mellies@lga.de](mailto:Wolf-Ulrich.Henken-Mellies@lga.de)

