

---

# Qualität von Sickerwasser aus Zürcher Schlackekompartimenten



---

**Leo S. Morf, Elmar Kuhn**

Zürich, 19. März 2010

## Impressum

### Auftraggeberin:

Baudirektion des Kantons Zürich  
AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft  
Abteilung Abfallwirtschaft und Betriebe (AW)

### Autoren:

Dr. Leo Morf, GEO Partner AG, Zürich [morf@geopartner.ch](mailto:morf@geopartner.ch)  
Dr. Elmar Kuhn, AWEL/AW, Zürich [elmar.kuhn@bd.zh.ch](mailto:elmar.kuhn@bd.zh.ch)

### Mitwirkung:

Christian Sieber, AWEL/AW, Zürich [christian.sieber@bd.zh.ch](mailto:christian.sieber@bd.zh.ch)  
Dr. Christian Balsiger, AWEL/ Abteilung Gewässerschutz  
[christian.balsiger@bd.zh.ch](mailto:christian.balsiger@bd.zh.ch)

## ***Inhaltsverzeichnis***

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>GESETZLICHE AUFLAGEN .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>ÜBERBLICK ZUM BETRIEB DER SCHLACKEKOMPARTIMENTE IN ZÜRCHER REAKTORDEPONIEN .....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>ZÜRCHER MESSDATEN UND VERGLEICH MIT EINLEITUNGSGRENZWERTEN ....</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>ZEITREIHEN 1990-2006 IM SICKERWASSER DER DEPONIE A FÜR ALLE GEMESSENEN PARAMETER .....</b>	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>KRITISCHE PARAMETER .....</b>	<b>16</b>
<b>7</b>	<b>ÜBERLEGUNGEN ZUR FLÄCHENBELASTUNG UND ALTERUNG .....</b>	<b>17</b>
<b>8</b>	<b>FAZIT .....</b>	<b>22</b>
<b>9</b>	<b>LITERATUR .....</b>	<b>25</b>
<b>10</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>26</b>
<b>10.1</b>	<b>Daten und Auswertungen zur Flächenbelastung und Alterung für die Deponien A-E ....</b>	<b>26</b>
<b>10.2</b>	<b>Qualität Klärschlammasche .....</b>	<b>31</b>

## Abkürzungsverzeichnis:

AOX	Summenparameter, Abkürzung für "adsorbierbare organische Halogene im Wasser" (X steht in der organischen Chemie für die Halogene Fluor, Chlor, Brom und Jod).
ARA	Abwasserreinigungsanlage
As	Arsen
B	Bor
BSB5	Biochemischer Sauerstoffbedarf während 5 Tage
Ca	Calcium
Cd	Cadmium
CKW	Chlorierte Kohlenwasserstoffe
Cr	Chrom
Co	Kobalt
Cu	Kupfer
C	Kohlenstoff
Cl	Chlor, Chlorid
CN-	Cyanide
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
DOC	Dissolved organic carbon (gelöster organischer Kohlenstoff)
EOX	Extrahierbare organisch gebundene Halogenverbindungen (abgekürzt als X), eine Bezeichnung für Adsorbierbare organisch gebundene Halogene in Feststoffproben.
ERZ	Entsorgung und Recycling Zürich
Fe	Eisen
FOCI	Leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe
Ges.	Gesamt
GSchV	Gewässerschutzverordnung
GUS	Gesamte ungelöste Stoffe
GV	Glühverlust
Hg	Quecksilber
i.O.	In Ordnung
K	Kalium
KHKW	Kehrichtheizkraftwerk
KI	Konfidenzintervall
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
l	Liter
m	Meter
Mg	Mangan
Mo	Molybdän
MW	Mittelwert
N	Stickstoff
Ni	Nickel
Öff. Gew.	Öffentliche Gewässer
Pb	Blei
POC	Partikulärer organischer Kohlenstoff
S	Schwefel
TOC	Total organic carbon
t	Tonne
Tot	Gesamt
TVA	Technische Verordnung für Abfälle
VOX	leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe
X	Halogene Verbindungen
ZAV	Zürcher Abfallverwertungs-Verbund
Zn	Zink

# 1 Einleitung

## **Ausgangslage**

Gemäss dem Bericht „Abfall- und Ressourcenplanung 2007... 2010“ der Baudirektion des Kantons Zürich („kantonale Abfallplanung“) ist die Qualität der KVA-Schlacke wesentlich zu verbessern. Schlacke soll künftig Endlagerqualität (inertstoffähnliche oder allenfalls hinsichtlich eines ersten Teilziels zumindest Reststoff-Qualität) erreichen. Die kantonale Abfallplanung (S. 64) hat als Endlagerqualität definiert, dass die von den abgelagerten Abfällen ausgehenden Emissionen nicht umweltgefährdend sind und dass Sickerwasser nach wenigen Jahren ohne Vorbehandlung in öffentliche Gewässer eingeleitet werden kann. Kritisch sind hierbei kleine Vorfluter. Das Erreichen der Reststoffqualität bedeutet noch nicht gleichzeitig das Erreichen der Endlagerfähigkeit. Mit dem „höheren“ Ziel „Endlagerqualität von Schlackekompartimenten“ wird angestrebt, dass die Nachsorgezeit bzw. der Aufwand für die Nachsorge reduziert werden können.

## **Betriebsbewilligungen für Kehrichtheizkraftwerke (KHKW) im Kanton Zürich**

Ende 2008 wurden allen KHKW des Kanton Zürich die auf 5 Jahre befristeten Betriebsbewilligungen mit erweiterten Anforderungen verlängert. Neu wurde ein umfangreiches Monitoringprogramm für Schlacke installiert, welches Auskunft gibt über die Schlackequalität insbesondere über deren Ausbrandqualität sowie andere gewässerkritische Parameter. Hinsichtlich der Schlackequalität werden derzeit gewässersensitive Qualitätsziele ins Auge gefasst. Die im vorliegenden Bericht dargestellten Untersuchungen der Sickerwässer aus Schlackekompartimenten haben einen wesentlichen Input beigetragen hinsichtlich des KVA-Schlacke-Monitoringprogramms und werden für die Festlegung der Qualitätsziele wiederum herangezogen.

## **Aktueller Klärungsbedarf**

Gibt es neben dem Parameter DOC (dissolved organic carbon = gelöster organischer Kohlenstoff) im Hinblick auf die Endlagerqualität von Schlacke weitere kritische Parameter? Zu betrachten sind diesbezüglich die Sickerwässer aus bestehenden Schlackekompartimenten.

*Der vorliegende Bericht fasst die Qualität von Sickerwasser aus Zürcher Schlackekompartimenten zusammen.*

*In einem zweiten Bericht wird eine Evaluation der Endlagerfähigkeit bzw. Reststoffqualität von Schlacke durchgeführt und Effekte von Input und Verbrennungsprozess auf die Schlackequalität beschrieben.*

## 2 Gesetzliche Auflagen

In der Schweizer Gewässerschutzverordnung vom 28. Okt. 1998 (Stand am 1. Januar 2008) sind für die Sickerwässer aus Deponien folgende Bestimmungen relevant:

### **Einleitung von Industrieabwasser in Gewässer oder in die öffentliche Kanalisation**

In Anhang 3.2 sind unter Ziffer 2 die Grenzwerte für 16 Parameter für die Direkteinleitung in die Gewässer sowie in die öffentliche Kanalisation definiert (Tabelle 2-1).

Nr.	Parameter	Kolonne 1: Anforderung an die Einleitung in Gewässer	Kolonne 2: Anforderung an die Einleitung in die öffentliche Kanalisation
1	pH-Wert	6,5 bis 9,0	6,5 bis 9,0; Abweichungen sind bei ausreichender Vermischung in der Kanalisation zulässig.
2	Temperatur	Höchstens 30°C. Die Behörde kann kurzfristige, geringfügige Überschreitungen im Sommer zulassen.	Höchstens 60°C. Die Temperatur in der Kanalisation darf nach der Vermischung höchstens 40°C betragen.
3	Durchsichtigkeit (nach Snellen)	30 cm	-
4	Gesamte ungelöste Stoffe	20 mg/l	-
5	Arsen (As)	0,1 mg/l As (gesamt)	0,1 mg/l As (gesamt)
6	Blei (Pb)	0,5 mg/l Pb (gesamt)	0,5 mg/l Pb (gesamt)
7	Cadmium (Cd)	0,1 mg/l Cd (gesamt)	0,1 mg/l Cd (gesamt)
8	Chrom (Cr)	2 mg/l Cr (gesamt); 0,1 mg/l Cr-VI	2 mg/l Cr (gesamt)
9	Kobalt (Co)	0,5 mg/l Co (gesamt)	0,5 mg/l Co (gesamt)
10	Kupfer (Cu)	0,5 mg/l Cu (gesamt)	1 mg/l Cu (gesamt)
11	Molybdän (Mo)		1 mg/l Mo (gesamt)
12	Nickel (Ni)	2 mg/l Ni (gesamt)	2 mg/l Ni (gesamt)
13	Zink (Zn)	2 mg/l Zn (gesamt)	2 mg/l Zn (gesamt)
14	Cyanide (CN <sup>-</sup> )	0,1 mg/l CN <sup>-</sup> (freies und leicht zersetzbares Cyanid)	0,5 mg/l CN <sup>-</sup> (freies und leicht freisetzbares Cyanid)
15	Gesamte Kohlenwasserstoffe	10 mg/l	20 mg/l
16	Leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (FOCI) oder Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (VOX)	0,1 mg/l Cl oder 0,1 mg/l X	0,1 mg/l Cl oder 0,1 mg/l X

Tabelle 2-1: Schweizer Gewässerschutzverordnung, Anhang 3.2 (Einleitung von Industrieabwasser in Gewässer oder in die öffentliche Kanalisation).

### **Einleitung von anderem verschmutztem Abwasser in Gewässer oder in die öffentliche Kanalisation**

In Anhang 3.3, Ziffer 25 (Deponien), ist festgelegt:

- 1 Gefasstes Sickerwasser aus Deponien darf in ein Gewässer eingeleitet werden, wenn:
  - a. es die allgemeinen Anforderungen für Industrieabwasser nach Anhang 3.2 Ziffer 2 einhält;
  - b. der Biochemische Sauerstoffbedarf (BSB<sub>5</sub>) nicht mehr als 20 mg/l O<sub>2</sub> beträgt; und
  - c. der gelöste organische Kohlenstoff (DOC) nicht mehr als 10 mg/l C beträgt.
- 2 Es darf in eine öffentliche Kanalisation eingeleitet werden, wenn es die allgemeinen Anforderungen nach Anhang 3.2 Ziffer 2 einhält.
- 3 Die Behörde beurteilt im Einzelfall, ob die Werte nach den Absätzen 1 und 2 angepasst und zusätzliche Anforderungen auf Grund der Beschaffenheit des Sickerwassers oder des Zustandes des betroffenen Gewässers festgelegt werden müssen.

### **Anforderungen an die Gewässerqualität oberirdischer Gewässer**

Anhang 2 legt in Ziff. 11 Abs. 2 sowie Ziff 12 Abs. 1-5 die Anforderungen an die Wasserqualität fest, die bei Einleitung in Oberflächengewässer einzuhalten sind.

Es gelten allgemeine Anforderungen bzgl. der Abwassereinleitung (Ziff. 11, Abs. 2):

Durch Abwassereinleitungen darf sich im Gewässer nach weitgehender Durchmischung:

- a. kein Schlamm bilden;
- b. keine Trübung, keine Verfärbung und kein Schaum bilden, ausgenommen bei starken Regenfällen;
- c. der Geruch des Wassers gegenüber dem natürlichen Zustand nicht störend verändern;
- d. kein sauerstoffarmer Zustand und kein nachteiliger pH-Wert ergeben.

Gemäss Ziff. 12 Absatz 5 gelten die nachfolgenden numerischen Anforderungen bei jeder Wasserführung nach weitgehender Durchmischung des eingeleiteten Abwassers im Gewässer; besondere natürliche Verhältnisse wie Wasserzufluss aus Moorgebieten, seltene Hochwasserspitzen oder seltene Niederwasserereignisse bleiben vorbehalten.

<b>Nr.</b>	<b>Parameter</b>	<b>Anforderung</b>
1	Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB5)	2 bis 4 mg/l O <sub>2</sub> Bei natürlicherweise wenig belasteten Gewässern gilt der untere Wert.
2	Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)	1 bis 4 mg/l C Bei natürlicherweise wenig belasteten Gewässern gilt der untere Wert.
3	Ammonium (Summe von NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N und NH <sub>3</sub> - N)	Bei Temperaturen: – über 10 °C: 0,2 mg/l N – unter 10 °C: 0,4 mg/l N
4	Nitrat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N)	Für Fließgewässer, die der Trinkwassernutzung dienen: 5,6 mg/l N (entspricht 25 mg/l Nitrat)
5	Blei (Pb)	0,01 mg/l Pb (gesamt) <sup>1</sup> 0,001 mg/l Pb (gelöst)
6	Cadmium (Cd)	0,2 µg/l Cd (gesamt) <sup>1</sup> 0,05 µg/l Cd (gelöst)
7	Chrom (Cr)	0,005 mg/l Cr (gesamt) <sup>1</sup> 0,002 mg/l Cr (III und VI)
8	Kupfer (Cu)	0,005 mg/l Cu (gesamt) <sup>1</sup> 0,002 mg/l Cu (gelöst)
9	Nickel (Ni)	0,01 mg/l Ni (gesamt) <sup>1</sup> 0,005 mg/l Ni (gelöst)
10	Quecksilber (Hg)	0,03 µg/l Hg (gesamt) <sup>1</sup> 0,01 µg/l Hg (gelöst)
11	Zink (Zn)	0,02 mg/l Zn (gesamt) <sup>1</sup> 0,005 mg/l Zn (gelöst)
12	Organische Pestizide (Biozidprodukte und Pflanzenschutzmittel)	0,1 µg/l je Einzelstoff. Vorbehalten bleiben andere Werte auf Grund von Einzelstoffbeurteilungen im Rahmen des Zulassungsverfahrens.
<sup>1</sup> Massgebend ist der Wert für die gelöste Konzentration. Wird der Wert für die gesamte Konzentration eingehalten, ist davon auszugehen, dass auch der Wert für die gelöste Konzentration eingehalten ist.		

**Tabelle 2-2: Schweizer Gewässerschutzverordnung, Anhang 2 (Gewässerqualität oberirdischer Gewässer, zusätzliche Anforderungen an Fließgewässer).**

### 3 Überblick zum Betrieb der Schlackekompartimente in Zürcher Reaktordeponien

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick zum Betrieb der Schlackekompartimente in Zürcher Deponien.

Deponie/ Schlackekompartiment (Code <sup>1</sup> )		Einbau von Schlacke
A		Seit 1996 nur noch wenig Schlacke abgelagert
B		50-100'000 m <sup>3</sup> ; seit 2002 nicht mehr abgelagert
C		7'000 m <sup>3</sup> ; ab 1998 abgelagert
D		Seit 1995 konstante Ablagerung von Schlacke
E		Grosse Einbaumengen

*Tabelle 3-1: Charakterisierung des Betriebs der Schlackekompartimente in Zürcher Deponien (Überblick).*

Keines der Schlackekompartimente ist bis zum heutigen Zeitpunkt abgedeckt. Das Sickerwasser aller Schlackekompartimente wird in die ARA geleitet.

### 4 Zürcher Messdaten und Vergleich mit Einleitungsgrenzwerten

Zum Betrieb der Schlackekompartimente in Zürcher Reaktordeponien liegen Messdaten für wichtige Parameter in Sickerwasser vor. Nachfolgend werden Messdaten aus dem vergangenen und dem aktuellen Jahrzehnt dargestellt und mit den Einleitgrenzwerten der GSchV verglichen. Daraus können kritische Parameter hinsichtlich der Erreichung der Reststoffqualität abgeleitet werden.

---

<sup>1</sup> Für die anonymisierten Grafiken und Tabellen in Kapitel 4

**Kohlenstoffverbindungen: AOX, FOCl, VOX:**

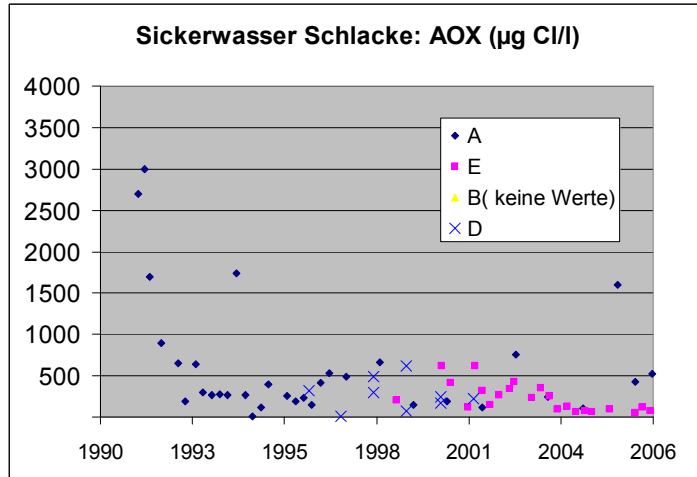


Abbildung 4-1: Zeitreihen für AOX in Sickerwasser aus Schlackekompartimenten in Zürcher Reaktordeponien (Legende: siehe Tabelle 3-1).

Parameter	AOX <sup>1)</sup>	
<b>Grenzwert GSchV</b>	Direkteinleitung	Einleitung in öffentliche Kanalisation
Leichtflüchtige Chlorierte Kohlenwasserstoffe (FOCl) oder leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (VOX) <sup>3)</sup>	0,1 mg Cl/l oder 0,1 mg X/l	0,1 mg Cl/l oder 0,1 mg X/l (vergleiche Fussnote 2)

**Werte in Zürcher Deponien**

<b>Wertebereich (Sickerwasser)</b>	<b>0 – 600 µg Cl/l</b>
<b>Charakteristik der Daten</b>	<b>Tendenz nach Einbau Schlacke jeweils sinkend</b>

Deponie	Werte/Trend	Beschreibung
A	3000 → 500 µg Cl/l	Abnahme
B/C	Keine Werte	Keine Werte
D	0-600 µg Cl/l	Stark schwankend
E	600 → 100 µg Cl/l	Abnahme

<sup>1)</sup> Summenparameter, Abkürzung für "adsorbierbare organische Halogene im Wasser" (X steht in der organischen Chemie für die Halogene Fluor, Chlor, Brom und Jod).

<sup>2)</sup> Bei der Einleitung von kommunalem Abwasser gibt es einen Prüfwert für das AOX von 80 µg/l X (Anhang 3.1, Ziffer 2, Nr.7)

<sup>3)</sup> Gemäss Anhang 3.2, Ziff. 2, Nr. 16 zu bestimmen, wobei dieser auch den FOCl beinhaltet.

**Fazit:**

Annahme: AOX dürfte über den VOX/FOCl-Werten liegen, da aufgrund des erfolgten Verbrennungsprozesses unpolare Verbindungen prioritär eliminiert wurden und vermutlich zur Hauptsache noch polare Verbindungen vorliegen. Für VOX oder FOCl liegen zur Zeit keine Daten vor.

**Gelöster organischer Kohlenstoff DOC:**

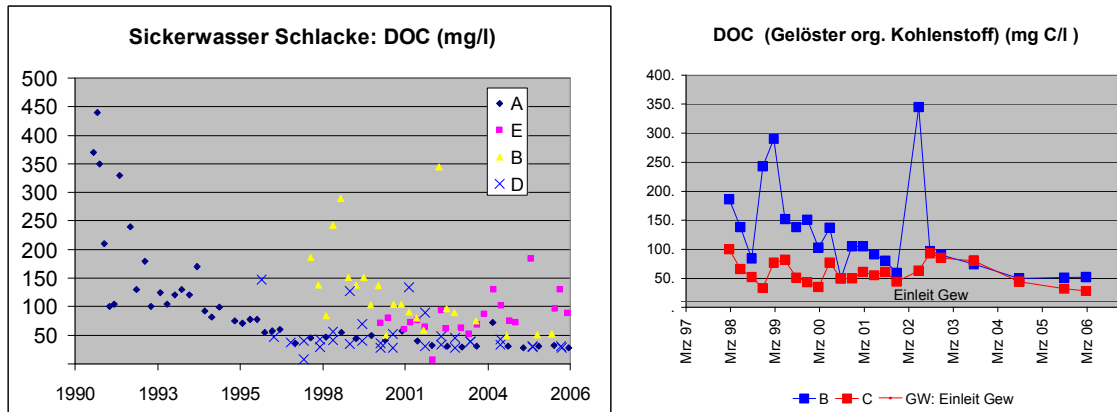


Abbildung 4-2: Zeitreihen für DOC in Sickerwasser aus Schlackekompartimenten in Zürcher Reaktordeponien (Legende: siehe Tabelle 3-1).

Parameter	DOC <sup>1)</sup>	
<b>Grenzwert GSchV</b>	Direkteinleitung	Einleitung in öffentliche Kanalisation
Gelöster org. Kohlenstoff DOC (mg C/l)	10 mg C/l	-

**Werte in Zürcher Deponien**

<b>Wertebereich (Sickerwasser)</b>	0 - 450 mg C/l
<b>Charakteristik der Daten</b>	Stark unterschiedlich, Tendenz nach Einbau Schlacke jeweils sinkend (Ausnahme Deponie E). Abnahme jeweils in 3 bis 5 Jahren auf „Endwerte“ von 30-50 mg C/l

Deponie	Werte/Trend	Beschreibung
A	450 → 30 mg C/l	Abnahme auf ca. 30 mg C/l
B	300 → 50 mg C/l	Durchschnitt: 150 mg/l nach Ablagerungsende (2002) Reduktion auf 50mg C/l innert 2 Jahren
C	100 → 30 mg C/l	Durchschnitt: 75 mg C/l nach Ablagerungsende (2002) Reduktion auf 30mg/l innert 2 Jahren
D	150 → 30 mg C/l	
E	80 → 130 mg C/l	

<sup>1)</sup> Gelöster organischer Kohlenstoff

**Fazit:** „Endwert“ im Bereich 30-50 mg C/l, d.h. der DOC-Grenzwert wird nach einigen Jahren Ablagerungsdauer noch um das 3- bis 5-fache – in einem Fall um das 15 fache - überschritten. In den Anfangsjahren der Ablagerung wird der Grenzwert um das 15- bis 45-fache überschritten.

**Stickstoffverbindungen:**

In der GSchV, Anhang 2.2 und 2.3 sind für Einleitwerte von Industrie- oder anderem verschmutztem Abwasser in Gewässer oder Kanalisationen keine Stickstoffverbindungen ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ , N-tot) reguliert.

Gemäss Anhang 2 (Anforderungen an die Wasserqualität), Ziffer 12 gelten bei jeder Wasserführung nach weitgehender Durchmischung des eingeleiteten Abwassers im Gewässer folgende Anforderungen:

Ammonium (Summe von $\text{NH}_4^+$ -N und $\text{NH}_3^+$ -N):	bei über 10 °C: 0,2 mg/l N, bei unter 10 °C: 0,4 mg/l N
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ -N):	25 mg $\text{NO}_3^-$ /l (5.6 mg N/l für Fließgewässer/ Grundwasser, die der Trinkwassernutzung dienen)

Und gemäss Anhang 3.1 (Einleit. von kommunalem Abwasser in Gewässer), Ziffer 2, gilt:

Ammonium (Summe von $\text{NH}_4^+$ -N und $\text{NH}_3^+$ -N):	Abflusskonzentration bei Abwassertemp.>10°C: 2mg N/l
Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ -N):	0,3 mg N/l (Richtwert)
Gesamtstickstoff (bei Einleitung in empfindliche Gewässer):	Vorgaben nur, wenn keine Abflusskonzentration und kein Reinigungseffekt für Gesamt-N festgelegt sind. Dann wird Stickstoffeliminierung gefordert.

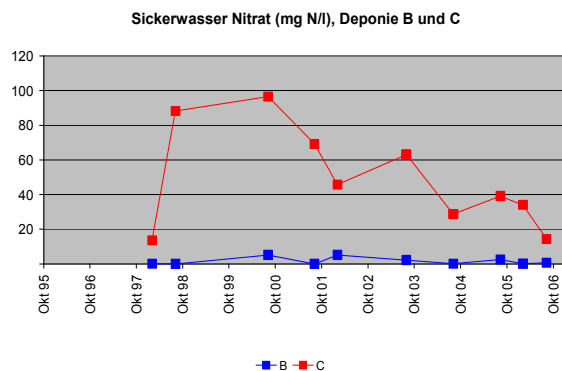
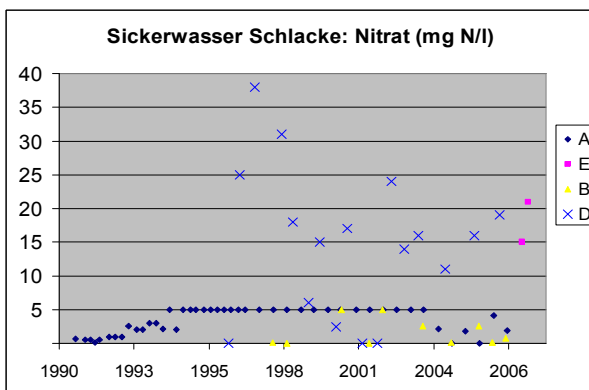
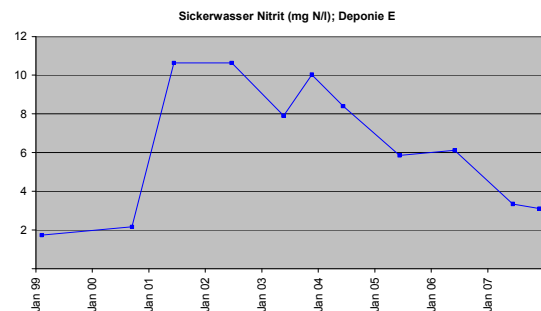
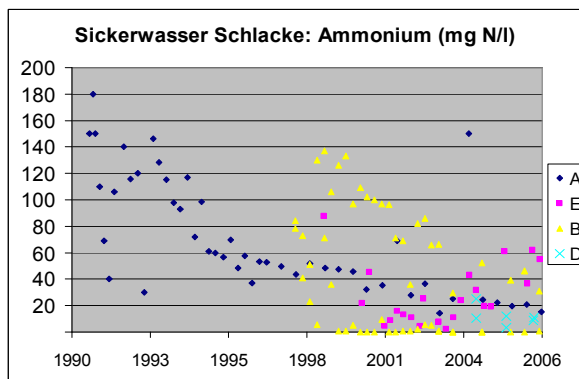


Abbildung 4-3: Zeitreihen für Stickstoffverbindungen in Sickerwasser aus Schlackekompartimenten in Zürcher Reaktordeponien, (Legende: siehe Tabelle 3-1).

### Ammonium-Werte in Zürcher Deponien

<b>Wertebereich (Sickerwasser)</b>	0 - 180 mg N/l
<b>Charakteristik der Daten</b>	Stark unterschiedlich, Tendenz nach Einbau Schlacke jeweils sinkend (ausser Deponie E)

Deponie	Werte/Trend	Beschreibung
A	180 → 20 mg N/l	„Endwerte“ 20 mg N/l
B	Bis 140 mg N/l	„Endwert“ bei 40 mg N/l
C	<7 mg N/l	„Endwerte“ < 2mg N/l
D	Bis 25 mg N/l	„Endwert“ bei 10 mg N/l
E	Bis 90 mg N/l	Vorübergehende Abnahme auf 10 mg N/l , dann wieder steigend auf 60 mg N/l

### Nitrit-Werte in Zürcher Deponien

Der im Sickerwasser der Deponie E gemessene **Nitritgehalt** übersteigt den Richtwert betreffend Einleitung in öffentliche Gewässer von 0.3 mg N/l um das 7-30fache. Das starke Anschwellen des Nitritgehalts deutet auf biologische Prozesse hin.

### Nitrat-Werte in Zürcher Deponien

<b>Wertebereich (Sickerwasser)</b>	0 - 90 mg N/l
<b>Charakteristik der Daten</b>	Stark unterschiedlich, Tendenz nach Einbau Schlacke jeweils sinkend (ausser Deponie E)

Deponie	Werte/Trend	Beschreibung
A	Bis 5 mg N/l	
B	5 → 1 mg N/l	Abnehmender Trend
C	100 → 15 mg N/l	Abnehmender Trend
D	40 → 20 mg N/l	
E	Bis ca. 20 mg N/l	

**Fazit: Stickstoffverbindungen** (Ammonium/Ammoniak ( $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NH}_3\text{-N}$ )) sind viel zu hoch für eine Direkteinleitung. Ammonium- und Nitritgehalt des Sickerwassers überschreiten die Höchstgehalte betreffend die Einleitung in Oberflächengewässer. Nitratgehalte sind nicht sehr problematisch; sie liegen im Maximum bis zum Faktor 4 über dem Qualitätsziel von Fließgewässern.

**Schwermetalle:**

Für die Schwermetalle liegen Trenddaten für Cu, Cd, Cr-ges. vor.

**Kupfer:**

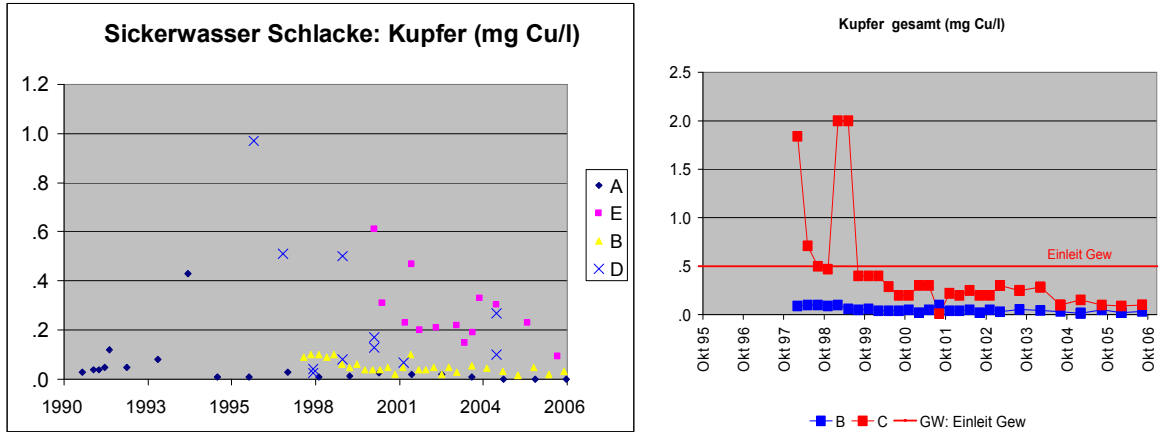


Abbildung 4-4: Zeitreihen für Cu in Sickerwasser aus Schlackekompartimenten in Zürcher Reaktordeponien, (Legende: siehe Tabelle 3-1).

<b>Parameter</b>	<b>Kupfer (Cu)</b>	
	Direkteinleitung	Einleitung in öffentliche Kanalisation
<b>Grenzwert GSchV</b>	0.5 mg Cu/l	1.0 mg Cu/l

**Werte in Zürcher Deponien**

<b>Wertebereich (Sickerwasser)</b>	0 - 2 mg Cu/l
<b>Charakteristik der Daten</b>	Stark unterschiedlich, Tendenz nach Einbau jeweils sinkend bis <0.1 mg Cu/l

Deponie	Werte/Trend	Beschreibung
A	< 0.13 mg Cu/l → < 0.01 mg Cu/l	aktuell < 0.01 mg Cu/l
B	0.1 mg Cu/l	
C	2 → 0.1 mg Cu/l	Abnehmender Trend
D	1.0 → 0.3/0.1 mg Cu/l	
E	0.6 → 0.1 mg Cu/l	Abnehmender Trend

**Bemerkungen:** Über 0.5 mg Cu/l nur zu Beginn bei Deponie D (1995; 1 Wert), Deponie E (2000; 1 Wert) und Deponie B (1997-99; 3 Werte).

**Fazit:** Bei 2 Deponien treten nach mehreren Jahren der Ablagerung keine Überschreitungen des Einleitungsgrenzwertes mehr auf. Bei den andern 2 Deponien wurde zu keinem Zeitpunkt eine Grenzwertüberschreitung festgestellt.

Die Anforderungen an Oberflächengewässer liegen mit 0.005 mg Cu-tot/l bzw. 0.002 mg Cu-gelöst/l um den Faktor 100 tiefer als der Einleitgrenzwert Oberflächengewässer. Bei den aktuell gemessenen Konzentrationen im Sickerwasser von 10-100 ug Cu/l würde eine Einleitung - trotz deutlicher Unterschreitung des Einleitgrenzwerts - eine Verdünnung im Vorfluter von 2-20 bedingen.

**Cadmium:**

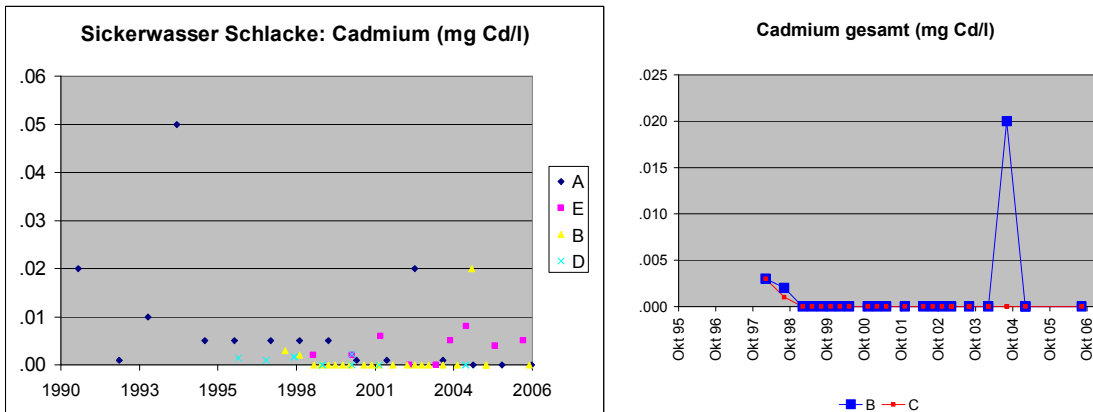


Abbildung 4-5: Zeitreihen für Cu in Sickerwasser aus Schlackekompartimenten in Zürcher Reaktordeponien (Legende: siehe Tabelle 3-1).

<b>Grenzwert (GSchV Einleitbedingung für Oberflächengewässer)</b>	0.1 mg Cd/l
<b>Werte in Zürcher Deponien</b>	Stark unterschiedlich, höchster Wert = 0.05 mg Cd/l.

**Fazit:** In der Regel liegen die Werte deutlich unter dem Grenzwert.

**Chrom-Gesamt:**

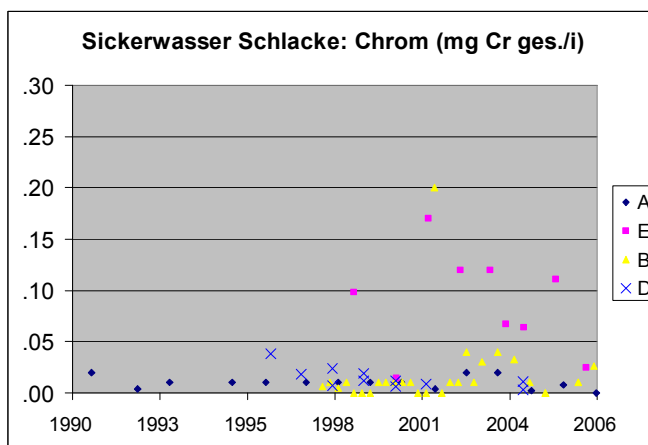


Abbildung 4-6: Zeitreihen für Cr-tot in Sickerwasser aus Schlackekompartimenten in Reaktordeponien (Legende: siehe Tabelle 3-1).

<b>Grenzwert (GSchV Einleitbedingung für Oberflächengewässer)</b>	2 mg Cr/l
<b>Messwerte in Zürcher Deponien (Sickerwasser)</b>	Werte stark unterschiedlich, höchster Wert = 0.2 mg Cr/l, i.d.R. < 0.1 mg Cr/l.

**Fazit:** Alle Messwerte liegen deutlich unter dem Grenzwert.

**Blei:**

<b>Grenzwert (GSchV Einleitbedingung für Oberflächengewässer)</b>	0.5 mg Pb/l
<b>Messwerte in Zürcher Deponien (Sickerwasser)</b>	< 0.06 mg Pb/l

**Fazit:** Alle Messwerte liegen deutlich unter dem Grenzwert.

**Chlorid und Sulfat:**

<b>Grenzwert (GSchV Einleitbedingung für Oberflächengewässer)</b>	Chlorid: kein Grenzwert. Sulfat: kein Grenzwert für Einleitung; Grundwassergrenzwert: 40 mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /l
<b>Messwerte in Zürcher Deponien (Sickerwasser)</b>	Chlorid: < 10'000 mg/l Sulfat: bis 8'000 mg/l

**Fazit:** Für Chlorid/Sulfat bestehen keine Einleitvorschriften. Im konkreten Fall wäre die Gewässerschutzfachstelle zu konsultieren.

**Toxische Substanzen: Sulfid, Sulfit, Phenole**

<b>Grenzwert (GSchV <u>alt</u> Einleitbedingung für Oberflächengewässer)</b>	Sulfid: 0.1 mg S <sub>2</sub> -/l Sulfit: 1 mg SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -/l Wasserdampfvlüchtige Phenole: 0.05 mg/l (der Kanton kann in Einzelfällen bis 0.2mg/l zulassen) Nicht wasserdampfvlüchtige Phenole: 0.05 mg/l
<b>Grenzwert (GSchV <u>alt</u> Einleitbedingung Kanalisation)</b>	Sulfide: 1 mg S <sub>2</sub> -/l Sulfite: 10 mg SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -/l Wasserdampfvlüchtige Phenole: 5 mg/l Nicht wasserdampfvlüchtige Phenole: 1 mg/l
<b>Qualitätsziele für Fliessgewässer und Flusstau</b>	Sulfide: keine Zielvorgabe Sulfite: keine Zielvorgabe Wasserdampfvlüchtige Phenole: 0.005 mg/l Nicht wasserdampfvlüchtige Phenole: 0.005 mg/l
<b>Messwerte in Zürcher Deponien (Sickerwasser)</b>	Sulfide: normal < 0.1 mg/l, bis 0.2 mg/l Sulfite: bis 175 mg/l Phenole (gesamt): bis 1 mg/l

**Fazit:** Aus Sickerwasserbetrachtungen der Deponie A (vergl. Kapitel 5) zeigt sich, dass Sulfide mehrheitlich unterhalb des ehemaligen Einleitgrenzwerts für Oberflächengewässer liegen. Der Sulfitgehalt im Sickerwasser liegt anfänglich um über zwei Zehnerpotenzen über dem ehemaligen Einleitgrenzwert für Oberflächengewässer, reduziert sich aber innert weniger Jahre unterhalb des ehemaligen Einleitgrenzwerts. Der Phenolgehalt im Sickerwasser liegt anfänglich um mehr als eine Zehnerpotenz über dem ehemaligen Einleitgrenzwert für Oberflächengewässer, reduziert sich nach wenigen Jahren in den Grenzwertbereich.



## 6 Kritische Parameter

Tabelle 6-1 zeigt die potenziell kritischen Sickerwasserparameter hinsichtlich des Gewässerschutzes anhand des Vergleichs zwischen Messwerten und den geltenden Grenzwerten sowie einer Beurteilung durch Ch. Balsiger, AWEL am 13.11.07 und 31.1.08. Für Parameter mit Ampelfarbe gelb ist anhand der Datenlage unklar ob es sich um einen kritischen Parameter handelt. Es sind weitere Abklärungen notwendig.

Parameter / Farbe	Beurteilung	Ampelfarbe
DOC-Wert	Werte liegen um ein Mehrfaches über dem Grenzwert. Die vorliegenden Daten ergeben keine Hinweise auf die Art der DOC-Verbindungen. Hier ist für eine umfassendere Beurteilung notwendig, um Kenntnisse darüber zu haben, ob es sich dabei um abbaubare Verbindungen handelt oder wie gross der Anteil von toxischen Schadstoffen wie z.B. PAK, PCB oder andere prioritär gefährliche Substanzen, welche nicht in das Gewässer gelangen dürfen, ist.	rot
Organische Schadstoffe	Auch hier ist eine Beurteilung nicht möglich, da kaum spezifische Daten, die eine Beurteilung der Gefährdung zulassen würden, vorhanden sind.	gelb
AOX (FOCI, VOX)	Unspezifischer Parameter, jedoch erhöht. Müsste bekannt sein wie AOX zusammengesetzt ist, um Gefährdung abzuschätzen (von Kunststoffrückstand bis PCB alles möglich).	gelb
Ammonium/Ammoniak (NH <sub>4</sub> -N/NH <sub>3</sub> -N)	Viel zu hohe Werte für eine Direkteinleitung, Ammoniak ist ein starkes Fischgift. Gleichgewicht ist abhängig von pH-Wert, der im Deponie-Sickerwasser ins Alkalische geht und dazu führt, dass bei einem pH-Wert von 9.0 bereits 20 % als fischgiftiges freies Ammoniak vorliegt. Dies ergibt bei einer Konzentration von 18 mg/l Ammonium/Ammoniak eine Konzentration von 3.6 mg/l freies Ammoniak, welches tödlich auf Fische wirkt. Bereits Konzentrationen ab 0,1 mg/l freies Ammoniak können ein Fischsterben auslösen.	rot
Nitrit (NO <sub>2</sub> -N)	Ist wegen Toxizität (Fischgift) auch immer wieder ein Problem (bei ARA-Einleitungen). Richtwert für ARA-Einleitung in Vorfluter ist bei 0.3 mg N/l. Werte gemessen in Eluatn liegen bei rund 0.1 mg N/l.	gelb
Toxische Substanzen	Die Toxizität ist in erster Linie über biologische Tests zu beurteilen. Eine weitergehende stoffspezifische Untersuchung ist erforderlich bei Feststellen einer Toxizität (z.B. Sulfid, Phenole, Pestizide, ...) und beim Erkennen neuer Gefahrenmomente (z.B. PCB).	gelb
Cu	Cu liegt in Einzelfällen zu Beginn der Ablagerungsphase über dem Grenzwert.	gelb

### Legende zur Ampel:

- rot relevante Gefährdung bei Einleitung
- gelb für Bewertung sind weitere Abklärungen erforderlich

*Tabelle 6-1: Beurteilung von potenziell kritischen Sickerwasserparametern hinsichtlich des Gewässerschutzes (Referenz: persönliche Mitteilung Ch. Balsiger (AWEL), 13.11.07 und 31.1.08)*

Aussehen, Geruch, pH-Wert und die gesamten ungelösten Stoffe (GUS) können in den ersten Ablagerungsjahren ebenfalls zu Beanstandungen führen. Für die nicht gemessenen Parameter (Co, CN-, FOCI/VOX, Phenole, organische Schadstoffe, BSB<sub>5</sub>) ist keine Bewertung möglich. Deren Relevanz wird allerdings eher als untergeordnet angenommen.

Bei einer allfälligen Direkteinleitung von Sickerwasser aus Schlackedeponien müssten nicht nur die Einleit-Grenzwerte, sondern auch weitere Anforderungen erfüllt sein (z.B. ökologische Toxizität) Demnach müsste auch das Schadstoffpotenzial der Schlacke und des Sickerwassers beurteilt werden (= Effekt von DOC, AOX, Phenole und anderen Schadstoffen; vgl. Toxizität im Schlackeneluat im Bericht „Qualität konventionell ausgetragener Schlacke“).

## 7 Überlegungen zur Flächenbelastung und Alterung

Die in Kapitel 4 dargestellten Sickerwasserkonzentrationsverläufe der untersuchten Schlackedeponien A-E als Funktion der Zeit sind unterschiedlich. In diesem Kapitel sind die Daten zu Einbaumengen und der Flächenbelastung der Deponien A-E dargestellt und werden mit den Sickerwasserkonzentrationsverläufen von DOC verglichen.

In Deponie A wurde im Jahre 2003 60'000t Altlastmaterial (20 Jahre alte KVA-Schlacke) eingebaut. Diese Mengen wurden mitberücksichtigt.

Im Folgenden werden Figuren abgebildet sofern Zusammenhänge erkannt wurden; die übrigen Vergleiche können im Anhang (Kap. 9) nachgesehen werden.

### Jährliche Einbaumenge

Einzig bei Deponie A zeigt sich ein Zusammenhang zwischen Einbaumenge und DOC-Sickerwasserkonzentration im selben Jahr. Bei den Deponien C, D und E ist kein klarer Zusammenhang ersichtlich.

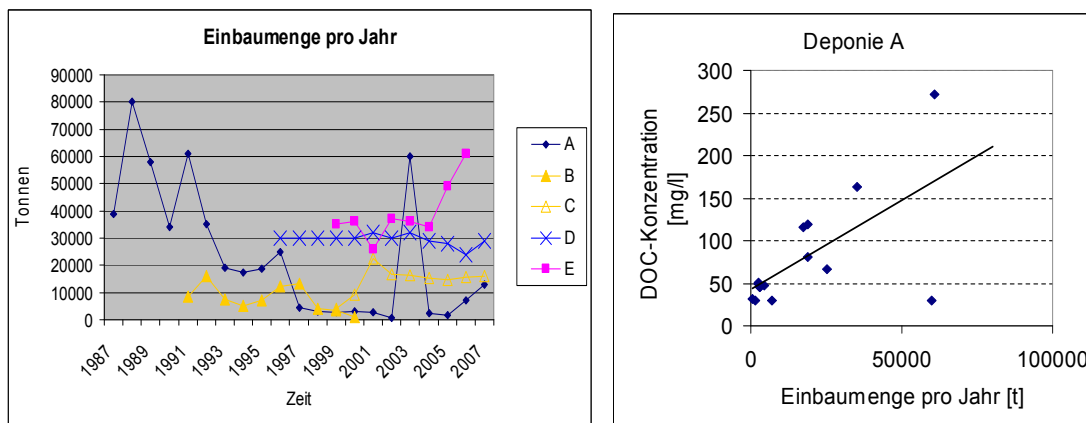


Abbildung 7-1: a) Zeitlicher Verlauf der jährlichen Einbaumenge in den Deponien A-E, b) Gegenüberstellung von DOC-Konzentration im Sickerwasser mit jährlichen Einbaumenge

**Flächenbelastung** (mittlere Schütthöhe = akkumulierte Menge pro m<sup>2</sup>)

Es wird für die Deponien A, C und ev. auch D ein Zusammenhang mit der DOC-Konzentration Schütthöhe festgestellt. Für Deponie E (ohne Betrachtung der extrem hohen Konzentration im ersten Messjahr) kann kein solcher festgestellt werden.

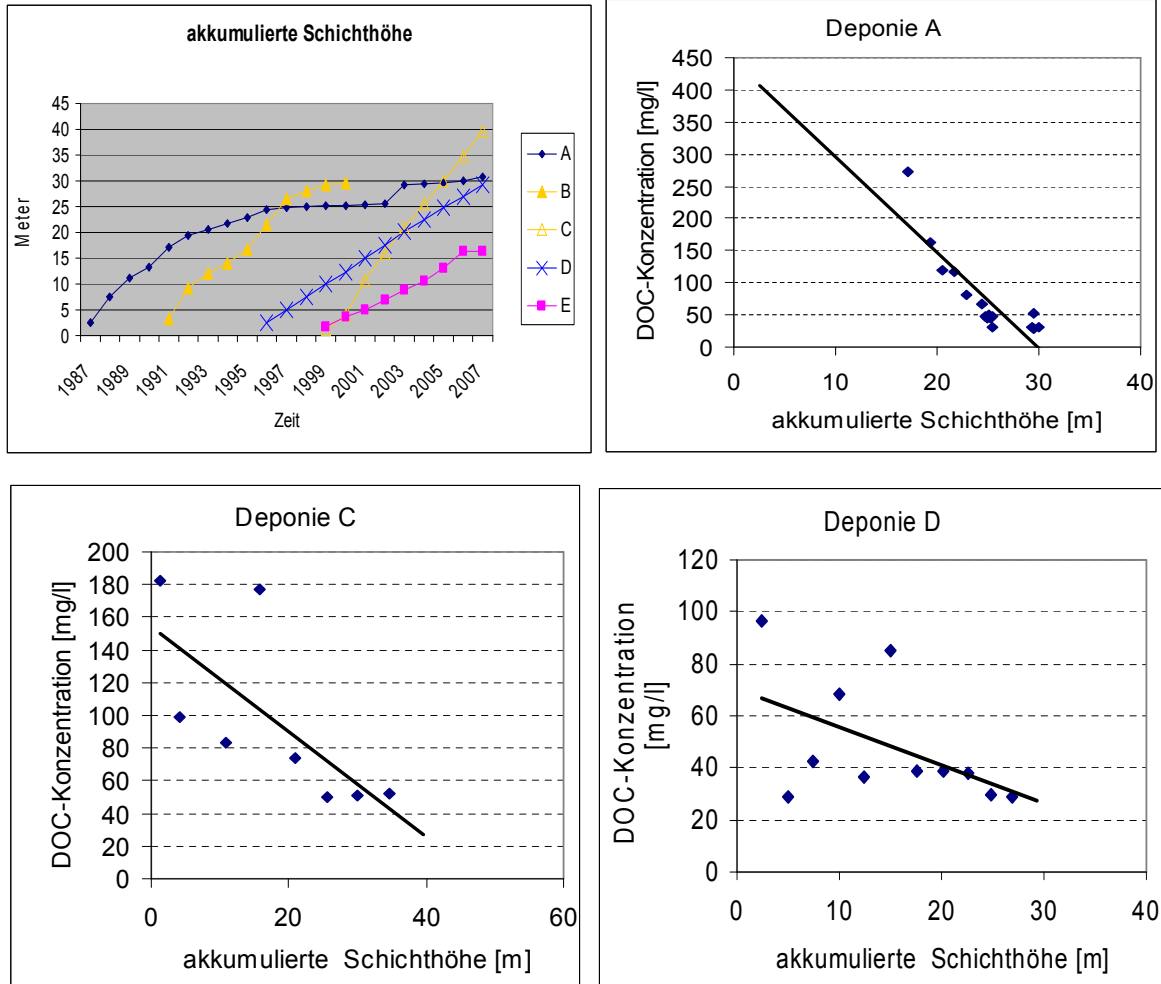


Abbildung 7-2: (a) Zeitlicher Verlauf der Schütthöhe in den Deponien A-E, b) Gegenüberstellung von DOC-Konzentration im Sickerwasser mit Schütthöhe

### Flächenbelastung korrigiert um das mittlere Einbualter

Wird die Flächenbelastung in jedem Jahr gewichtet mit dem Einbualter der in den Vorjahren eingebauten Schlacken (Mengenrechnung für ein bestimmtes Jahr: 1/1 für aktuelles Jahr; 1/2 für Vorjahr, 1/3 für vorletztes Jahr, usw.), dann zeigt sich, dass in Deponie A bei höherer Flächenbelastung die DOC-Konzentrationen grösser sind. Für Deponie C und ev. auch D ist der Zusammenhang gerade umgekehrt (bei höherer Flächenbelastung kleinere DOC-Konzentrationen). Daraus kann gefolgert werden, dass das hinterlegte Modell des mittleren Schlackealters betreffend Deponie A zu stark und bei Deponie C eher zu wenig stark korrigiert; hingegen scheint es bei Deponie E (ohne Betrachtung der extrem hohen Konzentration im ersten Messjahr) ungefähr zu entsprechen (Steigung Null).

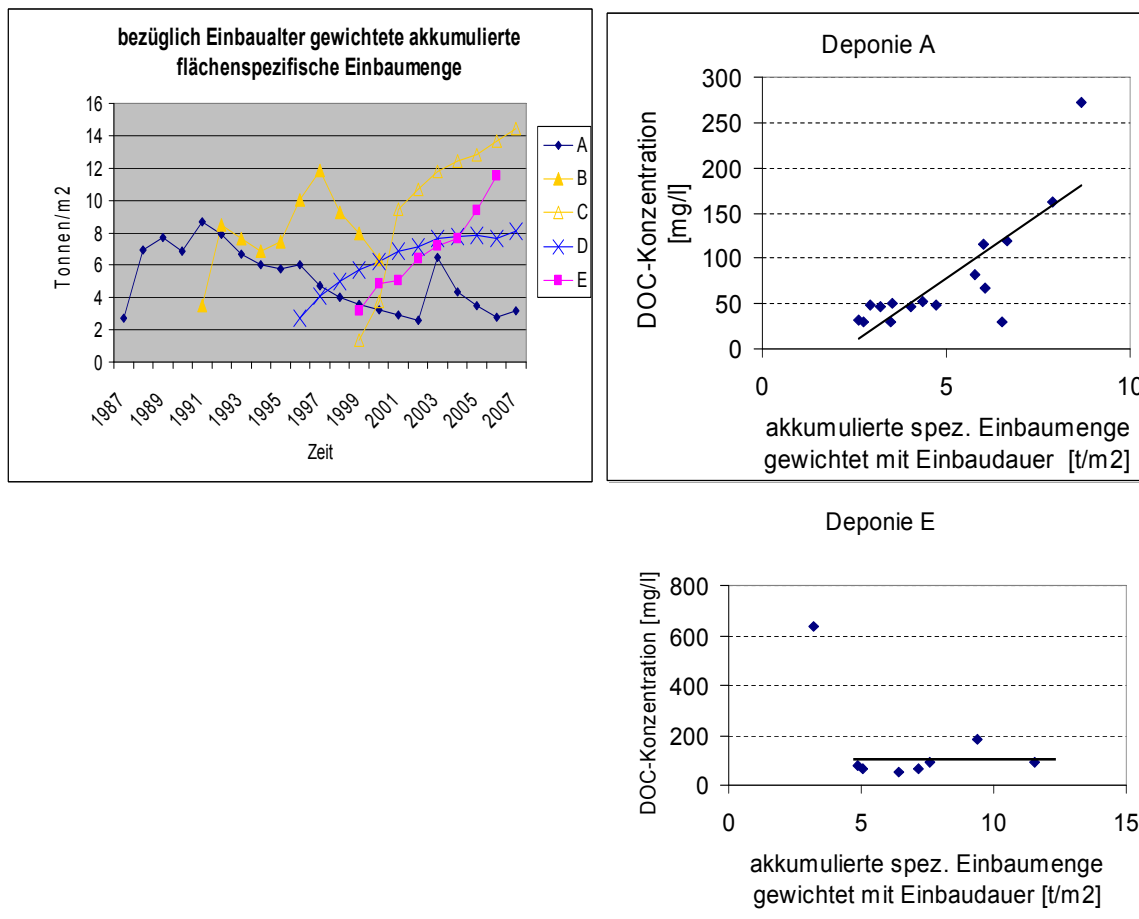


Abbildung 7-3: (a) Zeitlicher Verlauf unter Einbezug der in den Vorjahren gewichteten jährlichen Einbaumenge in den Deponien A-E, b) Gegenüberstellung von DOC-Konzentration im Sickerwasser mit der gewichteten jährlichen Einbaumenge.

### Akkumulierte DOC-Menge (Menge/Zeit) und Schütthöhe

Es besteht für alle 4 Deponien - unter Annahme einer konstanten Sickerwassermenge - ein sehr starker Zusammenhang dieser beiden Grössen. Es handelt sich um eine ähnliche Gegenüberstellung wie in Abb. 7-2 mit dem Unterschied, dass die „DOC-Ausreisser-Werte“ in der hier gewählten Darstellung – offensichtlich „ausbalancierend“ - zu einer höheren Korrelation führen.

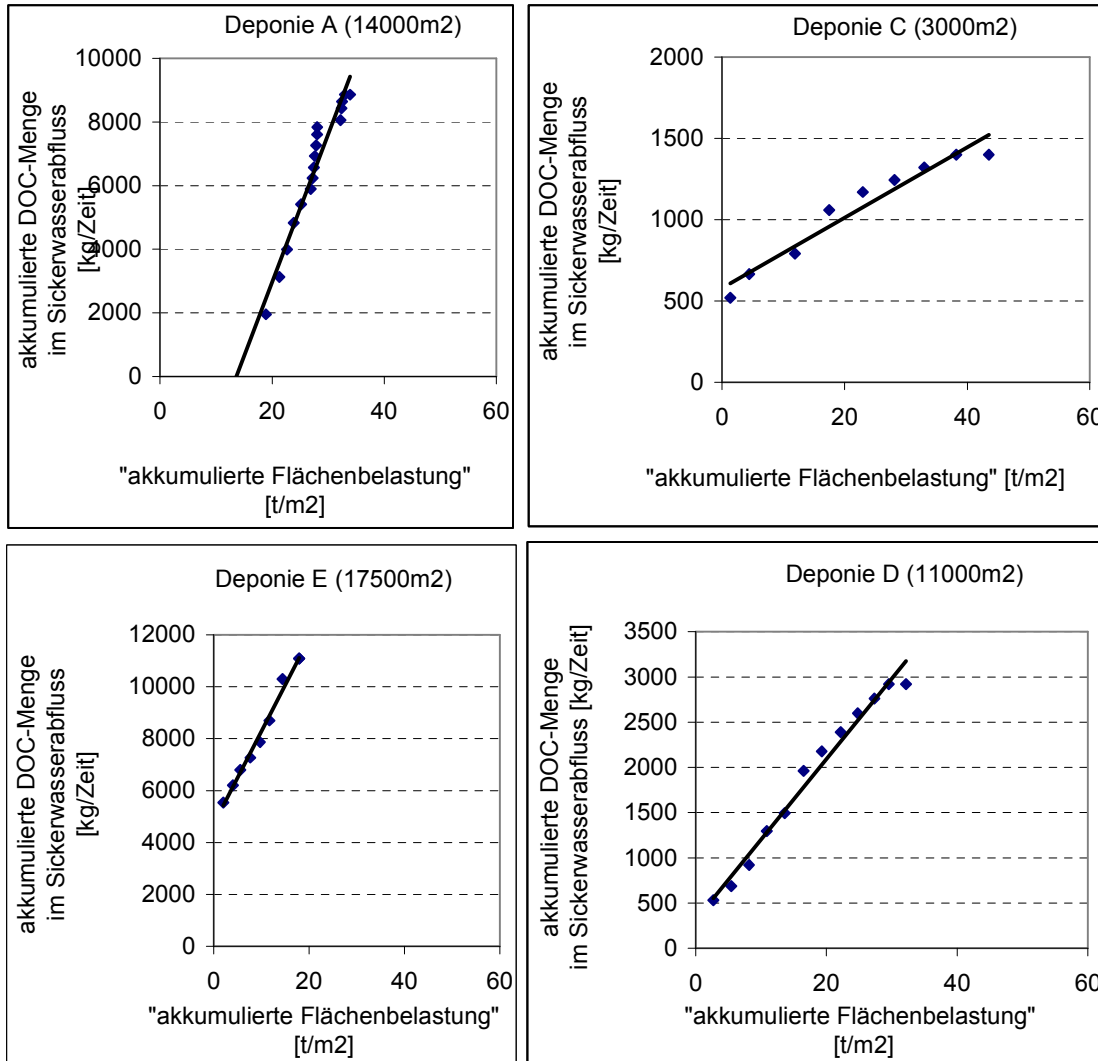


Abbildung 7-4: Gegenüberstellung der akkumulierten DOC-Menge im Sickerwasserabfluss (Annahme jährliche Sickerabflussmenge: 500l/m<sup>2</sup>) mit der jeweiligen Flächenbelastung.

Für die 4 Deponien lassen sich folgende kumulativen DOC-Freisetzen t für jeden beliebigen Zeitpunkt berechnen:

- A: 32 g DOC/t Schlacke
- B: 7 g DOC/t Schlacke
- D: 20 g DOC/t Schlacke
- E: 16 g DOC/t Schlacke

Geht man von einem einheitlichen Wert von 2% TOC für die eingebaute Schlacke aus, so werden lediglich 1.5, 0.3, 1.0 bzw. 0.8 Promille der organischen Substanz ausgewaschen. Für die unterschiedlichen Freisetzungsraten kommen neben unterschiedlichen organischen Belastungen auch andere Faktoren wie Schlackenvorbehandlung, Art des Einbaus, Flächenbewirtschaftung infrage.

## 8 Fazit

Folgendes Fazit zur Sickerwasserqualität aus Schlackekompartimenten von Zürcher Reaktordeponien kann gezogen werden:

Ein **Vorbehalt hinsichtlich Erreichung der Endlagerqualität** besteht aufgrund der Einhaltung des Einleitungsgrenzwertes in Gewässer bei folgenden, im Sickerwasser aus Zürcher Schlackekompartimenten gemessenen Parametern:

- **DOC** mit 3 bis 15-fachen Überschreitungen
- **Kupfer** mit anfänglichen Überschreitungen
- **Stickstoffverbindungen** (Ammonium/Ammoniak ( $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NH}_3\text{-N}$ ) sind viel zu hoch für eine Direkteinleitung. Ammonium- und Nitritgehalt des Sickerwassers überschreiten die Höchstgehalte betreffend die Einleitung in Oberflächengewässer. Nitratgehalt sind nicht problematisch; sie liegen im Maximum etwas über dem Qualitätsziel von Fließgewässern.

Für den pH-Wert, das Aussehen bzw. den Geruch und die gesamten ungelösten Stoffe (GUS) sind in Deponie A die ersten Messwerte zu hoch. Nach den ersten Ablagerungsjahren fallen diese dann aber unter die Einleitgrenzwerte. Auch für die Temperatur kommt es zu einzelnen Überschreitungen.

Für Parameter ohne Messdaten (Co, CN-, FOCI/VOX, Phenole, organische Schadstoffe,  $\text{BSB}_5$ , Gewässertoxizität bspw. Algen- und Daphnientoxizität) sind allenfalls zusätzlich Abklärungen notwendig.

Bei Einleitung eines Sickerwassers in ein Oberflächengewässer ist aus Sicht der Salze in der Regel nicht mit toxischen Effekten zu rechnen.

Bezüglich der vier untersuchten Zürcher Schlackekompartimente zeigt der **DOC-Gehalt im Sickerwasser** folgende Zusammenhänge:

- proportional mit jährlichen Einbaumenge (Deponie A)
- in drei Fällen proportional zur Schichthöhe (=spezifische Einbaumenge pro  $\text{m}^2$ ) (A, C, D)
- in einem Fall proportional mit Schichthöhe gewichtet mit Einbualter (E)

Die akkumulierte DOC-Menge des Sickerwassers zeigt in allen Fällen folgenden Zusammenhang:

- proportional mit Schichthöhe (A, B, C, D)

### Prognose und Handlungsbedarf (mittelfristig)

Es ist damit zu rechnen, dass Sickerwässer aus Deponien über mehrere bzw. viele Jahrzehnte nicht in Oberflächengewässer eingeleitet werden können. Wie bei Hausmülldeponien nachgewiesen könnte der offene Zutritt des Niederschlagswassers auch bei Schlackekompartimenten schneller zu einer besseren Qualität des Sickerwassers führen beispielsweise betreffend DOC und Ammonium dank Auswaschung. Um ein schnelleres Erreichen der Einleitbarkeit in Oberflächengewässer zu ermöglichen, sollen die kritischen Parameter DOC und Ammonium in der Schlacke nach Möglichkeit reduziert werden. Die diesbezüglichen TVA-Eluatwerte indizieren die spätere Situation auf der Deponie und dienen als Beurteilungsinstrument der Schlackenqualität.

Schwierig zu prognostizieren ist die sich einstellende Veränderung der Sickerwasserqualität nach einer Abdeckung mit stark reduziertem Wasserzutritt (starke Erhöhung der Schadstoffe, die eine Einleitung verhindern?). Hier besteht Klärungsbedarf.

Die Nachsorgekosten betreffend Einleitung von Sickerwasser in die Kanalisation können wie folgt abgeschätzt werden: Unter Annahme von 20% Versickerung ( $200\text{L}/\text{m}^2$ ) und einer Schichthöhe von 10 Metern ergibt sich eine Flächenbelastung von  $0.01\text{ m}^3/\text{t}$  Schlacke und Jahr. Die Kosten für die Reinigung in der Kläranlage betragen  $3\text{-}5\text{ Fr}/\text{m}^3$ , für Unterhalt und Erneuerung der Kanalisation sowie für die Instandhaltung der Sickerwasserinfrastruktur auf der Deponie ergibt sich ein weiterer zumindest ähnlicher Aufwand. Da die langfristigen Kosten eines Schlackekompartiments (Zeithorizont für Abwasserreinigung, Unterhalts- und Sanierungskosten) bis zur nachsorgefreien Deponie kaum abschätzbar sind, kann der Nutzen einer verbesserten Schlackequalität nicht in monetarisierter Art ausgedrückt werden. Die Aspekte der Vorsorge und der staatlichen Verantwortung hinsichtlich der langfristigen Nachsorge einer Deponie sprechen ebenfalls für eine möglichst weitgehende Optimierung der Schlackequalität.

### **Langzeitverhalten**

Durch die natürliche Alterung von Schlacke aus Müllverbrennungsprozessen treten Reaktionen auf, welche das langfristige Emissionsverhalten in der Deponie beeinflussen. Solche natürlichen Alterungsprozesse von Schlacke sind z.B. Hydratation, Karbonatisierung, mikrobielle und anorganische Oxidation sowie weitere Verwitterungs- und Kristallisationsprozesse. Fast alle Alterungsprozesse führen zu einer Abnahme der Säureneutralisationskapazität der Schlacke. Dies führt zu tieferen pH-Werten und erhöht das Redoxpotenzial. Vor allem die Auswirkungen auf das Emissionsverhalten der Schwermetalle sind dabei von Interesse.

Frische Schlacke ist stark basisch. In diesem Zustand werden die leicht flüchtigen Salze ausgewaschen, die meisten Schwermetalle bleiben aber praktisch immobil, obwohl negativ geladene Hydroxidkomplexe die Löslichkeit der Schwermetalle begünstigen. Die Löslichkeit

von einzelnen Komponenten wie Kalzium- und Aluminiumhydroxiden sowie Kalziumsulfaten kontrollieren die Zusammensetzung des Sickerwassers der frischen Schlacke. Kalziumverbindungen spielen eine wichtige Rolle bei Säure/Basen-Verhalten der Schlacke. Die Basen werden durch interne Reaktionen und Auswaschungen sowie Eintrag von Säuren mit der Zeit neutralisiert und die Schwermetalle werden freigesetzt, wenn der pH-Wert genügend tief ist. (Johnson A., in Baccini& Gamper, 1994).

Auswaschberechnungen für Schwermetalle lassen erwarten, dass z.B. für Zn bei sauren Einträgen in einen homogenen Deponiekörper bei einer 1m mächtigen Ablagerung in etwa 4'500 Jahren, und in einer 20m dicken Ablagerung in rund 90'000 Jahren ein markanter Anstieg der Sickerwasserkonzentrationen zu erwarten ist. Bei heterogenem Aufbau des Deponiekörpers kann dies aber viel früher sein.

In Hellweg et al., 2005 ist Grundwasserbelastung durch Sickerwasser aus Schlackendepo- nien über lange Zeiträume modelliert worden. Dabei wurde ersichtlich, dass für Cd und Cu frühestens nach mehreren 100 Jahren die Emissionsfrachten kritische Frachtwerte über- schreiten werden, aber dann um Zehnerpotenzen und sehr lange Zeitperioden. Es gilt wie- derum der Vorbehalt, dass Inhomogenitäten des Deponiekörpers und präferentielle Fliess- wege dazu führen können, dass die Schwermetalle bereits zu einem wesentlich früheren Zeitpunkt mit dem Sickerwasser aus der Deponie „gewaschen“ werden.

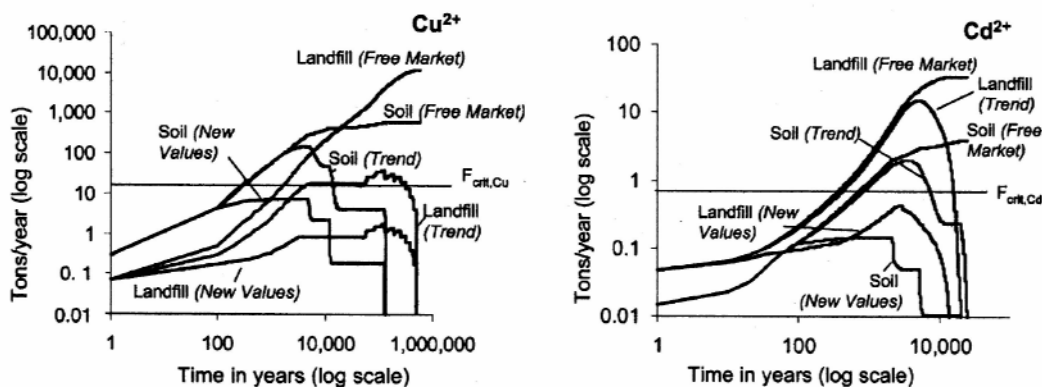


Abbildung 8-1: Grundwasserbelastung durch Sickerwasser aus Schlackendepo- nie, Quelle: Hellweg et al. (2005).

Über die zu erwartenden Schwermetallgehalte in den Sickerwässern aus Schlackekompar- timenten werden derzeit unterschiedliche Prognosen gemacht.

## 9 Literatur

Baccini P., Gamper, B. (1994) Deponierung fester Rückstände aus der Abfallwirtschaft, Endlager-Qualität am Beispiel Müllschlacke, vdf.

Hellweg, S., Hofstetter, P., Hungerbühler, K. (2005), J. Cleaner Production 13 (2005) 301-320.

## 10 Anhang

### 10.1 Daten und Auswertungen zur Flächenbelastung und Alterung für die Deponien A-E

Folgende Einbau-Daten standen für die Deponien A-E zur Verfügung (Tabelle 10-1).

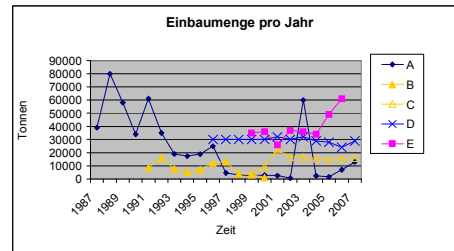
	Deponie D	Deponie E	Deponie B	Deponie C	Deponie A
Fläche	11000 m2	17500 m2	2400	3000	14400 m2
Jahr	Herkunft				
2007	KVA 29000			14000	13000
	ARA 0			1900	
2006	KVA 24000	61000		14000	7000
	ARA 0			1600	
2005	KVA 28000	49000		13000	1600
	ARA 0			1600	
2004	KVA 29000	34000		14000	2400
	ARA 0	0		1500	
2003	KVA 32000	36000		15000	60000 (aus Altlast)
	ARA 0	0		1500	
2002	KVA 30000	37000		15000	609
	ARA 0	0		1700	
2001	KVA 32000	26000		21000	2600
	ARA 0	0		1400	
2000	KVA 30000	36000	1000	8000	2900
	ARA 0		0	1300	0
1999	KVA 30000	35000	2000	4000	2600
	ARA 0		1300		0
1998	KVA 30000	0	3000		3200
	ARA 0		1100		0
1997	KVA 30000		12000		4600
	ARA 0		1200		0
1996	KVA 30000		11000		25000
	ARA		1300		0
1995	KVA		6000		18000
	ARA		1100		800
1994	KVA		4000		16000
	ARA		1200		1400
1993	KVA		6500		19000
	ARA		1100		30
1992	KVA		15000		35000
	ARA		1100		0
1991	KVA		7400		61000
	ARA		1000		0
1990	KVA				34000
	ARA				0
1989	KVA				58000
	ARA				0
1988	KVA				80000
	ARA				0
1987	KVA				39000

Tabelle 10-1:  
Daten zum Einbau von Material in den Schlackekompartimenten in Deponie A-E

Einbaumengen pro Jahr (Tonnen)

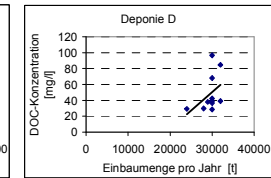
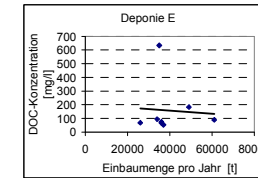
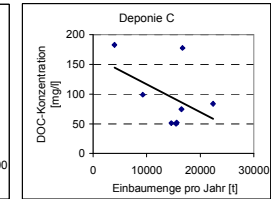
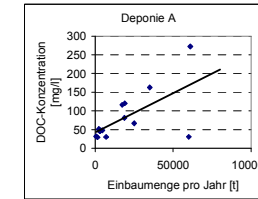
	A	B	C	D	E
1987	39000				
1988	80000				
1989	58000				
1990	34000				
1991	61000	8400			
1992	35000	16100			
1993	19000	7600			
1994	17400	5200			
1995	18800	7100			
1996	25000	12300			
1997	4600	13200		30000	
1998	3200	4100		30000	
1999	2600	3300	4000	30000	35000
2000	2900	1000	9300	30000	36000
2001	2600		22400	32000	26000
2002	609		16700	30000	37000
2003	60000		16500	32000	36000
2004	2400		15500	29000	34000
2005	1600		14600	28000	49000
2006	7000		15600	24000	61000
2007	13000		15900	29000	

Legende Raute blau gelb dreieck voll gelb dreieck leer Kreuz blau Quadrat rot



DOC-Konzentrationen (Jahresmittelwerte) (mg/l)

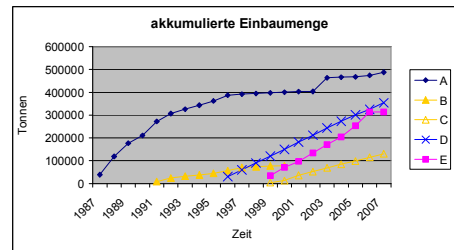
	A (DOC)	E (DOC)	C (DOC)	D (DOC)
1987				
1988				
1989				
1990				
1991	272			
1992	163			
1993	120			
1994	116			
1995	81			
1996	67			
1997	48			97
1998	46		163	42
1999	50	633	183	68
2000	46	76	99	36
2001	49	68	84	85
2002	32	54	177	39
2003	31	68	74	39
2004	52	95	50	38
2005	29	183	51	30
2006	30	90	52	29
2007				



Akkumulierte Menge (Tonnen)

	A	B	C	D	E
1987	39000				
1988	119000				
1989	177000				
1990	211000				
1991	272000	8400			
1992	307000	24500			
1993	326000	32100			
1994	343400	37300			
1995	362200	44400			
1996	387200	56700			
1997	391900	69900		90000	
1998	395000	74000		120000	
1999	397600	77300	4000	150000	35000
2000	400600	78300	13300	182000	71000
2001	403100		35700	212000	97000
2002	403709		52400	244000	134000
2003	463709		68900	273000	170000
2004	466109		84400	291000	204000
2005	467709		99000	301000	253000
2006	474709		114600	325000	314000
2007	487709		130500	354000	314000

Legende Raute blau gelb dreieck voll gelb dreieck leer Kreuz blau Quadrat rot



DOC-Konzentrationen (Jahresmittelwerte) (mg/l)

	A (DOC)	E (DOC)	C (DOC)	D (DOC)
1987				
1988				
1989				
1990				
1991	272			
1992	163			
1993	120			
1994	116			
1995	81			
1996	67			
1997	48			97
1998	46		163	42
1999	50	633	183	68
2000	46	76	99	36
2001	49	68	84	85
2002	32	54	177	39
2003	31	68	74	39
2004	52	95	50	38
2005	29	183	51	30
2006	30	90	52	29
2007				

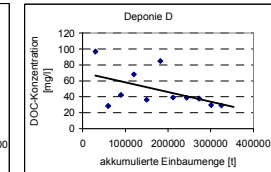
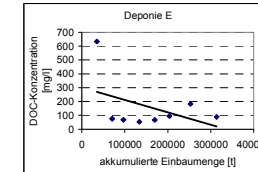
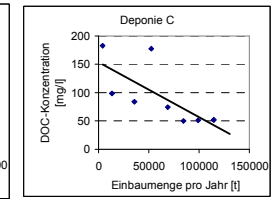
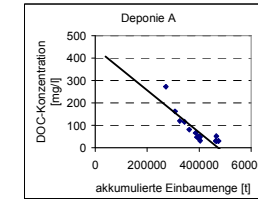
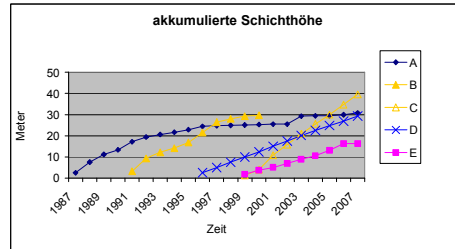


Tabelle 10-2: Gegenüberstellung der Auswertungen zu Einbaudaten zu DOC-Sickerwasserkonzentrationen in den Deponien A, C, E und D.

**Akkumulierte Schichthöhe (Meter)**

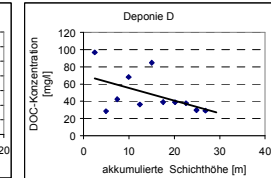
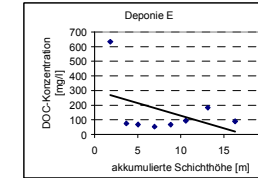
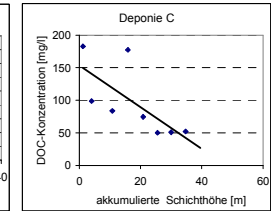
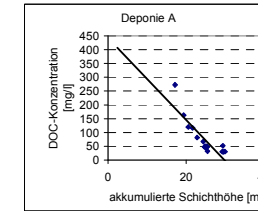
Jahr	1.1		kg/m <sup>3</sup>		
	A	B	C	D	E
1987	2.46				
1988	7.51				
1989	11.17				
1990	13.32				
1991	17.17	3.18			
1992	19.38	9.28			
1993	20.58	12.16			
1994	21.88	14.13			
1995	22.87	16.82			
1996	24.44	21.48			2.48
1997	24.73	26.48			4.56
1998	24.94	28.03			7.44
1999	25.10	29.28	1.21		9.92
2000	25.28	29.66	4.03		12.40
2001	25.45		10.82	15.04	5.04
2002	25.49		15.88	17.52	6.96
2003	29.27		20.88	20.17	8.83
2004	29.43		25.58	22.56	10.60
2005	29.53		30.00	24.86	13.14
2006	29.97		34.73	26.86	16.31
2007	30.79		39.55	29.26	16.31

Legende Raute blau gelb dreieck voll gelb dreieck leer Kreuz blau Quadrat rot



**DOC-Konzentrationen (Jahresmittelwerte) (mg/l)**

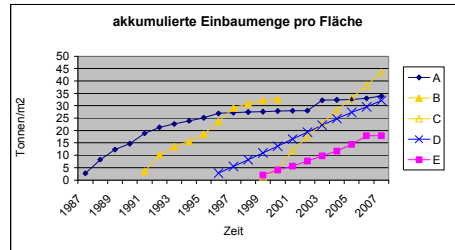
Jahr	A (DOC)	E (DOC)	C (DOC)	D (DOC)
1987				
1988				
1989				
1990				
1991	272			
1992	163			
1993	120			
1994	116			
1995	81			
1996	67			97
1997	48			29
1998	46		163	42
1999	50	633	183	68
2000	46	76	99	36
2001	49	68	84	85
2002	32	54	177	39
2003	31	68	74	39
2004	52	95	50	38
2005	29	183	51	30
2006	30	90	52	29
2007				



**Akkumulierte Menge pro m2**

Jahr	A	B	C	D	E
1987	2.7				
1988	8.3				
1989	12.3				
1990	14.7				
1991	18.9	3.5			
1992	21.3	10.2			
1993	22.6	13.4			
1994	23.8	15.5			
1995	25.2	18.5			
1996	26.9	23.6			2.7
1997	27.2	29.1			5.5
1998	27.4	30.6			8.2
1999	27.6	32.2	1.3		10.9
2000	27.8	32.6	4.4		13.6
2001	28.0		11.9	16.5	4.1
2002	28.0		17.5	19.3	7.7
2003	32.2		23.0	22.2	9.7
2004	32.4		28.1	24.8	11.7
2005	32.5		33.0	27.4	14.5
2006	33.0		38.2	29.5	17.9
2007	33.9		43.5	32.2	17.942857

Legende Raute blau gelb dreieck voll gelb dreieck leer Kreuz blau Quadrat rot



**DOC-Konzentrationen (Jahresmittelwerte) (mg/l)**

Jahr	A (DOC)	E (DOC)	C (DOC)	D (DOC)
1987				
1988				
1989				
1990				
1991	272			
1992	163			
1993	120			
1994	116			
1995	81			
1996	67			97
1997	48			29
1998	46		163	42
1999	50	633	183	68
2000	46	76	99	36
2001	49	68	84	85
2002	32	54	177	39
2003	31	68	74	39
2004	52	95	50	38
2005	29	183	51	30
2006	30	90	52	29
2007				

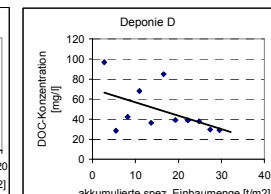
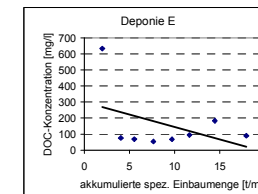
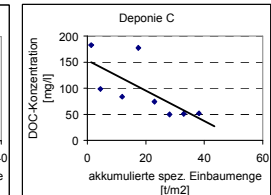
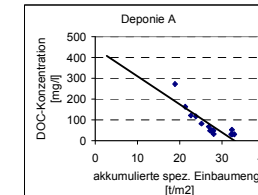
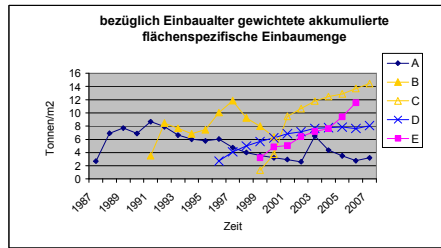


Tabelle 10-3: Gegenüberstellung der Auswertungen zu Einbaudaten zu DOC-Sickerwasserkonzentrationen in den Deponien A, C, E und D.

(Fortsetzung)

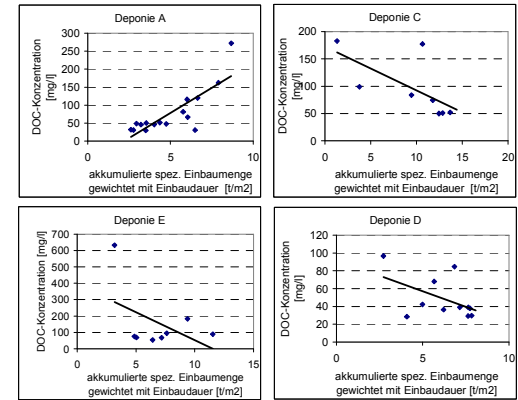
**Akkumulierte Menge pro m2 (gewichtet mit Einbalter)**

	A	B	C	D	E
1987	2.7				
1988	6.9				
1989	7.7				
1990	6.9				
1991	8.7	3.5			
1992	7.9	8.5			
1993	6.6	7.7			
1994	6.0	6.8			
1995	5.8	7.5			
1996	6.0	10.0			
1997	4.7	11.8			
1998	4.0	9.2			
1999	3.5	8.0	1.3	5.7	3.2
2000	3.2	6.4	3.8	6.2	4.9
2001	2.9		9.5	6.9	5.1
2002	2.6		10.7	7.2	6.4
2003	6.5		11.8	7.6	7.2
2004	4.4		12.5	7.8	7.6
2005	3.5		12.9	7.8	9.4
2006	2.8		13.7	7.6	11.5
2007	3.2		14.4	8.1	



**DOC-Konzentrationen (Jahresmittelwerte) (mg/l)**

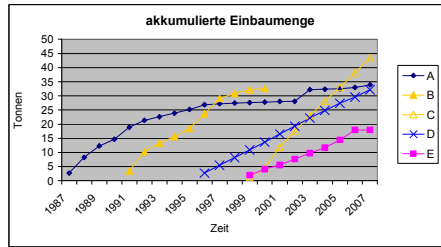
	A (DOC)	E (DOC)	C (DOC)	D (DOC)
1987				
1988				
1989				
1990				
1991	272			
1992	163			
1993	120			
1994	116			
1995	81			
1996	67			
1997	48			
1998	46		163	42
1999	50	633	183	68
2000	46	78	99	36
2001	49	68	84	85
2002	32	54	177	39
2003	31	68	74	39
2004	52	95	50	38
2005	29	183	51	30
2006	30	90	52	29
2007				



x = "akkumulierte Flächenbelastung (t/m2)" mit y = "akkumulierter DOC-Menge (mg/Zeit)"

**Akkumulierte Menge (Tonnen)**

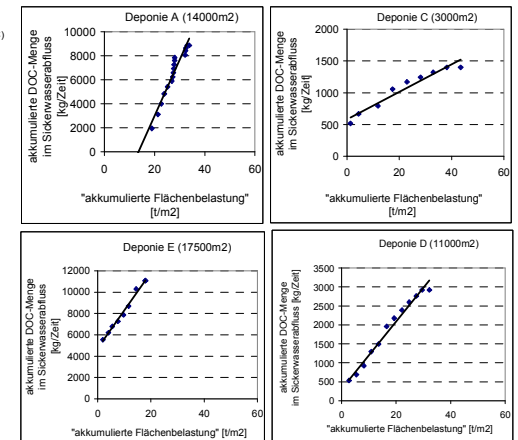
	A	B	C	D	E
1987	2.7				
1988	8.3				
1989	12.3				
1990	14.7				
1991	18.9	3.5			
1992	21.3	10.2			
1993	22.6	13.4			
1994	23.8	15.5			
1995	25.2	18.5			
1996	26.9	23.6			
1997	27.2	29.1		2.7	5.5
1998	27.6	30.8		8.2	4.1
1999	27.4	30.8	1.3	10.9	2.0
2000	27.8	32.6	4.4	13.6	4.1
2001	28.0	11.9	11.9	16.5	5.5
2002	28.0	17.5	19.3	7.7	
2003	32.2	23.0	22.2	9.7	
2004	32.4	28.1	24.8	11.7	
2005	32.5	33.0	27.4	14.5	
2006	33.0	38.2	29.5	17.9	
2007	33.9	43.5	32.2	17.942857	



Legende Raute blau gelb dreieck voll gelb dreieck leer Kreuz blau Quadrat rot

**akkumulierte DOC-Sickerwassermenge in kg/Zeit (Annahme Sickerwassermenge pro Jahr 500l/m2)**

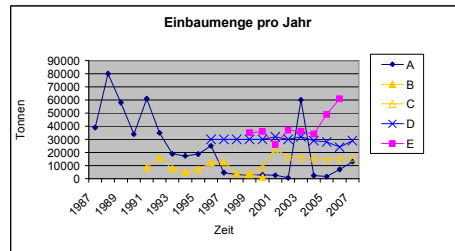
Fläche in m2	14400	17500	3000	11000
500	A (DOC)	E (DOC)	C (DOC)	D (DOC)
1987				
1988				
1989				
1990				
1991	1959			
1992	3129			
1993	3993			
1994	4830			
1995	5416			
1996	5898			
1997	6241			
1998	6572		244	921
1999	6932	5539	518	1296
2000	7261	6199	866	1496
2001	7612	6797	792	1962
2002	7840	7270	1058	2177
2003	8060	7861	1170	2391
2004	8432	8692	1245	2599
2005	8644	10293	1321	2753
2006	8863	11079	1399	2923
2007	8863	11079	1399	2923



Einbaumengen pro Jahr (Tonnen)

	A	B	C	D	E
1987	39000				
1988	80000				
1989	58000				
1990	34000				
1991	61000	8400			
1992	35000	16100			
1993	19000	7600			
1994	17400	5200			
1995	18800	7100			
1996	25000	12300			
1997	4600	13200		30000	
1998	3200	4100		30000	
1999	2600	3300	4000	30000	35000
2000	2900	1000	9300	30000	36000
2001	2600		22400	32000	26000
2002	609		16700	30000	37000
2003	60000		16500	32000	36000
2004	2400		15500	29000	34000
2005	1600		14600	28000	49000
2006	7000		15600	24000	61000
2007	13000		15900	29000	

Legende Raute blau gelb dreieck voll gelb dreieck leer Kreuz blau Quadrat rot



Änderungen DOC-Konzentrationen zwischen vor- und aktuellem Jahr

	A (DOC)	E (DOC)	C (DOC)	D (DOC)
1987				
1988				
1989				
1990				
1991				
1992	-110			
1993	-43			
1994	-4			
1995	-35			
1996	-15			
1997	-19			-68
1998	-2		163	14
1999	4		20	26
2000	-4	-558	-84	-32
2001	3	-7	-15	48
2002	-17	-14	94	-46
2003	-1	13	-103	
2004	21	28	-24	
2005	-22	88	1	-8
2006	1	-93	1	-1
2007				

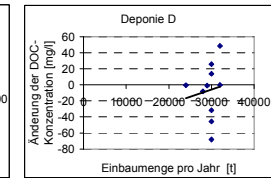
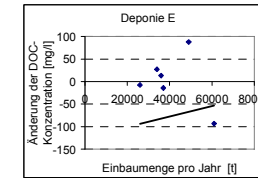
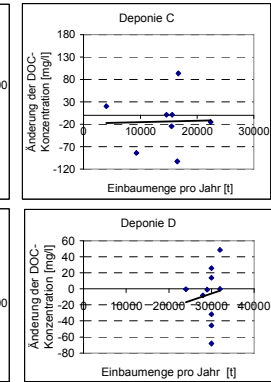
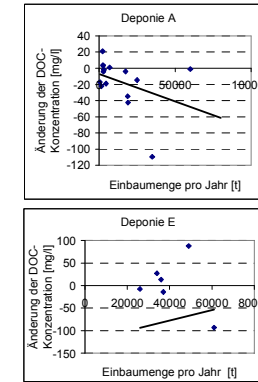


Tabelle 10-4: Gegenüberstellung der Auswertungen zu Einbaudaten zu DOC-Sickerwasserkonzentrationen in den Deponien A, C, E und D.

## 10.2 Qualität Klärschlammasche

Klärschlammasche hat insgesamt eine deutlich bessere Qualität als Kehrichtschlacke. Für die Klärschlammasche aus der SVA Hard liegen Überschreitungen der Inertstoffgrenzwerte einzig für Cu (um 70%) und Zink (um 150%) sowie betreffend dem Arseneluat (um 30%) vor (Bericht „Deponierelevante Eigenschaften von Klärschlammasche“, AWEL 2008). Die Reststoffgrenzwerte werden bezüglich der untersuchten Parameter nicht überschritten. Die TVA-Eluate betragen gegenüber den typischen KVA-Schlackegehalten (Werte Kap. 3.1 Bericht „Qualität konventionell ausgetragener Schlacke“):

### CO<sub>2</sub>-Eluate:

- As: 325% (13 ug/l)
- Ni 37% (23 ug/l)
- Zn: 1% (31 ug/L)
- Cu: <1% (<2 ug/l)
- Al: 14% (26 ug/l)

### H<sub>2</sub>O-Eluate:

- Ammonium: 95% (0.2 mg/l = 30% Grenzwert Inertstoff; 4% Grenzwert Reststoff)
- Fluorid: <40% (<0.2 mg/l)
- Nitrit: 13% (0.02 mg/l)
- P: 500% (0.05 mg/l = 5% Inertstoffgrenzwert; 0.5% Reststoffgrenzwert).

Der pH ist mit 11.4 unter derjenigen der Schlacke und kann in andern Anlagen noch deutlich tiefer liegen. Die löslichen Anteile liegen mit 1.4-1.6% deutlich dem Reststoffgrenzwert von 5%.