

Aus der Sektion Chemie der Karl-Marx-Universität Leipzig

## **Zur Ablagerung der industriellen Abprodukte**

### **2. Mitteilung: Abgrenzung reiner Schadstoffdeponien von gemischten Schadstoffdeponien**

Von

**Joachim Tauchnitz, Heinz Böhm, Wilfried Mahrla, Käte Riedel, Werner Schiller,  
Rolf Schnabel, Horst Scholz und Horst Hennig**

Mit 9 Tabellen

(Eingegangen am 9. Juni 1978)

#### **1. Einleitung**

Gegenwärtig werden industrielle Abprodukte entweder gemeinsam mit Kommunalmüll oder auf sog. Sonder- bzw. Schadstoffdeponien abgelagert.

Damit die in den Betrieben anfallenden Abprodukte mit einem minimalen landeskulturellen Schaden deponiert werden können, ist es notwendig, die Abprodukte von ihrem Schadstoffcharakter her und die Böden der Territorien zu kennen (Tauchnitz u. a. 1977; Glässer u. a. 1976; Tauchnitz u. a. in Vorbereitung).

Die Kenntnis dieser Größen genügt noch nicht, um verantwortungsvoll über die Ablagerung der Abprodukte zu entscheiden, denn eine Deponie kann nur dann als gut bewirtschaftet gelten, wenn sich diese mit unbeträchtlichen Neben- und Nachwirkungen in die Landschaft eingliedert.

In diesem Zusammenhang ist die Frage zu klären, ob sich die gemeinsame Ablagerung der industriellen Abprodukte mit Kommunalmüll oder die reine Schadstoff- bzw. Sonderdeponie besser in die Umwelt einordnet. Um diese Frage zu beantworten, ist es nötig,

- die Mengen und die Arten der industriellen Abprodukte des Territoriums,
- die Mengen und die Arten der kommunalen Abfälle des Territoriums,
- die Prozesse im Deponiekörper,
- die daraus hervorgehenden möglichen Verunreinigungen des Grundwassers,
- die Art der Böden des Territoriums,
- den Einfluß der Abprodukte auf die Böden und
- die Möglichkeiten der Kultivierung des entstehenden Ödlandes zu kennen.

#### **2. Ablagerung von Kommunalmüll**

Die stoffliche Zusammensetzung (Langner 1977, 1974; Frühaufova 1973) beeinflusst wesentlich alle ablaufenden Reaktionen in einem Deponiekörper (Wolters 1965; Wasmer 1969; Grover 1972; Knoch 1973). Die nachweisbaren Endprodukte, die sich als Inhaltsstoffe in der Luft, im Wasser (Tab. 1) und im Boden zeigen, die entstehende Wärme und die vorhandenen Mikroorganismen indizieren das Abfließen von Reaktionen (Pierau 1968, 1969, 1971, 1973; Wasmer 1969; Nöring u. a. 1968; Farkasdi u. a. 1969; Golwer u. a. 1971; Exler 1972; Knoch 1973; Müller 1973; Collins 1974; Anonym 1974 a, b; Schenkel 1974; Stone 1974; Anonym 1976; Pöpel 1976).

Die Selbstreinigung des Grundwasserstromes ist nachweisbar (Rössler 1951; Golwer u. a. 1971; Bruggey u. a. 1972; Exler 1972).

Tabelle 1. Nachgewiesene Inhaltsstoffe aus Sickerwasser der geordneten Deponie Hohenlauff und der Deponie Holzhausen

Inhaltsstoffe		Fuß der Müllkippe (Mitte)	Fuß der Müllkippe (südlich)	Hohenlauff
Cl <sup>-</sup>	1	319,2	833,3	1788
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1	1,7	17,1	125,3
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1	+++	—	+
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1	+	+	n. n.*
Ca <sup>++</sup>	1	364,1	407,6	643
Mg <sup>++</sup>	1	131,6	151,0	740
Mn <sup>++</sup>	1	0,1	+	2,7
Fe <sup>2+/3+</sup>	1	0,4	1,3	2,3
gesamt Härte	2	81,5	92,0	174
Karbonat Härte	2	8,4	26,9	80,9
CO <sub>2</sub> -frei	1	23,1	211,2	170,4
CO <sub>2</sub> -Kalkaggressiv	1	11,3	n. n.*	n. n.*
gebundenes CO <sub>2</sub>	1	66,0	48,4	539,2
NKH	2	73,1	65,1	108
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	1	1224,0	1518,0	2581
KMnO <sub>4</sub> -Verbrauch	1	38,0	296,0	251
H <sub>2</sub> S		+	+	++
pH		7,3	7,5	7,4
Pb <sup>2+</sup>	1	n. b.	n. b.	2,0

\* n. b. nicht bestimmt; n. n. nicht nachweisbar

<sup>1</sup> mg/l<sup>2</sup> °dHNKH  $\triangle$  Nichtkarbonathärte

### 3. Deponie nichtverwertbarer industrieller Abprodukte

Die Problematik der Deponie industrieller Abprodukte ergibt sich aus deren unterschiedlichen Beschaffenheit und der möglichen Schädigung (Glässer u. a. 1976; Tauchnitz u. a. in Vorbereitung; Autorenkollektiv 1975; Ströhl 1966; Pierau 1973). Da industrielle Abprodukte fest, flüssig, schlammförmig und pastös anfallen, ergeben sich auch zusätzliche technologische Probleme, diese ähnlich dem Kommunal Müll (Tosch 1974; Schöler 1972, 1973) geordnet abzulagern.

#### 3.1. Die reine Schadstoffdeponie

Eine reine Schadstoffdeponie ist eine Deponie, bei der durch das Verhältnis der verkippten Mengen Schadstoffe zu Kommunal Müll oder schadstofffreie Abprodukte eine Sättigung des Deponiekörpers mit Schadstoffen erfolgt, der Deponiekörper nicht mehr in der Lage ist, die Schadstoffe zurückzuhalten, und die mikrobiologischen Aktivitäten im Deponiekörper erlöschen. Der Deponiekörper ist nur durch besondere, aufwendigere Maßnahmen kultivierfähig.

##### 3.1.1. Schadstoffdeponie Ganzig, Kreis Oschatz

Vor 12 Jahren sollten gemäß eines gestellten Antrages auf Deponie jährlich 11 000 m<sup>3</sup> Naßasche, 500 m<sup>3</sup> rußhaltiger Abfall und 3 000 m<sup>3</sup> Gummi im Steinbruch Ganzig verkippt werden. Kurz nach Erteilung der Kippgenehmigung für o. g. Abprodukte wurden die in Tab. 2 angegebenen Abprodukte zusätzlich abgekippt. Diese sind Wassershadstoffe der Gefahrenklasse I (Tauchnitz u. a. in Vorbereitung). Sie wurden etwa 8 Jahre an dieser Stelle verkippt und waren „nebenbei“ eine Quelle von starken Luftverunreinigungen wegen häufig auftretender Brände.

Tabelle 2. Auf der Deponie Ganzig deponierte Schadstoffe

Beschaffenheit des Schadstoffes	Menge (m <sup>3</sup> /a)	verkippte Schadstoffe
fest	12 600	Ölerden, Hydroxide, Salze, Biozide
schlammförmig	5 100	Teere, Ölschlämme, Fettschlämme, Ölzunder
flüssig	2 100	Bohremulsionen, phenolhaltige Abwässer, chlorhaltige Lösungsmittel, Laugen, Säuren, Tenside, andere Lösungsmittel
gesamt	19 800	

### 3.1.2. Schadstoffdeponie Schädgrube, Kreis Altenburg

Innerhalb von 6 Jahren wurden ausschließlich etwa 500 000 m<sup>3</sup> Gießereialsand abgelagert. Durch den Mangel an Feinstmaterial und Schluff hat der Gießereialsand ein geringes Sorptionsvermögen und somit einen hohen Durchlässigkeitsgrad für Wasser.

In dem Altsand sind im wäßrigen Auszug maximal 70 ppm und im sauren, destillativen Auszug maximal 28 ppm wasserdampf-flüchtige Phenole nachweisbar. Der Gesamtphenolgehalt im Altsand beträgt 9100 ppm.

### 3.1.3. Schadstoffdeponie Belgern, Kreis Torgau

Teere und phenolhaltiges Wasser wurden in das mit Wasser gefüllte Tonrestloch verkippt. Die in das Restloch eingebrachten vernachlässigbaren Mengen von Siedlungsabfällen sind an einer anderen Stelle abgelagert worden. Es trat keine Vermischung des Kommunalmülls mit den industriellen Abprodukten ein. Die Teere enthalten etwa 15 Vol.-% Kreosot.

Einige Inhaltsstoffe des anstehenden Wassers der Deponie sind der Tab. 3 zu entnehmen.

### 3.1.4. Deponie Kanena, Stadt Halle

Mehr als 30 Jahre wurden in einer mit Wasser gefüllten ehemaligen Braunkohlengrube Kommunalmüll, Industrieabprodukte aller Art (Tauchnitz, Scholz 1977) und landwirtschaftliche Abprodukte des Einzugsbereiches der Stadt Halle abgelagert. Einige Inhaltsstoffe des anstehenden Wassers der Deponie sind der Tab. 4 zu entnehmen.

### 3.1.5. Prozesse in einer reinen Schadstoffdeponie

Die in den reinen Schadstoffdeponien ablaufenden Reaktionen sind weitestgehend auf chemische und physikalische Prozesse beschränkt, d. h., es finden Löse- und Wanderungsprozesse sowie chemische Reaktionen statt. Innerhalb eines solchen Deponiekörpers ist der mikrobielle Abbau gehemmt.

Diese Betrachtung lehnt sich an die Kenntnis der Beeinträchtigung der Bioaktivität der Mikroben durch Giftstoffe im wäßrigen Milieu an (Uhlmann 1975).

In der Schadstoffkippe Ganzig finden aufgrund der Verkipfung der alkalischen Härtesalze Verseifungen chlorhaltiger Kohlenwasserstoffe statt. Öle und Fette werden durch die verkippten Alkalien, Tenside und Lösungsmittel emulgiert oder gelöst und wandern durch die Klüfte des Steinbruchs in das Grundwasser. Die sauren Abprodukte werden durch Aschen und andere basische Chemikalien neutralisiert. Darüber hinaus ist die Reaktion der Tenside mit den Härtebildnern der Asche möglich. Durch die bei auftretenden Schwelbränden entstehende Wärme werden die Prozesse begünstigt. Die Wirkung der Asche als Sorptionsmittel kommt bei der an diesem Standort vorgenommenen Methode der Verkipfung nicht zur Geltung. Die Verkipfung der Schadstoffe

Tabelle 3. Konzentrationen einiger Inhaltsstoffe von Wasser verschiedener Industrie-  
deponien <sup>1</sup>

Inhaltsstoffe	Belgern (1977)	Reinhild-Süd (Fuß der Kippe) (1977)	Kanena (1977)	Lochau (1977)	Leipzig Leinestr. (1977)
Cl <sup>-</sup>	60,3	771,0	2638,0	1276,6	1666,6
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	6,5	25,0	97,5	1,5	3,6
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	+++	+++	—	+	0,78
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	+	3,6	+	2,3	5,2
Mn <sup>++</sup>	0,2	0,6	+	0,5	n. b.
Fe <sup>2+/3+</sup>	1,1	0,6	0,9	2,7	175,0
ges. Härte	22,6	49,8	n. b.	53,4	174,0
Karb. Härte	3,2	17,4	n. b.	9,8	45,4
CO <sub>2</sub> frei	9,9	28,6	n. b.	19,8	184,8
CO <sub>2</sub> -Kalk-aggr.	8,7	n. n.	n. b.	5,6	0
Gb. CO <sub>2</sub>	25,3	136,4	n. b.	77,0	356,4
NKH	19,4	32,4	n. b.	43,6	128,6
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	385,0	827,0	2658,1	894,6	2024,6
KMnO <sub>4</sub> -Verbr.	117,0	107,0	850,0	107,0	82,0
Phenole (wdfl.) <sup>2</sup>	9,0	0,15	0,6	+	0,02
CHCl <sub>3</sub> -extrahier- bare Stoffe	n. b.	n. b.	54,0	n. b.	8,0
H <sub>2</sub> S	n. b.	n. n.	+++	n. n.	n. n.
pH	7,2	7,5	8,6	7,4	7,1

<sup>1</sup> Legende s. Tab. 1; <sup>2</sup> wdfl.  $\triangle$  wasserdampfflüchtig

erfolgte von allen Seiten des Steinbruchs. Die flüssigen Anteile sammelten sich auf dessen Sohle und versickerten in den Klüften.

Das Mengenverhältnis Schadstoff zu Kommunalmüll oder schadstofffreien Abprodukten mit 1,4 zu 1 ist als ungünstig anzusehen. Die Schadstoffe werden von der verkippten Asche nicht zurückgehalten.

Die in der Deponie Schädegrube abgelagerten Altsande lassen wegen der hohen organisch-chemischen Belastung und dem geringen Rückhaltevermögen für Wasser keine oder nur sehr wenig mikrobielle Reaktionen zu. Es sind fast ausschließlich Löse- und Migrationsvorgänge der Komponenten möglich.

Die Verkippungstechnologien der Deponien Belgern und Reinhild-Süd sind vergleichbar. Kommunalmüll und die schadstoffhaltigen Abprodukte werden an verschiedenen Stellen abgelagert. Es findet keine Vermischung beider Komponenten statt. Die Schadstoffe können ungehindert in die anstehenden Oberflächengewässer abwandern. Die angegebenen Werte für wasserdampfflüchtige Phenole der Auslaugungswässer in Tab. 3 indizieren das.

Obwohl die Schadstoffe auf der Deponie Kanena vermischt abgelagert wurden, sind trotzdem hohe Konzentrationen wasserdampfflüchtiger Phenole, chloroformextrahierbarer Stoffe und ein hoher KMnO<sub>4</sub>-Verbrauch nachweisbar. Ursachen dafür sind einmal die direkte Verkippung in ein Oberflächenwasser und wahrscheinlich ein ungünstiges Verhältnis der verkippten Menge schadstoffhaltigem zu kommunalmüllähnlichem Material.

Die Verkippung in ein Oberflächenwasser hat die direkte Durchdringung des Mülls mit Wasser zur Folge und fördert die Auslaugung. Die ablaufenden mikrobiellen Reaktionen werden in den anaeroben Bereich gedrängt (Pöpel 1976; Pierau 1973). Der

hohe Ammoniumgehalt, die starke Schwefelwasserstoffbildung und der hohe Kaliumpermanganatverbrauch beweisen das.

Der aerobe Abbauprozess im Deponiekörper Kanena ist im Vergleich zu den Deponien Belgern und Reinhild-Süd vernachlässigbar gering. Die höheren Konzentrationen von Nitrit- und Nitrationen zeigen dort verstärkte aerobe Prozesse an.

### 3.2. Die gemischte Schadstoffdeponie

Eine „gemischte“ Schadstoffdeponie ist eine Deponie, bei der durch das Verhältnis der verkippten Mengen Schadstoff zu Kommunal Müll oder schadstofffreien Abprodukten keine Sättigung des Deponiekörpers durch Schadstoffe erfolgt. Der Deponiekörper ist sorptionsfähig, und die mikrobiologischen Abbauprozesse sind wirksam. Der Deponiekörper ist kultivierfähig.

#### 3.2.1. Schadstoffdeponie Wintersdorf, Kreis Altenburg

Seit 1973 wird der Standort Wintersdorf als Deponie genutzt. In Tab. 4 sind die abgelagerten Materialien angeführt.

Tabelle 4. Deponie Wintersdorf; abgelagerte Abprodukte

Beschaffenheit	Menge (m <sup>3</sup> /a)	Material
fest	62 000	Kommunalmüll, schadstofffreie Abprodukte
fest	8 003	Ölerten, Salze, Biozide, Farben
schlammförmig	1 376	Ölschlämme, Fettschlämme, Galvanikschlämme, Silironschlämme
flüssig	1 676	Schlachthofabfälle, Laugen, Lösungsmittel

Es werden im Durchschnitt 11 000 m<sup>3</sup> Schadstoffe jährlich auf der Deponie Wintersdorf abgelagert.

#### 3.2.2. Schadstoffdeponie Rusendorf, Kreis Altenburg

Die Deponie Rusendorf ist ein Braunkohlentagebaurestloch. Bis 1969 war sie aufgrund der Kipptechnologie als eine gemischte Schadstoffdeponie anzusehen. Die teer- und anderen kohlenwasserstoffhaltigen Abprodukte wurden, vermischt mit Asche und Koks, abgelagert. Seit 1969 werden die teer- und paraffinhaltigen Abprodukte nicht mehr mit Asche und Koks vermischt abgelagert, sondern auf einem Aschespülkegel abgesetzt (Tab. 5).

Die 180 000 m<sup>3</sup>/a Asche und Kohletrübe werden mit etwa 8 Mill. m<sup>3</sup>/a Kreislaufwasser gespült. Ungefähr 1,5 Mill. m<sup>3</sup>/a Wasser werden in die Vorflut geleitet (Überschufwasser). Etwa 600 000 m<sup>3</sup> Wasser stehen im Restloch an.

#### 3.2.3. Schadstoffdeponie Phönix-Süd, Kreis Altenburg

Als Deponie wird das Restloch seit 1969 genutzt. Mit phenolhaltigem Wasser werden 180 000 m<sup>3</sup>/a Asche, die 30 000 m<sup>3</sup> Koks und Winklergeneratorstaub enthalten, gespült. Die Asche wird mit 7,8 Mill. m<sup>3</sup>/a Wasser in das Tagebaurestloch gespült. Das Wasser wird im Kreislauf genutzt. Im Tagebaurestloch stehen etwa 5 Mill. m<sup>3</sup> Wasser an.

Ungefähr 4,4 Mill. m<sup>3</sup>/a Wasser werden in die Vorflut eingeleitet (Überschufwasser). Die anstehende Wasserfläche ist 94 000 m<sup>2</sup> groß. Dem Aschespülwasser werden etwa 220 000 m<sup>3</sup>/a Prozesswasser eines petrochemischen Betriebes zugeführt.

#### 3.2.4. Deponie Leinestraße, Stadt Leipzig

Die Deponie Leipzig-Leinestraße dient seit etwa 38 Jahren der Entsorgung der Stadt Leipzig und ihrer Umgebung von Kommunal Müll und industriellen Abprodukten der verschiedensten Arten (Tauchnitz u. a. 1977). Sie ist ein 30 m hoher Berg.

Tabelle 5. Deponie Rusendorf

Material	Menge in m <sup>3</sup>	Zeiträume	Verkipfungstechnologie
Nafasche	4 530 000	1938...1969	von Waggons abgekippt
Kokshaltiges Material	93 000	1938...1969	vermischt mit der Nafasche verkippt
Braunkohlentrübe	60 000/a	1938...	verspült
Teerrückstände	4 500/a	1955...	trocken auf Aschespülkörper verkippt (bis 1969 mit Asche ver- mischt)
Raffinationsrückstände der Paraffinraffination	3 000/a	1955...	trocken auf Aschespülkörper verkippt (bis 1969 mit Asche ver- mischt)
Rückstände der Korrosionsschutz- mittelproduktion (Additiverzeugung)	1 500/a	1955...	trocken auf Aschespülkörper verkippt (bis 1969 mit Asche ver- mischt)
Kraftwerksasche	120 000/a	1969...	verspült
Rückstände der Ober- flächenentwässerung (Asche, Koks, Erd- massen)	5 000/a	1955...	trocken auf Aschespülkörper verkippt

Der Anteil der kommunalmüllähnlichen und schadstofffreien Materialien überwiegt den schadstoffhaltigen bedeutend. Die angewendete Kipptechnologie entspricht nicht immer den Anforderungen einer geordneten, gemischten Ablagerung, so daß an den Böschungen auch schadstoffhaltige Abprodukte unvermischt abgelagert werden.

### 3.2.5. Deponie Lochau, Saalkreis Halle

Die Deponie Lochau befindet sich in einem Braunkohlentagebaurestloch. Seit 1976 ist diese Anlage in Betrieb. Es werden industrielle Abprodukte, einschließlich Schadstoffe und toxische Abprodukte, gemeinsam mit Kommunalmüll abgelagert.

Verkippt wurden im ersten Jahr der Inbetriebnahme ungefähr 820 000 m<sup>3</sup> Kommunalmüll, kommunalmüllähnliche Abprodukte, Bauschutt und andere schadstofffreie Abprodukte mit etwa 4000 m<sup>3</sup> schadstoffhaltigen.

### 3.2.6. Prozesse in einer gemischten Schadstoffdeponie

Die abgelagerten industriellen Abprodukte haben im Gegensatz zu einer reinen Schadstoffdeponie die Möglichkeit, wesentlich länger im Deponiekörper zu verweilen, und die Wahrscheinlichkeit, mit den Anteilen des Kommunalmülls oder dessen Reaktionsprodukten zu reagieren, wird größer (Wolters 1965).

Der Wassergehalt (Collins 1974; Pierau 1969; Cube 1975; Stegmann 1975; Tosch 1976; Pierau 1968), die erhöhte Temperatur (Collins 1974; Pierau 1968) im Kommunalmülldeponiekörper und die Schwerkraft initiieren die Lösevorgänge und die Migration der Schadstoffe. Die Asche, ein wesentlicher Bestandteil des Kommunalmülls, besitzt aufgrund ihrer Zusammensetzung (Tab. 6) hohe Sorptions- und basische Eigenschaften.

Tabelle 6. Ascheanalysen von Hausbrandasche

Inhaltsstoffe	Braunkohlenbrikettasche	
	Probe 1 in %	Probe 2 in %
Glühverlust (815 °C)	4,14	7,54
SiO <sub>2</sub>	22,75	18,01
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,17	24,35
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,84	6,37
CaO	22,54	22,54
MgO	2,74	5,36
SO <sub>3</sub>	24,62	15,61
S <sup>-</sup>	0,25	0,10
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	n. n.	n. n.
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	n. n.	n. n.

Ölanteile des Wassers werden durch Asche und feinsandigen Bims (Schwille u. a. 1962; Prier u. a. 1969) ad- und absorbiert. Schlacken, Koks und Asche ad- und absorbieren Phenole (Rothe u. a. 1974).

Die Sorption im feinsandigen Bims läßt kohlenwasserstoffoxidierenden Mikroorganismen Zeit, die Öle umzusetzen (Schwille u. a. 1962). Diese Mikroben werden auch im „gesunden“ Deponiekörper wirksam.

Mit 11–24 % ist Eisenoxid ein bedeutender Bestandteil der Asche. Eisenoxid bzw. -hydroxid ist in der Lage, Öl und Fett zu sorbieren.

Die Eisen- und Kalziumoxide der Asche sind in der Lage, schwerlösliche Verbindungen mit Phenolen (Rothe u. a. 1974; Frotscher 1961) zu bilden. Tenside werden durch Härtebildner der Aschen zu schwerlöslichen Verbindungen umgesetzt.

Obwohl phenolhaltige Teere mit einem Anteil von 18 Vol. % Kreosoten und 13 % Paraffinen, Raffinationsrückständen der Paraffinraffination und ölhaltigen Abprodukten in das Restloch Rusendorf abgelagert werden, sind Phenole in dem anstehenden Wasser nicht nachweisbar, und der Ölgehalt ist kleiner als 1 mg/l. Dieses Ergebnis beweist das Vermögen von Asche, Braunkohlentrübe, Schlacken und Koks, derartige Bestandteile zu adsorbieren. Analog ist der niedrige Gehalt an Phenolen in dem anstehenden Gewässer (Rücklaufwasser) des Tagebaurestloches Phoenix-Süd zu interpretieren (Tab. 7).

Tabelle 7

	Rusendorf (1976)	Phoenix-Süd (1977)		
		Prozeßwasser	Einspülwasser	Rücklaufwasser
pH	8,7	n. b.	8,6	8,5
Gesamthärte [°dH]	74,2	n. b.	n. b.	n. b.
Karbonathärte [°dH]	2,2	n. b.	n. b.	n. b.
Salzgehalt [mg/l]	2154	n. b.	n. b.	n. b.
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	1199	n. b.	500–900	600–1000
Phenole [mg/l] (wdfI)	n. n.	450–1900	15–41	Spuren – 0,1
Öl [mg/l]	< 1	n. b.	n. b.	n. b.
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [mg/l]	n. b.	13000–16500	900–1200	140–220
H <sub>2</sub> S [mg/l]	n. b.	n. b.	28–180	0,0

Prozeßwasser wird mit relativ unbelastetem Wasser vermischt. Diese Mischung dient zum Verspülen von Kraftwerksasche. Danach geht das Wasser als Rücklaufwasser in das Kraftwerk und wird erneut zum Verspülen der Asche verwendet.

Die Deponie Rusendorf ist auch aufgrund der Kipptechnologie für Schadstoffe bis 1969 als eine exakte gemischte Schadstoffdeponie zu bezeichnen. Seit 1969 werden die Schadstoffe unvermischt abgelagert. Die Pufferkapazität der Deponie Rusendorf ist jedoch so groß, daß trotz dieser Technologie noch keine wesentliche Beeinträchtigung des anstehenden Wassers eingetreten ist. Deshalb kann diese Kippe noch als eine „quasi“ gemischte Schadstoffdeponie bezeichnet werden. Die Kipptechnologie weist jedoch auf die Entwicklung zu einer reinen Schadstoffdeponie hin.

Die austretenden Sickerwässer der Deponien Leipzig-Leinestraße und Lochau weisen auf ein gutes Rückhaltevermögen bezüglich der Phenole und chloroformextrahierbaren Stoffe hin (s. Tab. 3). Die in Tab. 6 angegebenen Inhaltsstoffe der Aschen, die gebrannten Oxide und der ausgegaste Kohlenstoff lassen erkennen, daß Asche nicht nur ölige, sondern auch andere organische Substanzen, wie Biozide, ad- bzw. absorbieren kann.

Es läßt sich zu dem Rückhaltevermögen eines Kommunal Müll-Deponiekörpers für Schadstoffe folgendes aussagen.

Asche, Schlacke, Erdmassen, schon vorhandener Humus und andere sorptionsfähige Materialien ad- und absorbieren Schadstoffe oder schwer umsetzbare Stoffe der Industrie. Folglich verdünnt sich bedenkliches Material durch das unterschiedliche Retentionsverhalten der Schadstoffe im Bereich der Wanderungstrecke. An den oben genannten Stoffen finden auch Ionenaustauschvorgänge statt.

Von großer Bedeutung für die Vorbereitung und das Betreiben von Deponien ist der Umstand, daß mit der Mächtigkeit des Deponiekörpers der Sickerwasseranfall abnimmt. Das Wasserrückhaltevermögen des gesamten Deponiekörpers wird größer (Wasmer 1969; Tosch 1976; Pierau 1968). Die geringere Bildung von Sickerwasser bedeutet längere Aufenthaltsdauer der Schadstoffe im Deponiekörper. Die Wahrscheinlichkeit der Umsetzung der Schadstoffe innerhalb der Deponie wird größer, die Gefahr der Grundwasserverunreinigung geringer. Die Verweilzeit eines wanderungsfähigen Substrates in einem derartigen Deponiekörper ist größer als in einer reinen Schadstoffdeponie.

Die Verdünnung der Schadstoffe ist eine Voraussetzung dafür, daß biochemische Abbauprozesse wenig oder nicht gehemmt werden. Die höhere Verweilzeit begünstigt die weitere Umsetzung im Deponiekörper bis zur Mineralisierung und Humifizierung. Bedingung für eine umweltfreundliche Deponie ist: Die Verweilzeit der Schadstoffe muß größer sein als ihre Umsetzungsdauer, und die Verdünnung muß derartig sein, daß ein mikrobieller Abbau möglich ist.

Bei der anaeroben Verrottung des Kommunal Mülls entstehender Schwefelwasserstoff wandelt leichtlösliche Schwermetallverbindungen in schwerlösliche Sulfide um (Rasch 1974; Hacheney 1974). Der Schwermetallgehalt der Sickerwasser der gemischten Deponie EC (Knoch 1973) ist vergleichbar mit denen von reinen Kommunal Mülldeponien, wie ZDE, TW und MG (Knoch 1973), obwohl auf der Deponie EC auch industrielle Abprodukte abgelagert werden.

Die Schwermetalle sind in der Lage, neben schwerlöslichen sulfidischen und oxidischen Verbindungen auch schwerlösliche Komplexverbindungen mit dem sich bildenden Ammoniak oder den organischen Verbindungen zu bilden und im gemischten Deponiekörper zu bleiben. Welche Leistungen die Mikroorganismen bei der Verrottung bzw. bei dem Abbau bestimmter Abprodukte vollbringen (Schlegel 1972), zeigen der Abbau von Plasten (Valdmaa 1976; Anonym 1973; Chrometzka 1975; Wallhäuser 1972; Schönborn 1972), Xenobiotika (Müller 1974), Ölen (Schwille 1962; Prier 1969; Kincannon; Pierau 1973) in höhere Säuren (Naphthensäuren) und Ammoniakstickstoff, von Glas (Rhode 1964), die biochemische Reinigung des Sickerwassers (Wallhäuser



1972; Farkasdi u. a. 1969), der Abbau von Detergentien (Walther 1970; Mach 1969; Winter 1962; Knauth 1964), Phenolen (Müller 1965; Krüger 1959; Richter 1961; Meissner 1960) und Herbiziden (Wotzka 1972).

Die Inhaltsstoffe der Asche zeigen basische Eigenschaften an. Asche kann zum Neutralisieren von sauren Produkten verwendet werden (Tab. 8).

Tabelle 8. Notwendige Säuremenge zum Neutralisieren von 5,0 g Asche mit 0,1 n Salzsäure

		Hausbrand- asche I	Hausbrand- asche II	BFA <sup>1</sup> III	BFA IV	Bemerkungen
Titration	1.	9,5	9,2	9,0	9,0	pH vor Titration
		37,7	24,2	83,6	83,3	Verbrauch in ml
mit Bodensatz	2.	7,2	7,2	7,3	7,4	pH nach Titration
Titration der Filtrate	1.	8,5	8,6	10,5	10,5	pH vor Titration
		0,8	1,1	2,7	2,7	Verbrauch in ml
der Aschen	2.	6,5	6,0	6,0	6,0	pH nach Titration

<sup>1</sup> BFA Braunkohlenfilterasche

Die Asche verfügt über einen sofort neutralisationsbereiten Anteil und über einen langsam wirkenden neutralisierenden Teil. Dadurch ist der Asche eine langanhaltende „Pufferwirkung“ bezüglich saurer Produkte zuzuschreiben. Schwermetalloxide, insbesondere die amphoteren und sauren, werden durch den Kalkgehalt der Asche zu schwerlöslichen Kalziumsalzen umgesetzt, z. B. reagiert das Vanadiumpentoxid der Aschen aus den Ölheizhäusern zu schwerlöslichem Kalziumorthovanadat.

#### 4. Abgrenzung der „reinen“ zur „gemischten“ Schadstoffdeponie

Das Verhältnis der verkippten Mengen schadstoffhaltiger Abprodukte zu Kommunal Müll bzw. kommunalmüllähnlichen oder schadstofffreien Abprodukten ist von Bedeutung für die Frage, welche Reaktionen im Deponiekörper ablaufen.

In „reinen“ Schadstoffdeponien werden soviel Schadstoffe verkippt, daß Sättigung des Deponiekörpers mit Schadstoffen erfolgt und kein Rückhaltevermögen mehr nachweisbar ist. Der verkippte Schadstoff „bricht“ durch den Deponiekörper. Die mikrobiologischen Prozesse sind stark gehemmt. Die hohen Konzentrationen der Schadstoffe führen zu Vergiftungen der Mikroorganismen. Diese Deponieflächen sind nicht oder nur sehr schwierig kultivierbar und stellen Langzeitschadstellen in der Natur dar. Werden die Mengenverhältnisse so gewählt, daß derartige negative Erscheinungen eines Deponiekörpers nicht auftreten, sind die Bedingungen für eine „gemischte“ Schadstoffdeponie eingehalten.

Die Deponiekörper lassen sich durch den Quotienten  $M$  grob einteilen und beurteilen.

$$M = \frac{\text{Menge der verkippten schadstoffhaltigen und toxischen Abprodukte}}{\text{Menge des verkippten Kommunal Mülls und schadstofffreier Abprodukte}}$$

In der Menge der verkippten Schadstoffe sind nicht nur reine Schadstoffe enthalten, sondern auch Materialien, die selbst keine Schädigung zeigen, aber mit Schadstoffen und toxischen Produkten kontaminiert sind (Tauchnitz u. a. in Vorb.). Die Einteilung der Schadstoffe und toxischen Abprodukte in Gefahrenklassen bleibt bei dieser Betrachtung unberücksichtigt.

Tabelle 9. Quotienten der in dieser Arbeit angeführten Deponien

Deponie	M
Ganzig	1,4
Schädegrube	$\infty$
Belgern	$\infty$
Wintersdorf	$2 \cdot 10^{-1}$
Rusendorf	$6 \cdot 10^{-2}$
Lochau	$5 \cdot 10^{-3}$
Phoenix-Süd	—
Kanena	?
Leipzig-Leinestraße	?
Reinhild-Süd	?
EC	?
MG	0
TW	0
Hohenlauff	0
Holzhausen	0

Die Sickerwasseranalysen, die Kultivierungsmöglichkeiten (Tauchnitz 1978) und der Habitus der Deponien zeigen, daß bei entsprechend angewendeter Kipptechnologie Deponien mit einem M-Wert  $< 0,2$  als gemischte Deponien angesehen werden können. Da in jedem Fall eine Verunreinigung des Grundwassers erfolgt, sind derartige Deponien prinzipiell auf Böden der Kategorie IV (Glässer u. a. 1976) zu errichten (Wilderer u. a. 1972).

### 5. Experimenteller Teil

Die Wasseranalysen wurden nach den in der DDR gebräuchlichen Methoden durchgeführt (Autorenkollektiv 1971–1976).

Die Gesamtphenole wurden bestimmt nach der Methode des Deutschen Einheitsverfahrens (Autorenkollektiv 1960).

### Zusammenfassung

Aus den gesamten Erscheinungsformen der Deponien entwickelt sich die Erkenntnis, daß die „gemischten geordneten Deponien“ aus landeskulturellen Gründen vorteilhafter als die reinen Schadstoffdeponien sind. Reine Schadstoffdeponien stellen sehr komplizierte Schadstellen in der Landschaft dar.

Durch die gemischte, geordnete Deponie von Schadstoffen mit Kommunal Müll besteht die Möglichkeit, die Schadwirkung der abgelagerten Schadstoffe durch Abbauprozesse zeitlich zu begrenzen und zu vermindern. Voraussetzung für eine derartige Möglichkeit ist, daß die Abprodukte in bestimmten Mengenverhältnissen abgelagert und vermischt werden.

Die Deponie soll in jedem Fall auf einem Boden der Kategorie IV errichtet werden, da sonst eine irreversible Grundwasserverunreinigung erfolgt.

### Schrifttum

- Anonym: Gasentwicklung im Müll. Städtetag (Stuttgart) 27 (1974a) 697–701.  
 Anonym: Sanitary Landfill – A State of the Study. Lexington, Mass. (USA), Toronto, London: Lexington Books, D. C. Heath and Company 1974b, 119 S.  
 Anonym: Abbau von Abfällen in Mülldeponien. Berichte aus Naturwiss. Rdsch. 261 (1973) 534–540.

- Anonym: Täglich 10 000 m<sup>3</sup> Methan aus Hausmüll. U – das technische Umweltmagazin (Würzburg) H. 4 (1976) 6.
- Autorenkollektiv: Institut für Wasserwirtschaft, Wasserschadstoffkatalog. Berlin: Verl. f. Bauwesen 1975.
- Autorenkollektiv: Institut für Wasserwirtschaft. Ausgewählte Methoden der Wasseruntersuchung. Jena: VEB Gustav-Fischer-Verlag 1971–1976.
- Autorenkollektiv: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung. 2. u. 3. Aufl. Weinheim: Verlag Chemie GmbH 1954 bzw. 1960.
- Bruggey, I., und K.-U. Weyer: ... fließt nicht immer zum nächsten Bach. Umwelt 4 (1972) 43–46.
- Chrometzka, P., und F. Kneer: Untersuchungen zur Destruktierung verschiedener Kunststoffe bei der gesteuerten, aeroben Kompostierung. Forum Umwelthygiene 8 (1975) 225–230.
- Collins, H. J.: Lagerungsdichte, Abbautemperaturen, Sickerwasseranfall und Belastung in einer Deponie. Müll u. Abfall H. 2 (1974) 71–81.
- Cube, S.: Widersprüche bei der Forschung über Abfallbeseitigung in Mülldeponien. Müll u. Abfall H. 2 (1975) 43–47.
- Exler, H. J.: Ausbreitung und Reichweite von Grundwasserverunreinigungen im Unterstrom einer Mülldeponie. Gas-Wasser-Fach 113 (1972) 101–112.
- Farkasdi, G., A. Golwer, K. H. Knoll, G. Matthes und W. Schneider: Mikrobiologische und hygienische Untersuchungen im Unterstrom von Abfallplätzen. Städtehygiene 20 (1969) 25–31.
- Frotscher, O.: Abwasserreinigung durch Aschefiltration. Wasserwirtsch.-Wassertechn. 11 (1961) 416–419.
- Frühaufova, I., und H. Saresova: Analysen über die Abfälle der Stadt Teplice. Praha: Vyzk. a vyv. ustav mistn hospod. (VUMH) 1973, 19 S.
- Glässer, W., K. Riedel und J. Tauchnitz: Voraussetzung und Gestaltungsmöglichkeiten von Karten zur schadlosen Ablagerung von Abprodukten und zur Darstellung von havariegefährdeten Gebieten. Hercynia N. F., Leipzig 13 (1976) 369–379.
- Golwer, A., G. Matthes und W. Schneider: Effects of waste deposits on ground-water quality. Symposium on air and water pollution. General Assembly of IUGG and International Association of Scientific Hydrology, Moscow 1971.
- Golwer, A., et al: Einflüsse von Abfalldeponien auf das Grundwasser. Der Städtetag 2 (1971) 119–124.
- Grover, E. H.: Guidelines for sanitary Landfills – Groundwater and Percolation. Compost Science, Emmaus, Pa. (USA) 13 (1972) 12–16.
- Hacheny, W.: Die Neutralisationsdeponie. Wasser u. Abwasser 9 (1974) 270–271.
- Kincannon, C. B.: Environment Protection Agency Report, No. EPA-R2-72-110, 115 S.
- Knauth, H.: Toxizität und Abbaubarkeit von Detergentien im Abwasser in der Sicht der Abwasserreinigungstechnik. Wasserwirtsch. – Wassertechn. 14 (1964) 70–74.
- Knoch, J.: Untersuchung und biologische Reinigung von Sickerwasser aus Mülldeponien. Von der Fakultät für Bauwesen der TU Carola Wilhelmina zu Braunschweig. Diss. 1973.
- Krüger, W.: Beitrag zur Reinigung phenolhaltiger Abwässer durch Bodenbehandlung. Wasserwirtsch. – Wassertechn. 9 (1959) 299–304.
- Langner, G.: 4. Zwischenbericht über die Kennwertermittlung von Haushaltmüll. Inst. f. Kommunalwirtsch., Abt. Stadtreinigung. Dresden 1974.
- Langner, G., und A. Kegel: Größenordnung und Variabilität analytischer Kennwerte von Haushaltmüll der Stadt Dresden. Z. f. die gesamte Hygiene u. ihre Grenzgeb. 23 (1977) 109–115.
- Mach, F., et al: Versuche zur Bestimmung des Wirkungsgrades biologischer Reinigungsanlagen beim Abbau von Detergentien. Wasserwirtsch. – Wassertechn. 19 (1969) 15–20.
- Meissner, B.: Die Abwässer eines Braunkohlenkombinats und ihre vorflutgerechte Reinigung. Wasserwirtsch. – Wassertechn. 10 (1960) 348–356.

- Müller, W.: Untersuchungen über den Phenolabbau im Oxydationsgraben. Wasserwirtsch. – Wassertechn. **15** (1965) 269–271.
- Müller, G.: Bakteriologische Untersuchungen an Müllsickerwässern. Gewässerschutz – Wasser – Abwasser (Aachen) **10** (1973) 539–551.
- Müller, W. P., und F. Korte: Mikrobielle Umwandlung von Xenobiotika bei der Müllkompostierung. Naturwissenschaften (Berlin) **61** (1974) 326.
- Nöring, F., G. Farkasdi, A. Golwer, K. H. Knoll, G. Matthes und W. Schneider: Über die Abbauvorgänge von Grundwasserverunreinigung im Unterstrom von Abfalldeponien. Gas-Wasser-Fach **109** (1968) 137–142.
- Pierau, H.: Ergebnisse der Untersuchungen an Versuchsdeponien und bestehenden Ablagerungsplätzen. Stuttg. Ber. z. Siedlungswasserwirtsch. (München) **41** (1968) 27–51.
- Pierau, H.: Die Bedeutung des aeroben Abbaues unverdichteter, häuslicher Abfallstoffe im Rahmen der geordneten Ablagerung. Kommunalwirtsch. H. 1 (1969) 11–21.
- Pierau, H.: Die Beseitigung von Abfallstoffen und ihre schadlose Eingliederung in das Landschaftsgefüge. Garten u. Landsch. (München) **81** (1971) 293–295.
- Pierau, H.: Die Bedeutung von Untersuchungen im technischen Maßstab zur Beurteilung der schadlosen Ablagerung von Industrieabfällen im Hinblick auf den Gewässerschutz. Gewässerschutz – Wasser – Abwasser (Aachen) **10** (1973) 611–619.
- Pöpel, F.: Aerobe Müllrotte und ihr Sauerstoffbedarf. Umweltschutz (Wien) **13** (1976) 152–155.
- Prier, H., und J. Bartz: Öl- und Benzinversickerungsversuche in der Oberrheinebene. Gas-Wasser-Fach **110** (1969) 592–595.
- Rasch, R.: Gefahren und Belästigungen durch feste, schlammige und flüssige Industrieabfälle. Müll und Abfallbeseitigung (Müllhandbuch), Berlin-West, 33. Lfg. IX – 1974, S. 1–17.
- Richter, H.: Die biologische Abwasserreinigungsanlage der Großkokererei Lauchhammer. Wasserwirtsch. – Wassertechn. **11** (1961) 152–159.
- Rohde, G.: Bedeutung der natürlichen Chelatbildner für die biologische Verwitterung. Städtehygiene **15** (1964) 90.
- Rössler, B.: Beeinflussung des Grundwassers durch Müll- und Schutttablagerungen. Vom Wasser (Weinheim) **18** (1951) 43–60.
- Rothe, D., und C. Däbritz: Betriebsergebnisse nach Einführung einer Kreislauffahrweise zur Behandlung und Nutzung von Schwelereiabwässern. Techn. u. Umweltsch. (Leipzig) **9** (1974) 147–165.
- Schenkel, W.: Die Geordnete Deponie von festen Abfallstoffen. Berlin-West: Erich Schmidt Verlag 1974 (Beiheft zu Müll und Abfall, H. 9).
- Schlegel, H. G.: Allgemeine Mikrobiologie. 2. Aufl. Stuttgart: Thieme-Verlag 1972.
- Schöler, J., K. Hermann und M. Tosch: 1. Nachtrag zur technisch-ökonomischen Dokumentation des Verfahrens der „Geordneten Deponie unzerkleinerter, fester Abfälle“. Inst. f. Kommunalwirtsch., Dresden 1972, 2. Nachtrag des IfK, Dresden 1973.
- Schönborn: Kunststoffabfälle in der Müll- und Abfallbeseitigung. Städtehygiene **23** (1972) 157–161.
- Schwille, F., H. Krieger und R. Schweisfurth: Untersuchungen über einen Fall von Untergrundverunreinigung durch Dieselkraftstoff. Wasser u. Abwasser **7** (1962) 164–170.
- Stegman, R.: Sickerwasserqualitäten von Rottedeponien. Müll u. Abfall H. 2 (1975) 35–37.
- Stone, R.: Methane reclaimed from an old Landfill. Public works (Ridgewood, N. J., USA) **105** (1974) 70–74.
- Ströhl, G. W.: Über einen Fall weitreichender Grundwasserverunreinigung durch Pestizide und Detergentien. Gesundheitsingenieur **87** (1966) 108–114.
- Tauchnitz, J., W. Glässer und K. Riedel: Methodischer Beitrag zur Einteilung von Wasserschadstoffen. Hercynia N. F., Leipzig (in Vorbereitung).

- Tauchnitz, J., u. a.: Zur Ablagerung der industriellen Abprodukte. 1. Mitteilung: Untersuchung über die Kultivierungsmöglichkeiten von Deponien industrieller Abprodukte. *Hercynia N. F.*, Leipzig 15 (1978) 58–65.
- Tauchnitz, J., u. a.: Zur Ablagerung der industriellen Abprodukte: 3. Mitteilung. Zum Deponieverhalten schwermetallionenhaltiger Abprodukte. *Hercynia N. F.*, Leipzig 16 (1979) ?–?–?
- Tauchnitz, J., und H. Scholz: Erfahrungen und Schlußfolgerungen aus einem Jahr Praxis mit der 6. Durchführungsbestimmung zum Landeskulturgesetz. *die Technik* 12 (1977) 693–696.
- Tosch, M.: Hygienische Empfehlungen für die Errichtung von Anlagen zur geordneten Deponie unzerkleinerter fester Siedlungsabfälle. *Z. f. die gesamte Hygiene u. ihre Grenzgeb.* 20 (1974) 581–583.
- Tosch, M.: Die Ergebnisse chemophysikalischer Untersuchungen von Sickerwasser. *Kommunale Dienstleistungen H.* 3 (1976) 18–19.
- Uhlmann, D.: *Hydrobiologie*. Jena: VEB Gustav-Fischer-Verlag 1975.
- Valdmaa, K.: Biologischer Abbau des Preßmasseabfalls von Plastikerzeugnissen. *Müll u. Abfall H.* 1 (1976) 25–27.
- Wallhäuser, K. H.: Die Beseitigung von Kunststoffen in der Geordneten Deponie. *Müll u. Abfall H.* 4 (1972) 10–19.
- Wallhäuser, K. H. und A. Golwer: Mikroorganismen im Unterstrom eines Abfallplatzes. *Gesundheitsingenieur* 93 (1972) 142–152.
- Walther, H.-J., und D. Knaack: Die Elimination von Alkylbenzolsulfonat und Alkylsulfonat im Oxydationsgraben. *Wasserwirtsch – Wassertechn.* 20 (1970) 306–309.
- Wasmer, H.-R.: Ablagerungen fester Abfallstoffe und Gewässerschutz. *Gas – Wasser – Abwasser* 49 (1969) 136–142.
- Wilderer, P., und L. Hartmann: Untersuchungen über Menge und Abbaubarkeit von Sickerwasserinhaltsstoffen aus einer Mülldeponie. *Müll u. Abfall H.* 4 (1972) 82–87.
- Winter, W.: Der biochemische Abbau von Detergentien bei der Abwasserreinigung. *Wasserwirtsch. – Wassertechn.* 12 (1962) 265–271.
- Wirtschaftspatent der DDR, Nr. 120 590: „Reinigung hydrophober Stoffe enthaltener Abwässer“.
- Wolters, N.: Alterung, Verwitterung und Auslaugung abgelagerter Feststoffe. *Wasser, Luft, Betrieb H.* 3 (1965) 145–156.
- Wotzka, J.: Toxikologische Prüfung und biochemisches Abbauverhalten von Abwässern der Herbizidproduktion. *Wasserwirtsch. – Wassertechn.* 22 (1972) 342–346.

Dr. rer. nat. J. Tauchnitz  
Chem.-Ing. H. Böhm  
Dipl. Geol. W. Mahrla  
Dipl. Biol. K. Riedel  
Ing. W. Schiller  
Dipl. Chem. R. Schnabel  
Dipl. Oec. H. Scholz  
Prof. Dr. sc. H. Hennig  
Karl-Marx-Universität Leipzig  
Sektion Chemie  
DDR - 701 Leipzig  
Liebigstraße 18