

Aus den Sektionen Chemie und Physik der Karl-Marx-Universität Leipzig,
der Akademie der Wissenschaften der DDR,
Zentralinstitut für Isotopen- und Strahlenforschung und der
Abteilung Geologie des Rates des Bezirkes Leipzig

Zur Ablagerung der industriellen Abprodukte

6. Mitteilung: Deponieverhalten eines phenolhaltigen Gießereialtsandes

Von J. Tauchnitz, W. Mahrla, R. Schnabel, E. Wirth, U. Wittenberg, J. Rittig,
M. Herrmann, H.-K. Bothe, H. Hennig und G. Olszak

Mit 4 Abbildungen und 11 Tabellen
(Eingegangen am 22. September 1978)

1. Einleitung

In den Gießereien des Bezirkes Leipzig fallen jährlich etwa 300 000 t Altsande an, die z. Z. abgelagert werden müssen.

Durch Anwendung von unterschiedlichen Bindemitteln bei der Herstellung der Formen zeigen die Gießereialtsande unterschiedliches Verhalten gegenüber der Umwelt, in der sie deponiert werden (Bradke 1975, 1978; Tauchnitz u. a. 1980 a).

In dieser Arbeit soll das Deponieverhalten eines Gießereialtsandes beschrieben werden, der hergestellt wird aus 97 % Quarzsand, 2 % kalthärtenden Phenol-Formaldehyd-Kunstharz (enthält etwa 6 % freies Phenol) und 1 % Härter (etwa 80%ige p-Toluolsulfonsäure).

Der verbrauchte Gießereisand wurde 7 Jahre, im wesentlichen ohne andere Beimischungen, in der Deponie Schädegrube, Kreis Altenburg, abgelagert.

Ein Teil der Oberfläche des Deponiekörpers lag etwa 6 Jahre ungestört brach, ohne daß es auf den „reinen“ Altsandflächen zu einer natürlichen pflanzlichen Wiederbesiedelung kam (Tauchnitz u. a. 1978, 1980 b).

Die augenscheinliche Kulturfeindlichkeit des Altsandes begründet die Notwendigkeit einer geochemisch-ökologischen Untersuchung dieses Standortes. Ziel dieser Untersuchung muß das Vermeiden derartiger Schadstellen in der Natur durch Präventivmaßnahmen während der Verkipfung solcher Materialien sein.

2. Geologische Situation

Das Tagebaurestloch liegt im südlichen Teil des Weißelsterbeckens. Die schlauchartige Hohlform (Abb. 1) war vor ihrer Verfüllung mit Gießereialtsand im Nordteil 9,5 m und im Südteil 12,5 m tief. Im Norden und Osten wird das Restloch durch eine Tagebaukippe begrenzt. Im Westen und Süden steht gewachsener Boden an (Abb. 1).

Die etwa 26 m mächtige Tagebaukippe besteht im wesentlichen aus Schluffen, Tonen und untergeordnet aus schluffigen Feinsanden. Durch die angewendete Verkipfungstechnologie wurden die einzelnen Fraktionen miteinander vermischt, so daß die Kippe für Wasser nahezu undurchlässig ist.

Aus den dargestellten Schnitten der Abb. 2 sind die Lagerungsverhältnisse der Kippe umgebenden Lockergesteine zu entnehmen.

Die in der saalekaltzeitlichen Grundmoräne auftretenden Schmelzwassersande (teils als Kiese ausgebildet) führen Grundwasser. Unter der Grundmoräne lagern

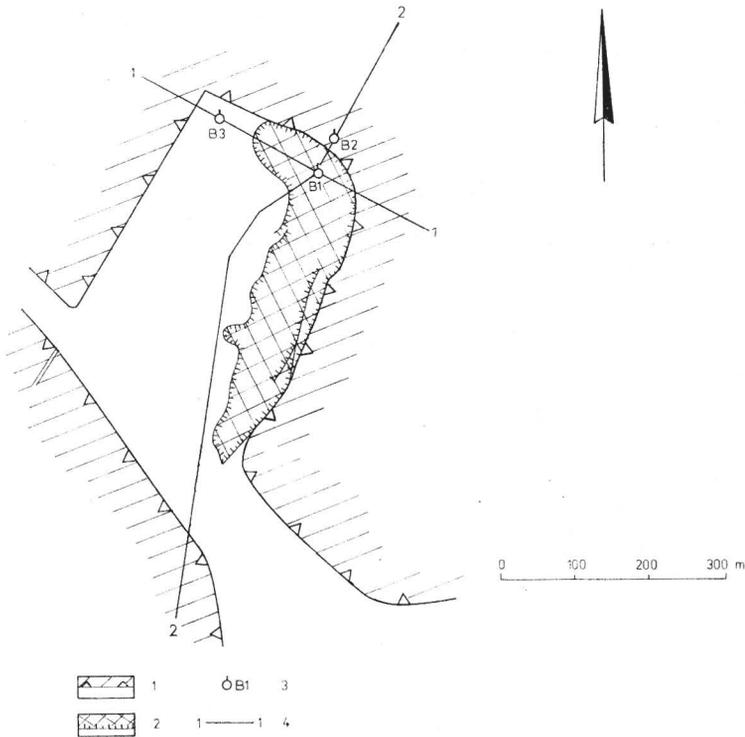


Abb. 1. Übersichtsskizze.

1 Tagebaukippe; 2 Kontur des mit Gießereisand verkippten Restloches; 3 abgeteufte Untersuchungsbohrungen; 4 Spur geologischer Schnitte

mitteloligozäner bis obereozäner Ton, Feinsand, Mittel- bis Grobkies und Braunkohle, die Gegenstand des Abbaues im Tagebau in der Umgebung gewesen sind. Im Liegenden des Braunkohlenflözes steht 0,6 bis 5 m mächtiger Ton an. Darunter folgt grundwasserführender Fein- bis Grobsand. Schmelzwassersande, tertiäre Sande und Kiese im Hangenden des Flözes stehen miteinander in hydraulischer Verbindung (Abb. 2).

Vor der Verkipfung des Tagebaurestloches mit dem Gießereisaltsand stand etwa 5 m unter Geländeniveau eine Wasserfläche an. In das anstehende Wasser wurden die Altsande verkippt.

Der Tabelle 1 ist die Grundwasseroberfläche vom 16. 1. 1978 zu entnehmen. Das Grundwasser fließt nach ONO.

Tabelle 1. Grundwasseroberfläche

Tiefe	GWBR II	GWBR I	GWBR III
Bezugshöhe [m]	0,0	-1,03	-0,80
Rohroberkante [m über Gelände]	1,09	1,00	1,06
Grundwasseroberfläche unter Bezugspunkt [m]	12,36	11,48	10,55
Grundwasseroberfläche unter Geländeniveau [m]	11,27	9,45	8,69

(GWBR = Grundwasserbeobachtungsrohr)

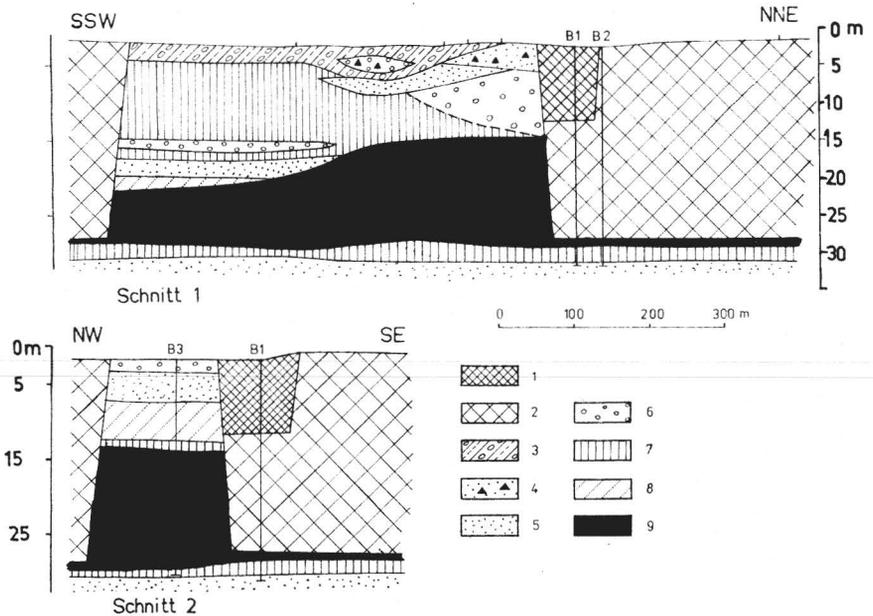


Abb. 2. Geologische Schnitte.

Holozän: 1 Gießereisandkippe; 2 Tagebaukippe

Saalekaltzeit: 3 Grundmoräne (Geschiebelehm und -mergel); 4 Schmelzwassersand

Tertiär: 5 Feinsand; 6 Mittel- bis Grobkies; 7 Ton; 8 Schluff; 9 Braunkohle

3. Bohrungen

Die drei Bohrungen wurden mit einer Seilwinde niedergebracht. Bohransatzpunkte und Tiefen sind den Abb. 1 und 2 zu entnehmen. Die Proben sind nach Entnahme in Plastbeutel verpackt und eingefroren worden. Die Bohrungen wurden mit Grundwasserbeobachtungsrohren (GWBR) ausgerüstet.

4. Ergebnisse

Die Bohrgutproben wurden nach den im experimentellen Teil des Manuskriptes beschriebenen Methoden präpariert und analysiert. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in den nachfolgenden Tabellen aufgeführt.

4.1. Ergebnisse nach den vorgeschlagenen Methoden des Autorenkollektivs des Institutes für Wasserwirtschaft (1971–1976) und der Fachgruppe Wasserchemie (1960)

Tabelle 2. Phenolgehalte

Probe [m]	direkt aus dem Bohrgut			wäßrige Auszüge		
	GP ^x	wks ^x	GC-P ^x	GP 3 ^x	wks 2 ^x	wks 4 ^x
F ₁ S	125–951	3,8–56,9	2,4–43,4	1092–9100	26–70	20–69
Bohrung I						
0	94	n. n. —3,3	n. n. —3,3	n. n.	37,8	n. n. —7,8
1	34	4,1–6,2	n. n.	n. n. —986	n. n.	11,0–14,0
2	34	5,0–9,5	49,7–82,2	n. n.	26,2–31,6	12,0–30,0
4	362	n. b.	n. n.	10 700!	69,0	20,8
6–6,3	170	5,3	34,5	n. n.	n. n.	14,2
9,2–10,0	140	3,1	n. n.	n. n.	29,3	21,2
12,2	272	3,6	n. n.	n. n.	33,4	n. b.
14,0	n. b.	3,2	n. n.	600	n. n.	8,9
17,4	170	5,2	n. n.	n. n.	n. n.	9,4
25,5	n. b.	53,9	98,0	n. n.	n. n.	n. n.
28,7	250	n. n.	34,0	n. n.	n. n.	21,6
Bohrung II						
6	n. b.	10,25	n. n.	n. n.	n. n.	6,6
12	n. b.	n. b.	n. n.	n. n.	23,9	6,1
Bohrung III						
6	n. b.	2,96	n. n.	n. n.	35,6	n. n.
12	n. b.	5,0	n. n.	n. n.	25,0	n. b.

GP: Gesamtphenole
wks: wasserdampfllüchtige, kupplungsfähige Substanzen
n. n.: nicht nachweisbar
n. b.: nicht bestimmt
F₁S: frischer Altsand
x: mg/kg Bohrgut
GC-P: gaschromatographisch bestimmtes Phenol

Tabelle 3. Phenolgehalte im wäßrigen Auszug der Sand-Asche-Mischung

M	GP [ppm]	wks [ppm]
∞	634	14,0
70	614	5,7
16,1	166	17,6
3,6	90	6,0
2,8	64	1,4
1,0	78	n. b.
0,6	40,5	n. b.

M: Mischungsverhältnis (Sand : Asche)
GP: Gesamtphenole
wks: wasserdampfllüchtige, kupplungsfähige Substanzen
n. b.: nicht bestimmt

Tabelle 4. Inhaltsstoffe der Auslaugungswässer der Proben der Bohrungen I, II und III

Probe	κ	$\text{Cl}^{-\times}$	$\text{SO}_4^{--\times}$	Gesamthärte	KMnO_4 - Verbrauch $^{\times}$	
[m]	pH	[$\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$]		[$^{\circ} \text{dH}$]		
F _r S	3,7—4,1	0,9—1,33	n. b.	1830—2030	1,8—4,0	2140—4040
Bohrung I						
0	5,5	1,000	74,0	1720	1,9	< 0,1
1	5,4	1,330	230,0	3760	12,2	< 0,1
2	4,3	0,769	224,1	3550	9,8	1990
4	5,3	1,000	88,7	1280	9,8	2685
6—6,30	5,6	0,837	92,0	2230	2,7	2080
9,2—10,0	7,2	0,677	166,1	1580	2,4	< 0,1
12,2	7,7	0,834	84,5	n. n.	4,9	< 0,1
14,0	7,7	0,910	182,0	984,0	3,3	1620
17,4	7,5	0,667	1480,0	3420	6,5	527
25,5	6,5	0,990	422,6	4060	7,8	1771
28,7	7,0	7,690	166,9	1120	1,4	418
Bohrung II						
6	6,9	0,910	177,5	2658	5,5	90
12	6,9	0,715	173,2	1538	3,2	1850
Bohrung III						
6	7,0	0,435	167,9	1712	3,0	295
12	6,8	0,834	236,3	9640	4,8	1265

\times mg je kg Bohrgut

Tabelle 5. Inhaltsstoffe der Grundwasser

Inhaltsstoffe	GWBR I	GWBR II	GWBR III
pH	6,1 — 6,4	6,5	6,5—6,7
κ [$\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$]	2,50—5,26	2,63—4,00	3,03—3,46
GH [$^{\circ} \text{dH}$]	59,4—70,2	73,2—92,5	52,4—86,2
NKH [$^{\circ} \text{dH}$]	58,4	63,2	76,1
KH [$^{\circ} \text{dH}$]	11,8	10,1	10,1
Salzgehalt [g/l]	3,91	2,25	1,94
Geb · CO ₂ [mg/l]	92,4	79,2	79,2
NH ₄ ⁺ [mg/l]	1,8	7,0	3,5
Cl ⁻ [mg/l]	663—1516	74,5—141,5	49,7—99,4
SO ₄ ⁻⁻ [mg/l]	693—745	915—1014	778—1262
NO ₃ ⁻ [mg/l]	n. n.	+	+
NO ₂ ⁻ [mg/l]	n. n.	n. n.	n. n.
KMnO ₄ -Verbrauch [mg/l]	137—366	62—101	4,7—20,2
GP [mg/l]	59,2	n. n.	n. n.
wks [mg/l]	1,2—6,0	n. n.—0,01	n. n.—0,02
CHCl ₃ -Extrakt [mg/l]	3,6	21	36
κ :	Leitfähigkeit		
wks:	wasserdampfvlüchtige, kupplungsfähige Substanzen	KH:	Karbonathärte
GH:	Gesamthärte	Geb.	Gebundenes Kohlendioxid
NKH:	Nichtkarbonathärte	+	Spuren
		n. n.:	nicht nachweisbar

4.2. Nachweis des Schwermetallgehaltes im Altsand

Tabelle 6. Schwermetallgehalte [%]

Probe [m]	Cr	Mn	Fe	Zn	Pb	Ca
O-Sand	n. n.	n. n.	0,6 /0,73 ^x	n. n.	n. n.	n. n.
F _r S	n. n.	n. n.	2,91 ^x	n. n.	n. n.	n. n.
B I: 0	n. n.	n. n.	0,36 /1,88 ^x	n. n.	n. n.	n. n.
1	n. n.	0,04	1,67 /2,41 ^x	n. n.	n. n.	0,2
2	0,01	0,17	4,66 ^x , 5,72	n. n.	n. n.	0,2
4	n. n.	0,05	1,82 /3,03 ^x	n. n.	n. n.	0,4
6—6,3	n. n.	n. n.	0,48 /1,46	n. n.	n. n.	n. n.
9,2—10	n. n.	0,025	2,31 /1,54	n. n.	0,001	0,3
12,2	n. n.	0,1	3,21	0,001	0,004	1,0
14	n. n.	0,03	1,8	0,002	0,006	0,3
17,4	n. n.	0,04	1,45 /2,31 ^x	0,003	0,005	0,6
25,5	n. n.	0,05	3,53	0,02	0,001	2,8
28,7	n. n.	n. n.	1,04	n. n.	0,01	0,2
B II: 6	n. n.	n. n.	1,33	0,009	0,01	0,3
12	n. n.	0,05	3,18	0,003	0,005	0,4
B III: 6	n. n.	n. n.	1,31	0,004	0,006	n. n.
12	0,05	0,07	6,18	0,001	0,004	3,3
P-I	n. n.	0,24	4,59	n. n.	n. n.	7,7
P-II	n. n.	0,05	1,06	0,003	n. n.	16,7
P-III	n. n.	0,04	n. n.	n. n.	n. n.	14,6

O-Sand: Sand aus der Kiesgrube

F_rS: Frischer Altsand

B: Bohrung

P: Abdampfdruckstand des Grundwassers aus dem GWBR

x: naßchemisch ermittelt

4.3. Massenspektrometrische Untersuchung

Von dem untersuchten Gießereiformsand wurden Proben des frisch anfallenden Altsandes und des Sandes von der Deponie massenspektrometrisch untersucht.

Die Proben von der Deponie wurden dem Bohrkern aus 0; 6,0 bis 6,3 und 9,2 bis 10,0 m Tiefe entnommen.

Die massenspektrometrischen Aufnahmen zeigen im wesentlichen die in Tab. 7 aufgeführten charakteristischen Peaks. Diese Peaks sind Hinweise auf die an dem Sandkorn anhaftenden Verbindungsgruppen (Benz 1969).

Für kondensierte Aromaten (Benzopyren usw.) gab es keine Hinweise.

Tabelle 7. Massenspektrometrische Ergebnisse

Peak (MZ)	Schlüsselbruchstücke	Hinweis auf	F _r S Peakhöhe	Om Peakhöhe	6,0—6,3 m Peakhöhe	9,2—10,0 m Peakhöhe
36	[H CL] ⁺	Chlorverbindung	++	++	++	+
44	[CO ₂] ⁺	Karbonate, Zesetzungsprodukte	+++	+++	+++	+++
64	[SO ₂] ⁺	Sulfonsäuren	++	++	++	(+)
78	[SO ₃] ⁺	Sulfonsäuren	+	+	+	(+)
91	[C ₇ H ₇] ⁺	Benzylverbindungen	++	++	++	+
92	[C ₇ H ₈] ⁺	Toluol	+	+	++	(+)
94	[C ₆ H ₆ O] ⁺	Phenoxyverbindungen, Phenol	+	++	++	(+)
107	[C ₇ H ₇ O] ⁺	Kresole	(+)	(+)	++	(+)
108	[C ₇ H ₈ O] ⁺	Kresole	(+)	(+)	++	(+)
122	[C ₈ H ₁₁ O] ⁺	Dimethylphenole	(+)	(+)	+	—

F_rS: Frischsand

(+) : sehr schwach

+ : schwach

++ : mittel

+++ : stark

4.4. IR-spektroskopische Untersuchung

IR-spektroskopisch konnte nachgewiesen werden, daß es sich bei dem verwendeten Sand um α -Quarz (Gangquarz) handelt (Tab. 8).

Eine weitere Aufklärung bzw. ein Nachweis anderer Substrate am Sandkorn gelang mit dieser Methode nicht.

Tabelle 8. IR-Spektrum des Altsandes

Absorptionsbande Wellenzahl γ [cm ⁻¹]	Intensität
820	st
690	m
570—600	sst
390	m
1500—3400	sst

4.5. Bodenmechanische Untersuchung

4.5.1. Altsand

Tabelle 9. Korngrößenverteilung des Altsandes

Korngröße [mm]	Menge [%]
< 0,1	1
0,1 — 0,2	4,7
0,2 — 0,63	84,8
0,63—2,0	9,4

4.5.2. Deponieuntergrund

Aus den Schlämmanalysen der schluffigen und tonigen Deponiesohle ergeben sich die in Tab. 10 aufgeführten k -Werte.

Tabelle 10. k -Werte des Deponieuntergrundes

Tiefe [m]	k [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
B I: 9	$5 \cdot 10^{-7}$
29	$5 \cdot 10^{-8}$
B II: 9	$2 \cdot 10^{-6}$

5. Diskussion der Ergebnisse

Die Analysen der Sand- und Bodenproben zeigen für verschiedene Extraktionsmethoden unterschiedliche Werte. Das resultiert aus den verschiedenen Bindungsverhältnissen der Inhaltsstoffe am Sandkorn.

Ein derartiges Untersuchungsprogramm ist notwendig, um zu erkunden, welche anthropogenen Verunreinigungen insgesamt im Substrat enthalten sind. Die Ergebnisse sind unter Berücksichtigung einer Grundwasserfließrichtung nach Ost-Nord-Ost zu betrachten.

5.1. Wasserdampfvlüchtige, kupplungsfähige Substanzen (wks), einschließlich Phenol (GC-P)

Aus den Tabn. 2 und 5 sind die Werte der wks für die Bodenproben und für das anstehende Grundwasser zu entnehmen. Bei allen angewendeten Methoden zur Extraktion der wks sind für den frischen Altsand höhere Werte zu finden als für die Proben aus der Deponie. Innerhalb des Deponiekörpers zeigt sich eine Anreicherungszone für die wks in einer Tiefe von zwei bis vier Metern. An der Oberfläche der Deponie (0 m) sind im allgemeinen die Werte für die wks wesentlich geringer als im Deponiekörper. Die Extraktionsmethoden für wks 2 und wks 4 zeigen deutlich die Möglichkeit des Auswaschens dieser Substanzen von diesem Sand an. Die Verringerung der wks auf der Deponieoberfläche ist darauf zurückzuführen, obwohl dafür auch chemische und mikrobielle Abbauprozesse (Thämlitz 1974; Bradke (1975) verantwortlich gemacht werden können.

Eine komplexe Betrachtung der Tabn. 2 und 4 und der Abbildung 2 zeigt, daß mit Übergang vom Deponiekörper zum Untergrund (Tagebaukippe) sich die Verunreinigung durch die wks stark verringert. Die Werte von drei bis neun ppm in 12 bis 17 m Tiefe können auf den Gehalt an natürlich vorhandenen wks im Ton zurückzuführen sein (vgl. Bohrungen II, III und wks-Gehalte der Grundwässer von Pegel II und III).

Phenol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{-OH}$) (Tab. 2) ist in einer Tiefe ab 9,2 m nicht mehr nachweisbar (außer in dem durch vorhandene Braunkohle beeinflussten Horizont – 25,5 m bis 28,7 m); ebenso nicht in den Proben der Bohrungen II und III.

Aus den wks-Werten der Pegel II und III und den Bodenproben ab 9,2 m Tiefe ist ersichtlich, daß das anstehende Material (Ton und Schluff) in der Lage ist, die wks-Substrate des Altsandes zurückzuhalten.

Das anstehende Grundwasser wird nicht durch die wks aus dem Deponiekörper beeinflusst, obwohl diese gut auswaschbar sind.

5.2. Gesamtphenole (GP)

Im frischen Altsand sind im wäßrigen Auszug stets > 1000 ppm Gesamtphenole nachweisbar (Tab. 2).

Diese erreichen vier Meter unter Geländeniveau nach beiden Bestimmungsverfahren ihren Maximalwert. Die gefundenen Werte lassen innerhalb des Deponiekörpers eine Migration der Gesamtphenole erkennen, aber inwieweit die unterhalb des Altsandkörpers gefundenen GP aus dem Sand stammen, ist nicht nachweisbar (Abb. 3).

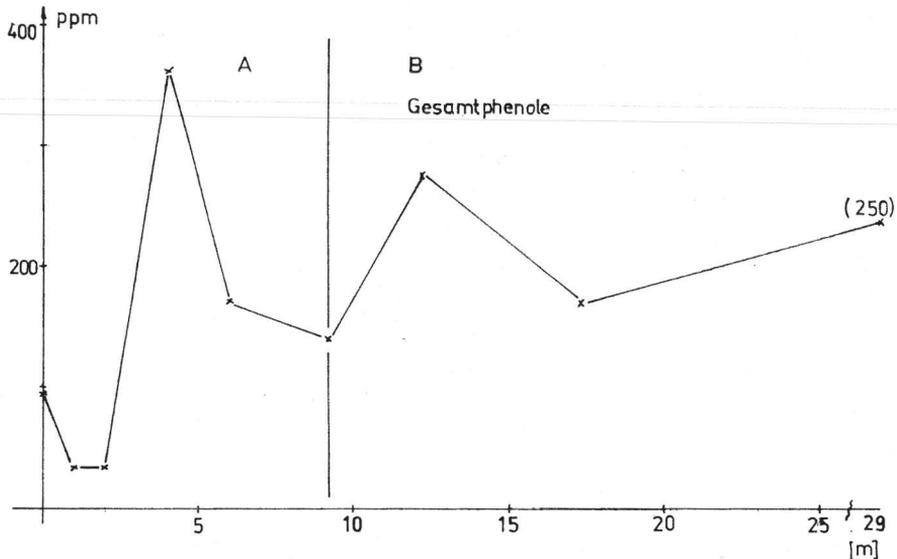


Abb. 3. Darstellung der Gesamtphenolkonzentration des Altsandes. In Tab. 2 als GP bezeichnet.

A: Bereich des Deponiekörpers,

B: Bereich des Deponieuntergrundes

In den Proben der Bohrungen II und III und dem dort angetroffenen Grundwasser konnten keine GP nachgewiesen werden. Eine Wanderung in der Grundwasserfließrichtung durch das tonige und schluffige Material ist auszuschließen.

5.3. pH-Wert

Der saure Charakter des frischen Altsandes (FrS) bestimmt den Charakter des Deponiekörpers bezüglich des pH-Wertes. Das Minimum des pH-Wertes befindet sich bei 2 m, was auf eine langsame Migration der sauren Bestandteile des Altsandes hindeutet.

Die Basis des Altsandkörpers ist signifikant an der pH-Wert-Änderung ab 9,2 m (Tab. 4) zu erkennen. Von dieser Tiefe an herrscht der pH-Wert des vorhandenen Materials (siehe auch pH-Wert der Proben der Bohrungen II und III). Das anstehende Lockergesteinsmaterial ist in der Lage, die saure Reaktion des Sickerwassers der Deponie abzufangen.

5.4. Leitfähigkeit \approx

Aus den Werten für die Leitfähigkeit sind bezüglich des Deponieverhaltens des Altsandes keine signifikanten Ergebnisse zu erhalten.

Die Leitfähigkeit der Auslaugungswässer der Proben des Altsandkörpers unterscheidet sich nicht wesentlich von denen des Deponieuntergrundes (Tab. 4). Dagegen nehmen die Werte der Leitfähigkeit des Grundwassers vom GWBR I zum GWBR III ab. Analog verhalten sich die Salzgehalte. Aufgrund der Grundwasserfließrichtung kann das Grundwasser im GWBR III bezüglich des Salzgehaltes und der Leitfähigkeit für unverunreinigt durch die Altsanddeponie gelten.

Das Grundwasser im GWBR II wird sowohl durch den Altsand als auch durch die an dieser Stelle verkippte Asche und Bauschutt beeinflusst.

5.5. Chloride, Sulfate

Deutlich ist die Auswaschung der Chloride und Sulfate aus dem Altsand im allgemeinen und aus der Oberfläche des Deponiekörpers im besonderen erkennbar (Tab. 4). Maximalwerte sind für beide Ionenarten in 1 m Tiefe zu finden. Danach nehmen die Werte bis zu einer Tiefe von 12,2 m ab und erreichen erneut Maximalwerte. Das Minimum in einer Tiefe von 12,2 m deutet auf Auswaschungen durch das Grundwasser hin.

Aus der Tatsache, daß es sich bei den umliegenden Abraumaterialien um belüftete Lockergesteine einer Tagebaukippe handelt, lassen sich die hohen Sulfatgehalte (oxidierte Pyrite) der Grundwässer der GWBR II und III und der Auslaugungsprodukte der Proben erklären.

5.6. Gesamthärte

Die Auslaugungswässer der Proben sind aufgrund der ermittelten Werte für die Gesamthärte als sehr weich ($0-4^\circ$ dH), weich ($4-8^\circ$ dH) und mittelhart ($8-12^\circ$ dH) zu bezeichnen. Im Bereich der Maximalwerte der Chlorid- und Sulfatgehalte befinden sich die Auslaugungswässer im mittelharten Bereich (Tab. 4). Demgegenüber sind die Wässer der GWBR sehr hart. Die Härten der Auslaugungswässer des Bohrgutes der Bohrung III und des Grundwassers des GWBR III zeigen beim Vergleich mit I und II, daß keine Beeinträchtigung des Grundwassers durch die Altsanddeponie erfolgt.

5.7. KMnO_4 -Verbrauch

Der KMnO_4 -Verbrauch gibt die Menge an oxydierbaren, auslaugbaren Substanzen an.

Die Werte für den KMnO_4 -Verbrauch der Auslaugungswässer des Sandes der Deponie sind im allgemeinen geringer als die des frischen Altsandes. Im Bereich von Null bis ein Meter sind die Werte für den KMnO_4 -Verbrauch $< 0,1$ mg/kg. Danach erreichen diese Werte ein Maximum mit 2685 mg/kg bei vier Meter Tiefe.

Vom GWBR I zum GWBR III nehmen die Werte für den KMnO_4 -Verbrauch ab.

Die an der Oberfläche gefundenen geringen Werte weisen sowohl auf Auswaschung als auch auf andere Abbauprozesse, wie Oxydation durch den Luftsauerstoff, hin.

Die Erhöhung der Werte für den KMnO_4 -Verbrauch in einer Tiefe von 2 m bis 6,3 m korreliert mit den Konzentrationsangaben für die wks. Sie läßt sich mit einer Einwaschung aus oberen Bereichen erklären.

Mit $< 0,1$ mg/kg für den KMnO_4 -Verbrauch in einer Tiefe von 9,2 m bis 12,2 m wird eine Auswaschungszone der oxydierbaren Substanzen angezeigt. Diese Materialien liegen im Schwankungsbereich des Grundwassers. Die höheren Werte der darunter liegenden Schichten sind auf den natürlichen Gehalt an oxydierbaren Stoffen zurückzuführen (vgl. mit den Werten der Bohrungen II und III).

Eine Wanderung der durch KMnO_4 oxydierbaren Stoffe mit dem Grundwasser durch das anstehende Lockergesteinsmaterial ist auszuschließen (Tab. 5).

5.8. Schwermetallgehalte

Von den Schwermetallen sind besonders Mn und Fe interessant, da diese im Deponiekörper nachweisbar (Tab. 6) und Legierungsbestandteile sind. Die Metalle Zn und Pb sind nur im liegenden Kippenmaterial zu finden und stammen nicht aus dem Altsand.

In 2 m Tiefe zeigen die Eisen- und Manganionen jeweils ein Konzentrationsmaximum (Abb. 4). Der Übergang vom Deponiekörper zur Deponiesohle ist von einem Konzentrationsminimum begleitet. Die darunter nachgewiesenen Mengen an Eisen- und Manganionen dürften natürlichen Ursprungs sein (vgl. B II und B III). Deutlich läßt sich an den Eisen- und Mangangehalten der Abdampfrückstände der Grundwasser (GWBR I...III) das Unvermögen dieser Ionen nachweisen, in den anstehenden Lockergesteinsmaterialien zu wandern (beachte pH-Wert der Bodenauslaugungswässer). Eisen- und Manganionen werden von Tonen und Schluffen in ihrer Wanderung stark gehemmt.

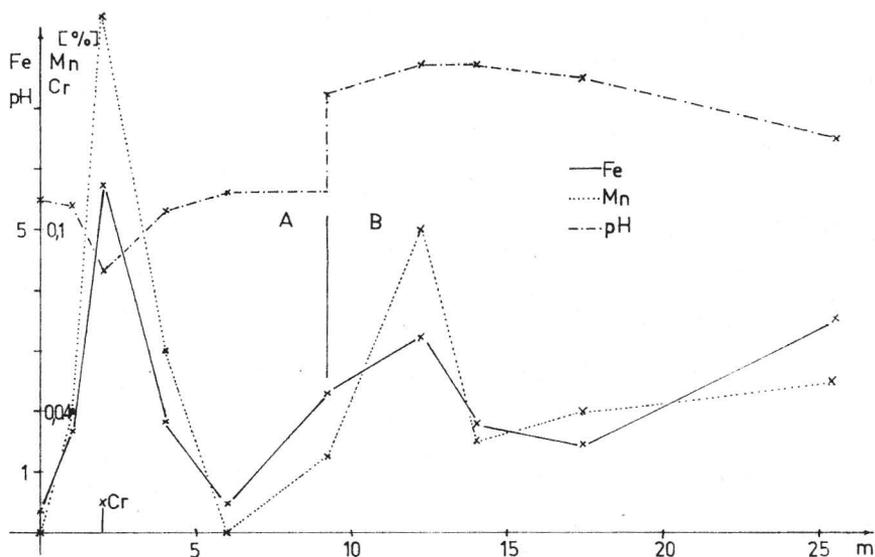


Abb. 4. Graphische Darstellung der Gehalte an Fe, Mn, Cr und des pH-Wertes des Altsandes.

Fe, Mn, Cr: $\frac{0}{0}$

pH: —

Fe, pH: Skala 0; 1; 2; 3; ...

Mn, Cr: Skala 0; 0,02; 0,04; ...

A: Bereich des Deponiekörpers

B: Bereich des Deponieuntergrundes

Die hohen Eisen- und Manganionengehalte des Abdampfrückstandes von GWBR I indizieren die Auswaschung dieser Ionen aus dem Sand (pH). Trotzdem wird das Grundwasser durch diese Ionen aufgrund bestehender Verhältnisse nicht belastet.

5.9. Massenspektrometrische Untersuchungen

Da die Verbindungen, die dem Sand anhaften, unterschiedliche Verdampfungstemperaturen und evtl. auch verschiedene Haftfestigkeit zum Substrat besitzen, mußte das Material stufenweise mit steigender Temperatur in der Ionenquelle des Massenspektrometers erhitzt werden. Die dadurch eintretende Fraktionierung macht eine quantitative Auswertung unmöglich. Der Nachweis der abdampfenden Verbindungen erfolgt nur qualitativ anhand der Molekülionen bzw. charakteristischen Bruchstücke. Um dennoch einen Hinweis auf den relativen Anteil der Verbindungen untereinander zu geben, wird die Intensität der betreffenden Peaks mit + usw. gekennzeichnet. Dabei wurde gefunden, daß mit zunehmender Tiefe im Deponiekörper die Intensität bzw. die Konzentration der Verbindungen zunimmt (Tab. 7).

Im liegenden Deponieuntergrund bewies die massenspektrometrische Untersuchung die Abwesenheit der o. g. Stoffe.

Phenol (C_6H_5-OH) ist ab 9,2 m gaschromatographisch nicht mehr nachweisbar, ebenso versagt der massenspektrometrische Nachweis (MZ 94). Die Peaks der Massenzahlen 64, 78, 91 und 92 können der p-Toluolsulfonsäure, die als Härter dem Sand beigemischt wird, zugeordnet werden.

Der Peak mit MZ = 44 ist zurückzuführen auf entstehende Verbrennungsprodukte beim Gießereiprozess. Die Sandmischung wird während des Gießereiprozesses erhitzt. Dabei werden die eingesetzten organischen Produkte verbrannt.

In diesem Zusammenhang sind die Tab. 2 (GC - P) und der Abschnitt 5.1. mit der Tab. 7 zu vergleichen.

5.10. Bodenphysikalische Untersuchungen

5.10.1. Altsand

Aus den IR-Spektren (Tab. 8) läßt sich nachweisen, daß es sich bei dem Sandkorn im Altsand um α -Quarz handelt. Der Altsand besitzt eine dunkelgraue bis schwärzliche, teilweise eine schmutzige Färbung. Im allgemeinen ist das Altsandmaterial feinkörnig (Einzelkorngefüge), tritt aber auch in Klumpen auf, die leicht zerstörbar sind. Der Sand läßt sich gut mit Wasser benetzen.

In Tab. 9 sind die einzelnen Kornfraktionen angegeben. Zum überwiegenden Teil besteht der Altsand aus Mittelsand (84,8 %), danach folgt der Grobsand (9,4 %), der Feinsand (4,7 %) und der schluffige und tonige Anteil (< 1 %) (Scheffer 1960).

Nach Beyer (1967) kann aus der Korngrößenverteilung die Durchlässigkeit (k -Wert) für Wasser berechnet werden. Der Altsand besitzt mit einem k -Wert von $4,8 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ eine gute Durchlässigkeit für Wasser.

5.10.2. Deponieuntergrund

Der Deponieuntergrund besteht bis etwa 24 m Tiefe aus Braunkohlentagebaukippenmaterial. Die Durchlässigkeitswerte liegen zwischen 10^{-6} und $10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Der gewachsene Ton aus 29 m Tiefe zeigt $k = 5 \cdot 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Diese Werte und o. g. Analyseergebnisse lassen erkennen, daß das Grundwasser durch den Altsand bzw. dessen Inhaltsstoffen nicht verunreinigt werden kann.

6. Schlußfolgerungen

Die Deponie Schädegrube ist aufgrund des Chemismus im Deponiekörper und des Einordnens in die umgebende Landschaft als eine reine Schadstoffdeponie anzusehen (Tauchnitz u. a. 1978, 1979). Das Material ist aufgrund der Inhaltsstoffe und der Nährstoffarmut kulturfeindlich (Tauchnitz u. a. 1980 b). Die Inhaltsstoffe der Wässer des GWBR I zeigen beträchtliche Auslaugungseffekte an und können bei Nichtvorhandensein bindiger (toniger und schluffiger) Materialien zu starken Verunreinigungen des Grundwassers führen.

Da das Wasser aufgrund der Körnung des Altsandes eine geringe Aufenthaltsdauer im Deponiekörper besitzt, die Austauschkapazität des Sandes klein und aufgrund des Chemismus des Sandes die mikrobiellen Aktivitäten unbedeutend sind (Tauchnitz 1980 b), kann der Untergrund beträchtlich verunreinigt werden. Aus diesen Gründen sind bei der Vorbereitung und Errichtung derartiger Deponien Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers vor Auslaugungsprodukten zu treffen. Es sind ähnliche Untergrundverhältnisse wie in der Deponie Schädegrube zu schaffen.

Weiterhin ist eine ausschließliche Ablagerung von schadstoffhaltigen Altsanden abzulehnen. Auslaugungsversuche mit Mischungen, bestehend aus Altsand und Braunkohlen-E-Filterasche zeigen ab $M = 3,6$ eine starke Verringerung der Mengen der Auslaugungsprodukte (Tab. 3). Thämlitz (1974) weist für ein Mischungsverhältnis $M = 5$ (Sand - Boden) einen nachweisbaren und schnellen Abbau für das Phenol nach.

Damit den Erfordernissen der Landeskultur entsprochen wird, hat eine gemischte Ablagerung eines derartigen Sandes mit sorptionsfreudigen und kulturfreundlichen Materialien zu erfolgen. Das notwendige Mischungsverhältnis ist (Sand : Boden) $M = 4$. Die umgebenden Bodenverhältnisse der Deponie Schädegrube haben gezeigt, daß durch bindige Bodenmaterialien keine Verunreinigung des anstehenden Grundwassers erfolgt. Sowohl die organischen als auch die anorganischen Bestandteile des Altsandes vermögen es nicht, durch die Deponiesohle in das Grundwasser zu dringen.

7. Experimenteller Teil

7.1. Bestimmung der Phenole direkt aus dem Sand

7.1.1. Bestimmung der Gesamtphenole (GP)

150 g einer bei 50 °C getrockneten Probe werden in einem Scheidetrichter mit je 100 ml eines Benzol-Chinolin-Gemisches (800 ml Benzol und 200 ml Chinolin reinst) 5mal ausgeschüttelt. Dieses Gemisch wird zweimal mit je 100 ml NaOH ($d = 1,15$) extrahiert. Die vereinigten Natriumphenolatlösungen werden klargedampft. Nach dem Erkalten wird die Lösung mit 100 ml Tetra nochmals extrahiert. Das Tetra wird abgeschieden und die Phenolatlösung in einem Meßkolben mit destilliertem Wasser auf 500 ml aufgefüllt.

Die weitere Bestimmung der Gesamtphenole erfolgte nach der angegebenen Methode der Fachgruppe Wasserchemie (1960). In gleicher Weise wird ein Blindversuch mit 150 g Quarzsand und 500 ml destilliertem Wasser durchgeführt (Tab. 2).

7.1.2. Bestimmung der wasserdampfflüchtigen, kupplungsfähigen Substanzen (wks)

50 g einer feuchten Probe werden mit 50 ml 85 % Phosphorsäure und 50 ml destilliertem Wasser versetzt und etwa 30 Minuten mit N_2 gespült. Anschließend wird $CuSO_4$ und $CoSO_4$ -Lösung zugegeben und destilliert. Die Bestimmung der wasserdampfflüchtigen, kupplungsfähigen Substanzen erfolgte nach Autorenkollektiv (1971-76) (Tab. 2).

7.1.3. Gaschromatographische Bestimmung des Phenols

7.1.3.1. Apparatives

Zur Bestimmung des Phenols wurde der Gaschromatograph GCHF 18.3 – 6 vom VEB Chromatron Berlin verwendet. Die Säulenlänge betrug 3 m und der Säulendurchmesser 3 mm. Als Säulenfüllung wurde ein poröses Polymer des VEB CK Bitterfeld, das GLC 3, benutzt. Die Säulentemperatur betrug 200 °C, die Eingangs- 220 °C und die Ausgangstemperatur 235 °C. Als Trägergas wurden 3,3 l/h Argon verwendet. Der Detektor war ein Flammen-Ionisation-Detektor, der mit 1,6 l/h Wasserstoff und 20 l/h Luft betrieben wurde.

7.1.3.2. Behandlung des Bohrgutes

50 g Probe werden 5 h mit 50 ml Methylenchlorid extrahiert. Der Extrakt wurde am Rotationsverdampfer auf 3 ml eingengt. Davon wurde die GC-Analyse angefertigt.

7.2. Bestimmung der Inhaltsstoffe der wäßrigen Auszüge

7.2.1. Bestimmungsmethoden der Inhaltsstoffe der Wässer

Die Inhaltsstoffe der Wässer wurden nach den Methoden des Autorenkollektivs des Institutes für Wasserwirtschaft Berlin (1971–1976), die Gesamtphenole nach dem Verfahren der Fachgruppe Wasserchemie (1960) bestimmt.

7.2.2. Präparieren der Proben

7.2.2.1. 14tägige Behandlung der Bodenproben mit Wasser

100 g ungetrocknete Bodenprobe bekannten Wassergehaltes wurden mit 500 ml destilliertem Wasser 14 Tage bei 50 °C unter Lichtausschluß extrahiert. Die Suspension wird filtriert und auf 1 l aufgefüllt (GP 3, wks 2, pH, Cl⁻, SO₄²⁻, GH, KMnO₄-Verbrauch, \approx Tabn. 2 und 4).

7.2.2.2. Bestimmung der wasserdampfflüchtigen, kupplungsfähigen Substanzen – wks 4

100 g ungetrocknete Probe bekannten Wassergehaltes wurden mit 200 ml destilliertem Wasser versetzt und eine Stunde am Rückfluß gekocht.

7.2.2.3. Auslaugungsversuche von Sand-Asche-Mischungen

Sand-Asche-Mischungen, entsprechend den in Tab. 3 angegebenen Mischungsverhältnissen M werden wie unter 7.2.2.1 behandelt und auf die Gesamtphenole und wasserdampfflüchtigen, kupplungsfähigen Substanzen untersucht. Die verwendete Braunkohlenelektrofilterasche hat die in Tab. 11 angeführte Zusammensetzung.

Tabelle 11: Ascheanalyse ¹

Inhaltsstoffe	[⁰ / ₁₀₀]	Inhaltsstoffe	[⁰ / ₁₀₀]
SiO ₂	7,4	SO ₃	3,1
Fe ₂ O ₃	6,4	freier Kalk	4,4
Al ₂ O ₃	9,4	hydrolysierbarer Kalk	14,9
CaO	26,7	Inertstoffgehalt	40,1
MgO	3,2	S ⁻	positiv

¹ Die Analyse wurde ermittelt mit einem Verfahren nach dem IfE-Bericht (Institut für Energetik Leipzig) Nr. 2/1568/66 F: Schnellbestimmung aktiver Bestandteile in Verbrennungsrückständen.

7.3. Wassergehaltsbestimmung

Von den zum Einsatz gebrachten ungetrockneten Proben wird der Wassergehalt durch azeotrope Destillation mit Xylol bestimmt.

7.4. Massenspektrometrische Bestimmung

Die Massenspektren wurden mit einem Spektrometer Varian MAT CH 6 angefertigt. Die Messungen erfolgten durch direkte Einführung der Probe in das Spektrometer.

7.5. Bestimmung der Schwermetalle

Die Schwermetalle wurden sowohl durch eine energiedispersive Röntgenfluoreszenzanalyse (Bothe 1976), als auch mit naßchemischen Analysenverfahren bestimmt.

Z u s a m m e n f a s s u n g

Am Beispiel der Gießereisanddeponie Schädgrube, Kreis Altenburg, wird das Deponieverhalten von einem phenolhaltigen Gießereialsand beschrieben.

Es kann festgestellt werden, daß diese Deponie eine extreme Schadstelle in der Natur ist. Starke Auslaugungsprozesse treten auf, die die Inhaltsstoffe aus den oberen Schichten der Deponie in die unteren transportieren. Der Deponiekörper zeigt von der Oberfläche bis zur Deponiesohle eine saure Reaktion. Bindige Materialien genügen in diesem Fall als Schutz vor Grundwasserverunreinigung. Die vermischte Ablagerung des Gießereialsandes mit Asche verringert die Auslaugung wasserdampflicher, kupplungsfähiger Substanzen.

S c h r i f t t u m

- Autorenkollektiv des Institutes für Wasserwirtschaft: Ausgewählte Methoden der Wasseruntersuchungen. VEB Gustav-Fischer-Verlag Jena, Jena 1971–1976.
- Benz, W.: Massenspektrometrie organischer Verbindungen. Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K. G., Leipzig, Leipzig 1969.
- Beyer, W.: Zur Analyse der Grundwasserfließbewegung. *Wiss. Zeitschr. TU Dresden* **16** (1967) 4, 1043–1048.
- Bothe, H.-K.: Einsatzmöglichkeiten der Röntgenfluoreszenzanalyse im Rahmen des Umweltschutzes. *Technik und Umweltschutz* **15** (1976) 208–232.
- Bradke, H. J.: Deponieverhalten und Verwendung von Gießereialsanden. Teil I: Laborauslaugung von Gießereialsanden zur Ermittlung der eluierbaren Stoffe und des voraussichtlichen Deponieverhaltens. *Inst. f. Gewerbbl. Wasserwirtschaft und Luftreinhaltung e. V., Köln* 1975.
- Bradke, H. J.: Deponieverhalten und Verwendung von Gießereialsanden: Teil II: Auslaugung von Gießereialsanden in halbtechnischem Maßstab und im Laboratorium zur Ermittlung der eluierbaren Stoffe und des voraussichtlichen Deponieverhaltens. *Gießerei* **65** (1978) 35–38.
- Fachgruppe Wasserchemie in der Ges. Deutscher Chemiker: Deutsche Einheitsverfahren der Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung. 3. Auflage. Verlag Chemie GmbH., Weinheim 1960.
- Scheffer, F., und P. Schachtschnabel: Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde, 1. Teil. Bodenkunde. 5. Auflage. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1960.
- Tauchnitz, J., u. a.: Zur Ablagerung der industriellen Abprodukte. 1. Mitt.: Untersuchung über die Kultivierungsmöglichkeit von Deponien industrieller Abprodukte. *Hercynia N. F., Leipzig* **15** (1978) 4, 422–436.
- Tauchnitz, J., u. a.: Zur Ablagerung der industriellen Abprodukte. 2. Mitt.: Abgrenzung reiner Schadstoffdeponien von gemischten Schadstoffdeponien. *Hercynia N. F., Leipzig* (1979) 81–93.

- Tauchnitz, J., und R. Schnabel: Zur Ablagerung der industriellen Abprodukte. 10. Mitt.: Möglichkeiten der Kultivierung verschiedener Gießereisande. Hercynia N. F., Leipzig (1980 a), im Druck.
- Tauchnitz, J., und R. Schnabel: Zur Ablagerung der industriellen Abprodukte. 7. Mitt.: Natürliche pflanzliche Wiederbesiedlung einer Gießereisanddeponie. Hercynia N. F., Leipzig (1980 b), im Druck.
- Thämlitz, H., und A. Emr: Über die Ablagerung von phenolhaltigem Sand. Gießerei **61** (1974) 21, 636-639.

Dr. rer. nat. J. Tauchnitz,
Dr. rer. nat. E. Wirth,
Dipl.-Chem. R. Schnabel,
Dipl.-Chem. U. Wittenberg,
Dr. rer. nat. J. Rittig,
Chem.-Ing. H. Böhm und
Prof. Dr. sc. H. Hennig
Karl-Marx-Universität Leipzig, Sektion Chemie
701 Leipzig
Liebigstraße 18

Prof. Dr. sc. G. Olszak
Karl-Marx-Universität Leipzig,
Sektion Physik, Wissenschaftsbereich Geophysik
701 Leipzig
Talstraße

Dr. sc. nat. H.-K. Bothe und
Dr. rer. nat. M. Herrmann
Akademie der Wissenschaften der DDR,
Zentralinstitut für Isotopen- und Strahlenforschung
705 Leipzig
Permoserstraße

Dipl.-Geol. W. Mahrla
Rat des Bezirkes Leipzig,
Abteilung Geologie
701 Leipzig
Querstraße 26