

Aus den Sektionen Chemie und Physik der Karl-Marx-Universität Leipzig

Zur Ablagerung der industriellen Abprodukte

7. Mitteilung: Beitrag zur Kultivierung einer Gießereialsanddeponie

Von J. Tauchnitz, R. Schnabel, W. Pietsch, G. Petzold, W. Mahrla, K. Riedel,
R. Mahrwald und H. Hennig

Mit 16 Abbildungen und 11 Tabellen

(Eingegangen am 12. März 1979)

1. Einleitung

Mit der Ablagerung von Abprodukten der industriellen Produktion übt der Mensch auf seine natürliche Umwelt einen starken Einfluß aus. Einerseits schafft er Areale, die durch die Vegetation mehr oder weniger schwierig zu erobern sind (Deponiekörper), andererseits haben derartige Konzentrationen von Abprodukten auf engem Raum Auswirkungen auf ihre Umgebung.

Das trifft besonders dann zu, wenn an einem Standort nur Schadstoffe oder schadstoffhaltige Abprodukte abgelagert werden und somit eine reine Schadstoffdeponie (Tauchnitz u. a. 1978, 1979) entsteht. Derartige reine Schadstoffdeponien stellen Langzeitschadstellen in der Landschaft bzw. Extrembiotope (Uhlmann 1977) dar. Der Tab. 1 sind einige bisher beschriebene Langzeitschadstellen zu entnehmen.

Tabelle 1. Übersicht über einige bisher beschriebene Langzeitschadstellen

Art der Langzeitschadstellen	Autoren
Aschedeponien	Petrikova 1977; Fischer 1976; Brand 1975; Krummsdorf u. a. 1974
Kippen des Braunkohlenbergbaus	Friedrich 1975; Hanf 1937; Vocke 1974; Brüning 1962; Klemm 1963, 1966
Kippen des Steinkohlenbergbaus	Berge 1969; Wünsche 1963
Deponien industrieller Abprodukte	Wolff 1971; Klein u. a. 1972; Martini 1966
mit Kohlenwasserstoff verunreinigte Substrate	Raymond 1976; Bonnemann u. a. 1976; Burschel 1963; Ellis u. a. 1961; Kloke u. a. 1961; Knickmann 1960; Steubing 1967; Baldwin 1922; Fuhs 1961
Salzschäden	Anonym 1974; Blum 1974; Kreeb 1960, 1965; Buschbohm 1968; Strogonow u. a. 1956
Schlammdeponie einer Sodafabrik	Bouchet 1973
mit Schwermetallen belastete Substrate – Halden des Erzbergbaus	Schubert 1953; Rocovich 1975; Wild 1974 a, b, 1975; Wiltshire 1974; Pan- choly 1975; v. Hodenberg 1975; Knick- mann 1959; Kovalskij 1977; Ernst 1968; Alloway u. a. 1971; Ranft 1966; Richter 1963; Repp 1963; Banášova 1976; Peter- son 1978

Die Deponie Schädegrube kann als eine solche Langzeitschadstelle bezeichnet werden. Auf dieser Deponie wurde ein Gießereisand fast ohne Beimischung anderer Materialien abgelagert. Der Gießereisand wurde aus 97 % Quarzsand, 2 % kalthärtendem Phenol-Formaldehydkunstharz und 1 % einer etwa 80%igen p-Toluolsulfonsäure hergestellt und erhitzt (Tauchnitz u. a. 1980).

Die Deponie zeigt durch das Fehlen der Vegetation auf weiten Teilen des Deponiekörpers und die geringe mikrobiologische Aktivität in diesen Bereichen Symptome einer reinen Schadstoffdeponie.

Ziel dieser Arbeit ist es, ausgehend von der Beschreibung des Deponieverhaltens des abgelagerten Gießereisandes (Tauchnitz u. a. 1979 b) die Ursachen für das Ausbleiben einer natürlichen Besiedlung zu ermitteln und technologische Hinweise für das künftige Vermeiden solcher Schadstellen zu geben.

2. Beschreibung der Deponie Schädegrube

2.1. Territoriale Einordnung

Die Deponie stellt ein etwa 3,8 ha großes Unland dar.



Abb. 1. Überblick über die Deponie Schädegrube in nördlicher Richtung. – Der Deponiekörper ist auch nach etwa 6- bis 7jähriger Lagerzeit bis auf wenige Randgebiete und Inseln vegetationslos (Vordergrund: Standort j)

Die Form und die Lage zu anderen Flächen ist aus Abb. 2 ersichtlich.

Das Deponiegelände ist im Nordwesten, Osten und Süden von landwirtschaftlicher Nutzfläche (a) umgeben, in die im Osten der schmale Streifen eines Feldgehölzes (c), bestehend vor allem aus *Robinia pseudoacacia* L. und *Crataegus oxyacantha* L. em. Jacq., im Anschluß an die Deponie eingelagert ist. Im Westen schließt sich ein Betriebsgelände (b) an, das vor allem im Anschluß an die Fläche 2 mit *Robinia pseudoacacia* L. und *Populus x canadensis* Moench. bepflanzt ist. Die Charakteristik der einzelnen Flächen zeigt Tab. 2.

Die Flächen 2, 4 und 6 der Deponie stellen reine Altsandflächen unterschiedlichen Alters dar. Während die Flächen 2 und 4 etwa 6–7 Jahre alt sind, wurde der Altsand auf die Oberfläche der Fläche 6 erst im Frühjahr des Jahres 1978 abgelagert und planiert.

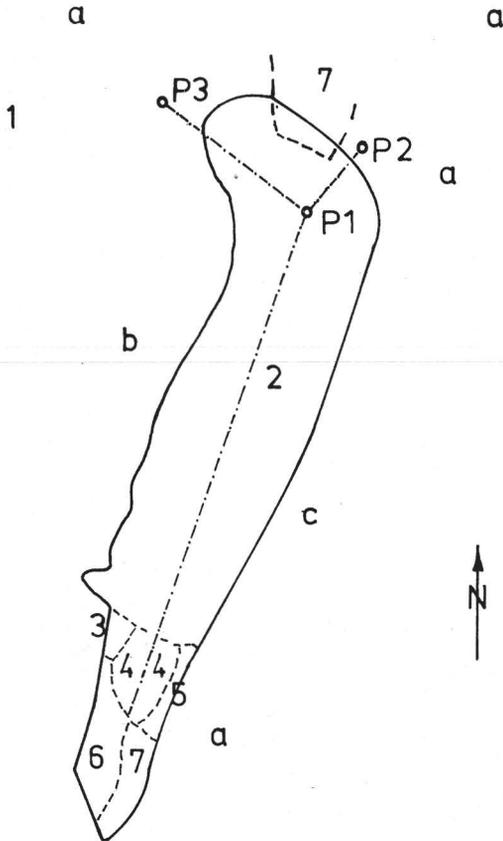


Abb. 2. Skizze der der Deponie Schädegrube – Beschaffenheit der Oberfläche: a landwirtschaftliche Nutzfläche; b Betriebsgelände; c Feldgehölz; 1–7 (Tab. 2); ---. Spur der Messung der magnetischen Suszeptibilität; P1, P2, P3: Pegelbohrungen (Tauchnitz u. a. 1980)

Tabelle 2. Charakterisierung der Teilflächen der Deponie Schädegrube (Abb. 2)

Flächen	Charakterisierung
1	Baugebiet
2, 4, 6	Gießereisandflächen verschiedenen Alters ohne Überzug durch andere Substrate,
3, 7	Ablagerung von Kommunalmüll ≤ 1 m auf dem Gießereisand.
5	Ablagerungen von lehmigen Kiesen auf dem Gießereisand (≤ 1 m).

Die Fläche 2 liegt etwa 1 m, die Fläche 6 etwa 1,5 m über dem Niveau der Fläche 4. Durch diese geschützte Lage sind auf der Fläche 4 Einwehungen von Kulturboden, Flugasche und Pflanzenresten festzustellen.

2.2. Niederschlagsverhältnisse auf der Deponie Schädegrube

Nach Laue, Forkel und Forberg (1968) sind die Niederschlagsmengen mit 5,74 % und das pflanzenverfügbare Wasser im Boden mit 12,16 % an der Beeinflussung des Pflanzenwachstums beteiligt. Neben der Beeinflussung des Pflanzenwachstums sind die Niederschlagsmengen für die Auswaschungsprozesse im Deponiekörper verantwortlich.

In Abb. 3 sind die Summen der jährlichen und monatlichen Niederschläge aufgeführt. Erkennbar ist, daß seit 1971 insgesamt 4270 mm/m² auf der Oberfläche der Deponie niedergegangen sind.

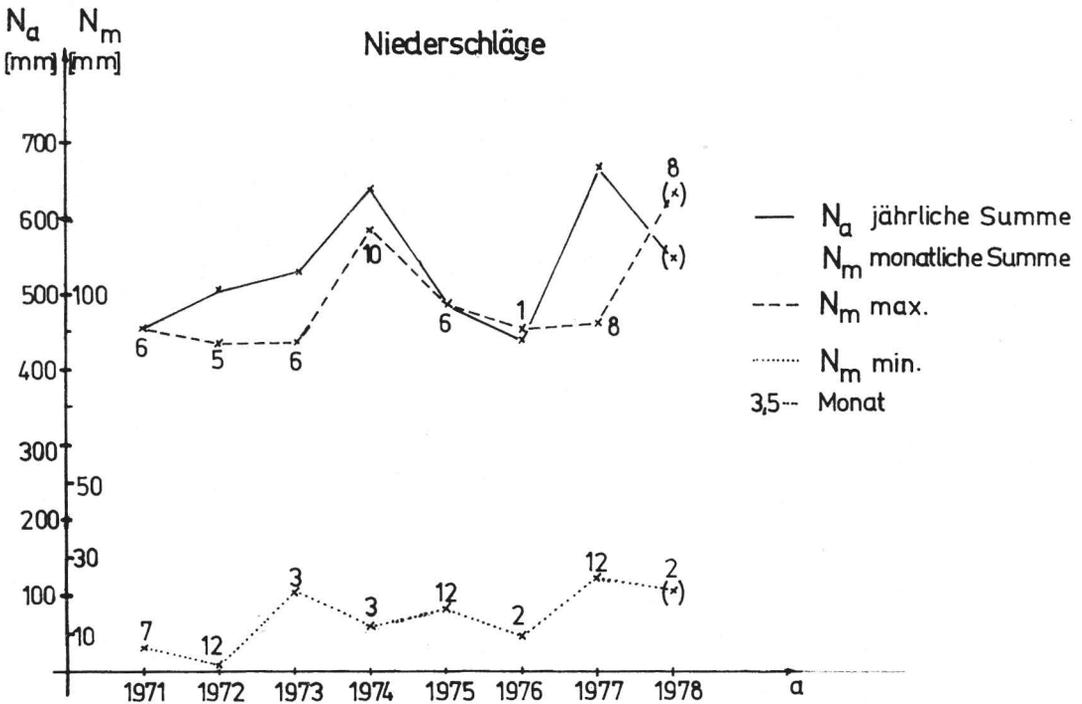


Abb. 3. Auf die Deponie Schädigrube niedergegangene Niederschlagsmengen

Bezüglich des Wassergehaltes des Bodens ist davon auszugehen, daß dieser nicht die maximale Wasserkapazität (MWK) erreicht. Nach heftigen Niederschlägen oder Tauwetter (Schneeeauflage war vorhanden) konnten Wassergehalte des Altsandkörpers von 7 % nachgewiesen werden. Drei bis vier Tage nach starken Niederschlägen betrug der Wassergehalt meist < 1 % in den oberen 5 cm der Bodenschicht. Die Oberfläche des Deponiekörpers ist somit als sehr trocken zu bezeichnen.

2.3. Schadstoffverteilung

Aus den Untersuchungen über den Chemismus des Deponiekörpers der Schädigrube (Tauchnitz u. a. 1980) lassen sich die Anforderungen an die besiedelnden Mikroorganismen und Pflanzen ableiten (Tab. 3). Dabei ist besonders die Schicht von der Oberfläche bis etwa 2 m Tiefe von Bedeutung (Gehlker 1976).

Obwohl der frische Altsand keinen einheitlichen Schadstoffgehalt aufweist, zeigt die Tab. 3, daß auf den älteren Teilen des Deponiekörpers (Flächen 2 und 4) eine Auswaschung der Schadstoffe aus der Oberfläche in tiefere Schichten erfolgt (Proben RZ 1 bis RZ 5 und Z 1, Z 2).

Die Abweichungen in den Konzentrationen der Inhaltsstoffe an der Oberfläche sind auf die unterschiedlichen Entnahmestandorte zurückzuführen. Verallgemeinernd ist aus Tab. 3 erkennbar, daß mit zunehmender Entfernung der Probenahme von der Vegetationszone (von MB 5 über MB 4, MB 3, MB 1 zur Fläche 2) und mit zunehmen-

Tabelle 3. Ergebnisse der Substratuntersuchung des reinen Gießereialsandes der Deponie

		frischer Altsand (Fläche 6)		abgelagerter Altsand (Flächen 2 und 4)				
				Fläche 2	MB1	MB3	MB4	MB5
Tiefe (cm)				0—1	0—1	0—1	0—1	0—1
GP	1	125,0—	951,0	94,0	106,1	—	31,0	n. n.
wks	1	3,8—	56,9	n. n. — 3,3	1,35	8,03	2,21	n. n.
GC-P	1	2,4—	43,4	n. n. — 3,3	n. n.	71,6	n. n.	—
GP 3	1	1 092	—9 100	n. n.	490,0	n. n.	n. n.	0,19
wks 2	1	26	— 70	37,8	35,6	n. n.	21,1	n. n.
wks 4	1	20	— 69	n. n. — 78,0	n. n.	13,7	12,6	n. n.
pH (H ₂ O)	—	3,7—	4,1	5,5	6,0	—	6,65	4,8
Leitfähigkeit	2	0,9—	1,33	1,000	0,137	0,834	1,610	0,310
Chlorid	1	—		74,0	222,9	76,0	224,0	71,0
Sulfat	1	1 830	—2 030	1 720	3 840	11 360	4 680	485
Gesamthärte	3	1,8—	4,0	1,9	13,3	4,8	12,4	4,5
KMnO ₄ Verbrauch	1	2 140	—4 040	< 0,1	2 380	2 164	1 995	3 160
Cr	5	n. n.		n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
Mn	5	n. n.		n. n.	—	—	0,024	—
Fe	5	2,91*		0,36/1,88*	—	—	1,91	—
Zn	5	n. n.		n. n.	—	—	0,003	—
Pb	5	n. n.		n. n.	—	—	n. n.	—
Ca	5	n. n.		n. n.	—	—	0,48	—

GP Gesamtphenol

wks wasserdampfvlüchtige, kupplungsfähige Substanzen

GC-P gaschromatographisch bestimmtes Phenol

1 mg/kg

2 mS/cm

3 dH

5 ‰

* naßchemisch ermittelt

n. n. nicht nachweisbar

— nicht bestimmt

Fortsetzung 1 Tab. 3

		abgelagerter Altsand (Flächen 2 und 4)						
		RZ 1	RZ 2	RZ 3	RZ 4	RZ 5	Z 1	Z 2
Tiefe (cm)		0—10	10—20	20—30	30—40	40—50	1 m	2 m
GP	1	—	—	—	—	—	34,0	34,0
wks	1	3,35	3,37	5,37	3,13	3,81	4,10—6,20	5,00—9,50
GC-P	1	41,5	n. n.	n. n.	50,2	28,0	n. n.	49,7—82,2
GP 3	1	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n. -986,0	n. n.
wks 2	1	23,5	26,3	21,7	n. n.	n. n.	n. n.	26,2—31,6
wks 4	1	11,1	10,1	9,6	9,6	12,2	11,0—14,0	12,0—30,0
pH (H ₂ O)	—	6,9	—	6,2	3,3	3,7	5,4	4,3
Leitfähigkeit	2	2,000	0,715	1,005	1,000	0,769	1,330	0,769
Chlorid	1	79,4	74,8	220,0	74,1	160,0	230,0	224,1
Sulfat	1	8 090	1 425	2 590	1 512	1 840	3 760	3 550
Gesamthärte	3	20,3	2,7	13,8	1,1	4,5	12,2	9,8
KMnO ₄ Verbrauch	1	282	666	1 436	—	2 525	< 0,1	1 990
Cr	5	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	0,01
Mn	5	0,019	0,022	0,014	—	0,008	0,04	0,17
Fe	5	1,3	1,3	1,0	—	0,76	1,67 (2,41*)	4,66*/5,72
Zn	5	0,004	n. n.	n. n.	—	n. n.	n. n.	n. n.
Pb	5	n. n.	n. n.	n. n.	—	n. n.	n. n.	n. n.
Ca	5	0,34	n. n.	n. n.	—	n. n.	0,2	0,2

der Tiefe (Proben RZ 1 bis RZ 5 und Z 1, Z 2) die Unverträglichkeit für Pflanzen zunimmt. Das gilt insbesondere für den pH-Wert.

Die vom Zentrum der Fläche 2 zur Randzone der Deponie und mit größer werdender Tiefe zunehmenden Werte für den KMnO₄-Verbrauch der wägrigen Auszüge sind auf zwei verschiedene Prozesse zurückzuführen. Der Anstieg der Werte von den Proben der Fläche 2 bzw. MB 1 zu MB 5 ist auf Fremdeinträge von pflanzlichen Teilen, landwirtschaftlichen Nutzflächen und von kommunalen Abfällen zurückzuführen. Der

mit zunehmender Tiefe ansteigende KMnO_4 -Verbrauch rührt von Auswaschungsprozessen im Sandkörper her. Der Altsand selbst enthält aufgrund seiner technologischen Behandlung auswaschbares organisches Material (Tab. 3).

Eingewehte Fremdstoffe auf Fläche 4 bewirken ebenfalls Veränderungen gegenüber den Verhältnissen auf Fläche 2. Das betrifft vor allem die Erhöhung des Nährstoffangebotes, des Gehaltes an organischer Substanz und der maximalen Wasserkapazität (MWK) (Tab. 7). Das führt hier aber nicht wie in den Randzonen des Altsandkörpers, wo direkte Vermischung mit anderen Substraten erfolgte, zu einer signifikanten Veränderung der Substratverhältnisse.

Begünstigend für die Auswaschung ist die gute Wasserdurchlässigkeit des Deponiekörpers bzw. des Altsandes mit $k = 4,8 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ und die MWK von 26 %.

2.3.1. Die magnetische Suszeptibilität des abgelagerten Altsandes

Zur groben Aufklärung der Homogenität des Chemismus der Oberfläche der Deponie und der Abgrenzung des Deponiekörpers von den Rand- bzw. Mischzonen wurde die Messung der magnetischen Suszeptibilität herangezogen.

Bisher fand die Messung der magnetischen Suszeptibilität zur Untersuchung der Bodenentwicklung Anwendung (Le Borgne 1955; Albert 1958). Von Le Borgne (1955), Albert (1955) und Wendler (1955) wurden als Ursachen der Erhöhung der magnetischen Suszeptibilität Eisenhydroxid- bzw. Eisenoxidüberzüge nachgewiesen. Wie die oberflächlich mit Salzsäure vom Quarzkorn heruntergelösten Eisenmengen der Tab. 4 und 5 zeigen, erhöht sich der Eisengehalt auf der Oberfläche des Gießereialsandes vom unbenutzten zum benutzten Sand und somit auch die magnetische Suszeptibilität. Durch den Gießereiprozess werden Metall- bzw. Metalloxiddämpfe auf der Quarzmatrix niedergeschlagen. Nicht vergleichbar sind diese Werte mit den Ergebnissen der Röntgenfluoreszenzanalyse und den durch einen alkalischen Aufschluß nachchemisch ermittelten Eisengehalten (Tauchnitz u. a. 1980).

Aus den Tabellen 4, 5, 6 ist zu erkennen, daß sich mittels der magnetischen Suszeptibilität der Deponiekörper gut von den Randzonen und der unbeeinflussten Umgebung abgrenzen läßt. Ebenso konnte mit dieser Methode eindeutig die Auswaschung des oberflächlich am Quarzkorn gebundenen Eisenoxids in tiefere Schichten bzw. eine Anreicherung der Eisenionen vor StauhORIZONTEN nachgewiesen werden.

Tabelle 4. Magnetische Suszeptibilität der Spur: Pegel 3 – Pegel 1 – Pegel 2

Entfernung vom Pegel 3 [m]	Skt	Beschreibung der Bodenproben	Fe^{3+} (mg/kg)
2	3,1	Grobkies/sL	
4	2,3	Grobkies/sL	
6	1,1	Grobkies/sL	
8	2,6	Grobkies/sL	
10	7,3	GS	5 688
12	8,4	GS	
14	9,8	GS	
16	9,8	GS	
18	17,0	GS	8 305
20	8,8	GS	5 563
22	13,3	GS	4 460
24	13,1	GS	7 202
26	8,3	GS	8 190
28	18,3	GS	5 192

Fortsetzung 1 Tab. 4

Entfernung vom Pegel 3	Skt	Beschreibung der Bodenproben	Fe ³⁺ (mg/kg)
30	6,0	GS	4 390
32	3,0	GS	1 840
34	6,3	GS	4 995
36	3,3	GS und Feinkies	
38	8,7	GS und Feinkies	
40 (Pegel 1)	9,1	gestörtes Material	
42	13,1	Bohrgut (P 1)	
44	5,1	Bohrgut (P 1)	
46	6,8	GS	
48	8,3	GS	
50	8,3	GS	
52	9,8	GS	
54	9,4	GS	4 582
56	10,1	GS	
58	6,8	GS	
60	4,8	GS, 50 cm von V entfernt	
62	6,5	sL-1S, Bauschutt, V	
64	4,1	GS-Insel	
66	8,1	GS/RZ	
68	7,3	GS/RZ	
70	6,3	GS	
72	9,1	GS	
74	17,1	GS + Feinkies	
75	8,3	GS, V spärlich	
76	31,0	GS, V spärlich	7 113
77	11,0	GS, Feinkies, V dichter	6 104
78	7,0	GS, Feinkies, RZ, V	4 046
79	2,1	GS, V, Bohrgut (P 2)	3 635
80	2,4	Boden GS, V	6 410
81	2,1	Boden GS, V	
82	22,1	Boden GS, V	
83	2,3	Boden GS, V	
84 (P 2)	11,3	GS Bohrgut (P 2) Vegetationszone	6 573
Rohsand I			556
Rohsand II			1 804
Frs			4 514
Frs Mischprobe	8,4		2 161
sL	sandiger Lehm	Skt	Skalenteile
1S	lehmiger Sand	V	Vegetation
GS	Giefereisand	RZ	Randzone (V zu GS)
Frs	frischer Altsand	P	Pegel

Tabelle 5. Magnetische Suszeptibilität der Spur F 2 - F 4 (Zentralteil der Deponie)

Entfernung von Pegel 1 (m)	Skt	Beschreibung
0 (40 m, Tab. 4)	9,1	F 2, GS
12	9,6	F 2, GS
25	11,8	F 2, GS
50	37	F 2, GS
75	sehr groß	F 2, GS
100	48	F 2, GS
125	12	F 2, GS
150	18	F 2, GS
175	16,1	F 2, GS
200	8,3	F 2, GS
225	6,5	F 2, GS
237,5	10,8	F 2, GS
250	22,0	F 4, GS
275	11,8	F 4, GS
300	26,0	F 4, GS
F 2:	Fläche 2	(Abb. 2)
F 4:	Fläche 4	(Abb. 2)
GS:	Gießereialsand	

Tabelle 6. Magnetische Suszeptibilität von Schachtungen

Tiefe (cm)	Skt 1	Skt 2	Skt 3
0—5	6,1	8,1	9,6 (12 m, Tab. 5)
5—10	7,1	14,2	23,4
10—15	5,0	20,1	—
15—20	9,03	14,0	6,2
20—25	7,1	4,8	9,2
25—30	7,6	5,1	8,9
30—35	8,6	5,2	—
35—40	10,3	5,5	—
40—45	15,1	—	—
45—50	14,9	4,8	—
50—55	13,6	—	—
55—60	27,0	—	—

Skt 1: Standort: 30 m der Spur Pegel 3 - Pegel 2

Skt 2: Standort: Zentralteil der Deponie (Fläche 2)

Skt 3: Standort 12 m vom Pegel der Spur F 2 - F 4

—: nicht bestimmt

2.4. Nährstoffverteilung

Die Untersuchung der Oberfläche der Deponie Schädigrube ergibt für pflanzenbedeutsame Kriterien ungünstige Parameter: geringer Gehalt an Nährstoffen und organischer Substanz, niedrige Austauschkapazität (T) und niedrige pH -Werte (Tab. 7).

Der Vergleich der Werte des frischen Altsandes mit denen des abgelagerten der Flächen 2 und 4 zeigt eine geringfügige Zunahme für die Austauschkapazität und den pH -Wert an. Zurückzuführen ist diese Veränderung auf den Auswaschprozeß und den

Tabelle 7. Agrochemische Daten der Altsanddeponie und der Rand- bzw. Mischzonen

Bodenmaterial (Standort)	MWK	T-Wert	H-Wert	pH (KCl)	P	K	Mg	Salzgehalt	C _t	N _t
	4	1	2		3	3	3	4	4	4
2.1.	27	1,3	1,0	5,0	0,2	2	2,5	0,02	6,79	0,038
2.2.	26	1,0	0,6	5,1	0,2	2	2,6	0,02	6,38	0,034
2.3.	27	0,4	0,4	5,3	0,2	1	2,6	0,02	6,98	0,033
2.4.	26	1,0	0,2	5,7	0,2	2	2,6	0,02	5,99	0,041
4.1.M.	37	2,5	0,6	7,2	0,2	3	3,3	0,02	7,79	0,031
4.1.P.	26	1,2	0,1	4,3	0,2	3	3,0	0,02	7,19	0,023
4.2.	—	1,2	1,0	5,9	0,2	2	3,1	0,02	6,98	0,021
4.3.	35	2,0	0,1	7,1	7,5	24	3,9	0,20	5,99	0,047
a (0—10 cm)	36	4,0	3,4	5,2	0,6	3	3,4	—	8,24	—
a (10—20 cm)	—	5,6	2,6	6,9	0,2	3	5,3	—	8,03	—
b	—	9,0	1,8	6,1	0,7	7	5,9	—	8,88	—
c	45	19,4	18,6	5,4	0,2	7	14,9	—	17,66	—
e	52—67	3,6—11,0	0,6—5,4	4,0—6,7	0,9—20,5	3—33	3,3—16	—	3,59—6,62	—
f	30	8,4	0,8	7,1	6,4	30	13,2	—	1,31	—
f-P	31	2,7	2,7	4,8	0,9	3	2,9	0,02	6,40	0,029
l	44	8,6	0,1	7,1	2,9	10	7,4	—	7,19	—
l-P	—	1,0	1,0	5,1	0,5	3	2,8	0,02	5,61	0,033
r	—	6,0	0,1	—	1,8	6	4,9	—	5,16	—
o	40	1,6	1,6	7,1	2,2	3	4,8	0,70	7,19	0,053
v	44	6,9	0,1	7,1	3,8	6	4,2	0,47	8,79	0,069
Frs	26	0,3—1,0	0,3—1,0	3,6—4,7	0,2—0,3	2—3	3,9—5,0	0,14	6,38	0,041

1: mval Ba⁺⁺/100 g Boden; 2: mval/100 g Boden; 3: mg/100 g Boden; 4: (‰)

Frs: Frischer Altsand

2.1. bis 2.4.: Proben der Fläche 2 (Abb. 2)

4.1. bis 4.3.: Proben der Fläche 4 (Abb. 2)

M: Moosstandort

P: Pilzstandort

a, b, c, e, f, g, l, r, o, v: Randzonenstandorte (Abb. 4)

—: nicht bestimmt

Anflug von Asche, Boden- und organischen Materialien. Von besonderem Einfluß sind diese Prozesse auf die Fläche 4 (Proben 4.1. bis 4.3.), da sich diese im Vergleich zur Fläche 2 in einer geschützteren Lage befinden (Abb. 2) und eingewehtes Material liegen bleibt. Die Werte der Altsandproben vom Standort 4.3. nehmen eine Sonderstellung ein. Ungefähr 2,5 m von der Probeentnahmestelle wurden kommunale Abfälle verkippt. Der erhöhte pH-Wert, der hohe Nährstoffgehalt und der erhöhte Salzgehalt sind auf Einwaschungen und Einwehungen von den kommunalen Abfällen zurückzuführen. Bedeutungsvoll ist die geringe Austauschkapazität des abgelagerten Altsandes (Tab. 7). Sie führt dazu, daß die Schadkomponenten nahezu vollständig und unmittelbar auf die Pflanzen einwirken und im Verein mit der Nährstoffarmut und der sauren Bodenreaktion die Vegetationslosigkeit dieser Flächen bewirken.

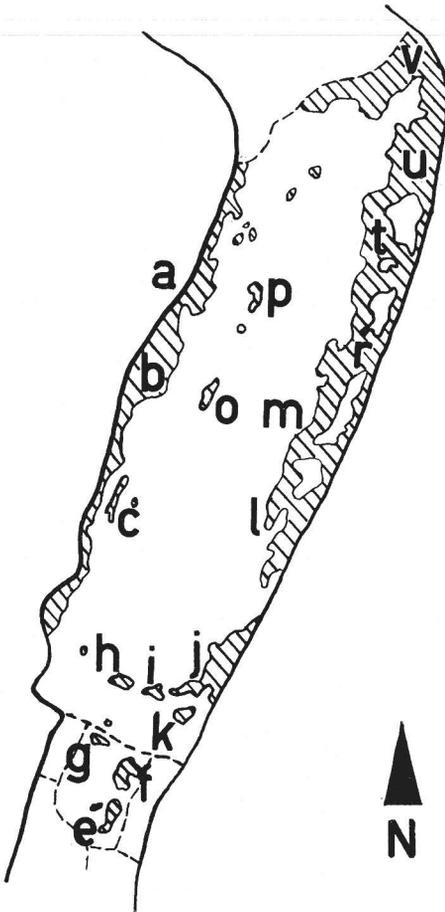


Abb. 4. Natürliche Besiedlung des abgelagerten Gießereialtsandes durch Pflanzen.
a-v: pflanzensoziologisch untersuchte Standorte

In den Randzonen der Deponie (Abb. 4) und auf einzelnen kleinen Vegetationsinseln, inmitten der Flächen 2 und 4, zeigen sich für die Besiedlung durch Mikroorganismen und Pflanzen günstigere Verhältnisse. Diese Pflanzenstandorte haben ausnahmslos alle keinen reinen Altsand als Bodensubstrat, sondern stellen Mischungen,



Abb. 5. Der Pflanzenwuchs wird durch die Auflage von Kulturboden (lehmiger Sand) . . . (Standort j)



Abb. 6. . . . oder die Vermischung mit schadstofffreiem Material ermöglicht (Standort i: Bauschutt)

Tabelle 8. Beschaffenheit des Substrates der einzelnen Pflanzenstandorte (Abb. 4)

Standort	Substrat
a, b (c)	gewachsene Kulturbodenböschung, zum Deponiekörper hin abfallend (Sand-schicht größer werdend)
f (e)	Ablagerung von Kommunalmüll, teilweise Vermischung
j, k	Lehmauflage auf Sand (Bodenprofil B ₅) Abb. 4, Abb. 10
l, m, r	mit Bauschutt vermischte Lehmauflage
t, u	auf Sand, teilweise Lehm-Sand-Mischung
g, h	Ton, Mörtel und Betonstücke unter Sand, z. T. vermischt (Bodenprofil B ₄) Abb. 9
c, e, i, p	mit Sand vermischter Bauschutt (Bodenprofil B ₁ , B ₃) Abb. 5, Abb. 6, Abb. 8
v	auf dem Sand abgelagerte bzw. mit ihm vermischte landwirtschaftliche Abfälle (Pflanzenreste, Silageabfälle u. a.)
o	im Sand abgelagerte Holzreste und alte Spanplatten (Bodenprofil B ₂) Abb. 7

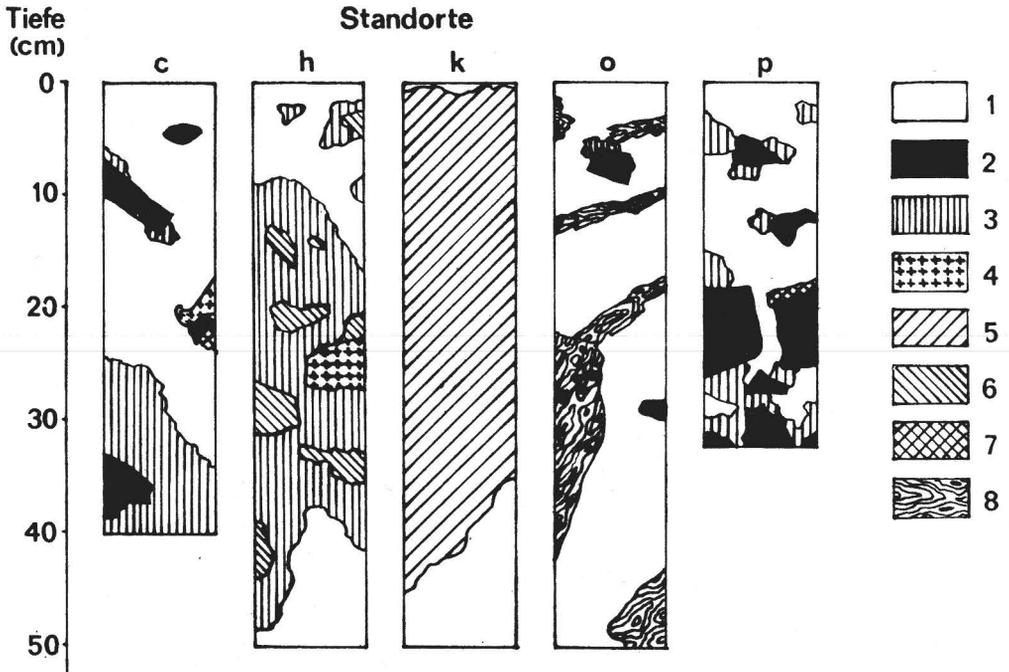


Abb. 7. Bodenprofile einiger Pflanzenstandorte. 1 – Giefereialsand; 2 – Ziegelschutt; 3 – Mörtelreste; 4 – Metallteile; 5 – Lehm; 6 – Ton; 7 – Kommunalmüll; 8 – Holzreste

Unter- oder Überschichtungen mit schadstofffreien Materialien dar (Tab. 8) (Abb. 5–7).

Die dadurch bedingten höheren Nährstoffangebote, pH-Werte und Gehalte an organischer Substanz (Tab. 7) sowie die günstigeren Wasser- und Austauschkapazitäten entsprechen nicht mehr den Verhältnissen einer reinen Schadstoffdeponie, sondern leiten in den Bereich einer gemischten Schadstoffdeponie über (Tauchnitz u. a. 1979).

3. Die natürliche Besiedlung des Deponiekörpers durch Pflanzen

3.1. Besiedlung des reinen Altsandkörpers

Der reine Altsand trägt sowohl in frischem (Fläche 6) als auch in bereits sehr lange lagerndem Zustand (Flächen 2 und 4) keinerlei Vegetation. Die bereits genannten Einwehungen von Kulturboden, Flugasche u. a. auf der Fläche 4 führen dazu, daß sich neben den Moosen *Pohlia nutans* (Schreber) Lindb. und *Bryum argenteum* L. vereinzelte Exemplare von *Poa annua* L. und *Conyza canadensis* (L.) Cronquist, allerdings mit stark verminderter Vitalität, ansiedeln können. Die Gesamtbedeckung überschreitet 1 % nicht.

Obwohl aus der Umgebung eine große Anzahl von Samen zur Verfügung steht (Kurth 1968) und auf der Altsandoberfläche auch Samen festgestellt wurden, konnte eine Keimung bzw. eine Entwicklung von Jungpflanzen nicht beobachtet werden.

Das stimmt mit den Ergebnissen von Gefäßversuchen (Tauchnitz und Schnabel in Vorbereitung) mit reinem Giefereialsand und Mischsubstraten überein. Auf frischem Altsand findet keine Keimung von *Lepidium sativum* L. und *Avena sativa* L. statt;

auf abgelagertem Gießereialsand ist die Keimung $\ll 1\%$. Die absolute Grenze, bei der eine Keimung noch erfolgen kann, liegt bei einem Mischungsverhältnis von Altsand zu schadstofffreiem Substrat wie 50:1. Die Ursachen dafür sind in einem Komplex von Faktoren begründet. Die in Tab. 3 angegebenen Konzentrationen der Inhaltsstoffe wirken in Kulturböden aufgrund vorhandener sorptionsfreudiger Bodenkolloide und den Koordinationsverbindungen bildenden Huminstoffen nicht toxisch. Im Gießereialsand jedoch ist infolge Fehlens oben genannter Bodensubstrate und der damit verbundenen geringen Wasserkapazität mit einer konzentrierten Bodenlösung zu rechnen. Kompensierende Faktoren, wie die Festlegung der Inhaltsstoffe in nicht pflanzenverfügbarer Form an den Huminkomplexen oder Tonkolloiden und der mikrobielle Abbau, sind praktisch nicht vorhanden. Damit ergeben sich für die natürliche pflanzliche Wiederbesiedlung Bedingungen, denen die Pflanzen infolge des auftretenden Hydraturreffektes (Kreeb 1960) nicht mehr gewachsen sind. Die bei der Oberfläche aufliegenden Samen von *Betula pendula* Roth. und Gräsern, nach der den Niederschlägen folgenden Austrocknung festgestellte grauweiße Salzkruste, bestätigt diese Aussage.

Von den Rändern her ist an einigen Stellen das Einwandern von Ausläufern von *Rubus nemorosus* Hayne und *Robinia pseudoacacia* L. zu beobachten. Während die Triebe von *Rubus nemorosus* Hayne der Altsandoberfläche ohne Wurzelbildung locker aufliegen, treibt *Robinia pseudoacacia* L. ihre Ausläufer 2–3 cm unter der Oberfläche im Deponiekörper vor, sproßt im Sand aus und bringt schwache Wurzeln hervor. Wurzelknöllchen waren nur in sehr geringem Umfang (auf 25 cm Wurzellänge 9; im lehmigen Boden 100) oder meist gar nicht vorhanden.

Die Ausläufer werden bis zu 3 m lang. Eine Unterbrechung der Verbindung zur Mutterpflanze führte zum Absterben der Adventivpflanzen.

3.2. Besiedlung der Mischsubstrate

Die natürliche Besiedlung der Deponie Schädegrube durch Pflanzen (Abb. 3) erfolgte nur in den Randzonen bzw. auf einigen „Inseln“, deren Bodensubstrat eine Mischung mit schadstofffreiem Material darstellt (Tab. 8). Die Verteilung der einzelnen Arten auf die verschiedenen Standorte zeigt Tab. 9.

Das Erscheinungsbild einiger Standorte (Abb. 8–11) zeigt die relativ scharfe Begrenzung der einzelnen Standorte zum reinen Altsand hin.

Eine Besonderheit dieser Standorte besteht in der Zwischenstellung ihres Bodensubstrates zwischen schadstofffreiem Substrat und reinem Schadstoff. Gegenüber dem schadstofffreien Substrat ist eine verringerte Wuchshöhe (Abb. 12) zu bemerken. Der Übergang zur reinen Schadstofffläche ist durch eine Verringerung der Pflanzenbedeckung (Abb. 13) und eine Abnahme der Wuchshöhen (Abb. 14 und 15) gekennzeichnet, deren Verlauf der Änderung des Mischungsverhältnisses umgekehrt proportional ist.

Die Veränderung des Mischungsverhältnisses zugunsten des Altsandanteiles hat auch Chlorosen (Abb. 15) und Vertrocknungserscheinungen (Abb. 16) zur Folge, die durch den Nährstoffmangel des Substrates noch verstärkt werden (Schleiff 1976).

Auch die Pfahlwurzeln von *Armoracia rusticana* G. M. Sch. drangen nicht in den Altsand vor. Auf einer Lehm-Bauschutt-Auflage (Standort m) wachsend, knickten die Wurzeln an der Grenzfläche zum Altsand scharf ab und wuchsen entlang dieser Grenzfläche weiter.

An einigen Stellen wurden Pilzarten festgestellt. Als Destruktoren organischer Substanzen weisen sie auf die Anreicherung mit solchen Stoffen hin.

Tabelle 9. Pflanzensoziologische Aufnahmen der einzelnen Standorte (Abb. 4)

	a	b	f	l	m	r	t	u	j	k	g	h	c	e	i	p	v	o
A: Gefäßpflanzen																		
Stetigkeit V (> 80 ‰)																		
<i>Poa annua</i> L.	1	+	3	3	1	2	2	2	2	3	1	+	+	3	2	2	1	.
<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	r	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	3	2	.	+
<i>Chenopodium album</i> L.	1	+	+	2	+	1	2	3	.	3	1	2	1	+	+	3	4	2
Stetigkeit IV (61–80 ‰)																		
<i>Agrostis tenuis</i> Sibth.	3	1	+	2	3	2	2	2	1	.	1	.	.	3	+	.	+	.
<i>Solidago canadensis</i> L.	2	4	+	+	.	+	.	.	+	+	+	.	+	+	1	.	.	.
<i>Oenothera biennis</i> L.	2	+	.	+	.	1	1	1	r	.	.	2	4	.	.	1	r	+
<i>Artemisia vulgaris</i> L.	1	2	1	.	.	+	1	1	1	2	.	1	1	.	.	.	+	.
<i>Tanacetum vulgare</i> L.	+	1	+	+	.	+	1	+	.	1	.	r	+	r	.	.	.	.
<i>Taraxacum officinale</i> Wiggers	r	+	.	+	.	r	+	+	+	r	+	.	.	+	+	.	.	.
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Med.	.	.	1	.	1	+	+	.	r	1	.	+	r	+	+	r	.	.
<i>Chenopodium strictum</i> Roth	.	.	+	2	1	1	1	2	+	.	+	.	.	+	+	3	3	.
<i>Senecio vernalis</i> W. et K.	r	r	r	1	+	+	1	+	1	r	r	r	r	1	r	.	.	.
Stetigkeit III (41–60 ‰)																		
<i>Apera spica-venti</i> (L.) P. B.	+	+	2	3	3	1	2	.	1	.	.	.	.	.	r	.	.	.
<i>Betula pendula</i> Roth (juv.)	.	1	1	+	.	+	.	+	+	+	.	.	.	+	1	+	.	.
<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	.	+	+	+	+	1	.	1	+	.	.	.	.	1	.	1	r	.
<i>Matricaria maritima</i> L.	.	+	+	+	.	1	.	.	1	+	.	+	+	.	+	.	.	.
Stetigkeit II (21–40 ‰)																		
<i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth	3	1	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	+	+	.	1	.	.
<i>Agropyron repens</i> (L.) P. B.	2	+	.	.	.	.	.	1	.	.	3	3	.	.	.	.	3	.
<i>Dactylis glomerata</i> L.	1	+	.	.	.	r	1	2	.	1	.	2	.	.	.	.	.	.
<i>Daucus carota</i> L.	+	1	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Lolium perenne</i> L.	+	.	+	.	.	.	1	+	1	2	.	.	.	.	.	.	1	.
<i>Robinia pseudoacacia</i> L. (juv.)	.	2	r	.	.	.	r	.	1	r	+	.	.	.	.	.	.	.
<i>Rubus nemorosus</i> Hayne	.	1	.	+	.	+	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.

	a	b	f	l	m	r	t	u	j	k	g	h	c	e	i	p	v	o
<i>Galium aparine</i> L.	.	.	2	1	.	.	.	.	+	1	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Stellaria media</i> (L.) Cyr.	.	.	1	.	.	.	+	.	.	.	.	2	+	.	.	+	.	.
<i>Achillea millefolium</i> L.	.	.	+	1	.	+	.	.	+	+	.	.	.	.
<i>Populus deltoides</i> Bartram ex. Marshall (juv.)	.	.	+	+	+	.	.	+
<i>Ballota nigra</i> L.	.	.	.	2	3	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	+	.	.
<i>Epilobium angustifolium</i> L.	.	.	r	1	.	1	.	.	+	.	.	.	.	r	r	.	.	.
<i>Arctium minus</i> (Hill) Bernh.	.	.	.	+	+	1	.	r	r	.	.	r	.	.	.	.	.	.
<i>Descurainia sophia</i> (L.) Webb ex Prantl	.	.	.	+	+	+	1	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.
<i>Urtica dioica</i> L.	.	.	.	+	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	1	.	.
<i>Fallopia convolvulus</i> (L.) A. Löve	.	.	.	+	.	1	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+	.
<i>Hordeum murinum</i> L.	1	1	.	.	1	3	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Lamium album</i> L.	1	+	+	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Chamomilla recutita</i> (L.) Rauschert	.	.	r	.	.	+	+	+	+	1	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Viola arvensis</i> Murray	r	.	.	.	.	.	r	+	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.
<i>Silene alba</i> (Mill.) E. H. L. Krause	.	.	r	.	r	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	r	.
Stetigkeit I (< 20 ‰)																		
<i>Festuca pratensis</i> Huds.	2	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Salix alba</i> L. (juv.)	+
<i>Plantago lanceolata</i> L.	.	2	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Populus x canadensis</i> Moench (juv.)	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Sambucus nigra</i> L. (juv.)	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	+	.	.
<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	.	.	+
<i>Symphytum officinale</i> L.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Tussilago farfara</i> L.	r	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.
<i>Lactuca serriola</i> L.	.	.	.	+	r	.	.	.	.
<i>Centunculus minimus</i> L.	.	.	.	+
<i>Cardaria draba</i> (L.) Desv.	2	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Cerastium arvense</i> L.	1	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Armoracia rusticana</i> G. M. Sch.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Fortsetzung 2 Tabelle 9

	a	b	f	l	m	r	t	u	j	k	g	h	c	e	i	p	v	o
<i>Chelidonium majus</i> L.	.	.	.	r	.	+	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Reynoutria japonica</i> Houtt.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	3	.	.	2
<i>Geranium columbinum</i> L.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Bellis perennis</i> L.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Trifolium repens</i> L.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Ranunculus repens</i> L.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.
<i>Vicia angustifolia</i> L.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Bromus hordeaceus</i> L.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Hypericum perforatum</i> L.	r	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Pastinaca sativa</i> L.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.
<i>Plantago major</i> L.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	r	.	.	.	.	.
<i>Trifolium pratense</i> L.	.	.	.	.	.	.	.	+	r	+	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Centaurea jacea</i> L.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Leontodon autumnalis</i> L.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Polygonum aviculare</i> L.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	1	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Melilotus alba</i> Med.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	2	.	.	.	.	.	.
<i>Carduus acanthoides</i> L.	.	.	.	.	r	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Geum urbanum</i> L.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	r	.	.	.	.	.	.	.
<i>Atriplex nitens</i> Schkuhr	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Trifolium dubium</i> Sibth.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	+
<i>Secale cereale</i> L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
Moose und Pilze*																		
Stetigkeit V																		
<i>Pohlia nutans</i> (Schreber) Lindb.	×	×	×	.	.	×	×	.	×	.	.	×	.	×	.	.	.	.
<i>Bryum argentum</i> L.	.	×	×	.	.	×	×	.	×	.	×	.	.	×	.	.	.	.
<i>Racomitrium canescens</i> (Timm) Brid.	×	×	×	.	.	.	×	.	×	.	×	.	.	×	.	.	.	.
Stetigkeit IV																		
<i>Encalypta contorta</i> (Wulfen) Lindb.	×	.	×	.	.	×	×	.	.	.	.	×	.	×	.	.	.	.
<i>Ceratodon purpureus</i> (L.) Brid.	.	×	×	.	.	.	×	.	×	.	×	.	.	×	.	.	.	.
<i>Weisia viridula</i> (L.) Hedw.	×	×	×	.	.	×	.	.	×	.	×	.	.	.	.	.	.	.

Fortsetzung 3 Tabelle 9

	a	b	f	l	m	r	t	u	j	k	g	h	c	e	i	p	v	o
Stetigkeit III																		
<i>Ditrichum pallidum</i> (Schreber) Hampe	×	×	.	.	×	.	.	×
<i>Racomitrium hypnoides</i> (L.) Lindb.	.	×	×	.	×	×
<i>Pleurodium alternifolium</i> (Dicks.) Rabenh.	×	.	×	.	.	.	×	.	×
Stetigkeit II																		
<i>Ditrichum tenuifolium</i> (Schrader) Lindb.	×	×	.	×
<i>Grimmia pulvinata</i> (L.) Sm.	×	×
<i>Tortella tortuosa</i> (L.) Limpr.	×	×
<i>Syntrichia ruralis</i> (L.) Brid.	×	.	×	×
<i>Funaria fascicularis</i> Schimp.	.	.	×	.	.	.	×	.	×
<i>Peziza aurantia</i> Müll.	.	.	×	×
<i>Peziza badia</i> Pers.	.	.	.	×	×
<i>Pleurodium nitidum</i> (Hedw.) Rabenh.	×	.	×
<i>Funaria hygrometrica</i> (L.) Sibth.	×	×	×
<i>Physcomitrium piriforme</i> (L.) Brid.	×	×
<i>Barbula convoluta</i> Hedw.	×	×
Stetigkeit I																		
<i>Pleurodium subulatum</i> (Hedw.) Rabenh.	×
<i>Cyathus olla</i> Batsch	×
<i>Hebeloma mesophaeum</i> (Pers. ex Fr.) Quell	×
<i>Tortula aestiva</i> (Brid.) P. Beauv.	×
<i>Coprinus atramentarius</i> Bull.	×
<i>Encalypta vulgaris</i> (Hew.) Hoffm.	×
<i>Mniobryum albicans</i> (Wahlenb.) Limpr.	.	.	×
<i>Bryum caespiticium</i> L.	.	.	×
<i>Pogonatum nanum</i> (Weiss p. p. em. Röhl) P. Beauv	.	.	×

Fortsetzung 4 Tabelle 9

	a	b	f	l	m	r	t	u	j	k	g	h	c	e	i	p	v	o
<i>Pottia truncatula</i> (L. Lindb.)	.	.	×
<i>Polytrichum piliferum</i> Schreber	×
<i>Dicranella heteromalla</i> (L.) Schimper	×

Weiterhin wurden folgende Pflanzen festgestellt (alle r):

f: *Diplotaxis tenuifolia* (L.) DC., *Fraxinus excelsior* L. (juv.)r: *Papaver argemone* L.j, g: *Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm.

* Untersuchungen erfolgten qualitativ an den Standorten a, b, f, r, t, j, h und e (Moose) bzw. an allen Standorten (Pilze).

Tabelle 10. Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchungen

Probe	KZ/g FM	TM [⁰ / ₀ FM]
MB 1 _o	1 330	95,0
MB 1 _u	660	94,8
MB 2 _o	5 330	95,0
MB 2 _u	1 330	94,9
MB 3 _o	50 600	95,0
MB 3 _u	670	95,2
MB 4 _o	140 000	89,9
MB 4 _u	114 000	90,0
M 1	5 700	95,5
M 2	4 000	95,6
M 3	64 600	91,3
E 1	6 660	98,0
E 2	1 330	95,4
E 3	1 330	96,5
Frs	8	100

KZ: Keimzahl TM: Trockenmasse FM: Frischmasse Frs: frischer Altsand

Tabelle 11. Ökologische Grenzwerte des Vorkommens verschiedener Pflanzenarten in den Randzonen der Deponie Schädigrube
(Zahlen in Klammern: infolge spärlichen Vorkommens als äußerste Grenze zu betrachten)

Pflanzenart	T-Wert 1	H-Wert 2	pH (KCl)	P 3	K 3	Mg 3	C _t 4
A: Gefäßpflanzen							
<i>Agropyron repens</i> (L.) P. B.	4,0	0,1	5,2	0,6	3	3,4	8,24
<i>Agrostis tenuis</i> Sibth.	4,0 (3,6)	0,1 (4,0)	5,2	0,6	3	3,4 (3,3)	5,16 (1,31)
<i>Apera spica-venti</i> (L.) P. B.	6,0 (4,0)	0,1	7,1 (5,2)	1,8 (0,6)	6 (3)	4,9 (3,4)	5,16
<i>Arctium minus</i> (Hill) Bernh.	6,0	0,1	7,1	1,8	6	4,9	5,16
<i>Artemisia vulgaris</i> L.	4,0	0,8 (0,1)	5,2	0,2	3	3,4	1,31
<i>Ballota nigra</i> L.	8,6	0,1	7,1	2,9	10	7,4	7,19
<i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth	4,0 (3,6)	1,8 (0,1)	5,2 (4,0)	0,6 (0,2)	3	3,4 (3,3)	8,24 (3,59)
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Med.	8,4 (6,0)	0,8 (0,1)	7,1 (5,4)	6,4 (0,2)	30 (6)	13,2 (4,9)	1,31
<i>Chenopodium album</i> L.	1,6	0,1	5,4 (4,0)	0,2	3	3,4 (3,3)	1,31
<i>Chenopodium strictum</i> Roth	6,0 (3,6)	0,1	7,1 (4,0)	1,8 (0,9)	6 (3)	4,2 (3,3)	5,16 (1,31)
<i>Cirsium arvense</i> N (L.) Scop.	6,0 (3,6)	0,1	6,7 (4,0)	1,8 (0,7)	6 (3)	4,9 (3,3)	5,16 (1,31)
<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	1,6	0,1	5,4 (4,0)	0,2	6 (3)	4,9 (3,3)	1,31
<i>Dactylis glomerata</i> L.	4,0	3,4 (0,1)	5,2	0,6	3	3,4	8,24 (7,19)
<i>Daucus carota</i> L.	9,0 (4,0)	1,8	6,1 (5,2)	0,7 (0,6)	7 (3)	5,9 (3,4)	8,88 (8,24)
<i>Epilobium angustifolium</i> L.	6,0 (3,6)	0,1	7,1 (4,0)	1,8 (0,9)	6 (3)	4,9 (3,3)	5,16 (1,31)
<i>Festuca pratensis</i> Huds.	4,0	1,8	5,2	0,6	3	3,4	8,24
<i>Galium aparine</i> L.	8,4	0,1	7,1	2,9	10	7,4	1,31
<i>Hordeum murinum</i> L.	6,0	0,1	7,1	1,8	6	4,9	5,16

Pflanzenart	T-Wert 1	H-Wert 2	pH (KCl)	P 3	K 3	Mg 3	C _t 4
<i>Lolium perenne</i> L.	6,9 (4,0)	0,1	7,1 (5,2)	3,8 (0,6)	6 (3)	4,2 (3,4)	8,79 (1,31)
<i>Matricaria maritima</i> L.	6,0	0,1	7,1 (5,4)	1,8 (0,2)	6	4,9	5,16 (1,31)
<i>Oenothera biennis</i> L.	4,0 (1,6)	0,1	5,2	0,2	3	3,4	5,16
<i>Pastinaca sativa</i> L.	(3,6)	(0,6)	(4,0)	(0,9)	(3)	(3,3)	(3,59)
<i>Plantago lanceolata</i> L.	9,0	1,8	6,1	0,7	7	5,9	8,88
<i>Poa annua</i> L.	2,5	0,1	5,2 (4,0)	0,2	3	3,3	1,31
<i>Ranunculus repens</i> L.	(3,6)	(0,6)	(4,0)	(0,9)	(3)	(3,3)	(3,59)
<i>Reynoutria japonica</i> Houtt.	1,6	1,6	7,1	2,2	3	4,8	7,19
<i>Rubus nemorosus</i> Hayne	9,0 (6,0)	1,8 (0,1)	6,1	0,7	7 (6)	5,9 (4,9)	8,88 (5,16)
<i>Sambucus nigra</i> L.	8,4	0,8	7,1	6,4	30	13,2	1,31
<i>Senecio vernalis</i> W. et K.	8,6 (3,6)	0,1	6,7 (4,0)	2,9 (0,9)	10 (3)	7,4 (3,3)	6,62 (3,59)
<i>Solidago canadensis</i> L.	4,0	1,8 (0,1)	5,2 (4,0)	0,6 (0,2)	3	3,4 (3,3)	8,24 (1,31)
<i>Stellaria media</i> (L.) Cyr.	8,4 (3,6)	0,8	7,1 (5,4)	6,4 (0,2)	30 (7)	13,2	1,31
<i>Symphytum officinale</i> L.	8,6	0,1	7,1	2,9	10	7,4	7,19
<i>Tanacetum vulgare</i> L.	9,0 (1,0)	1,8 (0,1)	6,1 (4,0)	0,7 (0,2)	7 (3)	5,9 (3,3)	8,88 (1,31)
<i>Urtica dioica</i> L.	6,0	0,1	7,1	1,8	6	4,9	5,16
B: Moose und Pilze							
<i>Barbula convoluta</i> Hedw.	4,0	3,4	5,2	0,6	3	3,4	8,24
<i>Bryum argenteum</i> L.	6,0 (2,5)	0,1	5,4	0,2	6 (3)	4,9 (3,3)	1,31

Pflanzenart	T-Wert 1	H-Wert 2	pH (KCl)	P 3	K 3	Mg 3	C _t 4
<i>Bryum caespiticium</i> L.	8,4	0,8	7,1	6,4	30	13,2	1,31
<i>Ceratodon pupureus</i> (L.) Brid.	8,4 (3,6)	0,8 (0,6)	6,1 (4,0)	0,7	7 (3)	5,9 (3,3)	1,31
<i>Ditrichum pallidum</i> (Schreber) Hampe	4,0	0,1	5,2	0,6	3	3,4	5,16
<i>Ditrichum tenuifolium</i> (Schradler) Lindb.	4,0	0,1	5,2	0,6	3	3,4	5,16
<i>Encalypta contorta</i> (Wulfen) Lindb.	4,0 (3,6)	0,1	5,2 (4,0)	0,6	3	3,4 (3,3)	1,31
<i>Encalypta vulgaris</i> (Hedw.) Hoffm.	4,0	3,4	5,2	0,6	3	3,4	8,24
<i>Funaria fascicularis</i> Schimp.	8,4	0,8	7,1	6,4	30	13,2	1,31
<i>Funaria hygrometrica</i> (L.) Sibth.	4,0 (3,6)	3,4 (0,6)	5,2 (4,0)	0,6	3	3,4 (3,3)	6,62 (3,59)
<i>Grimmia pulvinata</i> (L.) Sm.	4,0	1,8	5,2	0,6	3	3,4	8,24
<i>Hebeloma mesophaeum</i> (Pers. ex Fr.) Quell.	1,2	0,1	4,3	0,2	3	3,0	7,19
<i>Mniobryum albicans</i> (Wahlenb.) Limpr.	8,4	0,8	7,1	6,4	30	13,2	1,31
<i>Peziza aurantia</i> Müll.	2,7	2,7	4,8	0,2	3	2,9	6,40
<i>Peziza badia</i> Pers.	1,0	1,0	5,1	0,5	3	2,8	5,61
<i>Physcomitrium piriforme</i> (L.) Brid.	(3,6)	(0,6)	(4,0)	(0,9)	(3)	(3,3)	(3,59)
<i>Pleuridium alternifolium</i> (Dicks.) Rabenh.	4,0	0,8	5,2	0,6	3	3,4	1,31
<i>Pogonatum nanum</i> (Weiss p. p. em. Röhl) P. Beau v.	8,4	0,8	7,1	6,4	30	13,2	1,31
<i>Pohlia nutans</i> (Schreber) Lindb.	4,0 (2,5)	0,1	5,2 (4,0)	0,6 (0,2)	3	3,4 (3,3)	1,31
<i>Pottia truncatula</i> (L.) Lindb.	8,4	0,8	7,1	6,4	30	13,2	1,31
<i>Racomitrium canescens</i> (Timm) Brid.	4,0 (3,6)	0,8 (0,6)	5,2 (4,0)	0,6	3	3,4 (3,3)	1,31
<i>Racomitrium hypnoides</i> (L.) Lindb.	9,0 (3,6)	5,4 (0,6)	5,4 (4,0)	0,7	7 (3)	5,9 (3,3)	6,62 (3,59)
<i>Syntrichia ruralis</i> (L.) Brid.	4,0	0,8	5,2	0,6	3	3,4	1,31
<i>Tortella tortuosa</i> (L.) Limpr.	4,0	3,4	5,2	0,6	3	3,4	8,24
<i>Weisia viridula</i> (L.) Hedw.	4,0	0,1	5,2	0,6	3	3,4	1,31



Abb. 8. Am Standort c wurde Bauschutt abgekippt, der die Entwicklung der Pflanzen auf diesem Standort ermöglichte

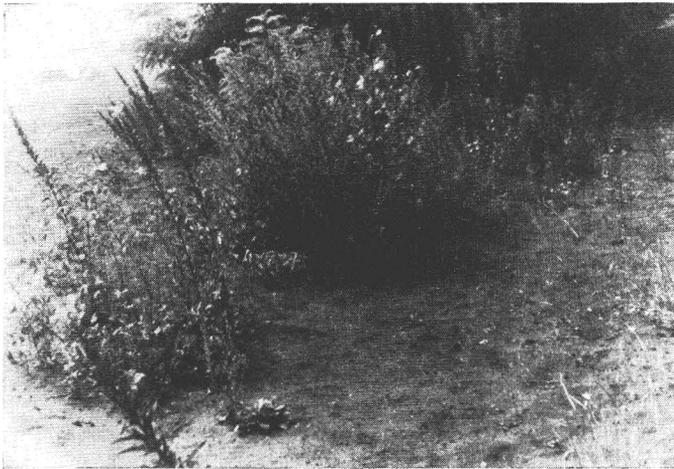


Abb. 9. Bei der Anlage einer Zufahrt zum ehemaligen Restloch blieb auf der Innenseite (Abb. links) eine geringe wallartige Bodenerhebung stehen, deren Verlauf durch die Vegetation angezeigt wird (Standort b)

3.3. Pflanzensoziologische Einordnung

Nach Artenzusammensetzung und Stetigkeit (Tab. 9) kann die Vegetation der Deponie Schädegrube als Zwischenstufe zwischen dem *Erigeron-Lactucetum* Lohm 50 mscr. und dem *Tanaceto-Artemisietum* Br.-Bl. (31) 49 angesprochen werden (Oberdorfer 1957; Gutte 1966, 1971). Die einzelnen Arten sind über die verschiedenen Standorte sehr inhomogen verteilt (Tab. 9). Die geringen Arealgrößen der einzelnen Standorte lassen keine Differenzierung zu bzw. diese als wenig sinnvoll erscheinen. Deutlich ist das Hervortreten der *Chenopodium*-Arten auf den Mischsubstraten von Altsand und organischen Stoffen (Standorte o, v) und die relative Artenarmut dieser Standorte (Abb. 12).

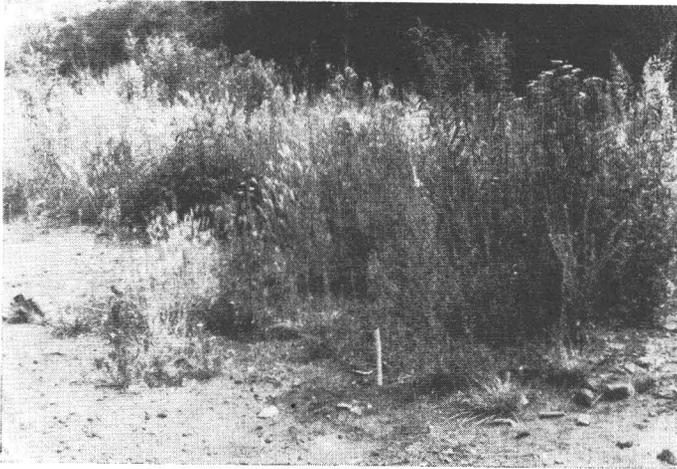


Abb. 10. Die Abnahme der Pflanzenbedeckung und die Verminderung der Wuchshöhen sind beim Übergang vom Lehm-Bauschuttgemisch des Standortes m zum Gießereialtsand deutlich sichtbar



Abb. 11. Auf Holzresten und etwas Bauschutt wächst *Reynoutria japonica* Hoult. (Standort o)

3.4. Ökologische Betrachtungen

Anhand der auf verschiedenen Pflanzenstandorten festgestellten Pflanzenarten und der dazu vorliegenden chemischen Parameter (Tab. 7) wurde geprüft, welche Pflanzenarten für eine Verwendung als Bioindikator in Frage kommen könnten und daher zukünftig genauer untersucht werden sollten. Dabei wurde von folgenden Voraussetzungen ausgegangen:

- Spärlich vorkommende Pflanzenarten ($r, +$) wurden nur dann berücksichtigt, wenn sie an anderen Standorten häufiger sind. Das ist mit dem Stichprobencharakter der analysierten Bodenproben zu erklären, die am konkreten Standort einer Pflanze

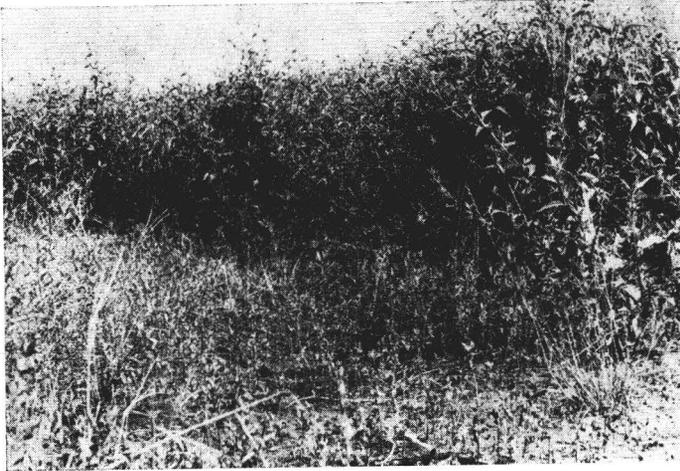


Abb. 12. Auf nährstoffreichen landwirtschaftlichen Abfällen tritt der *Chenopodium*-Anteil der Vegetation hervor (Standort v)

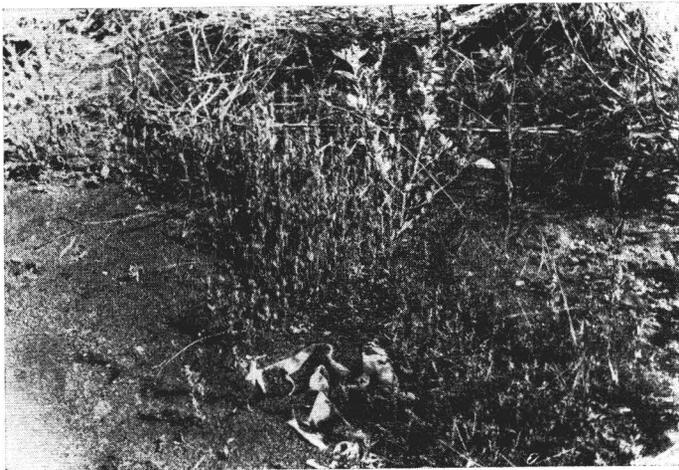


Abb. 13. Die Vergrößerung des Mischungsverhältnisses in den Randzonen führt zur Verringerung des Bedeckungsgrades

durchaus andere Werte ergeben können. Häufig vorkommende Pflanzen wachsen auch im Bereich der angegebenen Analysenwerte.

- Sehr dicht schließende Bestände, besonders von hoch wachsenden Pflanzen, bilden eine starke Konkurrenz für kleinere Arten. Daher darf das Fehlen von Pflanzenarten an den Standorten o und v nicht überbewertet werden.
- Der Faktor Wassergehalt des Substrates konnte nur verbal erfaßt werden und nimmt etwa in der Reihenfolge $f > e > l > v > r > b > c > a > o$ ab. Dabei ist die Geschwindigkeit der Austrocknung an den Standorten c, a und o besonders hoch.
- Die Lagerzeit von etwa 6 Jahren reicht aus, um Zufälligkeiten der Besiedlung weitgehend auszuschließen.

Die Ergebnisse einer derartigen Betrachtungsweise zeigt Tab. 11.

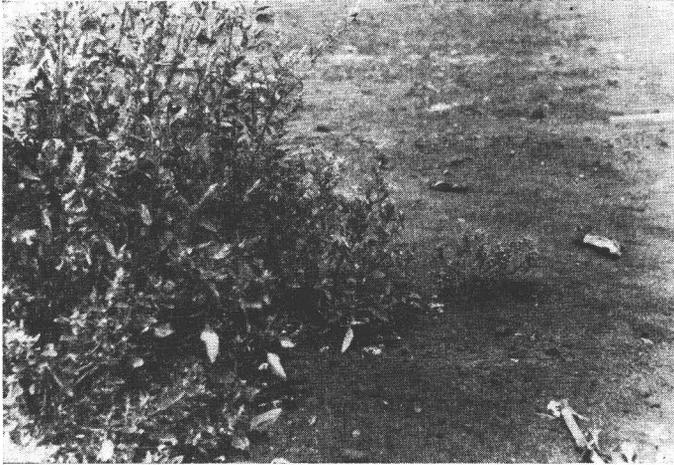


Abb. 14. *Chenopodium album* L. zeigt deutlich, daß sich die Wuchshöhe umgekehrt proportional zum Mischungsverhältnis ändert. Die Grenze der Besiedlung ist etwa bei $M = 50$ erreicht

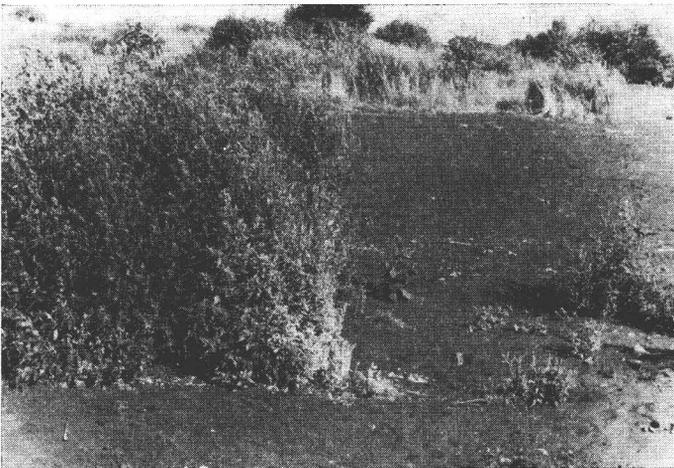


Abb. 15. Eine rasche Vergrößerung des Mischungsverhältnisses führt zur rapiden Abnahme der Wuchshöhe. Symptom für die Pflanzenschädigung ist das Auftreten von Chlorose (helle Pflanzenteile im Vordergrund)

4. Die natürliche Besiedlung des Deponiekörpers durch Mikroorganismen

Die natürliche Besiedlung des Deponiekörpers durch Mikroorganismen verläuft ähnlich der Besiedlung durch höhere Pflanzen. Um einen gewissen Überblick über die mikrobiologische Aktivität, den Einfluß der Zeit und des Ortes der Ablagerung im Deponiekörper zu erhalten, wurden die Keimzahlen von Bodenproben des Deponiekörpers auf Nähragar bestimmt (Hygieneinspektion Potsdam 1976). Die Bodenproben wurden dem Zentralteil (etwa 20 m Entfernung von den Vegetationszonen – Proben M 1, M 2, E 1 bis E 3) und der Randzone (MB 1 bis MB 4, M3) der Deponie ent-

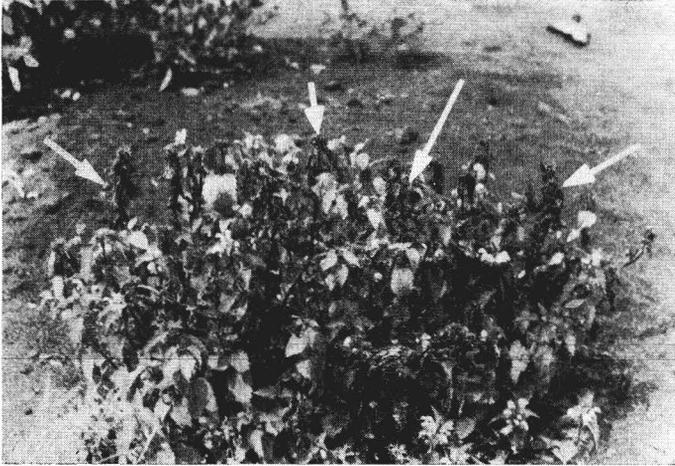


Abb. 16. Äußeres Symptom der Schädwirkung des Gießereialsandes sind auch Vertrocknungserscheinungen (Pfeile), die bei *Lamium album* L. deutlich sichtbar sind

nommen. Die Ergebnisse sind in der Tab. 10 enthalten. Sie zeigen, daß der frisch anfallende Altsand praktisch keimfrei ist und so auf die Deponie gebracht wird. Nach einer etwa 6 bis 7 Jahre dauernden Lagerungszeit auf der Deponie sind in deren zentraleren Teilen auf der Oberfläche Keimzahlen von etwa 1000 bis 7000/g Trockenmasse (Proben M 1, M 2, E 1, MB 1₀) nachweisbar.

Im allgemeinen sind zwei Tendenzen zu bemerken, die Abnahme der Keimzahlen mit zunehmender Tiefe (Proben E 1 bis E 3; MB 1₀, MB 1_u usw.) und die Abnahme mit größer werdender Entfernung vom Rand der Deponie. Koliforme Bakterien wurden nur in den Proben MB 4_u in der Verdünnung 1:10 (2 Kolonien) und MB 4_o in der Verdünnung 1:100 (1 Kolonie) auf ENDO-Agar nachgewiesen.

Der Vergleich der mikrobiologischen Aktivität des Altsandkörpers mit den Keimzahlen der Randzonen, von Waldbodenstandorten (Lötschert 1962) und Deponiekörpern (Farkasdi u. a. 1969) läßt die Altsanddeponie als eine „Mikrobenwüste“ erscheinen. Der mikrobielle Abbau der organischen Inhaltsstoffe muß deshalb stark gehemmt sein. Ohne Angaben der Keimzahlen konnte Thämlitz (1974) für Phenolsand-Bodenmischungen 5:1 einen mikrobiellen Abbau nachweisen. Dieses Mischungsverhältnis kommt den Verhältnissen der Randzonen nahe.

Schl u ß f o l g e r u n g e n

Die Untersuchungen am Standort der reinen Schadstoffdeponie Schädgrube ergaben, daß nur dort eine ausreichende bodenbiologische Aktivität zu verzeichnen ist und sich Pflanzen angesiedelt haben, wo schadstofffreie Materialien wie organische Abfälle der Landwirtschaft, Bauschutt, kommunale Abfälle und verschiedene Kulturbodensubstrate dem Schadstoff „Gießereialsand“ beigemischt waren. Diese Materialien verdünnen den Schadstoff, sorbieren die toxischen Inhaltsstoffe und lassen mikrobielle Prozesse wirksam werden. Damit werden jedoch Verhältnisse erreicht, die denen auf gemischten Schadstoffdeponien gleichen.

Für die Kultivierung reiner Schadstoffdeponien ergeben sich daher folgende Varianten:

5.1. Kulturbodenauftrag

Der Auftrag von Kulturboden dient der Bildung einer Deckschicht als Wurzelraum für Pflanzen. Dieses Verfahren bezieht den Deponiekörper nicht in die künftige Nutzung mit ein, sondern nimmt eine Schadstelle mit einem relativ dünnen Überzug in Kauf. Der Schadstoff des Deponiekörpers wird von äußeren Einflüssen weitestgehend isoliert, und es entsteht eine scharfe Grenzfläche, die die Wurzeln der Pflanze nicht durchdringen (Tauchnitz und Schnabel in Vorbereitung).

Die Mindestmächtigkeit der Bodendeckschicht, die eine ausreichende Wasserspeicherleistung und Wurzelentwicklung gewährleistet, muß mindestens 150 cm betragen (Gehlker 1976 a). Dazu kommt noch eine Sicherheitszone unterhalb des Wurzelraumes, die Untergrundeinflüsse auf die Deckschicht abfangen soll. Schätzt man dafür etwa 50 cm (Gehlker 1976 b), so ergibt sich ein Gesamtbodenauftrag von 200 cm. Eine derartige Verfahrensweise hätte zur Folge, daß der Deponiekörper für lange Zeit unverändert erhalten bleibt und daß z. B. für die Deponie Schädigrube ungefähr 760 000 m³ Kulturboden bereitgestellt und planiert werden müssen.

5.2. Einbeziehung des Deponiekörpers in die Kultivierung

Die Menge des aufzubringenden Kulturbodens kann vermindert werden, wenn bereits die obere Schicht des Deponiekörpers in die Kultivierungsmaßnahmen einbezogen wird. Wie die Beobachtungen an der Deponie zeigen, ist es möglich, die für landwirtschaftliche Maschinen und Geräte zugängliche oberste Schicht des Deponiekörpers (etwa 60 cm) durch Beimischungen von schadstofffreien Stoffen kultivierungsfreundlicher zu gestalten.

Dazu eignet sich am besten Braunkohlenelektrofilterasche, da sie

- a) das Substrat neutralisiert und
- b) eine Verdichtungszone schafft, die die Versickerung der Niederschläge hemmt (Parker u. a. 1977).

Eine derartige Behandlung reicht jedoch noch nicht aus, um einen normalen Pflanzenwuchs zu sichern. Es ist notwendig, durch Aufbringen von Gülle, Mist oder evtl. Fäkalien organische Substanzen (Erhöhung der Sorptionskapazität) und Nährstoffe einzubringen.

Eine solche Verfahrensweise bewirkt, daß unter einem Wurzelraum aus Kulturboden eine Übergangsschicht zum reinen Deponiekörper geschaffen wird; dabei entsteht keine Grenzschicht für die Durchwurzelung. Durch das Einspülen von Nährstoffen und organischen Substraten in den Deponiekörper werden teilweise die Verhältnisse einer gemischten Schadstoffdeponie erreicht. Dazu ist es notwendig, 20–30 dt Braunkohlenelektrofilterasche, eine in Abhängigkeit vom Nährstoff- und Feststoffgehalt noch zu ermittelnde Menge Gülle und 570 000 m³ Kulturboden aufzubringen und zu verteilen.

5.3. Technologische Vorbereitung der Kultivierung einer gemischten Schadstoffdeponie

Die Zielstellung dieser Arbeit ist es zu zeigen, daß durch die Art und Weise des Betriebes einer Schadstoffdeponie solche Langzeitschadstellen in der Natur, wie dies z. Z. bei der Deponie Schädigrube der Fall ist, vermieden werden können. Das erfordert, keine reinen Schadstoffe abzulagern, sondern diese gemeinsam mit schadstofffreien Materialien in bestimmten, erforderlichen Mengenverhältnissen abzulagern (Tauchnitz und Schnabel in Vorbereitung). Dazu ist es notwendig,

- die Deponie bereits in den unteren Lagen so zu betreiben, daß mikrobielle Abbauprozesse ablaufen können und die

– oberen 2 bis 3 m, also der Abschluß der Deponie, so zu gestalten, daß sowohl mikrobielle Prozesse ablaufen als auch eine optimale, natürliche Kultivierung möglich ist.

Die so entstandene gemischte Schadstoffdeponie (Tauchnitz u. a. 1980) ist ohne zusätzlichen Aufwand kultivierbar, wobei bei einer vorgesehenen intensiven landwirtschaftlichen Nutzung die Notwendigkeit zusätzlicher Maßnahmen geprüft werden muß (Kulturbodenauftrag, Düngung usw.).

6. Experimenteller Teil

6.1. Probenahmen

Die Proben wurden in Plastbeutel verpackt und bis zur chemischen Untersuchung eingefroren. Für die mikrobiologischen Untersuchungen wurden die Proben steril entnommen und nach einer Stunde bearbeitet.

6.2. Probenahmestandorte

6.2.1. Zur Schadstoffverteilung (Tab. 3)

Der frische Altsand (Frs) stammt von der Verklammerung im Betrieb. Die Proben der Fläche 2, Z 1 und Z 2 wurden am Pegel 1 (Tauchnitz u. a. 1980) entnommen.

Der Entnahmestandort der Proben RZ befindet sich 0,5 m vom Rand des Vegetationsstandortes u in der Fläche 2. Die Altsandprobe MB 5 wurde einer Wurzelzone einer Mooschicht entnommen (Standort zwischen l und j).

6.2.2. Zur agrochemischen Untersuchung (Tab. 7)

Die zur Ermittlung der agrochemischen Kennziffern entnommenen Bodenproben stammen aus Tiefen von 0 bis 5 cm, von den zentralen Teilen der Standorte. Bezogen auf den Standort des Pegels 1 (Tauchnitz u. a. 1980) wurde die Probe 2.1. bei 0 m, die Probe 2.2. bei 50 m, die Probe 2.3. bei 100 m, die Probe 2.4. bei 236 m, die Probe 4.1.M. bei 239 m, die Probe 4.1.P. bei 240 m, die Probe 4.2. bei 260 m und die Probe 4.3. bei 300 m Entfernung entnommen. Bei der Wahl der zuletzt genannten Bodenproben wurden für die Probenahme vegetationsferne Standorte (Mittellinie der Längsachse der Deponie) ausgewählt.

6.2.3. Zur mikrobiologischen Untersuchung (Tab. 10)

Die Standorte der Probenahme von MB 1_o/MB 1_u sind 3 m, von MB 2_o/MB 2_u 1,5 m und MB 3_o/MB 3_u 0,5 m vom Standort t entfernt. Der Entnahmestandort der Proben MB 4_o/MB 4_u ist der Rand der Vegetationszone und zwar der Standort von *Poa annua* L. MB 4_u ist der Wurzelzone von *Poa annua* L. entnommen worden.

MB 1_o, MB 2_o, MB 3_o, MB 4_o entstammen der Oberfläche der Deponie von 0 bis 1 cm. Die Proben MB 1_u, MB 2_u, MB 3_u und MB 4_u stammen vom gleichen Standort aus der jeweils 10 cm tieferen Schicht. Aus der Mitte der Altsanddeponie, zwischen den Vegetationszonen p und t (vegetationsfern), kommen die Proben E 1, E 2 und E 3. E 1 ist eine Probe von 0 bis 1 cm, E 2 von 20 cm und E 3 von 40 cm Tiefe.

M 2 wurde der Oberfläche (0–1 cm) der Deponie, in der Mitte zwischen c und l und M 1 (0–1 cm) am Standort des Pegels 1 entnommen. Die Probe M 3 (0–1 cm) wurde von der Randzone des Standortes l entnommen.

Entnahmezeiten der Probenahme waren September/Oktober 1977 und September/Oktober 1978.

6.2. Schadstoffverteilung

Die Bestimmung der anthropogen verursachten Inhaltsstoffe des Altsandes (Tab. 3) wurde von Tauchnitz u. a. (1980) beschrieben.

6.2.1. Eisenbestimmungen

6.2.1.1. Röntgenfluoreszenzspektrometrische Bestimmung (Tab. 3)

Siehe Punkt 6.1.

6.2.1.2. Nafchemische Bestimmung durch alkalischen Aufschluß

Der Altsand wurde nach Trocknung mit Ätznatron alkalisch aufgeschlossen. Durch mehrmaliges Abdampfen von Salzsäure conc. wurden die gelösten Silikate gefällt und aus der überstehenden Lösung das Eisen als Fe_2O_3 gravimetrisch bestimmt (Müller 1968).

6.2.1.3. Bestimmung des Eisens im Salzsäureauszug (Tab. 4 und 5)

Der wasserfreie Altsand wird 45 min mit $\text{HCl}_{\text{conc.}}$ am Rückfluß gekocht. Danach erfolgte eine kolorimetrische Bestimmung des von der Oberfläche des Sandkornes heruntergelösten Altsandes mit KSCN (TGL – Vorschrift 190-84 Blatt 14). Als Gerät wurde das Spekol der Fa. Carl Zeiss Jena verwendet.

6.3. Messung der magnetischen Suszeptibilität

Zur Messung der magnetischen Suszeptibilität wurde eine Feldwaage mit Bandaufhängung nach Fanselau (1948, 1951, 1956) verwendet. Die Bodenproben wurden in Plastebeutel (Polyäthylen) abgepackt und mit der Feldwaage vermessen.

6.4. Ermittlung der agrochemischen Kennziffern

Die Nährstoffgehalte wurden in dankenswerter Weise von der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR, Institut für Pflanzenernährung Jena, Bereich agrochemische Untersuchung und Beratung (ACUB), Dr. Witter, ermittelt.

Folgende Methoden fanden Anwendung:

- pH-Wert: Glaselektrode in 0,1 n KCl (1:2,5); (TGL 25 418/06).
- P- und K-Werte: DL-Methode nach Egner-Riehm (TGL 25 418/07-08).
- Mg-Wert: mit CaCl_2 nach Schachtschabel (TGL 25 418/09).
- Ct-Wert: Trockenverbrennung (TGL 25 418/04).
- Nt-Wert: (TGL 25 418/03).
- Salzgehalt:
- T- und H-Wert: Schlichting, Blume 1966.

6.5. Bestimmung des Wassergehaltes und der maximalen Wasserkapazität

6.5.1. Wassergehalt (Trockenmassebestimmung)

Eine bestimmte Menge Bodensubstrat wurde eingewägt und bei 105°C getrocknet. Die Massendifferenz entspricht dem Wassergehalt (Schlichting, Blume 1966). Die Trockenmasse wird in Prozent der Frischmasse angegeben (Tab. 10).

6.5.2. Maximale Wasserkapazität

Die maximale Wasserkapazität wurde nach Schlichting und Blume (1966) (Abschnitt 5.3.3.2.) ermittelt.

Es erfolgte eine dreimalige Bestimmung der MWK. Ausgedrückt werden die Werte in Massenprozent.

6.6. Bestimmung der Agarkeimzahl

5 g Material wurden im Verhältnis 1:10 mit steriler 0,9%iger NaCl-Lösung 15 min geschüttelt. Von der nochmals 1:10 verdünnten Suspension wurden 1 ml und 0,05 ml in 3 Parallelen mit Nähragar vermischt, bei 37 °C bebrütet und nach 48 Stunden die Keimzahlen abgelesen. Die Berechnung der Keimzahlen pro g Trockenmasse erfolgte in Anlehnung an die „Ausgewählten Bodenhygienischen Untersuchungsmethoden“ (1976).

6.6.1. Nähragar

Es wurde der Nähragar No. 1 der Fa. IMUNA, národný podnik, Sarišské Michalany, ČSSR, verwendet (3 Teile Fleischextrakt, 5 Teile pankreatisches Pepton, 15 Teile Agar). Davon 23 g auf 1 Liter Wasser, sterilisiert, und in 10–15 ml sterile Petrischalen eingefüllt.

6.6.1.1. Laktosespaltende Bakterien (Koliforme)

Zum Nachweis der laktosespaltenden Bakterien wurden 0,05 ml o. g. Suspension auf ENDO-Agar ausgespatelt und 48 Stunden bei 42 °C bebrütet. Die gewachsenen Kolonien wurden auf Bromthymolblau-Agar („Grüne Platte“) überimpft und 24 Stunden bei 37 °C bebrütet. Die gelbgefärbten Kolonien (Laktosepositive) ergaben einen negativen Cx-Test, so daß die Keime als Koliforme angegeben werden können (Ausgewählte Methoden der Wasseruntersuchung, Bd. II, 1970–1972).

6.7. Pflanzenbestimmung

Die Moose wurden nach Gams (1949) und Weymar (1962), die Pilze nach Jahn (1949) und die höheren Gefäßpflanzen nach Rothmaler (1976) bestimmt.

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

Am Beispiel der Deponie Schädgrube, einer reinen Schadstoffdeponie, wird gezeigt, daß deren Kultivierung nur mit einem sehr großen Aufwand durchführbar ist. Eine natürliche Besiedlung durch Pflanzen blieb auf den reinen Gießereialsandflächen noch nach etwa 6 Jahren aus, selbst die Besiedlung durch Mikroorganismen ist stark gehemmt.

Auf Standorten, an denen dem Gießereialsand schadstofffreie Materialien beigemischt, über- oder unterlegt waren, erfolgte eine natürliche Besiedlung durch Mikroorganismen und höhere Pflanzen. Der zu den unbesiedelten Flächen hin zunehmende Altsandanteil im Substratgemisch führte zur Verringerung der Bodenbedeckung und der Wuchshöhen, zu chlorotischen und Vertrocknungserscheinungen an den Pflanzen. Die besiedelten Standorte entsprechen den Verhältnissen auf einer gemischten Schadstoffdeponie.

Die Vegetation dieser Standorte ist pflanzensoziologisch als Übergangsstufe vom *Erigeron-Lactucetum* Lohm. mcsr. zum *Tanaceto-Artemisietum* Br.-Bl. (31) 49 einzuordnen.

Der vegetationsfeindliche Charakter der Deponie ist komplexer Art und ergibt sich aus dem Zusammenwirken von starker Wasserdurchlässigkeit, extremer Nährstoffarmut, hohem Schadstoffgehalt, geringer Wasserkapazität und dadurch bedingter hoher Konzentration der Bodenlösung und des damit verbundenen hohen osmotischen Wertes.

S c h r i f t t u m

- Albert, W.: Die magnetische Suszeptibilität von Böden der DDR. Diplomarbeit 1958, Karl-Marx-Universität Leipzig, Sektion Physik.
- Alloway, B. J., und B. E. Davies: Heavy metal content of plants growing on soil contamination by lead mining. *J. agric. Sci. Camb.* **76** (1971) 321–323.
- Anonym: Salzsäuren an Bäumen. *Europ. J. Forest Pathology* **4** (1974) 38–53.
- Autorenkollektiv: Ausgewählte Methoden der Wasseruntersuchung, Bd. II. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1970–1972.
- Autorenkollektiv: Ausgewählte bodenhygienische Untersuchungsmethoden. Ministerium für Gesundheitswesen der DDR, Staatliche Hygieneinspektion Berlin, Berlin 1976.
- Baldwin, I. L.: Modification of soil flora induced by applications of crude petroleum. *Soil Sci.* **14** (1922) 465–475.
- Banasova, V.: Vegetacia medenych a antimonovych hald. *Biologické práce (Bratislava)* **22** (1976) 1.
- Berge, H.: Untersuchungen über die Eignung von Tonschieferhalden des Steinkohlenbergbaus für forstliche Kulturen. *Angew. Bot.* **43** (1969) 309–330.
- Blum, W. W.: Salzaufnahme durch die Wurzeln und ihre Auswirkungen. *Europ. J. Forest Pathology* **4** (1974) 41–44.
- Bonnemann, A., u. a.: Über Folgeschäden eines Ölfornleitungsbruches auf einer Waldfläche im Forstamt Wesel. 2. Bericht. *Allg. Forstztg. (München)* **31** (1976) 705–708.
- Bouchet, M.: Sur le peuplement végétal des anciens bassins de décantation de la vallée de la Meurthe. *C. R. Acad. Sci. (Paris), Sér. D.* **277** (1973) 2709–2712.
- Bradke, H. J., und T. Klein: Deponieverhalten und Verwertung von Gießereisanden. Teil 1. *Industrieverband Gießereichemie, Frankfurt/Main, März 1975.*
- Bradke, H. J.: Deponieverhalten von Gießereisanden. Teil 2.: Auslagung von Gießereisanden in halbtechnischem Maßstab und im Laboratorium zur Ermittlung der eluierbaren Stoffe und des voraussichtlichen Deponieverhaltens. *Gießerei* **65** (1978) 35–38.
- Brand, R.: Entwicklung eines Verfahrens zur Begrünung von Aschehalden am Beispiel der Hochhalde Leuna. *Wasserwirtsch. – Wassertechn.* **25** (1975) 62–65.
- Brüning, E.: Zur Rekultivierbarkeit tertiärer Rohbodenkippen des Braunkohlentagebaus. *Wiss. Z. Karl-Marx-Universität Leipzig, math.-nat. R.* **11** (1962) 325–359.
- Burschel, P.: Das Verhalten der forstlich wichtigen Herbizide im Boden. *Forstarchiv* **34** (1963) 211–216.
- Buschbohm, U.: Salzresistenz oberirdischer Sproßteile von Holzgewächsen. Teil 1. Chlorideinwirkungen auf Sproßoberflächen. *Flora B* **157** (1968) 527–561.
- Buschbohm, U.: Salzresistenz oberirdischer Sproßteile von Holzgewächsen. Teil 2. Chlorideinwirkungen auf die Achsen- und Wurzelgewebe – Jahreslauf der Resistenz. *Flora B* **158** (1968) 129–158.
- Ellis, R., und R. S. Adams: Contamination of soil by petroleum hydrocarbons. *Adv. in Agron.* (1961) 197–203.
- Ernst, W.: Ökologische Untersuchungen an Pflanzengesellschaften unterschiedlich stark gestörter schwermetallreicher Böden in Großbritannien. *Flora B* **158** (1968) 95–106.
- Fanslau, G.: Über eine magnetische Vertikalfadenwaage. *Zeitschr. f. Meteorologie* **2** (1948) 216–225.
- Fanslau, G.: Über Reduktion von Messungen mit den magnetischen Feldwaagen, speziell der kombinierten Fadenwaage. *Freiberger Forschungshefte C* **22** (1956) 5–19.
- Fanslau, G.: Weitere Versuche mit der magnetischen Fadenwaage. *Zeitschr. f. Meteorologie* **5** (1951) 239–245.
- Farkasdi, G., A. Golwer, K. H. Knoll, G. Matthees und W. Schneider: Mikrobiologische und hygienische Untersuchungen von Grundwasserverunreinigungen im Unterstrom von Abfallplätzen. *Städtehygiene* **20** (1969) 25–31.

- Fischer, W.: Beobachtungen über die Vegetationsentwicklung auf Ascheaufschüttungen im Berliner Gebiet. *Naturschutzarb. in Berlin und Brandenburg* **12** (1976) 2–9.
- Friedrich, G.: Studien zur Entwicklung der spontanen Vegetation anthropogener Gewässer und im Rekultivierungsgebiet des rheinischen Braunkohlentagebaus. *Bot. Jahrb.* **96** (1975) 71–83.
- Fuhs, W. G.: Der mikrobielle Abbau von Kohlenwasserstoffen. *Arch. Mikrobiol.* **39** (1961) 374–424.
- Gams, H.: Kleine Kryptogamenflora von Mitteleuropa. Bd. 1: Die Moos- und Farnpflanzen (Archegoniaten), 2. Aufl. Gustav Fischer, Jena. 1949.
- Gehlker, H.: Die optimale Mächtigkeit einer Bodendeckschicht über schwer durchwurzelbarem Untergrund. *Ztsch. f. Kulturtechn. Flurbereinigung* **17** (1976 a) 106–116.
- Gehlker, H.: Untergrund und Bodendeckschicht bei Rekultivierung für landwirtschaftliche Nutzung am Beispiel der Mülldeponien. *Ztsch. f. Kulturtechn. Flurbereinigung* **17** (1976 b) 229–236.
- Gutte, P.: Die Verbreitung einiger Ruderalpflanzengesellschaften in der weiteren Umgebung von Leipzig. *Wiss. Ztschr. Univ. Halle, math.-nat. R.* **15** (1966) 937–942.
- Gutte, P.: Die Wiederbegrünung städtischen Ödlandes, dargestellt am Beispiel Leipzigs. *Hercynia N. F.*, Leipzig **8** (1971) 58–81.
- Hanf, M.: Die natürliche pflanzliche Erstbesiedlung von Abraumhalden. *Z. Naturwiss.* **91** (1937) 35–48.
- Jahn, H. *Pilze rundum*. Parkverlag Hamburg, Claassen und Goverts, Hamburg 1949.
- Klein, E., J. Gabriel und E. Goldschmidt: Probleme bei der Beseitigung industrieller Abfallstoffe. *Kommunalwirtschaft* **1972**, 134–138.
- Klemm, G.: Die pflanzliche Besiedlung von Abraumhalden und -kippen der Braunkohlenbergbaureviere des Bezirkes Halle. Diplomarbeit 1963, Universität Halle, Inst. Syst. Bot. u. Pflanzengeographie.
- Klemm, G.: Die pflanzliche Besiedlung von Abraumkippen und -halden des Braunkohlenbergbaus. *Hercynia N. F.* **3** (1966) 31–42.
- Kloke, A., und V. Sahn: Der Einfluß von Heizöl im Boden auf die Pflanzenentwicklung. *Nachrichtenblatt dtsh. Pflanzenschutzd.* **13** (1961) 124–131.
- Kloke, A.: Zur Belastung von Böden und Pflanzen mit Schadstoffen. *Ber. ü. Landwirtschaft* **55** (1977) 633–639.
- Knickmann, E.: Pflanzenschäden durch Ölverschmutzung von Boden und Wasser. *Umschau* **60** (1960) 118–124.
- Knickmann, E.: Zur Nutzung unfruchtbarer Böden mit hohem Gehalt an Blei und Zink. *Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkde.* **84** (1959) 255–258.
- Kovalskij, V. V. M.: *Geochemische Ökologie, Biogeochemie*. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin, Berlin 1977.
- Kreeb, K.: Salzschädigungen an Kulturpflanzen. *Z. Pflanzenkrankh. Pflanzensch.* **67** (1960) 385–399.
- Kreeb, K.: Die ökologische Bedeutung der Bodenversalzung. *Angew. Bot.* **39** (1965) 1–15.
- Krummsorf, A., H. F. Joachim und P. Kasten: Kulturbodenlose Aufforstung einer Aschehalde. *Technik und Umweltschutz* **9** (1974) 128–146.
- Kurth, H.: *Chemische Unkrautbekämpfung*. Jena 1968, 10–14.
- Kutschera, L.: *Wurzelatlas mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen*. DLG-Verlags GmbH, Frankfurt/Main 1960.
- Le Borgne, E.: Suszeptibilité magnetique anormale du sol superficiel. *Annales Geophys.* **11** (1955) 4–18.
- Lötschert, W.: Beiträge zur Ökologie der subatlantischen Zwergstrauchheide NW-Deutschlands. *Beitr. Biol. d. Pflanzen* **37** (1962) 331–410.
- Martini, K.: Versuchspflanzungen auf einer Abraumhalde der chemischen Industrie. *Neue Landschaft* **11** (1966) 19–21.

- Müller, G.-O.: Praktikum der quantitativen chemischen Analyse. S. Hirzel Verlag Leipzig, 1968.
- Oberdorfer, E.: Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Süddeutschland. Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer 1962.
- Oberdorfer, E.: Süddeutsche Pflanzengesellschaften. Jena, VEB Gustav Fischer Verlag 1957.
- Pancholy, S. K., und E. L. Rice: Soilfactors preventing vegetation of a denuded area near an abandoned zinc melter in Oklahoma. *J. Appl. Ecology* **12** (1975) 337–342.
- Parker, D. G., S. I. Thornton und C. W. Cheng: Permeability of fly ash stabilized soils. *Proc. Conf. Geotechn. Proct. Disposal Solid waste Mater* **1977**, 63–70.
- Peterson, H. B., und R. F. Nielson: Heavy metals in relation to plant growth on mine and mill wastes. *NATO Adv. Study Int. Ser. E* **1978**, E 7 (*Environment Manage Miner. Wastes*) 297–309.
- Petrikova, V.: Beitrag zur Rekultivierung von Abladeplätzen der Flugasche aus Kraftwerken durch Gölledüngung. *Rostlinna Vyroba (Praha)* **23** (50) (1977) 959–966.
- Ranft, H.: Untersuchungen und Versuche zur Rekultivierung von Erzbergbauhalden des sächsischen Erzgebirges. Diss. 1966, TU Dresden.
- Raymond, R. L.: Oil degradation in soil. *Appl. environm. Microbiol.* **31** (1976) 522–535.
- Repp, G.: Die Kupferresistenz des Protoplasmas höherer Pflanzen auf Kupfererzböden. *Protoplasma* **57** (1963) 643–652.
- Richter, W.: Die natürliche Begrünung der Erzbergwerkshalden im Erzgebirge. Diplomarbeit 1963, Universität Halle.
- Rocovich, S. E., und D. A. West: Arsenic tolerance in a population of the grass *Andropogon scoparius* Mihx. *Science, USA* **1975**, 263–264.
- Rothmaler, W.: Exkursionsflora für die Gebiete der DDR und BRD – Kritischer Band. Berlin 1976, VEB Verlag Volk und Wissen.
- Schleiff, U., und A. Fink: Untersuchungen zur Bedeutung des Ernährungszustandes von Kulturpflanzen für ihre Salztoleranz. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* **4** (1976) 281–292.
- Schlichting, E., und H.-P. Blume: *Bodenkundliches Praktikum*. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 1966.
- Schubert, R.: Die Schwermetallpflanzengesellschaften des östlichen Harzvorlandes. *Wiss. Z. Univ. Halle, math.-nat. R.* **3** (1953) 52–70.
- Steubing, L.: Untersuchungen über die Veränderung der Mikroflora eines Waldbodens durch eingedrungenes Heizöl. *Angew. Bot.* **40** (1967) 275–286.
- Strogonow, B. P., E. F. Ivanitskaya und I. P. Chernyadeva: Einfluß hoher Salzkonzentrationen auf Pflanzen. *Fiziol. rastenij* **3** (1956) 319–326.
- Tauchnitz, J., R. Schnabel u. a.: Zur Ablagerung der industriellen Abprodukte. 1. Mitt. Untersuchungen über die Kultivierungsmöglichkeiten von Deponien industrieller Abprodukte. *Hercynia N. F., Leipzig* **15** (1978) 58–65.
- Tauchnitz, J., u. a.: Zur Ablagerung der industriellen Abprodukte. 2. Mitt. Abgrenzung reiner Schadstoffdeponien zu gemischten Schadstoffdeponien. *Hercynia N. F., Leipzig* **16** (1979) 81–93.
- Tauchnitz, J., W. Mahrle u. a.: Zur Ablagerung der industriellen Abprodukte. 6. Mitt. Deponieverhalten eines phenolhaltigen Gießereialtsandes. *Hercynia N. F., Leipzig* **17** (1980) 60–75.
- Tauchnitz, J., R. Schnabel u. a.: Zur Deponie industrieller Abprodukte. 10. Mitt. Möglichkeiten der Kultivierung verschiedener Arten von Gießereialtsanden, *Hercynia N. F., Leipzig*, in Vorbereitung.

TGL 25 418/03

Fachbereichsstandard der DDR, Ausg. März 1975, Chemische Bodenuntersuchung, Bestimmung des Stickstoffs.

- TGL 25 418/04
Fachbereichsstandard der DDR, Ausg. Mai 1975, Chemische Bodenuntersuchung, Bestimmung des Gehaltes anorganischer Substanz.
- TGL 25 418/06
Fachbereichsstandard der DDR, Ausg. August 1975, Chemische Bodenuntersuchung, Bestimmung des pH-Wertes.
- TGL 25 418,07-08
Fachbereichsstandard der DDR, Ausg. Februar 1974, Nov. 1974, Chemische Bodenuntersuchungen, Bestimmung des Phosphors und des Kaliums.
- TGL 25 418,09
Fachbereichsstandard der DDR, Ausg. August 1975, Chemische Bodenuntersuchungen, Bestimmung des Magnesiums.
- Thämlitz, H., und A. Emr: Über die Ablagerung von phenolhaltigem Sand. Gießerei **61** (1974) 636-639.
- Uhlmann, D.: Möglichkeiten und Grenzen einer Regenerierung geschädigter Ökosysteme. Sitzungsberichte der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, math.-nat. Klasse, **112** (1977) Heft 5, Akademie-Verlag Berlin.
- Vocke, A.: Die Wiederurbarmachung der Hochhalde Trages des VEB BKK Espenhain. Technik und Umweltschutz **9** (1974) 96-116.
- von Hodenberg, A., und A. Fink: Untersuchung über toxische Wachstumsschäden an Getreide und Rüben im Harzvorland. Landwirtsch. Forsch. **28** (1975) 322-332.
- Wendler, R.: Geologische und petrographische Deutung der Ergebnisse mikromagnetischer Messungen über Sedimentgesteinen. Wiss. Ztsch. d. Karl-Marx-Universität Leipzig, Math.-Nat. R. **5** (1955/56) 524-530.
- Weymar, H.: Buch der Moose. Standort, Morphologie und Systematik der in Deutschland verbreitetsten Laub- und Lebermoose. Neumann Verlag, Radebeul u. Berlin 1962.
- Wild, H.: Arsenic tolerant plant species established on arsenical mine dumps in Rhodesia. Kirkia **9** (1974) 265-278.
- Wild, A.: A survey of the effects of heavy metals and other abnormally mineralized soils on vegetation in Rhodesia. Rhodesia Science News **9** (1975) 74-79.
- Wiltshire, C. H.: Growth of plants on soils from two metalliferous sites in Rhodesia. J. Ecology **62** (1974) 501-525.
- Wolf, H. J.: Planung und Praxis einer Chemie-Deponie. Chemiker-Ztg. **95** (1971) 484-489.
- Wünsche, M.: Die Standortverhältnisse und Rekultivierungsmöglichkeiten der Halden des Zwickau-Lugau-Ölsnitzer Steinkohlenreviers. Freiburger Forschungsh. **C 153** (1963) 1-88.

Dr. rer. nat. J. Tauchnitz
Dipl.-Chem. R. Schnabel
Dr. sc. W. Pietsch
Dipl.-Geol. W. Mahrla
Dipl.-Biol. K. Riedel
Prof. Dr. R. Mahrwald
Prof. Dr. sc. H. Hennig
Karl-Marx-Universität Leipzig, Sektion Chemie
701 Leipzig
Liebigstraße 18

Dipl.-Phys. G. Petzold
Karl-Marx-Universität Leipzig, Sektion Physik,
Wissenschaftsbereich Geophysik
701 Leipzig
Talstraße 35