

Aus dem Bezirkshygieneinstitut Leipzig, Fachgebiet Bodenhygiene
(Leiter des Institutes: MR Dr. med. R. Ezold)
und aus der Sektion Biowissenschaften der Martin-Luther-Universität
Halle-Wittenberg
(Leiter des Wissenschaftsbereiches: Prof. Dr. R. Schubert)

Zum Einfluß des Deponiestandortes auf Vegetationsstruktur und Verlauf der Sekundärsukzession

Teil 2: Deponien industrieller Abprodukte

Von G. Kiesel, E. G. Mahn, U. Deike und J. G. Tauchnitz

Mit 13 Abbildungen und 12 Tabellen

(Eingegangen am 14. November 1985)

1. Einleitung

Die Vegetationsverhältnisse auf Deponien industrieller Abprodukte unterscheiden sich grundlegend von den kommunalmüllenthaltenden Deponiestandorten (siehe Kiesel u. a. 1985 a). Bei den in vorliegender Arbeit behandelten Deponiestandorten haben wir es mit reinen Schadstoffdeponien (RSD) ohne Kommunal Müllanteile zu tun (vgl. Tauchnitz u. a. 1979 und 1984). Alle Standorte sind der α -metahemeroben Stufe zuzuordnen (Kiesel u. a. 1985 b). Im folgenden werden die vegetationskundlichen und die substratchemischen Verhältnisse solcher Standorte beschrieben. Einzelbeiträge zu dieser Problematik lieferten Fischer (1976), Gutte (1971), Tauchnitz u. a. (1983 b, c und 1984), Klotz (1981) und Bradshaw (1982). Von den untersuchten Deponiestandorten bestehen 90 % aus kalkhaltigen Substraten. Im folgenden werden kalkhaltige Deponien behandelt. Sie repräsentieren im wesentlichen die RSD im Untersuchungsgebiet. Die von uns untersuchten „sauren“ Deponien waren zum Untersuchungszeitpunkt vegetationslos.

2. Material und Methoden

Die hier vorgestellten Untersuchungsergebnisse wurden in den Jahren 1980 bis 1984 gewonnen. Die agrochemischen Untersuchungen erfolgten im Institut für Pflanzenernährung Jena der AdL nach den gegenwärtig gültigen Bestimmungen und Methoden. Die Schwermetallbestimmungen wurden durch Atomabsorptionsspektroskopie nach Königwasseraufschluß vorgenommen. Wegen der besseren Vergleichbarkeit der ökologischen Wirksamkeit werden die Schwermetall- und Nährstoffkonzentrationen z. T. in molaren Angaben dargestellt (siehe auch Ernst u. Joosse van Damme 1983). Die weitere methodische Verfahrensweise ist analog der im Teil I (Kiesel u. a. 1985 a) beschrieben.

3. Das Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet (UG) entspricht dem im Teil I beschriebenen und befindet sich im wesentlichen im Bezirk Leipzig.

4. Allgemeine Standortverhältnisse auf RSD

Die abgelagerten industriellen Abprodukte stellen nach der Ablagerung besiedlungsfeindliche bis phytotoxische Substrate dar. Durch die physikalisch-chemische Verwitterung, Auswaschung und Winderosion erfolgt eine Migration bzw. ein Austrag von Schadstoffen in die benachbarten Ökosysteme. Es kommt auf der Deponieoberfläche zu einer Verringerung der Schadstoffkonzentration. Dieser Vorgang kann von

1 Jahr (pH -Wert-Erniedrigung bei Aschen) bis zu mehr als 50 Jahren auf schwermetallsalz- und kalksteinhaltigen Standorten dauern. Einem Überangebot an bestimmten Elementen bis hin zur Phytotoxizität steht ein Mangel an anderen gegenüber. Mangel auf allen Deponien dieser Charakteristik besteht an Stickstoff. Insofern kommt dem Stickstofffaktor in der ökologischen Betrachtung insgesamt große Bedeutung zu (Bradshaw u. a. 1982, Marrs u. a. 1983).

Neben dem Stickstoff möchten wir in Anlehnung an Rorison (1984) dem Kalzium eine zentrale Rolle bei der weiteren Betrachtung einräumen, da die Ca-Verhältnisse in der Bodenlösung wesentlichen Einfluß auf die physiologische Wirksamkeit anderer Ionen haben. Diesem Sachverhalt Rechnung tragend, kann man die verschiedenen Deponiesubstrate in kalkhaltige (Sk) und kalkfreie (saure) Substrate (Ss) unterteilen. Ausgehend von den bisher untersuchten Abprodukten läßt sich eine Unterteilung, wie in Tab. 1 vorgenommen, durchführen. Nach diesen Angaben kann die Betrachtung der Deponien differenziert erfolgen. Die Aschedeponien möchten wir jedoch aufgrund ihrer großen Bedeutung von den Deponien der Substratklasse Sk I getrennt einer gesonderten Betrachtung im Abschnitt 8. unterziehen. Deponien der Substratklasse Sk V und Ss werden in einer späteren Arbeit behandelt.

Tabelle 1. Unterteilung von Deponiestandorten nach Substratklassen

Substratklasse	Wirkgrößen/Faktoren	Schadkomponenten
Sk	Kalziumhaltige, alkalische Substrate	
Sk I	Kalk- u. Kalkhydratschlämme Asche	pH -Effekte $pH > 7$ Erdalkalisalze
Sk II	Ölschlämme Bleicherde	Hydrophobie, geringer biol. Abbau, Anaerobie, pH -Effekte $pH < 7$ Kohlenwasserstoffe Säuren
Sk III	Emballagenreinigungsschlämme aus der Farbindustrie	Hydrophobie, Lipophilie, Proteindenaturierung, Komplexbildungsvermögen, geringer biol. Abbau, pH -Effekte $pH > 7$ org. Lösungsmittel Schwermetallsalze, Alkalisalze
Sk IV	Schlacken aus der chemischen Industrie	Schwermetallwirkungen, pH -Effekte > 7 Schwermetallsalze Erdalkalisalze
Sk V	Altsalze aus der Aluminiumschmelze	Salzeffekte Alkali- und Erdalkalisalze (Sulfate, Chloride, Al-Salze)
Ss	Kalziumfreie, saure Substrate	
Ss I	Gießereisande	pH -Effekte, Salzgehalte Phenole Sulfate Alkalisalze

4.1. Deponien der Substratklasse Sk I

In den meisten Fällen handelt es sich um durch Substratverspülung entstandene Deponien. Demzufolge ist eine Schichtung und hohe Verdichtung des Substrates nach Trockenfallen erkennbar. Das Substrat zeigt nach Ablagerung pH -Werte um 10, die erst nach längerer Zeit (vgl. Tab. 2) auf $pH \sim 8$ absinken.

Tabelle 2. Veränderung ausgewählter Parameter eines Kalkschlammes innerhalb von 10 Jahren

Alter (a)	pH (KCL)	Ca (1) ¹	K (1)	P (1)	Mg (1)	C _t (2) ²	Salz (2)	B (3) ³	Zn (3)	Cd (3)	Pb (3)	Cr (3)	Ni (3)	Co (3)	Cu (3)
frisch	10,7	15 000	4,5	1,0	55	1,5	1,5	3,5	30,2	5,0	—	—	—	—	—
5	8,4	14 560	4,2	1,0	26,0	8,9	0,6	3,3	26,6	3,5	2,1	6,9	7,9	5,1	21,3
8	7,7	14 200	3,0	1,6	22,2	2,0	0,1	1,6	25,6	2,6	1,2	12,5	7,4	7,5	16,7
10	7,9	14 000	4,0	1,0	12,0	4,0	0,1	2,9	16,4	2,1	1,0	8,3	6,5	10,0	13,3

Angaben in:

¹ (1) mg/100 g Boden² (2) ‰³ (3) ppm

4.2. Deponien der Substratklasse Sk II

Diese Deponien bestehen aus kohlenwasserstoffhaltigen Abfällen, die hohe Schwermetallsalzgehalte aufweisen können. Das Substrat ist anfangs von schlammförmiger bis pastöser Konsistenz und weist hydrophobe Eigenschaften auf. Nach langer Lagerungszeit werden die oberen Substratschichten durch mikrobiellen Abbau in einen dem Kompost ähnlichen strukturellen Zustand überführt. Gegenüber den anderen Substratklassen sind hier besonders die erhöhten C_t -Werte charakteristisch.

4.3. Deponien der Substratklasse Sk III

Bei diesen Substraten handelt es sich vor allem um schlammförmige Abfälle der Emballagenreinigung aus der Farbindustrie. Diese sind in der Regel mit Schwermetallen und organischen Verbindungen belastet.

4.4. Deponien der Substratklasse Sk IV

Solche Deponien sind in der Regel locker geschüttete Standorte mit großer Wasserzügigkeit und geringen Feinanteilen. Durch die extremen Schwermetallsalzkonzentrationen erfolgt eine dauerhafte pflanzliche Besiedlung, vor allem auf durch Einwehungen begünstigten Deponieflächen.

Differenzierung der Deponiestandorte durch die Verkipptechnologie

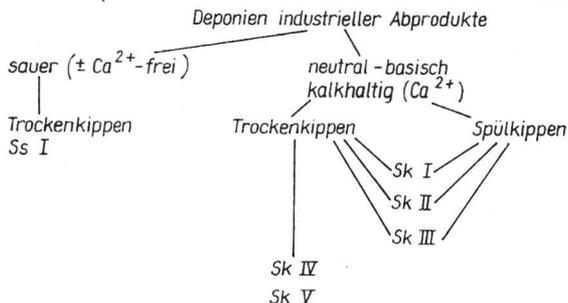


Abb. 1
Differenzierung der Deponiestandorte durch die Verkipptechnologie

Auf der Basis dieser Gliederung kann man ein allgemeines Bild (Abb. 1) der im UG untersuchten RSD entwickeln. Neben den substratchemischen Eigenschaften ist weiterhin das Wasserangebot auf solchen Standorten von Bedeutung. Daher muß zwischen trocken verkippten und verspülten Abprodukten unterschieden werden. Diese unterschiedlichen Ablagerungstechnologien bedingen weiterhin eine unterschiedliche Verdichtung der Standorte. Im allgemeinen sind Spülkippen nach dem Trockenfallen stärker verdichtet als solche aus trocken verkippten Materialien. Das Problem bei der Beurteilung der ökologisch wirksamen Faktoren auf solchen Standorten besteht darin, daß in vielen Fällen die in Tab. 2 und 3 aufgeführten Parameter kombiniert vorkommen und Ensembleeffekte induzieren können.

5. Standortverhältnisse auf gespülten und trocken verkippten Substraten

Die Tabellen 3 und 4 zeigen charakteristische substratchemische Eigenschaften aller untersuchten Deponiestandorte mit Ausnahme der Aschedeponien. Ein Vergleich von Spül- und Trockenkippen läßt erkennen, daß von der Verkipptechnologie bedingte Unterschiede vor allem im Gehalt an Ca, K und Mg auftreten können. Erwartungs-

Tabelle 3. Substratchemische Parameter von Deponien industrieller Abprodukte bedingt durch die Ablagerungstechnologie (bezogen auf TM)

		pH (KCL)	B (1)	Salz (2)	C _t (3)	Ca (4)	Ca : P	Ca : K	Ca : Mg	Ca : Zn
Trockendeponien	min.	6,6	0,4	0,09						
	mittel	7,5	8,1	0,5	16,4	1,2	3000	3000	120	66
	max.	8,2	30,0	1,3						
		Ca : Cd	Ca : Pb	Ca : Cr	Ca : Ni	Ca : Co	Ca : Cu			
	mittel	13 330	66	31	521	2030	120			
		pH	B	Salz	C _t	Ca	Ca : P	Ca : K	Ca : Mg	Ca : Zn
Spülstandorte	min.	7,7	1,3	0,04						
	mittel	8,3	4,5	0,66	8,7	3,7	9866	6727	370	1057
	max.	9,8	23,0	1,8						
		Ca : Cd	Ca : Pb	Ca : Cr	Ca : Ni	Ca : Co	Ca : Cu			
	mittel	106 630	9250	3700	2460	30 830	4285			

Legende zu Tab. 3 und 4: (1) ppm, (2) Salzgehalt als % KCl, (3) ‰, (4) mol/kg Boden

Tabelle 4. Substratchemische Parameter von Deponiestandorten einzelner Substratklassen

Substratklasse		pH (KCl)	B (1)	Salz (2)	C _t (3)	Ca (4)	Ca : P	Ca : K	Ca : Mg	Ca : Zn
Sk I	min.	7,5	2,2	0,04						
	mittel	7,8	7,9	0,05	16,6	1,9	15 833	5135	271	3220
	max.	8,4	13,8	0,09						
		Ca : Cd	Ca : Pb	Ca : Cr	Ca : Ni	Ca : Co	Ca : Cu			
	mittel	46 420	66	31	521	2030	120			
Sk II		pH	B	Salz	C _t	Ca	Ca : P	Ca : K	Ca : Mg	Ca : Zn
	min.	6,6	0,88	0,08	20,9		1750	197	181	11
	mittel	7,5	2,1			0,7				
	max.	8,2	5,3	0,6	23,3		592	69	111	1254
		Ca : Cd	Ca : Pb	Ca : Cr	Ca : Ni	Ca : Co	Ca : Cu			
		min.	3 278	40	83	172	784	17		
	max.	24 580	2156	1970	2300	6900	3630			
Sk III		pH	B	Salz	C _t	Ca	Ca : P	Ca : K	Ca : Mg	Ca : Zn
	min.	5,7	2,7	0,41						
	mittel	7,0	21,0	1,0	11,8	5,0	16 666	620	188	168
	max.	8,0	30,0	1,3						
	Ca : Cd	Ca : Pb	Ca : Cr	Ca : Ni	Ca : Co	Ca : Cu				
	mittel	1 170 830	1440	544	490 000	181 480	25 790			
Sk IV		pH	B	Salz	C _t	Ca	Ca : P	Ca : K	Ca : Mg	Ca : Zn
	min.	7,9	0,45	0,09						
	mittel	8,0	8,8	0,1	2,2	3,0	120 000	12 400	182	1550
	max.	8,2	28,0	0,16						
	Ca : Cd	Ca : Pb	Ca : Cr	Ca : Ni	Ca : Co	Ca : Cu				
	mittel	42 850	38	6,0	516	3100	3100			

Legende siehe Tab. 3

gemäß ist auf Spülkippen der größte Teil des K im Spülwasser gelöst, während Ca und Mg durch Bildung schwer löslicher Verbindungen im Sediment festgelegt vorliegen. Die Schwermetallgehalte der Feststoffe sind im basischen Bereich von der Ablagerungstechnologie nicht wesentlich beeinflusst, da sie unter gegebenen Bedingungen ebenfalls schwer lösliche Verbindungen bilden (Tauchnitz u. a. 1983 d). Weiterhin zeigt sich, daß die pH-Werte der Substrate von Spülflächen gegenüber den von trockenen Standorten erhöht sind. Gleiches trifft für den Salzgehalt zu, da das Spülwasser bei Kreislaufbetrieb aufkonzentriert wird.

Die Entwicklung wesentlicher Parameter eines Spülstandortes bis zum Trockenfallen möchten wir am Beispiel eines Kalkschlammes verdeutlichen (Tab. 2).

Dieser Standort ist der Substratklasse Sk I zuzuordnen. Das frisch verspülte Substrat reagiert basisch. Der mit der Einstellung der Verspülung erfolgende pH-Wertabfall verläuft relativ langsam und erreicht nach 8–10 Jahren Werte zwischen pH 7 und 8.

Ein rascher Konzentrationsabfall erfolgt bei Mg, Salzgehalt, B und Ct. Die Veränderung des C-Gehaltes resultiert in diesem Fall vor allem aus der Auswaschung vorhandener Phenolanteile und natürlich einer der Carbonatisierung gegenläufigen Reaktion durch pH-Wert-Erniedrigung. Weitgehend unverändert blieben die Ca- und P-Gehalte. Bei den Schwermetallen Zn, Cd, Pb und Cu erfolgte mit sinkendem pH-Wert eine Gehaltniedrigung. Bei Zn, Pb und Cd wird nach 10 Jahren ein Konzentrationsabfall auf etwa die Hälfte der Ausgangskonzentration beobachtet. Die Beurteilung der Auswaschungsraten der Elemente Cr, Ni, Co und Cu wird erschwert, da im Beobachtungsgebiet erhöhte Immissionen von Braunkohlenaschen auftreten.

Über das bisher Gesagte hinaus ist die Anreicherung von Nährstoffen, insbesondere des Stickstoffs zu betrachten. Der Eintrag von Feinanteilen ist standortbedingt und ändert sich je nach Immissionslage der entsprechenden Untersuchungsflächen. Durch Zusammenfassung aller Werte von Deponien der Substratklasse Sk I (außer Aschen), unabhängig von ihrer Lage im UG, möchten wir in Abb. 2 eine Übersicht der Entwicklung der N_t , C_t und T-Werte geben. Es werden Standorte von der Verspülung bis zum Trockenfallen betrachtet. Die Standorte werden nach ihrem Alter differenziert. Als Maß der Anreicherung mit Stickstoff soll uns das Verhältnis von C/N dienen. Auf

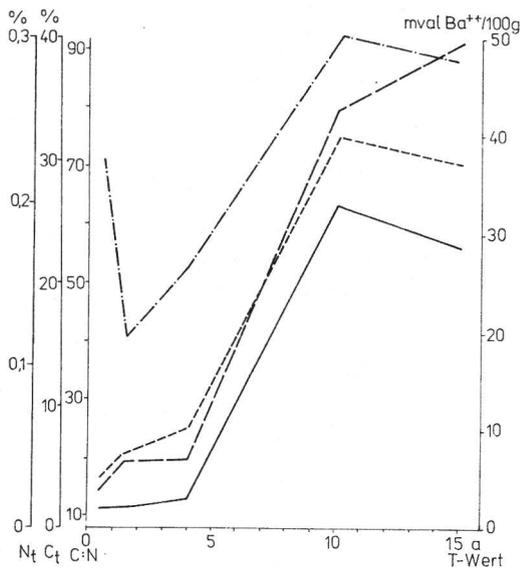


Abb. 2
Entwicklung der C- und N-Gehalte von Abproduktstandorten der Substratklasse Sk I (a = Jahre).

— — — — — N_t
 — — — — — C_t
 - · - · - · C : N
 · · · · · T-Wert

frischem und nassem Substrat ist dieses sehr hoch und weist auf wenig pflanzenfreundliche Bedingungen hin. Innerhalb der folgenden 1–2 Jahre kann auf stark immissionsbelasteten Standorten eine Verdopplung der Stickstoffgehalte erfolgen, während sich der C-Gehalt kaum verändert. Das führt zu einer starken Einengung des C/N-Verhältnisses. Durch das Trockenfallen der Deponieoberfläche nach Beendigung des Spülbetriebes setzt eine starke CaCO_3 -Bildung ein, die zu einer rasanten Erhöhung des C-Gehaltes und einer Vergrößerung des C/N-Verhältnisses führt, da die N-Anreicherung mit der C-Bildung nicht Schritt hält. Erst nach Abschluß bzw. Verringerung des Carbonatisierungsprozesses gestaltet sich das C/N-Verhältnis pflanzenfreundlicher. Die Entwicklung des T-Wertes zeigt im wesentlichen einen analogen Verlauf wie der N-Gehalt. Auf einem trocken betriebenen Standort ist nach Ablagerung eine starke Carbonatisierung des Substrates zu erwarten. Mit deren Abklingen und dem N-Eintrag erfolgt dann eine kontinuierliche Verbesserung der Nährstoffsituation.

Dieses Beispiel soll annähernd die Zeiträume dokumentieren, die notwendig sind, damit die Prozesse der physikalisch-chemischen Verwitterung ein gewisses Gleichgewicht erreichen. Weiterhin soll darauf hingewiesen werden, daß die chemischen Verhältnisse einer Deponie von der Ablagerungstechnologie abhängen. Generell kann man feststellen, daß auf einem Standort mit hohem Wasserangebot die physikalisch-chemischen Prozesse schneller ablaufen als auf einem trockenen.

6. Die Pflanzengesellschaften

Wir gehen davon aus, daß es neben den im folgenden vorgestellten Pflanzenbeständen unter spezifischen Bedingungen weitere Pflanzengesellschaften mit spezifischen Artenkombinationen gibt. Die Nährstoffverhältnisse in den Substraten der einzelnen Vegetationseinheiten werden in Tab. 7 am Schluß des Kapitels aufgeführt.

Die aufgenommenen Pflanzenbestände wurden – soweit möglich – bereits beschriebenen Vegetationseinheiten soziologisch-taxonomisch zugeordnet. In einer Reihe von Fällen bedarf die syntaxonomische Stellung der von uns beschriebenen Einheiten jedoch noch weiterer Klärung. Eine entsprechende Zuordnung soll daher erst nach Vorliegen weiteren Aufnahmematerials erfolgen.

6.1. Wasserbeeinflusste Standorte (Spülkippen)

6.1.1. *Funaria hygrometrica*-Bestände (Tab. 5, Spalte a)

Die genannten Bestände besiedeln Substrate der Klassen Sk I und III. Auf frischen bis nassen schlammförmigen Abprodukten, in der Regel mit pH-Werten ~ 8 (vgl. Tab. 7), trat o. g. Art als Erstbesiedler auf. In einem Fall wurde das Substrat (Sk III) direkt besiedelt. Im anderen Fall erfolgte die Besiedlung nach Flugascheimmission. Die Besiedlung setzt frühestens 1–2 Jahre nach der Ablagerung ein. Bei ungestörter Entwicklung konnten auf Substraten der Klasse Sk III noch nach 15 Jahren vitale *Funaria hygrometrica*-Bestände angetroffen werden. Die Beteiligung dieses Mooses bei der Besiedlung extremer Standorte wurde bereits von verschiedenen Autoren beschrieben (vgl. z. B. Fischer 1976, Klotz 1981). Jedoch war *Funaria hygrometrica* bei den genannten Autoren stets mit anderen Moosen vergesellschaftet und trat nicht in Reinbeständen auf.

6.1.2. *Puccinellia distans*-Bestände (Tab. 5, Spalte b–d)

Deponien der Substratklasse Sk I werden im Spülbereich in verschiedenen Ausbildungen von *Puccinellia distans*-Beständen besiedelt. Die Standorte sind durch lokale Konzentrationserhöhungen einzelner Parameter (pH-Wert, Salzgehalt) gekennzeichnet (Tab. 7). Weiterhin scheint *Puccinellia distans* geringe Überspülungen zu tolerieren. In Spalte b der Tab. 5 konnte ein Bestandsfragment auf einem mit Wasserglasschlamm

Tabelle 5. Spülkippen industrieller Abprodukte

Vegetationseinheit	6.1.1.				6.1.2.						6.1.3.			6.1.4.			6.1.5.	
Spalte	a	a	a	a	b	c	c	c	c	d	d	e	e	e	f	g	h	i
Aufn. Nr./Zahl	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Artenzahl	2	1	3	4	4	4	4	9	5	6	4	8	7	6	2	2	4	1
Alter	15	15	3	4	2	2	2	2	4	2—3	2	2	3	—	—	—	—	
<i>Funaria hygrometrica</i>	+	5	5	4										2				
<i>Puccinellia distans</i>	+				2	3	3	2	2	+ ^o	+ ^o	+ ^o	1					
<i>Atriplex hastata</i>					2 ^o													
<i>Chenopodium rubrum</i>		r ^o	2 ^o		1 ^o	1 ^o	1 ^o	+			4 ^o	2 ^o	4					
<i>Diplotaxis tenuifolia</i>												r ^o	r ^o	r ^o				
<i>Atriplex nitens</i>		r ^o	+		1	2	3			5	5	5	r ^o	r			3 ^o	
<i>Calamagrostis epigejos</i>			+	J	+	1						1 ^o	r					
<i>Solidago canadensis</i>								rJ		rJ			r ^o					
<i>Eupatorium cannabinum</i>								rJ				r ^o	r ^o					
<i>Phragmites australis</i>								+				+ ^o	+			3	2 ^o	
<i>Eleocharis palustris</i>																	4	
<i>Typha angustifolia</i>																	3	
<i>Juncus articulatus</i>																	3	
<i>Juncus bufonius</i>																	+	
<i>Ceratophyllum demersum</i>																	2	5
<i>Daucus carota</i>									r	+	rJ	+ ^o						
<i>Sonchus oleraceus</i>					r													
<i>Sonchus arvensis</i>								+					r ^o					

Weiterhin kommen vor: *Lepidium ruderales* d/+ und c/r; *Artemisia vulgaris* e/rJ und c/+; *Lactuca serriola* d/rJ; *Taraxacum officinale* d/r; *Matricaria maritima* b und c/r^o; *Chenopodium* cf. *botryodes* c/+; *Tussilago tartara* a/r.

- a *Funaria hygrometrica*-Bestände
- b *Puccinellia distans*-Bestände auf nassem Standort
- c *Puccinellia distans*-Bestände auf frischem Standort
- d *Atriplex nitens*-Fazies
- e *Chenopodium rubrum*-Bestände
- f, g, h Sukzessionsphasen zum Scirpo-Phragmitetum
- i *Ceratophylletum demersi*

kontaminierten Standort aufgenommen werden. Neben den physikalischen Eigenschaften des Substrates (Verkrustung der Oberfläche bei Austrocknung) ist vor allem der pH-Wert als Extremfaktor zu nennen.

Auf etwas pflanzenfreundlicheren Standorten mit pH-Werten im schwach basischen Bereich und besserer Nährstoffversorgung durch Flugascheeintrag bildet *Puccinellia distans* vor allem mit *Chenopodium rubrum* charakteristische Bestände. Bemerkenswert erscheint uns die hohe Beteiligung von *Atriplex nitens* am Bestandsaufbau der genannten Phytocoenose sowie deren Fähigkeit, auf solchen Standorten Fazies zu bilden (Tab. 5, Spalte d). Offensichtlich spielt neben dem Diasporenangebot auch ein verändertes zönologisches Verhalten im Sinne von Kopecky (1981) eine Rolle.

6.1.3. *Chenopodium rubrum*-Bestände

Zur Dominanz gelangte *Chenopodium rubrum* auf frischem, jedoch nicht mehr nassem Kalkschlamm. Die Mehrzahl der in diesem Bestand angetroffenen Arten erreicht nicht die volle Vitalität. Neben *Chenopodium rubrum* sind *Puccinellia distans*

und *Diplotaxis tenuifolia* regelmäßig am Bestandsaufbau beteiligt. Gegenüber den von Pysek (1976) aufgenommenen Beständen von *Chenopodium rubrum* zeichnet sich der hier vorgestellte Bestand durch das Fehlen nitrophiler Arten aus. Aus genanntem Grunde sehen wir keine engere Beziehung zum Chenopodietum glauco-rubri Lohm. 50 ap. Oberd. 57 (vgl. Pysek 1976, Hilbig u. a. 1972 und Elias 1984).

6.1.4. Sukzessionsphasen zum Scirpo-Phragmitetum (Tab. 5, Spalte f–h)

Auf einem Standort, der aus „unter Wasser“ stehendem Kalkschlamm bestand, konnten Facies von *Phragmites australis*, *Eleocharis palustris* und *Typha angustifolia* aufgenommen werden. Aufgrund der z. T. vorhandenen Durchdringung der genannten Bestände werten wir das Aufnahmемaterial in Anlehnung an Pott (1983) als Sukzessionsphase zum Scirpo-Phragmitetum. Die pH-Werte des anstehenden Wassers unterliegen je nach Niederschlagsverhältnissen großen Schwankungen (um pH 7 nach großen Niederschlägen und pH 9 in Trockenperioden bei Spülbetrieb).

6.1.5. Ceratophylletum demersi (Tab. 5, Spalte i)

Auf bei 6.1.4. beschriebenem Standort tritt uns *Ceratophyllum demersum* als dem Röhricht vorgelagerter Saum entgegen. Es ist die einzige bestandsbildende Art (vgl. auch Pott 1983). Wie aus Spalte h in Tab. 5 ersichtlich ist, dringt *Ceratophyllum demersum* auch in die lockeren Phragmiten-Bestände ein.

6.2. Wasserunbeeinflusste Standorte

Diese Standorte sind durch eine trockene Verkippung entstanden bzw. sind nach Beendigung der Verspülung trocken gefallen und haben keine hydraulische Verbindung zum Wasserkörper.

6.2.1. *Solidago canadensis*-Bestände (Tab. 6, Spalte a)

Auf kohlenwasserstoffhaltigen Abprodukten, die der Substratklasse Sk II zuzuordnen sind, entwickelt sich im Laufe der Jahrzehnte durch mikrobielle Tätigkeit eine charakteristische Substratstruktur und Schichtung. So konnte auf einem 40 Jahre alten entwässerten Ölschlamm ein Pseudogley-Horizont 20 cm unter der mikrobiell zersetzten und verwitterten Deponieoberfläche angetroffen werden. Während die oberste Schicht krümelig und locker und damit gut durchlüftet war, stand in 20 cm Tiefe das unveränderte Substrat an, das praktisch wasserundurchlässig ist (vgl. auch Tauchnitz u. a. 1983 c). Die CHCl_3 -extrahierbaren Bestandteile in den oberen 20 cm sind gegenüber dem unveränderten Substrat um etwa die Hälfte verringert. Hauptbestandsbildner auf diesem Standort sind *Solidago canadensis* und *Calamagrostis epigejos*. Daneben kommen weitere Arten hinzu, die wie die bereits genannten offensichtlich gut an die hohen Kohlenwasserstoffgehalte angepaßt sind. Pysek (1980) bezeichnete solche als petroleophil (vgl. auch Tauchnitz u. a. 1983 c). Vergleichsweise günstige Entwicklungsbedingungen findet offensichtlich *Populus tremula* auf diesem Standort. Lediglich die trockensten Deponieteile werden von dieser Art nicht besiedelt, ansonsten tritt sie regelmäßig auf.

6.2.2. *Calamagrostis epigejos*-*Eupatorium cannabinum*-Gesellschaft

Auf Standorten, die der Substratklasse Sk I zuzuordnen sind, aber durch größere Ablagerungshöhen und damit nach Abschluß der Ablagerung durch Trockenheit gekennzeichnet sind, entwickeln sich spezifische Dauerstadien. Diese Dauerstadien werden durch die Dominanz von *Calamagrostis epigejos*, *Solidago canadensis* und *Eupatorium cannabinum* charakterisiert. Die Feldschicht weist eine deutliche Schichtung auf.

Tabelle 6. „Grund“wasserunbeeinflusste Deponien industrieller Abprodukte

Vegetationseinheit	6.2.1.			6.2.2.	6.2.3.	6.2.4.			6.2.5.			6.2.6.						
	a			b	c	d			e			f		g				
Spalte	19	20	21	5	11	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32		
Aufn. Nr./Zahl																		
Artenzahl	14	20	14	7	14	18	13	14	5	8	7	4	2	16	14	13		
Alter	40	15	40	5-15	9-20	50	50	50	50	50	50	15	15	40	15	40		
Str. <i>Populus tremula</i>																1	1	1
<i>Betula pendula</i>																1	1	
F <i>Solidago canadensis</i>	2	1	2	V r-3,3				+								1	+	+
<i>Calamagrostis epigejos</i>	2	1 ^o	2	V 2-4,3	I +-1			1									2	1
<i>Eupatorium cannabinum</i>				V +-3,3														
<i>Silene vulgaris</i>					V 1 ^o -3,3			1	1		1 ^o	1 ^o						
<i>Bryum caespiticium</i>					IV +-4,2												1	
<i>Ceratodon purpureus</i>	+				IV +-2,1						+	+						1
<i>Oenothera rubricaulis</i>								2 ^o	r	1 ^o	2 ^o							
<i>Festuca trachyphylla</i>								2 ^o	3 ^o	3 ^o								
<i>Diplotaxis muralis</i>								+			2 ^o	1 ^o						
<i>Tortula muralis</i>								+	r	+		+	+					
<i>Agropyron repens</i>												4	5					r
<i>Taraxacum officinale</i>	+	+	+	I +	V r-1,+			+	+							+	r ^o	+
<i>Rumex acetosa</i>					IV r-+,+													
<i>Holcus lanatus</i>					III r-+,+													+
<i>Dactylis glomerata</i>	+		2		I +					2						+	2	
<i>Arrhenatherum elatius</i>					I 1					2								
<i>Artemisia vulgaris</i>	1		+		V r ^o -2,+							2 ^o				+	r ^o	
<i>Tanacetum vulgare</i>					III r-1,+													
<i>Achillea millefolium</i>					III +-1,+													
<i>Hypochoeris radicata</i>					III r-1,+													
<i>Daucus carota</i>	r			III +-1,+					1 ^o	r	+							r
<i>Artemisia campestris</i>					I +				+	+	+							
<i>Poa angustifolia</i>					III +-1													
<i>Hieracium pilosella</i>					I +				+		+							

- a *Solidago canadensis*-Best.
- b *Calamagrostis epigejos-Eupatorium-cannabinum*-Ges.
- c *Silene vulgaris-Bryum caespiticium*-Stadium
- d *Silene vulgaris-Festuca trachyphylla*-Ges.
- e *Silene vulgaris-Festuca trachyphylla*- Ges. initial
- f *Agropyron repens*-Fazies
- g Vorwald

Es läßt sich eine obere Schicht, gebildet von o. g. Arten, und eine untere, bestehend vor allem aus *Daucus carota*, *Tussilago farfara* und *Sonchus oleraceus*, erkennen. Diese Gesellschaft konnte auf 5–15 Jahre alten Flächen beobachtet werden. Gehölze konnten nur vereinzelt an den Randflächen der ältesten Besiedlungsorte angetroffen werden.

6.2.3. *Silene vulgaris-Bryum caespiticium*-Gesellschaft (Tab. 6, Spalte d)

Die Standorte dieser Gesellschaft sind durch extreme Trockenheit und Substratverdichtung gekennzeichnet. Das Substrat (Gasbetonstaub) wurde verspült und hatte einen Anfangs-pH-Wert zwischen 10 und 11. Mit Einstellung dererspülung erfolgte eine starke Austrocknung und z. T. Verdichtung (vgl. Tauchnitz u. a. 1983 b). Nach dem Absinken der pH-Werte (s. Tab. 7) wurden vor allem die an Feinanteilen reicheren Vertiefungen zuerst von Pflanzen besiedelt. Erstbesiedelt auf diesen Standorten dürften Moose gewesen sein. Die erhöhten und skelettreicheren Bereiche der Einspülstellen wiesen dagegen eine relativ geringe Moosbesiedlung auf und ermöglichten die Ansiedlung auch höherer Pflanzen. Zum Untersuchungszeitpunkt betrug die Moosbedeckung auf ersteren Mikrostandorten bis zu 95 %, während am Einspülkegel lediglich 40–60 % erreicht wurden. Die hohe Moosbedeckung wurde vor allem durch *Bryum caespiticium* und *Ceratodon purpureus* erreicht. Gleichmäßig über die Deponiefläche verteilt kam *Silene vulgaris* als Hauptbestandbildner der Krautschicht vor. Je nach standörtlichen Verhältnissen konnten Unterschiede in der Vitalität der Art festgestellt werden. Grundwassernähere Deponieteile, die ebenfalls oberflächlich stark austrocknen, lassen die Abtrennung einer feuchten Subassoziation mit höheren Anteilen an *Agrostis gigantea*, *Phragmites australis* und *Tussilago farfara* möglich erscheinen.

6.2.4. *Silene vulgaris-Festuca trachyphylla*-Gesellschaft (Tab. 6, Spalte d und e)

Hoch mit Schwermetallsalzen belastete Standorte fanden sich auf der Abfallhalde eines Chromatsalze produzierenden Betriebes. Eine ausführliche Darstellung der chemischen Verhältnisse wird bei Tauchnitz u. a. (1983 a) gegeben. Dieses Substrat ordnet sich in die Substratklasse Sk III ein (vgl. Tab. 1). Ein mikrostandörtliches Mosaik ergibt sich durch die Relieferung der Deponieoberfläche und die sich daraus ergebende differenzierte Anreicherung mit Nährstoffen durch eingewehte Feinteile.

Im Verlaufe von 50 Jahren konnte sich reliefbedingt an einigen Stellen eine bis zu 20 cm starke humose Auflage herausbilden. Der größte Teil des Deponiekörpers ist frei von höherer Vegetation, da das unbedeckte Abprodukt ansteht. Die Cr-Gehalte der humosen Deponieteile sind um etwa die Hälfte gegenüber dem „reinen“ Abprodukt herabgesetzt (Tab. 7). Dementsprechend liegen die C/N-Verhältnisse auf den feinerde-reicheren Standorten zwischen 14 und 16 im Gegensatz zu den vegetationslosen Deponieteilen mit Werten um 5.

Initiale Besiedlungsstadien auf feinerdearmen bzw. -losen Standorten sind in Spalte e aufgeführt. Oberflächlich verdichtete bzw. festgelegte Flächen werden durch *Silene vulgaris* und Moose initial besiedelt. Auf lockeren und skelettreichen Mikrostandorten sind es vor allem *Diplotaxis muralis* und *Oenothera rubricaulis*. Alle Arten zeigen Vitalitätseinschränkungen. Mit Verbesserung der standörtlichen Verhältnisse durch Substrateintrag, vor allem auch hinsichtlich des Mikroklimas (vgl. Schubert

Tabelle 7. Substratchemische Parameter von Vegetationseinheiten auf Deponiestandorten industrieller Abprodukte

Veg.-Einheit ind. Abp. naß	pH (KCl)	Ca : K	Ca : P	Ca : Mg	Ca (1)	N _t (2)	C _t (2)	T-W (3)	Salz (4)	NH ₄ -N (2)	NO ₃ -N (2)	Zn (1)
6.1.1.	8,1	128,2	8913	251,9	5,0	0,34	6,1	10,2	0,19	1,9	0,3	0,01
6.1.2.	9,3	487,5	1923,2	413,2	3,0	0,09	10,0	13,3	1,0	0,07	0,2	0,84 · 10 ⁻³
6.1.3.	8,0	3128	12360	516	3,6	0,05	2,8	12,4	0,3	0,11	1,3	0,29 · 10 ⁻³
6.1.5.	9,4											
		Cd (1)	Pb (1)	Cr (1)	Ni (1)	Co (1)	Cu (1)	B (1)				
6.1.1.		0,2 · 10 ⁻⁴	0,17 · 10 ⁻²	0,46 · 10 ⁻²	0,17 · 10 ⁻⁴	0,79 · 10 ⁻⁴	0,27 · 10 ⁻³	0,84 · 10 ⁻³				
6.1.2.		0,4 · 10 ⁻⁴	0,13 · 10 ⁻³	0,18 · 10 ⁻³	0,2 · 10 ⁻³	0,13 · 10 ⁻³	0,33 · 10 ⁻³	0,25 · 10 ⁻³				
6.1.3.		0,23 · 10 ⁻⁴	0,6 · 10 ⁻⁵	0,16 · 10 ⁻³	0,10 · 10 ⁻³	0,12 · 10 ⁻³	0,23 · 10 ⁻³	0,25 · 10 ⁻³				
Ind. Abprod. trocken	pH (KCl)	Ca : K	Ca : P	Ca : Mg	Ca (1)	N _t (2)	C _t (2)	T-W (3)	Salz (4)	NH ₄ -N (2)	NO ₃ -N (2)	Zn (1)
6.2.1.	7,1	93,8	637	137,5	0,78	0,38	16,4	23,5	0,4	—	—	0,02
6.2.2.	7,2	488	2000	33,0	0,5	0,31	34,1	24,6	—	—	—	0,76 · 10 ⁻³
6.2.3.	7,7	312	9070	212	1,3	0,15	14,1	35,8	—	—	—	0,62 · 10 ⁻³
6.2.4.	8,0	2108	12360	181	3,1	0,2	2,2	10,2	0,1	—	—	0,28 · 10 ⁻²
6.2.5.	6,5	118	3370	33,0	1,2	0,25	13,3	10,9	1,3	12,0	0,3	—
6.2.6.	7,7	173	950	125	0,4	0,5	24,3	33,4	—	—	—	0,07
		Cd (1)	Pb (1)	Cr (1)	Ni (1)	Co (1)	Cu (1)	B (1)				
6.2.1.		0,91 · 10 ⁻⁴	0,54 · 10 ⁻²	0,37 · 10 ⁻²	0,24 · 10 ⁻²	0,37 · 10 ⁻³	0,019	0,22 · 10 ⁻³				
6.2.2.		0,24 · 10 ⁻⁴	0,35 · 10 ⁻³	0,63 · 10 ⁻³	0,66 · 10 ⁻³	0,32 · 10 ⁻³	0,15 · 10 ⁻⁴	0,92 · 10 ⁻⁴				
6.2.3.		0,7 · 10 ⁻⁴	0,27 · 10 ⁻³	0,49 · 10 ⁻³	0,42 · 10 ⁻³	0,23 · 10 ⁻³	0,23 · 10 ⁻³	0,96 · 10 ⁻³				
6.2.4.		0,77 · 10 ⁻⁴	0,08	0,25	0,65 · 10 ⁻²	0,16 · 10 ⁻²	0,12 · 10 ⁻²	0,81 · 10 ⁻³				
6.2.5.		—	—	—	—	—	—	0,16 · 10 ⁻²				
6.2.6.		0,22 · 10 ⁻²	0,02	0,78 · 10 ⁻²	0,24 · 10 ⁻²	0,1 · 10 ⁻²	0,03	0,11 · 10 ⁻³				

(1) mol/kg

(2) ‰

(3) mval mg Ba²⁺/100 g Boden

(4) Salzgehalt als ‰ KCl

1953), bildet sich ein relativ stabiles Artengefüge mit *Silene vulgaris*, *Oenothera rubricaulis* und *Festuca trachyphylla* als dominierende Arten heraus (vgl. Spalte d). Regelmäßig am Bestandsaufbau sind weiterhin neben Moosen *Daucus carota* und *Artemisia campestris* beteiligt. Auf den feinerdereichsten Standorten siedelt sich *Calamagrostis epigejos* an und baut die *Silene vulgaris-Festuca trachyphylla*-Gesellschaft ab.

6.2.5. *Agropyron repens*-Bestand (Tab. 6, Spalte f)

Verwitterte Emballagen aus der Farbenherstellung (vgl. Abschn. 6.1.1.) mit schwach basischer bis saurer Reaktion werden von *Agropyron repens* eingenommen. Die Wuchsorte sind oberflächlich relativ trocken. Das Substrat zeigt deutliche Verwitterungserscheinungen, die sich in einer kleinplattigen bis muscheligen Struktur widerspiegeln. *Agropyron repens* baut offensichtlich direkt die *Funaria hygrometrica*-Bestände (vgl. 6.1.1.) ab und tritt faciesbildend auf. Die weitere Sukzession zu ruderalen Hochstaudenfluren deutet das Auftreten von *Artemisia vulgaris* an.

6.2.6. *Populus*-Vorwald-Stadium (Tab. 6, Spalte g)

Die im Abschnitt 6.2.1. beschriebenen Standorte (verwitterte Ölschlämme) werden gut von *Populus*- und *Betula*-Sämlingen besiedelt. Die Herausbildung einer lockeren Strauchschicht drängt *Solidago canadensis* zurück und schafft durch die höhere Beschattung ausgeglichene mikrostandörtliche Bedingungen. Diese Verhältnisse gestatten einer Reihe höherer Feuchtigkeit liebende Arten wie *Carex hirta* und *Agrostis stolonifera* eine höhere Beteiligung am Bestandsaufbau der Feldschicht.

7. Aschedeponien und deren Standortverhältnisse

Aschedeponien sind der Substratklasse Sk I zuzuordnen. Sie weisen jedoch gegenüber den bisher vorgestellten Substraten spezifische Eigenschaften auf. Wesentlicher Unterschied zu anderen Substraten der Substratklasse Sk I, die hauptsächlich aus reinem Kalkstein bestehen, ist das Vorhandensein eines silikatischen Grundkörpers mit geringerem Kalkanteil als CaO oder Ca(OH)_2 . Neben den Inhaltsstoffen ist vor allem die Ablagerungstechnologie (Verkipfung oder Verspülung) von entscheidender Bedeutung für eine spätere Besiedlung durch Pflanzen. Die chemischen Verhältnisse auf verkippten und verspülten Aschen zeigt Tab. 8. In diese Betrachtung gingen alle bisher ermittelten Werte ohne Berücksichtigung ihres Alters ein. Daraus ergibt sich eine geringere Differenz im pH-Wert, der im allgemeinen auf Spülstandorten analog zum Salzgehalt deutlich erhöht ist. Bemerkenswert sind die um das 2–3fache höheren Ca-Gehalte auf Spülkippen. Die Ursache dafür liegt in einer Aufkonzentrierung des Prozesswassers bei Kreislaufbetrieb. Aufgrund dieser Tatsache ergeben sich auch die niedrigen Verhältnisse von Ca und den Nährstoffen P, K und Mg sowie den Schwermetallen.

Neben dem chemischen Zustand des Substrates spielen auch die physikalischen Verhältnisse am Standort eine große Rolle für die pflanzliche Besiedlung. Als erstes ist in diesem Zusammenhang der Wasserfaktor zu nennen, daneben ist aber auch die Verdichtung des Substrates von Bedeutung. Es kann z. B. bei hinreichend großem Filterascheanteil eine Zementierung der Deponieoberfläche auftreten. Ein weiterer wesentlicher Faktor ist die vor allem sommerliche Aufheizung der Deponieoberflächen.

Wenn über die Standortverhältnisse auf Aschedeponien gesprochen wird, muß man sich vergegenwärtigen, daß die Aschedeponien in der Regel keine homogenen Standorte sind. Sie werden von verschiedenen Aschen aufgebaut, die sich sowohl chemisch als auch physikalisch unterscheiden, wie z. B. Kratzband-, Braunkohlenfilter- und Braunkohlenrosta-schen, um die wichtigsten zu nennen. Während erstere als Naß-

Tabelle 8. Substratchemische Eigenschaften von Aschetrocken- und Spülkippen

	pH (KCl)	B (1)	Salz (2)	C _t (3)	T-W (4)		
Asche trocken	7,6	13,3	0,52	12,8	22,2		
Asche naß	7,8	29,8	0,94	15,9	20,3		
	Ca (5)	Ca : P	Ca : K	Ca : Mg	Ca : Zn	Ca : Cd	Ca : Pb
Asche trocken	0,06	1269	207	77,0	61,0	1568	190
Asche naß	0,17	1876	455	170	175	5164	634
	Ca : Cr	Ca : M	Ca : Co	Ca : Cu			
Asche trocken	57,1	1185	220,8	113			
Asche naß	66,3	229	621	218			

(1) ppm

(2) Salzgehalt als ‰ KCl

(3) ‰

(4) mval Ba²⁺/100 g Boden

(5) mol/kg

asche anfällt, wird die Filterasche trocken oder naß deponiert. Die Rostasche gelangt in der Regel trocken zur Deponie. Die Braunkohlenfilterasche stellt ein feinsandiges bis schluffiges Substrat dar, während Kratzband- und Rostaschen als sandig bis kiesig anzusprechen sind, wobei vor allem letztere durch Schlackenteile auch grobkiesig sein können.

Die chemischen Verhältnisse und die diesen zugrunde liegenden Reaktionen wurden ausführlich von Rothe u. a. (1981) behandelt. Wir möchten anhand von 2 Beispielen, einer durch Verkipfung bzw.erspülung entstandenen Deponie von Kratzband- und Filterasche, die zeitliche Entwicklung einiger chemischer Parameter aufzeigen (Abb. 3 und 4). Die graphische Darstellung basiert auf den in Tab. 9 angegebenen Werten. Im allgemeinen kann davon ausgegangen werden, daß nach 4–5 Jahren der pH-Wert auf beiden Deponietypen etwa 8 beträgt. Die pH-Wert-Erniedrigung beruht zu einem wesentlichen Teil auf der Carbonatisierung des CaO. Ein Teil des gebildeten CaCO₃ wird zu Ca(HCO₃)₂ umgewandelt und das Ca⁺⁺ ausgewaschen. Das HCO₃⁻ bewirkt als schwache Säure eine pH-Erniedrigung. Dieser Vorgang verläuft auf Trockenkippen mehr oder weniger kontinuierlich in Abhängigkeit von den Niederschlägen. Mit sinkendem pH-Wert fallen auch die Ca : Nährstoffverhältnisse, und die Verfügbarkeit letzterer vergrößert sich. In den ersten Jahren dominiert auf Aschetrockenkippen die CaCO₃-Bildung vor der Umwandlung zu HCO₃⁻, welches sich im steigenden C_t-Wert ausdrückt. Nach 4–5 Jahren kehrt sich dieser Vorgang um. Die Verhältnisse zwischen Ca⁺⁺ und K⁺ bzw. Mg⁺⁺ stabilisieren sich, während das Ca : P-Verhältnis noch instabil ist.

Komplizierter sind die Abläufe auf Spülstandorten. Mit zurückgehendem Wasser im Verlaufe des Trockenfallens werden große Ca-Mengen entzogen, so daß es anfänglich zu einer raschen Verringerung der Ca : Nährstoffverhältnisse kommt. Eine Carbonatisierung findet aufgrund der noch hohen Wassersättigung des Aschekörpers nur in geringem Maße statt, wie anhand des C_t-Gehaltes innerhalb der ersten 2 Jahre zu sehen ist. Mit weiterem Wasserrückgang setzt eine verstärkte Carbonatisierung ein, je nach Wasserstand kann dieser Vorgang über relativ große Zeiträume wirken, im vorliegenden Fall ist nach 15 Jahren noch nicht der maximale C_t-Gehalt erreicht. Dementsprechend hat sich auch noch kein Gleichgewicht zwischen Ca und den Nährstoffen eingestellt.

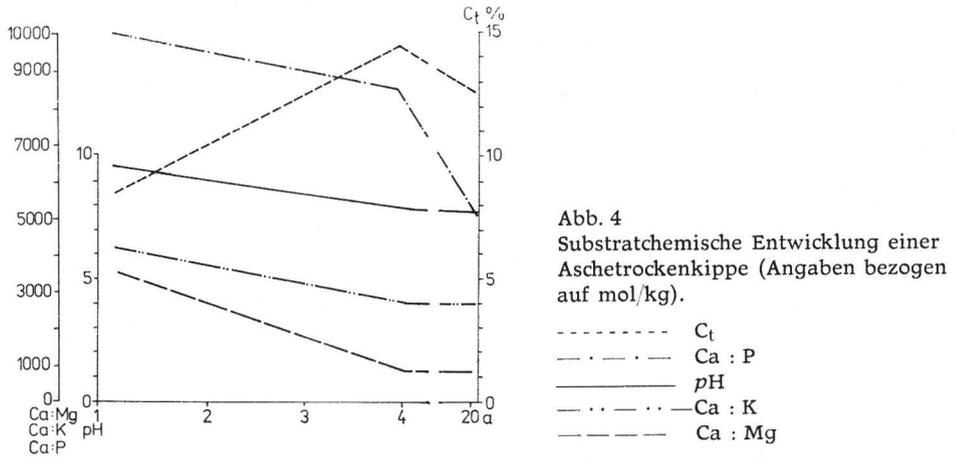
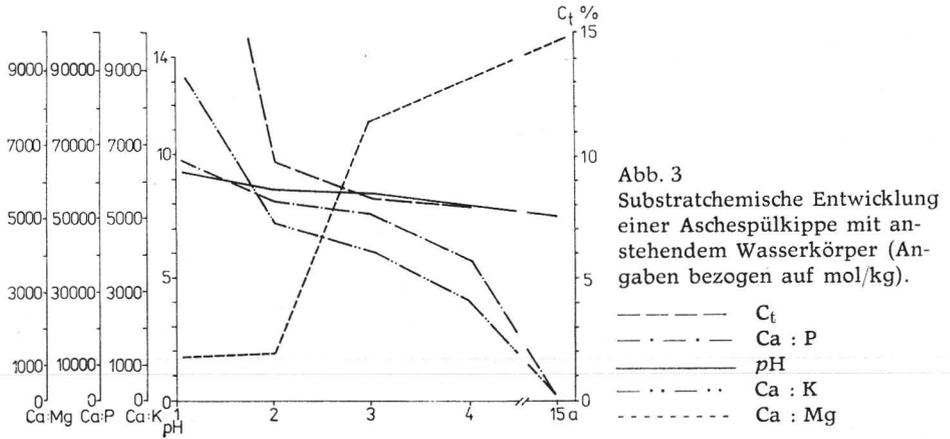
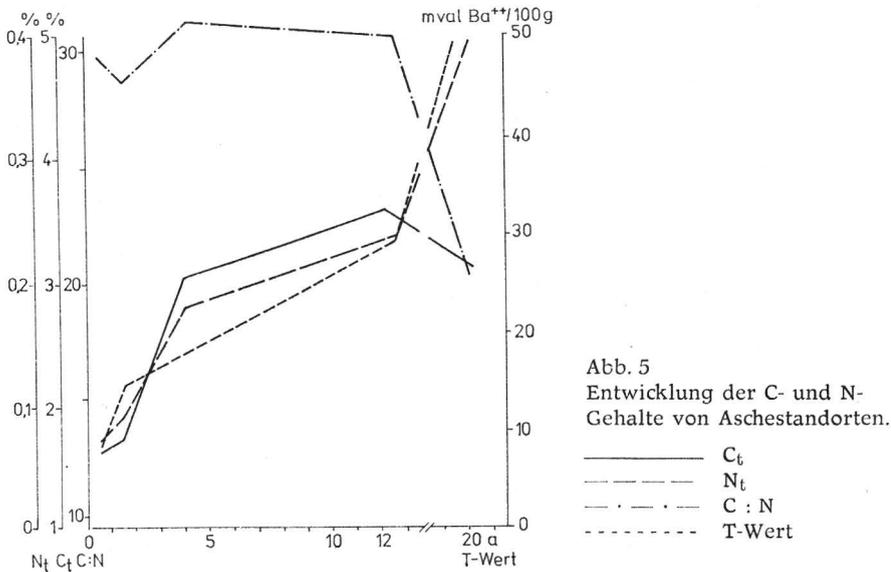


Tabelle 9. Zeitliche Entwicklung der arithmetischen Mittelwerte ausgewählter substratchemischer Parameter von naß und trocken deponierter Asche

	Alter (a)	pH (KCl)	Ca (1)	K (1)	P (1)	Mg (1)	C_t (2)
Asche trocken	1/2 - 1	9,6	2600	6,0	2,0	4,5	8,5
	4	7,8	2400	9,0	2,2	18,8	14,4
	10 - 20	7,6	2600	3,7	3,7	18,8	12,6
Asche naß	1/2	9,5	7500	7,0	0,8	1,3	1,9
	2	8,7	7200	14,5	1,0	6,6	2,0
	3	8,5	6900	16,0	1,2	7,4	11,4
	4	7,9	4400	14,0	0,8	4,6	—
	10 - 15	7,6	3000	12,0	1,0	—	15,0

(1) mg/100 g Boden

(2) ‰



Zusammenfassend kann geschlußfolgert werden, daß auf verkippten Aschestandorten 4–5 Jahre nach der Ablagerung relativ stabile chemische Verhältnisse herrschen, während auf Spülstandorten dieser Zustand im allgemeinen später in Abhängigkeit vom Wasserregime erreicht wird.

Analog Abschnitt 4. möchten wir auch für Aschestandorte die Entwicklung von N_t , C_t und T-Wert betrachten (Abb. 5). Das C/N-Verhältnis ist auf Aschestandorten im Vergleich zu reinem Kalk sehr weit. Ursache dafür ist der hohe C-Gehalt der Asche. Mit Verlangsamung des Carbonatisierungsprozesses erfolgt eine Einengung des C/N-Verhältnisses etwa nach 4–5 Jahren. Nach 10–15 Jahren sinkt das C : N-Verhältnis rapide ab, offensichtlich bedingt durch eine verstärkte Auswaschung von $Ca(HCO_3)_2$ und Eintrag von biotischem Material. Der T-Wert steigt im gesamten Zeitraum, zeigt aber in der Zeit starker $CaCO_3$ -Bildung einen verringerten Anstieg und verläuft in der folgenden Phase fast parallel mit dem N_t -Gehalt.

8. Die Pflanzengesellschaften

Eine Zusammenfassung der Nährstoff- und pedochemischen Parameter für die einzelnen Vegetationseinheiten erfolgt in Tab. 10.

8.1. Wasserbeeinflusste Standorte

8.1.1. Polygono-Atriplicetum hastatae ass. nov. (Tab. 11, Spalte a–c)

Die Standorte dieser Assoziation sind nach Verspülung trockenfallende Aschekörper mit neutraler bis basischer Reaktion. Je nach Abstand des anstehenden Wasserkörpers zur Deponieoberfläche lassen sich verschiedene Ausbildungen der Assoziation abtrennen. Die diagnostisch wichtigen Arten dieser Gesellschaft sind *Polygonum aviculare*, *Atriplex hastata* und *Funaria hygrometrica*. Das Polygono-Atriplicetum besiedelt o. g. Standorte von der initialen Sukzessionsphase an und wurde noch auf 8jährigen Flächen festgestellt.

Tabelle 10. Ausgewählte substratchemische Parameter (Mittelwerte) von Pflanzengesellschaften auf Aschen

Aschespülstandort	pH (KCl)	Ca : K	Ca : P	Ca : Mg	Ca (1)	N _t (2)	C _t (2)	T-W (3)	Salz (4)	NH ₄ -N (2)	NO ₃ -N (2)	B (1)
8.1.1.	7,7	121	334	44,8	0,5	0,17	16,5	25,4	0,9	0,8	0,6	2,8 · 10 ⁻³
8.1.2.	8,4	521	4823	617	1,6	—	4,3	7,6	1,1	—	—	—
8.1.3.	7,3	195	1951	437	0,6	0,2	28,2	25,8	0,6	1,0	0,5	2,1 · 10 ⁻³
	Cd	Pb	Cr	Ni	Co	Cu	Zn					
8.1.1.	3,7 · 10 ⁻⁵	2,7 · 10 ⁻⁴	6,7 · 10 ⁻⁴	6,7 · 10 ⁻⁴	2,5 · 10 ⁻⁴	4,7 · 10 ⁻⁴	9,0 · 10 ⁻⁴					
8.1.2.	1,8 · 10 ⁻⁵	2,9 · 10 ⁻⁴	1,7 · 10 ⁻³	4,1 · 10 ⁻³	1,1 · 10 ⁻³	9,6 · 10 ⁻⁴	1,6 · 10 ⁻³					
8.1.3.	3 · 10 ⁻⁵	3,1 · 10 ⁻⁴	2,1 · 10 ⁻³	8,6 · 10 ⁻⁴	3,4 · 10 ⁻⁴	5,2 · 10 ⁻⁴	1,3 · 10 ⁻³					
Asche-trocken-deponien	pH	Ca : K	Ca : P	Ca : Mg	Ca	N _t	C _t	T-W	Salz	NH ₄ -N	NO ₃ -N	B
8.2.1.	6,9	38,1	1030	23,3	0,2	0,4	21,5	55,1	—	—	—	5,7 · 10 ⁻⁴
8.2.2.	7,5	404	5150	171	1,0	0,16	18,1	7,1	0,4	—	—	1,0 · 10 ⁻³
8.2.3.	7,8	137	1123	68,0	0,5	0,09	5,7	13,7	0,4	0,9	1,3	7,2 · 10 ⁻⁴
8.2.4.	7,9	516	1416	7,9	1,1	0,09	9,7	18,0	0,9	0,3	0,6	2,0 · 10 ⁻³
8.2.5.	7,4	260	745	83,0	0,7	0,13	11,3	22,9	0,3	0,4	0,31	1,7 · 10 ⁻³
8.2.6.	7,5	242	1738	67,0	0,6	0,13	16,0	23,7	0,52	0,95	0,28	1,0 · 10 ⁻³
8.2.7.	8,0	1303	1158	80,1	0,6	0,26	11,2	33,0	0,14	4,4	0,21	1,0 · 10 ⁻³
	Cd	Pb	Cr	Ni	Co	Cu	Zn					
8.2.1.	4,8 · 10 ⁻⁵	3,5 · 10 ⁻⁴	7,7 · 10 ⁻⁴	5,8 · 10 ⁻⁴	2,8 · 10 ⁻⁴	7,5 · 10 ⁻⁴	1,5 · 10 ⁻³					
8.2.2.	5,3 · 10 ⁻⁴	2,4 · 10 ⁻⁴	1,0 · 10 ⁻⁴	1,8 · 10 ⁻⁴	2,3 · 10 ⁻⁴	1,1 · 10 ⁻³	6,7 · 10 ⁻⁴					
8.2.3.	3,3 · 10 ⁻⁵	2,6 · 10 ⁻⁴	9,4 · 10 ⁻⁴	4,4 · 10 ⁻⁴	2,2 · 10 ⁻⁴	4,4 · 10 ⁻⁴	4,5 · 10 ⁻⁴					
8.2.4.	1,2 · 10 ⁻⁵	8,5 · 10 ⁻⁵	1,3 · 10 ⁻⁴	1,9 · 10 ⁻³	1,6 · 10 ⁻⁴	2,4 · 10 ⁻⁴	8,1 · 10 ⁻⁴					
8.2.5.	1,2 · 10 ⁻⁵	8,4 · 10 ⁻⁵	3,3 · 10 ⁻⁴	2,8 · 10 ⁻⁴	1,0 · 10 ⁻⁴	1,6 · 10 ⁻⁴	7,5 · 10 ⁻⁴					
8.2.6.	9,7 · 10 ⁻⁶	7,7 · 10 ⁻⁵	4,3 · 10 ⁻⁴	4,1 · 10 ⁻⁴	1,6 · 10 ⁻⁴	2,1 · 10 ⁻⁴	7,5 · 10 ⁻⁴					
8.2.7.	1,8 · 10 ⁻⁵	5,4 · 10 ⁻⁴	3,6 · 10 ⁻³	8,6 · 10 ⁻⁴	2,3 · 10 ⁻⁴	6,2 · 10 ⁻⁴	3,2 · 10 ⁻⁵					

(1) mol/kg

(2) mg/100 g Boden

(3) mval mg Ba²⁺/100 g Boden

(4) Salzgehalt als 0/0 KCl

Tabelle 11. Aschepflüstandorte

Vegetationseinheit	8.1.1.1.		8.1.1.2.	8.1.2.	8.1.3.			
Spalte	a	b	c	d	e			
Aufn. Nr./Zahl	5	7	7	6	33	34	35	36
Artenzahl	7	7	6	6	5	9	12	8
Alter	1/2-1	1-2	1-8	2-6	—	15	—	—
F <i>Funaria hygrometrica</i>	V + -5,5	V 2-4,2	III + -2,2	V 3-5,4	4	4	2	
<i>Bryum pendulum</i>	I 4							
<i>Bryum cirrhatum</i>	I 5							
<i>Atriplex hastata</i>	II +	V 2°-4,2	V + -5°,3	IV r°-1°,r°			r°	
<i>Polygonum aviculare</i>	II +	V r-1,+	III r°-1,4					
<i>Atriplex nitens</i>	I +	V 1-3,1	I r°					
<i>Diplotaxis tenuifolia</i>			V r°-2,2	V 2°-3,2				
<i>Sisymbrium altissimum</i>		I +	I r°				r°	2
<i>Poa angustifolia</i>			III r°-2,+					
<i>Gypsophila perfoliata</i>				V + -2,1				
<i>Chenopodium rubrum</i>		III + -2,+		V r°-2°,2°				
<i>Phragmites australis</i>	II r°-+		V +°-+ ,+					
<i>Tussilago farfara</i>	I 1	III r						+° 2°
<i>Agrostis gigantea</i>	I +	III r-+ ,+	I +		2	3	4	5
<i>Festuca pratensis</i>		II r-1			3	2	2	
<i>Holcus lanatus</i>		II r-+			3	3		
<i>Rumex acetosa</i>			I r°		1	+		
<i>Dactylis glomerata</i>		II r				+		
<i>Taraxacum officinale</i>	I +							+ +
<i>Chenopodium album</i>	I +	III r-2,r	II r°-+					
<i>Artemisia vulgaris</i>	II r	III r-1,r	I r					r
<i>Polygonum lapathifolium</i>	I +	III r						
<i>Puccinellia distans</i>		I r	I +					

Weiterhin kommen vor: *Daucus carota* a/+; *Poa pratensis* a/2; *Calystegia sepium* c/r; *Poa annua* c/r; *Solanum nigrum* c/r; *Rumex crispus* c/r; *Lepidium ruderales* c/r und a/+; *Atriplex patula* c/+ und d/+; *Agrostis stolonifera* c/r; *Coronopus squamatus* c/r; *Conyza canadensis* e/r; *Chenopodium ficifolium* b/1 und +; *Fallopia convolvulus* b/r; *Epilobium hirsutum* b/r; *Salix spec.* e/r und +; *Sonchus oleraceus* e/+ und r; *Poa trivialis* e/r; *Cirsium arvense* e/1; *Solidago canadensis* e/1; *Sagina procumbens* e/r; *Epilobium angustifolium* e/+; *Salsola kali* d/r und c/+; *Riccardia pinguis* a/+.

a-c Polygono-Atriplicetum hastatae

a Subass. v. *Tussilago farfara*, Var. v. *Funaria hygrometrica*

b Subass. v. *Tussilago farfara*, Var. v. *Atriplex nitens*

c Subass. v. *Diplotaxis tenuifolia*

d Gypsophilo-Diplotaxietum

e *Agrostis gigantea*-Bestände

8.1.1.1. Subass. von *Tussilago farfara*

In den Spalten a und b werden Besiedlungsstadien sehr nasser Standorte, in Einzelfällen mit einem Wasserstand von nur 1 bis 2 cm unter Flur, belegt. Den Pflanzenbestand der Spalte a möchten wir der Variante von *Funaria hygrometrica* zuordnen. Diese Variante kennzeichnet initiale Besiedlungsstadien. So konnten in einzelnen Fällen bereits nach 1/2 Jahr ausgedehnte Bestände von *Funaria hygrometrica* mit Deckungswerten bis zu 70 % angetroffen werden. Je nach standörtlichen Verhältnissen können

andere Moose am Bestandsaufbau beteiligt sein und auch größere Facies bilden. Das Artenspektrum der höheren Pflanzen kann in Abhängigkeit von der umgebenden Vegetation sehr unterschiedlich sein (s. auch Fischer 1976). Strukturell ähnliche Initialstadien auf Steinkohlenasche werden von o. g. Autor beschrieben. Auf die Bedeutung von *Funaria hygrometrica* bei der Besiedlung von Ascheflächen wird auch bei Klotz (1981) hingewiesen.

Die Variante von *Atriplex nitens* der gleichen Subass. wird in Spalte b aufgeführt. Der Abstand zwischen Wasserkörper und Deponieoberfläche beträgt mehr als 20 cm. In jedem Fall besteht aber eine gute hydraulische Verbindung zwischen beiden. Besonders auffällig auf diesem Standort ist ein erhöhter Feinanteil und damit verbunden eine höhere Verschlammung der Oberfläche. Erhöht ist auf diesen Deponieteilen auch der Salzgehalt (vgl. Tab. 10). Besonders stark entwickelt sich bei den gegebenen Standortverhältnissen *Atriplex nitens*. Es kommt zur Herausbildung einer starkwüchsigen oberen Krautschicht, bestehend aus *Atriplex hastata* und *A. nitens*.

8.1.1.2. Trockene Subass. von *Diplotaxis tenuifolia*

Geht die hydraulische Verbindung zwischen Wasserkörper und Deponieoberfläche verloren, entstehen sehr trockene Standorte, die unabhängig von ihrem Feinanteil von der *Diplotaxis tenuifolia*-Subass. besiedelt werden. Diese Subass. wurde auf 1–8-jährigen Flächen angetroffen. Differentialarten dieser Subass. sind *Diplotaxis tenuifolia* und *Poa angustifolia*. Außer *Atriplex hastata* gehen alle anderen diagnostisch wichtigen Arten in ihrem Vorkommen zurück. Auch von den in Spalte b aufgeführten weiteren Arten fällt der größte Teil aus. Die Deckungswerte sowohl der höheren Pflanzen als auch der Moose überschreiten nicht bzw. nur in Einzelfällen 50 %. Beziehungen dieses Pflanzenbestandes bestehen zu den von Fischer (1976) aufgenommenen Beständen auf Steinkohlenasche nur in der initialen Sukzessionsphase in struktureller Hinsicht. Bereits in der folgenden Entwicklungsphase treten die Unterschiede, wie das weitgehende Fehlen einer Mooschicht und die Dominanz perennierender Arten, deutlich zu Tage. Interessant ist jedoch, daß die vom genannten Autor aufgenommenen Bestände sich nach 5–7 Jahren strukturell den hier vorgestellten annähern. Engere Beziehungen bestehen unserer Meinung nach jedoch zur *Puccinellia distans*-*Polygonum aviculare*-Ges. (vgl. Abschn. 11) sowohl hinsichtlich der Artengarnitur, als auch bezüglich des Bestandsaufbaus.

8.1.2. Gypsophilo-Diplotaxietum Klotz 1981 (Tab. 11, Spalte d)

Analog den von Klotz (1981) beschriebenen physikalischen Verhältnissen auf einer Kalkhydratdeponie ist auch im vorliegenden Fall eine schichtweise Ablagerung des Substrates vorgenommen worden. Die einzelnen z. T. recht verschiedenen Schichten sind extrem verdichtet. Werden diese Schichten mechanisch zerstört, zerfallen sie in plattige Stücke. Von den bei Klotz (1981) aufgeführten diagnostisch wichtigen Arten treten hier nur *Gypsophila perfoliata*, *Diplotaxis tenuifolia* und *Funaria hygrometrica* auf. Daneben sind *Atriplex hastata* und *Chenopodium rubrum* hoch dominant. Eine gute Wasserversorgung zeigt die hohe Beteiligung von *Phragmites australis* am Bestandsaufbau an. Gegenüber den Vegetationsaufnahmen von Klotz (1981) treten auf den hier vorgestellten 2–8-jährigen Flächen keine weiteren Arten auf.

8.1.3. *Agrostis gigantea*-Bestände (Tab. 11, Spalte e)

Frische bis feuchte Standorte des Polygono-Atriplicetum werden mit fortschreitender Sukzession von *Agrostis gigantea* eingenommen. In Spalte e sind 15-jährige Bestände vorgestellt. Neben *A. gigantea* beteiligen sich vor allem *Festuca pratensis* und *Holcus lanatus* verstärkt am Bestandsaufbau. Obwohl die hochwüchsigen Arten bei optimaler Entwicklung bis zu 90 % der Fläche decken können, ist eine aus *Funaria hygrometrica* bestehende Mooschicht ausgebildet.

8.2. „Spülwasser“ unbeeinflusste Standorte

8.2.1. Initiale Besiedlungsstadien (Tab. 12, Spalten a–d)

Lockere Ascheaufschüttungen mit sehr unausgeglichene mikrostandörtlichen Verhältnissen werden trotz Nährstoffanreicherung sehr zögernd besiedelt (Tab. 12, Spalte a–d). Nach unseren Beobachtungen werden solche Aschestandorte selten vor dem 4.–5. Ablagerungsjahr besiedelt. In dieser Zeit ändern sich auch die chemischen Bedingungen im Oberflächenbereich zu pflanzenfreundlicheren Verhältnissen (vgl. Abschn. 7.).

In den Spalten a, b, c und im gewissen Sinne auch d sind initiale Besiedlungsmöglichkeiten aufgeführt. Es ist bei den vorgestellten Vegetationseinheiten allerdings zwischen dauerhaften und nur einmalig auftretenden Phytozönosen zu unterscheiden. Das Aufnahmемaterial in den Spalten a, b und c steht für den ersten Sachverhalt. Hier bilden einige wenige, meist annuelle Arten wie z. B. *Cerastium arvense*, *Conyza canadensis* und *Sisymbrium altissimum* über mehrere Jahre wiederkehrende Facies. Durch das Eindringen ausdauernder Arten in diese Facies, werden die initialen Sukzessionsstadien langsam abgebaut. Ein einmaliges Auftreten von Arten, ebenfalls in Form von Facies, zeigt Spalte d am Beispiel von *Atriplex nitens*. Solche Pflanzenbestände bestehen in der Regel nur aus einer Art, in Abhängigkeit von Diasporenangebot. Diese Phytozönosen setzen sich fast immer aus Individuen mit herabgesetzter Vitalität bzw. nanistischen Wuchsformen zusammen.

8.2.2. *Cerastium arvense*-*Arenaria leptoclados*-Gesellschaft (Tab. 12, Spalte e)

Ein schlackereicher Aschestandort mit relativ hoher Luftfeuchtigkeit durch Waldlage wurde großflächig durch die o. g. Gesellschaft eingenommen. Die hohe Luftfeuchtigkeit begünstigte die Ausbildung einer starken Mooschicht, bestehend aus *Ceratodon purpureus*, *Bryum caespiticium* und *B. argenteum*. Diese Mooschicht wird in einer zweiten Schicht von *Cerastium arvense* und *Arenaria leptoclados* überragt. Die Deckungsanteile zwischen Moos- und Krautschicht sind ausgeglichen. Die Gesamtedeckung beträgt etwa 80 %. Durch die Waldlage und den dadurch bedingten hohen Sameneintrag von Gehölzen beteiligen sich Keim- und Jungpflanzen derselben regelmäßig am Bestandsaufbau, erreichen jedoch kein höheres Lebensalter. Des weiteren treten regelmäßig, jedoch z. T. mit eingeschränkter Vitalität, *Artemisia vulgaris* und *Chenopodium album* auf.

8.2.3. *Salsola kali*-*Diploaxis muralis*-Ges. (Tab. 12, Spalte f)

Extrem trockene, tiefgründige und starker Sonneneinstrahlung ausgesetzte filteraschereiche Standorte werden von den namengebenden Arten und *Sisymbrium altissimum* charakterisiert.

Weiterhin treten innerhalb der aufgelockerten Bestände auch nitrophilere Arten auf. Sie weisen auf lokale Nährstoffanreicherungen hin. Bedingt durch die extremen Standortverhältnisse verläuft die Sukzession sehr langsam. Aufgrund dieses Sachverhaltes konnten sich neben *Sisymbrium altissimum*, einer Art der initialen Entwicklungsphase (vgl. Abschn. 8.2.1.) und den diagnostisch wichtigen Arten, bereits gesellschaftsabbauende Species ansiedeln und im vorgestellten Fall zu stärkerer Entwicklung gelangen. Der Abbau der Gesellschaft wird hauptsächlich von *Calamagrostis epigejos*, *Oenothera*-Arten, *Solidago canadensis* und *Cirsium arvense* vorgenommen. Diese Entwicklungstendenz wird durch das Vorkommen einer großen Anzahl vitaler Gehölzungspflanzen bestätigt. Die von Klotz (1981) beschriebenen *Salsola kali*-reichen Bestände auf Kalkhydrat stehen zu den hier vorgestellten in keiner Beziehung.

8.2.4. *Puccinellia distans*-*Polygonum aviculare*-Ges. (Tab. 12, Spalten g und h)

Ein hinsichtlich seines Wasserhaushaltes begünstigter Standort im Bereich von Kondenswasserwolken eines Kraftwerkes soll im weiteren vorgestellt werden. Das ent-

<i>Poa annua</i>	1	+	II r-+	I +	+ r	+ + ^o r +	I +		
<i>Plantago major</i>					r ^o r ^o +	+ + ^o r +	I r		
<i>Tussilago farfara</i>			II r ^o -+		+ + ^o	+ + ^o	II +--1		
<i>Epilobium adnatum</i>		+ ^o			r ^o		II r ^o -r	r	r
<i>Chenopodium album</i>	r ^o	r ^o 1 ^o	+ ^o + + ^o	II r ^o	II r	r ^o			
<i>Sonchus asper</i>					II r ^o	r 1			
<i>Atriplex patula</i>			1	I ^o	I r ^o	r ^o r ^o			
<i>Erigeron acer</i>		r ^o			II r ^o -+ ^o	r		r	
<i>Polygonum mite</i>					I r	r r			
<i>Daucus carota</i>		r	II +			r	I 1		
<i>Epilobium angustifolium</i>		+ ^o r ^o				+ ^o			
<i>Verbascum densiflorum</i>		+	I r						
K+J <i>Betula pendula</i>			r +	II r		+	II r-+	2	1 1 2
<i>Populus tremula</i>			r	V + ^o -2,1				+	
<i>Salix caprea</i>	1						II +		r
<i>Acer pseudoplatanus</i>		+ + +							

Weiterhin kommen vor:

Sisymbrium loeselii e/+; *Lactuca serriola* i/+; *Crepis tectorum* i/r; *Chaenorrhinum minus* b/r und f/2^o; *Tanacetum vulgare* f/r und l/rJ; *Poa compressa* f/r und c/+; *Poa angustifolia* e/r und i/+; *Urtica dioica* e/+^o und +; *Acer campestre* J e/r; *Carduus crispus* e/+; *Hieracium* spec. e/r und j/+; *Calystegia sepium* e/+; *Agrostis tenuis* b/1 und e/+; *Apera spica-venti* e/r; *Senecio vernalis* e/+ und f/+; *Pinus sylvestris* J f/r; *Plantago lanceolata* f/r; *Verbascum thapsiforme* f/r und b/1; *Cap-*

sella bursa-pastoris e/+; *Fallopia convolvulus* e/+ und f/r^o; *Silene alba* f/1 und r^o; *Carduus nutans* f/+ und r; *Crataegus* spec. J f/r; *Lamium purpureum* f/r; *Veronica officinalis* b/1; *Bryum pendulum* b/r; *Bryum inclinatum* a/2; *Barbula convoluta* b/+; *Pastinaca sativa* i/2 und i/r; *Dactylis glomerata* j/+; *Trifolium repens* j/+^o; *Hypericum perforatum* j/+; *Potentilla reptans* j/r; *Silene vulgaris* h/r; *Erysimum cheiranthoides* c/2^o.

- a *Cerastium arvense*-Fazies
- b *Conyza canadensis*-Fazies
- c *Sisymbrium altissimum*-Fazies
- d *Atriplex nitens*-Fazies
- e *Cerastium arvense*-*Arenaria leptoclados*-Ges.
- f *Salsola kali*-*Diplotaxis muralis*-Ges.
- g *Puccinellia distans*-*Polygonum aviculare*-Ges., Af. von *Atriplex nitens*
- h *Puccinellia distans*-*Polygonum aviculare*-Ges., Af. von *Agrostis stolonifera*
- i *Agrostis gigantea*-*Calamagrostis epigejos*-Ges.
- j *Calamagrostis epigejos*-Best.
- k +1 *Betula*-Vorwald

scheidende Wasserangebot der in Hauptwindrichtung liegenden Deponie erfolgt durch das Kondenswasser der Kühltürme. Die Wasserzuführung durch den Wasseranteil der verkippten Naßasche ist nicht pflanzenwirksam, da zum Besiedlungszeitpunkt durch die Verkipfungstechnologie bedingt ein Wasserentzug erfolgte. Die charakteristische Artenkombination dieser Gesellschaft besteht aus *Puccinellia distans*, *Chenopodium rubrum*, *Sisymbrium altissimum* und *Polygonum aviculare*. Wesentliche weitere Arten sind *Oenothera spec.*, *Cirsium arvense*, *Matricaria maritima* und *Carduus acanthoides*. In den Spalten g und h werden 2 unterschiedliche Entwicklungsphasen der Gesellschaft vorgestellt. Eine frühe Sukzessionsphase in der Ausbildungsform von *Atriplex nitens* (Spalte g) und eine Abbauphase in der Ausbildungsform von *Agrostis stolonifera* (Spalte h).

Die diagnostisch wichtigen Arten der ersteren Ausbildungsform zeigen eine hohe Dominanz. Annuelle Arten beteiligen sich etwa zu 50 % am Bestandsaufbau. Die Deckungswerte aller Arten übersteigen 8–10 Jahre nach der Ablagerung nicht 30 %. Bei fortgeschrittener Sukzession nach 10–15 Jahren erhöht sich die Bedeckung durch die Vegetation auf 50–60 % durch eine Verdoppelung der Artenzahl. Die Abbauphase der Gesellschaft wird durch das Auftreten von *Calamagrostis epigejos*, *Agrostis stolonifera* und *A. gigantea* charakterisiert. Die Beteiligung annueller Arten am Bestandsaufbau geht auf 30 % zurück.

Puccinellia distans- bzw. *Chenopodium rubrum*-reiche Pflanzenbestände auf anthropogenen bzw. extrem anthropogen beeinflussten Standorten werden von Pysek (1976, 1979 und 1981), Klotz (1981) sowie Kiesel u. a. (1985 a) beschrieben. Aufgrund der spezifischen Artenzusammensetzung sind wir der Meinung, daß es sich im vorliegenden Fall um eine Phytozönose handelt, die in keinem Zusammenhang mit den bei obigen Autoren behandelten Pflanzenbeständen steht.

Beziehungen bestehen jedoch zu den in Abschnitt 6.1.2. behandelten *Puccinellia distans*-Beständen durch das gemeinsame Auftreten von letztgenannter Art und *Chenopodium rubrum*, auch wenn Sukzessionswege und -zeiten verschieden sind.

8.2.5. *Agrostis gigantea*-*Calamagrostis epigejos*-Gesellschaft (Tab. 12, Spalte i)

Standorte, die im wesentlichen den in Abschnitt 8.2.4. vorgestellten entsprechen, jedoch eine längere (bis 20jährige) Ablagerungszeit hinter sich haben, werden von den o. g. Arten und *Agrostis stolonifera* dominierend eingenommen. Die Arten filtern auf dem sehr windexponierten Deponieplateau die windbedingten Abdriften z. T. heraus. Es kommt zu örtlichen Anreicherungen der Feinteile, analog der Entstehung eines initialen Dünenstadiums. Solche einzelnen Substratanhäufungen werden vor allem von *A. stolonifera* durchwachsen und festgelegt. Auf diesen Mikrostandorten findet in der weiteren Entwicklung vor allem *Artemisia vulgaris* gute Ansiedlungsbedingungen. Der Deckungsgrad der Vegetation erreicht 70–80 %.

8.2.6. *Calamagrostis epigejos*-Bestände (Tab. 12, Spalte j)

Calamagrostis epigejos setzt auf den in Abschnitt 8.2.4. beschriebenen Standorten die Sukzession fort und bildet nach 20–25 Jahren ein Dauerstadium. Durch die Festlegung des Substrates dringen in die z. T. lückigen Bestände andere Arten wie *Artemisia vulgaris*, *Taraxacum officinale*, *Tussilago farfara* und *Epilobium adnatum* ein. Es kommt zur Herausbildung einer Mooschicht durch *Funaria hygrometrica*. Die Lückigkeit der Bestände weist auf eine verringerte Vitalität von *Calamagrostis epigejos* in der anfänglichen Sukzessionsphase hin. Die volle Vitalität wird erst nach 20–35 Jahren erreicht.

8.2.7. Vorwaldstadien (Tab. 12, Spalten k und l)

Nach 30–35 Jahren siedeln sich auf den ältesten Deponieteilen innerhalb der *Calamagrostis epigejos*-Bestände (Abschn. 8.1.6.) Gehölze an. Die Gehölze drängen *C. epigejos* zurück und schaffen Lücken, die die Ansiedlung weiterer Gehölze ermöglichen. Daneben können jetzt einige Arten der Krautschicht wie *Solidago canadensis* oder *Oenothera*-Arten fasziell stärker in Erscheinung treten. Diesen Entwicklungszustand repräsentiert die Spalte 1. Mit Herausbildung einer Baumschicht (Spalte k) nach weiteren 10–15 Jahren verarmen die Bestände zunehmend. Die Feldschicht wird im wesentlichen nur noch von *Calamagrostis epigejos* und Gehölzjungpflanzen gebildet.

9. Die Sukzession der Pflanzengesellschaften

Die Sukzession der Pflanzengesellschaften auf Abproduktstandorten läßt sich kaum in einer allgemeingültigen Form darstellen. Durch die z. T. sehr unterschiedlichen Substrate und verschiedenen makro- und mikroklimatischen Verhältnisse entstehen auf den einzelnen Deponiestandorten spezifische Pflanzenbestände. Der unterschiedliche Grad der Phytotoxizität der Abprodukte und das sehr differenzierte Wasserangebot bedingen weiterhin stark differierende Sukzessionszeiten. Die initiale Besiedlung von Standorten kann sich zwischen 3 und mehr als 50 Jahren bewegen. Zweckmäßig ist eine Betrachtung der Sukzession in den Substratklassen, dies setzt jedoch eine hinreichend große Anzahl untersuchter Deponiestandorte unterschiedlichen Alters voraus. Da letzterer Sachverhalt im UG nicht in jedem Fall zu realisieren war, möchten wir die Darstellung des Sukzessionsgeschehens als einen Versuch werten, der in einzelnen Punkten sicherlich ergänzungsbedürftig ist.

9.1. Sukzession auf Deponiestandorten industrieller Abprodukte (Sk I, II und III)

In Abb. 6 möchten wir die Sukzession in Abhängigkeit von Zeitraum und Wasserangebot und in Abb. 7 unter Berücksichtigung des Substrat-pH in Ökogrammform darstellen. Aus Abb. 6 ist ersichtlich, daß die feuchten Standorte nach relativ kurzer Zeit

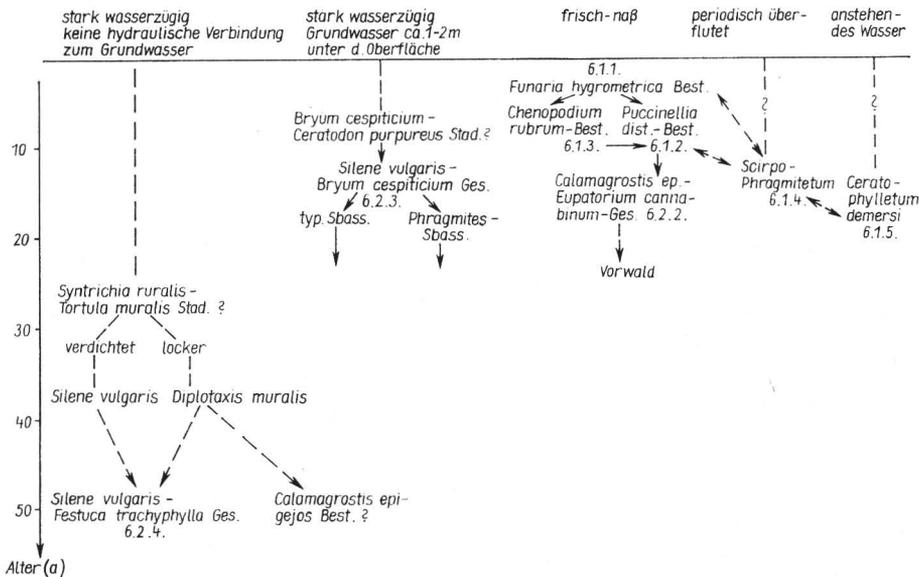


Abb. 6. Sukzession auf Deponiestandorten industrieller Abprodukte

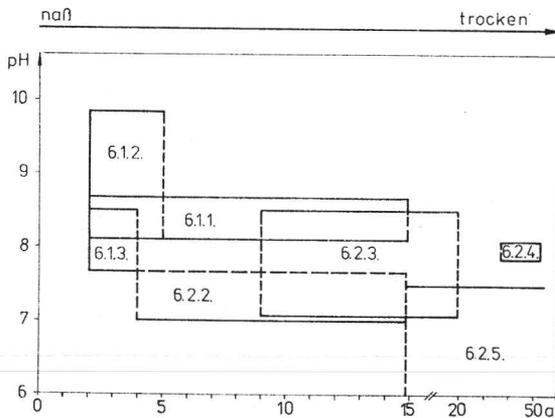


Abb.7. Ökogramm von Standorten industrieller Abprodukte.

6.1.1. *Funaria hygrometrica*-Bestände; 6.1.2. *Puccinellia distans*-Bestände; 6.1.3. *Chenopodium rubrum*-Bestände; 6.2.2. *Calamagrostis epigejos*-*Eupatorium cannabinum*-Ges.; 6.2.3. *Silene vulgaris*-*Bryum caespiticium*-Ges.; 6.2.4. *Silene vulgaris*-*Festuca trachyphylla*-Ges.; 6.2.5. *Agropyron repens*-Bestand

(2–3 Jahre) und mit einer vergleichsweise schnellen Besiedlungsabfolge besiedelt werden. Auf allen vorgestellten Standorten dürften Moosstadien die Sukzession einleiten. Aus diesen können dann direkt ausdauernde Pflanzenbestände hervorgehen.

Bei Betrachtung des Substrat- pH (Abb. 7) zeigt sich, daß die Standorte relativ unabhängig von ihrem Feuchtigkeitsstatus ab pH 8,5–9 durch Moose besiedelt werden können. Weiterhin kann geschlußfolgert werden, daß sich ab pH 8 eine relativ stabile Vegetationsdecke höherer Pflanzen herausbildet. Die Entwicklung von Röhrricht- und Wasserpflanzengesellschaften ist insofern bemerkenswert, da diese auf Standorten (Wasserflächen) mit z. T. sehr hohen pH -Werten vorkommen (vgl. Abschn. 6.1.5.). Alle aufgenommenen krautigen Pflanzenbestände stellen jedoch Besiedlungsstadien dar, die in keiner Weise den Anforderungen an eine dauerhafte Begrünung solcher Standorte gerecht werden.

9.2. Sukzession auf Aschestandorten

9.2.1. Aschespüldeponien (Abb. 8 und 10)

Die Sukzession auf verspülter Asche wird durch das Polygono-Atriplicetum bei pH -Werten ~ 9 eingeleitet. Die feuchte Subassoziation von *Tussilago tartara* besiedelt in der ersten Vegetationsperiode nach dem Trockenfallen diese immer noch feuchten Standorte. Zu erwarten sind auch reine Moosstadien. Mit zunehmender Trockenheit und sinkendem pH -Wert siedelt sich *Diplotaxis tenuifolia* an. Auf wasserfernen Standorten bildet diese trockene Subassoziation des Polygono-Atriplicetum relativ stabile Sukzessionsstadien. Die weitere Sukzession verläuft zu *Agrostis gigantea*-Beständen, die einen vorläufigen Endpunkt in der Sukzession darstellen. Auf naßbleibenden Standorten ist über die hier vorgestellten Pflanzenbestände hinaus mit dem Auftreten von *Phragmites australis* zu rechnen.

9.2.2. Durch Verkipfung entstandene Aschedeponien (Abb. 9 und 10)

Eine initiale Besiedlung erfolgt in der Regel frühestens nach dem 3.–4. Ablagerungsjahr. Die pH -Werte sind nach dieser Zeit auf pH 8 abgesunken. Die Vegetationsabfolge auf verkippter Asche ist aufgrund der standörtlichen Unterschiede differenzierter als auf verspülten Substraten. Ein allgemeingültiges Sukzessionsschema läßt

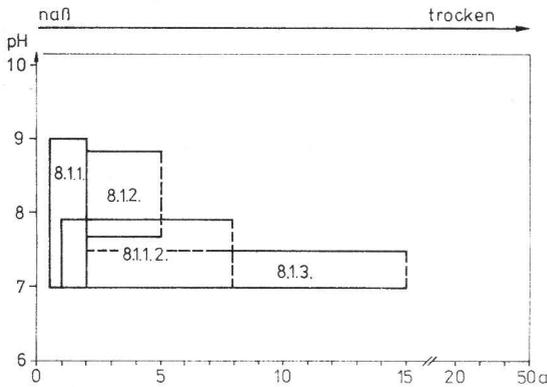


Abb. 8. Ökogramm von Aschespülstandorten.

8.1.1. *Polygono-Atriplicetum hastatae*; 8.1.1.2. *Polygono-Atriplicetum hastatae* Subass. von *Diplotaxis tenuifolia*; 8.1.2. *Gypsophilo-Diplotaxietum*; 8.1.3. *Agrostis gigantea*-Bestände

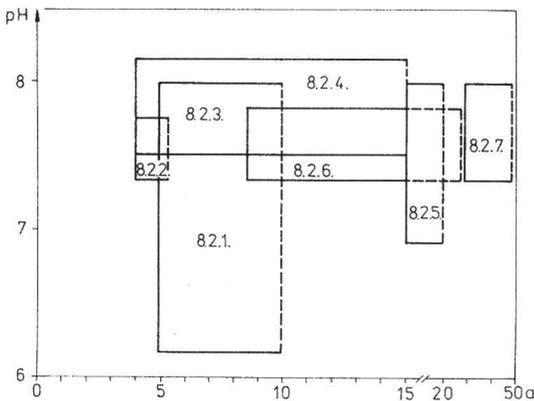


Abb. 9. Ökogramm trockener Aschedeponien.

8.2.1. Fazies einzelner Arten; 8.2.2. *Cerastium arvense-Arenaria leptoclados*-Ges.; 8.2.3. *Salsola kali-Diplotaxis muralis*-Ges.; 8.2.4. *Puccinellia distans-Polygonum aviculare*-Ges.; 8.2.5. *Agrostis gigantea-Calamagrostis epigejos*-Ges.; 8.2.6. *Calamagrostis epigejos*-Bestände; 8.2.7. Vorwaldstadien

sich aufgrund des vorliegenden Aufnahmematerials nicht entwickeln. Initiale Besiedlungsstadien sind meist standortspezifische Pflanzengesellschaften, die sich nur sehr langsam weiterentwickeln (vgl. Abschn. 9.1.) und dadurch langlebige Stadien darstellen. Die Herausbildung von *Calamagrostis epigejos*-Beständen aus o. g. Entwicklungsstadien erfolgt im günstigsten Fall nach etwa 10 Jahren. Diese Bestände nehmen unserer Meinung nach eine zentrale Stellung in der weiteren Sukzession auf trockenen Aschestandorten ein.

10. Differenzierung der Deponiestandorte (Diskussion)

Es soll im folgenden versucht werden, über Differentialarten eine Differenzierung zwischen verspülten und verkippten Abprodukten bzw. Aschen vorzunehmen.

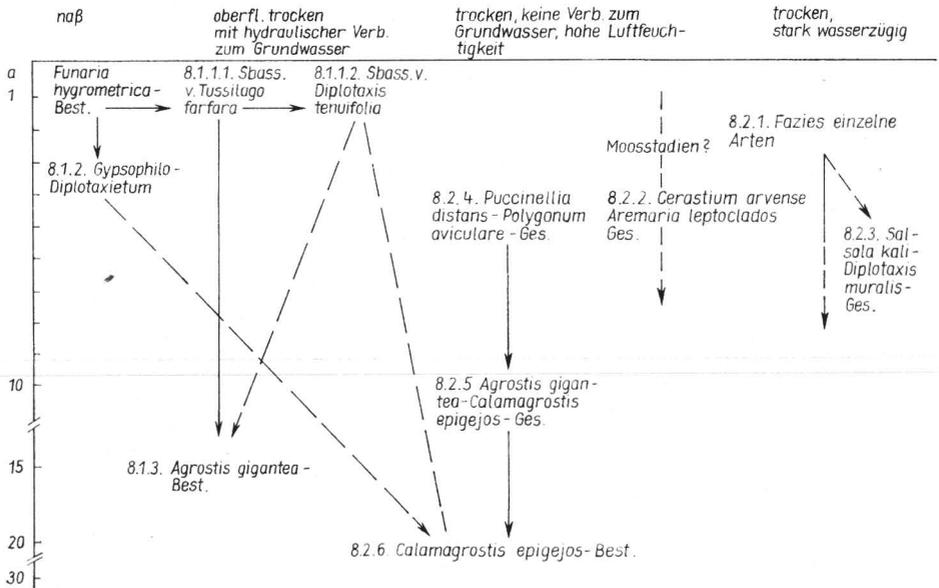


Abb. 10. Sukzession auf Aschestandorten

Eine Übersicht über die Verbreitung einiger Arten auf den Deponien gibt Abb. 11. Es zeigt sich dabei, daß eine sichere Differenzierung dieser Standorte durch relativ weitverbreitete Arten, besonders im feuchten Bereich nicht möglich ist. Eine etwas bessere Differenzierung ergibt sich auf trockenen Standorten. Jedoch lassen die bisherigen Ergebnisse die Ausscheidung allgemeingültiger Differentialarten nicht zu. Dies ist um so mehr der Fall, wenn man bedenkt, daß *Polygonum aviculare* und *Sisymbrium altissimum* ihren Verbreitungsschwerpunkt auf Kommunal Mülldeponien haben (vgl. Kiesel u. a. 1985 a). Als weitere Art ist in diesem Zusammenhang auch *Atriplex nitens* zu nennen. Durch verringerte bzw. fehlende Konkurrenz auf diesen Standorten sind die genannten Arten offensichtlich in der Lage, im Grenzbereich ihrer ökologischen Amplitude zu siedeln bzw. können diese verändern.

Abb. 11. Vorkommen relativ weit verbreiteter Arten auf Abprodukt und Aschestandorten

	Abproduktdeponie		Asche	
	naß	trocken	naß	trocken
<i>Funaria hygrometrica</i>	×		×	
<i>Puccinellia distans</i>	×	!	×	
<i>Chenopodium rubrum</i>	×		×	
<i>Atriplex hastata</i>	×		×	
<i>Agrostis gigantea</i>	×		×	
<i>Polygonum aviculare</i>	—		×	
<i>Diplotaxis tenuifolia</i>		×		×
<i>Calamagrostis epigejos</i>		×		×
<i>Silene vulgaris</i>		×		
<i>Salsola kali</i>		—		×
<i>Sisymbrium altissimum</i>		—		×

Inwieweit eine Charakterisierung verschiedener Abproduktstandorte durch Artengruppen möglich ist, müssen weitere Untersuchungen zeigen, da im vorgestellten Untersuchungsgebiet nicht in allen Fällen eine repräsentative Anzahl entsprechender Standorte vorhanden ist.

Eine bessere Differenzierungsmöglichkeit bietet die Betrachtung der Besiedlungszeit und des Sukzessionsverlaufes. Aus den Abb. 6, 7 und 9 geht hervor, daß eine initiale Besiedlung der Deponieflächen frühestens in der 2. Vegetationsperiode erfolgt. Die entstehenden Phytozönosen zeigen sehr geringe Sukzessionstendenzen, es kommt zur Herausbildung langlebiger Dauerstadien, die z. T. über mehrere Jahrzehnte existieren können.

Aus Abb. 8 ist ersichtlich, daß sich bei günstigen Betriebs- und damit auch substrat-chemischen Bedingungen auf einem Spülstandort bereits in der 1. Vegetationsperiode nach der Ablagerung eine meist aus niederen Pflanzen bestehende Vegetation herausbilden kann. Die weitere Sukzession verläuft jedoch auch hier im Vergleich zu KMD und GSD sehr langsam (vgl. Kiesel u. a. 1985 a).

Zusammenfassend möchten wir folgende Kriterien eines Standortes für die Zuordnung zur RSD als entscheidend ansehen:

1. Eine initiale Besiedlung erfolgt frühestens in der 2. Vegetationsperiode nach der Ablagerung.
2. In der darauffolgenden Vegetationsperiode ist keine signifikante Weiterentwicklung des initialen Bestandes erkennbar.
3. In der weiteren Sukzession kommt es zur Herausbildung substratspezifischer Dauerstadien.

Demnach ist der in Abschnitt 8.1.1. behandelte Standort nicht mehr zwanglos als RSD anzusprechen, da eine initiale Besiedlung in der 1. Vegetationsperiode möglich war. Andererseits entspricht dieser Standort auch nicht den Anforderungen, die an eine KMD oder GSD gestellt werden (vgl. Kiesel u. a. 1985 a). Er steht gewissermaßen zwischen den genannten Deponien und ist durch stoffwirtschaftliche Begriffe nicht mehr eindeutig anzusprechen.

Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, die bisherige stoffwirtschaftliche Ansprache der Deponien um eine ökologische Charakterisierung zu erweitern. Es sind die Begriffe „regenerativ“ und „nicht regenerativ“ eingeführt worden (Tauchnitz u. a. 1985 und Kiesel u. a. 1985 b). Sie sollen das Vermögen des Standortes charakterisieren, sich in Wechselwirkung mit den herausbildenden Zönosen zu entwickeln, entsprechend einer biotischen Regeneration im Sinne von Campbell (1981).

In Abb. 12 möchten wir das Gesagte zusammenfassend darstellen.

Die KMD und GSD werden sofort nach Ablagerung besiedelt. Durch die im Substrat vorhandenen Pflanzenteile bzw. Samen setzt die Besiedlung sofort ein. Auf allen anderen Standorten kann dieser Prozeß nicht sofort wirksam werden (vgl. Kiesel u. a. 1985 b), sondern es muß erst eine physikalisch-chemische „Verwitterungsphase“ durchlaufen werden und danach kann die biotische Besiedlung einsetzen – der Standort wird regenerativ. Kann in der zweiten Vegetationsperiode nach Ablagerung des Substrates der Standort aus dem α -metahemeroben Zustand in den polyhemeroben übergehen, sprechen wir allgemein von einem regenerativen Deponiestandort (Tauchnitz u. a. 1985).

Ausgehend vom Gesagten läßt sich die bei Tauchnitz u. a. (1985) dargestellte Hierarchie und Systematik der Deponiestandorte erweitern (Abb. 13). Damit besteht die Möglichkeit, Deponien ökologisch relevant anzusprechen. Diese Ansprache ist Grundlage und Voraussetzung für eine umwelthygienische Beurteilung und Aufwands-einschätzung bei Eingliederung in die Landschaft.

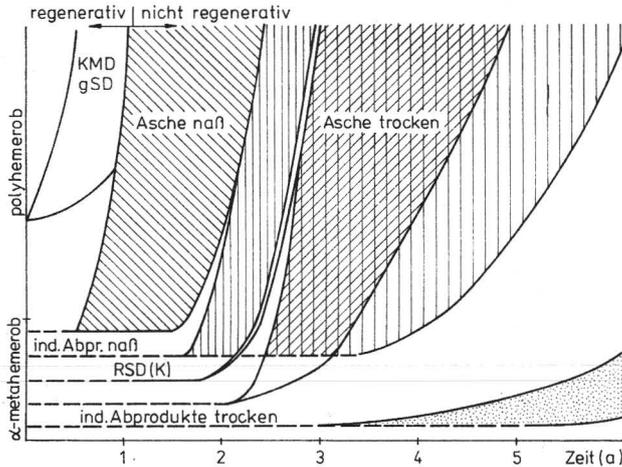


Abb. 12. „Regenerationsverhalten“ der Deponiestandorte.

KMD – Kommunalmülldeponien; GSD – Gemischte Schadstoffdeponien; RSD (K) – Kommunalmülldeponie, die sich aufgrund ihres chemischen Zustandes zur Reinen Schadstoffdeponie entwickelt hat

Abb. 13. Hierarchie und Systematik der Deponiestandorte.

Ökologische Ansprache	Regenerative Deponie				Nicht regenerative Deponie	
	DBB	KMD	GSD	Asche naß	RSD	
MW Ansprache 1. Ordnung					RSD	
MW Ansprache 2. Ordnung	Selektiv- (Mono)	Misch-	Misch-	Selektiv- (Mono)	Selektiv- (Mono)	Misch-
Substrate						
KM		×	×			×
BO	×	×	×			×
BA	×	×	×			×
F		×	×			×
IAn				×		×
IAt		×	×		×	×
STA			×		×	×

BA – Bauschutt; BO – Bodenaushub; DBB – Deponien von Bauschutt und Bodenaushub; F – Fäkalien; IAn – Industrieasche naß; IAt – Industrieasche trocken; KM – Kommunalmüll; MW – materialwirtschaftlich; STA – schadstoffhaltige und toxische Abprodukte

Zusammenfassung

Am Beispiel von Deponien industrieller Abprodukte (RSD) im Bezirk Leipzig wird eine Übersicht über die sich aus der Spezifik ihrer Substrate (d. h. vor allem deren Chemismus) ergebenden Charakteristika für eine Vegetationsentwicklung und deren Verlauf gegeben. Die Deponiesubstrate werden in 4 Substratklassen eingeteilt und deren Besiedlung durch 21 synanthrope Phytozönosen dargestellt. 3 Kriterien wurden als entscheidend für eine Zuordnung zur RSD herausgearbeitet. In einer Gesamtdarstellung wird die ökologische Stellung aller bisher von den Autoren behandelten Deponien (KMD, GSD, RSD) diskutiert.

Summary

The paper deals with the chemical and ecological criteria of distinctive harmful (industrial) waste tips (RSD) in the district of Leipzig (G.D.R.). 4 waste categories and their synanthropic vegetation units were described. The essential criteria for attributing refuse tips to the type of RSD are given. In a summarizing graph the authors are evaluating the ecological characteristics of all described refuse tips (KMD, GSD, RSD).

Schrifttum

- Bradshaw, A. D., R. H. Marrs, R. D. Roberts and R. A. Skeffington: The creation of nitrogen cycles in derelict land. *Phil. Trans. R. sc. Cond.* **B 296** (1982) 557–561.
- Campbell, R.: *Mikrobielle Ökologie*. Akademie-Verl. Berlin 1981.
- Elias, P.: A survey of the ruderal plant communities of western Slovakia I. *Feddes Repert.* **95** (1984) 4, 251–276.
- Ernst, W. H., und Els N. G. Jooisse-van Damme: Umweltbelastung durch Mineralstoffe. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1983.
- Fischer, W.: Beobachtungen über die Vegetationsentwicklung auf Ascheaufschüttungen im Berliner Gebiet. *Naturschutzarbeit in Berlin und Brandenburg* **12** (1976) 1, 2–9.
- Gutte, P.: Die Wiederbegrünung städtischen Ödlandes, dargestellt am Beispiel Leipzigs. *Hercynia N. F.*, Leipzig **58** (1971) 8, 91–117.
- Hilbig, W., und H. Jage: Übersicht über die Pflanzengesellschaften des südlichen Teiles der DDR. V. Die annuellen Uferfluren (*Bidentetea tripartitae*). *Hercynia N. F.*, Leipzig **9** (1972) 4, 392–408.
- Kiesel, G., E. G. Mahn und J. Tauchnitz: Zum Einfluß des Deponiestandortes auf Vegetationsstruktur und Verlauf der Sekundärsukzession. Teil 1: Kommunal Müll enthaltende Deponien. *Hercynia N. F.*, Leipzig **22** (1985 a) 1, 72–102.
- Kiesel, G., und J. Tauchnitz: Differenzierung metahemerober Standorte. *Hercynia N. F.*, Leipzig **22** (1985 b) 2, 204–211.
- Klotz, S.: Pflanzensoziologische Untersuchungen an einer Kalkhydratdeponie bei Knapendorf, Kr. Merseburg. *Wiss. Z. Univ. Halle* **XXX** (1981) 3, 55–76.
- Kopecky, K.: Die Ruderalpflanzengesellschaften im südwestlichen Teil von Praha (2). *Preslia* **53** (1981) 121–145.
- Marrs, R. H., R. O. Roberts, R. A. Skeffington and A. D. Bradshaw: Nitrogen and the development of ecosystems. In: Lee, I. A., S. McNeill and I. R. Rovison (eds.): *Nitrogen as an Ecological Factor*. Blackwell. Scientif. Public. Oxford, London, Edinburgh, Boston, Melbourne 1983, 113–136.
- Pott, R.: Die Vegetationsabfolgen unterschiedlicher Gewässertypen Nordwestdeutschlands und ihre Abhängigkeit vom Nährstoffgehalt des Wassers. *Phytocoenologia* **11** (1983) 3, 407–430.
- Pysek, A.: Vegetation auf dem Gelände des VEB Chemische Betriebe Sokolov (Westböhmen). *Fol. Mus. Rer. Natur. Boh. Occid.*, Botanica Plzen **8** (1976) 1–44.
- Pysek, A.: Zur Vegetation der chemischen Betriebe des Bezirkes Westböhmen. *Preslia* **51** (1976) 363–373.
- Pysek, A.: Übersicht über die westböhmisches Ruderalvegetation. *Fol. Mus. Rer. Natur. Boh. Occid.*, Botanica Plzen **15** (1981) 3–23.
- Rorison, I. H., and D. Robinson: Calcium as an environmental variable. *Plant, Cell and Environm.* **7** (1984) 381–390.
- Rothe, D., und M. Wünsche: Beitrag zur Wiedernutzbarmachung von Kraftwerksasche und Siedlungsabfalldeponien. *Kommunale Dienstleistungen* **17** (1981) 6, 8–10.
- Schubert, R.: Die Schwermetallpflanzengesellschaften des östlichen Harzvorlandes. *Wiss. Z. Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg* **3** (1953/54) 51–70.
- Tauchnitz, J., H. Böhm, W. Mahrla, K. Riedel, W. Schiller, R. Schnabel, H. Scholz und H. Hennig: Zur Ablagerung der industriellen Abprodukte. 2. Mitt.: Abgrenzung reiner Schadstoffdeponien von gemischten Schadstoffdeponien. *Hercynia N. F.*, Leipzig **16** (1979) 81–93.

- Tauchnitz, J., W. Mahrla, R. Schnabel, V. Kunze, K. Schöne, R. Zierath, E. Goldberg, W. Pietsch, G. Olszak und H. Hennig: Zur Ablagerung der industriellen Abprodukte. 14. Mitt.: Beitrag zur Ablagerung von Cr (VI)-Verbindungen in einer gemischten Schadstoffdeponie. *Hercynia N. F.*, Leipzig **20** (1983 a) 38–61.
- Tauchnitz, J., W. Mahrla, G. Kiesel, R. Schnabel und H. Hennig: Zur Ablagerung der industriellen Abprodukte. 21. Mitt.: Beitrag zur Deponie von Industrieaschen. *Hercynia N. F.*, Leipzig **20** (1983 b) 279–289.
- Tauchnitz, J., W. Mahrla, G. Kiesel, H. Böhm, G. Just, W. Pietsch, R. Schnabel und H. Hennig: Zur Ablagerung der industriellen Abprodukte. 16. Mitt.: Kohlenwasserstoffhaltige Abprodukte. *Hercynia N. F.*, Leipzig **20** (1983 c) 129–147.
- Tauchnitz, J., G. Knobloch, G. Wiesner, H. Schumann, V. Kunze, W. Mahrla, M. Hanrieder, G. Kiesel und H. Hennig: Zur Ablagerung der industriellen Abprodukte. 27. Mitt.: Zum Verhalten von Schwermetallionen in Deponiestandorten. *Z. angew. Geol.* **29** (1983 d) 7, 311–317.
- Tauchnitz, J., G. Kiesel, M. Hanrieder und H. Hennig: Die Vegetationsentwicklung auf verschiedenen Deponiestandorten und ihre ökologische Bewertung. *Petermanns Geogr. Mitt.* **1** (1984) 25–30.
- Tauchnitz, J., G. Kiesel, H. Grohmann und R. Mahrwald: Unterteilung von Deponiestandorten in reine und gemischte Schadstoffdeponien mit Hilfe der Sauerstoffzehrung von Substraten der Deponieoberflächen. *Hercynia N. F.*, Leipzig **21** (1984) 4, 417–421.
- Tauchnitz, J., W. Mahrla und G. Kiesel: Vorschläge zur Nomenklatur von Deponien und Bemerkungen zur Deponiebasisabdichtung. *Z. ges. Hyg.* **31** (1985) 4, 242–245.

Doz. Dr. E.-G. Mahn
 Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
 Sektion Biowissenschaften
 WB Geobotanik
 DDR - 4020 H a l l e (Saale)
 Neuwerk 21

Dipl. Biol. G. Kiesel
 Dr. U. Deike
 Dr. sc. nat. J. G. Tauchnitz
 Bezirkshygieneinspektion und Hygieneinstitut Leipzig
 FG Bodenhygiene
 DDR - 7010 L e i p z i g
 Beethovenstraße 25

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Hercynia](#)

Jahr/Year: 1986

Band/Volume: [23](#)

Autor(en)/Author(s): Kiesel Günter, Mahn Ernst-Gerhard, Tauchnitz Joachim, Deike U.

Artikel/Article: [Zum Einfluß des Deponiestandes auf Vegetationsstruktur und Verlauf der Sekundärsukzession 212-244](#)