

# Vegetationsentwicklung auf technogenen und natürlichen Substraten mit extremen Standorteigenschaften – Ergebnisse von Untersuchungen auf Dauerquadraten

Franz Rebele\*

## Synopsis

This paper reports on vegetation development on permanent plots during nine years of succession. Five (1 m<sup>2</sup>) plots were filled with substrates of extreme ecological soil characteristics (gravel, steelworks slag, a mixture of slag and loam, concrete break and coal). Relevés of species composition and percent cover of each species were made yearly. The vegetation development on gravel and concrete break can be described as primary succession towards a woody stage from the first year onwards. *Pinus sylvestris* dominates on gravel, *Betula pendula* and *Populus x nigra* on concrete break. The colonization process on steelworks slag starts with mosses, whereas the succeeding higher plants show retarded growth and development. The successional pathway on slag/loam is similar to a secondary succession on ruderal land-fill soil. On coal only a few species are able to grow. From the first year onwards *Betula pendula* is dominating.

*Sukzession, Kies, Schlacke, Schlacke/Lehm, Betonproctor, Kohle.*

*Succession, gravel, slag, slag/loam, concrete break, coal, permanent vegetation plots.*

## 1 Einleitung

In Stadt- und Industriegebieten sind natürliche ungestörte Böden eher eine Ausnahme. Neben veränderten Böden natürlicher Entwicklung und versiegelten Böden herrschen Böden aus anthropogenen Aufträgen natürlicher, technogener sowie Gemischen natürlicher und technogener Substrate vor (BLUME 1993, MEUSER 1993). Sofern nicht vom Menschen verhindert, werden nahezu alle natürlichen und technogenen Substrate von Pflanzen besiedelt und es finden gerichtete Vegetationsveränderungen im Laufe der Zeit (Sukzessionen) statt. In Abhängigkeit vom jeweiligen Substrat können sowohl primäre als auch sekundäre Sukzessionen ablaufen. Wesentliches Kennzeichen von primären Vegetationssukzessionen ist, daß beim Start Rohböden vorliegen, die keine organische Substanz und keinen Dia-

sporenvorrat aufweisen. Sekundäre Sukzessionen beginnen hingegen mit einem gewissen Anteil an organischer Substanz und einem Diasporenvorrat im Boden.

Anthropogene primäre Sukzessionen treten vor allem auf Abgrabungen und Aufschüttungen des Bergbaus und der Industrie auf. Sie sind flächenmäßig von großer Bedeutung und wurden bereits des öfteren untersucht, z.B. Sukzessionen in Braunkohlentagebauen, auf Bergehalden des Steinkohlenbergbaus oder auf Erzabraumhalden. Zusammenfassende Darstellungen finden sich in REBELE (1995) und REBELE & DETTMAR (im Druck). Untersuchungen sekundärer Sukzessionen auf Dauerflächen im städtischen Bereich werden in Berlin seit mehr als 25 Jahren von BORNKAMM durchgeführt, wobei die Vegetationsentwicklung auf Sand, schluffigem Sand, schluffig-tonigem Lehm, tonigem Lehm und lehmigem Sand untersucht wird (BORNKAMM & HENNIG 1982, BORNKAMM 1981, 1984, 1985a, 1986, 1987, 1988).

REBELE (1992) berichtete bereits über frühe Sukzessionen auf Aufschüttungen von nährstoffreichem Oberboden, mäßig nährstoffreichem Füllboden und nährstoffarmem Sand. Diese drei Substrate werden im Stadtgebiet von Berlin besonders häufig zur Aufschüttung verwendet. Hier soll nun über die Pflanzenbesiedlung und Vegetationsentwicklung auf einer Reihe weiterer Substrate berichtet werden, die z.T. extreme Standorteigenschaften aufweisen. Bei diesen Substraten handelt es sich um Kies, Schlacke, Schlacke/Lehm, Betonproctor und Kohle.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Die Substrate

Bei dem verwendeten Kies handelt es sich um Rohkies einer Kiesgrube bei Berlin, bei der Schlacke um Stahlwerksschlacke der Fa. Borsig. Schlacke/Lehm ist ein Gemisch aus Stahlwerksschlacke und Lehm, Betonproctor ist ein Recyclingmaterial aus der Baustoffindustrie (in Stücke gebrochener Beton). Die vier Substrate sind unter diesen Bezeichnungen bei Erdbaufirmen im Handel und werden u.a. im Straßen- und Wegebau eingesetzt. Die Kohle stammt aus Restbeständen eines abgetragenen Steinkohlenlagers auf dem Gelände eines Lagerhausbetriebes in Berlin-Marienfelde.

\* Herrn Prof. Dr. Reinhard Bornkamm zum 65. Geburtstag gewidmet

Tab. 1

Bodenkennwerte der fünf Substrate zum Zeitpunkt der Aufschüttung.

Tab. 1

Soil characteristics for the five substrates coal, gravel, slag/loam, slag and concrete break at the start of vegetation succession.

Substrat:	Kohle	Kies	Schlacke/ Lehm	Schlacke	Beton- proctor
Korngrößen (< 2mm):					
Ton ges. (%)	–	2,0	0,6	1,1	0,2
Schluff ges. (%)	–	3,4	15,4	6,5	6,7
Feinschluff (%)	–	2,0	0,0	0,0	0,0
Mittelschluff (%)	–	0,7	0,0	4,2	0,3
Grobschluff (%)	–	0,7	15,4	2,3	6,4
Sand ges. (%)	–	94,6	84,0	92,4	93,1
Feinsand (%)	–	12,4	37,7	19,4	28,2
Mittelsand (%)	–	55,2	37,7	35,8	41,9
Grobsand (%)	–	27,0	8,6	37,2	23,0
Skelettanteil (Gewichts- %)	82,4	12,4	38,4	50,7	60,6
pH (CaCl <sub>2</sub> )	3,8	7,8	8,1	12,4	8,9
C org. %	72,6	0,18	0,96	n.n.	n.n.
N %	0,687	0,010	0,028	0,006	0,006
C:N	106	18	34	–	–
Ca ges. %	0,069	0,850	1,813	10,940	4,229
Ca (ER) %	0,020	0,560	1,560	5,850	3,420
Mg ges. ppm	261	394	2123	30041	7910
Mg (ER) ppm	12	57	307	5792	2302
K ges. ppm	248	555	1887	537	1015
K (ER) ppm	16	9	148	95	270
P ges. ppm	–	147	253	720	328
P (ER) ppm	14	20	65	25	65
ER: Pflanzenverfügbare Nährstoffe nach Egner-Riem (plant available nutrients; extraction after Egner-Riem)					

Bei den fünf Substraten wurde der Skelettanteil bestimmt, eine Korngrößenanalyse des Feinbodens durchgeführt (beim Kohlenstaub war dies nicht möglich), sowie der pH-Wert in 0,01 M CaCl<sub>2</sub> gemessen. Die Bestimmung der organischen C- und N-Gehalte erfolgte mit einem CHN-Analysator der Fa. LECO. Zur annähernden Analyse der Gesamtgehalte an Ca-, Mg-, K- und P wurden die Bodenproben mit HNO<sub>3</sub> conc. in einer Aufschlußapparatur nach Tölg aufgeschlossen. Außerdem wurden die

leichtaustauschbaren (pflanzenverfügbaren) Nährstoffanteile mit der Laktatmethode nach Egner-Riem extrahiert. Die Bestimmung der Ca-, Mg- und K-Gehalte erfolgte in beiden Fällen am Flammen-Atomabsorptionsspektralphotometer, die der P-Gehalte kolorimetrisch als reduzierter Phosphat-Molybdat-Komplex (Phosphor-Blau-Methode nach Jackson).

Die Bodenkennwerte der fünf Substrate zum Zeitpunkt der Aufschüttung sind in Tab. 1 zusam-

Tab. 2

Vegetationsentwicklung auf Kies. Die Aufschüttung erfolgte im Oktober 1986.

Tab. 2

Vegetation development on gravel. The substrate was deposited in October 1986.

Jahr (year)	87	88	89	90	91	92	93	94	95
Artenzahl (number of species)	3	15	12	19	19	17	12	11	13
Höhe (height) Pinus							> 1m		
1 <i>Atriplex nitens</i>	.	+p	.	.	.	.	.	.	.
2 <i>Erysimum durum</i>	.	+p	.	.	.	.	.	.	.
3 <i>Poa annua</i>	.	+p	.	.	.	.	.	.	.
4 <i>Veronica hederifolia</i>	.	.	.	+p	.	.	.	.	.
5 <i>Papaver dubium</i>	.	.	.	+p	.	.	.	.	.
6 <i>Arenaria serpyllifolia</i>	.	.	.	.	+p	.	.	.	.
7 <i>Conyza canadensis</i>	.	+p	+p	+p	+p	.	.	.	.
8 <i>Diplotaxis tenuifolia</i>	+p	1a	1b	1b	1a	.	.	.	.
9 <i>Tanacetum vulgare</i>	.	+p	.	+p	+p	+p	.	.	.
10 <i>Apera spica-venti</i>	.	+p	+p	+p	+p	+p	.	.	.
11 <i>Bromus hordeaceus</i> s.str.	.	.	.	.	.	+p	.	.	.
12 <i>Solidago canadensis</i>	+p	+p	+p	1a	1a	+p	+p	.	.
13 <i>Agrostis capillaris</i>	.	+p	+p	+p	+p	+p	+p	.	.
14 <i>Artemisia vulgaris</i>	.	+p	+p	1a	1a	+p	+p	.	.
15 <i>Daucus carota</i>	.	.	.	+p	+p	+p	+p	.	.
16 <i>Oenothera biennis</i> agg.	.	.	+p	1a	2b	2a	1b	+p	.
17 <i>Acer campestre</i>	.	.	.	.	.	.	.	+p	.
18 <i>Pinus sylvestris</i>	+p	+p	+p	1a	2a	2a	2b	3	3
19 <i>Solidago virgaurea</i>	.	+p	+p	+p	+p	+p	+p	+p	+p
20 <i>Arrhenatherum elatius</i>	.	.	+p	+p	+p	+p	+p	+p	+p
21 <i>Verbascum lychnitis</i>	.	.	.	.	+p	+p	+p	+p	+p
22 <i>Vicia angustifolia</i>	.	.	.	+p	+p	+p	+p	+p	+p
23 <i>Trifolium arvense</i>	.	.	.	+p	.	.	.	.	+p
24 <i>Festuca trachyphylla</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	+p
25 <i>Quercus rubra</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	1a
26 <i>Vicia hirsuta</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	+p
27 <i>Bryum argenteum</i>	.	1a	+p	+p	+p	+p	.	.	.
28 <i>Bryum capillare</i>	.	.	.	.	+p	+p	+p	.	.
29 <i>Ceratodon purpureus</i>	.	1b	2b	3	3	2b	2b	2a	2a
30 <i>Pohlia nutans</i>	.	1a	.	+p	+p	1b	.	2a	+p
31 <i>Brachythecium</i> spec.	.	.	.	.	.	.	.	+p	+p
32 <i>Cladonia</i> spec.	.	.	.	.	.	.	.	+p	+p

mengestellt. Alle Substrate wiesen einen hohen bis sehr hohen Skelettanteil auf. Der Feinboden bestand bei Kies, Schlacke/Lehm, Schlacke und Betonproctor hauptsächlich aus Sand. Der Schluffanteil war bei Schlacke/Lehm mit 15,4 % am höchsten. Der Tonanteil lag zwischen 0,2 % (Proctor) und 2,0 % (Kies) und war somit bei allen Substraten gering. Bei Schlacke und Betonproctor ließ sich keinerlei organische Substanz nachweisen. Der  $C_{org}$ -Gehalt von Kies war mit 0,18 % ebenfalls sehr niedrig, bei Schlacke/

Lehm betrug er 0,96 % und war in diesem Merkmal mit dem von REBELE (1992) beschriebenen ruderalen Füllboden vergleichbar. Die N-Gehalte waren mit Ausnahme der Kohle niedrig (Schlacke/Lehm) bis extrem niedrig (Schlacke, Betonproctor). Der N-Gehalt von Kohle war relativ hoch. Der analysierte Kohlenstaub bestand jedoch zu 72,6 % aus Kohlenstoff, so daß sich ein sehr weites C/N-Verhältnis ergab. Die Gehalte an Ca, Mg, K und P waren bei Kohle und Kies am geringsten. Schlacke und Betonproctor

Tab. 3  
Vegetationsentwicklung auf Stahlwerksschlacke. Die Aufschüttung erfolgte im Oktober 1986.

Tab. 3  
Vegetation development on steelworks slag. The substrate was deposited in October 1986.

Jahr (year)	87	88	89	90	91	92	93	94	95
Artenzahl (number of species)	1	5	14	24	26	26	23	21	23
1 <i>Chenopodium album</i>	.	+p	+p	+p	.	.	.	.	.
2 <i>Papaver dubium</i>	.	.	.	+p	.	.	.	.	.
3 <i>Solanum nigrum</i>	.	.	.	+p	.	.	.	.	.
4 <i>Berteroa incana</i>	.	.	.	+p	.	.	.	.	.
5 <i>Trifolium arvense</i>	.	.	.	+p	.	.	.	.	.
6 <i>Atriplex nitens</i>	.	+p	+p	+p	.	.	.	.	.
7 <i>Stellaria media</i>	.	.	+p	+p	+p	.	.	.	.
8 <i>Diplotaxis tenuifolia</i>	.	.	.	+p	+p	+p	.	.	.
9 <i>Populus x nigra</i>	.	.	.	.	+p	+p	.	.	.
10 <i>Trifolium campestre</i>	.	.	.	.	.	.	+p	.	.
11 <i>Agrostis capillaris</i>	.	.	+p	+p	+p	+p	+p	.	.
12 <i>Calamagrostis epigejos</i>	.	.	.	+p	+p	+p	+p	.	.
13 <i>Artemisia vulgaris</i>	.	+p	+p	+p	1a	+p	+p	+p	.
14 <i>Tanacetum vulgare</i>	.	.	.	+p	+p	+p	+p	+p	.
15 <i>Pinus sylvestris</i>	.	.	.	.	+p	+p	.	+p	.
16 <i>Clematis vitalba</i>	.	.	.	+p	+p	+p	.	+p	.
17 <i>Oenothera biennis</i> agg.	.	.	+p	+p	+p	1a	1b	1b	2a
18 <i>Verbascum lychnitis</i>	.	.	.	1b	2b	2b	2b	2b	3
19 <i>Vicia angustifolia</i>	.	.	+p						
20 <i>Apera spica-venti</i>	.	.	+p	+p	1b	+p	+p	+p	+p
21 <i>Poa angustifolia</i>	.	.	.	+p	+p	.	+p	+p	+p
22 <i>Cerastium semidecandrum</i>	.	.	+p	+p	+p	+p	+p	.	+p
23 <i>Betula pendula</i>	.	.	.	.	1b	1a	+p	+p	+p
24 <i>Melilotus alba</i>	.	.	.	.	1b	1b	+p	1a	+p
25 <i>Arenaria serpyllifolia</i>	.	.	.	.	+p	+p	1a	+p	+p
26 <i>Erysimum durum</i>	.	.	.	.	+p	+p	+p	+p	+p
27 <i>Arrhenatherum elatius</i>	.	.	.	.	+p	+p	+p	+p	+p
28 <i>Conyza canadensis</i>	.	.	.	.	+p	.	1a	.	+p
29 <i>Daucus carota</i>	.	.	.	.	.	+p	+p	+p	1a
30 <i>Bromus hordeaceus</i> s.str.	.	.	.	.	.	+p	+p	.	+p
31 <i>Acer campestre</i>	.	.	.	.	.	+p	.	+p	+p
32 <i>Solidago canadensis</i>	.	.	.	.	.	.	.	+p	+p
33 <i>Trifolium dubium</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	+p
34 <i>Vicia hirsuta</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	+p
35 <i>Crataegus monogyna</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	+p
36 <i>Bryum argenteum</i>	.	.	+p	+p	+p	+p	.	.	.
37 <i>Ceratodon purpureus</i>	+p	+p	1a	2a	2a	2a	2a	2b	2b
38 <i>Pohlia nutans</i>	.	+p	+p	1b	2a	1b	2a	2a	+p
39 <i>Funaria hygrometrica</i>	.	.	1a	1a	1a	+p	+p	+p	+p
40 <i>Bryum capillare</i>	.	.	+p						

zeichneten sich durch sehr hohe Ca-Gehalte aus. Kohlenstaub (Kornfraktion < 2 mm) wies mit pH 3,8 einen sehr niedrigen pH-Wert auf. Alle anderen Substrate waren schwach (Kies: pH 7,8) bis äußerst (Schlacke: pH 12,4) alkalisch. Insgesamt handelt es sich um mäßig nährstoffreiche (Schlacke/Lehm) bis sehr nährstoff-, v.a. stickstoffarme Standorte. Alle Substrate sind aufgrund des hohen Skelettanteils und des geringen Humusgehalts mehr oder weniger trocken. Kohle und Schlacke sind zudem Substrate, die sich an sonnigen Tagen an der Oberfläche stark aufheizen.

## 2.2 Die Versuchsanlage

Die fünf Substrate wurden im Oktober 1986 jeweils in 1 m<sup>2</sup> große, mit Betonwänden unterteilte, neu errichtete Becken auf dem Versuchsgelände des Instituts für Ökologie in Berlin-Dahlem gefüllt. Der technische Aufbau der Versuchsanlage ist in REBELE (1994) beschrieben. Innerhalb der Anlage handelt es sich um die Becken Nr. 76 (Kohle), 77 (Kies), 78 (Schlacke/Lehm), 79 (Schlacke) und 80 (Betonproctor). Die Fülltiefe betrug 80 cm.

## 2.3 Untersuchungsmethoden

Die Vegetationsaufnahmen wurden nach der Methode von PFADENHAUER & al. 1986 erstellt, bei der lediglich die Deckungsprozente der Arten erhoben werden (+p: < 1%, 1a: 1–3%, 1b: 3–5%, 2a: 5–12,5%, 2b: 12,5–25%, 3: 25–50%, 4: 50–75%, 5: 75–100%). Der Beobachtungszeitraum umfaßt seit der Aufschüttung insgesamt neun Jahre.

In den ersten fünf Jahren wurde die Vegetationsentwicklung während der Vegetationsperiode nahezu monatlich verfolgt, seit 1992 nur noch zweimal bzw. ab 1994 einmal jährlich, da sich innerhalb eines Jahres kaum noch Änderungen in der Artenzusammensetzung ergaben. In den Vegetationstabellen (Tab. 2–6) wurden die Aufnahmen innerhalb eines Jahres zu einer Angabe zusammengefaßt, wobei jeweils der höchste Deckungsgrad angegeben ist, der in einem Jahr erreicht wurde.

## 3 Ergebnisse

Im Verlauf der neunjährigen Vegetationsentwicklung wurden auf Kies bisher 32 Arten beobachtet (siehe Tab. 2). Die auffälligste Art unter den Erstbesiedlern ist *Pinus sylvestris*. Als erste Pflanze des Dauerquadrats überhaupt wurde im ersten Sommer nach der Aufschüttung ein Sämling der Waldkiefer registriert, der nach neun Jahren zu einem Jungwuchs von

> 1,7 m mit einer Deckung von ca. 35 % der Fläche herangewachsen war. Neben *Pinus sylvestris* wurden im ersten Jahr nur noch ein Exemplar von *Diplotaxis tenuifolia* und einige Individuen von *Solidago canadensis* beobachtet. *Diplotaxis tenuifolia* blühte in den vier folgenden Jahren und starb dann ab. Die *Solidago*-Pflanzen sind inzwischen ebenfalls abgestorben, ohne zur Blüte zu gelangen. Von den weiteren im Laufe der Pflanzenbesiedlung auftretenden Arten von Blütenpflanzen war lediglich *Oenothera biennis* agg. zeitweilig mit höheren Deckungsprozenten vertreten. Der Gesamtdeckungsgrad der Moose (v.a. *Ceratodon purpureus* und *Pohlia nutans*) erreichte hingegen Werte bis zu 40 %.

Auf Schlacke (Tab. 3) begann die Besiedlung ein Jahr nach der Aufschüttung zunächst mit *Ceratodon purpureus*. Im zweiten und dritten Jahr folgten weitere Moosarten. Der maximale Deckungsgrad der Moose erreichte bisher 35 %. Im zweiten und den folgenden Jahren wuchsen auch einjährige und ausdauernde krautige Arten, allerdings mit sehr geringer Deckung. Fünf Jahre nach der Aufschüttung traten die ersten Gehölze auf (*Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Populus x nigra*). Insgesamt kann man feststellen, daß bei den Arten von Blütenpflanzen, die ihren Lebenszyklus vollenden konnten, ausgesprochene Kümmerformen vertreten waren, die nur wenige Zentimeter groß wurden, z. B. *Atriplex nitens* und *Papaver dubium*. Andere Arten starben wieder ab, ehe sie überhaupt zur Blüte kamen oder verblieben über Jahre im Rosettenstadium wie z. B. *Oenothera biennis* agg. und *Verbascum lychnitis*. Die beiden letztgenannten Arten blühten und fruchteten erst sechs bzw. fünf Jahre nach dem Auftreten der ersten Rosetten. Gehölze blieben bisher ebenfalls sehr klein. *Betula pendula* erreichte im fünften Lebensjahr maximal 30 cm. Trotz des ausgesprochen kümmerlichen Wachstums oder verzögerten Wachstums war auf Schlacke nach neun Jahren mit 23 Arten/m<sup>2</sup> noch die höchste Artendichte zu verzeichnen (siehe Abb. 1). Die Gesamtdeckung der Krautschicht lag im neunten Jahr bei maximal 55 %.

Zu den ersten Besiedlern von Betonproctor (Tab. 4) gehörten bereits im ersten Jahr nach der Aufschüttung Gehölze (*Betula pendula*, *Populus x nigra*). Die Birken erreichten nach neun Jahren eine Höhe von 1,60 m, die Pappeln eine Höhe von 2,00 m, und sie deckten zusammen in der Strauchschicht ca. 60 %. Eine Kiefer (*Pinus sylvestris*), die zwei Jahre nach der Aufschüttung keimte, erreichte mit sieben Jahren eine Höhe von 90 cm. Die Krautschicht wies im neunten Jahr der Vegetationsentwicklung eine Deckung von 60 % auf, die der Moose lag bei < 1 %.

Auf Schlacke/Lehm (Tab. 5) traten bereits im ersten Jahr nach der Aufschüttung eine relativ große Anzahl von Blütenpflanzen auf, die bereits über 75 % deckten. Unter diesen Arten waren eine Reihe von

Einjährigen, die nur im ersten Jahr vorkamen, z.B. *Capsella bursa-pastoris*, *Poa annua*, *Arabidopsis thaliana*, *Papaver dubium*, *Erodium cicutarium*, *Chenopodium album* und *Polygonum aviculare* agg.. Einige wenige einjährige Arten wuchsen auch im zweiten Jahr (*Apera spica-venti*, *Atriplex nitens*). Die ebenfalls einjährige *Vicia angustifolia* hingegen war in jedem Jahr vertreten. Unter den dominanten Arten war im ersten Jahr die einjährige Art *Atriplex nitens*. Daneben spielten bereits ausdauernde Arten wie *Agropyron repens* oder *Solidago canadensis* eine Rolle. *Solidago* kam ab dem dritten Jahr zur Vorherrschaft und wies seitdem in jedem Jahr die höchsten Deckungsgrade in der Krautschicht auf. Eine kontinuierliche Zunahme des Deckungsgrades zeigte auch *Betula pendula*, die ebenfalls bereits zu Beginn der Vegetationsentwicklung vertreten war. Seit dem siebten Jahr deckte die Sandbirke > 50 % und erreichte nach neun Jahren eine maximale Wuchshöhe von 1,60 m. Inzwischen ist *Betula pendula* auf der Schlacke/Lehm-Fläche gegenüber *Solidago* vorherrschend.

Auf Kohle waren insgesamt nur sehr wenige Arten an der Besiedlung beteiligt (siehe Tab. 6). Im ersten Sommer nach der Aufschüttung keimten die ersten Sandbirken, die zum Jahresende zu Jungpflanzen bis 35 cm Höhe heranwuchsen. Im dritten Jahr nach der Aufschüttung wurde die Wuchshöhe von 1 m, im siebten Jahr von 5 m überschritten. Bereits zwei Monate vor den Birken wuchsen im ersten Jahr nach der Aufschüttung einige Exemplare von *Oenothera biennis* agg., die im Spätsommer dann über 20% der Fläche deckten. Im darauffolgenden Sommer blühte und fruchtete *Oenothera*. Bereits im Oktober des gleichen Jahres wurden neue Rosetten gebildet und diese Pflanzen kamen im darauffolgenden Jahr wiederum zur Blüte. In den beiden folgenden Jahren konnten wieder neue Rosetten registriert werden. Diese Pflanzen kamen jedoch nicht mehr zur Blüte. Ab dem sechsten Jahr waren keine Nachtkerzen mehr vertreten. Außer der dominanten *Betula pendula* konnte sich auf Kohle im Unterwuchs nur *Arrhenatherum elatius* behaupten. Moose und Flechten spielten bisher kaum eine Rolle.

In den Abb. 1 und 2 sind die Artenzahlen aufgetragen, die insgesamt in einem Dauerquadrat innerhalb eines Jahres registriert wurden. Die größte Artendichte war bei Beginn der Vegetationsentwicklung auf Schlacke/Lehm festzustellen, die geringste auf Schlacke. Auf Schlacke/Lehm hat die Artendichte inzwischen abgenommen. Auf Kohle blieb die Artenzahl mehr oder weniger gleich niedrig bzw. hat sogar wieder abgenommen. Bei Kies, Schlacke und Betonproctor zeigte sich in den ersten Jahren ein kontinuierlicher Anstieg, inzwischen ist auch hier wieder eine leichte Abnahme zu verzeichnen. Die höchsten Artendichten im Verlauf der Vegetationsentwicklung

wurden auf Betonproctor (26 Arten im dritten Jahr) und auf Schlacke (26 Arten im fünften und sechsten Jahr) erreicht.

Insgesamt wurden bisher auf Kohle 8, auf Schlacke/Lehm 30, auf Kies 32, auf Schlacke und Betonproctor jeweils 40 Arten verzeichnet. Die Gesamtartenzahl aller fünf Dauerquadrate innerhalb des Zeitraums von neun Jahren liegt bei 64, davon sind 56 Arten von Blütenpflanzen, 7 Moosarten und eine Flechtenart.

#### 4 Diskussion

Der Verlauf der Vegetationsentwicklung auf Kies, Schlacke und Betonproctor zeigt das typische Bild einer primären Sukzession. Die geringen Artenzahlen im ersten Jahr nach der Aufschüttung deuten darauf hin, daß im aufgeschütteten Substrat noch keine Diasporen vorhanden waren. Alle Arten, die im Verlauf der Sukzession eine Rolle spielten, wanderten aus der Umgebung ein. Der Gehalt an organischer Substanz und an Stickstoff war zum Zeitpunkt der Aufschüttung äußerst gering. Nährstoffarmut und andere extreme Standortfaktoren wie Trockenheit und/oder hoher pH-Wert bewirkten zudem, daß nur wenige Arten zur Keimung kommen und sich etablieren konnten.

Auf Kies und auf Betonproctor sind von Anfang an Gehölze als Erstbesiedler beteiligt und werden in den folgenden Jahren auch für den Sukzessionsverlauf bestimmend. Es handelt sich in diesen beiden Fällen um den Typ einer gehölzdominierten Primärsukzession wie er ähnlich von REBELE (1992) auf mit Sand aufgeschütteten Dauerflächen der gleichen Versuchsanlage in Berlin-Dahlem beschrieben wurde. Man findet diesen Typ der Primärsukzession auf Abgrabungen und Aufschüttungen in Bergbau- und Industriegebieten relativ häufig, z.B. auf sandig-kiesigen Rohböden von Braunkohlentagebauen am Niederrhein (siehe BORNKAMM 1985b und WOLF 1985).

Auf Stahlwerksschlacke beginnt die Primärbesiedlung zunächst durch Moose. Erst nach Akkumulation von etwas Feinerde und Humus und einem Absinken des pH-Werts durch Kalkauswaschung in den obersten Zentimetern des Substrats können sich auch höhere Pflanzen ansiedeln, die allerdings in ihrem Wachstum und/oder in ihrer Entwicklung gehemmt sind. Auch nach neun Jahren der Vegetationsentwicklung ist die Vegetation in erster Linie durch Moose und durch niedrigwüchsige krautige Pflanzen, v.a. Rosettenpflanzen geprägt. Auf Hochofenschlackehalden verläuft die Entwicklung ähnlich. Dort beginnt die Besiedlung ebenfalls durch Moose, die über Jahre bis Jahrzehnte das Bild beherrschen. Das Gehölzwachstum ist stark gehemmt, so daß Hochofen-

Tab. 4

Vegetationsentwicklung auf Betonproctor. Die Aufschüttung erfolgte im Oktober 1986.

Tab. 4

Vegetation development on concrete break. The substrate was deposited in October 1986.

Jahr (year)	87	88	89	90	91	92	93	94	95
Artenzahl (number of species)	7	24	26	23	23	18	15	12	13
Höhe der Gehölze (height of woody plants)							> 1m		
1 <i>Acer negundo</i>	.	+p	.	.	.	.	.	.	.
2 <i>Capsella bursa-pastoris</i>	.	+p	.	.	.	.	.	.	.
3 <i>Poa annua</i>	.	+p	+p	.	.	.	.	.	.
4 <i>Veronica arvensis</i>	.	+p	+p	.	.	.	.	.	.
5 <i>Solidago canadensis</i>	+p	+p	+p	.	.	.	.	.	.
6 <i>Apera spica-venti</i>	.	+p	+p	.	.	.	.	.	.
7 <i>Atriplex nitens</i>	.	1a	+p	.	.	.	.	.	.
8 <i>Potentilla tabernaemontani</i>	.	+p	+p	.	.	.	.	.	.
9 <i>Poa compressa</i>	+p	+p	+p	+p	.	.	.	.	.
10 <i>Tanacetum vulgare</i>	.	.	+p	+p	.	.	.	.	.
11 <i>Solidago virgaurea</i>	.	+p	.	+p	.	.	.	.	.
12 <i>Agrostis capillaris</i>	.	.	+p	+p	.	.	.	.	.
13 <i>Artemisia vulgaris</i>	.	+p	+p	+p	+p	.	.	.	.
14 <i>Cerastium semidecandrum</i>	.	.	+p	.	+p	.	.	.	.
15 <i>Diplotaxis tenuifolia</i>	.	.	.	.	+p	.	.	.	.
16 <i>Oenothera biennis</i> agg.	.	+p	+p	+p	+p	.	.	.	.
17 <i>Arenaria serpyllifolia</i>	.	.	+p	+p	+p	.	.	.	.
18 <i>Chenopodium album</i>	.	+p	.	.	+p	.	.	.	.
19 <i>Clematis vitalba</i>	+p	+p	+p	+p	+p	.	.	.	.
20 <i>Trifolium arvense</i>	.	.	.	+p	+p	+p	.	.	.
21 <i>Bromus hordeaceus</i> s.str.	.	.	+p	.	.	+p	.	.	.
22 <i>Vicia hirsuta</i>	.	.	.	.	.	+p	+p	.	.
23 <i>Taraxacum officinale</i>	.	.	+p	+p	+p	+p	+p	.	.
24 <i>Conyza canadensis</i>	.	.	.	.	.	.	+p	.	.
25 <i>Taxus baccata</i>	.	.	.	.	.	.	.	+p	.
26 <i>Betula pendula</i>	+p	1b	2a	2b	3	3	4	4	4
27 <i>Populus x nigra</i>	+p	1a	1b	2a	2b	2b	2b	2a	2b
28 <i>Acer campestre</i>	+p	+p	+p						
29 <i>Pinus sylvestris</i>	.	+p	+p	+p	1a	1a	1a	1b	2b
30 <i>Poa angustifolia</i>	.	+p	+p	+p	+p	+p	+p	+p	+p
31 <i>Melilotus alba</i>	.	.	+p	1a	1a	1a	+p	+p	+p
32 <i>Vicia angustifolia</i>	.	+p	+p	+p	+p	+p	+p	+p	+p
33 <i>Erysimum durum</i>	.	+p	.	+p	+p	+p	+p	+p	+p
34 <i>Daucus carota</i>	.	.	+p	+p	+p	+p	+p	.	+p
35 <i>Verbascum lychnitis</i>	.	.	.	.	+p	+p	+p	+p	+p
36 <i>Bromus sterilis</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	+p
37 <i>Bryum argenteum</i>	.	+p	.	+p	+p	+p	.	.	.
38 <i>Bryum capillare</i>	.	.	.	+p	+p	1a	.	.	.
39 <i>Ceratodon purpureus</i>	+p	1b	2a	2b	2b	2a	2a	+p	+p
40 <i>Pohlia nutans</i>	.	+p	+p	+p	1a	1a	+p	+p	+p

Tab. 5

Vegetationsentwicklung auf Schlacke/Lehm. Die Aufschüttung erfolgte im Oktober 1986.

Tab. 5

Vegetation development on slag/loam. The substrate was deposited in October 1986.

Jahr (year)	87	88	89	90	91	92	93	94	95
Artenzahl (number of species)	20	19	16	16	14	13	11	10	9
Höhe (height) <i>Betula</i>							> 1m		
1 <i>Capsella bursa-pastoris</i>	+p	.	.	.	.	.	.	.	.
2 <i>Poa annua</i>	+p	.	.	.	.	.	.	.	.
3 <i>Arabidopsis thaliana</i>	+p	.	.	.	.	.	.	.	.
4 <i>Papaver dubium</i>	+p	.	.	.	.	.	.	.	.
5 <i>Erodium cicutarium</i>	+p	.	.	.	.	.	.	.	.
6 <i>Chenopodium album</i>	1a	.	.	.	.	.	.	.	.
7 <i>Agrostis capillaris</i>	+p	.	.	.	.	.	.	.	.
8 <i>Polygonum aviculare</i> agg.	+p	.	.	.	.	.	.	.	.
9 <i>Apera spica-venti</i>	2a	+p	.	.	.	.	.	.	.
10 <i>Poa trivialis</i>	.	+p	.	.	.	.	.	.	.
11 <i>Atriplex nitens</i>	3	+p	.	.	.	.	.	.	.
12 <i>Poa compressa</i>	.	1a	+p	.	.	.	.	.	.
13 <i>Humulus lupulus</i>	.	.	.	.	.	+p	.	.	.
14 <i>Hypochoeris radicata</i>	.	.	+p	1a	1a	+p	.	.	.
15 <i>Acer negundo</i>	+p	+p	+p	1a	1a	1a	+p	.	.
16 <i>Artemisia vulgaris</i>	2a	2b	2a	2a	2a	+p	+p	.	.
17 <i>Solidago virgaurea</i>	+p	+p	+p	1a	+p	+p	+p	+p	.
18 <i>Acer pseudoplatanus</i>	.	.	.	.	.	.	.	+p	.
19 <i>Agropyron repens</i>	2a	2b	2b	1b	1a	1a	+p	+p	1a
20 <i>Clematis vitalba</i>	+p	+p	+p	1a	1b	1b	2a	2b	2a
21 <i>Solidago canadensis</i>	1b	2b	3	4	5	4	4	4	3
22 <i>Betula pendula</i>	1a	1a	1a	2a	2b	3	4	4	5
23 <i>Vicia angustifolia</i>	+p	+p	+p	2a	1b	1a	2b	+p	1a
24 <i>Acer campestre</i>	.	+p	+p	+p	+p	+p	+p	+p	+p
25 <i>Verbascum lychnitis</i>	.	+p	+p	1b	2a	1b	1b	1b	1b
26 <i>Arrhenatherum elatius</i>	.	+p	1b	1b	1b	1b	1b	1b	2b
27 <i>Daucus carota</i>	+p	1a	.	+p	.	.	.	.	+p
28 <i>Brachythecium rutabulum</i>	.	+p	+p	+p	.	.	.	.	.
29 <i>Ceratodon purpureus</i>	+p	1a	1a	+p	+p	.	.	.	.
30 <i>Pohlia nutans</i>	.	+p	1a	+p	+p	.	.	.	.

schlackehalden über einen längeren Zeitraum von Natur aus baumfrei bleiben (KOLL 1962, PUNZ 1989).

Demgegenüber entspricht der Verlauf der Vegetationsentwicklung auf Schlacke/Lehm einer sekundären Sukzession. Zum Zeitpunkt der Aufschüttung war bereits ein gewisser Vorrat an organischer Substanz und Stickstoff vorhanden. Der Lehmantel des Substrats besteht vermutlich aus Bodenbestandteilen, die bereits einmal eine Vegetation trugen und dadurch einen gewissen Diasporenvorrat aufwiesen. Der Sukzessionsverlauf mit einer relativ hohen Artenzahl im ersten Jahr nach der Aufschüttung und einer Entwicklung, die dem Modell der anfänglichen Artenkombination (EGLER 1954) folgt, legen dies nahe.

Im Gegensatz zu den primären Sukzessionen auf Kies und Betonproctor, die vor allem durch die kontinuierliche Zunahme der Bedeutung der Gehölze geprägt sind, zeigt sich auf Schlacke/Lehm eine Abfolge von Vegetationstypen. Legt man die dominanten Arten zugrunde, so kann man innerhalb der neunjährigen Vegetationsentwicklung folgenden Sukzessionsverlauf beschreiben: *Atriplex nitens* – *Agropyron repens* / *Artemisia vulgaris* / *Solidago canadensis* – *Solidago canadensis* – *Betula pendula*. Die Phase, in der einjährige Arten dominieren, ist auf das erste Jahr nach der Aufschüttung beschränkt. Vom zweiten bis zum sechsten Jahr herrschen ausdauernde krautige Arten (v.a. *Solidago canadensis*) vor. Inzwischen ist bereits die Gehölzphase erreicht. Die Vegetationsentwick-

Tab. 6  
Vegetationsentwicklung auf Kohle. Die Aufschüttung erfolgte im Oktober 1986.

Tab. 6  
Vegetation development on coal. The substrate was deposited in October 1986.

Jahr (year)	87	88	89	90	91	92	93	94	95
Artenzahl (number of species)	4	4	5	5	6	3	3	3	2
Höhe (height) <i>Betula</i>			> 1m				> 5m		
1 <i>Betula pendula</i>	1a	3	3	4	5	5	5	5	5
2 <i>Arrhenatherum elatius</i>	+p	1b	2a	2b	2b	1a	+p	+p	+p
3 <i>Oenothera biennis</i> agg.	2b	3	1a	1a	1a	.	.	.	.
4 <i>Poa compressa</i>	+p	+p	1a	+p	+p	.	.	.	.
5 <i>Clematis vitalba</i>	.	.	.	.	+p	.	.	.	.
6 <i>Vicia angustifolia</i>	.	.	+p	+p	.	+p	+p	.	.
7 <i>Cladonia</i> spec.	.	.	.	.	+p	.	.	.	.
8 <i>Pohlia nutans</i>	.	.	.	.	.	.	.	+p	.

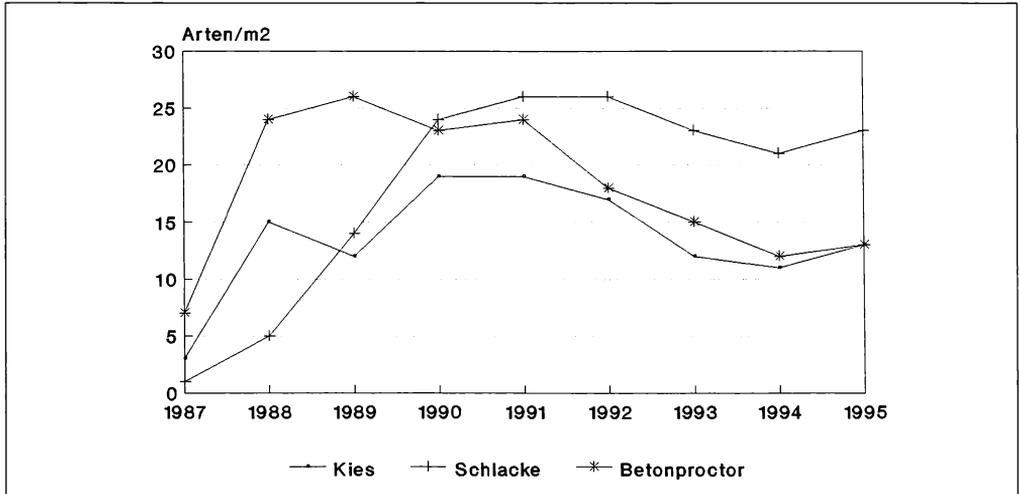


Abb. 1  
Arten-dichte im Verlauf einer neun-jährigen Sukzession auf Kies, Stahlwerksschlacke und Betonproctor.

Fig. 1  
Species density during nine years of succession on gravel, steelworks slag and concrete break.

lung auf Schlacke/Lehm ist in der Tendenz mit der Sukzession auf den Dauerflächen mit ruderalem Füllboden (siehe REBELE 1992) vergleichbar. Auch der bei BORNKAMM & HENNIG (1982) beschriebene Verlauf der sekundären Sukzessionen auf schluffigem Sand zeigt eine ähnliche Abfolge in einem vergleichbaren Zeitraum: Dominanz von Annuellen – Dominanz mehrjähriger Kräuter (v.a. *Solidago canadensis*) – Gehölzstadium (v.a. *Betula pendula*).

Die Vegetationsentwicklung auf Kohle ist ein Sonderfall, da hier ohnehin nur sehr wenige Arten auch im Verlauf eines längeren Zeitraums wachsen

können. Nahezu alle Arten, die im Verlauf der Vegetationsentwicklung auftreten, sind bereits im ersten Jahr nach der Aufschüttung vorhanden, es kommen (bis auf die sehr spärlich vertretenen Flechten und Moose) auch keine weiteren Arten hinzu. Die auf dem Dauerquadrat festgestellte Vegetationsentwicklung war in ähnlicher Form früher in Berlin (West) auch auf Kohlelagern zu beobachten (REBELE n.p.). Auch dort herrschten Sandbirken vor. Allerdings waren diese auf den ca. 12–15 m hohen Haldenplateaus nicht so raschwüchsig und so hoch wie auf der Versuchsfläche. Im Dauerquadrat wurde die 80 cm

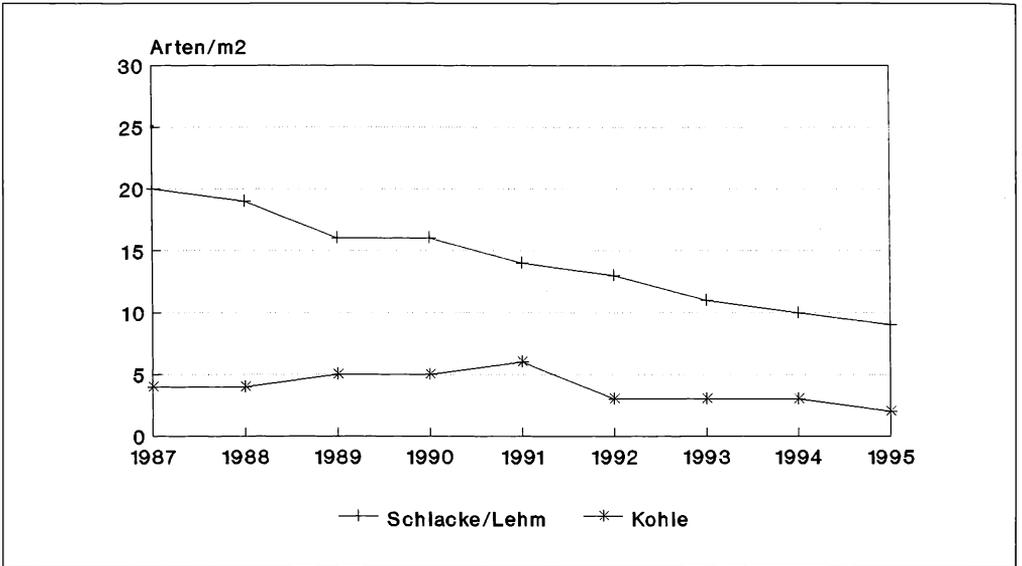


Abb. 2

Artendichte im Verlauf einer neunährigen Sukzession auf Schlacke/Lehm und Kohle.

Fig. 2

Species density during nine years of succession on slag/loam and coal.

mächtige Kohlschicht vermutlich sehr bald von den Birken durchwurzelt und diese konnten somit auch aus tieferen Schichten Wasser und Nährstoffe beziehen. Auf den Haldenplateaus der Kohlenlager wurzelten die Birken hingegen ausschließlich in Kohle. Das Artenspektrum an weiteren Arten war auf den Kohlelagern ähnlich begrenzt. Neben *Betula pendula*, *Poa compressa*, *Oenothera biennis* agg. kamen noch *Spergula morisonii* und *Senecio viscosus* häufiger vor. Diese Arten fehlten auf der Dauerfläche, weil in der unmittelbaren Umgebung der Versuchsfäche keine Diasporen vorhanden waren.

Der bisherige Verlauf der neunjährigen Vegetationsentwicklung auf den fünf Dauerquadraten zeigt, daß auch Substrate mit extremen Standorteigenschaften bereits innerhalb eines Jahres nach der Aufschüttung in unterschiedlichem Maße von Pflanzen besiedelt werden. Mit Ausnahme von Stahlwerksschlacke war spätestens nach sieben Jahren die Gehölzphase mit einer Höhe der Gehölze > 1 m erreicht. Mit *Betula pendula* und *Pinus sylvestris* sind zwei Gehölzarten beteiligt, die im Berliner Raum von Natur aus weit verbreitet sind und offene, nährstoffarme Standorte als Pioniere besiedeln. *Populus x nigra* besitzt eine Samenquelle in unmittelbarer Nähe der Dauerflächen auf dem Versuchsgelände. Auf den über Jahre relativ offenen Rohböden aus Kies und Stahlwerksschlacke spielen Moose eine große Rolle. Dabei handelt es sich ausschließlich um weit verbreitete Arten wie

z. B. *Ceratodon purpureus*, *Pohlia nutans* und *Bryum argenteum*. Unter den Gräsern und krautigen Blütenpflanzen waren bisher vor allem Arten trockener Ruderalstandorte und Sandtrockenrasen vertreten. Im Vergleich zu Substraten wie Füllboden und Sand (vgl. REBELE 1992) sind es jedoch insgesamt im Verlauf der neunjährigen Sukzession weniger Arten, die mit den extremen Standortbedingungen zurechtkommen.

## Literatur

- BLUME, H.P., 1993: Böden. – In: SUKOPP, H. & R. WITTIG (Hrsg.): Stadtökologie. Fischer, Stuttgart: 154–171.
- BORNKAMM, R., 1981: Rates of change in vegetation during secondary succession. – *Vegetatio* 47: 213–220.
- BORNKAMM, R., 1984: Experimentell-ökologische Untersuchungen zur Sukzession von ruderalen Pflanzengesellschaften. II. Quantität und Qualität der Phytomasse. – *Flora* 175: 45–74.
- BORNKAMM, R., 1985a: Vegetation changes in herbaceous communities. – In: WHITE, J. (ed.): The population structure of vegetation. Dr. W. Junk, Dordrecht: 89–109.
- BORNKAMM, R., 1985b: Veränderungen der Phytomasse und Vegetationsentwicklung. In: WOLF, G. (Hrsg.): Primäre Sukzession auf kiesig-sandigen Rohböden im Rheinischen Braunkohlenrevier. – Schriftenreihe für Vegetationskunde 16: 111–151.
- BORNKAMM, R., 1986: Ruderal succession starting at different seasons. – *Acta Soc. Botan. Poloniae* 55: 403–419.
- BORNKAMM, R., 1987: Veränderungen der Phytomasse in den ersten zwei Jahren nach einer Sukzession auf unterschiedlichen Böden. – *Flora* 179: 179–192.
- BORNKAMM, R., 1988: Mechanisms of succession on fallow lands. – *Vegetatio* 77: 95–101.
- BORNKAMM, R. & U. HENNIG, 1982: Experimentell-ökologische Untersuchungen zur Sukzession von ruderalen Pflanzengesellschaften auf unterschiedlichen Böden. I. Zusammensetzung der Vegetation. – *Flora* 172: 267–316.
- EGLER, F.E., 1954: Vegetation science concepts. I. Initial floristic composition, a factor in old-field vegetation development. – *Vegetatio* 4: 412–417.
- KOLL, D., 1962: Der Beginn des pflanzlichen Lebens auf einer Dortmunder Hochofenschlackenhalde. – *Abhandlungen des Landesmuseums für Naturkunde zu Münster in Westfalen* 24: 23–28.
- MEUSER, H., 1993: Technogene Substrate in Stadtböden des Ruhrgebietes. – *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 156: 137–142.
- PFADENHAUER, J., P. POSCHLOD & R. BUCHWALD, 1986: Überlegungen zu einem Konzept geobotanischer Dauerbeobachtungsflächen für Bayern. Teil I. Methodik zur Anlage und Aufnahme. – *Ber. ANL* 10: 41–60.
- PUNZ, W., 1989: Zur Vegetation von Hochofenschlackenhalden. – *Linzer biol. Beitr.* 21/1: 211–228.
- REBELE, F., 1992: Colonization and early succession on anthropogenic soils. – *Journal of Vegetation Science* 3: 201–208.
- REBELE, F., 1994: Konkurrenz und Koexistenz von *Tanacetum vulgare* L., *Solidago canadensis* L. und *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth auf Aufschüttungsböden unterschiedlichen Nährstoffgehalts. – Habilitationsschrift, TU Berlin: 191 S.
- REBELE, F., 1995: Primäre Vegetationsukzessionen auf Abgrabungen und Aufschüttungen. – *Schriftenreihe für Vegetationskunde* 27 (Sukopp-Festschrift): 183–192.
- REBELE, F. & J. DETTMAR, im Druck: Industriebrachen – Ökologie und Management. – Ulmer, Stuttgart.
- WOLF, G. (Hrsg.) 1985: Primäre Sukzession auf kiesig-sandigen Rohböden im Rheinischen Braunkohlenrevier. Schriftenreihe für Vegetationskunde 16: 208 S.

## Adresse

PD Dr. Franz Rebele  
 Institut für Ökologie, Technische Universität Berlin  
 Schmidt-Ott-Straße 1  
 D-12165 Berlin

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1996

Band/Volume: [25\\_1996](#)

Autor(en)/Author(s): Rebele Franz

Artikel/Article: [Vegetationsentwicklung auf technogenen und natürlichen Substraten mit extremen Standorteigenschaften - Ergebnisse von Untersuchungen auf Dauerquadraten 241-251](#)