© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at
Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich 126 (1989): 139-158

Ökologische Untersuchungen auf rekultivierten Hochofenschlackenhalden bei Leoben [1)]

Wolfgang PUNZ

PUNZ W., 1989: Die Arbeit faßt zahlreiche Ergebnisse zusammen, welche bei Untersuchungen auf Halden von Hochofenschlacke in Obersteiermark gewonnen wurden. Das Pflanzenwachstum auf der Halde wird durch die Überhitzung, das mangelnde Wasserhaltevermögen und den extremen Nährstoffmangel des Substrats beeinträchtigt; die erhöhten Schwermetallgehalte dürften demgegenüber eine geringere Rolle spielen. Die Überhitzung des Substrats wird bereits durch geringfügige Ausbildung einer Vegetationsbedeckung stark gemildert. Die großflächig entwickelte Moosschicht begünstigt die Samenkeimung sowie das Entstehen einer oberflächennahen nährstoffreicheren Schicht als Vorläufer einer Bodenbildung. Bei den auf den Halden wachsenden Pflanzen sind (gegenüber den Werten bei Kontrollpflanzen) Energiegehalt und Blattzucker erniedrigt, Hitzeresistenz sowie generell die Kationengehalte erhöht.

PUNZ W., 1989: Ecological investigations on reclaimed blast furnace slag heaps near Leoben.
The paper summarizes several results from investigations on blast furnace slag heaps in Styria/Austria. Plant growth is affected mainly by overheating of the substratum, extreme lack of nutrients and of water retention capacity, and possibly also by increased content of heavy metals. A slight vegetation cover already diminishes the overheating of the substratum. The moss-layer (which covers great parts of the area) improves the conditions for seed germination and for soil development. Plants growing on the slag show decreased values for energy content and leaf carbohydrates but increases heat resistance and cation content.

Keywords: reclamation, ecophysiology, heavy metals.

Einleitung

Nördlich von Leoben/Donawitz existieren Halden von Hochofenschlacke, die vor mehr als vierzig Jahren gestürzt, anschließend ohne Aufbringen pflanzenverträglichen Materials bepflanzt wurden und seither weitgehend ungestört blieben. Gestützt auf die Arbeiten von KRASEK (1980), PUNZ (1987a,b), PUNZ et al. (1984, 1986a,b) soll hier eine Ergänzung bzw. vorläufige Zusammenfassung der Ergebnisse präsentiert werden.

Beschreibung des Standortes

Der Untersuchungsstandort liegt am Südosthang des Bärnerkogels nördlich von Leoben/Donawitz. Der untersuchte Haldenbereich wurde zwischen 1948 und 1960 locker mit Gehölzen bepflanzt, wobei jedoch noch heute große offene Flächen vorhanden sind. Abb. 1 gibt eine Luftaufnahme der Halde aus dem Jahr 1954 wieder; der Zeitraum der Schüttung ist aus Abb. 2 ersichtlich (ausführlich hiezu PUNZ 1987a,b; PUNZ et al. 1984).

---

1) Publ. Nr. 71 der MAB Projektgruppe Stadtökologie der ÖAW

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Abb. 1: Ausschnitt aus einem Luftbild (D 6877) des Bildfluges "Waldstand/1954". Vervielfältigt mit freundlicher Genehmigung des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (Landesaufnahme) in Wien, Zl. L 61 332/89.

Material und Methoden

Die mikroklimatischen Meßmethoden und -anordnungen sind bei PUNZ et al. (1984) beschrieben. Der Modellversuch (Abb. 5) wurde in einem schlackengefüllten Container (ca. 0.5 m^3) durchgeführt. In der Luft sowie in Tiefen von -1, -5, -10 und -20 cm waren Pt-100-Temperaturfühler angebracht. Die dauerregistrierten

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

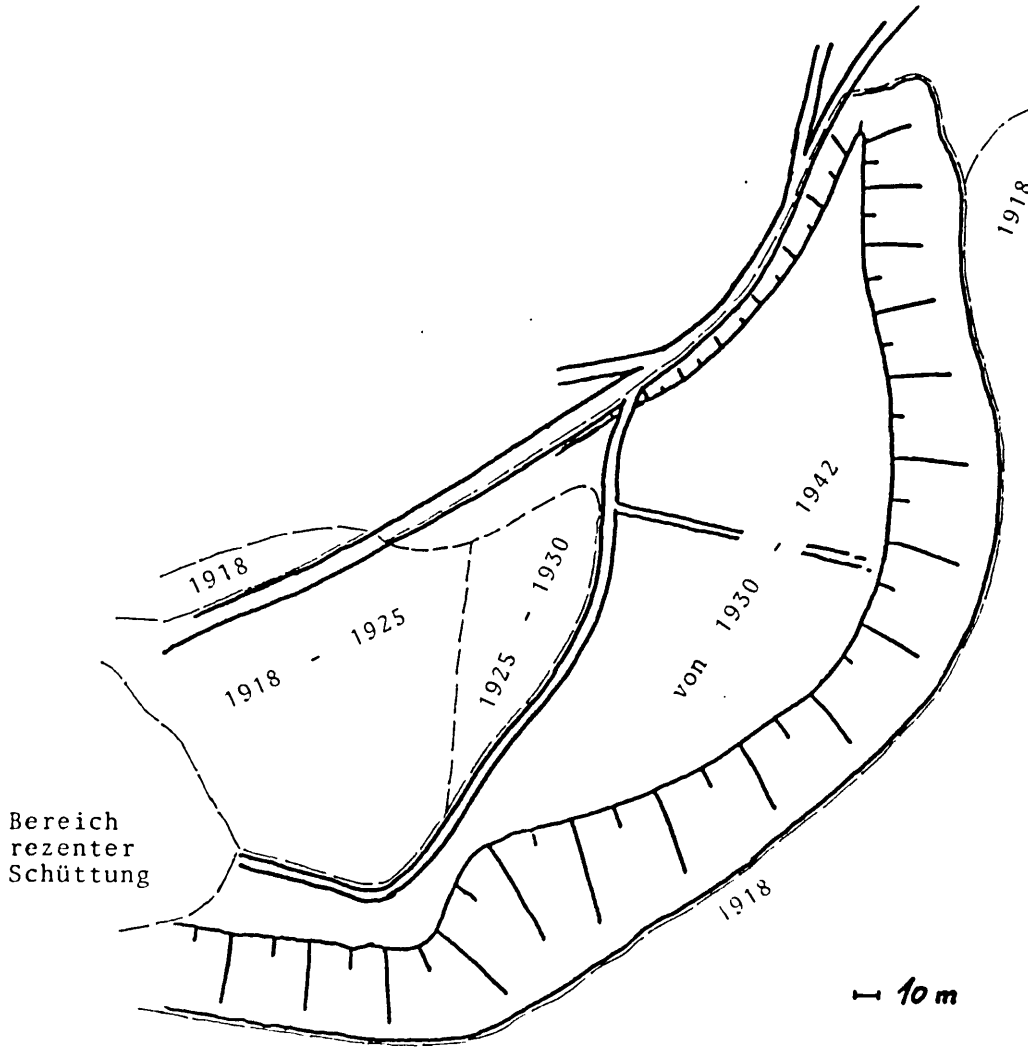


Abb. 2: Zeitraum der Schüttung der untersuchten Halde, vereinfacht nach Angaben der VOEST. Die überwiegende Anzahl der dargestellten Resultate entstammt dem Schüttungsbereich "1930 – 1942".

Temperaturwerte lieferten die Grundlage für die wiedergegebene Isothermendarstellung.

Die Boden – pH – Messung erfolgte mittels pH – Meter CG 822 (Fa. Schott), die Phosphorbestimmung photometrisch mit der Ca – Lactat(– Ammonmolybdat – Zinnchlorid –)Methode, die Bestimmung von C und N im Boden mittels CHN – Rapid (Fa. Heraeus), von N im Pflanzenmaterial mit Brucin – Schwefelsäure nach AUTENRIETH.

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Die Angaben zum Wassergehalt wurde durch Wägung des frisch entnommenen sowie des getrockneten Substrates ermittelt.

Für den Modellversuch zum Wasserverlust (Abb. 7) wurden Plastikcontainer mit einem Volumen von ca. 200 cm^3 verwendet.

Die Methoden der Saugspannungsmessung sowie der Hitzeresistenzbestimmung sind bei PUNZ et al. (1984), die Bestimmung der Kationengehalte bei PUNZ et al. (1986b) zitiert. Die Bestimmung der Zucker erfolgte aus gefriergetrocknetem, heiß-wasserextrahiertem, ionengetauschtem Pflanzenmaterial mittels GC 5830 A (Fa. Hewlett & Packard) vgl. auch ENGLMAIER (1986) , diejenige des Energiegehaltes mittels adiabatischem IKA-C400 Kalorimeter (Fa. Janke & Kunkel) unter Bezug auf Trockensubstanz (bei minimalem Aschengehalt). Die Bestimmung der Wasserkapazität erfolgte mit einem Psychrometer PR55 der Fa. Wescor.

Die angeführten Pflanzennamen sind nach EHRENDORFER (1973), POELT (1974), FRAHM & FREY (1983) wiedergegeben.

Ergebnisse

1. Das Klima

Das Klima des Untersuchungsstandortes kann durch das Klimadiagramm "Leoben" bei WALTER & LIETH (1967) charakterisiert werden. Gemäß der Einteilung von REHDER (1965) entspricht dies einem Untertyp von VI.3 ("mäßig warm, nieder-schlagsärmer, kontinentaler"), welcher nördlich und östlich der Alpen sowie in einigen zentralalpinen Tälern vorkommt. Im Klimatypenraster Österreichs nach BOBEK, KURZ & ZWITTKOVITS (1971) wäre der Standort dem Typus "65" (an der Grenze zu "18") zuzuordnen. BRAUN-BLANQUET (1961) zählt das mittlere Murgebiet ("Murgau") zwar zu den inneralpinen Trockengebieten, nimmt jedoch an, daß das weitgehende Fehlen einer Trockenvegetation im "einförmigen Spinatgrün des Murtals" auf die hohen Sommerniederschläge zurückzuführen ist.

Mikroklimatische Daten sind bei KARASEK (1980) und PUNZ et al. (1984) ange-führt. Dabei ist auf die starke Erwärmung des Substrats (über 70°C), besonders auf die extreme Tagesamplitude der Temperatur (mindestens 35°C) hingewiesen worden; ganz ähnliche Beobachtungen wurden von KOLL (1962, ebenfalls auf Hoch-ofenschlacke), sowie von RICHARDSON (1958) und STALLJAN (1983, auf Berge-material) gemacht. STALLJAN gibt Oberflächentemperaturen von über 60°C und eine Tagesamplitude von mehr als 45°C an. Eine derartige oberflächliche Substrat-überhitzung findet sich auch an anderen offenen Standorten, so etwa auf Heißländen (SLAD & MAIER 1983). Wie die aus verschiedenen Angaben zusammenstellte Abb. 3 zeigt, scheint die Beziehung zwischen Luft- und Oberflächentemperatur an derartigen Standorten (Schlacke, Heißländ) exponentiell zu sein, während sie in anderen Pflanzenbeständen offensichtlich eine eher lineare bis logarithmische Charakteristik aufweist. Ähnlich unterschiedlich ist die Temperaturamplitude in ver

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

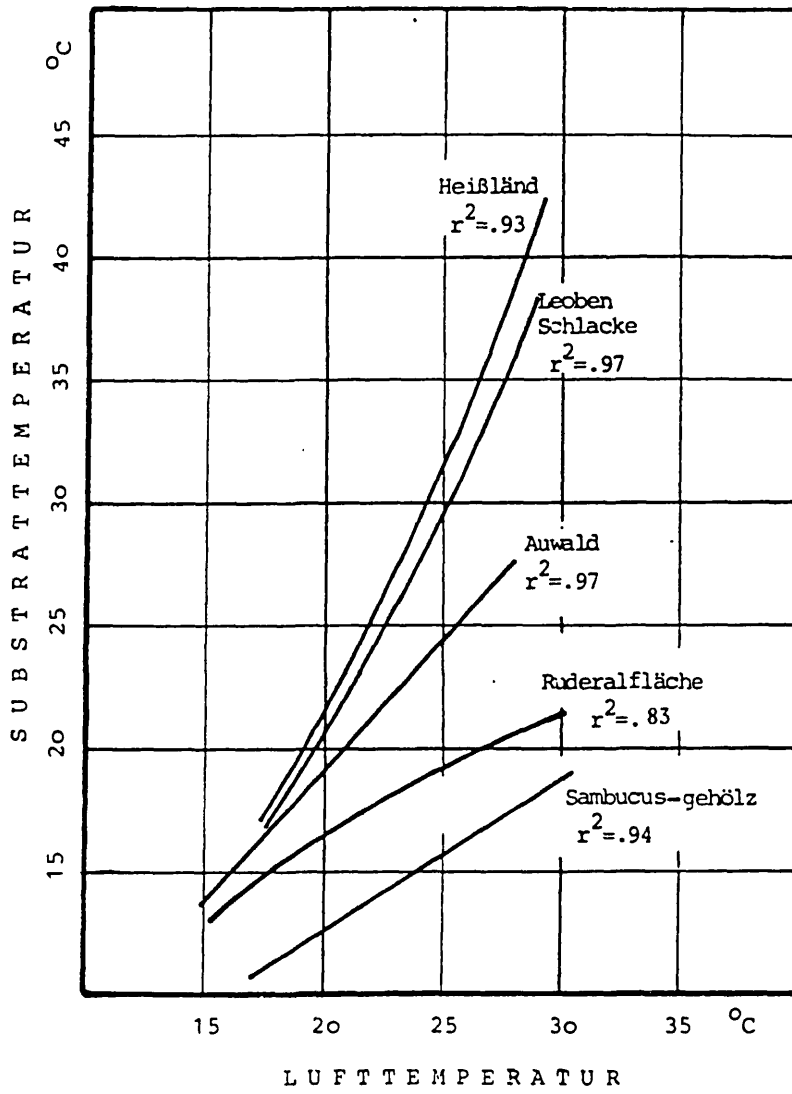


Abb. 3: Beziehung zwischen Lufttemperatur und Substrattemperatur (in 0 – 1 cm Tiefe) verschiedener Substrate. "Heißländ" und "Auwald": Daten aus der Lobau, Wien (Ökologische Übungen für Fortgeschrittene, BURIAN, MAIER, SIEGHARDT 1981, unveröff.). "Ruderalfläche" und "*Sambucus*-Gehölz": Daten aus Kagran, Wien (BURIAN et al. 1983). "Leoben": Daten aus PUNZ et al. (1984) und weitere eigene Untersuchungen. Alle Daten stammen jeweils von "Modelltagen" im Juni.

schiedenen Bodentiefen, die hier (Abb. 4) mit den Angaben von BIEBL (1951) und wiederum mit Messungen auf einer Heißländ verglichen wird. Ein eindrucksvoller Modellversuch zum Eindringen der Temperatur"welle" in das Schlackensubstrat ist in Abb. 5 wiedergegeben.

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

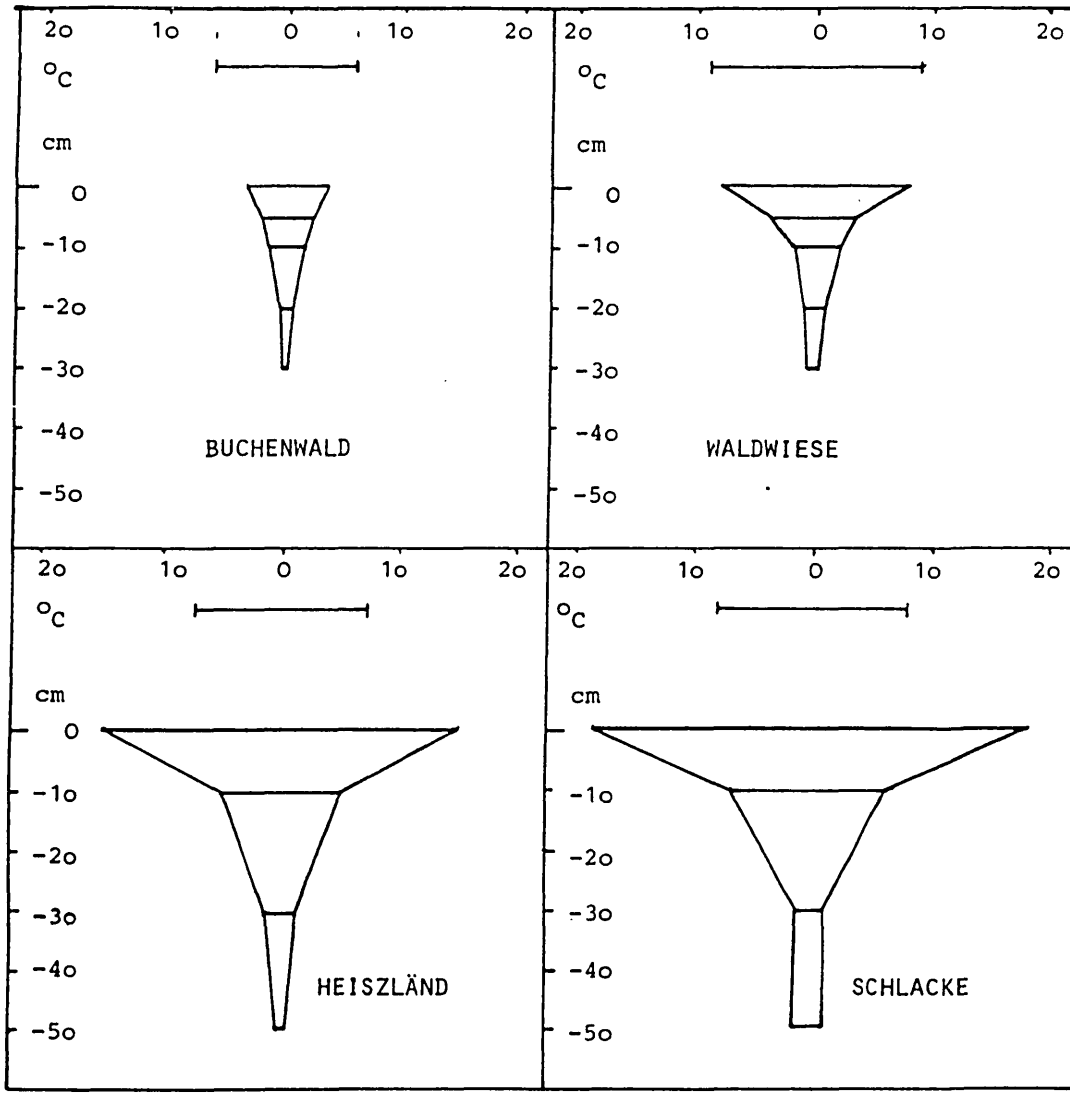


Abb. 4: Temperaturamplitude in verschiedenen Tiefen; zusätzlich ist der Schwankungsbereich der Lufttemperatur dargestellt. "Buchenwald", "Waldwiese": Daten aus BIEBL (1951). "Heißländ": Daten aus der Lobau, Wien (vgl. Legende Abb. 3). "Schlacke" (Leoben): Daten aus PUNZ et al. (1984) und weitere eigene Untersuchungen.

Während die vorgenannten klimatischen Faktoren zweifellos ein beträchtliches Problem für die Primärbesiedlung der Schlacke darstellen dürften, werden die beschriebenen Extrembedingungen jedoch bereits durch geringfügige Bedeckung beträchtlich gemildert (RICHARDSON 1958, SCHIECHTL 1974, PUNZ et al. 1984; vgl. auch unten "Ergebnisse 4.").

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

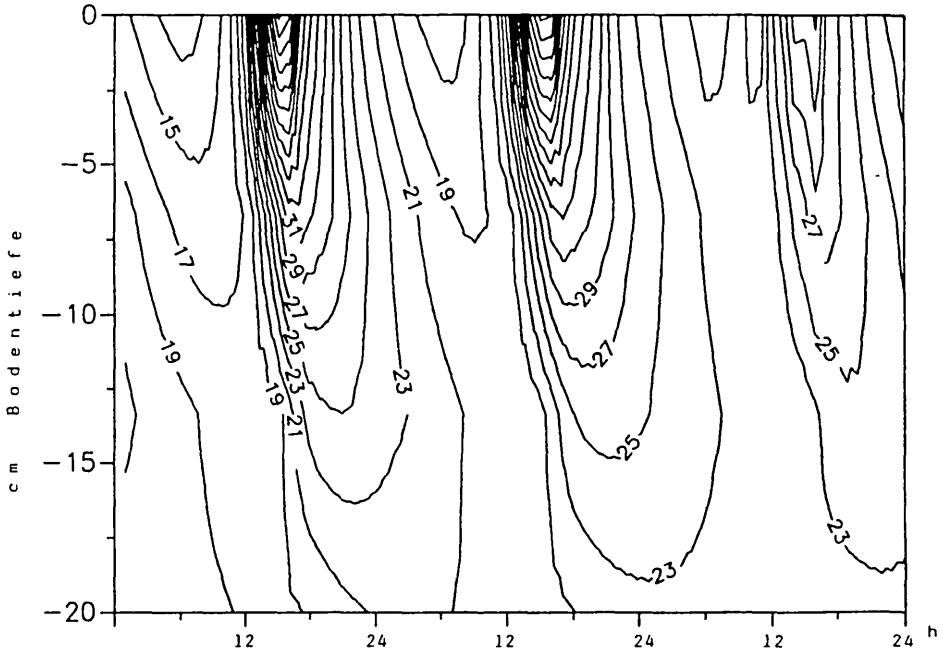


Abb. 5: Modellversuch zum Eindringen der Temperatur"welle" in das Schlackensubstrat an Modelltagen im Juli (11.–13.7.1987). Zahlenwerte in °C. Die Maximalwerte der Lufttemperatur (nicht dargestellt) lagen bei 36°C, die nächtlichen Minimalwerte bei °C.

2. Das Substrat

Das Schlackensubstrat stammt vom Hochofen Donawitz (VOEST); eine chemische Analyse der alten (vor rund vierzig Jahren geschütteten) und neuen (derzeit geschütteten) Schlacke ist in Tab. 1 wiedergegeben. (Hiezu ist zu bemerken, daß – insbesondere bei den jüngeren Deponierungen – die Schüttungen neben den Schlacken der Roheisenerzeugung (Hochofenschlacken) auch Schlacken aus dem Siemens–Martin, dem Elektrostahl– und dem LD–Verfahren sowie div. feuerfestes Material (alte Ofenbausteine, basisch und sauer) enthalten können; KÖSTLER, schriftl. Mitt.) Es kann daher kaum von einem "Boden" im üblichen Wortsinn gesprochen werden. Aus Zweckmäßigkeitsüberlegungen wurde dennoch die Beschreibung des ruhenden Substrats nach der Systematik von FINK (1969) vorgenommen:

Lage: Plateau mit schwachem Relief und steilen Flanken (vgl. Kap. "Material und Methoden" und PUNZ 1987b).
Klima: vgl. Kap. "Ergebnisse 1."
Horizonte: (O)–A–C.
Korngrößen: vgl. Abb. 6.
Karbonatgehalt, pH: hoch.

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Alte Schlacke		Neue Schlacke	
H_2SO_4	0.22 – 0.70 %	SO_2	1.67 %
Calcium	0.15 – 0.10 %	CaO_2	29.10 %
Phosphor	0.02 – 0.16 %	P_2O_5	0.04 %
Eisen	0.32 – 20.00 %	FeO_2	0.79 %
Kalk	5.30 – 28.90 %	CaO_2	s.o.
Stickstoff	0.02 – 0.42 %	–	
		SiO_2	40.42 %
		MnO_2	4.18 %
		Al_2O_3	8.50 %
		TiO_2	0.48 %
		MgO_2	12.98 %

Tab. 1: Zusammensetzung des geschütteten Substrates nach Angaben der VOEST (Alte Schlacke: zitiert bei KARASEK 1980; neue, rezent geschüttete Schlacke: unveröffentlichte Daten)

Formal ein Rohboden ("Arenosol"(?) vgl. SCHROEDER 1984), kann die Schlacken – halde nach ihrer Herkunft als atypisches anthropomorphes Accusol oder Kultosol (SCHROEDER 1984) bzw. als "Schüttungsboden, Haldenboden" (FINK 1969), oder einfach als "anthropogener Boden" (FRANZ 1960) bzw. als "Halden – Rohboden" (SCHMIDT – LORENZEN 1968) bezeichnet werden. Die Boden – oder besser: Humusbildung beschränkt sich auf eine dünne Schicht von nur wenigen Zentimetern unter der Oberfläche (vgl. Abb. 6); zumindest gilt dies für den größeren Teil der Halde. Die Korngrößenverteilung ist mithin günstiger als beispielsweise auf der von ZEITZ (1965) untersuchten begrünten Halde, wo mehr als 57 % des Materials eine Korngröße von größer als 2 mm aufwiesen Das bereits bei PUNZ et al. (1984) angeführte Phänomen einer Verfestigung des Haldenmaterials in rund dreißig Zentimeter Tiefe wird ähnlich von KOLL (1962) erwähnt und auf die physikalischen Eigenschaften der Schlacke zurückgeführt (Gleiches berichtet BARBER cit. KNABE 1965).

3. Der Wasserfaktor

Trotz des bereits erwähnten mäßig humiden Standortsklimas ist das poröse, aufge – schüttete Haldensubstrat, welches keinen Kontakt zu Grundwasserschichten besitzt, fraglos von der Gefahr der Austrockung bedroht (vgl. auch KOLL 1962, STALLJAN 1983). Soweit im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen festgestellt werden konnte, kann der Wassergehalt der Schlacke in einer Tiefe von 5 cm auf minimal 3.9%, in 10 – 20 cm auf 7.4% und in 20 – 30 cm auf 7.7 % sinken (vgl. Tab. 2). Die kritische Zeit dürfte der Spätfrühling mit oft mehrwöchigen, niederschlagsarmen Perioden darstellen (KARASEK, mündl. Mitt.). Die Wasserkapazität der bereits mehr verfestigten und humifizierten Haldenpartien im Bereich von Bäumen und Büschen zeigte – ersten Messungen zufolge – einen Anstieg bis auf das Doppelte derjenigen im Bereich der offenen Haldenteile (was mit den Schlußfolgerungen von STALLJAN 1983 korrespondiert).

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

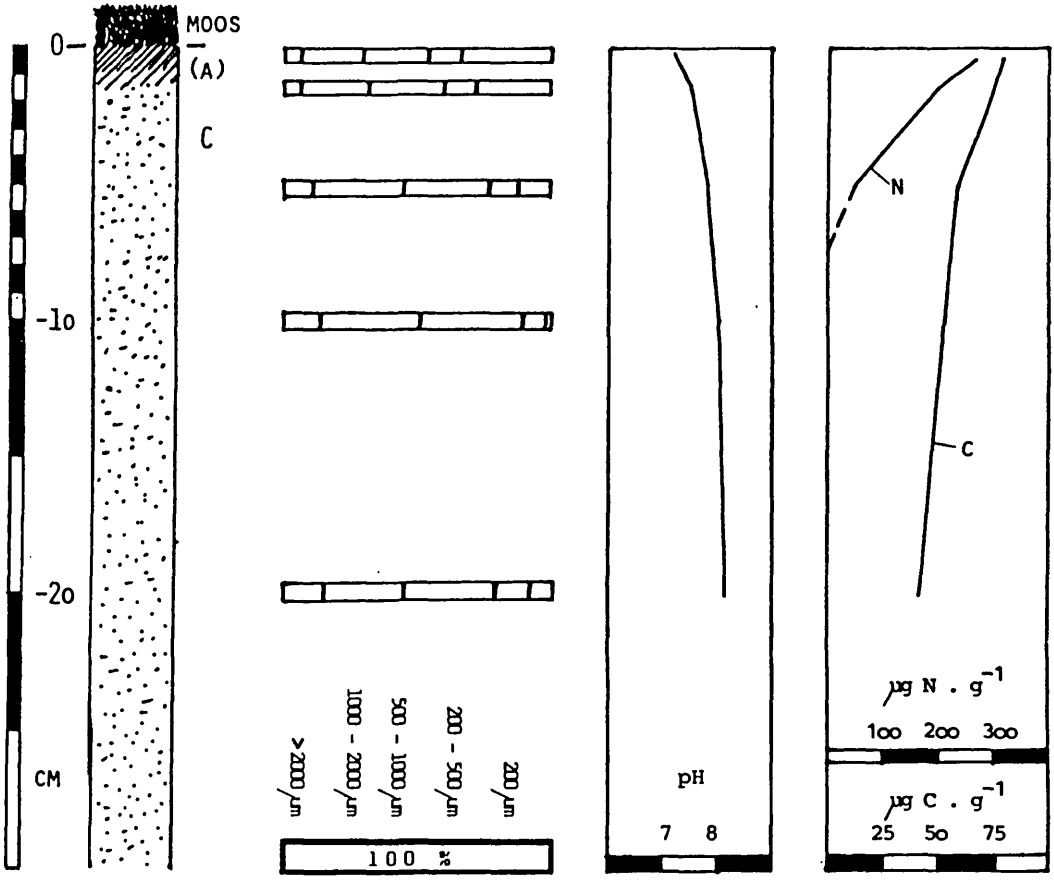


Abb. 6: Vereinfachtes Profil des Schlackensubstrates auf der Haldenfläche. Angegeben sind Größenklassen der Körnung; pH; C– und N–Gehalt. Der Phosphatgehalt (nicht dargestellt) lag unterhalb der Meßgrenze.

Tiefe (cm)	20.5.	12.7.	27.8.	10.10.
–5	11.6	3.9	11.4	10.0
–15	–	7.4	15.7	8.7
–25	7.7	12.2	26.7	9.7

Tab. 2: Substratwassergehalt in % Trockengewicht der Schlacke in verschiedenen Bodentiefen zu unterschiedlichen Zeitpunkten des Jahres 1986.

4. Die Rolle der Moosschicht

Die Rolle der Moosschicht wird in der Literatur durchaus kontroversiell betrachtet. Eine mehr oder minder stabile Moosschicht (die von dem Moosanflug im

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

	auf Schlacke	auf Schlacke + Moos
Reseda	0	1
Besenginster	0	0
Dauerlupine	14	21
Melilotus albus	0	8
Chaenarhinum	0	* 7
Gelbklee	3	20

* z.T. evtl. im Keimvorrat des Substrats

Tab. 3: Anzahl der gekeimten Samen (von 25 ausgelegten) auf offenem bzw. moos-bedecktem Schlackensubstrat (Laborversuch). Die Samen von *Reseda* und *Chaenarrhinum* wurden im Freiland gesammelt; die übrigen stammen aus dem Sortiment der Fa. Austro-Saat

Cladonia pyxidata
Peltigera rufescens

Rhacomitrium canescens
Oncophorus virens

Achillea millefolium
Betula pendula kl
Epipactis atrorubens
Hieracium pilosella
Leontodon hispidus
Medicago lupulina
Pinus sylvestris kl
Reseda lutea
Stenacits annua (= E.a.)
Sanguisorba minor

Tab. 4: Im bzw. auf dem geschlossenen Moospolster der Haldenfläche wachsende Pflanzen. (kl...Keimling)

Primärstadium der Haldenbesiedlung zu unterscheiden ist) findet sich auf vielen vergleichbaren Standorten in fortgeschrittenen Sukzessionsstadien (BRIERLEY 1956, ZEITZ 1965, WESTON et al. 1965, CARVEY et al. 1977, HÜBSCHMANN 1985, KIESEL et al. 1986; vgl. auch PETIT 1980). Während jedoch etwa SCHRECKENTHAL (1928) und MÄGDEFRAU und WUTZ (1951) ein Zurückhalten des Wassers durch die oberflächliche Moosschicht und in Folge dessen ein vermindertes Wasserangebot für die Wurzeln der höheren Pflanzen zu beobachten meinten, stellte BAYFIELD (1983) demgegenüber eine verminderte Austrocknung von oberflächlich moosbedecktem Substrat fest. Eigene Modellversuche (Abb. 7) zeigten erst bei großen Wassermengen einen positiven Effekt der Moosdecke hinsichtlich der Wasserretention (das vom Substrat abgehobene Moos kann ca. 1 ml Wasser pro Quadratzentimeter absorbieren), was mit den Resultaten von WOLF (1985) konform geht; dieser konnte beobachten, daß "die verdunstungshemmende Wirkung der Moos- und Flechtenvegetation erst nach Starkniederschlägen und bei vollständiger Bodendurchfeuchtung wirksam wird". Dagegen erscheint jedenfalls die Samenkeimung sowohl im Experiment wie auch am

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Standort selbst (Tab. 3,4) durch die Moosschicht offenbar begünstigt. Das Auftreten von Wurzeln, die unmittelbar unterhalb der Moosdecke kabelartig über mehrere Meter hinweg situiert sind, dürfte – abweichend von der Auffassung von RICHARDSON (1958), der eine ähnliche Beobachtung beschreibt – nicht (nur) eine Folge der protektiven, wasserhaltenden Funktion der Moosschicht, sondern vielmehr eines Zusammenwirkens der genannten Faktoren mit dem hier erhöhten Nährstoffangebot (vgl. Abb. 6) sein.

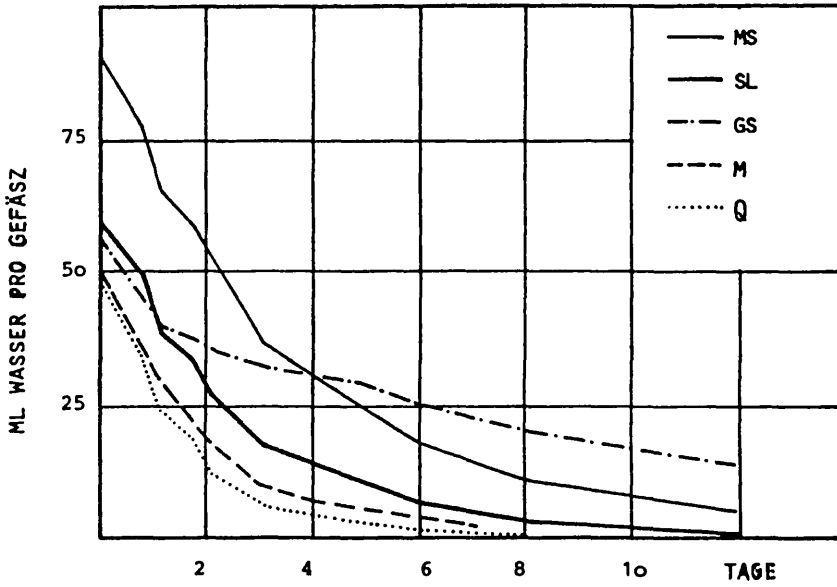


Abb. 7: Wasserverlust (Evaporation) verschiedener Substrate in der Zeit (Modell-versuch). MS, M...moosbedeckte Schlacke; SL...offene Schlacke; GS...Einheitserde; Q...Quarzsand. Alle Gefäße wurden zu Beginn des Versuches wassergesättigt (Ausnahme: Serie M; hier wurde eine Gießmenge von 50 ml appliziert).

5. Flora und Vegetation

Flora und Vegetation des Standortes wurden ausführlich von PUNZ et al. (1986) sowie PUNZ (1987a) besprochen, sodaß sich die hier gegebenen Ausführungen auf eine eher summarische Wiedergabe beschränken können.

Die Artengarnitur der Halde setzt sich aus insgesamt 95 Blütenpflanzen, 1 Farn, 6 Moosen und 2 Flechten zusammen.

Soziologisch dominiert auf der Halde eine (Halb-) Trockenrasenvergesellschaftung in zwei Varianten. Die eine, flächenmäßig vorherrschend kommt auf ebenen bis schwach geneigten Flächen ohne Baum- bzw. Laubbedeckung vor und weist eine hohe Dominanz von *Tortella inclinata* sowie *Leontodon hispidus*, *Hieracium pilosella*, *Sanguisorba minor* sowie *Pinus*-Keimlingen auf; die andere Variante ist durch *Leontodon hispidus*, *Hieracium pilosella*, *Achillea millefolium* und *Solidago virgaurea*, unter allmählichem Ausfall des Mooses, gekennzeichnet; sie entspricht den Mulden

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

sowie dem allmählichen Übergang zum "Baumschatten". Im Bereich der Kante/ des Vorfelds liegt ein "Initial" mit schwacher Ruderalisierung; die Flanken sind teils nur spärlich bewachsen, teils weisen sie eine beträchtliche Artenvielfalt auf. Die schwach entwickelte Baumschicht setzt sich hauptsächlich aus *Pinus sylvestris*, *Betula pendula*, *Larix decidua* und *Populus* sp. zusammen und geht wohl ausschließlich auf die Rekultivierungsmaßnahmen zurück.

In Ergänzung zu den bei PUNZ (1987b) gemachten Angaben ist in Tab. 5 der Bewuchs auf der frisch geschütteten ("gelben") Schlacke wiedergegeben.

Bryum argenteum
Tortula inermis

Betula kl
Chenopodium
Fraxinus kl
Pinus kl
Reseda lutea
Robinia kl
Salix kl
Senecio viscosus
Taraxacum officinale

Tab. 5: Bisher (Stand: Sommer 1987) beobachteter Bewuchs auf der frisch geschütteten ("gelben") Schlacke. (kl...Keimling)

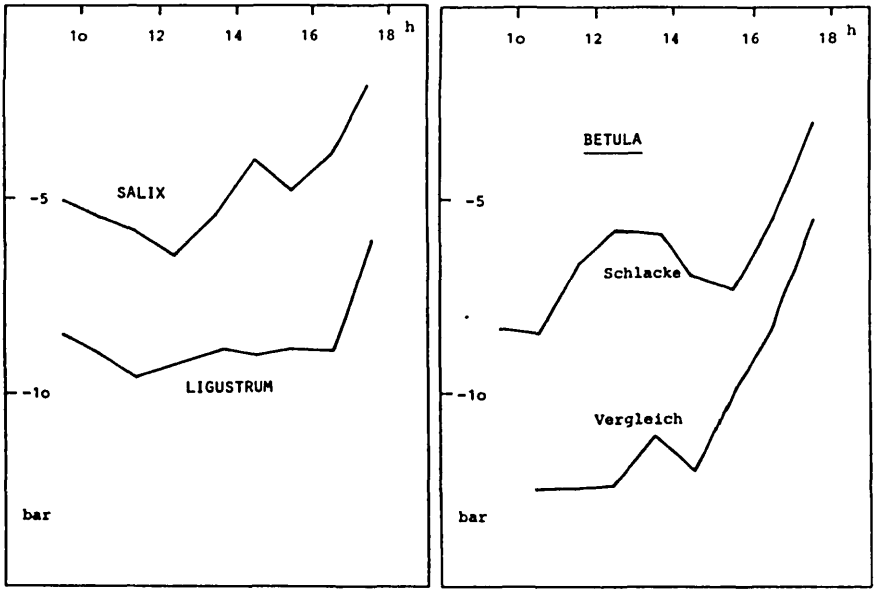


Abb. 8: Verlauf der Xylemsaugspannungen von *Salix*, *Ligustrum* und *Betula* auf der Haldenfläche; die Werte von *Betula* "Vergleich" stammen von einer Birke, welche benachbart auf "natürlichem" (Waldboden) Substrat stockt. Zur Methodik vgl. PUNZ et al. (1984). Daten vom Juli 1986.

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

6. Ökophysiologie der Pflanzen am Standort

Nur wenige Ergebnisse gehen über die bei PUNZ et al. (1984) referierten Angaben hinaus. In Abb. 8 sind einige typische Saugspannungstagesgänge wiedergegeben, welche unterschiedliche Saugspannungsstrategien bei *Salix*, *Ligustrum* sowie *Betula* (Halde und Vergleichsstandort) nahelegen.

7. Kationengehalte

In Tabelle 6 sind einige Kationengehalte von Haldenpflanzen wiedergegeben (die Werte für Eisen und Mangan sind der Arbeit von PUNZ et al. 1986 entnommen). Vergleicht man die Resultate mit den Angaben bei BERGMANN, NEUBERT (1976) und FINCK (1982), so kommt man zu folgenden Ergebnissen:

Pflanze	StO	Zn	Cu	K	Ca	Na	Mg	K/Ca	K/Na	Fe	Mn	Fe/Mn
Pinus Nj1	H	3.59	0.35	94.63	349.13	341.30	174.07	0.27	0.28	14.32	1.89	7.56
Nj2	H	2.34	0.09	946.29	64.84	382.61	144.44	14.59	2.47	8.69	5.21	1.67
Nj3	H	1.82	0.60	792.84	44.89	543.48	190.95	17.66	1.46	3.12	4.37	0.71
Picea	H	2.43	0.20	332.48	299.25	317.39	133.33	1.11	1.05	5.14	2.66	1.93
	nH	1.19	0.09	204.60	324.19	257.39	87.65	0.63	0.79	3.17	0.75	4.25
Clematis	H	2.63	0.54	690.54	1147.13	279.13	1304.53	0.60	2.47	17.42	6.90	2.52
	S	0.98	0.09	511.51	324.19	253.04	170.78	1.58	2.02	4.82	1.53	3.15
Quercus kl	H	0.64	0.08	2327.37	274.31	232.61	369.55	8.48	10.01	6.63	11.26	0.59
	S	0.28	0.06	112.53	698.25	296.52	63.37	0.16	0.38	0.68	3.55	0.19
Betula	H	19.16	0.46	460.36	698.25	283.48	851.03	0.66	1.62	13.14	10.40	1.26
	nH	8.35	0.20	434.78	673.32	410.00	765.43	0.65	1.06	10.73	6.07	1.77
	S	5.60	0.33	946.29	224.44	247.83	202.47	4.22	3.82	7.72	12.86	0.60
Sorbus	H	2.83	0.28	946.29	1047.38	409.57	1341.56	0.90	2.31	10.48	4.86	2.16
	S	2.19	0.52	1176.47	723.19	254.35	454.32	1.63	4.63	7.15	12.15	0.59
Chaenarrh.	H	1.44	0.25	690.54	349.13	0.00	0.00	1.98	>>	12.33	2.02	6.10
	S	3.32	0.66	537.08	349.13	0.00	0.00	1.54	>>	5.29	0.00	>>
Erigeron	H	5.32	0.60	946.29	523.69	463.91	281.07	1.81	2.04	32.13	11.33	2.84
	nH	3.13	0.85	1918.16	748.13	537.83	432.10	2.56	3.57	11.33	4.55	2.49
Eupatorium	H	3.58	0.28	997.44	723.19	323.91	683.13	1.38	3.08	10.23	3.68	2.78
	S	0.99	0.11	306.91	174.56	213.91	75.31	1.76	1.43	2.71	1.88	1.44

Tab. 6: Kationengehalte ausgewählter Pflanzen von der Haldenfläche (H) und von einem benachbarten Schlag mit Waldboden (S). Zur Bestimmung vgl. PUNZ et al. (1986a); der genannten Arbeit sind auch die Werte für Eisen und Mangan entnommen.

Von den untersuchten Kationen liegen Magnesium ("normal" 1 – 10 ppm), Kalzium ("normal" 0.5 – 50 ppm) und Kalium ("normal" 5 – 50 ppm) in einem durchschnittlichen Bereich. Mäßig erhöht sind die Werte für Kupfer ("normal" 2 – 20/25 ppm) und Natrium (die gemessenen Werte entsprechen etwa denjenigen für natriumliebende Pflanzen). Die Werte für Zink dagegen liegen deutlich höher als der Durchschnitt (2/20 – 100 ppm) und erreichen einen Konzentrationsbereich, der für manche Kulturpflanzen bereits als toxisch gilt. Die hohen Werte bei *Betula* könnten auf die besondere Fähigkeit dieser Pflanzenart zur Zinkmobilisierung zurückzuführen

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

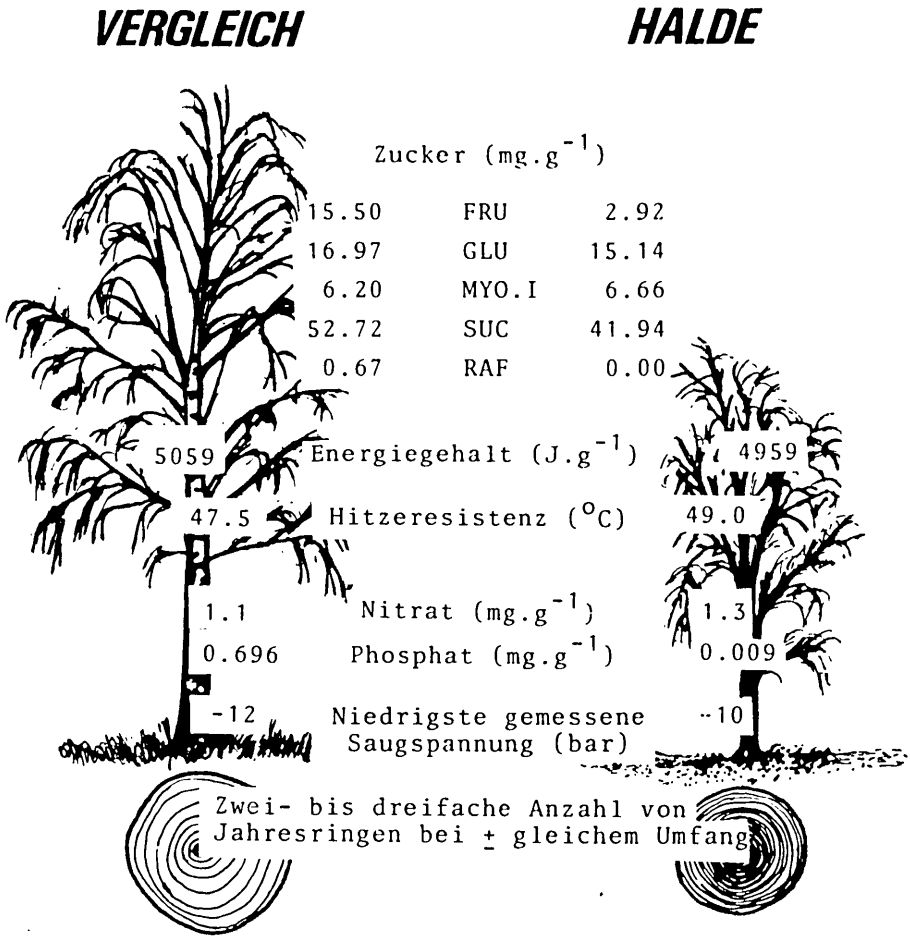
sein (BRECKLE & KAHLE, 1985). Generell gilt, daß die Kationengehalte der Haldenpflanzen höher liegen als diejenigen der Pflanzen am Vergleichsstandort. Die berechneten Ionenquotienten zeigen – wohl auf Grund der geringen Zahl untersuchter Arten und der Familienspezifität derartiger Verhältniszahlen vgl. KINZEL (1982) – keine deutliche Tendenz; erwähnenswert ist das erhöhte Ca/Mg-Verhältnis der Haldenpflanzen gegenüber der Kontrolle, wobei etwa bei *Pinus*-Nadeln ein Anstieg der Werte von jüngeren zu älteren Nadeljahrgängen zu beobachten ist.

Ergebnisse und Diskussion

Die wichtigsten Faktoren bzw. Gründe, welche das Pflanzenwachstum auf Halden erschweren (bzw. in manchen Fällen sogar gänzlich unmöglich machen können) faßt KNABE (1965) folgendermaßen zusammen: Mechanische Störung; Fehlen eines Bodens, Fehlen von Humus, Nährstoffmangel, extreme Bodenreaktion, toxische Komponenten, ungünstige physikalische Substrateigenschaften, Erosion u.a.m. Der Großteil der angeführten Faktoren trifft auch für die untersuchte Halde in mehr oder minder großem Ausmaß zu.

So stellt, wie ausführlich dargelegt wurde, die hohe Wärmeleitfähigkeit und die dadurch bedingte Überhitzung des offenen Schlackensubstrates in der Anfangsphase der Besiedlung fraglos einen beträchtlichen Streßfaktor dar (vgl. hiezu auch STALLJAN 1983, WOLF 1985). Bereits eine geringfügige Bedeckung des Schlackensubstrats – welche bei natürlicher Sukzession freilich u.U. erst nach verhältnismäßig langer Zeit vorhanden sein wird – ist jedoch imstande, die extremen Temperaturverhältnisse deutlich zu mildern (RICHARDSON 1958, SCHIECHTL 1974, STALLJAN 1973, PUNZ et al. 1984, WOLF 1985, PUNZ 1987a,b; dagegen BAMMERT 1985). Einen weiteren, nachhaltig begrenzenden Faktor für das Pflanzenwachstum stellt der geringe Wasservorrat des Schlackensubstrats dar, welches einerseits einer verstärkten oberflächlichen Austrocknung unterliegt, andererseits aber auch des Kontakts zum Grundwasser vollständig entbehrt. In Übereinstimmung mit den Messungen von STALLJAN (1983) fand sich auch auf der untersuchten Halde eine relativ konstante Durchfeuchtung tieferer "Boden"bereiche (wahrscheinlich in Folge der herabgesetzten Wasserverdunstung), sodaß Pflanzen, welche mit ihrem Wurzelsystem derartige Schichten einmal erreicht haben, bessere Chancen zum Überdauern der kritischen Trockenperiode (welche am Untersuchungsstandort eher im niederschlagsärmeren Spätfrühling zu suchen sein dürfte) besitzen. Eine zusätzliche Möglichkeit zur Acquisition von Wasser, vor allem aber von Mineralstoffen, scheinen die meterlangen, kabelartigen Wurzeln unmittelbar unterhalb der Moosschicht (welche große Partien der Halde bedeckt und dem "moos- und flechtenreichen Phanerophytenstadium" auf Rohböden bei (WOLF) 1985 zu homologisieren sein dürfte) darzustellen, welche bereits von RICHARDSON (1958) beobachtet und beschrieben worden sind. Das Hervorheben ihrer Bedeutung zur Nährstoffversorgung (gegenüber RICHARDSON, welcher eher auf die wasserversorgende Funktion der genannten

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at



Kationen

37.0	Kalium	18.0
9.0	Calcium	28.0
5.7	Natrium	20.7
4.9	Magnesium	20.7
0.431	Eisen	0.733
0.706	Mangen	0.571
0.366	Zink	1.253
0.021	Kupfer	0.029

Abb. 9: Gegenüberstellung untersuchter Parameter von *Betula* (Blattproben) der Standorte "Halde" und "Vergleich" (s. Legende z. Abb. 8). Die Auszählung der Jahresringe an Stammquerschnitten ergab für den Vergleichsstandort -11, für den Haldenstandort -26 – 28 Jahresringe bei annähernd gleichem Stammdurchmesser. (Fru...Fructose, Glu...Glucose, Myo.I...Myo – Inositol, Suc...Saccharose, Raf...Raffinose)

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Wurzeln unterhalb der als protektiv gegenüber oberflächlicher Verdunstung aufgefaßten Moosschicht – vgl. auch BAYFIELD 1983 – fokussiert) fußt vor allem auf den dargelegten Analysen (eigene sowie KARASEK 1980 und VOEST, unveröff.), welche den drastischen Mineralstoff- und Humusmangel dokumentiert. Dieser zählt fraglos zu jenen Faktoren, welche das Pflanzenwachstum auf der Halde am nachdrücklichsten konterkarieren (so auch GEMMELL 1975). (Eine zeitweilige Düngung ist zwar imstande, das Pflanzenwachstum positiv zu beeinflussen; bei Beendigung der Düngegaben kommt es jedoch zu einem Zusammenbrechen der Bestände; KARASEK, schriftl.Mitt.) Demgegenüber dürfte der mäßig (Kupfer, Natrium) bis stark (Eisen, Mangan, Zink) erhöhte Schwermetallgehalt der Haldenpflanzen wohl eine geringere Rolle spielen; eine gelegentlich in der Literatur beschriebene nachteilige Wirkung der hohen Eisen-(und Mangan)konzentrationen im Substrat (BURGHARDT 1956, RHOADS 1971, WONG & TAM 1977; vgl. auch FOY et al. 1978) konnte nicht schlüssig nachgewiesen werden.

Als Konsequenz aus den besprochenen Faktoren zeigt sich auf der Haldenfläche das Bild einer heterogenen Vegetationsbedeckung, die von den gepflanzten Bäumen und Sträuchern einerseits, von der großflächigen Moosbedeckung andererseits geprägt ist. Sowohl der Vergleich von Luftbildern wie auch die gemessenen Zuwächse (Angaben der VOEST, unveröff., wiedergegeben bei PUNZ 1987b) zeigen eine extrem geringe Zunahme der Vegetation.

Paradigmatisch für die Streßsituation sollen hier einige untersuchte Parameter bei *Betula* vorgestellt werden (Abb. 9). Die Energiegehalte der Blätter sind vermindert, eine typische Reaktion auf Streß (MAIER et al. 1979, 1980; vgl. die ausführlichen Literaturangaben bei PIPP 1986). Die Blattzucker zeigen neben einem veränderten Verhältnis der Einzelzucker insgesamt verminderte Werte, was wohl ebenfalls eine Folge des streßbedingten energetischen Mehraufwandes darstellt; weitergehende Aussagen können bei der geringen Probenzahl und dem bekannten komplexen Ursachenmuster für Verschiebungen im Kohlenhydratstoffwechsel wohl kaum gemacht werden (vgl. hiezu etwa ALBERT 1982, TROCKNER & ALBERT 1986). Entsprechend der erhöhten Temperaturbelastung auf der Halde ist hier auch die Temperaturresistenz der Pflanzen erhöht; dagegen erlauben sich die Haldenpflanzen nur geringere Saugspannungen als diejenigen am Vergleichsstandort (PUNZ et al. 1984). Annähernd gleichstarke Stämme vom Halden- und Vergleichsstandort weisen Unterschiede bis zur doppelten Zahl der Jahresringe auf.

Für die Rekultivierung von Halden erscheint es (nicht zuletzt aus finanziellen Erwägungen) heute vielfach günstiger, die natürliche Sukzession zu fördern (bzw. "nachzuahmen"; vgl. JOCHIMSEN 1987), wobei Hochofenschlacken den eher schwer zu begrünenden Substraten zuzurechnen sind (SCHIECHTL 1980). Eine der wesentlichen praktischen Schlußfolgerungen aus dieser Arbeit wäre es jedenfalls, das Aufreißen der flächigen Moosdecke (welche, wie gezeigt werden konnte, eine eher positive, stabilisierende Wirkung auf weitere Vegetationsausbildung besitzt) nach Möglichkeit hintanzuhalten (Motorradfahrer!). Darüber hinaus erscheint die vorsichtige Förderung einer Humusanreicherung, etwa durch gezielte Aussaat produktiver

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Pflanzen (welche zum Biomassezuwachs beitragen können) zweckmäßig. Die diesbe-züglichen Untersuchungen (kurz referiert bei PUNZ 1987b) sollen in einer späteren Arbeit vorgestellt werden.

Dank

Herrn E. DOMSCHITZ für die Erstellung eines Modells zur EDV-gestützten Auswertung der "Temperaturwelle".
Herrn Dr. M. ENGENHART für seine Hilfe bei den floristischen Erhebungen sowie Messungen der Bodenwasserkapazität.
Herrn WOR Dr. G. DRAXLER für das Auszählen der Jahresringe.
Herrn Univ. Prof. Dr. R. TÜRK (Flechten) und Herrn Mag. Dr. H. ZECH-MEISTER (Moose) für Pflanzenbestimmungen.
Frau Dr. G. MESSNER und Herrn Dr. W. VOGEL für Aufschluß und Messung der Kationenproben.
Frau Dr. I. WIESHOFER und Herrn Dr. P. ENGLMAIER für Aufarbeitung und Messung der Zuckerproben.
Frau Dr. S. WIENER für Phosphat- und Nitratbestimmungen.
Frau Dr. B. WIELÄNDER für Energiegehaltsbestimmungen.
Der VOEST-Leoben, insbesondere Herrn OFM Dipl. Ing. KARASEK, für ihre Erlaubnis zur Durchführung der Untersuchungen und für freundliche Unterstützung.
Herrn Univ. Prof. Dr. K. BURIAN und der Österreichischen Akademie der Wissenschaften für ihre Unterstützung.

Literatur

ALBERT R., 1982: Halophyten. In: KINZEL, H. Pflanzenökologie und Mineral-stoffwechsel, 33-213. Ulmer, Stuttgart.

BAMMERT J., 1985: Floristische Beobachtungen bei der Neubesiedlung künstlicher Steilhänge in der Molasse am Bodensee. Mitt. bad. Landesver. Naturkde. Naturschutz N.F. 13: 349-383.

BAYFIELD N. G., 1983: Some effects of mosses on soil moisture. Natural Environmental Research Council, Institut of Terrestrial Ecology, Annual Report 1982, 29-31.

BERGMANN W. & NEUBERT P., 1976: Pflanzendiagnose und Pflanzenkrankheiten. VEB G. Fischer, Jena.

BIEBL R., 1951: Bodentemperaturen unter verschiedenen Pflanzengesellschaften. Sber.Österr.Akad.Wiss., Math.Naturw.Kl. 160, 71-90.

BOBEK H., KURZ W., ZWITTKOVITS F. & FESL M., 1971: Klimatypen. Bl. III/9 des "Atlas der Republik Österreich", hrsg. von der Kommission für Raum-forschung der ÖAW. Freytag-Berndt & Artaria, Wien.

BRAUN-BLANQUET J., 1961: Die inneralpine Trockenvegetation. Fischer, Stuttgart.

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

BRECKLE S.-W. & KAHLE H., (Hrsg.), 1985: Schwermetalle und saure Depositionen (Symposium). Bielefelder Ökologische Beiträge 1.

BRIERLEY J.K., 1956: Some preliminary observations on the ecology on spoil heaps. J. Ecol. 44, 383-390.

BURGHARDT H., 1956: Beiträge zum Eisen-Mangan-Antagonismus der Pflanzen. Flora 143, 1-30.

BURIAN K., MAIER R., SIEGHARDT H. & PUNZ W., 1983: Ökologische Übungen für Fortgeschrittene - Protokoll. Inst. f. Pflanzenphysiologie, Univ. Wien.

CARVEY K., FARRAR D. R. & GLENN-LEWIN D. C., 1977: Bryophytes and revegetation of coal spoil in southern Iowa. Bryologist 80, 630-637.

EHRENDORFER F., 1973: Liste der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. Fischer, Stuttgart.

ENGLMAIER P., 1986: Identification and quantitative estimation of plant cyclitols and polyols by gas chromatography. Fresenius Z. Anal. Chem. 324, 338-339, Springer, Wien-Heidelberg-New York.

FINCK A., 1982: Pflanzenernährung in Stichworten. Hirt, Kiel.

FINK J., 1969: Nomenklatur und Systematik der Bodentypen Österreichs. Mitt. Österr. Bodenkundl. Ges. 13.

FOY C. D., CHANEY R. L. & WHITE M. C., 1978: The physiology of metal toxicity in plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 29, 511 - 566.

FRAHM J.-P. & FREY W., 1983: Moosflora. Ulmer, Stuttgart.

FRANZ H., 1960: Feldbodenkunde. Fromme, Wien.

GEMMELL R. P., 1975: Establishment of grass on waste from iron smelting. Environ. pollut. 8, 35-44.

HÜBSCHMANN v. A., 1985: Moos- und Flechtenbewuchs. In: Primäre Sukzession auf kiesig-sandigen Rohböden im Rheinischen Braunkohlenrevier, hrsg. v. WOLF, G.: Schr.Reihe Vegetationskunde 16, 73-77.

JOCHIMSEN M., 1987: Vegetation development on mine spoil heaps - a contribution to the improvement of derelict land based on natural succession. In: MIYAWAKI A., BOGENRIEDER A., OKUDA S. & WHITE J., (Hrsg.): Vegetation Ecology and Creation of New Environments, Proc. Int. Symp. Tokyo, hrsg. v. 245-252, Tokai Univ. Press.

KARASEK S., 1980: Haldenrekultivierungen im Rauchschadensgebiet Leoben-Donawitz. Mitt. Forstl. B.-Versuchsanstalt Wien 131, 113-123.

KIESEL G., MAHN E. G., DEIKE U., & TAUCHNITZ J. G., 1986: Zum Einfluß des Deponiestandortes auf Vegetationsstruktur und Verlauf der Sekundärsukzession. 2. Deponien industrieller Abprodukte. Hercynia N.F. 23, 212-244.

KINZEL H., 1982: Pflanzenökologie und Mineralstoffwechsel. Ulmer, Stuttgart.

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

KNABE W., 1965: Observations on world-wide efforts to reclaim industrial waste land. In: GOODMAN G. T., EDWARDS R. W. & LAMBERT J. M. (Hrsg.): Ecology and the industrial society, 5. Symp. Br. Ecol. Soc., 263-296. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

KOLL D., 1962: Der Beginn des pflanzlichen Lebens auf einer Dortmunder Hochofenschlackenhalde. Abh. L.-Mus. Naturkde. Münster/Westfalen 24, 23-28.

MÄGDEFRAU K. & WUTZ A., 1951: Die Wasserkapazität der Moos- und Flechtendecke des Waldes. Forstwiss. Cbl. 70, 103-117.

MAIER R., ALTGAYER M., PUNZ W., RAMMER Chr., SCHINNINGER R., SIEGHARDT H., SLAD H. & WINTER Chr., 1979: Wasserhaushalt und Produktivität staubbelasteter Pflanzen in der Umgebung einer Zementfabrik in Kärnten. Carinthia 169/89, 167-193.

MAIER R., SIEGHARDT H., PUNZ W., SLAD H., ENGENHART M., DOMSCHITZ E. & NAGL A., 1980: Ökophysiologische Untersuchungen in industriell belasteten Pflanzenbeständen im Raume Gailitz/Kärnten. Carinthia 170/90, 279-299.

PETIT D., 1980: La vegetation des terrils du nord de la France - Ecologie, Phytosociologie, Dynamisme. These Univ. Sci. Techn., Lille.

PIPP E., 1986: Energiegehalte pflanzlicher Substanz. Diss. Univ. Innsbruck.

POELT J., 1974: Bestimmungsschlüssel europäischer Flechten. Cramer, Vaduz.

PUNZ W., 1987a: Zur Vegetation von Hochofenschlackenhalden. 4. Österr. Botanikertreffen Wien (= Linzer Biol. Beitr., in pr.).

PUNZ W., 1987b: Zur Ökologie von Pflanzen auf Hochofenschlackenhalden. 8. Tagung ÖAPP Salzburg.

PUNZ W., SCHINNINGER R., DOMSCHITZ E., HOF I. & TEUSCHL G., 1984: Untersuchungen auf rekultivierten Halden im Raum Leoben/Donawitz. Sber. Österr. Akad. Wiss., Math.-Naturw. Kl. I., 193, 143-159.

PUNZ W., ENGENHART M. & SCHINNINGER R., 1986a: Zur Vegetation einer Eisenerzschlackenhalde bei Leoben/Donawitz. Mitt. naturw. Ver. Steiermark 116, 205-210.

PUNZ W., SCHINNINGER R. & ENGENHART M., 1986b: Zum Schwermetall-gehalt von Pflanzen einer Eisenerzschlackenhalde bei Leoben/Donawitz. Mitt. naturw. Ver. Steiermark 116, 211-220.

REHDER H., 1965: Die Klimatypen der Alpenkarte im Klimadiagramm- Weltatlas (WALTER und LIETH) und ihre Beziehungen zur Vegetation. Flora B 156, 78-93.

RHOADS F. M., 1971: Relations between Fe in irrigation water and leaf quality of cigar wrapper tobacco. Agron. J. 63, 938-940.

RICHARDSON J. A., 1958: The effect of temperature on the growth of plants on pit heaps. J. Ecol. 46, 537-546.

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

SCHIECHTL H. M., 1974: Sicherungsarbeiten im Landschaftsbau. Callweg, München.

SCHIECHTL H. M., 1980: Bioengineering. Univ. of Alberta Press, Edmonton, Canada.

SCHMIDT-LORENZEN R., 1968: Mikromorphologische Untersuchungen einiger Bodenprofile aus Ruhrkohlenbergematerial. In: KNABE W., MELLINGHOF K., MEYER F., SCHMIDT-LORENZEN R. (Hrsg.): Haldenbegrünung im Ruhrgebiet. Schr.Reihe Siedlungsverband Ruhrkohlenbezirk, 22, 40-53.

SCHRECKENTHAL G., 1928: Bodenkundliche Untersuchungen im Aufforstungs-gebiete des Marchfelds. Cbl. Ges. Forstwesen 54, 377-399.

SCHROEDER D., 1984: Bodenkunde in Stichworten. Hirt, Kiel.

SLAD H. & MAIER R., 1983: Untersuchungen zum Wasserhaushalt an Pflanzen der "Heißländen" im Augebiet der Wiener Lobau. Wiss. Mitt. NÖ Landesmus. 2, 135-159.

STALLJAN E., 1983: Standortfaktoren einer Abraumhalde des Steinkohlenbergbaus. I. Mikroklima, Verwitterung und Wasserhaushalt. Angew. Bot. 57, 301-310.

TROCKNER V. & ALBERT R., 1986: Ionenverteilung und Inhaltsmuster in Blättern streusalzbelasteter Wiener Alleebäume. II. Stickstoff und lösliche Kohlehydrate. Flora 178, 391-408.

WALTER H. & LIETH H., 1967: Klimadiagramm-Weltatlas. Jena.

WESTON R. L., GADGIL P. D., SALTER B. R. & GOODMAN G. T., 1965: Problems of Revegetation in the Lower Swansea Valley, an Area of Extensive Industrial Derelictation. In: GOODMAN G.T., EDWARDS R.W., LAMBERT J.M. (Hrsg.): Ecology and the industrial society, 5. Symp. Br. Ecol. Soc., 297-325. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

WOLF G., (red.), 1985: Primäre Sukzession auf kiesig-sandigen Rohböden im Rheinischen Braunkohlenrevier. Schr.Reihe Vegetationskunde 16, Bonn-Bad Godesberg.

WONG M. H. & TAM F. Y., 1977: Soil and vegetation contamination by iron-ore tailings. Environ.Pollut. 14, 241-254.

ZEITZ W.-D., 1965: Vegetationskundliche Erhebungen über den natürlichen Bewuchs und die künstliche Begrünung der Bergehalden II/VI/IX und III/V des Steinkohlen-Bergwerkes Graf Bismarck in Gelsenkirchen-Buer. Abh. Landesmus. Naturkde. Münster/Westfalen 27(2), 1-35.

Manuskript eingelangt: 1989 03 29

Anschrift des Verfassers: Dr. Wolfgang PUNZ, Institut für Pflanzenphysiologie, Universität Wien, Althanstraße 14, A-1091 Wien.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Verhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Wien. Frueher: Verh.des Zoologisch-Botanischen Vereins in Wien. seit 2014 "Acta ZooBot Austria"

Jahr/Year: 1989

Band/Volume: 126

Autor(en)/Author(s): Punz Wolfgang

Artikel/Article: Ökologische Untersuchungen auf rekultivierten Hochofenschlackenhalden bei Leoben 139-158