©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Carinthia II	171./91. Jahrgang	S. 201–222	Klagenfurt 1981

Aus dem Institut für Pflanzenphysiologie der Universität Wien

Zur Ökologie einiger Pflanzen auf den schwermetallhaltigen Halden in Bleiberg/Kärnten

Von Rudolf MAIER, Wolfgang PUNZ, Helmuth SIEGHARDT, Eduard DOMSCHITZ, Alois NAGL, Susanna WIENER, Andrea KULHANEK und Wolfgang MÜHLEBNER

Mit 13 Abbildungen und 2 Tabellen

Zusammenfassung: In Bleiberg, Kärnten, befinden sich zahlreiche Halden, die aus dem Bergbau und der Verarbeitung schwermetallhaltiger Erze stammen. Die Untersuchungen der vorliegenden Arbeit wurden im Bereich der Rudolfseilbahnhalde durchgeführt. Zur Beschreibung der ökologischen Situation am Standort wurden verschiedene Methoden angewendet: Messung des Klimas, Aufnahme der Vegetationsdichte, Erfassung von Wurzelprofilen, Untersuchungen zum Wasserhaushalt sowie Schwermetallanalysen bei Haldenpflanzen. Die Besiedlung der Halde, ca. 50 Jahre nach der letzten Schüttung, bleibt auf dem unverfestigten Grobschutt einzelnen Pionierposten von *Silene vulgaris* ssp. *prostrata* und *Erysimum sylvestre* vorbehalten. Beide Pflanzen sind im allgemeinen als Tiefwurzler anzusprechen, wenngleich *Erysimum* durch das Hangrutschen im Gegensatz zu *Silene* eine mehr oder weniger hangparallel gerichtete Wurzel aufweist, was sich letztlich auch im unterschiedlichen Wasserhaushalt der Pflanze niederschlagen dürfte. An weniger extremen Haldenabschnitten (klimatischer oder edaphischer Natur, feinmaterialreicher) begleiten *Silene* und *Erysimum* noch *Minuartia verna, Pinus sylvestris, Epipactis atrorubens, Scrophularia canina, Poa alpina, Sedum album* u. a. Der Mangelfaktor Wasser, der Schwermetallreichtum des Untergrundes wie auch die mechanische Beanspruchung der Pflanzen auf den rutschenden bzw. nur teilweise verfestigten Halden sind die Kriterien für die Strategie der Besiedlung bzw. der Überlebensfähigkeit auf den Halden.

Summary: The specific ecophysiological situation of plants growing on metalliferous mine spoil was investigated by means of climatic measurements, heavy metal content analysis, several methods to determine water balance of plants etc. in order to assess possible criteria for plant survival on such sites.

EINLEITUNG

Der Bleiberger Erzberg, urkundlich belegtes Bergbaugebiet seit 1333 (WIESSNER 1951), trägt auf seinem Südhang zahlreiche Aufschüttungen

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

bergbaulicher Herkunft. Diese z. T. mächtigen steilflankigen Halden sind Extremstandorte hinsichtlich der Besiedlung durch Pflanzen. Der Grobschutt verleiht diesen Biotopen auf Grund des schlechten Wasserhaltevermögens den Charakter von edaphisch bedingten Trockenstandorten inmitten eines humiden Klimagebietes. Es ist jedoch nicht nur der Wasserfaktor, der diese Halden als Extremstandorte ausweist, sie unterscheiden sich von ähnlich zu bewertenden Schutthalden von Bergmassiven, Schuttkegeln und dgl. vor allem dadurch, daß das Kalkgestein zusätzlich erzführend ist. Vor allem sind es Blei-,Zink- und Molybdänerze (HOLLER 1953). Die ursprünglichen Verfahren der Erzgewinnung und -verhüttung ließen einen Metallgehalt im Haldenmaterial zurück, der z. T. eine neuerliche Wältigung wirtschaftlich rechtfertigt.

Zum Wasserfaktor als limitierende Komponente für die pflanzliche Besiedlung kommt also die Toxizität der Schwermetalle (Blei, bei höheren Dosen auch Zink) hinzu (über die Phytotoxizität von Schwermetallen siehe z. B. ERNST 1974, BURIAN 1980, MAIER 1980). Somit kommen nur wenige Pflanzenarten in Frage, die in der Lage sind, diese Halden zu besiedeln. Nur dort, wo das Haldenmaterial auf den steilen Hängen sich zumindest teilweise verfestigt hat und der Anteil an feinkörnigem Material höher ist, ist die Besiedlung so weit fortgeschritten, daß man von Pflanzengesellschaften sprechen kann (vgl. ERNST 1965). Die spezifische ökologisch/ökophysiologische Situation dieser Pionierpflanzen soll in der vorliegenden Untersuchung dargestellt werden.

METHODIK

Klima: Zur Messung des Kleinklimas wurde am Standort „Rutschende Halde" eine Dauerregistrierung von Boden- und Lufttemperatur (NTC-Fühler, Fa. YELLOW SPRINGS, kombiniert mit einem Schreiber und einem Meßstellenumschalter) eingesetzt. Die Registrierung der Strahlung erfolgte mittels Sternpyranometers und Strahlungsbilanzmessers. Momentanmessungen der Strahlung wurden mit dem LI-185 Quantum/Radiometer/Photometer (LAMBDA Instruments) durchgeführt. Am 26. und am 28. Juni 1980 wurde zusätzlich eine zweite Meßstation im Bereich der verfestigten Halde installiert (zum Standort der beiden Stationen vgl. Abb. 1). Ferner registrierte ein Thermohygrograph die 2-m-Temperatur und die dazugehörige Luftfeuchtigkeit. Für mikroklimatische Messungen der relativen Luftfeuchtigkeit wurde ein Meßfühler der Fa. VAISALA eingesetzt. In Verbindung mit den Transpirationsuntersuchungen wurde an den genannten Standorten die Verdunstung grüner Filterpapierscheibchen (3 cm Durchmesser) mittels Standardevaporimeters bestimmt. Die Messung der Wasserdampfabgabe erfolgte nach der Schnellwägemethode und mittels Porometrie, ergänzend wurde auch die Infiltrationsmethode („PAX") angewendet (vgl. MAIER et al. 1979). Die Saugspannungsmes-

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

sungen wurden nach dem Prinzip von SCHOLANDER (vgl. DUHME und RICHTER 1977) mit einem Gerät von SOIL MOISTURE Equ. durchgeführt. Weitere methodische Details finden sich bei MAIER et al. (1979).

Die Bleibestimmungen in Pflanzenproben erfolgten nach nassem Aufschluß mit Hilfe der Atomabsorptionsspektrophotometrie (vgl. ALBERT et al. 1976).

Zum histochemischen Bleinachweis wurden alkoholfixierte Wurzeln von *Minuartia* und *Silene* in eine 0,2% wässrige Lösung von Na-Rhodizonat ($C_6O_6Na_2$) ca. 30 Minuten eingelegt, danach mit 2 ml Pufferlösung (Weinsäure + Natriumbitartrat) versetzt und für weitere 10 Minuten in dieser Lösung belassen. In Gegenwart von Bleiionen bildet sich ein tiefroter–scharlachroter Niederschlag (GLATER und HERNANDEZ 1972). An Stellen mit scharlachroten "spots" wurden Wurzelquerschnitte angefertigt; die Schnittdicke betrug 75–80 μm. Die Querschnitte selbst wurden nochmals dieser "soaking method" unterzogen.

Sommerzeit: Die Stundenangaben in den Abbildungen verstehen sich für Sommerzeit, d. h. sie gehen der Mitteleuropäischen Zeit = „Sonnenzeit" um eine Stunde voraus.

Abb. 1: Blick auf die untersuchte Halde (am Fuß der Rauchfangwände) vom höchsten Punkt der Rudolfseilbahnhalde. Die beiden Meßstationen sind hervorgehoben: „1" verfestigte Halde, „2" unverfestigte Halde.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

UNTERSUCHTE PFLANZEN

Im Text zu den ökophysiologischen Untersuchungen werden nur Gattungsnamen angeführt; die vollständigen Namen (nach EHRENDORFER 1973; vgl. auch MELZER 1973) lauten wie folgt:

Epipactis atrorubens (HOFFM.) SCHULT.
Erysimum sylvestre agg.
Minuartia verna ssp. *verna* (L.) HIERN.
Scrophularia canina agg.
Silene vulgaris ssp. *prostrata* (GAUDIN) SCHINZ & THELL. =
= *Silene alpina* (LAMK.) THOMAS
Pinus sylvestris L.

Die Pflanzennamen im Kapitel Vegetation wurden ebenfalls nach EHRENDORFER (1973) angegeben.

„BODEN" UND KLIMA

Die Aufschüttungen des „Rudolfschachtes" wurden ca. 1930 bis 1932 beendet (persönliche Mitteilung, Dir. ENZFELDER). Die Halde, am Fuße der Rauchfangwände gelegen, hat eine Neigung von ca. 35°. Sie ist im Sinne ELLENBERGS (1978) als „rutschende" Halde anzusprechen. Die oberste Gesteinsschichte enthält durchgehend Grobschutt, der sich etwas tiefer mit dem Feinschutt mischt. Nur wenige Pionierposten von *Silene,* gelegentlich von *Erysimum*, bilden die Vegetation dieses zentralen Teiles der Halde. Der Rand der Halde trägt bereits eine dichtere Vegetation („Grenzbereich" in Tab. 1). Das Gestein, an der Oberfläche feinschuttreicher, vermischt mit organischem Material, läßt stellenweise bereits eine Bodenstruktur erkennen. Dies setzt sich fort auf der angrenzenden Halde. Durch die mechanische Verfestigung des Untergrundes (Herausbildung einer Bodenstruktur, durchsetzt von Pflanzenwurzeln) wird das Hangrutschen stark eingedämmt, so daß man zumindest teilweise von einer „ruhenden Halde" sprechen kann. Abb. 2 zeigt die Grob-(über 20 mm) bis Feinschutt-(bis 20 mm)verteilung in der „rutschenden" und in der „ruhenden" Halde. Bei Probenentnahme in ca. 30 cm Tiefe (also unterhalb der fast ausschließlich aus Grobschutt zusammengesetzten Decke der rutschenden Halde) ist die Kornfraktion auf beiden Hängen ähnlich, wenn auch gezeigt werden kann, daß der Feinschuttanteil mit Korngrößen zwischen 0,5–1 mm (Kornfraktion Sand) auf der ruhenden Halde größer ist.

Halden haben auf Grund des geringen Feinerdeanteils eine geringere Wasserkapazität. So betrug der Wassergehalt in 30 cm am 16. August 1980 auf der „ruhenden" Halde 3,0% (bezogen auf Trockengewicht des Bodens), nach heftigem Regen (17. August 1980) 4,4%. Auf der unverfestigten Halde betrug der Wassergehalt am 16. August: 2,4%, nach Regen 3,3%.

Tab. 1: Vegetationsaufnahmen im Haldenbereich (Bestandesdichte pro Quadratmeter)

	rutschende Halde							Grenzbereich				ruhende Halde					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Asplenium ruta-muraria L.														/			
Cynanchum vincetoxicum agg.													1				
Epipactis atrorubens (HOFFM.) SCHULT.								1	29	5			4	7			26
Erysimum sylvestre agg.						3	5	5	26	20		8	30	9		5	
Euphorbia cyparissias L														14			
Minuartia verna ssp. *verna* (L.) HIERN.									15				6	11		1	
Picea abies (L.) KARSTEN								1	1/2k	1/k				1k			
Pinus sylvestris L.								1		1/3k			1	1		1	
Poa alpina L.													1	15			
Saponaria ocymoides L.												1					
Scrophularia canina agg.															30	19	8
Sedum album L.													18				
Silene vulgaris ssp. *prostrata* (GAUDIN) SCHINZ & THELL.	3	2	2	6	1	4	4	9	16	13	5	11	29	12	7	25	1
Teucrium montanum L.													2				
Moospolster								/	/	/			/	/		/	

k . . . Keimlinge
Die Quadrate 15, 16 und 17 waren gleichzeitig Standorte für Transpirations- und Saugspannungsmessungen

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Der Bleiberger Raum weist im langjährigen Mittel mit Ausnahme der Wintermonate einen monatlichen Niederschlag von mehr als 100 mm auf (Klimadiagramm in Abb. 3). Innerhalb dieses humiden Klimas fallen die Halden als edaphische Trockenstandorte heraus. In Abb. 4 sind die kleinklimatischen Daten von zwei Meßtagen auf der Rudolfschachthalde (28. Juni, 16. August) zusammengestellt. Die relative Luftfeuchtigkeit liegt am 28. Juni während des Tages zwischen 20 und 40%, am 16. August zwischen 30 und 50%. Die Evaporation zeigt im August über die Mittagszeit kontinuierlich hohe Werte, während im Juni die Werte stark schwanken. Die Bodentemperatur im August liegt ebenfalls im Durchschnitt 4 bis 6° C höher als im Juni.

Aufschluß über die Bodentemperatur auf der Halde liefern neben der Darstellung in Abb. 4 Daten der selbstregistrierenden Temperaturmessung im Bereich der rutschenden Halde (Abb. 3). Erwartungsgemäß schwanken die Werte in 100, 50 (nicht abgebildet) und 30 cm Bodentiefe nur geringfügig. Die stärkste Temperaturamplitude zeigt sich in den oberflächennahen Schichten (ca. 1 und 5 cm Bodentiefe): Einem Maximalwert von 28° C steht ein nächtliches Temperaturminimum von ca. 3° C (!) gegenüber, was die extreme Situation der haldenbewohnenden Pflanzen hinsichtlich der Temperaturverhältnisse einigermaßen verdeutlicht. Die

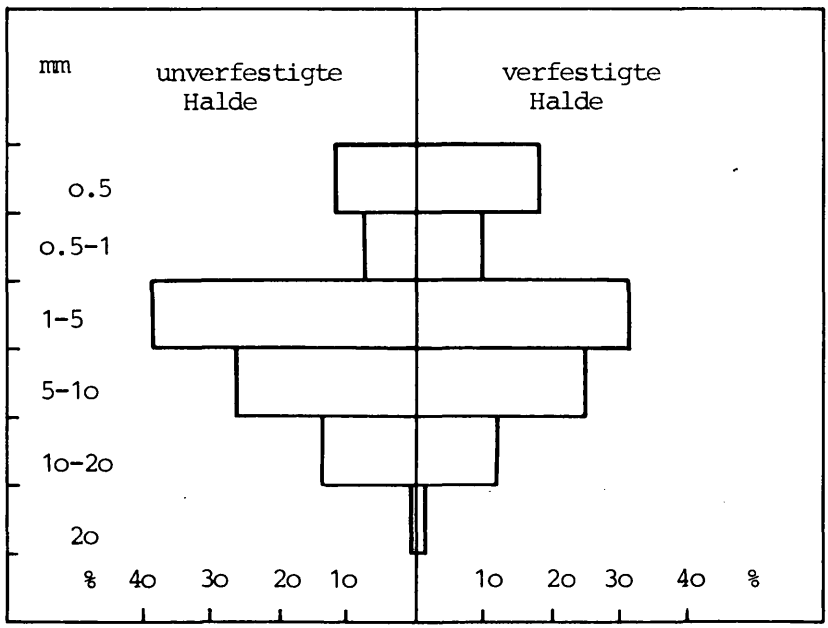


Abb. 2: Korngrößenverteilung des Haldenschutts in Prozent.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

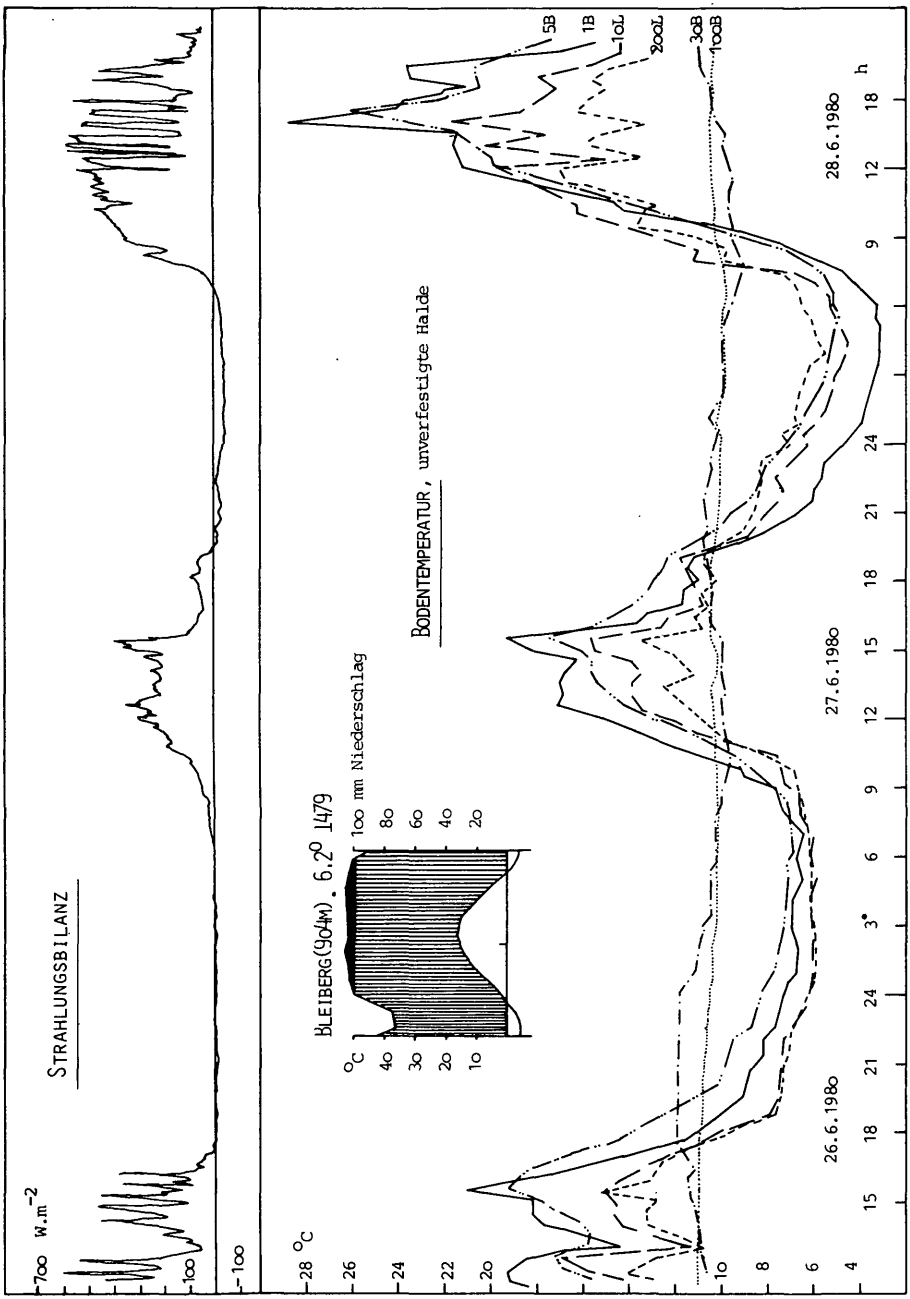


Abb. 3: Verlauf von Strahlungsbilanz und Bodentemperatur zwischen 26. und 28. Juni 1980 (Station 2); die Höhe bzw. Tiefe der Temperaturfühler ist in Zentimetern angegeben und mit „L" (Luft) und „B" (Boden) indiziert. Klimadiagramm für Bleiberg aus WALTER und LIETH (1960).

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

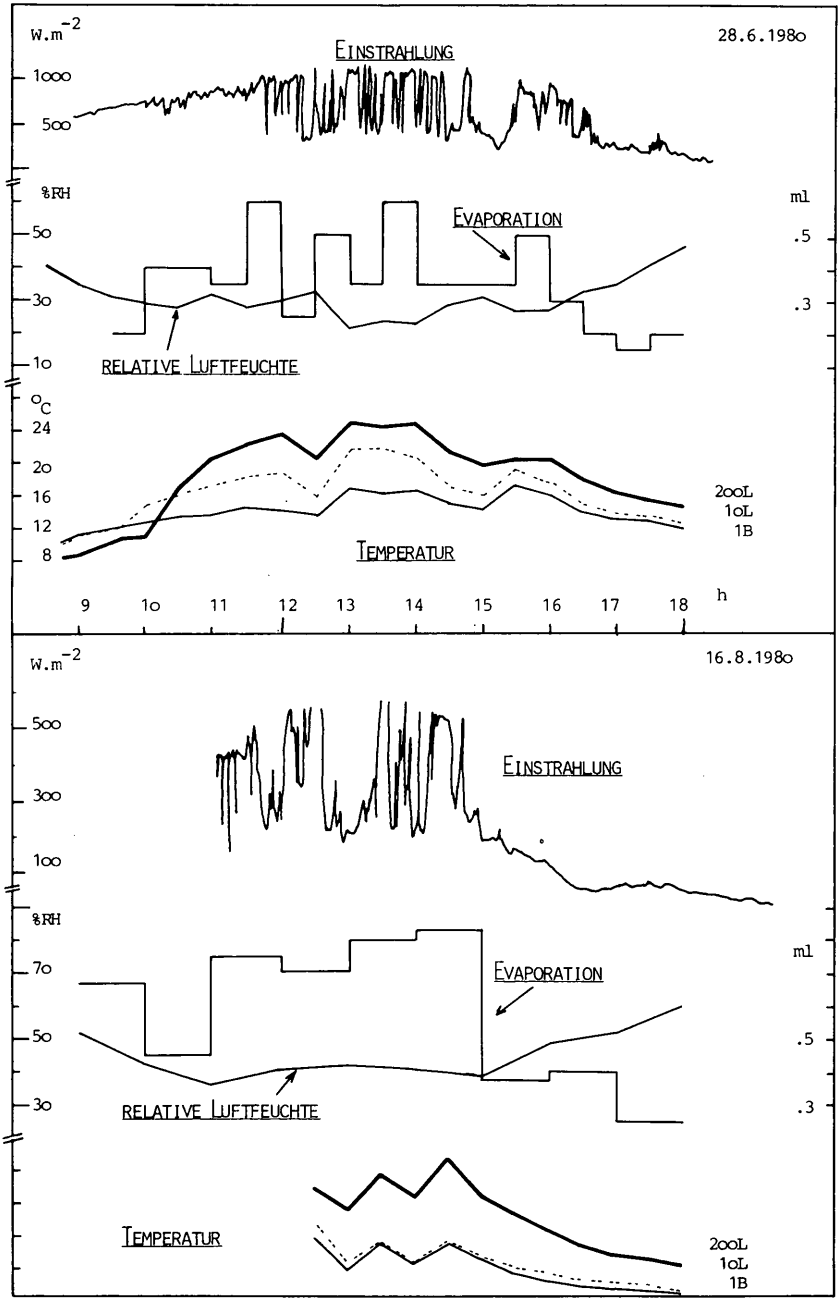


Abb. 4: Tagesgang des Kleinklimas an den beiden Meßtagen (28. Juni/16. August 1980; Station 2); Legende zu Temperatur siehe Abb. 3. Die Temperaturskala für den 16. 8. erstreckt sich zwischen 20 und 32° C.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Lufttemperaturen (10, 200 cm Höhe) schwanken im Meßzeitraum zwischen ca. 21° C (Maximum) und 5 bis 6° C (Minimum). Allgemein werden Halden als warme Standorte klassifiziert (ELLENBERG 1978); ERNST (1965) führt darauf das Vorkommen wärmeliebender Pflanzen wie *Erysimum sylvestre* und *Scrophularia canina* auf den Halden von Bleiberg zurück. Dennoch soll darauf hingewiesen werden, daß die Temperaturamplitude auf den Halden sehr weit gesteckt ist; die Tageswärme wird also sehr schlecht gespeichert, was in ausstrahlungsreichen Nächten zu relativ starker Auskühlung führt, wie dies die negative Strahlungsbilanz vom 27./28. Juni ausdrückt. Auch im August tritt in der Nacht vom 16./17. (Abb. 5) eine beträchtlich negative Strahlungsbilanz auf, was einen erheblichen Wärmeverlust der Halde bedeutet. So wird es möglich, daß selbst in dieser Jahreszeit die Temperaturminima der Nacht auf 3 °C absinken können, wie z. B. am 27./28. Juni.

Nicht wiedergegeben sind hier Bodentemperaturverläufe für den Bereich der ruhenden Halde, da sie prinzipiell ähnlich jenen in Abb. 3 sind und nur im Absolutwert Unterschiede zeigen. So etwa ist die Temperatur in 5 cm Bodentiefe auf der rutschenden Halde z. T. höher, in 30 cm dagegen, wohl auf Grund der schlechteren Wärmeleitung (größere Lufträume), niedriger als auf der teilweise verfestigten Halde.

VEGETATION

Tab. 1 zeigt Vegetationsaufnahmen im Bereich der unverfestigten Halde, im Grenzbereich und im ruhenden Haldenabschnitt. Im lockeren Material der unverfestigten Halde können sich nur *Silene vulgaris* ssp. *prostrata* und *Erysimum sylvestre* behaupten, deren Individuenzahl gegen die verfestigte Halde stark zunimmt. Im Grenzbereich zur verfestigten Halde finden sich neben Krautigen auch Föhre und Fichte. Teils geht der Baumbestand bereits auf die Zeit vor den letzten Schüttungen zurück. Diese „überschütteten" Bäume besitzen ein Alter von 60 bis 65 Jahren (*Pinus*). Die überwiegende Zahl der Rotföhren fußt auf dem jungen Schüttungsmaterial, die größten Bäume, mit einer Höhe von 2 bis 3 m, besitzen ein Alter

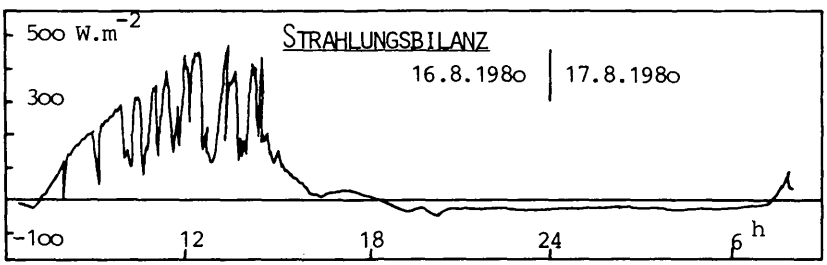


Abb. 5: Strahlungsbilanz am 16./17. August 1980 (Station 2).

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

zwischen ca. 10 und 26 Jahren. Den Bäumen kommt ein wesentlicher Anteil am Eintrag von Humus zu. Sie stecken somit auch jenes Areal ab, das in randferneren Haldenabschnitten relativ reichliches Baumaufkommen und eine mehr oder weniger dichte Staudenflur auf dem z. T. verfestigten Untergrund aufweist. An charakteristischen Arten kommen im Grenzbereich sowie im Bereich der ruhenden Halden *Epipactis atrorubens* und *Scrophularia canina* hinzu. *Minuartia verna* siedelt auf feinerdereichem Untergrund der ruhenden Halden, konnte aber auch auf dem eigentlichen, dem Versuchsstandort vorgelagerten Schüttungskegel („Rudolfseilbahnhalde") zusammen mit *Silene, Erysimum* und *Pinus sylvestris* ebenso auf rutschenden Halden, allerdings in Nordlage, beobachtet werden. Pflanzensoziologische Aufnahmen dieses Gebietes finden sich bei ERNST (1965), Floristisches bietet MELZER (1973).

Neben den schon aufgeführten Pflanzen finden sich noch folgende Arten in der offenen Formation der ruhenden Halde (z. T. außerhalb der Aufnahmequadrate, aber typisch für den Standort): *Berberis vulgaris* L., *Buphthalmum salicifolium* L., *Calamintha alpina* (L.) LAM., *Campanula rotundifolia* agg., *Cephalanthera rubra* (L.) RICH., *Gymnocarpium robertianum* (HOFFM.) NEWM., *Hieracium bifidum* KIT. ex HORNEM., *Hippocrepis comosa* L., *Kernera saxatilis* (L.) RCHB., *Salix* sp., *Ophrys insectifera* L.

In den tiefergründigen Hanglagen in der Nachbarschaft der Aufschüttungen des Rudolfschachtes kommen an Arten schließlich noch hinzu: *Ajuga genevensis* x *reptans, Arctostaphylos uva-ursi* (L.) SPRENG., *Epipactis helleborine* agg., *Erica carnea* L., *Euphorbia amygdaloides* L., *Galium lucidum* ALL., *Juniperus communis* L., *Koeleria pyramidata* agg., *Polygala chamaebuxus* L., *Rosa* sp., *Silene nutans* agg., *Thesium alpinum* L., *Thymus serpyllum* L. emend. MILL. s. lat.

WASSERHAUSHALT VON HALDENPFLANZEN

Die äußeren Bedingungen, die den Wasserhaushalt der Pflanzen bestimmen, sind einerseits die mikroklimatischen Bedingungen der bodennahen Luftschichte bzw. des Bodens selbst (Abb. 3, 4), andererseits die geringe Wasserkapazität des Schottermaterials (s. ERNST 1965). Keine der untersuchten Pflanzen (Abb. 6) weist eine dem Tagesgang der potentiellen Evaporation entsprechende Transpirationskurve auf, trotz der Gewittertätigkeit an den Vortagen und damit relativ günstiger Wasserverhältnisse im Boden. Lediglich einige Gipfel der Transpirationskurve fallen mit Spitzen der Evaporation zusammen, wie um 12 Uhr bei *Silene, Erysimum* und *Epipactis* bzw. um 16 Uhr bei *Erysimum, Minuartia, Epipactis* und *Pinus*. Auffallend ist auch die Einstellung der Transpiration um 15 Uhr (28. Juni), die mit Ausnahme von *Minuartia* bei allen untersuchten Pflanzen auftritt.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

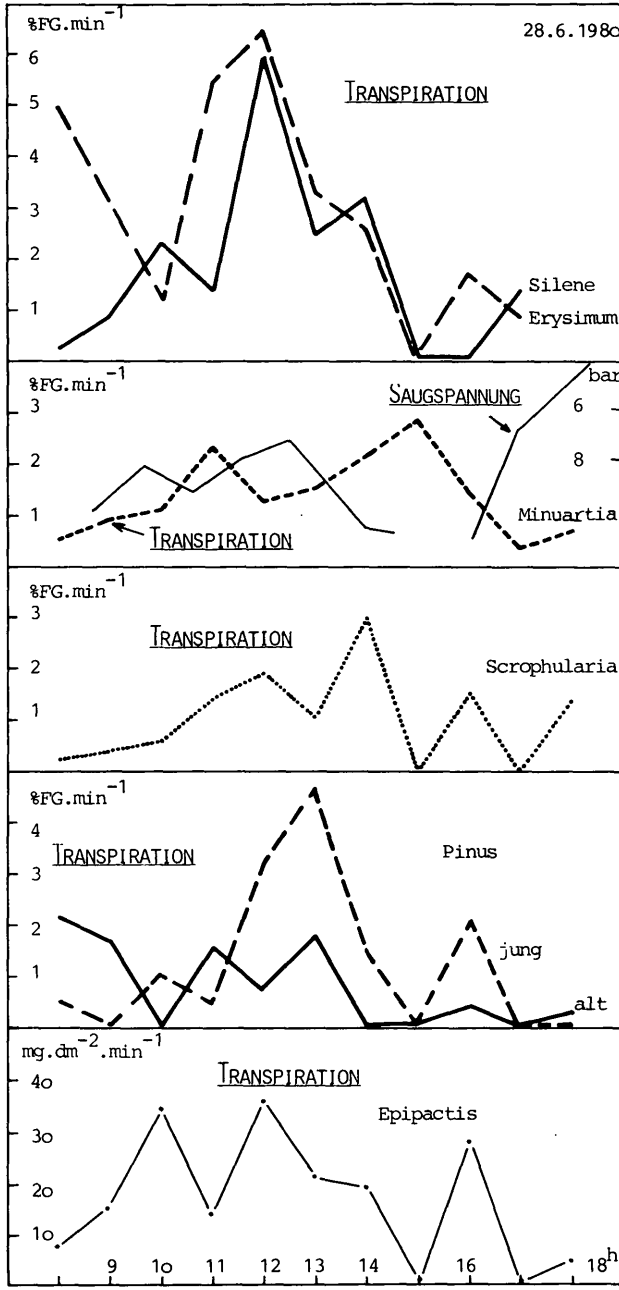


Abb. 6: Transpiration von *Silene, Erysimum, Minuartia, Scrophularia, Pinus* und *Epipactis* am 28. Juni 1980, Saugspannung von *Minuartia* am 28. Juni 1980. Die Transpiration von *Epipactis* ist aus Messungen des Diffusionswiderstandes kalkuliert.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Die Transpirationseinschränkung fällt mit starker Bewölkung, Abnahme der Temperatur und der potentiellen Evaporation bzw. Anstieg der relativen Luftfeuchtigkeit (Abb. 4, Mikroklima) zusammen.

In dieser Zeit sind bei den meisten Pflanzen die Spaltöffnungsweiten reduziert, wie dies in Abb. 7 gezeigt wird. *Silene* verengt die Spalten schon sehr früh, so daß sich diese mikroklimatische Situation in der Spaltenweite bei der verwendeten Methode nicht mehr niederschlägt. Weniger stark reagieren *Scrophularia* und *Erysimum*. Beide Pflanzen zeigen um diese Zeit deutliche Welkeerscheinungen. Auch *Epipactis* reduziert die Spaltöffnungsweite, wodurch es zu einer Einstellung der Transpiration kommt (Abb. 7).

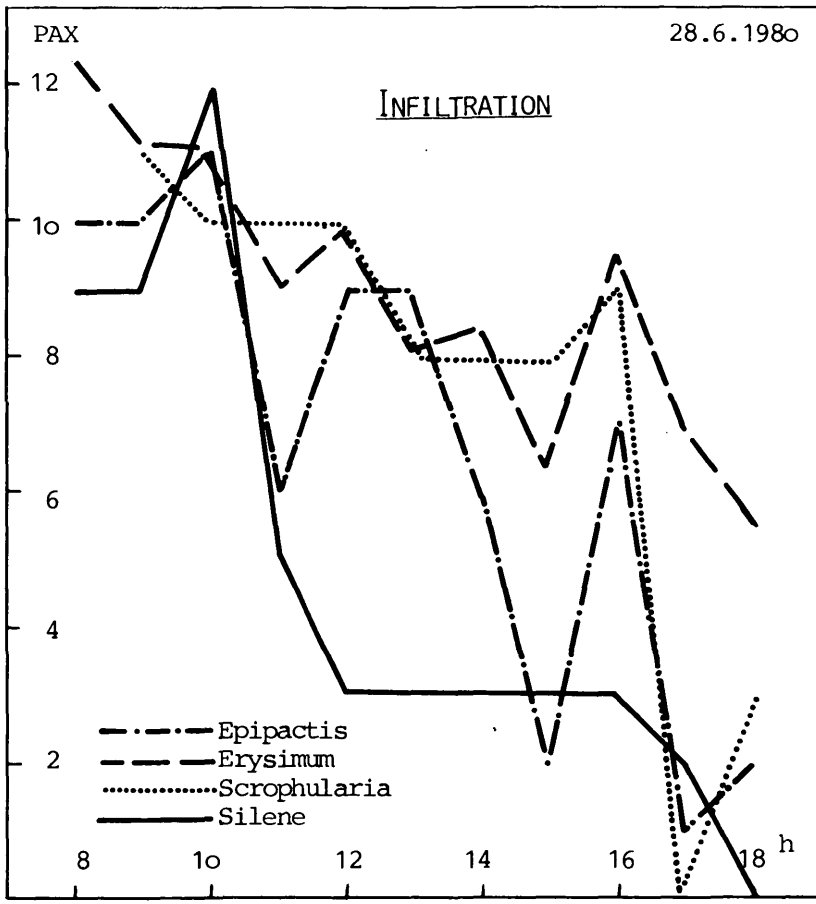


Abb. 7: Infiltration (PAX-Methode) von *Epipactis, Erysimum, Scrophularia* und *Silene* am 28. Juni 1980.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Der Wert der einfachen Methode, den Spaltöffnungszustand durch Infiltrieren von Flüssigkeiten zu bestimmen, wird durch die Gegenüberstellung der Infiltrationskurve und der Blattdiffusionswiderstände bei *Epipactis* bestätigt (Abb. 8).

Am 16. August war der Boden trockener, die Evaporation wie auch die Temperatur waren höher als am 28. Juni. *Silene* weist einen gänzlich anderen Tagesgang als am 28. Juni auf, der vor allem durch das Fehlen der Mittagstranspiration gekennzeichnet ist. *Erysimum* dagegen hat über Mit-

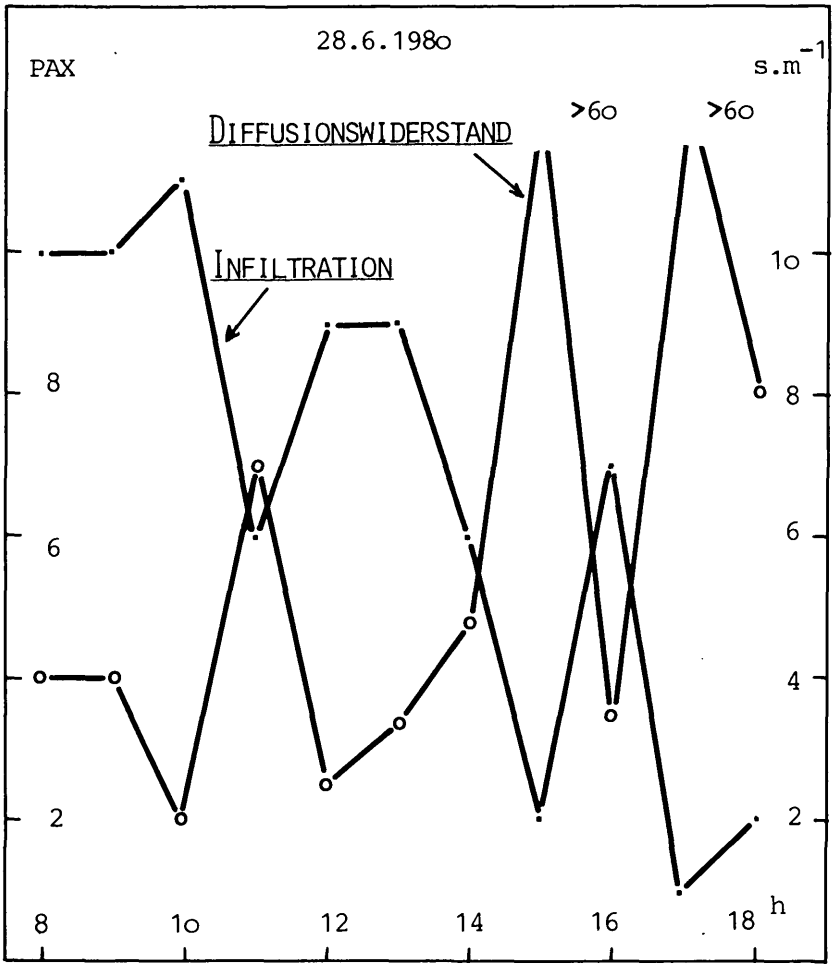


Abb. 8: Diffusionswiderstand und Infiltration von *Epipactis* am 28. Juni 1980.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

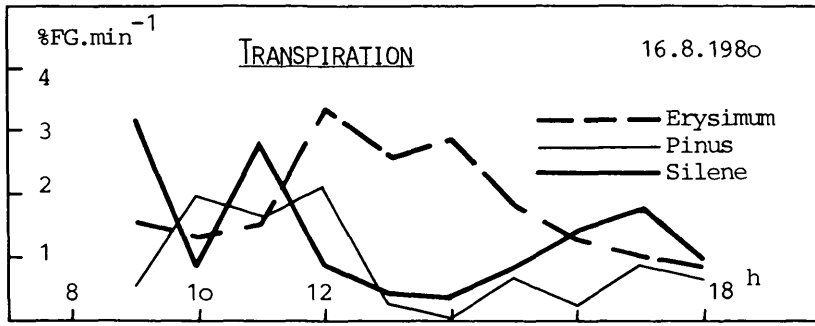


Abb. 9: Transpiration von *Erysimum, Pinus* und *Silene* am 16. August 1980.

tag die maximale Transpiration, die aber im Vergleich zum 28. Juni niedriger ist (Abb. 9).

Alle untersuchten Pflanzen können als Pionierpflanzen der Schutthalden angesprochen werden. Aber nur *Silene* und *Erysimum* sind in der Lage, auch gänzlich unverfestigte Halden in südlicher Exposition zu besiedeln. Im Transpirationsverhalten der beiden Pflanzen könnte man am 28. Juni (weniger extreme ökologische Situation, vgl. Abb. 4) noch eine Ähnlichkeit sehen, vor allem was die Maximalwerte betrifft. Der Tagesgang am 16. August zeigt aber schon den Unterschied zwischen den beiden Arten: *Silene* schränkt die Transpiration wesentlich stärker ein als *Erysimum*. Bezieht man den Tagesgang des Spaltöffnungszustandes in die Betrachtungen mit ein (Abb. 7), so verringert *Silene* schon sehr bald (11 Uhr) die Öffnungsweite der Spalten, *Erysimum* dagegen neigt eher dazu, die Spalten offenzuhalten. Ein Blick auf die Wasserpotentiale im Stengel dieser beiden Pflanzen ergibt sehr geringe negative Saugspannungswerte bei *Silene*, die den ganzen Tag über beibehalten werden (Abb. 10). Der Tagesgang am 28. Juni unterscheidet sich nicht wesentlich von jenem am 16. August (extremere mikroklimatische Bedingungen). Dies gilt sowohl für Pflanzen auf der unverfestigten als auch auf der ruhenden Halde. *Erysimum* hat beträchtlich höhere Saugspannungswerte in den wasserleitenden Gefäßen des Stengels. Liegen am 28. Juni bei der gegebenen mikroklimatischen Situation (Abb. 10) die Wasserpotentiale der untersuchten Pflanzen während der Meßperiode auf ähnlichem Niveau (erst ab 17 Uhr verringern sich die Potentiale) und ist auch kein signifikanter Unterschied bei Pflanzen verfestigter und unverfestigter Halden zu sehen, so ist die Situation am 16. August anders. Während der gleichen Meßzeit ist ein Tagesgang ausgebildet, mit minimalen Werten am Morgen und am Abend und Spitzenwerten am frühen Nachmittag. Die Pflanzen auf der offenen Halde erreichen noch höhere Werte, mit einem Maximum bei −20 bar Saugspannung. Nun kann aus stärker negativen Saugspannungen nicht unmittelbar auf eine negativere Wasserbilanz geschlossen werde, denn dies ist eine

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

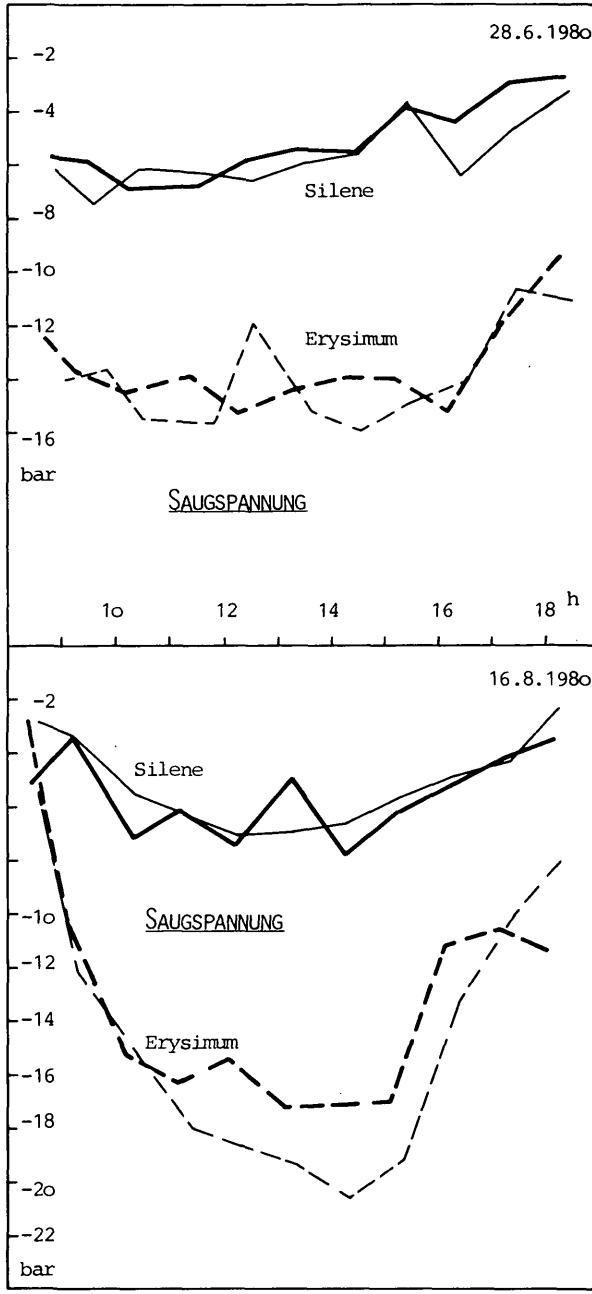


Abb. 10: Saugspannung von *Silene* und *Erysimum* am 28. Juni und 16. August 1980; starke Linie: verfestigte Halde, schwache Linie: unverfestigte Halde.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Frage der Pufferung und der Reibungswiderstände in einem pflanzlichen System (RICHTER 1977) und damit artspezifisch. Im vorliegenden Fall ist sicherlich auch in Rechnung zu stellen, daß die Pflanzen auf schwermetallreichem Untergrund wachsen, und daß Schwermetalle wie z. B. Blei einen entscheidenden Einfluß auf den Wasserhaushalt der Pflanzen haben können: der Wasserdurchfluß durch die Wurzel kann gehemmt (ENGENHART 1980), die Transpiration vermindert (ROTHSCHEDL 1976) und die Weitungsfähigkeit der Stomata gestört sein (GSCHLIFFNER 1976). Das höhere Wasserdefizit bei *Erysimum,* das sich in einem Welken der Blätter äußert, deutet darauf hin, daß *Erysimum* im Vergleich zu *Silene* zumindest eine ungünstigere Wasserbilanz aufweist.

Erysimum, wie *Silene* eine tiefwurzelnde Pflanze, kann normalerweise auf verfestigten Böden Wasser der tieferen Bodenschichten nutzen, worauf wahrscheinlich die hohe Transpirationsbereitschaft hinweist. Auf diesen steilen Halden ist der Untergrund nicht oder nur teilweise verfestigt. *Silene* bildet ein kräftiges, vor allem tiefgehendes Wurzelsystem mehr oder weniger senkrecht zur Oberfläche aus, das ein passives Mitwandern im rutschenden Hang nur in geringem Ausmaß zuläßt (Abb. 11D). Die Wurzel von *Erysimum* wächst nicht senkrecht in die Tiefe, sondern liegt hangparallel, dringt also nicht sehr tief in den Hangschutt ein (Abb. 11B). Somit kann *Erysimum* auf rutschenden Hängen nicht mehr als Tiefwurzler ausgewiesen werden; die Wasserversorgung der Pflanze entspricht eher der eines Flachwurzlers. Ähnliches gilt auch für *Scrophularia* (Abb. 11C), wenngleich diese Pflanze ohnehin nicht rutschende Halden in extremer Ausbildung besiedelt. *Minuartia* – mit einem reichverzweigten, aber höchstens 30 cm in den Boden vordringenden Wurzelsystem (ERNST 1965) – ist ebenfalls als Pionierpflanze anzusprechen, die unverfestigte Halden in Steillagen jedoch nur an Nordhängen besiedelt. Für *Minuartia* wie für *Scrophularia* gilt wieder, daß sie einem „passiven Mitwandern" in der Halde unterliegen, also „geschoben" werden. *Minuartia* scheint auf unverfestigten Südhängen zu fehlen, man findet sie aber, sobald die Halden als teilweise „verfestigt" anzusprechen sind (vgl. Tab. 1). Sie wächst dort, wo zumindest kleinflächig feineres Material vorliegt. Auffällig bei dieser Pflanze ist die negative Korrelation zwischen Transpiration und Saugspannung (Abb. 6).

Zu den Besiedlern der steilen Schwermetallhalden zählt auch *Pinus sylvestris.* Die Rotföhre gilt ja hinsichtlich Nährstoff- und Wasserversorgung als anspruchsloser Baum. Sie bevorzugt dafür wärmere, lichtreiche Standorte auf gut durchlüftetem Boden (AICHINGER 1952). Das Wurzelsystem der Föhre ist flach angelegt und nicht weitreichend.

In Abb. 6 ist der Transpirationstagesgang von mindestens 10 Jahre alten und jüngeren Rotföhren wiedergegeben, aus Abb. 12 sind die dazugehörigen Wasserpotentiale in den Zweigen (Probennahme bei den älteren Exemplaren in ca. 1 m Höhe) ersichtlich. Ältere Föhren transpirieren

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

weniger als der Jungwuchs, unter den extremeren klimatischen Bedingungen am 16. August (Abb. 4) verläuft die Transpirationskurve von Jungpflanzen flacher als am 28. Juni. Die Wasserpotentiale sind interessanterweise am 16. August, also bei extremeren mikroklimatischen Bedingungen, niedriger als am 28. Juni. In jedem Fall hat der Jungwuchs niedrigere Potentiale als etwa zehnjährige Bäume.

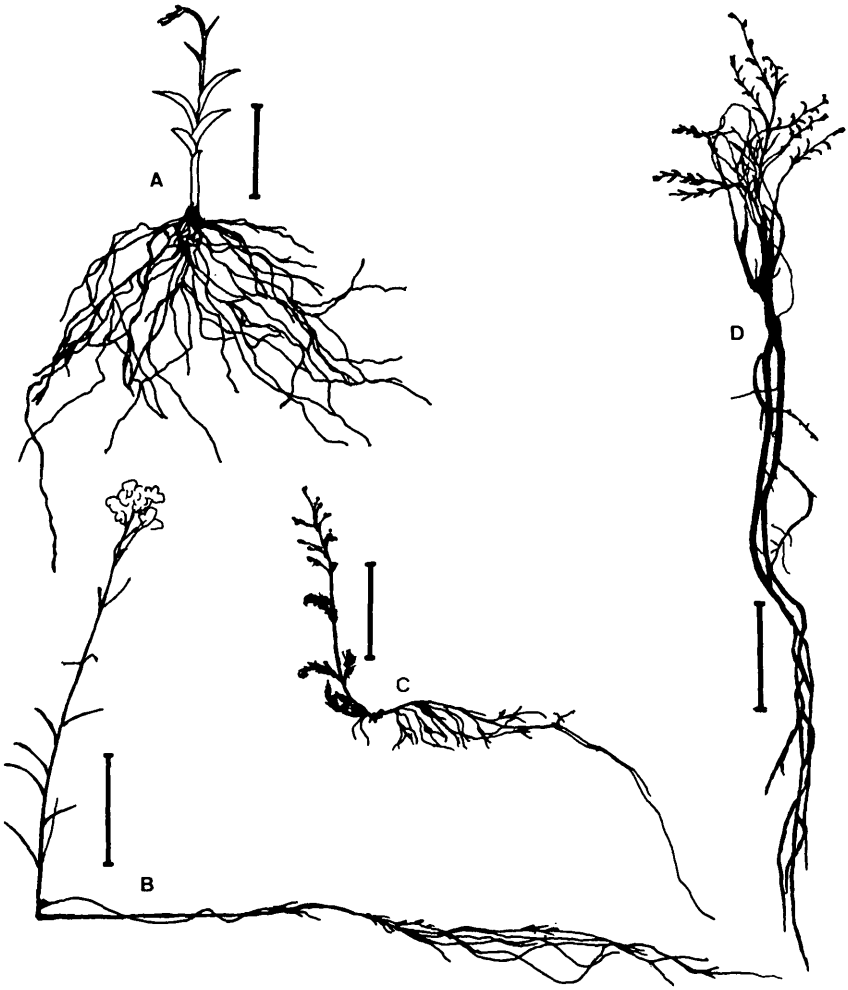
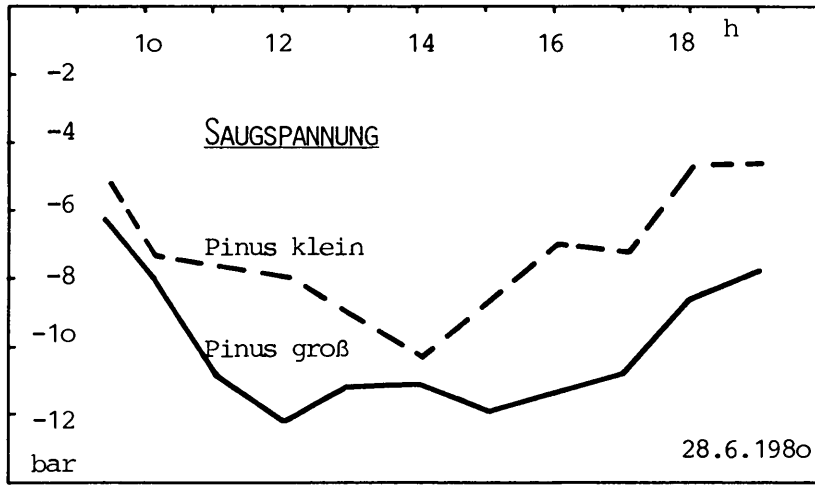


Abb. 11: Schematische Darstellung der Wurzelprofile von *Epipactis* (A), *Erysimum* (B), *Scrophularia* (C) und *Silene* (D). Der abgebildete Maßstab entspricht jeweils einer Länge von 10 cm. A: oberflächlich verzweigte, B und C: „geschobene", D: tiefreichende Wurzeln.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at



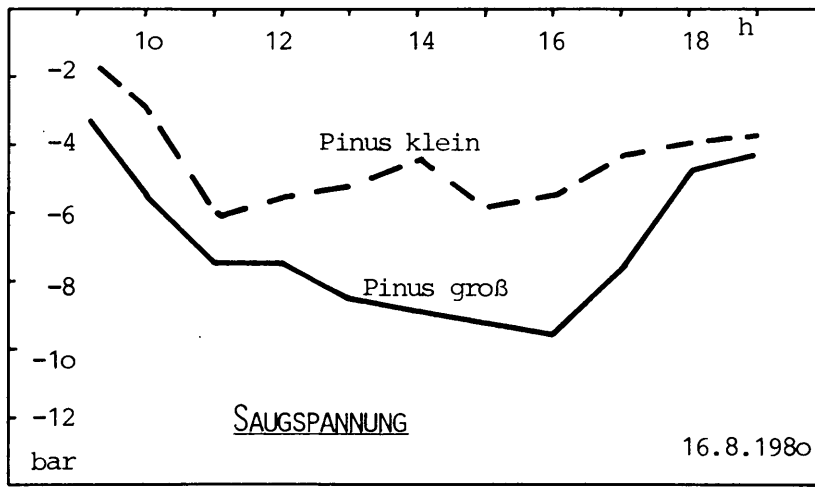


Abb. 12: Saugspannung von *Pinus* (klein/groß) am 28. Juni und 16. August 1980.

SCHWERMETALLUNTERSUCHUNGEN AN PFLANZEN

Der Schwermetallgehalt der Roherze in Bleiberg beträgt 5% (nach HOLLER 1953) bzw. 1 bis 1,8% Blei nach ENZFELDER (1978), 3,2 bis 6,3% Zink (ENZFELDER 1978) und 0,15% Molybdän (HOLLER 1953). Bei der ursprünglichen Aufbereitung des Roherzes verblieben im Ausgangsgestein hohe Anteile an Schwermetallen. Nach HORAK (1979) liegt der Gesamt-

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

bleigehalt zwischen 0,6 und 1,8%. Das Schüttmaterial der Rudolfseilbahnhalde weist einen Bleigehalt von ca. 0,5% Blei und 2,5% Zink auf (mündliche Mitteilung, Dir. ENZFELDER), so daß sich eine neuerliche Aufbereitung dieses Abraummaterials lohnt und in den nächsten Jahren vorgenommen werden soll.

Pflanzen, die diese Schutthalden besiedeln, müssen sich mit den Gegebenheiten des z. T. unverfestigten Kalkschutts auseinandersetzen und werden zudem mit beträchtlichen Schwermetallgehalten konfrontiert. Material der Matthäus-Halde besitzt z. B. nach ERNST (1965) einen pflanzenverfügbaren Zinkanteil von 7380 ppm (= 0,74%) bzw. 10160 ppm (= 1,8%). Zink wird in der Pflanze weitaus besser transportiert als Blei und ist in geringen Konzentrationen als Nährstoff anzusehen. In Überdosen wirkt es toxisch. Dennoch sind keine Zinkschäden an den Pflanzen auf den Schwermetallhalden festzustellen. Blei liegt zum überwiegenden Anteil in nicht pflanzenverfügbarer Form vor (nach ERNST 1974 zu ca. 99%). Ferner ist hinlänglich bekannt, daß jenes Blei, das aufgenommen wird, in der Wurzel „hängenbleibt" (daher höhere Bleiwerte in Wurzeln, vgl. Tab. 2), und nur ein relativ geringer Prozentsatz in die oberirdischen Organe transloziert werden kann (Tab. 2).

Die Schwermetalle bleiben nicht nur auf die Kalkschutthalden beschränkt. So weisen schon die hohen Bleigehalte von Borkenproben (*Pinus:* 519/114 ppm; *Picea*: 1296/459 ppm) bzw. ungewaschene Blattproben von *Silene* mit 4330 ppm auf die Möglichkeit der Schwermetallkontamination durch Stäube hin. BANCHER et al. (1975) fanden in angrenzenden Wiesen bis zu 182 ppm Blei in den Pflanzen.

Tab. 2: Schwermetallgehalte von Pflanzen der Bleiberger Abraumhalden

	Blei (ppm)	Zink (ppm)	Autor
Silene (oberirdisch)	44/70/35/32/26/49	–	HORAK 1979 und e. U.
Silene (oberirdisch)	–	485/650	ERNST 1974
Silene (Wurzel)	724	–	HORAK 1979
Minuartia (oberirdisch)	248/487	–	HORAK 1979
Minuartia (oberirdisch)		2190	ERNST 1974
Pinus (Nadeln)	284/64	–	e. U.
Picea (Nadeln)	242/41	–	e. U.
Erysimum (oberirdisch)	–	456	ERNST 1974
Asplenium viride (oberirdisch)	71/115	–	e. U.
Epipactis helleborine (oberirdisch)	31/14	–	e. U.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Schwermetallanalysen müssen selbst bei sorgfältig gereinigten Pflanzenproben nicht den Nachweis erbringen, daß das Schwermetall nicht nur den Pflanzen aufgelagert ist, sondern tatsächlich von der Pflanze aufgenommen wird. Eindeutig kann dies aber durch histochemische Untersuchungen geklärt werden. In unserem Fall wurden Wurzeln von *Minuartia* und *Silene* dazu herangezogen.

In beiden Fällen lassen sich Wurzeln im sekundären Zustand erkennen; der Zentralzylinder ist noch wenig verholzt (Ligninnachweis mit Phloroglucin/HCl), die zwischen den Gefäßen liegenden Parenchymzellen besitzen bei *Minuartia* stärker verdickte, aber unverholzte Zellwände. Die Zellwände der sekundären Rinde (= sekundäres Phloem) sind in beiden Wurzeln verdickt, die äußeren Zellreihen der sekundären Rinde sind bei *Silene* noch stärker kollenchymatisch verdickt, aber unverholzt. Nach außen abschließend folgt in beiden Wurzeln ein mehr oder weniger dünnwandiger mehrreihiger Kork(Periderm-)mantel.

Zur Frage einer über das intakte Wurzelsystem erfolgten Schwermetallaufnahme und eines histochemischen Bleinachweises wurde die Natrium-Rhodizonat-Methode (GLATER und HERNANDEZ 1972) angewendet. Diese Methode erlaubt eine rasche Identifikation von Blei und unterscheidet dieses Schwermetall signifikant von anderen Schwermetallen in pflanzlichen Geweben. Der Vorteil gegenüber anderen Methoden ist der, Blei in situ, also am Ort des Eintrittes in die Wurzel, feststellen und die Translokation innerhalb des Gewebes verfolgen zu können.

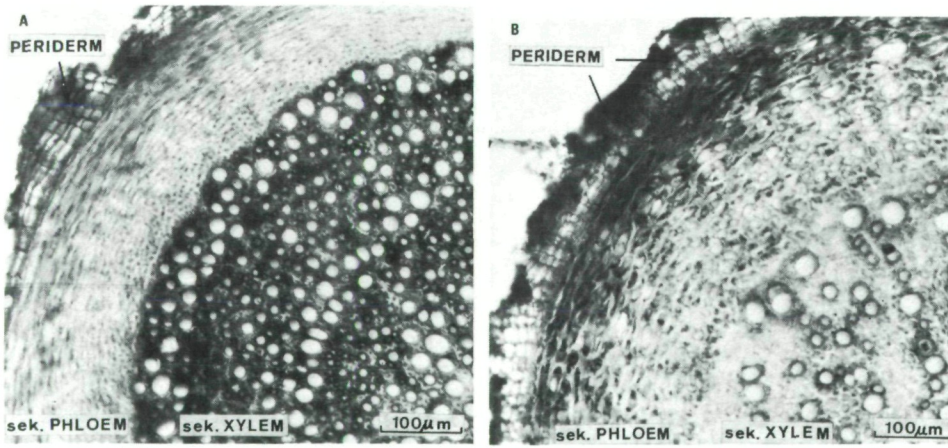


Abb. 13: Querschnitte durch Hauptwurzeln von *Minuartia* (A) und *Silene* (B); *Minuartia* – mittlere Querschnittsfläche der Wurzel: 1,55 mm²; *Silene* – mittlere Querschnittsfläche der Wurzel: 1,35 mm². Schwermetallkontaminiertes Gewebe (dunkle Stellen) nach Natrium-Rhodizonat-Behandlung (SIEGHARDT).

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Die Abb. 13 zeigt ein unterschiedliches Fixierungsmuster des Bleis innerhalb des Wurzelgewebes bei *Silene* und *Minuartia*; während bei *Minuartia* Blei innerhalb des Zentralzylinders hauptsächlich um die größeren Gefäße und im Xylemparenchym nachzuweisen ist (hohe Bindungsaffinität zu den Zellwänden), ist im Zentralzylinder von *Silene* wesentlich weniger bis gar kein Blei nachzuweisen. Lediglich an einzelnen größeren Gefäßen zeigte sich die typische Rotfärbung in den Zellwänden. Wesentlich mehr Blei war in den äußeren, stärker verdickten Zellreihen der sekundären Rinde festzustellen (vgl. Abb. 13). Dort, wo die Wurzeln mit schwermetallkontaminierter Feinerde bzw. Feinschutt unmittelbaren Kontakt hatten, konnte Blei sowohl bei *Silene* als auch bei *Minuartia* in den äußeren Zellreihen des eher dünnwandigen Periderms nachgewiesen werden. Ob diese Methode tatsächlich geeignet ist, Blei besonders in Wurzeln eindeutig von anderen Schwermetallen unterscheiden und nachweisen zu können, wie dies die Autoren GLATER und HERNANDEZ behaupten, soll an Pflanzen natürlicher Schwermetallstandorte weiter geprüft werden (SIEGHARDT, in Vorbereitung).

DANK

Für die Revision einiger kritischer Pflanzen danken wir Herrn Dr. A. POLATSCHEK vom Naturhistorischen Museum in Wien. Für ihr Entgegenkommen danken wir den Herren Dipl.-Ing. H. PETZ (BBU), Obermarkscheider G. LAMPRECHT (BBU) und Bergdirektor Dipl.-Ing. W. ENZFELDER (BBU).

LITERATUR

AICHINGER, E. (1952): Angewandte Pflanzensoziologie VI: Rotföhrenwälder als Waldentwicklungstypen. – Springer-Verlag, Wien.

ALBERT, R., BEIGL, E., KINZEL, H., und STEINER, G. M. (1976): Zur Bestimmung von Blei in Mikroproben von biologischem Material mittels flammenloser Atomabsorptions-Spektrophotometrie. – Z. Pflanzenphysiol. 80(1):43–49.

BANCHER, E., WASHÜTTL, J., und SCHNABL, Al. (1975): Untersuchungen über den Gehalt an Spurenelementen in Futtermitteln aus Bergwerksgebieten I. Futtermittel aus Bleiberg. – Bodenkultur 26:70–75.

BURIAN, K. (1980): Bleiwirkung auf Pflanzen. – In: Schwermetalle in der Umwelt, Schriftenreihe der TU Wien, Bd. 17:84–88.

DUHME, F., und RICHTER, H. (1977): Druckkammermethode. – In: K. KREEB, Methoden der Pflanzenökologie, VEB Gustav Fischer Verlag, Jena: 136–142.

EHRENDORFER, F. (1973): Liste der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. – Fischer-Verlag, Stuttgart.

ELLENBERG, H. (1978): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. – Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

ENGENHART, M. (1980): Hemmung des Wasserdurchsatzes in Wurzelsystemen von *Phaseolus vulgaris* L. unter Bleieinfluß. – Diss. Univ. Wien.

ENZFELDER, W. (1978): Die Aufbereitung des Roherzes. – In: Blei und Zink in Österreich (Hrsg.: BBU), Klagenfurt: 32–36.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

ERNST, W. (1965): Ökologisch-soziologische Untersuchungen der Schwermetall-Pflanzengesellschaften Mitteleuropas unter Einschluß der Alpen. – Abhandlungen Landesmuseum Naturkunde Münster/Westfalen 27(1):1–54.

– (1974): Schwermetallvegetation der Erde. – Geobotanica selecta V, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.

GLATER, R. A. B., und HERNANDEZ, L. (1972): Lead detection in living plant tissue using a new histochemical method. – Journal of the Air Pollution Control Association 22(6): 463–467.

GSCHLIFFNER, Chr. (1976): Die Wirkung einzelner und kombinierter Umweltgifte auf die Weitungsfähigkeit und Beweglichkeit von Spaltöffnungen des *Amaryllis*-Typs. Diss. Univ. Wien.

HOLLER, H. (1953): Der Blei-Zinkerzbau Bleiberg, seine Entwicklung, Geologie und Tektonik. – Carinthia II, 143/63:35–46.

HORAK, O. (1979): Untersuchungen zur Bleiaufnahme der Pflanze. – Die Bodenkultur 30(2):120–126.

MAIER, R. (1980): Nachweis von Bleieffekten in Pflanzen mit Hilfe der Gelelektrophorese von Enzymen. – Kongreß- und Tagungsberichte der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, 2:89–95.

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

MELZER, H. (1973): Beiträge zur floristischen Erforschung Kärntens. – Carinthia II, 163/83:425–439.

RICHTER, H. (1977): Saugspannung und Wasserbilanz: Ein Beitrag zu ihrer Interpretation. – Phyton 18(1–2):29–41.

ROTHSCHEDL, R. (1976): Wasserhaushalt, Transpiration und Austrockungsresistenz verschiedener Ruderalpflanzen nach Einzel- und kombinierter Schädigung durch Umweltgifte. – Diss. Univ. Wien.

WALTER, H., und LIETH, H. (1960): Klimadiagramm-Weltatlas. – VEB Gustav Fischer Verlag, Jena.

WIESSNER, H. (1951): Geschichte des Kärntner Bergbaues II. – Archiv f. vaterl. Gesch. u. Topogr., Klagenfurt, 36/37:1–298.

Anschrift der Verfasser: Univ.-Doz. Dr. R. MAIER, Mag. Dr. W. PUNZ, Dr. H. SIEGHARDT, E. DOMSCHITZ, A. NAGL, S. WIENER, A. KULHANEK und W. MÜHLEBNER, Institut für Pflanzenphysiologie der Universität Wien, Dr.-Karl-Lueger-Ring 1, A-1010 Wien.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Carinthia II

Jahr/Year: 1981

Band/Volume: 171_91

Autor(en)/Author(s): Punz Wolfgang, Maier Rudolf, Sieghardt Helmut, Domschitz Eduard, Nagl Alois, Wiener Susanna, Kulhanek Andrea, Mühlebner Wolfgang

Artikel/Article: Zur Ökologie einiger Pflanzen auf den schwermetallhaltigen Halden in Bleiberg, Kärnten. (Mit 13 Abbildungen und 2 Tabellen) 201-222