©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at

Ber. Bayer. Bot. Ges.	63	37–60	31. Dezember 1992	ISSN 0373–7640

Untersuchungen zum Schwermetallhaushalt verschiedener Serpentinitpflanzen der Wojaleite bei Wurlitz, Lkr. Hof/Ofr.

Von **M. Hartlieb**, Fürth

Zusammenfassung

Nachdem GAUCKLER (1954) und ERNST (1974) die Serpentinitstandorte Nordostbayerns beschrieben und SASSE (1979a, b) erste Schwermineralanalysen durchführte, wurde 1987 speziell die unter Naturschutz stehende Wojaleite auf ihren Schwermetallhaushalt hin untersucht. Dabei wurden bei den wichtigsten Vertretern der Serpentingrasheide, des „Diantho gratianopolitani - Festucetum pallentis Gauckl. 1954, *Armeria serpentini*-Rasse" (vgl. OBERDORFER 1978), Gestein-Boden-Pflanzenprofile auf ihren Gehalt an Nickel, Chrom, Magnesium und Calcium untersucht. Einerseits zeigen die erhaltenen Werte der Schwermetallverteilungen in den einzelnen Pflanzenteilen die Strategie der Pflanzen gegen die hohen toxischen Belastungen auf, andererseits konnte ein Versuch unternommen werden, das Aufnahmeverhalten der Pflanzen mathematisch zu beschreiben.

1. Einleitung

1.1. Geographie und Bodenentwicklung

Obwohl Ophiolithe, zu deren Vertretern auch Serpentinit zählt, weniger als 1% der Festlandsoberfläche bilden, besitzen sie als Asbest-, Nickel-, Chrom- und Kobaltlagerstätten enorme wirtschaftliche Bedeutung. Durch verwitterungsbedingt freiwerdende Metallionen ist ihr Bodenchemismus gegenüber normalversorgten Böden extrem an Nickel, Chrom, Kobalt und v. a. Magnesium angereichert, während meist ein Calcium- und Kaliummangel herrscht. Wegen der daraus resultierenden Unfruchtbarkeit sind Serpentinitstandorte nur sehr bedingt landwirtschaftlich nutzbar und beherbergen z. T. auch heute noch seltene, stark spezialisierte natürliche Pflanzengesellschaften wie die Serpentinitgrasheide.

Die Wojaleite im Lkr. Hof/Ofr. ist ein im wesentlichen südsüdwest exponierter Hang am nördlichen Talrand der Schwesnitz mit einer Westnordwest-Ostsüdosterstreckung von ca. 250 m und einer Höhendifferenz von max. 25 m. Die Basis des Hanges besitzt eine Höhenlage von +500 m NN. Sie befindet sich inmitten eines größeren Serpentinitkörpers am Südostrand der Münchberger Gneismasse, der in ihrem Bereich von der quartären Erosionswirkung der Schwesnitz angeschnitten wurde. Da Serpentinit ein hartes und zähes Gestein mit einer hohen Resistenz gegenüber physikalischer Verwitterung ist, bildeten sich relativ steile Talflanken heraus. Die Bodenentwicklung des Hanges ist weitestgehend initial: typischer Syrosem, Syrosem-Ranker, Ranker und Braunerde-Ranker sind zu beobachten. Dieser geringe Entwicklungszustand der Böden wird durch die starke Reliefinklination unterstützt, die eine erhöhte Bodenerosion zur Folge hat. Aus steileren Lagen werden ständig Bodenpartikel ausgewaschen, die in Spalten und am Hangfuß akkumuliert werden. Daraus resultiert ein kleinräumiger Wechsel der oben aufgeführten Bodentypen mit Humusmächtigkeiten von 0 bis 15 cm.

Als Humusform tritt hauptsächlich Mull mit feinkrümeligem Gefüge, niedrigem Tongehalt und schwarzbrauner Farbe neben noch unzersetzter Pflanzenstreu auf, die in Bereichen mit initialer Bodenentwicklung auch vorherrschen kann. Die Böden sind i. A. sehr skelettreich und

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at

stehen infolge ihrer geringen Entwicklungstiefe in sehr enger Abhängigkeit zum Chemismus des Ausgangsgesteins.

1.2. Flora

Die Pflanzenassoziationen der Wojaleite wurde zuerst von GAUCKLER (1954) beschrieben. Da diese Arbeit jedoch die gegenwärtige Situation der Wojaleite nicht mehr exakt wiedergeben kann und auch ERNSTs (1974) Aufnahme nicht den pflanzensoziologischen Gegebenheiten entspricht, wurde eine erneute Aufnahme durchgeführt. Die Aufnahmefläche umfaßt ein ca. 25x25 Meter großes Areal im zentralen Hangbereich der Wojaleite mit einer Höhelage von ca. +510–+520 m NN, uneinheitlicher Exposition von W über S nach ESE und uneinheitlicher Neigung von 10–80°. Die Deckung beträgt ca. 80%. Aufgenommen wurden nur gut ausgebil-

Bild 1: Die Wojaleite aus SW-Blickrichtung (Aufn. 6. 7. 1987).

Bild 2: Typische Geländemorphologie der Wojaleite (Aufn. Mai 1987).

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at

dete Vertreter der Kraut- und Strauchschicht, Vertreter der Flechten- und Moosschicht sowie deren Nomenklatur werden aus GAUCKLER (1954) übernommen. Die Nomenklatur der Arten richtet sich nach SCHMEIL & FITSCHEN (87. Aufl., 1982); die Symbolik der Deckung/Abundanz nach BRAUN-BLANQUET (1964).

Diantho gratianopolitani- Festucetum pallentis Gauckl. 1938

Dianthus gratianopolitanus	(Pfingstnelke)	2
Festuca pallens	(Schaf-Schwingel)	3
Armeria maritima ssp. *serpentini*	(Serpentingrasnelke)	1
Asplenium cuneifolium	(Serpentin-Streifenfarn)	1
Silene vulgaris	(Taubenkropf-Lichtnelke)	+
Sedum acre	(Scharfer Mauerpfeffer)	2
Saxifraga rosacea	(Rasen-Steinbrech)	2
Thesium alpinum	(Alpen-Leinblatt)	+
Potentilla tabernaemontani	(Frühlings-Fingerkraut)	+
Thymus pulegioides	(Arznei-Thymian)	+
Arenaria serpyllifolia	(Quendelblättr. Sandkraut)	+
Campanula rotundifolia	(Rundblättr. Glockenblume)	+
Rumex acetosella	(Kleiner Ampfer)	+
Galium verum	(Echtes Labkraut)	1
Achillea millefolium	(Gemeine Schafgarbe)	+
Lotus corniculatus	(Gemeiner Hornklee)	+
Polygala chamaebuxus	(Zwergbuchsblättr. Kreuzbl.)	+
Carduus nutans	(Nickende Distel)	+
Centaurea scabiosa	(Skabiosen-Flockenblume)	+
Asplenium adulterinum	(Braungrüner Streifenfarn)	+
Asplenium septentrionale	(Nördlicher Streifenfarn)	1
Asplenium trichomanes	(Brauner Streifenfarn)	+

Moose und Flechten der Wojaleite (aus GAUCKLER 1954): *Cephaloziella starkii, Cladonia rangiformis, Cladonia chlorophaea, Cladonia mitis, Cornicularia tenuissima, Cetraria islandica, Polytrichum piliferum, Frullania dilatata, Frullania tamarisci, Parmelia conspersa, Parmelia glomellifera, Parmelia saxatilis, Ramalina pollinaria, Physcia teretiuscula, Lecanora atra, Candelariella vitellina, Hedwigia albicans.*

Hinzu treten noch einige Individuen von *Pinus sylvestris*, die allerdings typischen Krüppelwuchs aufweisen.

Am Hangfuß geht der reine Serpentinitstandort in quartäre Talfüllungen über; an der oberen Verebnungsfläche sind die serpentinitspezifischen Verhältnisse durch tiefergründige Bodenentwicklung abgemildert. In beiden Fällen ist die Assoziation des Diantho gratianopolitani - Festucetum pallentis scharf gegenüber benachbarten Gesellschaften abgegrenzt.

1.3. Methodik

Untersucht wurden die Arten *Armeria maritima* ssp. serpentini (Ar), *Asplenium cuneifolium* (As), *Dianthus gratianopolitanus* (Di), *Festuca pallens* (Fe), *Saxifraga rosacea* (Sa), *Sedum acre* (Se) und *Silene vulgaris* (Si) in Verbindung mit ihren Standorten. Die Pflanzenproben wurden mit Ausnahme von *Asplenium cuneifolium* jeweils in Blüten (blüt), Sproß (s) und Blätter (bl) aufgetrennt, teilweise wurden auch Wurzelproben (w), verwelkte Blätter (tbl) oder Samen (sam) entnommen. Die Bodenprobe (ah bzw. bvcv) entstammt der unmittelbaren Wurzelregion des jeweiligen Standortes, die Gesteinsprobe (c) meist dem Bodenskelett. Bei der Probenentnahme wurde besonders darauf geachtet, daß von jedem Individuum nur geringe Probenmengen entnommen werden, so daß die einzelnen Pflanzen durch diesen Verlust keinen größeren Schaden nahmen.

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at

Bild 3: Ausschnitt aus dem Diantho gratianopolitani – Festucetum pallentis mit *Festuca pallens*, *Dianthus gratianopolitans* und *Saxifrage rosacea* (Aufn. Mai 1987).

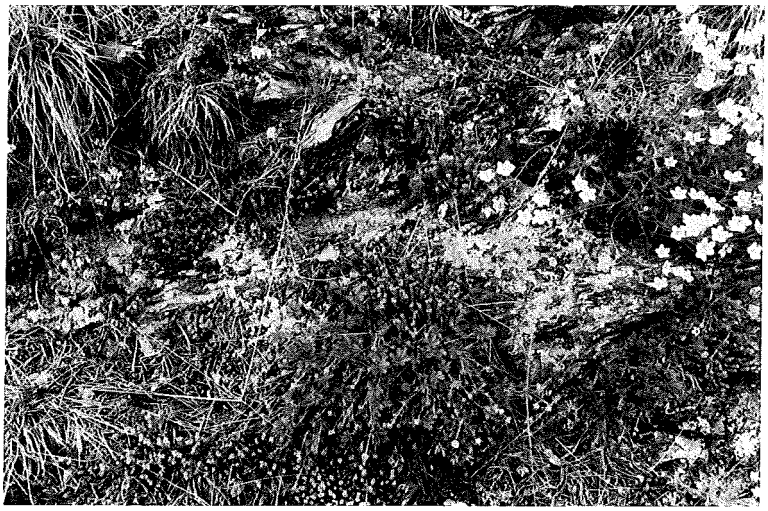


Bild 4: Ausschnitt aus dem Diantho gratianopolitani – Festucetum pallentis mit *Potentilla tabernaemontani*, *Sedum acre*, *Saxifraga rosacea* und *Festuca pallens* (Aufn. Mai 1987).

Diese Vorgehensweise achtete einerseits den Naturschutzcharakter der Wojaleite und erlaubte andererseits, daß nach der Hauptprobenentnahme (Juni/Juli 1987) im September 1987 von einigen der beprobten Individuen nochmals Proben entnommen werden konnten, um eventuelle Anreicherungen festzustellen (X-Proben). Ende Oktober 1987 wurden Vergleichsproben von normalversorgten Pflanzen des botanischen Gartens der FAU Erlangen-Nürnberg entnommen (O-Proben).

Mit Ausnahme von *Sedum acre* erfolgte die Auftrennung der Pflanzenproben in Blüten, Sproß, Blätter und evtl. Wurzeln sofort nach der Probenentnahme. *Sedum acre* konnte erst nach der allgemein durchgeführten mehrwöchigen Trocknungsphase aufgetrennt werden, da in frischem Zustand zu viel Gewebeflüssigkeit verlorengegangen wäre. Anschließend wurden die Pflanzen- und Bodenproben homogenisiert und mit 65%iger Salpetersäure in einer

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at

geschlossenen Druckveraschungsapparatur aufgeschlossen (Gesteinsproben mit einem Gemisch aus HF und $HClO_4$), ehe sie in verdünnter Form in einer Graphitrohreinheit oder direkt in der Flamme atomabsorbtionsspektrometrisch auf Nickel, Chrom, Magnesium und Calcium (Bodenproben zusätzlich auf Kalium) untersucht wurden. Die Bodenproben erfuhren weiterhin eine pH-Wert-Bestimmung sowie eine Analyse des organisch gebundenen Kohlenstoffes.

2. Ionenverteilungen innerhalb der Pflanzen

2.1. *Armeria maritima* ssp. *serpentini* (= *Armeria elongata* ssp. *serpentini*)

Armeria maritima ssp. *serpentini* kommt auf schmalen Terassenstufen und schwächer geneigten Arealen mit Humusakkumulationen von mindestens 2 cm vor. Zudem sollten Klüfte der Pfahlwurzel Raum geben. Die Armeria-Standorte entsprechen hinsichtlich pH-Wert (durchschn. 6,40) und organischer Substanz (durchschn. 18,2%) den typischen Verhältnissen der Wojaleite.

Die Tabellen 1a-d geben die Nickel-, Chrom-, Calcium- und Magnesium–konzentrationen der einzelnen Pflanzenteile, des Bodens und des Ausgangsgesteins an.

Die stark schwankenden Nickel- und Chromkonzentrationen in den einzelnen Pflanzenteilen können nur z. T. damit erklärt werden, daß die Schwermetallökotypen von *Armeria maritima* nach ERNST (1974) Schwermetalle, einige Anionen sowie Ca, Mg, K und Na aktiv durch spezielle Salzdrüsen an der Blattunterseite ausscheiden. Da jedoch nicht nur in den Blättern sondern auch in den Blüten und Sprossen stark schwankende Schwermetallkonzentrationen angetroffen werden, liegt die Annahme nahe, daß Nickel und Chrom den Exkretionsdrüsen nicht direkt zugeführt werden, sondern zunächst in gelöster Form durch sämtliche Pflanzenteile transportiert werden. Das Verteilungsmuster könnte somit als Momentaufnahme der Stoffwechsel-Ionenverteilung gedeutet werden, wobei die Schwermetallionen innerhalb des Transportmediums ungleichmäßig verteilt sind. Zwischen Juni und September tritt dabei eine Chromanreicherung in allen Pflanzenteilen auf, während höchstens eine leichte Nickelanreicherung in den Blüten festgestellt werden kann. Diese aktive Ausscheidung scheint trotz dieser Einschränkungen wirksam zu funktionieren, da einige Individuen gegenüber der aus dem Botanischen Garten der Universität Erlangen-Nürnberg stammenden normalversorgten Pflanze nur sehr gering erhöhte Schwermetallkonzentrationen aufweisen.

Calcium und Magnesium liegen gleichmäßiger verteilt vor: Die höchsten Konzentrationen mit ca. 50% des Gesamtgehalts befinden sich jeweils in den Blättern, der Rest verteilt sich auf Sproß und Blüten, wobei Calcium in den Blüten und Magnesium im Sproß konzentrierter auftreten. Wenn überschüssige Mengen beider Elemente ebenfalls an den Exkretionsorganen ausgeschieden und zuvor durch die selben Leitungsbahnen wie Nickel und Chrom transportiert werden sollen, so müssen sie im Transportmedium in gleichmäßig konzentrierter Lösung vorliegen, um das relativ konstante Verteilungsmuster zu erzeugen. Dies erscheint zunächst aufgrund des hohen Magnesiumüberangebots zumindest für dieses Element leicht möglich zu sein. Auch bei Calcium zeigt sich, daß *Armeria maritima* ssp. *serpentini* trotz des allgemeinen Mangels gegenüber der Vergleichsprobe erhöhte Werte enthält und zudem Calcium anreichert, was u. U. sogar auf eine Oxalatfällung von überschüssigem Calcium hindeutet.

2.2. *Asplenium cuneifolium*

Der Serpentin-Streifenfarn *Asplenium cuneifolium* tritt v. a. auf schattigen, feuchten Standorten mit Bodenmächtigkeiten von meist mehr als 5 cm auf, die stark mit seinem Wurzelfilz durchsetzt sind. Das einzige Auftreten des in der Genese weiter fortgeschrittenen Bodentyps des Braunerde-Rankers konnte als Standort von *Asplenium cuneifolium* Nr. 7 (As7) beobachtet werden. Der Ah-Horizont erreichte hierbei eine Mächtigkeit von 4 cm, der BvCv-Horizont 3 cm. Die pH-Werte der *Asplenium*-Standorte zeigen mit einem durchschnittlichen Wert von 6,93 die höchsten Werte, der Anteil der organischen Substanz im Boden ist mit durchschnittlich 14% am geringsten.

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at

Tabellen 1 a-d: *Armeria maritima* subsp. *serpentini*. Teilprobenkonzentrationen in µg/g Trockensubstanz.

a: Nickel

	blüt	s	bl	ah	c
Ar1	105,1	26,6	45,0	1053	1820
Ar2	10,3	9,3	22,5	1053	1770
Ar3	3,5	11,2	12,4	1293	1710
Ar4	7,7	6,8	7,0	1950	1293
Ar5	5,3	9,1	13,4	668	1870
Ar6	4,4	2,6	6,1	1146	1920
Ar7	5,3	4,4	17,8	735	1370
Ar8	6,1	24,7	6,4	1288	1950
Ar9	4,4	2,7	5,5	1260	1710
Ar10	8,1	12,0	8,9	958	1810
Ar11	7,2	4,5	6,5	1375	1970
Ar12	5,7	8,2	10,5	1771	2300
Ar13	4,3	3,6	5,4	915	2400
Ar14	6,8	4,6	7,9	1180	1590
Ar15	9,6	1,6	5,1	1360	1990
Ar16	5,6	2,7	10,0	837	1510
Ar1X	11,6	52,7	19,8	1243	—
Ar5X	9,7	5,3	6,5	987	—
Ar11X	9,4	7,2	7,4	1454	—
Ar0	—	—	3,3	—	—

b: Chrom

	blüt	s	bl	ah	c
Ar1	63,11	10,41	2,64	566	930
Ar2	5,86	4,45	14,90	578	1610
Ar3	0,52	10,28	1,92	687	1420
Ar4	1,56	1,08	1,57	706	250
Ar5	0,55	0,52	0,79	422	1410
Ar6	0,71	0,47	1,15	703	1600
Ar7	5,00	0,50	4,06	492	1250
Ar8	1,44	6,39	0,35	609	1800
Ar9	0,30	0,24	0,57	617	830
Ar10	0,88	4,21	0,57	602	1020
Ar11	2,08	0,19	0,55	1052	3890
Ar12	0,45	2,28	0,98	861	2300
Ar13	0,77	0,70	1,75	582	1620
Ar14	0,65	0,29	0,52	688	1360
Ar15	5,37	0,08	0,61	882	2170
Ar16	1,48	0,36	1,51	837	4120
Ar1X	5,18	2,00	2,55	923	—
Ar5X	4,77	1,39	1,57	836	—
Ar11X	2,46	1,34	1,99	1110	—
Ar0	—	—	0,30	—	—

c: Calcium

	blüt	s	bl	ah
Ar1	2686	1204	3545	2039
Ar2	2326	1368	3898	2358
Ar3	1922	1586	4043	3195
Ar4	1370	365	2560	2847
Ar5	2221	1523	4683	4352
Ar6	2263	998	3350	3525
Ar7	1931	1595	4976	2745
Ar8	1572	1385	2854	3250
Ar9	3000	1506	3450	2571
Ar10	2681	2171	8669	3830
Ar11	3100	1802	3362	3989
Ar12	2650	1559	5150	3800
Ar13	1852	1497	5890	4345
Ar14	2942	2042	3059	3835
Ar15	1848	1303	4351	3172
Ar16	1756	1629	3851	3561
Ar1X	3188	2147	5623	1624
Ar5X	3552	3890	3768	4995
Ar11X	5088	2483	3524	4924
Ar0	—	—	1754	—

d: Magnesium

	blüt	s	bl	ah
Ar1	1935	3410	6610	94079
Ar2	2063	4988	9844	94079
Ar3	1374	5055	6694	140874
Ar4	1642	2706	5730	171292
Ar5	1874	4128	7069	89590
Ar6	1867	2809	5154	121349
Ar7	2114	4066	7576	72304
Ar8	2158	4673	5739	119125
Ar9	2337	3373	6130	129788
Ar10	1972	5909	10915	97826
Ar11	2793	4848	4846	151883
Ar12	2133	4064	7856	185755
Ar13	2247	3275	7735	105056
Ar14	3058	3183	5610	138643
Ar15	3076	3215	7729	139476
Ar16	1927	4307	8614	77235
Ar1X	3222	4869	8993	118479
Ar5X	2757	5204	5560	122560
Ar11X	3947	4732	5683	148469
Ar0	—	—	3793	—

Die Pflanzengehalte an Nickel und Chrom verdeutlichen, daß auch Pteridophyten eine den Angiospermen nahezu vergleichbare Schwermetallaufnahme zeigen können, was v. a. für Chrom gilt. Während zwischen Juni und September keinerlei Nickelanreicherung und lediglich eine geringe Chromanreicherung festgestellt werden kann, wird Magnesium und Calcium verstärkt in den Wedeln konzentriert. Ferner zeigen die Tabellen 2a-d, daß der pflanzenverfügbare Gehalt an Ni, Cr, Mg und Ca im BvCv-Horizont von As7 stets geringer ist als im Ah-Horizont.

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at

Tabellen 2 a-d: *Asplenium cuneifolium*. Teilprobenkonzentrationen in µg/g Trockensubstanz.

a: Nickel

	bl	ah	bvcv	c
As1	6,4	1514	—	1980
As2	6,5	845	—	1970
As3	11,3	1347	—	2250
As4	8,5	1262	—	2070
As5	6,2	1777	—	1500
As6	12,1	1187	—	2010
As7	16,3	1111	1059	1400
As4X	7,9	1217	—	—
As7X	10,8	1245	—	—

b: Chrom

	bl	ah	bvcv	c
As1	0,83	620	—	1640
As2	0,56	507	—	2230
As3	1,96	626	—	2720
As4	1,41	746	—	2340
As5	0,79	859	—	760
As6	1,95	1004	—	2170
As7	0,82	1058	886	1450
As4X	1,54	1054	—	—
As7X	1,13	1169	—	—

c: Calcium

	bl	ah	bvcv
As1	2660	1899	—
As2	3992	3667	—
As3	4555	3550	—
As4	3079	3317	—
As5	7599	1374	—
As6	3079	6971	—
As7	2352	3382	3213
As4X	5706	3941	—
As7X	4335	3811	—

d:Magnesium

	bl	ah	bvcv
As1	4134	176803	—
As2	3389	96643	—
As3	3767	148017	—
As4	3734	134135	—
As5	5468	172630	—
As6	4474	120787	—
As7	5666	88889	81548
As4X	7168	123870	—
As7x	6603	86000	—

2.3. *Dianthus gratianopolitanus*

Dianthus gratianopolitanus kommt neben *Festuca pallens* am häufigsten vor und ist im Bereich der Wojaleite an keine besonderen Standortfaktoren gebunden.

Im Vergleich zu Blättern eines normalversorgten Individuums von *Dianthus gratianopolitanus* (Di0), die einem Exemplar des botanischen Gartens der Universität Erlangen-Nürnberg entnommen worden sind, zeigen alle untersuchten Exemplare von *Dianthus gratianopolitanus* der Wojaleite deutlich erhöhte Nickelkonzentrationen in den Blättern, weniger deutlich trifft dies auch für Chrom zu. Stark angereichert liegen die Schwermetalle in den Wurzeln vor, was darauf hindeutet, daß *Dianthus gratianopolitanus* ein Rückhaltevermögen für diese Ionen im Wurzelbereich besitzt. Ferner kann festgestellt werden, daß zwischen Juni und September Schwermetalle verstärkt in den Blüten angereichert werden. Da diese nach der Vegetationsperiode abgeworfen werden, entledigt sich *Dianthus gratianopolitanus* auf diese Weise eines großen Teils seiner aufgenommenen Schwermetallionen.

Die höchsten Magnesiumgehalte liegen in den Blättern vor, woran sich auch im Verlauf des Sommers kaum etwas verändert. Dagegen scheint für *Dianthus gratianopolitanus* ein gewisser Calciummangel zu herrschen, da einerseits nur wenige der Exemplare den Calciumgehalt der Vergleichsprobe erreichen und andererseits in den Wurzeln nur geringe Konzentrationen angetroffen werden, was mit einer ständig erhöhten Nachfrage der oberirdischen Teile erklärt werden kann. Auch der Vergleich des Ca/Mg-Mol-Verhältnisses der Blätter von *Dianthus gratianopolitanus* (0,52) zur Vergleichsprobe (2,40) verdeutlicht diesen Mangel.

2.4. *Festuca pallens*

Auch *Festuca pallens* transportiert die Schwermetalle Nickel und Chrom in die Blütenregion, um sich ihrer nach der Blüte zu entledigen. Da dabei auch hohe Gehalte in den Samen

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at

vorliegen, könnte eine „Impfung" der Sämlinge stattgefunden haben , d. h., daß neben der genetischen Information zur Schwermetallresistenz (ERNST 1974) den Sämlingen gleichsam eine chemische Information verabreicht wird, um sie auf den zu erwartenden Bodenchemismus vorzubereiten. Die Jungpflanzen wären somit an den Standort ihrer Eltern gewissermaßen präadaptiert.

Die Strategie der Blütenanreicherung scheint besonders gut im Falle von Nickel zu funktionieren, da dieses Element in den anderen Pflanzenteilen dabei sogar abgebaut wird, so

Tabellen 3 a-d: *Dianthus gratianopolitanus*. Teilprobenkonzentrationen in µg/g Trockensubstanz.

a: Nickel

	blüt	s	bl	w	ah	c
Di1	13,5	7,1	35,9	44,3	739	2310
Di2	16,0	13,6	17,0	77,7	1021	1980
Di3	11,4	6,9	11,2	12,9	455	1875
Di4	14,9	7,7	14,0	—	513	2280
Di5	15,3	8,2	10,2	35,1	1215	1860
Di6	14,0	5,3	8,5	—	1135	1430
Di7	10,2	8,9	15,0	—	1220	1870
Di8	12,8	8,2	7,6	23,1	802	1960
Di9	13,4	5,8	9,0	—	759	1800
Di10	15,8	8,2	13,2	—	581	1880
Di11	10,2	8,3	11,3	—	1015	1970
Di12	19,8	14,0	19,6	60,7	1429	2020
Di13	12,1	6,1	8,8	—	1234	1960
Di14	16,5	6,3	9,7	—	658	1890
Di15	28,0	12,9	19,2	—	927	1770
Di16	21,8	15,2	24,3	—	921	1960
Di17	18,1	10,3	17,1	—	1001	2130
Di1X	34,9	16,7	33,8	—	940	—
Di7X	17,0	7,0	8,7	—	1072	—
Di11X	10,1	7,1	13,6	—	643	—
Di0	—	—	0,8	—	—	—

b: Chrom

	blüt	s	bl	w	ah	c
Di1	4,16	3,12	4,00	12,12	472	1280
Di2	5,83	1,50	7,68	11,46	569	2120
Di3	0,44	0,28	0,24	1,53	263	1625
Di4	1,55	0,45	0,69	—	383	2640
Di5	0,43	0,22	0,35	4,06	670	1380
Di6	1,26	0,13	0,63	—	546	460
Di7	1,43	0,37	0,53	—	576	1060
Di8	1,13	0,41	0,37	9,62	601	780
Di9	2,43	0,38	0,66	—	545	1800
Di10	1,84	0,36	0,70	—	488	2010
Di11	2,38	0,47	0,76	—	761	2430
Di12	1,99	0,24	0,76	5,10	950	2610
Di13	2,60	0,43	0,85	—	760	1630
Di14	7,33	0,46	0,97	—	762	1370
Di15	3,82	0,30	1,13	—	765	1360
Di16	0,83	0,12	0,68	—	672	1530
Di17	2,24	0,30	0,74	—	974	1710
Di1X	5,61	1,19	1,83	—	810	—
Di7X	3,31	0,50	0,95	—	670	—
Di11X	3,93	0,52	1,88	—	514	—
Di0	—	—	0,15	—	—	—

c: Calcium

	blüt	s	bl	w	ah
Di1	3861	1846	4784	2891	2180
Di2	1745	1534	4300	1875	4034
Di3	4333	4319	8355	5194	7727
Di4	2811	2800	4802	—	1875
Di5	1454	2187	2480	2382	3361
Di6	1684	1849	2822	—	3511
Di7	2432	3200	4667	—	2846
Di8	3797	3191	4523	3518	4509
Di9	2090	3080	5323	—	3559
Di10	4056	2744	8152	—	3617
Di11	3157	2583	4484	—	3340
Di12	3060	4070	6225	2739	3112
Di13	2264	2100	4448	—	3340
Di14	4136	3123	5020	—	4615
Di15	4379	2673	5480	—	4719
Di16	3676	3186	4633	—	3735
Di17	2457	2903	5010	—	2534
Di1X	3759	3025	4853	—	1959
Di7X	2728	2603	3889	—	2461
Di11X	1884	2650	6004	—	3395
Di0	—	—	8382	—	—

d: Magnesium

	blüt	s	bl	w	ah
Di1	5000	2951	11951	4590	78140
Di2	3325	3904	6050	4563	111429
Di3	2265	5906	7064	3058	77614
Di4	2164	3516	5192	—	54625
Di5	2043	3148	3486	4355	144519
Di6	3581	3613	4986	—	125660
Di7	3242	4937	6392	—	129700
Di8	3954	5154	5928	4628	94225
Di9	3465	3233	5806	—	94203
Di10	2958	2923	6063	—	70750
Di11	4840	5482	7411	—	127184
Di12	3813	3462	6369	3787	146301
Di13	4269	2460	5301	—	139884
Di14	4261	2699	3857	—	67949
Di15	3741	3644	5210	—	98087
Di16	3246	3455	4569	—	84910
Di17	2930	2676	4573	—	87905
Di1X	3389	2854	7887	—	87513
Di7X	2992	2505	5144	—	111964
Di11X	3301	2254	12924	—	68416
Di0	—	—	2117	—	—

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at

daß in den Blättern kaum erhöhte Werte gegenüber normalversorgten Pflanzen auftreten. Außerdem dürfte ein Rückhaltevermögen für Schwermetalle im Wurzelbereich vorhanden sein, welches v. a. gegen Chromionen wirkt, so daß in den oberirdischen Pflanzenteilen i. A. nur relativ geringe Gehalte festzustellen sind.

Im Vergleich zu den anderen untersuchten Arten zeigt *Festuca pallens* die mit Abstand geringsten Magnesiumgehalte. Da dabei in der Wurzel eine nahezu gleichniedrige Konzentration wie in den Blättern auftritt, scheint in diesem Fall eine Nährstoffselektivität vorzuliegen: Es wird primär nur soviel Magnesium aufgenommen, wie für den Stoffwechsel erforderlich ist. Der Magnesiumgehalt der Blätter von *Festuca pallens* der Wojaleite zeigt deshalb auch keine deutlichen Abweichungen gegenüber normalversorgten Individuen. Doch dazu später mehr.

Da auch Calcium in nur sehr geringen Konzentrationen in der Pflanze vorliegt, die auf Kalkstein des botanischen Gartens der Universität wachsende Vergleichsprobe *Festuca pallens* aber ebenfalls sehr geringe Gehalte zeigt, kann angenommen werden, daß Calcium für diese Art nur untergeordnet für den Stoffwechsel vonnöten ist.

Tabellen 4 a-d: *Festuca pallens*. Teilprobenkonzentrationen in µg/g Trockensubstanz.

a: Nickel

	blüt	sam	s	bl	w	ah	c
Fe1	—	—	—	14,5	35,1	1277	2170
Fe2	13,9	—	3,1	13,1	—	797	1860
Fe3	19,9	21,8	5,3	8,6	—	576	2210
Fe4	22,1	50,8	7,1	7,4	—	533	2210
Fe5	23,0	—	12,0	13,6	—	517	1980
Fe6	13,2	—	7,6	7,9	—	1157	2000
Fe7	16,9	—	9,1	11,2	—	1014	2050
Fe8	28,0	—	13,0	16,0	—	1093	2200
Fe9	17,9	—	7,7	10,0	—	910	2140
Fe10	20,9	—	10,7	11,6	—	1053	1880
Fe11	19,9	—	5,1	8,3	—	1415	2200
Fe12	7,6	—	1,3	3,8	—	1114	1650
Fe5X	35,5	—	2,6	5,2	—	650	—
Fe7X	24,7	—	3,8	4,9	—	1408	—
Fe0	—	—	—	2,3	—	—	—

b: Chrom

	blüt	sam	s	bl	w	ah	c
Fe1	—	—	—	1,85	7,63	716	1940
Fe2	0,95	—	1,12	1,30	—	560	910
Fe3	0,35	0,53	0,57	0,57	—	400	1720
Fe4	0,66	5,30	1,70	0,41	—	441	1990
Fe5	0,66	—	0,51	0,23	—	408	1580
Fe6	3,08	—	0,16	0,42	—	518	920
Fe7	1,20	—	0,74	0,27	—	631	1380
Fe8	1,19	—	0,71	1,44	—	602	2310
Fe9	1,33	—	0,54	0,86	—	516	1840
Fe10	0,73	—	0,32	0,17	—	552	560
Fe11	0,94	—	0,32	0,21	—	712	1210
Fe12	1,19	—	0,26	0,40	—	712	1210
Fe5X	2,15	—	0,58	0,66	—	573	—
Fe7X	2,11	—	0,55	0,94	—	955	—
Fe0	—	—	—	0,11	—	—	—

c: Calcium

	blüt	sam	s	bl	w	ah
Fe1	—	—	—	886	1662	1842
Fe2	811	—	572	725	—	2377
Fe3	790	3130	430	880	—	7294
Fe4	943	6539	321	1326	—	3347
Fe5	915	—	264	1039	—	2504
Fe6	558	—	241	794	—	2433
Fe7	988	—	334	836	—	3293
Fe8	831	—	420	780	—	4188
Fe9	752	—	320	818	—	4392
Fe10	1198	—	468	866	—	2654
Fe11	1000	—	464	797	—	2110
Fe12	862	—	460	1183	—	5829
Fe5X	2366	—	646	1174	—	1860
Fe7X	1787	—	811	1287	—	4236
Fe0	—	—	—	1438	—	—

d: Magnesium

	blüt	sam	s	bl	w	ah
Fe1	—	—	—	1758	1723	122913
Fe2	1029	—	821	1241	—	90778
Fe3	1541	2366	879	1485	—	84453
Fe4	1597	3462	802	1338	—	75829
Fe5	1801	—	825	1825	—	66379
Fe6	1651	—	656	2009	—	130478
Fe7	1724	—	694	1329	—	124737
Fe8	1580	—	754	1380	—	132024
Fe9	1187	—	499	900	—	115552
Fe10	1984	—	611	1149	—	107432
Fe11	1646	—	1052	1220	—	155054
Fe12	1730	—	1176	2079	—	140803
Fe5X	2473	—	706	1974	—	60015
Fe7X	1787	—	721	1769	—	145935
Fe0	—	—	—	1229	—	—

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at

Festuca pallens ist mit diesen Strategien bestens gegen die Serpentinitverhältnisse gerüstet, was sich auch in ihrem häufigen Auftreten in der Assoziation äußert.

2.5. *Saxifraga rosacea* (*Saxifraga decipiens* Ehrh.)

Saxifraga rosacea siedelt vorwiegend auf Syrosemen und Syrosem-Rankern, bevorzugt also Standorte mit initialer Bodenentwicklung. Als Streu fallen die anscheinend schwer zersetzbaren Rückstände der Blätter an, wodurch der Anteil der organischen Substanz hoch und der pH-Wert des Bodens in der Regel niedrig ist. Es wurden neben den lebenden Pflanzenteilen auch die noch an der Pflanze befindlichen verwelkten Blattrosetten des Vorjahres (tbl) analysiert.

Saxifraga rosacea enthält von allen untersuchten Arten die höchsten Schwermetallkonzentrationen. Dies ist darauf zurückzuführen, daß *Saxifraga rosacea* kein Rückhaltevermögen im Wurzelbereich besitzt und zudem in sehr engem Kontakt zum Ausgangsgestein

Tabellen 5 a-d: *Saxifraga rosacea*. Teilprobenkonzentrationen in µg/g Trockensubstanz.

a: Nickel

	blüt	sam	s	bl	tbl	w	ah	c
Sa1	19,0	—	6,7	—	48,8	—	747	2260
Sa2	40,1	66,5	11,7	23,2	75,3	—	1464	1760
Sa3	35,0	—	15,0	25,7	59,4	—	1472	1660
Sa4	37,6	32,8	23,7	29,7	83,9	—	968	1610
Sa5	27,3	20,5	14,1	19,3	52,3	15,1	390	1770
Sa6	29,8	—	15,5	24,4	56,8	—	308	2030
Sa7	37,6	—	11,8	19,4	103,2	—	733	1860
Sa8	19,8	—	11,3	14,4	48,7	—	1181	2110
Sa9	24,4	—	12,8	15,7	55,9	—	625	1550
Sa10	58,1	—	26,2	30,9	82,9	—	735	2260
Sa11	40,6	—	19,6	30,1	62,6	—	1239	1750
Sa12	30,8	—	21,5	20,8	70,9	—	1136	1930
Sa13	74,5	—	38,1	35,4	91,2	—	761	1780
Sa5X	19,4	—	16,0	15,7	30,2	—	674	—
Sa9X	31,9	—	29,9	12,1	22,7	—	1626	—
Sa0	—	—	—	0,7	—	—	—	—

b: Chrom

	blüt	sam	s	bl	tbl	w	ah	c
Sa1	1,07	—	0,72	—	25,4	—	515	2060
Sa2	1,28	14,50	2,00	1,11	42,5	—	951	1260
Sa3	1,14	—	1,32	0,93	35,1	—	697	830
Sa4	2,84	2,77	3,06	2,43	38,1	—	583	980
Sa5	3,84	3,57	4,04	1,85	36,9	1,28	257	680
Sa6	2,15	—	3,15	0,89	27,8	—	167	1300
Sa7	16,15	—	3,61	2,03	39,9	—	498	1270
Sa8	2,38	—	3,10	0,98	21,4	—	674	2330
Sa9	8,08	—	6,64	6,16	36,6	—	380	410
Sa10	14,40	—	9,23	4,07	35,9	—	432	890
Sa11	6,17	—	6,04	4,22	41,1	—	804	930
Sa12	9,08	—	8,91	5,88	39,3	—	730	1510
Sa13	38,20	—	17,84	7,21	34,8	—	211	710
Sa5X	9,22	—	6,95	5,54	41,4	—	545	—
Sa9X	13,17	—	7,86	5,22	39,4	—	987	—
Sa0	—	—	—	0,14	—	—	—	—

c: Calcium.

	blüt	sam	s	bl	tbl	w	ah
Sa1	5767	—	2578	—	10595	—	6355
Sa2	4685	13600	3915	6534	8946	—	4132
Sa3	3550	—	3150	6321	7612	—	2392
Sa4	2873	5534	2904	7434	5526	—	2669
Sa5	7645	9203	4943	7523	9579	4626	7161
Sa6	9040	—	4464	7131	7577	—	3205
Sa7	2618	—	4614	9516	5169	—	3846
Sa8	2940	—	3699	4526	10611	—	2746
Sa9	1627	—	3802	3347	5536	—	3322
Sa10	6750	—	4720	10697	14056	—	4463
Sa11	5332	—	3810	8682	9421	—	4732
Sa12	3563	—	4695	6826	8271	—	5000
Sa13	4032	—	4209	5129	6766	—	4792
Sa5X	7209	—	5736	7320	9915	—	5498
Sa9X	6197	—	5622	4295	8015	—	2409
Sa0	—	—	—	11886	—	—	—

d: Magnesium

	blüt	sam	s	bl	tbl	w	ah
Sa1	1767	—	785	—	6615	—	99015
Sa2	5443	11450	1729	3426	8680	—	155016
Sa3	3531	—	2062	3435	7632	—	145505
Sa4	4682	4345	2955	4452	7708	—	104752
Sa5	4524	4293	3642	4071	11136	1845	51988
Sa6	3934	—	2641	2817	5744	—	25769
Sa7	7058	—	2886	4337	12528	—	74519
Sa8	3458	—	2075	2806	7230	—	121535
Sa9	5252	—	4140	5360	10861	—	88869
Sa10	5845	—	3061	2946	7617	—	83671
Sa11	4841	—	3111	4859	9795	—	137389
Sa12	4460	—	3000	3753	9691	—	134596
Sa13	10755	—	5285	5105	8904	—	40822
Sa5X	3062	—	2614	4165	6618	—	74170
Sa9X	10798	—	8607	4678	10524	—	167510
Sa0	—	—	—	2670	—	—	—

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at

steht. Dabei wird Nickel wiederum verstärkt in die Blütenregion transportiert, Chrom daneben auch in den Sproß. In den abgestorbenen, letztjährigen Blättern wurden aber noch deutlich höhere Gehalte gemessen. Dies verwundert insofern v. a. im Falle von Nickel, da zwischen Juni und September keine eindeutigen Anreicherungen in den Blättern festgestellt werden können. Zudem sinkt in diesem Zeitraum der Nickelgehalt in den abgestorbenen Blättern anscheinend wieder ab. Dieser überraschende Befund kann auch für Magnesium festgestellt werden und nur mit Auswaschungserscheinungen erklärt werden. Die lebenden Blätter scheiden die Schwermetalle dagegen aktiv über Salzdrüsen aus. Trotzdem kann es über längere Zeiträume zu Anreicherungen kommen, die sich in den hohen Gehalten der abgestorbenen Blätter ausdrücken. Diese bleiben z. T. über mehrere Jahre an der Pflanze während sich die frischen Blattaustriebe über ihnen am Sproß anordnen. Beeindruckend ist im Falle von Nickel dann allerdings die Geschwindigkeit, mit der die hohen Konzentrationen der abgestorbenen Blätter wieder ausgewaschen werden.

Da Chrom einerseits nicht ausgewaschen und andererseits in der Pflanze stark angereichert wird, muß angenommen werden, daß das Exkretionssystem von *Saxifraga rosacea* nur bei bestimmten Ionen wirkungsvoll arbeitet, nicht aber bei Chrom. So ist zu erklären, daß in den abgestobenen Blättern die Chromkonzentration die der lebenden Blätter bis zum 40fachen übersteigt.

Calcium liegt in relativ gleichmäßiger Verteilung vor und wird weder deutlich abgebaut noch angereichert.

Saxifraga rosacea besitzt also insgesamt nur sehr unzureichende Abwehrmechanismen gegen hohe Schwermetallkonzentrationen, zeigt sich aber allerdings auch nicht sehr beeindruckt von der hohen toxischen Belastung in ihren Organen.

2.6. *Sedum acre*

Sedum acre kommt ähnlich wie *Saxifraga rosacea* vorzugsweise auf Standorten mit initialer Bodenentwicklung vor. Da *Sedum acre* aber nach der Vegetationsperiode sehr leicht zersetzbar ist, fällt der eigene sauere und kohlenstoffreiche Streuanteil sehr gering aus, so daß der durchschnittliche pH-Wert mit 6,93 relativ hoch und der Kohlenstoffgehalt der *Sedum*-Standorte relativ gering ist.

Die in getrocknetem Zustand aufgetrennten Proben deuten an, daß Nickel in der höchsten Konzentration in den Blüten vorliegt, während für Chrom keine eindeutigen Unterschiede zwischen Blüten und Blättern festgestellt werden können. Die Wurzeln besitzen kein starkes Rückhaltevermögen für diese Ionen, es treten aber auch keine Anreicherungen zwischen Juni und September auf.

Sedum acre enthält von allen untersuchten Arten die höchsten Magnesium- und Calciumkonzentrationen. Während die Magnesiumgehalte in den Blüten und Blättern annähernd gleich hoch sind, wird Calcium vorwiegend in den Blüten konzentriert. In den Wurzeln werden jeweils nur geringe Mengen gemessen, was auf einen schnellen Transport durch diesen Bereich hindeutet.

Die hohen Calciumgehalte von *Sedum acre* sind nach HORAK (1971) typisch für die gesamte Familie der Crassulaceae. Da die Pflanze oft ein vielfaches der Konzentration des umgebenden Substrates aufweist, ist *Sedum acre* sehr gut an den calciumarmen Serpentinitstandort angepaßt. Es treten keine Calciumanreicherungen im Sommer auf, was daran liegt, daß nach HORAK (1971) die Crassulaceen das meiste Calcium in gelöster Form enthalten. Da auch keine Nickel-, Chrom- und Magnesiumanreicherungen auftreten, ist anzunehmen, daß auch diese Ionen gelöst in der Gewebeflüssigkeit vorliegen und somit ständig am Stoffwechselkreislauf teilnehmen.

2.7. *Silene vulgaris* (*Silene cucubalus* Wibel)

Silene vulgaris ist an mächtigere Bodenbildungen >4 cm angewiesen. Sie ist deshalb im stärker geneigten Zentralbereich der Wojaleite relativ selten und kommt vornehmlich am Hangfuß und auf der oberen Hangverebnung vor.

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at

Tabellen 6 a-d: *Sedum acre*. Teilprobenkonzentrationen in µg/g Trockensubstanz.

a: Nickel

	gesamt	blüt	s	bl	w	ah	c
Se1	24,1	—	—	—	33,0	1203	2190
Se2	—	17,6	13,5	19,2	31,4	962	2000
Se3	15,6	13,2	3,2	7,1	—	826	1670
Se4	—	9,4	3,7	6,6	19,1	1551	1740
Se5	17,1	16,0	7,2	7,1	—	972	1950
Se6	15,3	—	—	—	13,5	1020	1280
Se7	8,3	12,4	8,3	5,7	—	1114	1830
Se8	10,1	9,3	3,4	4,6	—	672	2460
Se9	14,8	14,3	5,4	9,0	—	1056	1910
Se10	8,2	11,4	5,0	5,8	10,4	881	2140
Se11	13,2	—	—	—	—	1213	1940
Se12	11,7	15,2	5,3	6,5	—	631	1840
Se13	11,2	11,5	6,2	7,7	—	1221	1300
Se14	8,9	—	—	—	—	1026	1810
Se4X	6,2	—	—	—	—	1536	—
Se9X	16,1	—	—	—	—	1238	—

b: Chrom

	gesamt	blüt	s	bl	w	ah	c
Se1	0,90	—	—	—	1,70	599	1750
Se2	—	1,09	1,45	4,05	1,84	659	1640
Se3	0,39	0,56	0,11	0,96	—	516	910
Se4	—	0,77	1,16	1,73	3,73	730	1150
Se5	1,44	0,45	0,14	0,87	—	541	1000
Se6	2,40	—	—	—	0,14	453	150
Se7	0,48	0,71	0,24	1,50	—	510	480
Se8	1,01	1,04	0,38	1,04	—	480	3140
Se9	1,53	1,23	0,42	1,63	—	501	700
Se10	2,40	2,44	0,80	2,50	0,88	626	1570
Se11	2,34	—	—	—	—	554	920
Se12	1,39	1,37	0,42	2,46	—	541	1700
Se13	1,79	2,16	0,60	1,63	—	463	870
Se14	1,78	—	—	—	—	553	1270
Se4X	1,49	—	—	—	—	1047	—
Se9X	1,20	—	—	—	—	847	—

c: Calcium

	gesamt	blüt	s	bl	w	ah
Se1	13044	—	—	—	5283	663
Se2	—	20444	5200	6052	4153	4543
Se3	18525	25125	12355	12564	—	6579
Se4	—	7144	2405	2513	2634	2275
Se5	8701	17648	3586	5679	—	2692
Se6	15159	—	—	—	4835	2219
Se7	15377	16319	6111	6709	—	1856
Se8	20193	16941	8022	8143	—	2662
Se9	12574	19405	6013	5604	—	3553
Se10	12220	12420	7178	6143	4171	4016
Se11	13217	—	—	—	—	7053
Se12	10183	14976	6602	5626	—	4369
Se13	10769	13519	6606	6764	—	4741
Se14	14555	—	—	—	—	2934
Se4X	8835	—	—	—	—	2537
Se9X	10881	—	—	—	—	5083

d: Magnesium

	gesamt	blüt	s	bl	w	ah
Se1	10621	—	—	—	7830	129543
Se2	—	8241	3750	9236	3341	98558
Se3	10446	7382	7823	11091	—	110959
Se4	—	13378	8143	14525	6268	177335
Se5	13157	11416	8086	13333	—	100324
Se6	12401	—	—	—	5549	114554
Se7	14429	10232	8472	12006	—	113119
Se8	9698	5337	6619	9713	—	69625
Se9	13397	11365	9486	14413	—	125386
Se10	9289	8898	8516	8571	3713	98964
Se11	8251	—	—	—	—	147371
Se12	7721	6551	8476	9690	—	56553
Se13	7721	6551	8476	9690	—	149748
Se14	11487	—	—	—	—	95539
Se4X	14041	—	—	—	—	151071
Se9X	6582	—	—	—	—	129041

Silene vulgaris reichert im Jahresverlauf Nickel und Chrom in den Blüten und Blättern an, wobei in den Blüten noch geringfügig höhere Konzentrationen auftreten. Die Gehalte in den Sprossen bleiben während dieses Vorganges nahezu konstant. Die meisten dieser Ionen vermag *Silene vulgaris* jedoch im Wurzelbereich zurückzuhalten, wodurch es in den oberirdischen Pflanzenteilen erst im Jahresverlauf zu deutlicher erhöhten Werten kommt. Dieses Rückhaltevermögen scheint auch hier für Nickel besser zu funktionieren als für Chrom.

Die höchsten Magnesium- und Calciumkonzentrationen liegen jeweils in den Blättern vor, wobei Calcium deutlicher angereichert wird als Magnesium. Dabei weichen die Gehalte von *Silene vulgaris* nicht stark von denen der auf normalversorgten Vergleichsprobe aus dem botanischen Garten der Universität Erl.-Nbg. ab, was bedeutet, daß hohe Magnesiumkonzentrationen in den Blättern für *Silene vulgaris* nichts Außergewöhnliches darstellen. Ihren ebenso normalen Calciumgehalt erreicht die Pflanze durch effektive Aufnahme, rasche Weiterleitung durch die Wurzeln und Anreicherung in den oberirdischen Teilen.

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at

Tabellen 7 a-d: *Silene vulgaris*. Teilprobenkonzentrationen in µg/g Trockensubstanz.

a: Nickel

	blüt	s	bl	w	ah	c
Si1	16,1	8,5	15,5	107,0	1159	1620
Si2	1,5	2,3	1,4	—	1143	1460
Si3	6,9	9,7	6,5	—	1355	1740
Si4	10,5	5,6	20,4	—	507	2120
Si5	5,7	2,3	11,7	—	1482	2110
Si6	11,4	6,7	7,5	—	1448	2010
Si7	6,6	4,1	10,5	—	1375	1870
Si8	7,1	2,6	3,9	—	1449	1910
Si3X	21,8	8,6	19,7	—	1693	—
Si7X	15,3	6,0	14,7	—	839	—
Si0	—	—	2,8	—	—	—

b: Chrom

	blüt	s	bl	w	ah	c
Si1	2,50	2,99	2,40	33,9	903	1970
Si2	1,46	1,56	1,42	—	571	230
Si3	0,66	0,76	0,73	—	685	1240
Si4	0,87	0,29	1,41	—	258	1680
Si5	1,34	0,88	2,43	—	790	2030
Si6	1,33	0,20	1,92	—	619	1720
Si7	1,48	0,34	1,85	—	1037	1720
Si8	1,15	0,18	0,70	—	773	1660
Si3X	2,09	0,42	1,27	—	859	—
Si7X	2,65	0,46	2,23	—	697	—
Si0	—	—	0,28	—	—	—

c: Calcium

	blüt	s	bl	w	ah
Si1	3839	1283	3017	1799	3131
Si2	6748	1687	15302	—	6861
Si3	3533	1777	7364	—	4881
Si4	3448	2219	10119	—	3408
Si5	1961	1947	10165	—	4699
Si6	2522	2381	13996	—	3549
Si7	3132	3711	8550	—	3750
Si8	2871	2404	8209	—	5021
Si3X	4500	5893	13848	—	4731
Si7X	3918	5031	11863	—	3568
Si0	—	—	13077	—	—

d: Magnesium

	blüt	s	bl	w	ah
Si1	5446	6262	8462	5796	123446
Si2	6179	2777	9930	—	129440
Si3	5359	4403	13333	—	146036
Si4	5828	2227	9029	—	55021
Si5	4833	2524	10668	—	169221
Si6	5218	3394	19319	—	158403
Si7	5522	4060	10919	—	148500
Si8	4901	5010	10343	—	146998
Si3X	5824	5954	17603	—	175423
Si7X	4414	3730	9696	—	85893
Si0	—	—	9580	—	—

Die untersuchten Serpentinpflanzen reagieren also mit unterschiedlichen Strategien auf die hohen toxischen Belastungen des Standortes: Aktive Ausscheidung durch Salzdrüsen, deren Wirksamkeit jedoch nicht überschätzt werden darf; Nährstoffselektivität und Rückhaltevermögen im Wurzelbereich, wobei sich jedoch die Frage stellt, welche längerfristige Auswirkung die steigende Konzentration im Filtersystem auf die Pflanze hat; Transport der Schwermetalle in die Blütenregion, die später abstirbt und die ausdauernden Teile somit entsorgt. Dieses System scheint sehr wirkungsvoll zu arbeiten, und gleichzeitig ermöglicht es die „Impfung" der Samen, die so auf die zu erwartende Belastung besser vorbereitet werden könnten.

3. Das Boden-Pflanzen-Verhältnis

Zwischen den absoluten Gesteins- und Bodenkonzentrationen kann erwartungsgemäß kein unmittelbarer Zusammenhang gefunden werden. Doch wie genau können die Gehalte in den einzelnen Pflanzen die Bodenkonzentrationen widerspiegeln, kann artspezifisches Verhalten quantitativ ausgedrückt werden und welche Parameter könnten für unterschiedliches Aufnahmeverhalten verantwortlich sein?

3.1. Der Aufnahmefaktor A

Da in dieser Arbeit die Pflanzenproben in Blüten, Sproß und Blätter getrennt wurden, die Betrachtung nur eines dieser Teile aber keinen Rückschluß auf den tatsächlichen Pflanzengehalt geben kann, muß zunächst der Durchschnittsgehalt jeder einzelnen Pflanze ermittelt

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at

werden. Aus vereinfachenden Gründen wurde hierfür der arithmetische Mittelwert aus Blüten-, Sproß- und Blättergehalt herangezogen:

$$\text{Durchschnittsgehalt} = \frac{\text{Blütengehalt + Sproßgehalt + Blättergehalt}}{3}$$

$$Ø = \frac{\text{blüt + s + bl}}{3}$$

Diese Berechnung wird bei allen Pflanzenproben für jedes der untersuchten Elemente durchgeführt. Der Durchschnittsgehalt jeder einzelnen Pflanze wird nun mit dem Gehalt ihrer Bodenprobe verglichen, wobei aufgrund der weit auseinanderliegenden Wertegruppen eine logarithmische Betrachtungsweise am zweckmäßigsten ist: Die Bodenkonzentrationen sowie die Durchschnittsgehalte der Pflanzen werden jeweils dekadisch logarithmiert und anschließend voneinander subtrahiert, was für jede Pflanze ihren Aufnahmefaktor A ergibt. Der Aufnahmefaktor A ist also der logarithmische Wert des Verhältnisses Bodengehalt/Pflanzengehalt jeder einzelnen Pflanze und gibt ihre spezifische Aufnahmeleistung an.

$$A = \lg \frac{\text{Bodengehalt}}{\text{Durchschnittsgehalt der Pflanze}}$$

$$A = \lg \frac{ah}{Ø} = \lg ah - \lg Ø$$

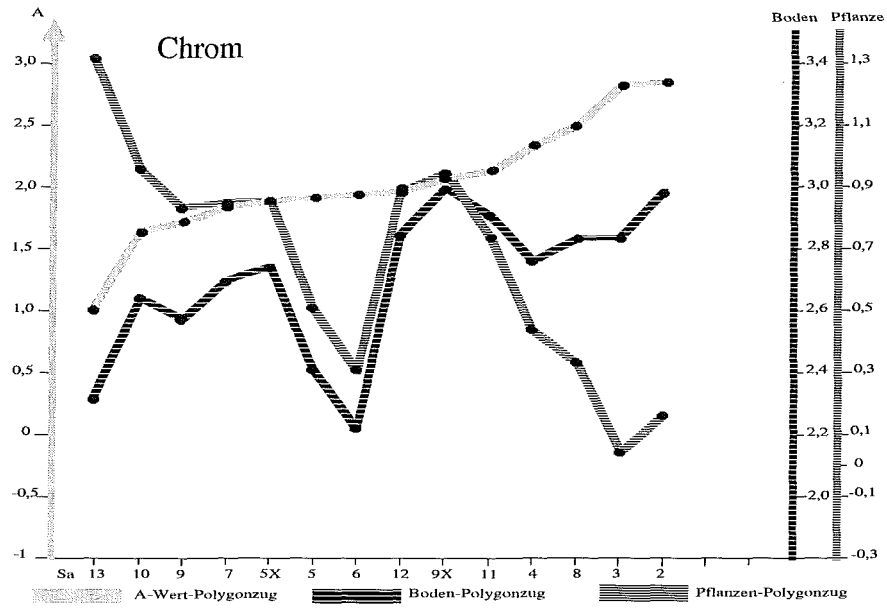
Wie verhält sich der Aufnahmefaktor A? Hohe A-Werte zeigen an, daß der Bodengehalt deutlich über dem Pflanzengehalt liegt, die Aufnahmeleistung der Pflanze daher gering ist. Kleine A-Werte stehen somit für eine, relativ zum Bodengehalt hohe Konzentration des entsprechenden Elements in der Pflanze. Ein A-Wert von 0 bedeutet, daß in Boden und Pflanze gleiche Konzentrationen vorliegen, A = 2 bezeichnet z. B. eine 100fach höhere Konzentration im Boden als in der Pflanze (A = 1: 10fach; A = 3: 1000fach), und negative Werte zeigen an, daß in der Pflanze eine höhere Konzentration als im Boden vorliegt.

Um eventuelle Zusammenhänge der Aufnahmeleistung mit anderen Faktoren wie z. B. den pH-Wert besser erkennen zu können, sind die einzelnen Individuen einer Art in den Diagrammen so geordnet worden, daß sie von links nach rechts abnehmende Aufnahmeleistung zeigen, die A-Werte also von links nach rechts stetig steigen. Diese Ordnung wurde für jedes der untersuchten Elemente durchgeführt, wobei die Abfolge der Individuen auf der Abszisse natürlich von Element zu Element schwankt, da ein Individuum, das z. B. relativ viel Nickel aufnimmmt, nicht gleichzeitig auch viel Chrom, Calcium oder Magnesium aufnehmen muß.

Verbindet man die Aufnahmefaktoren der einzelnen Individuen mit einem Polygonzug, so steigt dieser dann mehr oder weniger gleichmäßig von links nach rechts an (Abb. 1). Die Steigung dieses Polygonzuges sowie seine relative Lage zur Ordinate hängt nun aber vom Aufnahmeverhalten aller untersuchten Individuen pro Art ab. Er ist also ein Maß für das Aufnahmeverhalten der jeweils betrachteten Art hinsichtlich des aufgenommenen Elements.

In Abb. 1 sind zwei Diagramme dargestellt, die am Beispiel von *Saxifraga rosacea* das unterschiedliche Aufnahmeverhalten bezüglich Chrom und Calcium verdeutlichen sollen. Zusätzlich zum hellgrau gezeichneten A-Wert-Polygonzug sind die ebenfalls durch Polygonzüge jeweils miteinander verbundenen logarithmierten Bodengehalte (grob schraffierter Polygonzug) und Pflanzen-Durchschnittsgehalte (fein schraffierter Polygonzug) eingetragen. Zu beachten ist, daß im Chrom-Diagramm aus Platzgründen die rechte Ordinate für Boden- und Pflanzengehalt aufgeteilt werden mußte, womit die Polygonzüge des Boden- und des Pflanzen- Durchschnittsgehaltes aus ihrer ursprünglichen Lage zueinander hin verschoben erscheinen. Die linke Ordinate der Diagramme gilt jeweils für die Aufnahmefaktoren A

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at



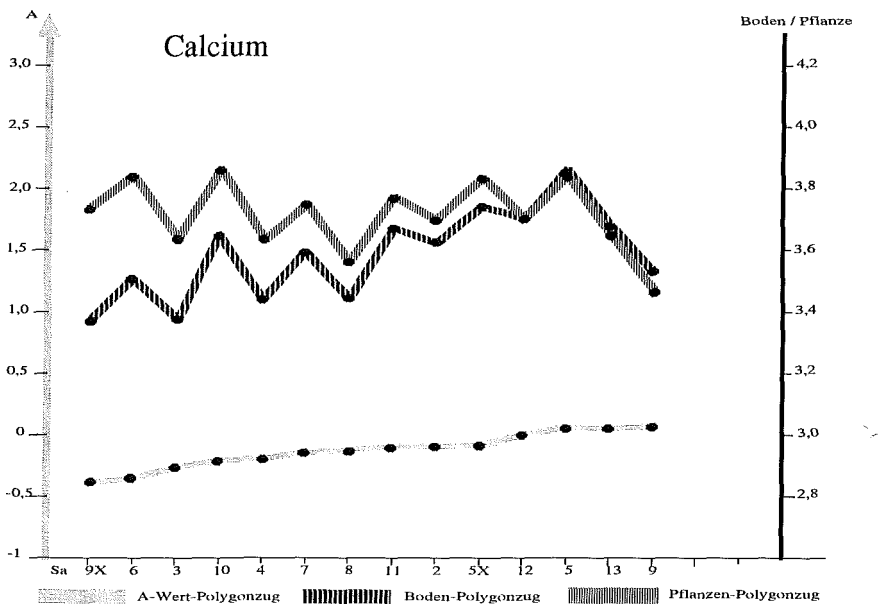


Abb. 1: Lage und Verlauf der Polygonzüge am Beispiel von *Saxifraga rosacea*. Oben: Chromaufnahme; Boden- und Pflanzenpolygonzug zeigen kaum Ähnlichkeit, der A-Wert-Polygonzug steigt deswegen unregelmäßig und relativ steil an. Unten: Calciumaufnahme; Boden- und Pflanzenpolygonzug sind sehr ähnlich, der A-Wert-Polygonzug verläuft flach und gleichmäßig.

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at

und die geordneten Proben bilden die Einheiten der Abszisse. Während im Falle von Chrom die Boden- und Pflanzenpolygonzüge stark voneinander divergieren und keinen direkten Zusammenhang erkennen lassen, ähneln sie sich dagegen im Falle von Calcium sehr. Für die Chromaufnahme ergibt sich daraus ein unregelmäßiger und relativ steil ansteigender A-Wert-Polygonzug, während die enge Abhängigkeit des Pflanzengehalts vom Bodengehalt im Falle von Calcium einen flachen und gleichmäßigen A-Wert-Polygonzug bildet. Vergleicht man die Höhenlage der A-Wert-Polygonzüge in den Diagrammen, so sieht man, daß der Polygonzug bei Calcium eine relativ tiefe Lage (ca. -0.5–0) zur Abszisse einnimmt, während der Chrom-Polygonzug hoch (ca. +1.0–+3.0) liegt. Diese unterschiedlichen Lagen zeigen an, daß Calcium in wesentlich stärkerem Maße von der Pflanze aufgenommen wird als Chrom.

Je flacher nun der A-Wert-Polygonzug einer Art ansteigt, desto exakter spiegelt die Konzentration in den Pflanzen den Bodengehalt wider und um so weniger Einfluß besitzen äußere Faktoren wie z. B. der pH-Wert auf die von der Pflanze aufgenommenen Mengen. Da die meisten der untersuchten Arten relativ flache Anstiege zeigen, konnte allerhöchstens bei Nickel und Chrom ein leicht tendenzieller Zusammenhang zwischen niedrigen pH- und niedrigen Aufnahmefaktoren (erhöhte Aufnahme) festgestellt werden (Abb. 2). Ebensowenig nehmen Kaliumgehalt und der Humositätsgrad direkten Einfluß auf die von der Pflanze aufgenommenen Mengen.

3.2. Die Ausgleichsgerade

Die Lage sowie der Anstieg der A-Wert-Polygonzüge geben also Auskunft über das Aufnahmeverhalten einer Art bezüglich eines Elements. Wie kann nun für das Aufnahme-

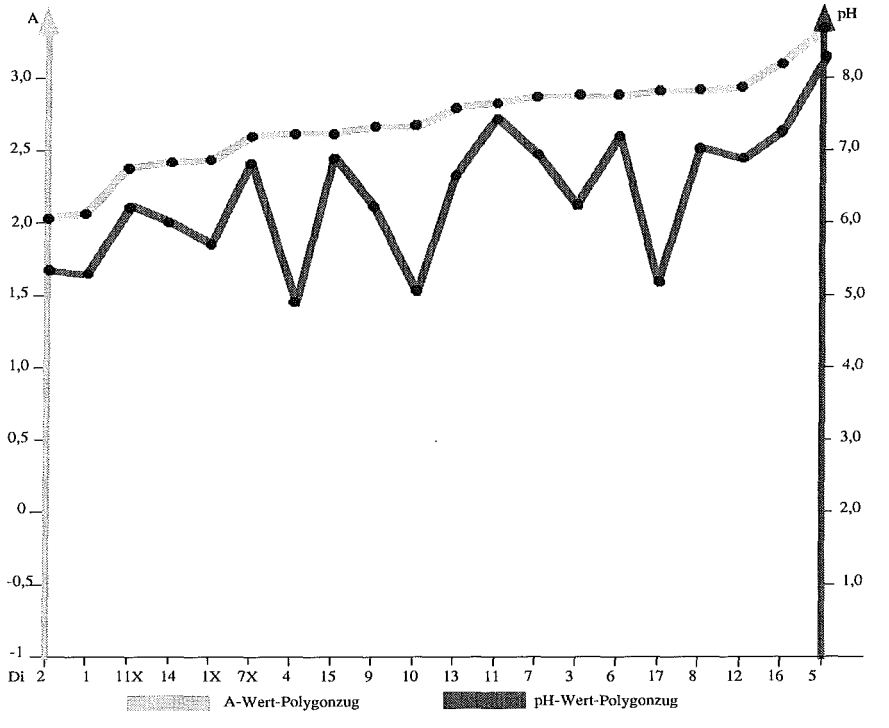


Abb. 2: Polygonzüge des Aufnahmefaktors A und des pH-Werts am Beispiel der Chromaufnahme von *Dianthus gratianopolitanus*. Zwischen von links nach rechts stetig steigendem Aufnahmefaktor A (sinkender Aufnahmeleistung) und höheren pH-Werten ist nur ein leicht tendenzieller Zusammenhang festzustellen.

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at

verhalten der einzelnen Arten eine möglichst einfache mathematische Beschreibungsform gefunden werden, die exakte Vergleiche unter den Arten ermöglicht?

Die Polygonzüge über den Aufnahmefaktoren umfassen sämtliche Meßwerte, die dabei naturgemäß auftretende Streuung und eventuell entstandene Meßfehler mit eingeschlossen. Trotzdem beschreiben viele A-Wert-Poygonzüge bereits annähernd die Form einer Gerade, die hier anscheinend die beste und einfachste Beschreibungsform für das Aufnahmeverhalten darstellt. Um die Meßwert-Streuung auszugleichen, bildet man also am zweckmäßigsten eine Ausgleichsgerade, deren mathematische Form den Mittelwert und die Standardabweichung der einzelnen Aufnahmefaktoren pro Art und Element beinhaltet.

Zunächst wird das Diagramm mit einem karthesischen Koordinatensystem überzogen, wobei die Einheiten auf der y-Achse (Ordinate) den A-Werten entsprechen und die Abstände der einzelnen Proben auf der x-Achse (Abszisse) gleich 1 gesetzt werden.

Die Ausgleichsgerade ist dann durch zwei Punkte P1 = (x(a),y(a)) und P2 =(x(b), y(b)) gegeben, die sich folgendermaßen bestimmen lassen: Aus den A-Werten wird zunächst deren Mittelwert und Standardabweichung berechnet. Sind pro Art n Proben entnommen worden, ergibt sich:

y(a) = Mittelwert - Standardabweichung
y(b) = Mittelwert + Standardabweichung
x(a) = 1
x(b) = n

$$y(a) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} A_i - \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(A_i - \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} A_i\right)^2}$$

$$y(b) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} A_i + \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(A_i - \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} A_i\right)^2}$$

Die Ausgleichsgerade wirkt dämpfend auf die Streuung der A-Werte ein, wobei extreme Meßergebnisse zwar berücksichtigt werden, aber die Lage der Geraden nicht entscheidend beeinflussen. Die Ausgleichsgerade repräsentiert die erhaltenen Meßergebnisse, und ihre Geradengleichung charakterisiert das Aufnahmeverhalten der Art. Da die Steigung s der Geraden jedoch entscheidend von der Probenanzahl n abhängt,

$$s = \frac{y(b) - y(a)}{x(b) - x(a)} = \frac{y(b) - y(a)}{n - 1}$$

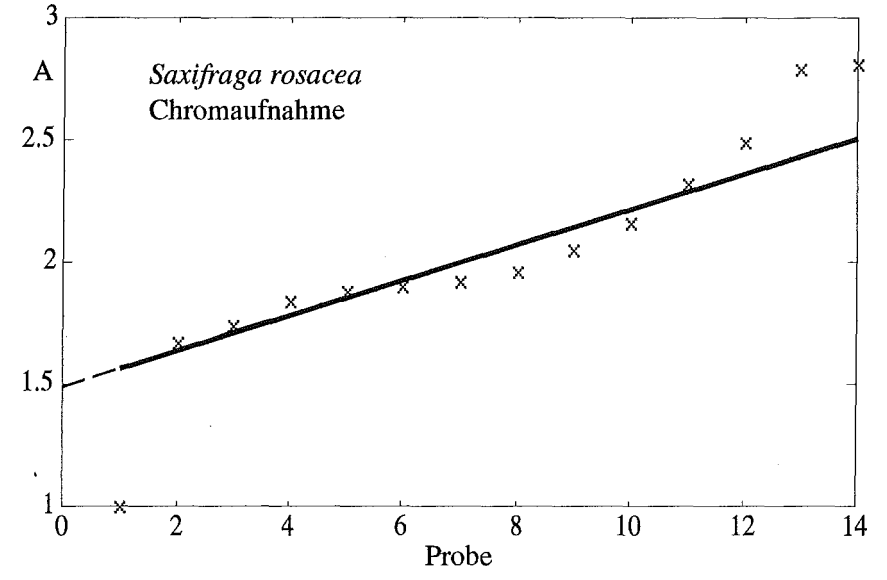
muß zur Ermittlung der charakteristischen Geradengleichung, die den Vergleich zwischen den Arten zuläßt, entweder von jeder Art die gleiche Probenanzahl entnommen oder die tatsächliche Probenanzahl gegen einen, per Definition festgelegten Wert n interpoliert werden. Die zweite Möglichkeit erscheint für viele Anwendungen geeigneter zu sein, wobei die Definition n = 15 einen akkuraten Wert darstellt, da die Menge von 15 Proben sehr gut zwischen Arbeitsaufwand und Aussagekraft der Meßergebnisse vermittelt. Die Interpolation erlaubt geringere Probenmengen, was bei selteneren Vorkommen von Vorteil ist. Je weniger Proben entnommen werden, desto unexakter beschreibt dann jedoch die Geradengleichung das wahre Verhalten der Pflanze.

Die Geradengleichung y = sx + t enthält zwei Variablen:

$$s = \frac{y(b) - y(a)}{n - 1} \quad \text{speziell:} \quad s = \frac{y(b) - y(a)}{14}$$

t = y(a) - s.

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at



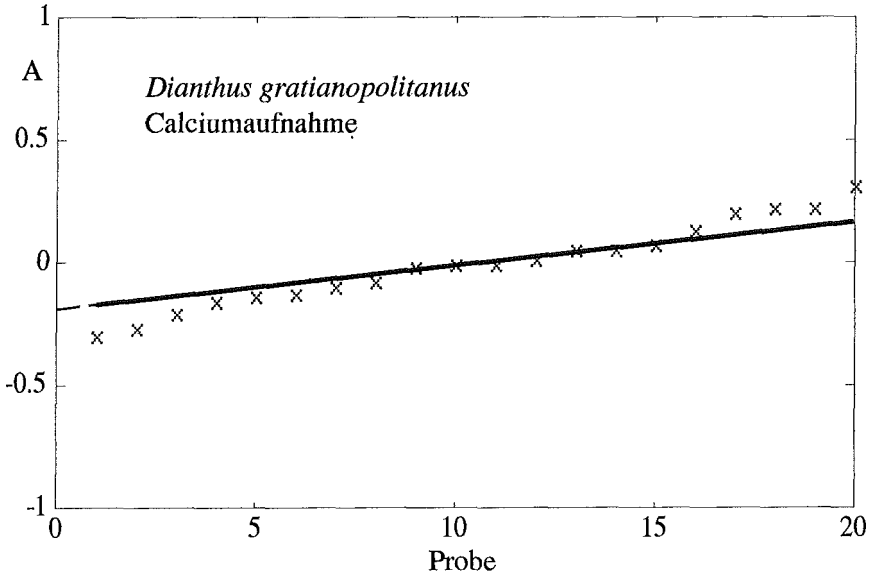


Abb. 3: Beispiele für die Lage der Aufnahmefaktoren A der einzelnen Proben und ihrer Ausgleichsgeraden. Zu beachten sind die unterschiedlichen Einheiten der Ordinate (A-Wert) und die unterschiedliche Probenzahl, die auf der Abszisse aufgetragen ist. Die Ausgleichsgerade der Chromaufnahme von *Saxifraga rosacea* steigt steiler an als die der Calciumaufnahme von *Dianthus gratianopolitanus* und würde die Ordinate bei einem höheren Wert schneiden.

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at

Die Variable s entspricht der 1. Ableitung der Geraden und beschreibt deren Steigung, er ist also das Maß für die Abhängigkeit des Pflanzengehalts vom Bodengehalt. Je höher s ist, desto steiler steigt die Ausgleichsgerade an, d. h. desto geringer ist die direkte Abhängigkeit des Pflanzengehalts von der Bodenkonzentration und umgekehrt.

Die Variable t beschreibt den Schnittpunkt der Geraden mit der y- bzw. A-Achse und ist somit das Maß für die Aufnahmemenge. Kleine t-Werte geben dabei, entsprechend den A-Werten der Individuen, eine erhöhte Aufnahmeleistung der Art an.

Die Variablen s und t der Geradengleichung beschreiben also das Aufnahmeverhalten einer Art. Der Wert 10^t gibt das niedrigste zu erwartende Verhältnis Bodenkonzentration/ Pflanzenkonzentration an. Im Faktor s kommt zum Ausdruck, wie stark Einflüsse des Bodenchemismus wie z. B. pH-Wert oder aber auch aktiv gesteuerte Pflanzenaufnahme und -ausscheidung Abweichungen vom Erwartungswert t verursachen können. Da Einflüsse des Bodenchemismus höchstens in nur sehr geringem Ausmaße festgestellt werden konnten, bedeuten hohe s-Werte in der Regel ein von der Pflanze aktiv gesteuertes Aufnahme- und/oder Verarbeitungssystem für das entsprechende Element. Niedrige s-Werte sprechen für ein passives Aufnahmesystem, wobei die Pflanzen die Konzentrationsverhältnisse des Bodens sehr genau widerspiegeln können. Der Bereich zwischen t und $t + 15 \cdot s$ gibt sodann die Spanne an, in der sich die meisten Boden-Pflanzen-Konzentrationsverhältnisse tatsächlich befinden.

3.3. Die charakteristischen Geradengleichungen der Arten

Im Folgenden wird das Aufnahmeverhalten der einzelnen Arten anhand der charakteristischen Geradengleichungen ($y = s \cdot x + t$) und deren graphischer Darstellung im Bereich zwischen $x=1$ und $x=15$ miteinander verglichen. Die Probenanzahl wurde dabei jeweils gegen $n = 15$ interpoliert.

3.3.1. Nickel:

Armeria maritima ssp. *serpentini* :	y = 0.0451 x +1.7558
Asplenium cuneifolium :	y = 0.0272 x +1.9211
Dianthus gratianopolitanus :	y = 0.0260 x +1.6177
Festuca pallens :	y = 0.0348 x +1.6056
Saxifraga rosacea :	y = 0.0353 x +1.2476
Sedum acre :	y = 0.0312 x +1.6893
Silene vulgaris :	y = 0.0490 x +1.7923

Der niedrige t-Wert von *Saxifraga rosacea* zeigt sofort die im Vergleich zu den anderen Arten erhöhte Nickelaufnahme an. Im Gegensatz dazu nimmt der Pteridophyt *Asplenium cuneifolium* relativ wenig Nickel auf. *Festuca pallens* und *Dianthus gratianopolitanus*, die beide Nickel v. a. in die Blüten transportieren, zeigen trotz ihres Rückhaltevermögens in den Wurzeln primär eine relativ hohe und zudem fast gleiche Aufnahme, was wiederum auf die Wirksamkeit der Blütenanreicherungs-Strategie hindeuten könnte. *Dianthus gratianopolitanus* und *Asplenium cuneifolium* besitzen die kleinsten s-Werte, d. h. ihr Aufnahmesystem arbeitet eher als passiver Widerstand gegen die hohe Nickelkonzentration des Bodens. Dagegen scheint *Silene vulgaris* ein von externen Faktoren gesteuertes aktives Aufnahmesystem zu besitzen, das einerseits relativ effektiv arbeitet und andererseits keine Rückschlüsse vom Pflanzengehalt auf den Bodengehalt zuläßt (hoher s-Wert). Diese Rückschlüsse können wegen ihres aktiven Ausscheidungssystems auch bei *Armeria maritima* ssp. *serpentini* nicht gezogen werden.

3.3.2. Chrom:

Armeria maritima ssp. *serpentini* :	y = 0.0658 x +2.0611
Asplenium cuneifolium :	y = 0.0272 x +2.6470
Dianthus gratianopolitanus :	y = 0.0450 x +2.3522
Festuca pallens :	y = 0.0254 x +2.6617

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at

Saxifraga rosacea :	y = 0.0671 x +1.5013
Sedum acre :	y = 0.0350 x +2.3616
Silene vulgaris :	y = 0.0282 x +2.5172

Die aktiven „Ausscheider" *Armeria maritima* ssp. *serpentini* und *Saxifraga rosacea* besitzen für Chrom die höchsten s-Werte und die niedrigsten t-Werte: Sie nehmen primär die höchsten Mengen auf, aber nur *Armeria maritima* ssp. *serpentini* ist in der Lage, mit dieser Strategie das Pflanze/Boden-Konzentrationsverhältnis ähnlich dem der anderen Arten zu gestalten. *Asplenium cuneifolium, Festuca pallens* und im Falle von Chrom auch *Silene vulgaris* besitzen passive Aufnahmesysteme, welche aber sehr effektiv arbeiten, wobei der höchste Widerstandswert von *Festuca pallens* gleichzeitig die beste Pflanzen/Boden-Korrelation ermöglicht.

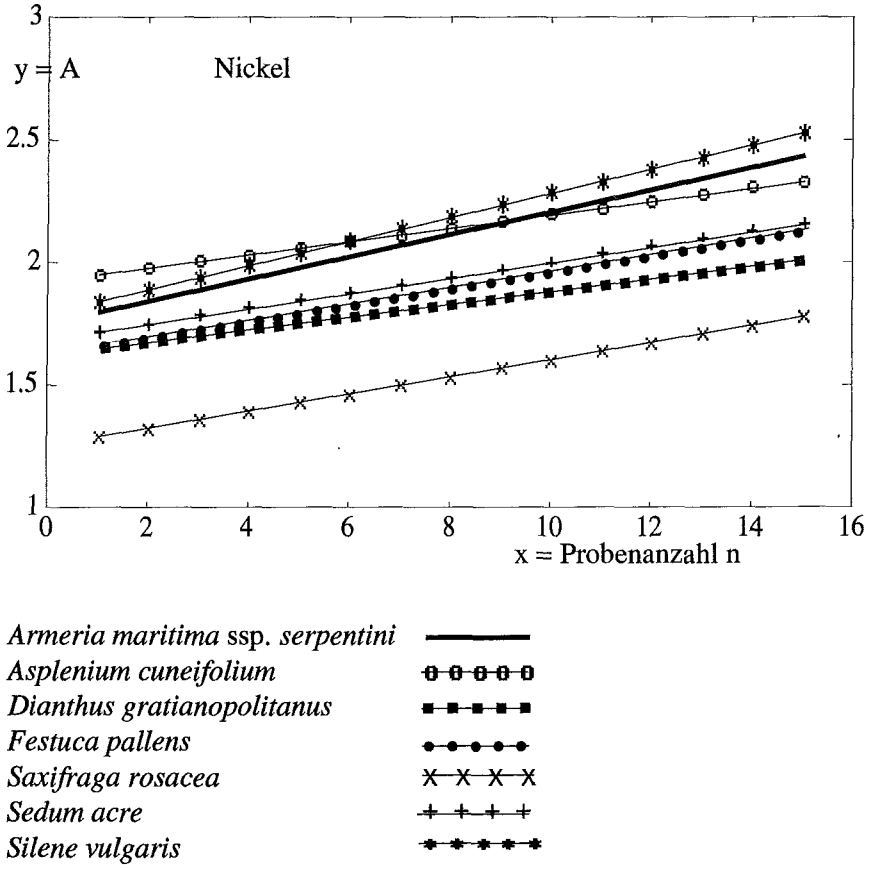
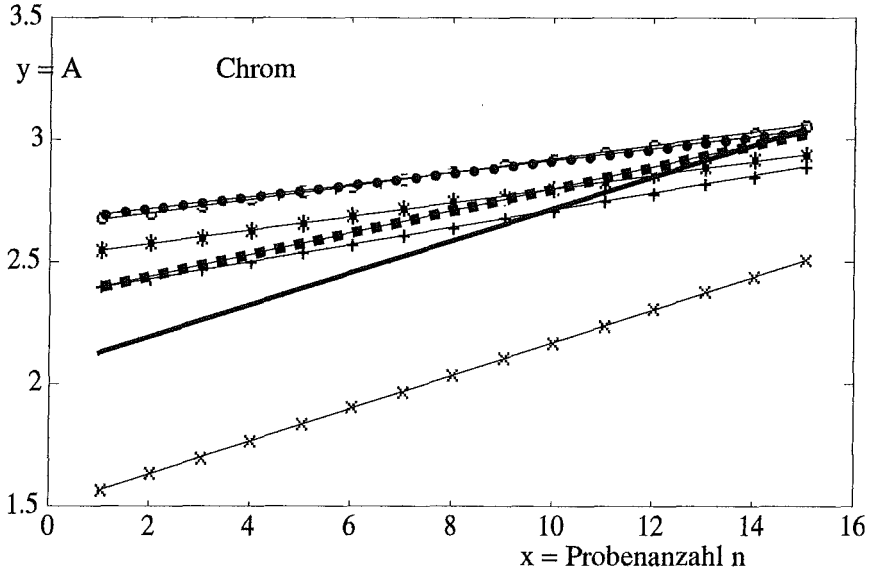


Abb. 4: Verlauf der Ausgleichsgeraden der Nickelaufnahme. Die tiefe Lage der Ausgleichsgerade von *Saxifraga rosacea* zeigt deren hohes Nickel-Aufnahmevermögen an. Die stärker ansteigenden Geraden von *Silene vulgaris* und *Armeria maritima* ssp *serpentini* zeigen deren geringe Abhängigkeit des Pflanzengehalts vom Bodengehalt, während der Pflanzengehalt von *Dianthus gratianopolitanus* den Bodengehalt am ehesten widerspiegeln kann.

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at



Armeria maritima ssp. *serpentini*
Asplenium cuneifolium
Dianthus gratianopolitanus
Festuca pallens
Saxifraga rosacea
Sedum acre
Silene vulgaris

Abb. 5: Verlauf der Ausgleichsgeraden der Chromaufnahme. Auch hier wird das hohe Aufnahmevermögen von *Saxifraga rosacea* durch die tiefe Lage ihrer Ausgleichsgeraden deutlich. Die im Vergleich zu den anderen Arten steileren Anstiege der Ausgleichsgeraden von *Armeria maritima* ssp. *serpentini* und *Saxifraga rosacea* zeigen deren aktiven Ausscheidungsmechanismus an, der keinen direkten Rückschluß vom Pflanzengehalt auf den Bodengehalt zuläßt.

3.3.3. Calcium:

Armeria maritima ssp. *serpentini* :	$y = 0.0209\ x - 0.0864$
Asplenium cuneifolium :	$y = 0.0424\ x - 0.4191$
Dianthus gratianopolitanus :	$y = 0.0242\ x - 0.2020$
Festuca pallens :	$y = 0.0322\ x + 0.3605$
Saxifraga rosacea :	$y = 0.0190\ x - 0.2830$
Sedum acre :	$y = 0.0408\ x - 0.8951$
Silene vulgaris :	$y = 0.0197\ x - 0.2563$

Die meist negativen t-Werte sagen aus, daß in der Pflanze eine höhere Calciumkonzentration als im Boden vorliegt. Besonders *Sedum acre* zeichnet sich in dieser Beziehung aus, wobei der hohe s-Wert den dabei hohen, aktiven Anteil dieser enormen Aufnahmeleistung anzeigt. Auch *Asplenium cuneifolium* zeichnet sich durch einen großen Anteil externer Faktoren für die Calciumaufnahme aus, was ebenfalls in einer relativ hohen Aufnahmeleistung resultiert. Ebenfalls aktiv, wenngleich mit umgekehrten Vorzeichen rea-

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at

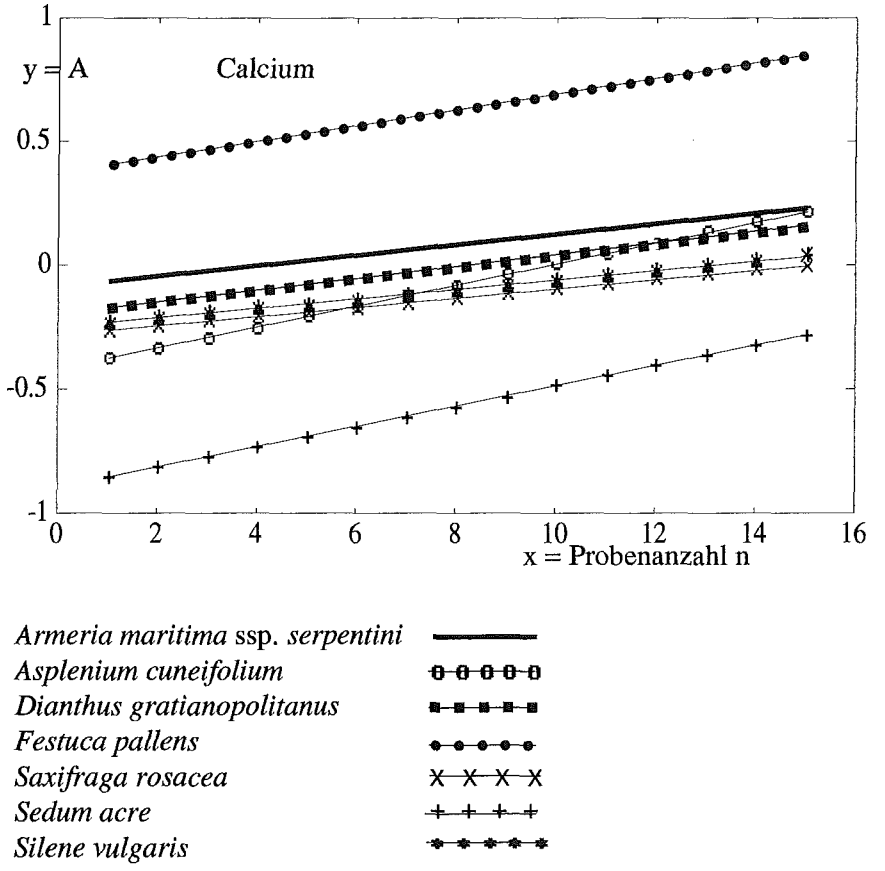


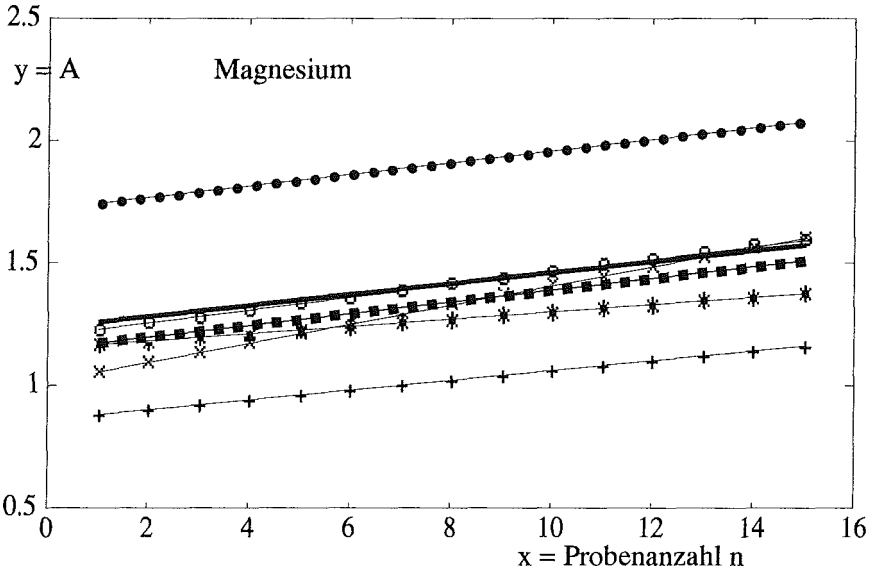
Abb. 6: Verlauf der Ausgleichsgeraden der Calciumaufnahme. Auffällig ist die tiefe Lage der *Sedum acre*-Gerade, die extrem hohe Calciumaufnahme anzeigt, und der hohe Verlauf der Gerade von *Festuca pallens*, die wenig Calcium aufnimmt.

giert das Aufnahmesystem von *Festuca pallens* auf Calcium: Es schließt Calcium größtenteils aus, was im einzig positiven t-Wert zum Ausdruck kommt. Alle anderen Arten besitzen für Calcium nur ein mehr oder weniger passives Aufnahmesystem, wobei die relativ wenig Calcium aufnehmende, aber Calcium anreichernde *Armeria maritima* ssp. *serpentini* trotz ihres Ausscheidungssystems den Bodengehalt recht gut widerspiegeln kann, was auf eine geringe Effizienz dieses Systems bezüglich Calcium und eine rein von der Calciumkonzentration abhängige Oxalatfällung hindeutet.

3.3.4. Magnesium:

Armeria maritima ssp. *serpentini*:	y = 0.0226 x + 1.2393
Asplenium cuneifolium:	y = 0.0266 x + 1.2006
Dianthus gratianopolitanus:	y = 0.0233 x + 1.1576
Festuca pallens:	y = 0.0241 x + 1.7138
Saxifraga rosacea:	y = 0.0391 x + 1.0217
Sedum acre:	y = 0.0201 x + 0.8545
Silene vulgaris:	y = 0.0149 x + 1.1497

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at



Armeria maritima ssp. *serpentini*
Asplenium cuneifolium
Dianthus gratianopolitanus
Festuca pallens
Saxifraga rosacea
Sedum acre
Silene vulgaris

Abb. 7: Verlauf der Ausgleichsgeraden der Magnesiumaufnahme. Ähnlich der Calciumaufnahme fallen die geringe Magnesiumaufnahme von *Festuca pallens* sowie das hohe Aufnahmevermögen von *Sedum acre* auf.

Auch bei der Magnesiumaufnahme zeichnet sich *Sedum acre* durch einen sehr niedrigen t-Wert aus. Im Gegensatz zu Calcium scheint es sich hier allerdings um eine passive, „unbeabsichtigte" Aufnahme zu handeln. Alle anderen Arten, mit Ausnahme von *Saxifraga rosacea*, reagieren ebenfalls passiv auf Magnesium. Selbst *Festuca pallens*, deren geringe Magnesiumaufnahme auf eine Nährstoffselektivität rückschließen ließ, scheint diesen niedrigen t-Wert mit einem starken passiven Magnesiumwiderstand an der Wurzelaußenseite zu erreichen. Den relativ hohen s-Wert von *Saxifraga rosacea* kann man mit aktiver Magnesiumausscheidung erklären, während das Ausscheidungssystem von *Armeria maritima* ssp. *serpentini* auch für Magnesium nicht effektiv zu funktionieren scheint.

Mit den charakeristischen Geradengleichungen lassen sich die Aufnahmestrategien der einzelnen Arten also gut vergleichen und ihre Wirksamkeiten beschreiben. Sie sind typisch für jede Art und können, bei entsprechender Anwendung, als gutes Hilfsmittel für die Beschreibung und Abschätzung von Boden-Pflanzen-Systemen dienen.

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at

4. Dank

Besonderen Dank für seine Unterstützung zur Erstellung dieser Arbeit gebührt Herrn Prof. Dr. R. Roßner, Institut für Geologie und Mineralogie der Universität Erlangen-Nürnberg.

Für die Idee zu dieser Arbeit und seine diversen Denkanstöße spreche ich Herrn Dr. J. Mehl von der Forschungsstelle Interdisziplinäre Paläontologie der Universität Erlangen-Nürnberg ganz speziellen Dank aus.

Für seine Rezension und freundliche Beratung in den botanischen Fragen möchte ich Herrn Dr. Nezadal vom Botanischen Institut der Universiät Erlangen -Nürnberg danken.

Ebenso bedanke ich mich bei allen Mitarbeitern des botanischen Gartens der Universität Erlangen-Nürnberg für ihre Unterstützung bei der Beschaffung der Vergleichsproben.

Literatur

BRAUN - BLANQUET, J. 1964: Pflanzensoziologie, 3. Aufl., 865 S.; Wien, New York. – BROOKS, R. R. 1987: Serpentine And Its Vegetation A Multidisciplinary Approach. 454 S.; London and Sydney. – CORRENS, C. 1949: Einführung in die Mineralogie. 458 S.; Berlin. – ERNST, W. 1974: Schwermetallvegetation der Erde. 194 S.; Stuttgart. – FASSBENDER, H. W. & AHRENS 1977: Laborvorschriften und Praktikumsanleitung. Göttinger Bodenkundliche Berichte, 47: 1–88. – GAUCKLER, K. 1954: Serpentinvegetation in Nordbayern. Ber. Bay. Bot. Ges. 30: 19–26. – HARTLIEB, M. 1988: Untersuchungen zum Schwermetallhaushalt verschiedener Pflanzen auf Serpentinitböden der Wojaleite bei Wurlitz, Lkr. Hof/Ofr. Dipl.-Arb. Univ. Erl.-Nbg., Inst. f. Geol. u. Min., unveröffentl. – HORAK, O. 1971: Vergleichende Untersuchungen zum Mineralstoffwechsel der Pflanze. – Diss. Univ. Wien 60: 1–216. – KINZEL, H. 1982: Pflanzenökologie und Mineralstoffwechsel. 534 S.; Stuttgart. – OBERDORFER, E. 1978: Süddeutsche Pflanzengesellschaften II. 355 S.; Stuttgart. – SASSE, F. 1979a: Untersuchungen an Serpentinitstandorten in Frankreich, Italien, Österreich und der Bundesrepublik Deutschland. I. Bodenanalysen. Flora 168: 379–395. – SASSE, F. 1979b: Untersuchungen an Serpentinitstandorten in Frankreich, Italien, Österreich und der Bundesrepublik Deutschland. II. Pflanzenanalysen. Flora 168: 578–594. – SCHEFFER, F. & P. SCHACHTSCHABEL 1984: Lehrbuch der Bodenkunde, 11. Aufl., 442 S.; Stuttgart. – SCHMEIL, O. & J. FITSCHEN 1982: Flora von Deutschland und seinen angrenzenden Gebieten, 87. Aufl., 606 S.; Heidelberg. – SIEGHARDT, H. 1986: Schwermetall- und Nährelementgehalte von Pflanzen und Bodenproben schwermetallhaltiger Halden im Raum Bleiberg in Kärnten (Österreich). I. Krautige Pflanzen. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 150: 129–134. – STETTNER, G. 1964: Erläuterungen zur Geologischen Karte. Blatt 5737 Schwarzenbach an der Sächs. Saale. Bay. Geol. Landesamt. 237 S..

Dipl.-Geol. Michael HARTLIEB
Forschungsstelle Interdisziplinäre Paläontologie
Harfenstr. 16
W-8520 Erlangen
und:
Hardstraße 186
W-8510 Fürth

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Bayerischen Botanischen Gesellschaft zur Erforschung der Flora

Jahr/Year: 1992

Band/Volume: 63

Autor(en)/Author(s): Hartlieb Michael

Artikel/Article: Untersuchungen zum Schwermetallhaushalt verschiedener Serpentinitpflanzen der Wojaleite bei Wurlitz, Lkr. Hof/Ofr. 37-60