

# Die Schwermetall-Vegetation des Harzes – Gliederung, ökologische Bedingungen und syntaxonomische Einordnung

– Hartmut Dierschke und Thomas Becker –

## Zusammenfassung

Der Harz wurde über Jahrhunderte durch intensiven Bergbau und Erzverarbeitung geprägt. In ihrer Folge entstanden zahlreiche Sekundärstandorte mit schwermetallreichen Substraten auf Halden und kontaminierten Flussschottern. Daher stellt der Harz ein klassisches Gebiet des Studiums von Pflanzengesellschaften mit schwermetalltoleranten Arten dar. Allerdings lag bis heute keine systematische Übersicht und umfassende ökologische Analyse der Schwermetallvegetation und deren Standorte vor. – Grundlagen der Arbeit sind 120 Aufnahmen der Schwermetallvegetation und Analysen der Bodenbedingungen an 23 Orten auf Bergbau- und Schlackenhaldden sowie kontaminierten Flussschottern im westlichen Harz und seinem Vorland. Die Rasen besitzen insgesamt nur wenige Phanerogamen; ihre Kenn taxa *Armeria maritima* ssp. *halleri*, *Minuartia verna* ssp. *hercynica* und *Silene vulgaris* var. *humilis* kommen aber in den meisten Beständen vor. Sie werden alle dem *Armerietum halleri* Libbert 1930 zugeordnet, das sich neben einer *Silene*-Pionierphase in drei Subassoziationen: *A. cladonietosum chlorophaeae*, *A. typicum* und *A. achilleetosum millefoliae* gliedern lässt, die auch als Phasen einer Primärsukzession gedeutet werden können. Die beiden letzteren können weiter in je eine Typische und eine bodenfeuchtere *Cardaminopsis halleri*-Variante aufgeteilt werden. – In einer DCA trennen sich die Subassoziationen entlang der ersten Achse. Diese Achse ist positiv korreliert mit den Ellenberg-Zeigerwerten für Reaktion, Stickstoff und Feuchte sowie den Calcium-Gehalten der Bodenlösung, negativ mit den Kupfer-Gehalten und Anteilen offener Steine. Die Schwermetall-Gehalte der Böden sind durchgehend hoch. Im *A. cladonietosum* und *A. typicum* sowie der *Silene*-Pionierphase gibt es besonders große Zink- und Kupfer-Gehalte; weite Schwermetall-/Calcium-Verhältnisse weisen hier auf extrem zinktoxische Bedingungen hin. Die Blei-Gehalte unterscheiden sich zwischen den Gesellschaften dagegen kaum. – Ein Vergleich der aktuellen Anzahl von Halden mit einer Liste von 1928 zeigt einen starken Rückgang der Schwermetallstandorte durch menschliche Zerstörung und natürliche Sukzession. Pflegemaßnahmen zur Erhaltung oder Regeneration werden erörtert. – In der Diskussion wird die Beibehaltung eines eigenständigen *Armerietum halleri* befürwortet. Die Auswertung von Literaturdaten in einer Übersichtstabelle für Deutschland ergibt eine Einengung der *Violetea calaminariae* auf einen Kern artenärmerer Gesellschaften. Für den übrig bleibenden einzigen Verband wird vorgeschlagen, den Namen *Armerion halleri* Ernst 1965 als *nomen conservandum* beizubehalten.

## Abstract: Heavy-metal vegetation of the Harz mountains – subdivision, environmental conditions and syntaxonomical classification

For many centuries, the Harz mountains were influenced by intensive mining and/ore processing activities, resulting in spoil heaps and alluvial sediments rich in heavy metals. Therefore, the Harz mountains are a classical area for studies of plant communities with heavy-metal-tolerant species. However, a detailed survey of the vegetation and soil conditions do not exist so far. – We investigated the vegetation (120 relevés) and soil conditions at 23 sites of former mining in the western Harz mountains and its foreland. In total the grasslands are poor in vascular plant species, whereas the character taxa *Armeria maritima* ssp. *halleri*, *Minuartia verna* ssp. *hercynica* and *Silene humilis* var. *humilis* occur in many stands. All relevés have been classified as *Armerietum halleri* Libbert 1930, differentiated into a *Silene*-pioneer stage and three subassociations: *A. cladonietosum chlorophaeae*, *A. typicum*, and *A. achilleetosum millefoliae*, which can also be interpreted as stages of a primary succession. The *A. typicum* and *A. achilleetosum* can be subdivided each into a typical and a *Cardaminopsis halleri*-variant on moist soils. – Within a DCA the vegetation units are separated along the first axis in the sequence mentioned above. This first axis is positively correlated with Ellenberg indicator values for soil reaction, nitrogen and moisture, and with the calcium content in the soil solution, negatively with the content of copper and portions of open stones on the soil surface. The amount of heavy metals is high in all relevés. Both, in the *A. cladonietosum* and *A. typicum*, and in the *Silene*-pioneer stage there are exceptional high concentrations of zinc and copper and the wide heavy-metal/calcium ratios indicate extreme toxic conditions.

The lead levels, however, do not differ significantly between different types of vegetation. – A comparison of the actual number of tailing sites with a list of 1928 shows a large decline of heavy-metal stands due to human destruction and natural succession. Measures for conservation and regeneration are discussed. – In the discussion the maintenance of an association *Armerietum halleri* is recommended. A synoptic table with inclusion of relevés from the literature in Germany supports the concept of a narrow class *Violetea calaminariae* with communities poor in species. For the remaining single alliance the name *Armerion halleri* Ernst 1965 is proposed as *nomen conservandum*.

**Keywords:** *Armerietum halleri*, Harz mountains, heavy-metal grassland, metallophytes, nature conservation, soil contamination, vegetation ecology, *Violetea calaminariae*.

## 1. Einleitung

„Zu den ökologisch reizvollsten Pflanzengruppierungen gehören auf der ganzen Erde die inselartig verstreuten Flecken mit sogenannter Schwermetallvegetation“ (ELLENBERG 1996, S. 709). So sind Pflanzen und Pflanzengesellschaften auf schwermetallreichen Böden seit langem das Untersuchungsobjekt von Floristen, Systematikern, Vegetationskundlern und Ökologen. Da Schwermetalle, insbesondere die häufiger vorkommenden Elemente Blei, Kupfer und Zink, für viele Pflanzen in höheren Konzentrationen giftig wirken, können an entsprechenden Standorten nur besonders angepasste Sippen wachsen; sie werden als Metallophyten i. w. S., Chalkophyten oder Galmeipflanzen (nach Galmei = silikatische und carbonatische Zinkerze) bezeichnet. Als wuchsschwache Pflanzen entgehen sie auf schwermetallreichen Böden dem Konkurrenzdruck anderer Arten; da hier keine Gehölze wachsen können, gehören Schwermetallstandorte zu den wenigen natürlichen Offenlandbiotopen in den großräumigen (potenziellen) Waldgebieten Mitteleuropas. Diese eigentlichen (primären) Naturbiotope kommen an Erzaustritten vor, sind allerdings nach Erzabbau kaum noch vorhanden. Dafür gibt es heute in Mitteleuropa sekundäre Schwermetallstandorte auf Abraum und Verarbeitungsrückständen von Bergbau und Erzverhüttung, oft nur kleinflächig isoliert und weit verstreut, vorwiegend in historisch alten Industrielandschaften (s. auch BAUMBACH 2005). Entsprechend zeigen die Metallophyten teilweise sehr disjunkte Areale und haben oft endemischen Charakter. Über viele Jahrhunderte hinweg konnten diese Spezialisten hier unter ökologischen Sonderbedingungen auch ganz spezifische Pflanzengesellschaften entwickeln.

Schwerpunkte der bisherigen Untersuchungen sind einmal ökophysiologische Anpassungen der Metallophyten (z. B. ANTONOVICS et al. 1971, BAUMEISTER 1954, 1967, BAUMEISTER & ERNST 1978, ERNST 1965 ff.), ihre genetische Differenzierung und taxonomische Stellung (z. B. ERNST 1974, LEFÈBVRE 1974, KRUCKEBERG & KRUCKEBERG 1990) und nicht zuletzt ihre Vergesellschaftung und syntaxonomische Bewertung (SCHWICKERATH 1931, KOCH 1932, TÜXEN 1937, SCHUBERT 1953, 1954a/b, ERNST 1965a ff., DANIELS & GERINGHOFF 1994, POTT & HELLWIG 2007 u. a.). Zahlreiche Arbeiten haben im 20. Jahrhundert die verschiedensten Aspekte beleuchtet und viele Fragen beantwortet. So war es einige Zeit ruhiger geworden, bis in den letzten Jahren neue Erkenntnisse und ausgeweitete Bearbeitungen wieder zu einer Belebung des Fragenkomplexes geführt haben. Mit modernen molekularen Methoden wurden z. B. die Verwandtschaftsverhältnisse und die taxonomische Stellung einiger Sippen durch populationsgenetische Untersuchungen neu beleuchtet und teilweise korrigiert (VEKEMANS & LEFÈBVRE 1997, KOCH et al. 1998, BAUMBACH & HELLWIG 2003, BAUMBACH 2005). Hieraus und aus neuem vegetationskundlichen Untersuchungsmaterial ergeben sich auch neue Gesichtspunkte für die Syntaxonomie, nachdem die breite Übersicht von ERNST (1974, 1976b) alles Wesentliche geklärt zu haben schien. So wurden zeitweise alle Pflanzengesellschaften mit Metallophyten in die Klasse *Violetea calaminariae* Tx. in Lohmeyer et al. 1962 gestellt. Inzwischen haben neue Ergebnisse gezeigt, dass auch andere Denkansätze möglich sind (z. B. PUNZ & MUCINA 1997, BROWN 2001, BECKER et al. 2007).

Eines der klassischen Gebiete der Bearbeitung von Pflanzengesellschaften schwermetallreicher Standorte (oft und auch hier weiter einfach als Schwermetallvegetation bezeichnet) ist der Harz und seine weitere Umgebung, eines der sehr alten Industriegebiete Mitteleuro-

pas. Reiche Vorkommen von Blei, Kupfer, Zink und vor allem von Silber führten Bergbau und Erzverarbeitung zu früher Blüte. Selbst wenn diese längst erloschen sind, gibt es noch viele historische Zeugen, in der Pflanzendecke vor allem die vielen kleinen Reste von Schwermetallvegetation. Sie bildet im Harz das *Armerietum halleri*, das erstmals von LIBBERT (1930) kurz beschrieben und von ERNST (1965a, 1974, 1976b) eingehender analysiert wurde. Eine wichtige Vorarbeit war die Kartierung und Auflistung von 191 schwermetallreichen Standorten im Harz durch BODE (1928). Zu erwähnen sind weitere pflanzensoziologische (HÜLBUSCH et al. 1981) und synökologische Untersuchungen (GERLACH 1983). In der ehemaligen DDR wurde die Schwermetallvegetation im östlichen Harzvorland von SCHUBERT (1953, 1954a/b) bearbeitet. – Später wurden in einer Diplomarbeit in Göttingen im niedersächsischen Harz erneut zahlreiche Vegetationsaufnahmen erstellt und erstmals systematisch bodenökologische Analysen durchgeführt (FUNKE 1994). Letztere Ergebnisse lagen lange Zeit brach, d. h. es gab keinerlei Veröffentlichungen. Erst 2006 hat Th. Becker im Zusammenhang mit weiteren Untersuchungen in Sachsen-Anhalt (BECKER & BRÄNDEL 2007, BECKER et al. 2007) die Daten wieder ans Licht geholt. In einem ersten Manuskript stehen die ökologischen Ergebnisse im Vordergrund; die Vegetation wird darin nur zusammenfassend behandelt (BECKER & DIERSCHKE 2008). In der vorliegenden Arbeit geht es vor allem um eine detaillierte Analyse der Pflanzengesellschaften, ihre Artenzusammensetzung, Gliederung, Ökologie und Dynamik; außerdem wird ihre syntaxonomische Stellung innerhalb der Schwermetallvegetation Mitteleuropas diskutiert. Nicht behandelt werden reine Flechtenbestände auf Schlackenresten, die zum *Acarosporetum sinopicae* Hilitzer 1923 gerechnet werden (s. LANGE & ZIEGLER 1963, DREHWALD 1993).

## 2. Das Untersuchungsgebiet und seine Geschichte

Der Harz wurde über viele Jahrhunderte durch gebietsweise intensiven Bergbau und Erzverarbeitung geprägt. Hoher Holzbedarf (bes. Holzkohle) führte zu weit reichender Waldzerstörung, noch verstärkt durch giftige Immissionen der Industrie, vor allem in der weiteren Umgebung der Verhüttungsbetriebe (s. schon SCHROEDER & REUSS 1883). Besonders die Gewinnung von Silber brachte eine frühe Blüte der Stadt Goslar, später auch von verschiedenen Bergstädten. Nach und nach entstanden sekundäre schwermetallreiche Standorte aus dem Abraum der Schächte, den Rückständen der Erzschnmelze und aus fluviatil abgelagerten Pochsand (s. u.). Hier fanden die Metallophyten, die vorher wohl schon an natürlichen Erzaustritten existierten, einen Ersatzlebensraum, als der Bergbau ihre Primärstandorte zerstörte. – Das Untersuchungsgebiet umfasst größere Teile des niedersächsischen Harzes, vor allem die Täler des hoch aufragenden Oberharzes und seines Vorlandes. Die 23 Untersuchungsorte liegen weit zerstreut und dokumentieren die oft inselartige Lage schwermetallreicher Standorte (Abb. 1, Tab. 1).

Die natürlichen Grundlagen des Harzes wurden zusammenfassend bereits in Tuexenia 22 von DIERSCHKE & KNOLL (2002; dort auch weitere Literatur) beschrieben, worauf hier verwiesen sei. **Geologisch** wichtig für unsere Fragestellung sind die Ausbildungen von Erzgängen durch Aufsteigen magmatischer Schmelzen während der variskischen Gebirgsbildung im Oberkarbon im Oberharzer Gangrevier, wo sich Blei- und Zinkerze zusammen mit Silber u. a. inmitten vorwiegend basenarmer paläozoischer Gesteine ansammelten. Noch älter sind die Erzlager in den Wissenbacher Schiefen des Rammelsberges bei Goslar aus dem Devon. In jüngerer geologischer Zeit wichtig ist die tiefe Zerschneidung der Hochfläche im Zuge der Hebung des Oberharzes. Die dadurch entstandenen Flusstäler von Innerste, Grane, Gose, Radau, Ecker (alle nach Norden entwässernd) sowie von Söse, Oder, Sieber (nach Südwesten gerichtet) waren wegen Wasserkraft und Transportmöglichkeiten wichtige Bereiche der Erzverarbeitung und entsprechender schwermetallreicher Rückstände. Schließlich sind die pleistozänen, weit ins Vorland reichenden Schotterauen und -terrassen nach ihrer Kontamination mit Schwermetallen teilweise wichtige Standorte für Metallophyten. Erwähnenswert in negativer Richtung sind noch die in mehreren Tälern im 20. Jahrhundert errichteten Talsperren, die zahlreiche Schwermetallstandorte unter Wasser gesetzt haben.

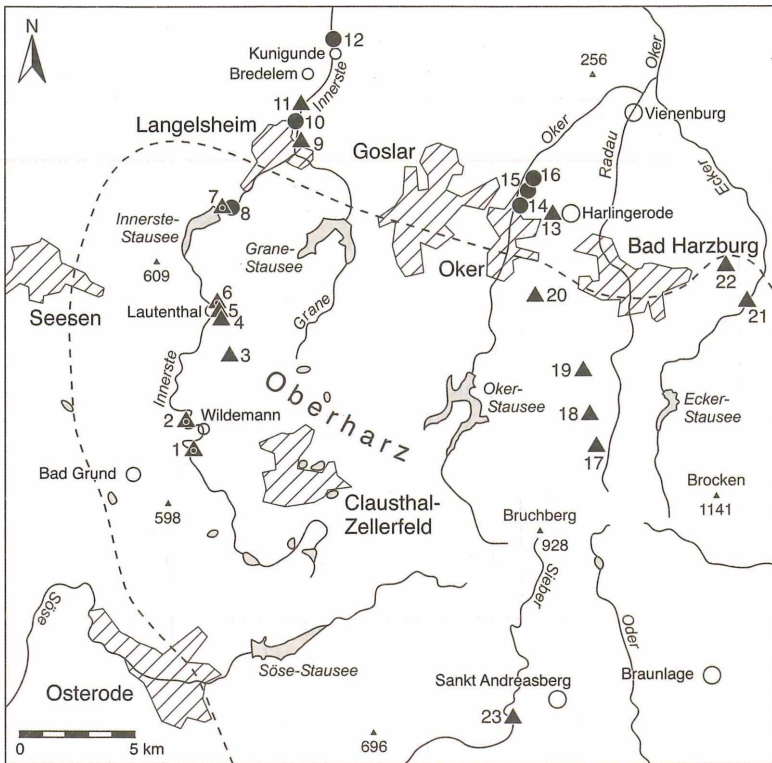


Abb. 1: Das Untersuchungsgebiet und Lage der 23 Untersuchungsflächen.

Ausgefüllte Kreise = Pochsandflächen, Dreiecke = Halden, Dreiecke mit Kreis = pochsandbeeinflusste Halden. Die Nummern der Flächen entsprechen Tabelle 1.

Fig. 1: The study area and the location of the 23 study sites.

Circles = contaminated alluvial sites, triangles = spoil heap sites, triangles with circle = spoil heaps influenced by contaminated alluvial substrate. The site numbers correspond to Table 1.

Auch über die **Geschichte des Bergbaus** im Harz wird bei DIERSCHKE & KNOLL (2002) zusammenfassend berichtet. Der Abbau von Erzen des Rammelsberges wurde erstmals 968 n. Chr. schriftlich erwähnt (BÖHME 1978), Oberharzger Gangerze wurden bereits um 1200 gewonnen (SPERLING & STOPPEL 1981). Eine erste Bergbauperiode reichte von der Spätantike bis ins hohe Mittelalter. Eine zweite Hauptperiode begann Ende des 15. Jahrhunderts. Danach gehörte der Harz zu den größten und wichtigsten Industrieregionen Mitteleuropas (BÖHME 1978). Einen letzten Aufschwung mit Hilfe neuer Aufbereitungs- und Schmelzverfahren gab es im 19. Jahrhundert, dem aber bald ein rascher Abschwung folgte. Im Revier von St. Andreasberg endete der Erzabbau 1910, das Erzbergwerk Rammelsberg wurde 1988 aufgegeben und die letzte Grube schloss 1992 in Bad Grund.

Für die **Gewinnung der Metalle** mussten die stark mit umgebendem Gestein verbundenen Erze vor der Verhüttung zunächst zerkleinert (gepocht) und ausgelesen werden. Da so eine vollständige Trennung nicht möglich war, enthielten die Halden und anfallenden Pochsande noch erhebliche Mengen an Schwermetallen, vor allem von Blei und Zink. Durch die früher regelmäßigen, oft verheerenden Hochwasser wurden die kontaminierten Substrate, die in den wasserbetriebenen Stampfmühlen oft direkt an den Flüssen anfielen, bis weit ins Vorland geschwemmt und großräumig verteilt. Nach HELLOWIG (2002) reichen solche Belastungen der Böden noch heute z. B. bis in den Mündungsbereich der Innerste in die Leine und haben früher große Ernteschäden und Vergiftungen beim Weidevieh bewirkt. – Kleiner und weit gestreut waren die Verhüttungsplätze. Holz, Wind und Wasser waren ihre



Tabelle 1: Übersicht der Untersuchungsflächen und ihrer Pflanzengesellschaften  
 S-Ph = *Silene*-Pionierphase, AC = *Armerietum cladonietosum floerkeanae*, AT = *A. typicum*,  
 AA = *A. achilletesum millefoliae*, t = Typische Variante, c = *Cardaminopsis balleri*-Variante.  
 Die Nummern der Flächen entsprechen Abb. 1. I = Innerstetal, O = Okertal, R = Radautal.

Tab. 1: Overview of the study sites and their plant communities

Nr.	Fläche	Gauß-Krüger Koordinaten	MTB	Höhe (m NN)	# Auf- nahmen	Gesellschaften
1	I, unterh. Mündung Auerhahntal	35882/57432	4127,4/3	430	2	ATc
2	I, Mündung Bärenthal	35877/57449	4127,4/1	400	1	AAc
3	Grumbacher Teich	35897/57470	4127,2/4	480	5	S-Ph, AC, ATtc
4	Bergbauhalde Lautenthal	35893/57485	4127,2/4	370	6	S-Ph, AC, ATtc
5	Tischlerei Lautenthal	35889/57497	4127,2/1-3	290	3	ATt, AAC
6	I, Dölbe-Mündung	35886/57501	4127,2/1	300	6	ATt, AAAt
7	I, n Sperrmauer	35898/57544	4027,4/4	230	6	AC, ATt, AAAt
8	I, Sperrmauer-Langelsheim	35897/57547	4027,4/4	220	11	AC, ATtc, AAC
9	I, w Kahnstein	35927/57570	4028,3/1	195	10	ATt, AAAt
10	I, Langelsheim-Bredelem	35928/57582	4028,3/1	195	11	AC, AAAt
11	I, NSG Bredelem	35926/57588	4028,1/3	185	3	AC, ATt
12	I, n Kunigunde	35944/57629	4028,1/1-2	155	6	AAc
13	Zinkhütte Harlingerode	36039/57540	4029,3/3	220	3	ATc
14	O, in Oker	36028/57542	4028,4/4	210	8	AC, ATtc, AAC
15	O, Steinfeld	36026/57555	4028,4/2-4	185	11	ATtc, AAAt
16	O, Ostufer bei Klärwerk	36028/57559	4028,4/2	180	7	AC, ATc
17	R, Kreuzung Wiesenweg	36065/57434	4129,3/4	622	4	S-Ph, AC, ATtc
18	R, Baste-Mündung	36069/57434	4129,3/2	570	3	AC, ATt
19	Tiefenbach sw Bad Harzburg	36064/57471	4129,3/2	460	3	AC
20	Schlackental w Bad Harzburg	36042/57507	4129,1/1	430	1	S-Ph
21	Eckertal o Bad Harzburg	36128/57501	4129,2/2	270	3	AC
22	Ilseburger Stieg o Bad Harzburg	36112/57515	4129,2/1	340	2	ATc
23	Siebertal oberhalb Königshof	36027/57309	4228,4/4	405	5	ATtc

wichtigen Grundlagen. Meist wurde das gewonnene Erz von den Bergwerken in Bereiche mit genügend Holzvorräten transportiert. Die Erzverhüttung (Rösten, Ausschmelzen) erfolgte zunächst in „Rennfeueröfen“, d. h. an Hangstellen in Windexposition benachbart zu Holzkohlemeilern. War der lokale Holzbestand erschöpft, wanderten die Betriebe weiter, sodass große Teile des Harzes schließlich von vielen Meiler- und Verhüttungsplätzen durchsetzt waren. Die Einführung wassergetriebener Blasebälge und allgemein bessere Möglichkeiten der Wasserkraftnutzung bewirkten im 13. Jahrhundert u. a. eine Verlagerung der Hüttenbetriebe in die Flusstäler und ins Harzvorland (DENECKE 1972). Die Schlacke der Schmelzen wurde in Nachbarschaft auf Halden deponiert und enthielt infolge primitiver Verhüttungstechniken noch hohe Gehalte an Schwermetallen. Im Gegensatz zu manchen anderen Gebieten sind die Halden im Harzgebiet oft kaum noch morphologisch erkennbar. Sie wurden durch Erosion und menschliche Einwirkungen fast eingeebnet und bilden meist bestenfalls nur noch kleine Hügel, die sich aus der Umgebung am deutlichsten durch ihre eigentümliche gehölzfreie Vegetation abheben (s. Abb. 2).

Das **Klima** des weit nach Nordwesten vorragenden Oberharzes ist insgesamt kühl-subatlantisch (GLÄSSER 1994; s. auch DIERSCHKE & KNOLL 2002). Die Niederschläge nehmen vom Rand zur Höhe deutlich zu (z. B. Seesen: 837 mm, Clausthal: 1310 mm). Die Temperatur nimmt mit der Höhe ab (Jahresmittel in Seesen 8,0° C, in Clausthal 6,2° C; alle Werte nach BRUELHEIDE 1995). Die starke Reliefgliederung fördert zudem lokale Eigenheiten, z. B. Kaltluft und Nebel in den Tälern. Für Schwermetallstandorte können weitere Besonderheiten von Bedeutung sein. Die dunklen Schlacken werden bei lückiger Vegetation stark erwärmt. Andererseits kommt es bei kleinen Flächen inmitten von Wäldern zu stärkerer Beschattung und kühlen Bedingungen.

Alle hier untersuchten Orte liegen in der kollinen bis montanen Stufe (155–622 m NN), die großräumig von Buchenwäldern bzw. Fichtenforsten eingenommen werden. An den Flüssen gibt es Reste von Auenwäldern, teilweise Wiesen, oft heute brach liegend. Die **Auswahl der 23 Untersuchungsflächen** erfolgte vor der Vegetationsperiode 1993 unter Aufsuchung aller bei BODE (1928) genannten Bereiche. Ihr Zustand ist in FUNKE (1994; s. auch Kap. 7.6) dokumentiert. Nur noch 13 von ihnen sowie zwei weitere Schlackenplätze in Lautenthal und bei Bredelem wurden zu Vegetationsaufnahmen herangezogen, zusätzlich eine große Bergwerkshalde bei Lautenthal und eine durch Immissionen beeinflusste Halde bei Harlingerode. Hinzu kamen 6 Flächen mit Pochsandablagerungen in den großräumigen Überschwemmungsbereichen, die an der Oker etwa 2 km ins Vorland reichen und sich an der Innerste von der Höhe von Wildemann bis 6 km auswärts des Harzes erstrecken. Eine Übersicht der Einzelgebiete geben Tab. 1 und Abb. 1.

### 3. Methoden

Die **Aufnahme der Vegetation** erfolgte im Sommerhalbjahr 1993 durch K. Funke (s. auch FUNKE 1994), wobei viele Flächen mehrfach aufgesucht wurden. Die Einzelauswahl richtete sich vor allem nach dem Vorkommen von Metallophyten sowie nach Homogenitätskriterien. Die Größe der Aufnahme­fläche betrug meist 4 m<sup>2</sup>, variierte allerdings zwischen 2 und 12 m<sup>2</sup> (s. Tab. 2). Geschätzt wurde die Artmächtigkeit in Anlehnung an ELLENBERG (1956); bei Flechten und Moosen sind seltene Arten allgemein mit „+“ angegeben. Geschätzt wurde auch die Gesamtdeckung, diejenige der Gefäßpflanzen, Flechten und Moose, außerdem der sichtbare Anteil von Steinen und Feinboden. Von den insgesamt 120 Vegetationsaufnahmen stammen 66 von Bergbau- und Schlackenhalde (davon 9 von Pochsanden beeinflusst) und 54 aus Pochsandbereichen der Schotterauen der Flüsse.

Zur **Ermittlung kleinräumiger Vegetationsstrukturen** wurde in 4 Ein-Quadratmeterflächen die Feinverteilung einzelner Arten (-gruppen) in einem 20 x 20 cm-Raster kartiert.

Die **tabellarische Auswertung** der 120 Aufnahmen der Schwermetallvegetation erfolgt in Tab. 2 nach soziologischen Kriterien. Dabei wurde die Gliederung von FUNKE (1994) übernommen und verfeinert. Eine Übersicht aller Untereinheiten mit Stetigkeitsklassen I–V (nach DIERSCHKE 1994) und Mittelwerten von Deckungen und Artenzahlen gibt Tab. 4. Außerdem werden in Tab. 5 die eigenen Ergebnisse mit solchen der Literatur verglichen (Anmerkungen s. dort).

Die Nomenklatur der Pflanzen richtet sich nach WISSKIRCHEN & HAEUPLER (1998), SCHOLZ (2000) bzw. KOPERSKI et al. (2000). Aus Gründen der Übersicht und Kürze werden folgende Namen im Text meist abgekürzt verwendet: *Armeria maritima* ssp. *halleri* = *Armeria halleri*, *Minuartia verna* ssp. *hercynica* = *Minuartia hercynica*, *Silene vulgaris* var. *humilis* = *Silene humilis*.

Auch die **ökologischen Untersuchungen** erfolgten bereits 1993/94 durch K. Funke (s. FUNKE 1994). In fast allen (112) Aufnahme­flächen wurden aus dem Oberboden (2 bis maximal 10 cm Tiefe) je eine Mischprobe aus 4 Einzelproben entnommen. Das luftgetrocknete Material wurde durch ein 3 mm-Plastiksieb gegeben, Wurzeln wurden manuell ausgelesen. – Der pH (H<sub>2</sub>O)-Wert wurde in einer Bodensuspension mit einer Einstabelektrode nach 24 Stunden gemessen. Nach Zugabe einer Spatelspitze KCl und gründlichem Umrühren wurde danach der pH (KCl)-Wert bestimmt. – Für die Bestimmung des Gesamtgehaltes an Stickstoff und Kohlenstoff (N<sub>tot</sub> und C<sub>tot</sub>) wurde bei 105° C getrockneter Boden staubfein gemahlen, erneut bei 105° getrocknet und in einem Nitrogen-Carbon-Analyser 1500 (Firma Carlo Erba) analysiert; angegeben ist das C/N-Verhältnis.

Besondere Aufmerksamkeit galt den Schwermetall- und Calcium-Gehalten. Vor der Bestimmung wurden mit Ausnahme der Probenröhrchen für die AAS-Messung alle Geräte und Materialien ca. 1 Stunde mit HNO<sub>3</sub> (65 %) angesäuert, anschließend zweimal mit demineralisiertem Wasser gespült und getrocknet, um Austauschreaktionen mit Gefäßwandungen und Cellulosefasern der Filter möglichst gering zu halten (HEINRICHS & HERRMANN 1990). – Durch wässrige Extraktion ist annähernd der Gehalt frei in der Bodenlösung vorliegender Metalle bestimmbar, der die minimal anzunehmende pflanzenverfügbare Konzentration darstellt (ERNST 1982). Hierfür wurden 5 g Boden mit 125 ml demin. Wasser versetzt, 2 Stunden über Kopf geschüttelt und durch ein Schwarzbandfilter gegeben. – Für die Gehalte maximaler Verfügbarkeit, die neben wasserlöslichen auch austauschbar gebundene Schwermetalle enthalten, wurden 5 g Boden mit 125 ml Ammoniumacetatlösung (1n, pH 7,0) aufgeschwemmt, wie oben geschüttelt und filtriert. Zur Vermeidung weiterer Reaktionen wurden die Extrakte mit HNO<sub>3</sub> auf pH 2 angesäuert und kühl aufbewahrt. Da die Filtrate leicht getrübt waren, wurden sie vor

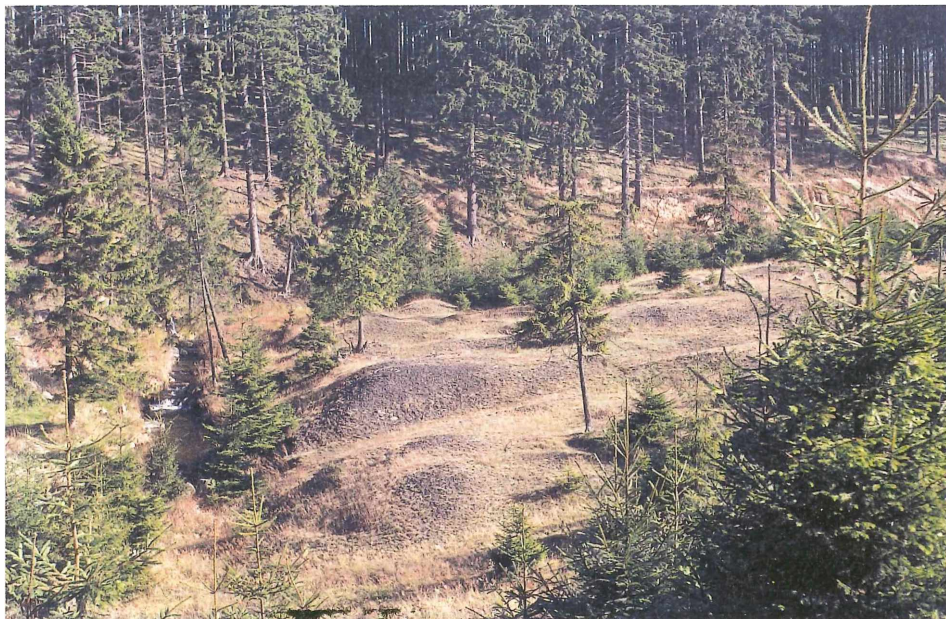


Abb. 2: Alter Verhüttungsplatz im oberen Radautal mit Resten von gehölzfreien Schlackenhalden. (Dierschke, 10/1968)

Fig. 2: Old ore-melting place in the upper Radau valley with remnants of open spoil heaps.



Abb. 3: Mit Pochsanden und Schlacken kontaminierte Okeraue nördlich von Oker mit natürlich gehölzfreien Schwermetallrasen. Auf der etwas höheren Terrasse lockeres Birken-Pioniergehölz. (Dierschke, 1.8.2007)

Fig. 3: Alluvial site of the Oker river, contaminated by sands from the stamping mills and slags, with natural open heavy-metal grassland. On the higher terrace open pioneer wood of birch.

der Analyse zusätzlich zentrifugiert. Die Analyse erfolgte im Flammen-Atomabsorptions-Spektrometer (AAS) (Spektra 30 Serie der Firma Varian). Die Konzentrationsangaben für Blei, Zink und Kupfer sowie Calcium erfolgen in mg/kg (ppm) Boden. In der Auswertung wird zwischen der Konzentration der Bodenlösung ( $Ca_{sob}$ ,  $Cu_{sob}$ ,  $Pb_{sob}$ ,  $Zn_{sob}$ ) und der austauschbar gebundenen ( $Ca_{exc}$ ,  $Cu_{exc}$ ,  $Pb_{exc}$ ,  $Zn_{exc}$ ) unterschieden. Letztere ergibt sich aus der Differenz von gesamtverfügbarer und wasserlöslicher Konzentration.

Die Gründigkeit des Bodens wurde grob mit einem Metallstab (Mittelwert aus je 8 Einstichen) ermittelt. Für jede Aufnahme wurden auch die ungewichteten mittleren Ellenberg-Zeigerwerte für Reaktion, Stickstoff und Feuchte berechnet (ELLENBERG et al. 2001).

Bei der Datenanalyse (Schlussauswertung Th. Becker) wurden verschiedene **statistische Verfahren** angewendet. Eine DCA (*Detrended correspondence analysis*) mit Herabwichtung seltener Arten und angezeigten Umweltvektoren wurde mit dem Programm CANOCO 4.5 (TER BRAAK & ŠMILAUER 2002) durchgeführt. Die Deckungsgradklassen nach Braun-Blanquet wurden vor den Rechnungen in Prozent umgewandelt (Mittelwert der entsprechenden Klasse) und log (x+1)-transformiert. Umweltvariablen, die nicht normal verteilt waren, wurden ebenfalls log-transformiert. Unterschiede in den Standortbedingungen der Gesellschaften wurden mit Varianzanalysen (ANOVA) und LSD-Post hoc-Tests ausgewertet. Um Pseudoreplikation zu vermeiden, wurden die Werte der Umweltfaktoren für jede Gesellschaft innerhalb eines Gebiets gemittelt. Dies gilt auch für die Artenzahlen und Werte der floristischen Gradienten der DCA in den Korrelationen. Zusammenhänge zwischen dem ersten DCA-Gradienten und den Umweltvariablen wurden mit Pearson-Korrelationen analysiert. Effekte der Umweltvariablen auf binominale Variablen wurden mit einfachen hierarchischen logistischen Regressionen mit dem jeweiligen Umweltfaktor als erster und dem Untersuchungsgebiet als zweiter erklärender Variable ausgewertet. Die Korrelationen, Regressionen und Varianzanalysen wurden mit dem Programm SPSS 12.0 durchgeführt.

## 4. Die Pflanzengesellschaften

### 4.1. Allgemeine Charakteristik der Schwermetallrasen

Schwermetallreiche Standorte lassen sich oft schon von weitem durch ihre teilweise nur sehr lockere, meist niedrigwüchsige Pflanzendecke erkennen. Besonders dort, wo noch kleine bis größere Halden mit Abraum oder Verhüttungsrückständen (Schlacken) existieren, heben sich feinerdearme Kuppen und steilere Hänge mit dunklem Grobmaterial und bestenfalls sehr schütterem, artenarmem Bewuchs von der Umgebung ab (Abb. 2). Aber auch ebene Flächen mit Gesteins- und Schlackenresten können ähnlich offen sein. Das Ausgangssubstrat weist nicht nur hohe, für viele Pflanzen giftige Schwermetallkonzentrationen auf, sondern es ist zugleich sehr nährstoffarm, ohne größeres Wasserhaltevermögen und kann sich bei direkter Einstrahlung stark erhitzen. Erst wenn sich etwas mehr Feinerde angesammelt hat, wird das Substrat für manche Pflanzen besiedelbar, die allmählich Humus bilden, eventuell auch Feinerde sammeln und damit weiteren Pflanzen unter Abschwächung des Schwermetalleinflusses das Eindringen ermöglichen. So kann allmählich eine echte Primärsukzession beginnen, in der aber über lange Zeit nur schwermetalltolerante Pflanzen eine Rolle spielen (s. auch Kap. 6, 7.4). Auf Schwermetallstandorten bleiben viele Pflanzen kleinwüchsig (Nanismus); insgesamt ähnelt die Vegetation physiognomisch bestenfalls einem Magerrasen. Diesen Charakter haben auch die Bestände auf mit Pochsanden kontaminierten Überschwemmungsbereichen einiger Flüsse, insbesondere von Innerste und Oker (Abb. 3).

Im Gegensatz zu vielen anderen Magerrasen, die oft als besonders artenreich gelten, sind die Schwermetallrasen des Harzes relativ artenarm. So gibt es in Tabelle 2 zwar 46 Phanerogamen, von denen aber nur 10 höhere Stetigkeit erreichen, wenn man von Untereinheiten absieht. Hieraus wird klar, dass hohe Schwermetallkonzentrationen insgesamt ein entscheidender Grund für die Artenzusammensetzung sind; aber auch andere Faktoren können eine wichtige Rolle spielen (s. Kap. 5). Am Boden gibt es häufig eine gut und teilweise artenreich ausgebildete Kryptogamenschicht. So können insbesondere die Flechten teilweise an Zahl und Deckung die Gefäßpflanzen übertreffen und die floristische Gesamtbilanz etwas verbessern.



Im Harz bestimmen drei Metallophyten das Vegetationsbild: *Armeria maritima* ssp. *halleri* (hier weiter als *A. halleri* bezeichnet), *Minuartia verna* ssp. *hercynica* (= *M. hercynica*) und *Silene vulgaris* var. *humilis* (= *S. humilis*). Sie haben recht unterschiedliche Wuchsformen: *Armeria* bildet kleine Rosetten aus schmalen Blättern und hat langgestielte rote Blütenköpfchen, *Minuartia* entwickelt kleine, frischgrüne Polster mit nadelförmig-feinen Blättchen und zahlreichen kleinen weißen Blüten, *Silene* fällt mit ihren kriechend-aufsteigenden blaugrünen Trieben und großen rötlich-weißen Blüten besonders auf (Abb. 4). Hinzu kommen vorwiegend anspruchslose Arten, die sich meist auch in der Umgebung finden. Diese sind nach ökophysiologischen Untersuchungen ebenfalls mehr oder weniger schwermetalltolerant und können als eigene Ökotypen gelten, die aber keine klaren morphologischen Unterschiede erkennen lassen und deshalb keinen taxonomischen Rang haben. Hierzu gehören z. B. *Agrostis capillaris*, *Campanula rotundifolia*, *Festuca ovina* s. str. und *Rumex acetosa* (oft sehr kleinblättrig), die fast überall zu finden sind. Gräser können teilweise vorherrschen und geben den Beständen dann das Aussehen von Magerrasen. In manchen Arbeiten wird auch *Cardaminopsis halleri* als Metallophyt angesehen. Hallers Schaumkraut ist aber ebenfalls eine bezeichnende Pflanze der Bergwiesen des Harzes (s. DIERSCHKE 1997). Ihre Pflanzen der Schwermetallstandorte sind somit auch nur eigene Ökotypen (s. auch Kap. 7.1, 7.2), bestenfalls (fakultative) Metallophyten i. w. S., aber für Schwermetallrasen sehr bezeichnend.

Die „echten“ Metallophyten sind (neben den Gräsern) phänologisch-physiognomisch häufig die bestimmenden Arten. Anfang Mai blühen bereits *Minuartia hercynica* und *Armeria halleri*, etwas später auch *Silene humilis*. Alle haben eine sehr lange Blütezeit, teilweise bis in den Herbst hinein, wobei *Armeria* gewisse Blühwellen mit Pausen dazwischen erkennen lässt. Andere Farbaspekte gibt es vor allem im Sommer dort, wo der Schwermetalleinfluss geringer ist, z. B. durch *Achillea millefolium*, *Campanula rotundifolia*, *Galium album*, *Hieracium pilosella*, *Pimpinella saxifraga*, *Rumex acetosa*, *Thymus pulegioides* und/oder *Viola tricolor*.



Abb. 4: *Armeria maritima* ssp. *halleri*, *Minuartia verna* ssp. *hercynica* und *Silene vulgaris* var. *humilis*, die drei Metallophyten der Schwermetallrasen im Harz; außerdem vorne kleinblättriger Ökotyp von *Rumex acetosa*. (Becker, 10.6.2007)

Fig. 4: *Armeria maritima* ssp. *halleri*, *Minuartia verna* ssp. *hercynica* and *Silene-vulgaris* var. *humilis*, the three metallophytes of the heavy-metal grassland in the Harz mountains. In the foreground a small-leaved ecotype of *Rumex acetosa*.

Die Böden der Schwermetallvegetation können, teilweise schon auf kleinem Raum, sehr unterschiedlich ausgebildet sein, von sehr flachgründig-skelettreichen Rohböden bis zu rankeartigen, feinerreicheren Ausbildungen mit unterschiedlich dicker Humusauflage, wegen gehemmter Aktivität der Bodenorganismen teilweise als Rohhumus.

Schon PETER (1899) hat auf eine eigenartige Pflanzengesellschaft des Harzes mit Metallophyten hingewiesen, welche „die zahlreichen Schutthalden in der Umgebung von Gruben und Bergwerken, die Schlackenfelder der Hüttenwerke, die Kiesbetten der Harzbäche beherbergen“ (S. 30). Etwas genauere Hinweise auf Vorkommen und Verbreitung von Schwermetallvegetation finden sich bereits bei DRUDE (1902), wenn er auch offenbar die ökologische Bedeutung der Schwermetalle nicht kannte. Er beschrieb artenarme Pflanzenbestände auf Flussschottern der Harzflüsse mit *Armeria halleri*, *Cardaminopsis halleri* und *Minuartia hercynica*, die „in den Waldthälern des unteren Harzes überall durch ihr Zusammenwachsen die Plätze früherer Kohlenmeiler anzeigen ...“ (S. 516). „Als schwache Art von endemischem Charakter hat *Armeria Halleri* zu gelten, welche dem nördlichen Gebirgssaum des Harzes und seinen nach SW gerichteten Flusstälern ein sehr charakteristisches Gepräge gibt. Schon Ende April stehen die weitgedehnten Schotterwiesen an der Oker, Innerste u. s. w. in kräftigem Rot von den auf kurzen, steifen Schäften in Menge neben einander aus demselben Polster entspringenden kugeligen Köpfen dieser *Armeria*, die dann in unregelmäßiger Zeitfolge den ganzen Sommer hindurch weiter blüht“ (S. 220). „Auf den an der Innerste liegenden Geröllflächen und Wiesen wachsen noch auf 1 Stunde Entfernung vom Flusse die beiden Charakterpflanzen des Harzes, *Alsine verna* und *Armeria Halleri* im Diluvium bis Ringelheim ...“ (S. 304), also bis gut 10 km vom Harzrand entfernt.

Es ist demnach davon auszugehen, dass Schwermetallfluren noch zu Beginn des 20. Jahrhunderts im Harz und seinem Vorland in großer Ausdehnung vorhanden waren. HELLWIG (2002) beschreibt neuerdings auch umfangreichere Bestände im Innerstetal bei Grasdorf, oberhalb von Hildesheim.

Die floristische Eigenart und Ähnlichkeit der Schwermetallrasen macht es sinnvoll, alle Bestände, die wenigsten einen der drei genannten Metallophyten besitzen, im Harz zu einer Assoziation zusammenzufassen. Es ist dies das schon frühzeitig beschriebene *Armerietum halleri* Libbert 1930. Teilweise lassen sich bereits kleinräumig mehr oder weniger deutliche Vegetationsunterschiede erkennen, die mit Hilfe von Tabelle 2 als verschiedene Subassoziationen und Varianten (Subvarianten, Ausbildungen) eingestuft werden können. Die folgende Beschreibung beginnt mit einer sehr artenarmen Pionierphase und endet mit dichten, bereits in floristischer Degeneration befindlichen, wiesenartigen Beständen des *Armerietum halleri*. Den bereits früher beschriebenen Syntaxa (Ass., Subass.) wird jeweils ein Nomenklatorischer Typus (Lectotypus gemäß ICPN, WEBER et al. 2001) zugeordnet.

#### 4.2. Das *Armerietum halleri* Libbert 1930 im Harz (Tabelle 2 im Anhang)

##### Galmeigrasnelken-Gesellschaft

Lectotypus (hoc loco): LIBBERT (1930), Tabelle S. 33, Aufn. 1.

Das *Armerietum halleri* ist die charakteristische Pflanzengesellschaft auf alten Abraum- und Schlackenhalde(n) früherer Bergbau- und Verhüttungsbetriebe und anderen mit Schlacken durchsetzten Substraten mit hohen Gehalten an Schwermetallen (vor allem Cu, Pb, Zn) sowie auf durch Pochsande kontaminierten Flussschottern im Harz und seinem Vorland. Vor allem im Nordwestteil des Harzes gibt es noch ein weit gespanntes Netz kleinerer und größerer Stellen mit hohen Schwermetallgehalten inmitten „normaler“ Ausprägungen von Grasland bis zu Laubwäldern und Fichtenforsten. Wie schon in Kap. 2 angemerkt, gibt es aber heute nur noch wenige Flächen, wo das *Armerietum* in guter Ausbildung zu finden ist. Oft lassen sich nur noch einzelne Pflanzen erkennen, die auf Schwermetallstandorte hinweisen.

Gut ausgebildet und teilweise großflächiger ist das *Armerietum halleri* vor allem auf den Schotterterrassen von Innerste und Oker zu finden. Wie Wuchsstörungen mit Chlorosen in den angrenzenden Getreideäckern erkennen lassen, reichen die Kontaminationen teilweise weit über den heutigen Bereich der Schwermetallrasen hinaus (s. auch die Bemerkungen von DRUDE 1902 in Kap. 4.1). Auch die in diesen Bereichen liegenden Haldenreste zeigen gut

differenzierte Bestände. Dagegen ist das *Armerietum* auf Schlackenplätzen in den engen Harztälern nur noch selten weiträumig vorhanden. Ausgedehntere Bestände gibt es außerdem auf einer Bergwerkshalde bei Lautenthal.

#### 4.2.1. *Silene*-Pionierphase (Tab. 2, Aufn. 1–5)

##### Taubenkropffleimkraut-Gesellschaft

Größere Halden aus grobem, durchlässigem Gesteins- und Schlackenmaterial können ganz ohne Pflanzenwuchs sein, wenn man von unscheinbaren Krustenflechten absieht, die teilweise eine eigene Gesellschaft, das *Acarosporium sinopicae* bilden (s. DREHWALD 1993). Als erster Pionier der Phanerogamen tritt meist *Silene humilis* auf, die von kleinen durchwurzelbaren Stellen aus ihre blaugrünen Triebe über das Gestein schiebt und auch leichte Überschüttung erträgt. Wo etwas mehr Feinerde angesammelt ist, kann *Minuartia hercynica* in winzigen Polstern hinzukommen oder (auf Flächen in ebener Lage) auch der erste Pionier sein. Mit ihren weißen Blüten bilden beide Sippen einen reizvollen Kontrast zum dunklen Untergrund. Andere Arten sind nicht oder nur ganz vereinzelt und kümmerlich vorhanden. So beträgt die Gesamtartenzahl nur 2–5, der Deckungsgrad 5–10 %. Beispiele dieser Pionierphase zeigen Abb. 5 und 6.

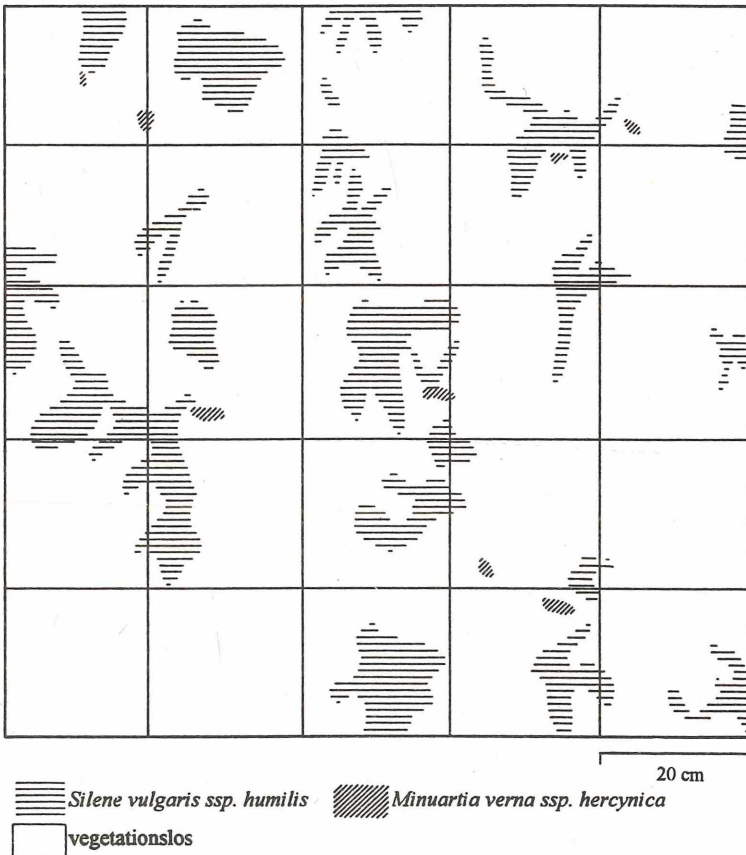


Abb. 5: Horizontalstruktur einer Quadratmeterfläche der *Silene humilis*-Pionierphase im 20 x 20 cm-Raster (aus FUNKE 1994).

Fig. 5: Horizontal structure of a square meter of the *Silene humilis*-pioneer stage within a grid of 20 by 20 cm (from FUNKE 1994).





Abb. 6: *Silene*-Pionierphase auf offenem Gesteinsschutt an der Oker. (Dierschke, 1.8.2007)

Fig. 6: *Silene*-pioneer stage on open spoil in the Oker river alluvial plain.

Alle Aufnahmen stammen von bis zu 40° geneigten Hängen verschiedener Schlackenhaldden sowie der Bergbauhalde Lautenthal. Die sehr flachgründigen Böden (der Messstab ließ sich meist nur 3–5 cm tief einstecken) haben Rohbodencharakter mit sehr großem Skelettanteil; hohe Schwermetallgehalte, aber auch extrem ungünstige Bedingungen der Wasser- und Nährstoffversorgung und zeitweise starke Erwärmung der Oberfläche können angenommen werden (s. auch Kap. 5).

Die Pionierphase ist auch heute noch häufig zu finden, allerdings nur mit wenigen Aufnahmen belegt. Sie kann sehr lange andauern und hat somit nicht selten den Charakter einer Dauer-Pioniergesellschaft. Neben offenen Haldenhängen gibt es sie auch kleinflächig an sekundären Störstellen wie Anrissen, neu freigelegtem oder aufgeschüttetem, schwermetallreichem Grobsubstrat.

#### 4.2.2. *Armerietum balleri cladonietosum chlorophaeae* Ernst 1965 (Tab. 2, Aufn. 6–33)

##### Flechtenreiche Galmeigrasnelken-Gesellschaft

Lectotypus (hoc loco): ERNST (1965a), S. 50. Tabelle I, Aufn. 13.

Neben obiger Pionierphase gibt es vor allem auf größeren Schlackenhaldden, aber auch auf sehr flachgründigen, steinreichen Standorten der Schotterfluren, Bestände mit bis zu 8 Flechtenarten, die mit bis zu 80 % Deckung eine auffällige grünlich-graue Schicht am Boden bilden. Neben verschiedenen Cladonien, die hier ihren Schwerpunkt im *Armerietum* haben (s. Tabelle 2), sind noch *Cetraria aculeata* und *Stereocaulon dactylophyllum* als Differenzialarten zu nennen. Eine gemeinsame Trennart mit dem *A. typicum* ist außerdem *Deschampsia flexuosa*. Wie die Tabelle (Begleiter) zeigt, gibt es eine Reihe weiterer Flechten und auch Moose, die allen Einheiten mit Ausnahme der Pionierphase gemeinsam sind und zum floristischen Grundstock der Assoziation gehören. Die Zahl der Phanerogamen ist im *Armerietum cladonietosum* gering, oft nur 2–6. Auch ihr Deckungsgrad liegt oft unter 50 %, sodass den Kryptogamen genügend Raum und Licht bleibt. Dass die mikroklimatischen Bedingungen recht extrem sein können, lässt das Fehlen oder der nur geringe Anteil der Moose vermuten.

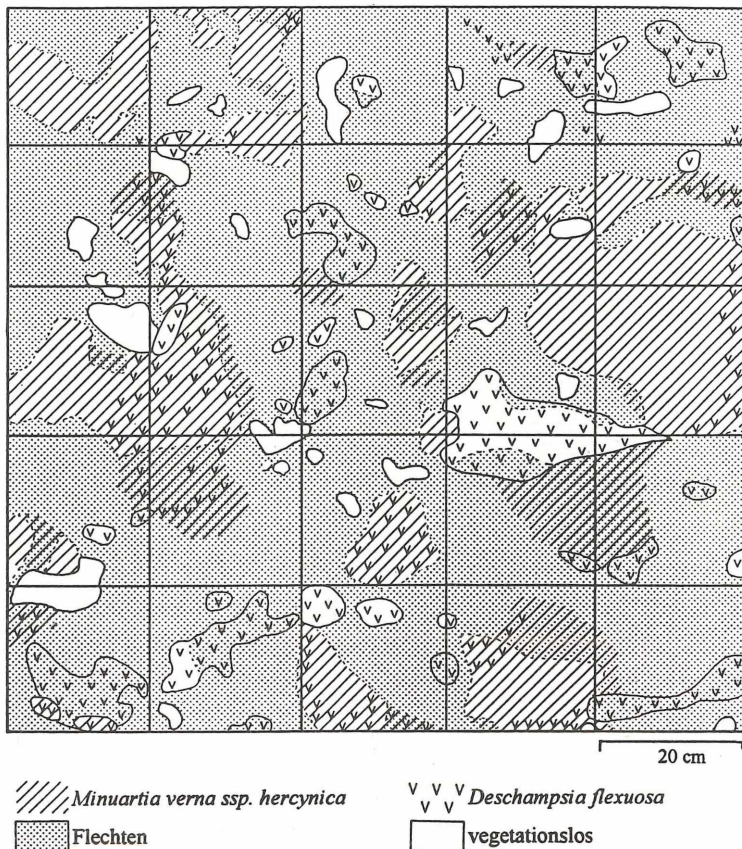


Abb. 7: Horizontalstruktur einer Quadratmeterfläche des *Armerietum halleri cladonietosum* im 20 x 20 cm-Raster (aus FUNKE 1994).

Fig. 7: Horizontal structure of a square meter of the *Armerietum cladonietosum* within a grid of 20 by 20 cm (from FUNKE 1994).

Von den drei Kenntaxa der Assoziation ist *Silene humilis* fast überall vorhanden, etwas weniger stet, teilweise mit größeren Polstern auch *Minuartia hercynica*. Am wenigsten stet, aber oft durchaus mit guter Wuchskraft, kommt *Armeria halleri* hinzu. Bei genauer Artenanalyse lassen sich noch kleinere floristische Unterschiede erkennen. So gibt es Bestände mit geringem bis hohem Grasanteil, vor allem von *Deschampsia flexuosa* oder *Festuca ovina*. Unsere Tabelle ist hingegen nach dem Fehlen oder Vorkommen einiger Arten gegliedert, die ihren Schwerpunkt im rechten Teil haben. So ergibt sich links eine **Typische Ausbildung** (Aufn. 6–14), in der Phanerogamen an Zahl zurücktreten; auch *Armeria halleri* ist hier seltener zu finden. Diese Bestände ähneln (noch) der Pionierphase, nur mit deutlicher Flechten-schicht, möglicherweise eine direkte Folgephase. Die rechte Seite enthält hingegen mit *Agrostis capillaris*, *Campanula rotundifolia*, *Festuca ovina* und *Rumex acetosa* sowie häufiger auch Moosen Arten, die zu Untereinheiten auf humoseren Böden überleiten. Diese Unterschiede erscheinen aber nur schwach; wir sprechen deshalb nur von einer ***Festuca ovina*-Ausbildung** (Aufn. 15–33). Eine Besonderheit stellen die drei letzten Aufnahmen mit *Calluna vulgaris* dar. Sie stammen alle von einer Halde im Eckertal in Randbereichen zu offenen Fichtenbeständen.

Insgesamt macht die Pflanzendecke zwar einen geschlossenen Eindruck (Gesamtdeckung 50–90 %), die Anordnung von Gefäßpflanzen und Flechten/Moosen ist aber oft mosaikartig, wie es Abb. 7 und 8 zeigen. – Fast alle Aufnahmen stammen von nur schwach





Abb. 8: Großflächiges *Armerietum halleri cladonietosum* auf kontaminiertem Schotter in der Okerau. Erkennbar sind neben *Armeria* und *Silene* vor allem *Cladonia foliacea*, *Stereocaulon dactylophyllum* und *Cetraria aculeata*. (Dierschke, 1. 8. 2007)

Fig. 8: Large area of the *Armerietum halleri cladonietosum* on contaminated gravel in the Oker river alluvial plain. Visible are besides *Armeria* and *Silene* especially *Cladonia foliacea*, *Stereocaulon dactylophyllum* and *Cetraria aculeata*.

geneigten Flächen. Die Typische Ausbildung ist nur von flachen Halden, die *Festuca ovina*-Ausbildung häufiger auch aus Pochsandbereichen nachgewiesen. Die Böden sind sehr skelettreich; die Gründigkeit reicht oft nur bis 5 cm Tiefe. Teilweise ist eine dünne Humusauflage von 1–2 cm ausgebildet. Im kleinräumigen Mosaik mit anderen Untereinheiten ist das *Armerietum cladonietosum* vor allem auf den steinreichsten, teilweise etwas herausgehobenen und damit wohl besonders trockenen und nährstoffarmen Kleinstandorten zu finden.

#### 4.2.3. *Armerietum halleri typicum* Ernst 1965 (Tab. 2, Aufn. 34–85)

##### Typische Galmeigrasnelken-Gesellschaft

Lectotypus (hoc loco): ERNST (1965a), S. 50. Tabelle I, Aufn. 6

Diese Gesellschaft trägt ihren Namen zu Recht. Sie ist nicht nur das trennartenlose Mittelstück der Assoziation, sondern mit 52 Aufnahmen und weiter Verbreitung (Aufnahmen aus 18 Gebieten) sowohl auf Halden als auch auf Schotterflächen das floristisch-ökologische Zentrum der Schwermetallrasen im Harz. Alle drei Charakterarten der Assoziation sind höchst vorhanden, nicht selten auch mit größerem Deckungsgrad. Teilweise hohe Anteile der Gräser (*Festuca ovina* oder *Deschampsia flexuosa*) vermitteln den Eindruck von Rasen oder Wiesen. Auf wechselfeuchten Standorten an Flüssen fällt gelegentlich auch *Molinia caerulea* auf. Die Kryptogamenschicht ist meist gut entwickelt, teilweise mit gegenläufiger Deckung von Flechten und Moosen. Die Flechten zeigen oft eine eingeschränkte Vitalität, was ihre Bestimmung erschwert. So musste teilweise auf „*Cladonia* spec.“ zurückgegriffen werden. Einige Cladonien sind hier sogar häufiger als im *Armerietum cladonietosum*. Zu ihnen gehören *Cladonia coniocraea*, *C. fimbriata*, *C. glauca* und *C. subulata*. In schattigeren Bereichen ist vorwiegend die weit verbreitete *C. furcata* zu finden. Moose sind zwar mit bis zu 40 % Deckung stärker am Aufbau der Kryptogamenschicht beteiligt, zeigen aber oft

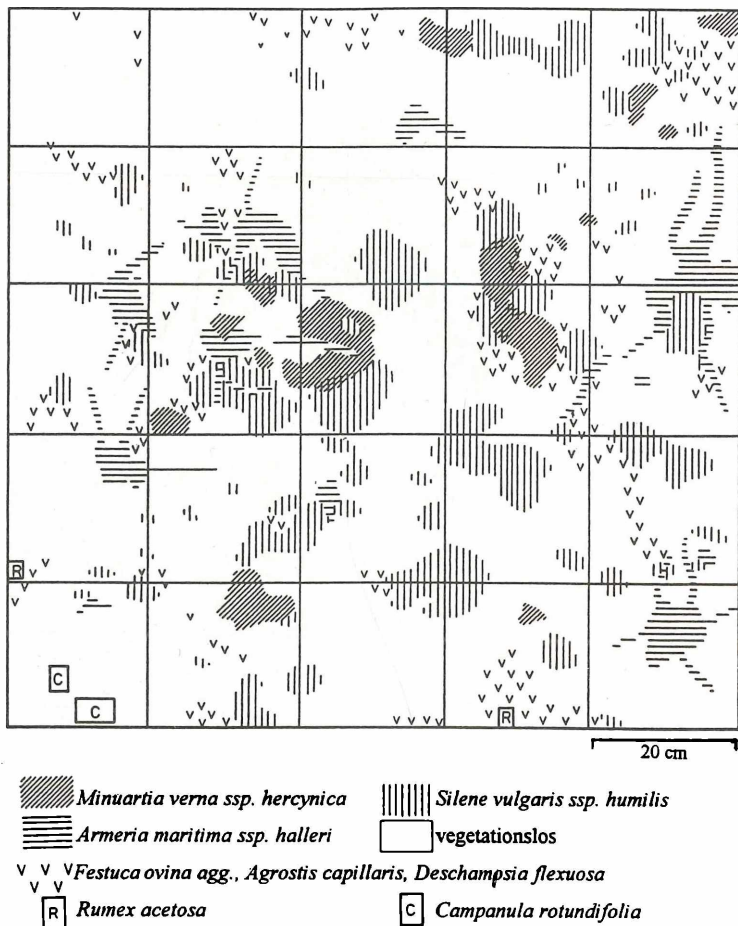


Abb. 9: Horizontalstruktur einer Quadratmeterfläche des *Armerietum halleri typicum* im 20 x 20 cm-Raster (aus FUNKE 1994).

Fig. 9: Horizontal structure of a square meter of *Armerietum halleri typicum* within a grid of 20 by 20 cm (from FUNKE 1994).

auch nur niedrig-kümmelichen Wuchs. Mit Ausnahme von *Ceratodon purpureus* konzentrieren sie sich im Schatten höherer Pflanzen. Die Artenzahl ist insgesamt mit 5–18 äußerst variabel, sicher ein Ausdruck von auch kleinräumig unterschiedlichen Wuchsbedingungen. Eindrücke von dieser Gesellschaft vermitteln Abb. 9 bis 11.

Die Flächen sind fast alle eben bis flach geneigt. Der Boden zeigt eine etwas stärkere Humusaufgabe. Das skelettreiche Substrat darunter ist oft flachgründig (bis 5 cm), kann aber auch bis über 20 cm tief durchdringbar sein.

Innerhalb der Typischen Subassoziation des *Armerietum halleri* werden zwei Untereinheiten als Varianten unterschieden.

#### 4.2.3.1. Typische Variante (Tab. 2, Aufn. 34–59)

Mit 26 Aufnahmen, vorwiegend von flachen Haldenbereichen, ist dies die häufigste Einheit der Tabelle. Mit nur 3–7 Gefäßpflanzen gehört sie zu den artenarmen Untereinheiten. Dafür erreichen Deckung und Stetigkeit der Charakterarten hier ein Optimum (Abb. 10). Wie im *A. cladonietosum* lassen sich auch hier eine **Typische Ausbildung** (Aufn. 34–42) und





Abb. 10: *Armerietum halleri typicum*, Typische Variante in der Okeraue (hinten *A. achilletesum*). (Becker, 10.6.2007)

Fig. 10: *Armerietum halleri typicum*, Typical Variant in the Oker river plain (in the background *A. achilletesum*).

eine *Festuca ovina*-Ausbildung (Aufn. 43–59) unterscheiden. Erstere ist besonders artenarm (meist nur 5–6, davon nur 2–3 Gefäßpflanzen), letztere kann bis zu 16 (8) Arten aufweisen. Entsprechend ist auch die Deckung in der Typischen Ausbildung niedriger (oft 20–40 %). In der *Festuca ovina*-Ausbildung können Moose höhere Anteile erreichen (bis 60 % Deckung).

#### 4.2.3.2. Variante von *Cardaminopsis halleri* (Tab. 2, Aufn. 60–85)

Diese Variante kommt häufiger auch auf den Schotterflächen von Innerste und Oker vor, oft verzahnt mit der Typischen Variante, ebenfalls mit der gleichnamigen Variante des *Armerietum achilletesum* (s. Kap. 4.2.4.2), die sich etwas tiefer anschließen kann. Auch am Fuß von Schlackenhalde im Übergang zu feuchteren Bereichen ist sie zu finden. Allgemein kennzeichnet die Variante etwas feuchtere Bodenbedingungen (s. Kap. 5).

Als Differenzialarten kommen neben *Cardaminopsis halleri* auch *Holcus lanatus* und *Festuca rubra* in Frage; alle besitzen schwermetalltolerante Ökotypen. Hallers Schaumkraut wächst mit unterschiedlicher Deckung (+ bis 3) und fällt vor allem im Frühsommer mit seinem weißen Blühaspekt auf. Die Krautschicht deckt selten weniger als 50 %, teilweise über 80 %, bleibt aber mit 4–11 Arten arm. Die Kryptogamenschicht entspricht der Typischen Variante; insgesamt macht die Pflanzendecke einen recht geschlossenen Eindruck (Abb. 11).

Die Böden sind teilweise deutlich tiefgründiger; oft wurden 10–20 cm gemessen, die Spanne reicht von 3 bis 60 cm. Der Skelettanteil ist geringer, d. h. es ist mehr Feinerde vorhanden. Die 1–4 cm mächtige Humusauflage und ein angedeuteter  $A_h$ -Horizont zeigen ebenfalls etwas günstigere Bedingungen an.

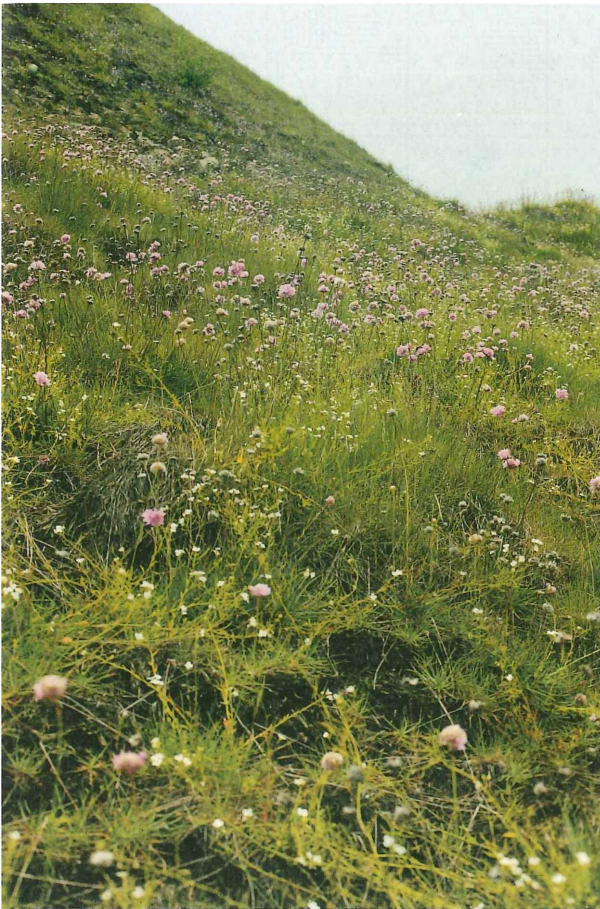


Abb. 11: *Armerietum halleri* typicum, *Cardaminopsis*-Variante am Rande einer Bergbauhalde in Harlingerode. (Funke, 8.6.1993)

Fig. 11: *Armerietum halleri* typicum, *Cardaminopsis* variant in the marginal area of a dump in Harlingerode.

#### 4.2.4. *Armerietum halleri achilletesum millefoliae* Ernst 1965 (Tab. 2, Aufn. 86–120)

##### Schafgarben-Galmeigrasnelken-Gesellschaft

Lectotypus (hoc loco): ERNST (1965a), S. 50. Tabelle I, Aufn. 24.

Ausgedehnte Bestände dieser Subassoziation kommen vor allem im Überschwemmungsbereich der Innerste und Oker vor; von dort stammen auch zwei Drittel der Aufnahmen. Zahlreiche Differenzialarten deuten auf geringeren Schwermetalleinfluss und allgemein günstigere Wuchsbedingungen hin. Häufig finden sich *Plantago lanceolata*, *Galium album* und *Pimpinella saxifraga*, weniger stet *Thymus pulegioides*, *Achillea millefolium*, seltener *Hieracium pilosella*, *Viola tricolor* und *Cerastium holosteoides*. Auch *Molinia caerulea* kommt häufiger vor. So liegt die Zahl der Gefäßpflanzen oft bei 11–15, mit einer Spanne von 8–21. Die Krautschicht ist deutlich üppiger, die Deckung liegt überall über 50 %, erreicht nicht selten 90 % (s. Abb. 12, 13). Oft herrscht ein Grasaspekt, zu dem vor allem *Festuca ovina* wesentlich beiträgt (Deckungsgrade 3–5). Dagegen fehlt die in anderen Einheiten häufige *Deschampsia flexuosa* fast ganz. Das hochstete Auftreten der drei Charakterarten weist die Bestände noch deutlich in das *Armerietum halleri*; teilweise sind ihre Pflanzen sogar besonders kräftig entwickelt. – Auch phänologisch unterscheidet sich die Subassoziation von anderen Einheiten. Schon im Mai fallen die gelben Blüten von *Hieracium pilosella* zwischen dem Weiß bis Rot der Metallophyten auf. Später wird der Aspekt noch bunter. So kommen hier z. B. *Campanula rotundifolia* und *Rumex acetosa* häufiger zur Blüte als in anderen Beständen, noch bereichert durch *Pimpinella saxifraga*, *Thymus pulegioides* u. a. – Auffällig



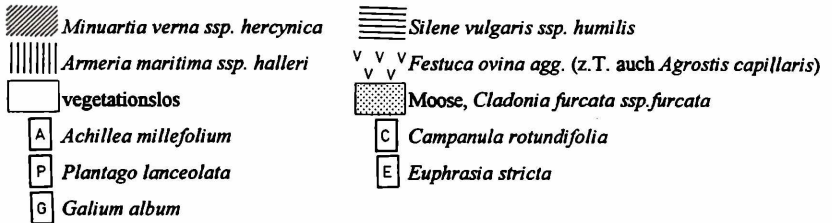
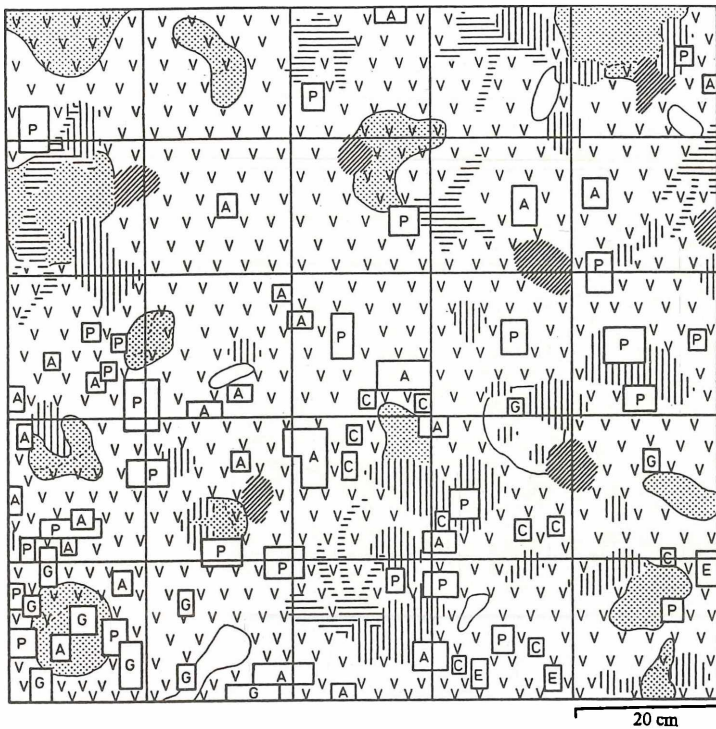


Abb. 12: Horizontalstruktur einer Quadratmeterfläche des *Armerietum halleri achilleetosum* im 20 x 20-cm-Raster (aus FUNKE 1994).

Fig. 12: Horizontal structure of a square meter of *Armerietum halleri achilleetosum* within a grid of 20 by 20 cm (from FUNKE 1994).

ist das Zurücktreten selbst der am weitesten verbreiteten Flechten, denen hier nicht mehr genügend Raum und Licht bleibt. Dagegen können Moose, obwohl gering an Zahl (bis zu 5 Arten), Deckungsgrade von 30–50 % erreichen. Oft sind es großblättrige Laubmoose, die einen dichten Unterwuchs bilden, vor allem *Scleropodium purum*, dazu *Pleurozium schreberi*, *Rhytidiadelphus squarrosus* und *Plagiommium affine*. Sie tragen mit ihren absterbenden Resten zur Ausbildung dickerer Humusauflagen bei.

In der Bodengründigkeit gibt es kaum Unterschiede zum *Armerietum typicum*, aber der Skelettgehalt ist meist niedriger, wobei größere Steine nur selten bis an die Oberfläche reichen. Deutlich ist ein  $A_h$ -Horizont von 1–4 cm entwickelt. Vermutlich ist geringerer Schwermetalleinfluss, verbunden mit besserer Nährstoff- und Wasserversorgung, für die üppigere Pflanzendecke verantwortlich. Für anspruchsvollere Arten ist der Boden aber zu mager.

Ähnlich dem *Armerietum typicum* lassen sich auch hier zwei gleichnamige Varianten unterscheiden.





Abb. 13: *Armerietum halleri achilletesum* in der Okeraue; neben den Metallophyten wachsen u. a. *Agrostis capillaris*, *Festuca ovina*, *Plantago lanceolata*, *Rumex acetosa*. (Dierschke, 1. 8. 2007)

Fig. 13: *Armerietum halleri achilletesum* in the Oker river floodplain; besides the metallophytes grow *Agrostis capillaris*, *Festuca ovina*, *Plantago lanceolata*, *Rumex acetosa* etc.

#### 4.2.4.1. Typische Variante (Tab. 2, Aufn. 86–98)

Hierunter fallen etwas artenärmere Bestände, vorwiegend von nur schwach geneigten Haldenbereichen, mit teilweise weniger als 10 Gefäßpflanzen und Deckungsgraden von 50–60 %. Die hier auftretenden geringsteten eigenen Arten wie *Euphrasia stricta*, *Leontodon autumnalis* oder *Lotus corniculatus* erfüllen zwar nicht die Anforderungen an Differenzialarten, sagen aber ebenfalls einiges über bessere Wuchsbedingungen aus. Eine Besonderheit sind drei Aufnahmen mit höherer Deckung von *Sedum acre* von einer Halde bei Langelsheim und aus dem Innerstetal. Bezeichnend sind oft hohe Grasanteile. Die Kryptogamenschicht entspricht dem oben Gesagten.

#### 4.2.4.2. Variante von *Cardaminopsis halleri* (Tab. 2, Aufn. 99–120)

Diese Bestände sind vor allem in den Schotterauen von Innerste und Oker zu finden. Neben den Trennarten der gleichnamigen Variante im *Armerietum typicum* können noch *Anthoxanthum odoratum* und *Silene dioica* hier als solche bewertet werden. Es wäre auch denkbar, beide Varianten als eine eigene Subassoziation (*Armerietum cardaminopsietosum*) zusammenzufassen, wie es teilweise schon geschehen ist (z. B. ERNST 1965a ff.). Dies würde aber der Existenz des *A. achilletesum* und auch den Ergebnissen der DCA (Kap. 5) widersprechen, denen wir hier den Vorzug geben (s. auch Kap. 7.3). – Die Krautschicht zeichnet sich durch besondere Üppigkeit aus, mit Deckungen von 80–90 % und recht hoher Artenvielfalt (11–21), wobei sich manche Pflanzen überlagern und den dichten Eindruck verstärken. In kleinen Lücken werden Kryptogamen sichtbar, wobei Moose eindeutig vorherrschen.

Innerhalb der *Cardaminopsis*-Variante sind noch zwei Subvarianten erkennbar: Die **Typische Subvariante** ist mit 15 Aufnahmen am besten vertreten und entspricht dem oben Gesagten.

Die *Trifolium repens*-Subvariante (7 Aufnahmen) hat mit außerdem *Arrhenatherum elatius* und *Ranunculus acris* und Wuchshöhen bis zu 120 cm schon mehr wiesenartigen Charakter und zeigt mit geringerer Vertretung der Metallophyten am stärksten degenerative Züge. Flechten fallen kaum mehr auf, während Moose oft 40–50 % erreichen.

### 5. Ökologische Bedingungen im *Armerietum halleri* und seinen Untereinheiten

Die Gliederung von Tab. 2 entspricht gut der Auftrennung der Subassoziationen und weiteren Untereinheiten des *Armerietum* entlang des Hauptgradienten der DCA (Abb. 14). Dieser floristische Gradient ist wiederum mit den Zeigerwerten für Reaktion ( $r = 0,69$ ), Stickstoff ( $r = 0,65$ ) und Feuchte ( $r = 0,46$ ), sowie den Gehalten an austauschbarem Calcium ( $r = 0,54$ ) und der Bodenfruchtbarkeit ( $r = 0,50$ ) positiv korreliert, negativ mit den Kupfer/Calcium- ( $r = -0,73$ ) und Zink/Calcium-Verhältnissen des Bodens ( $r = -0,70$ ), dem Anteil an

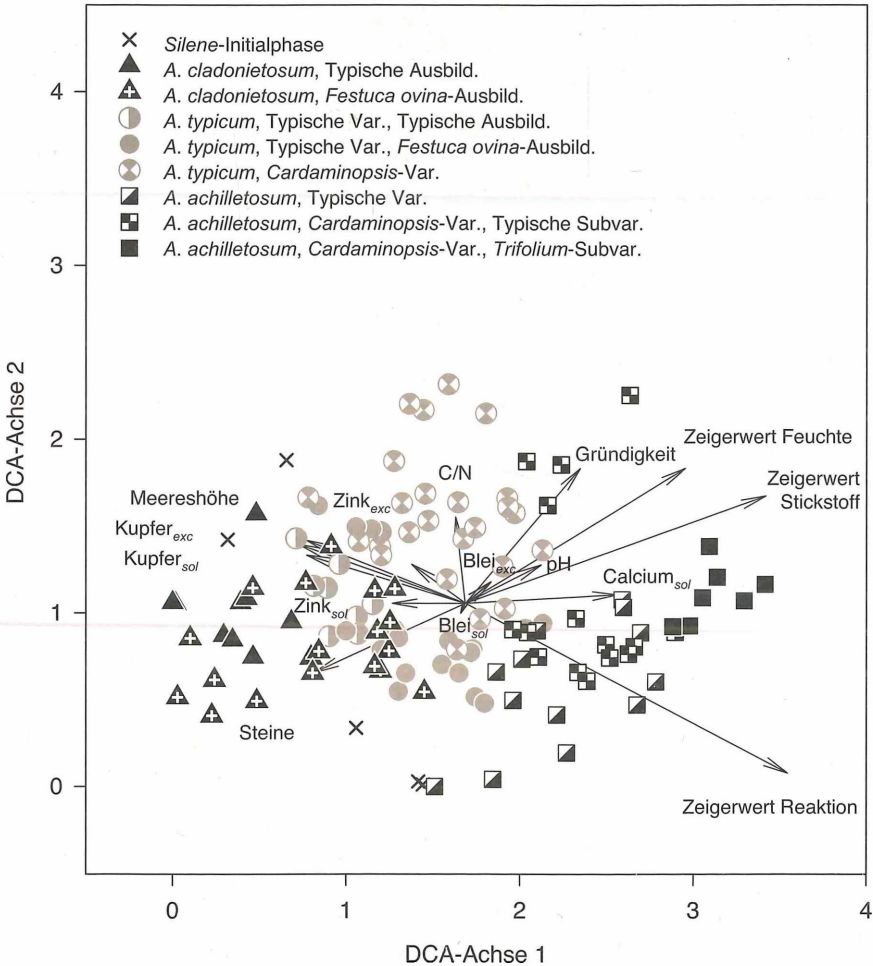


Abb. 14: DCA des *Armerietum halleri*. DCA-Werte der Aufnahmen sowie Umweltvektoren. 120 Aufnahmen, 92 Arten; Achse 1: Länge 3,4 SD-Einheiten; Prozentsatz erklärter Varianz 13,7; Eigenwert 0,43. Achse 2: 2,3; 5,6; 0,18. Achse 3: 1,9; 4,4; 0,14.

Fig. 14: DCA of the *Armerietum halleri*. Sample scores and environmental vectors. 120 relevés, 92 species; axis 1: length 3.4 standard deviation units, percentage explained variance 13.7, eigenvalue 0.43; axis 2: 2.3, 5.6, 0.18; axis 3: 1.9, 4.4, 0.14.

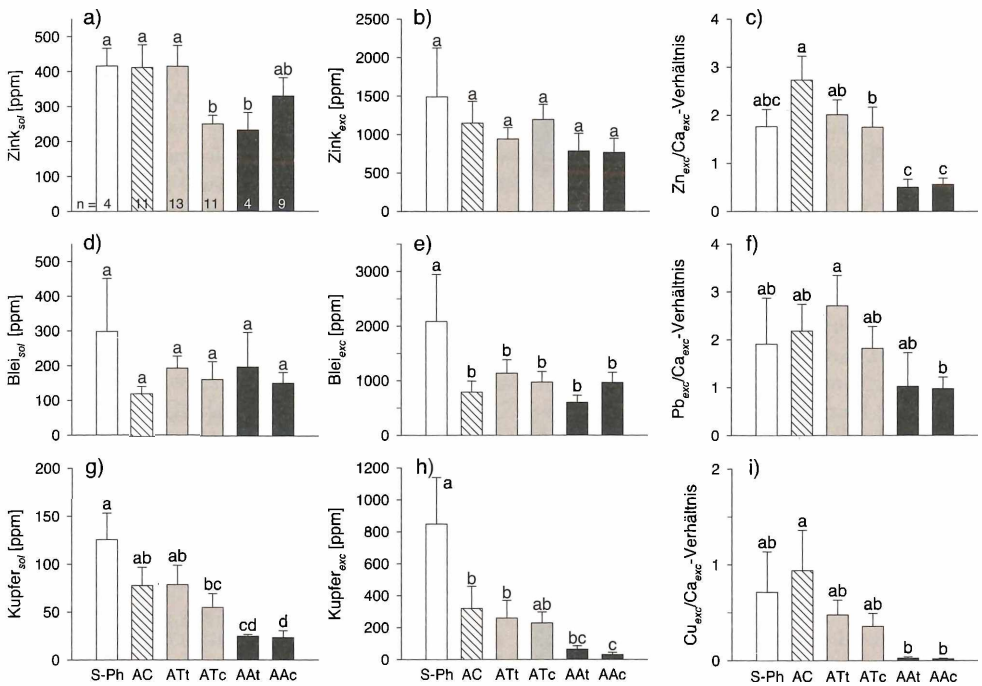


Abb. 15: Schwermetall-Gehalte und Schwermetall/Calcium-Verhältnisse der Böden im *Armerietum halleri*. Mittelwert und 1 Standardfehler; Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant. ANOVA und LSD-Test,  $P < 0,05$ ; Stichproben s. oben links. S-Ph = *Silene*-Pionierphase, AC = *A. cladonietosum chlorophaeae*, AT = *A. typicum*, AA = *A. achilletesum millefoliae*, t = Typische Variante, c = *Cardaminopsis*-Var.

Fig. 15: Heavy-metal contents and heavy-metal/calcium ratios of the soils of the *Armerietum halleri*. Mean and 1 standard error; mean values with different letters differ significantly. ANOVA and LSD test,  $P < 0.05$ .

Steinen ( $r = -0,63$ ) und den Gehalten an austauschbarem Kupfer ( $r = -0,53$ ) (für alle Korrelationen:  $P < 0,01$ ,  $n = 52$ ). Folglich bestimmen diese Variablen die unterschiedliche Ausprägung der Rasen stark.

Die ökologischen Bedingungen im *Armerietum halleri* sind in Abb. 15 und 16 ausgewertet; statistisch signifikante Unterschiede der Untereinheiten lassen sich hier an den Buchstaben über den Balken ablesen: Mittelwerte ohne gleiche Buchstaben sind signifikant unterschiedlich. Wir beschränken die statistische Auswertung auf die Subassoziationen und Varianten; für Subvarianten und Ausbildungen ist die Anzahl der (unabhängigen) Stichproben zu niedrig.

In allen Beständen wurden oftmals sehr hohe **Schwermetallkonzentrationen** gemessen (s. auch FUNKE 1994), im Mittel (über alle Gesellschaften) 352/1142 ppm wasserlösliches/austauschbares Zink, 169/1038 ppm Blei und 65/244 ppm Kupfer (s. auch Abb. 15). Die Konzentrationen von wasserlöslichem Zink liegen in der *Silene*-Initialphase, im *A. cladonietosum* und in der Typischen Variante des *A. typicum* besonders hoch, dagegen in der *Cardaminopsis*-Variante des *A. typicum* und im *A. achilletesum* deutlich niedriger (Abb. 15a). Die Konzentrationen an austauschbarem Zink sind im *A. achilletesum* ebenfalls geringer (Abb. 15b). Die Konzentrationen an Blei liegen in der *Silene*-Initialphase (2085 ppm) am höchsten, unterscheiden sich aber ansonsten zwischen den Gesellschaften nicht signifikant (Abb. 15d,e). Die Kupfer-Gehalte nehmen von der *Silene*-Initialphase (125/850 ppm wasser-



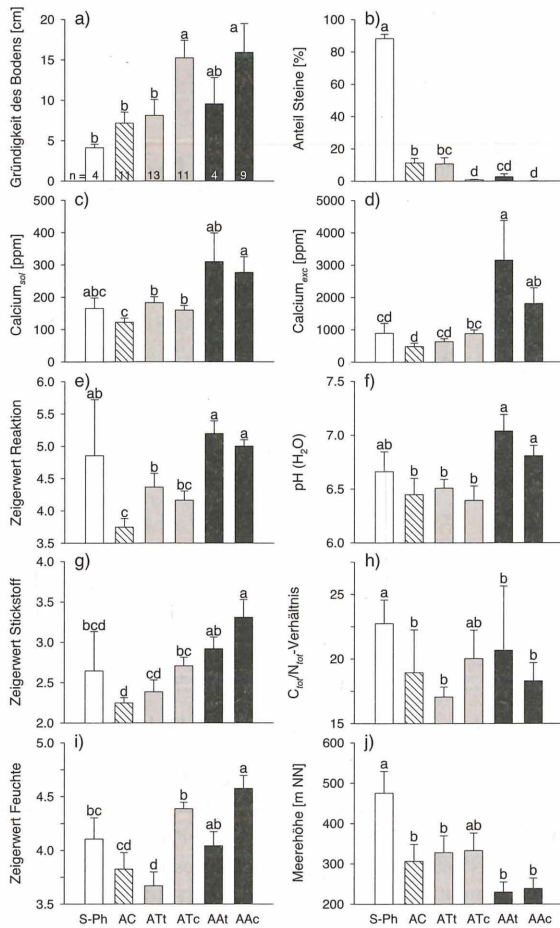


Abb. 16: Umweltbedingungen im *Armerietum halleri*. Mittelwert und 1 Standardfehler; Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant.

Vegetationseinheiten u. a. siehe Abb. 15.

Fig. 16: Environmental conditions of the *Armerietum halleri*; Mean and 1 standard error; mean values with different letters differ significantly; vegetation units etc. see Fig. 15.

lösliches/austauschbares Kupfer) über das *A. cladonietosum* (77/320 ppm), *A. typicum* (67/244 ppm) bis zum *A. achilletesum* (24/47 ppm) kontinuierlich ab (Abb. 15g,h) und zeigen damit die stärksten Unterschiede. – Die Schwermetall/Calcium-Verhältnisse liegen im *A. cladonietosum* (Zn 2,7; Pb 2,2; Cu 0,9) am höchsten und im *A. achilletesum* (Zn 0,5; Pb 1,0; Cu <0,1) am niedrigsten. Lediglich das Blei/Calcium-Verhältnis liegt in der Typischen Variante des *A. typicum* am höchsten (Abb. 15c,f,i).

Die Konzentrationen an wasserlöslichem und austauschbarem Calcium liegen im *A. achilletesum* mit 293 bzw. 2479 ppm deutlich höher als in den anderen Gesellschaften; am niedrigsten liegen sie im *A. cladonietosum* (hier 122/483 ppm) (Abb. 16c,d). Die pH-Werte des Bodens und Zeigerwerte für Reaktion liegen im *A. achilletesum* (pH 6,9) am höchsten und im *A. cladonietosum* (pH 6,5) am niedrigsten; insgesamt sind die pH-Unterschiede aber gering (Abb. 16e,f). Die C/N-Verhältnisse des Bodens schwanken stark, die Mittelwerte in Abb. 16h sind daher nicht sehr belastbar.

Die Zeigerwerte für Stickstoff zeigen das gleiche Muster wie die Reaktionszahlen. Hohe Werte im *A. achilletesum* und niedrige im *A. cladonietosum* (Abb. 16g). Die Anteile offener

Steine liegen in der *Silene*-Initialphase (90 %) am höchsten, im *A. typicum* (11 %) deutlich niedriger, und im *A. achilletesum* (1 %) sind kaum Steine an der Bodenoberfläche vorhanden; mit der Bodengründigkeit verhält es sich umgekehrt (Abb. 16a,b).

In den *Cardaminopsis*-Varianten des *A. typicum* und *A. achilletesum* sind die Bedingungen feuchter als in den jeweiligen Typischen Varianten (Abb. 16i). Zudem sind die Böden hier tiefergründiger. Die Schwermetall-Gehalte unterscheiden sich zwischen Beständen mit und ohne *Cardaminopsis halleri* nicht (Abb. 15).

Die **logistischen Regressionen** in Tab. 3 zeigen für *Armeria*, *Minuartia*, *Silene* und *Cardaminopsis* die Beziehungen zwischen ihren Vorkommen (Präsenz/Absenz in den Aufnahmen) und einzelnen Umweltfaktoren. *Minuartia hercynica* kommt mit zunehmenden Zink-Konzentrationen im Boden häufiger vor, während *Armeria halleri* und *Cardaminopsis halleri* mit steigenden Kupfer-Gehalten seltener sind (zudem sind die Kupfer-Gehalte mit den Anteilen offener Steine positiv korreliert;  $r = 0,42$ ;  $P < 0,01$ ,  $n = 52$ ). *Armeria* kommt mit steigender Meereshöhe seltener vor; die höchsten hier festgestellten Vorkommen liegen bei 400 m NN. *Cardaminopsis* tritt mit höheren Zeigerwerten für Bodenfeuchte und Stickstoff sowie mit zunehmender Bodengründigkeit und Deckung der Krautschicht häufiger auf, während die Art umso seltener wird, je höher der Anteil offener Steine – hier wohl ein Maß für die Trockenheit – ist. *Silene humilis* zeigt keine Abhängigkeit von den in Tab. 3 untersuchten Umweltfaktoren.

Tab. 3: Beziehungen zwischen dem Auftreten von vier Metallophyten (<sup>1</sup>: Metallophyt i. w. S.) und Umweltbedingungen

Hierarchisch-logistische Regressionen. df jeweils = 22. Die Pfeile zeigen, ob ein Zusammenhang positiv (↑) oder negativ (↓) ist. \*\*\*,  $P < 0,001$ ; \*\*,  $P < 0,01$ ; \*,  $P < 0,05$ ; (\*),  $P < 0,1$ ; ns, nicht signifikant.

Tab. 3: Relations between the occurrence of four metallophytes and habitat characteristics  
Hierarchical logistic regressions. df = 22 each. Arrows indicate positive (↑) or negative (↓) relationships. \*\*\*,  $P < 0,001$ ; \*\*,  $P < 0,01$ ; \*,  $P < 0,1$ ; ns, not significant.

	Armeria halleri	Minuartia hercynica	Silene humilis	Cardaminopsis halleri <sup>1</sup>
	<i>Chi</i> <sup>2</sup>	<i>Chi</i> <sup>2</sup>	<i>Chi</i> <sup>2</sup>	<i>Chi</i> <sup>2</sup>
Meereshöhe	<b>75,6</b> ↓ ***	9,2 ns	1,2 ns	0,7 ns
Kupfer <sub>sol</sub> (log)	<b>38,6</b> ↓ **	2,7 ns	0,4 ns	<b>11,0</b> ↓ *
Zink <sub>sol</sub> (log)	<0,1 ns	<b>22,0</b> ↑ **	0,4 ns	5,4 ns
Blei <sub>sol</sub> (log)	<0,1 ns	1,0 ns	3,1 ns	0,0 ns
Kalzium <sub>sol</sub> (log)	7,6 ns	0,5 ns	2,1 ns	2,9 ns
pH-Wert	0,7 ns	8,9 ns	0,4 ns	0,5 ns
Bodentiefe (log)	0,5 ns	2,5 ns	0,9 ns	<b>28,4</b> ↑ **
Anteil offener Steine (log)	10,1 ns	0,6 ns	0,2 ns	<b>30,4</b> ↓ **
Zeigerwert Stickstoff	0,2 ns	8,6 ns	0,1 ns	<b>22,6</b> ↑ **
Zeigerwert Feuchte	9,8 ns	3,1 ns	0,2 ns	<b>49,2</b> ↑ ***
Deckung der Krautschicht	9,8 ns	1,8 ns	0,2 ns	<b>26,6</b> ↑ **

## 6. Räumliche Anordnung und dynamische Interpretation der Untereinheiten des *Armerietum halleri*

In Tab. 4 sind die verschiedenen Untereinheiten des *Armerietum halleri* zusammengefasst dargestellt. Alle kommen in mehreren (4–11) Gebieten vor, was gebietsspezifische Effekte ausschließt. Vielmehr sind oft mehrere Gesellschaften in kleinräumigen Zonierungen oder Mosaiken zu finden. Besonders auf größeren Halden lässt sich eine Abfolge von der Kuppe zum Fuß erkennen, beginnend mit der *Silene humilis*-Pionierphase über flechtenreiche Ausbildungen bis zu stärker vergrasteten Beständen, im Idealfall z. B. die Einheiten 1 – 2/3 – 4/5 – 7, bei feuchteren Bedingungen auch zu 8/9. Die Reihenfolge der Einheiten in der Tabelle

Tab. 4: Übersicht der Untereinheiten des *Armerietum halleri* im Harz

Tab. 4: Survey of the subunits of the *Armerietum halleri* in the Harz mountains

- 1 – *Silene*-Initialphase
- 2 – *A. cladonietosum chlorophaeae*, Typische Ausbildung
- 3 – *A. cladonietosum*, *Festuca ovina*-Ausbildung
- 4 – *A. typicum*, Typische Var., Typische Ausbildung
- 5 – *A. typicum*, Typische Var., *Festuca ovina*-Ausbildung
- 6 – *A. typicum*, *Cardaminopsis halleri*-Var.
- 7 – *A. achilletesum millefoliae*, Typische Var.
- 8 – *A. achilletesum*, *Cardaminopsis*-Var., Typische Subvar.
- 9 – *A. achilletesum*, *Cardaminopsis*-Var., *Trifolium repens*-Subvar.

Gesellschaft	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Anzahl Aufnahmen	5	9	19	9	17	26	13	15	7
Anzahl Gebiete	4	5	8	6	9	11	4	6	4
Deckung Krautschicht [%]	10	38	50	40	59	70	76	79	86
Deckung Flechten [%]	1	45	45	29	24	19	12	6	1
Deckung Moose [%]	3	2	5	9	21	15	22	26	32
Deckung gesamt [%]	11	76	83	66	84	87	88	89	98
Artenzahl Gefäßpflanzen	1	3	6	3	6	6	10	12	18
Artenzahl Flechten	1	7	6	3	3	3	1	2	1
Artenzahl Moose	1	1	1	1	2	2	2	4	3
Artenzahl gesamt	4	11	13	8	11	12	14	17	22

**AC**

<i>Silene vulgaris</i> var. <i>humilis</i>	IV	IV	V	III	V	IV	IV	V	III
<i>Minuartia verna</i> ssp. <i>hercynica</i>	II	V	IV	V	V	IV	V	V	III
<i>Armeria maritima</i> ssp. <i>halleri</i>	.	II	V	V	IV	IV	IV	V	V

**D2-3**

<i>Cladonia macilenta</i> ssp. <i>floerkeana</i>	I	V	IV	.	II	I	.	.	.
<i>Cladonia cervicornis</i> ssp. <i>verticillata</i>	.	V	III	I	.	.	.	.	.
<i>Cetraria aculeata</i>	.	II	IV	I	.	I	.	.	.
<i>Stereocaulon dactylophyllum</i>	I	I	II	.	.	.	.	.	.
<i>Cladonia arbuscula</i>	.	III	I	.	.	I	.	.	.
<i>Cladonia foliacea</i>	.	.	III	.	.	.	.	.	.

**D2-4,6**

<i>Deschampsia flexuosa</i>	I	V	IV	IV	II	IV	I	I	.
-----------------------------	---	---	----	----	----	----	---	---	---

**D3,5-9**

<i>Festuca ovina</i> s.str.	.	.	V	II	IV	III	V	IV	V
<i>Rumex acetosa</i>	.	I	V	I	IV	V	V	V	V
<i>Campanula rotundifolia</i>	.	.	III	.	IV	III	III	IV	V
<i>Agrostis capillaris</i>	.	I	II	.	II	IV	II	III	III

**D6,8-9**

<i>Cardaminopsis halleri</i>	.	.	I	.	.	V	.	V	IV
<i>Holcus lanatus</i>	.	.	I	.	I	II	I	IV	V
<i>Festuca rubra</i> ssp. <i>rubra</i>	.	.	.	.	.	II	.	II	V
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	.	.	.	.	.	.	.	II	IV
<i>Silene dioica</i>	.	.	.	.	.	.	.	II	III

**D7-9**

<i>Plantago lanceolata</i>	.	.	.	.	I	I	V	V	V
<i>Galium album</i>	.	.	.	.	I	I	IV	III	V
<i>Pimpinella saxifraga</i>	.	.	.	.	.	.	III	III	III
<i>Thymus pulegioides</i>	.	.	.	.	.	.	II	II	III
<i>Cerastium holosteoides</i>	.	.	.	.	.	.	II	I	IV
<i>Viola tricolor</i>	.	.	.	.	I	.	I	II	III
<i>Hieracium pilosella</i>	.	.	.	.	.	.	I	II	I

Gesellschaft	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>D9</b>									
<i>Trifolium repens</i>	.	.	.	.	.	.	.	I	V
<i>Ranunculus acris</i>	.	.	.	.	.	.	I	.	V
<i>Arrhenatherum elatius</i>	.	.	.	.	.	.	I	.	V
<i>Achillea millefolium</i>	.	.	.	.	.	.	II	I	V
<i>Scleropodium purum</i>	.	.	.	.	.	.	I	I	IV
<i>Vicia cracca</i>	.	.	.	.	.	.	I	.	III
<i>Plagiomnium affine</i>	.	.	.	.	.	.	I	I	III
<b>Begleiter Gefäßpflanzen</b>									
<i>Molinia caerulea</i>	.	.	I	.	I	I	I	II	.
<i>Sedum acre</i>	.	.	.	.	.	.	II	.	.
<i>Leontodon autumnalis</i>	.	.	.	.	.	.	II	.	.
<i>Euphrasia stricta</i>	.	.	.	.	.	.	II	.	.
<i>Lotus corniculatus</i>	.	.	.	.	.	.	II	.	.
<i>Carex hirta</i>	.	.	.	.	.	.	I	I	II
<i>Dactylis glomerata</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	II
<i>Potentilla erecta</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	II
<b>Begleiter Flechten und Moose</b>									
<i>Cladonia rangiformis</i>	.	II	I	.	.	.	I	I	.
<i>Dibaeis baeomyces</i>	.	II	I	.	.	.	.	.	.
<i>Micarea lignaria</i>	.	II	I	.	.	.	.	.	.
<i>Cladonia phyllophora</i>	.	II	I	II	I	I	I	I	.
<i>Cladonia squamosa</i>	.	II	II	I	II	I	.	I	.
<i>Pohlia nutans</i>	II	I	I	II	II	III	I	I	.
<i>Cladonia furcata ssp. furcata</i>	.	IV	IV	III	IV	III	III	III	III
<i>Cladonia pyxidata</i>	.	V	III	II	III	III	I	III	.
<i>Cladonia spec.</i>	I	V	IV	V	IV	IV	III	II	.
<i>Bryum spec.</i>	.	II	II	III	II	III	II	II	.
<i>Tortella tortuosa</i>	.	.	II	III	I	II	II	I	II
<i>Cladonia subulata</i>	.	.	.	II	II	II	I	II	II
<i>Ceratodon purpureus</i>	.	.	II	.	III	II	I	II	III
<i>Hypnum cupressiforme</i>	.	.	I	.	II	II	II	III	IV
<i>Cladonia fimbriata</i>	I	.	.	I	I	II	.	I	I
<i>Cladonia glauca</i>	.	.	.	.	I	II	.	I	.
<i>Pleurozium schreberi</i>	.	.	.	.	I	I	I	II	I

**Weitere Gefäßpflanzenarten:** *Acer spec.* 3:I; *Agrostis stolonifera* 8:I; *Alnus glutinosa* 8:I; *Arenaria serpyllifolia* agg. 7:I, 8:I, 9:I; *Calluna vulgaris* 3:I; *Deschampsia cespitosa* 5:I, 6:I, 9:I; *Equisetum arvense* 6:I, 7:I, 8:I; *Euphorbia cyparissias* 8:I; *Filipendula ulmaria* 9:I; *Genista tinctoria* 6:I, 7:I, 8:I; *Leucanthemum vulgare* agg. 9:I; *Picea abies* juv. 1:I, 2:I, 5:I, 6:I; *Quercus spec.* 7:I; *Trifolium pratense* 7:I, 9:I. **Weitere Flechten- und Moosarten:** *Amblystegium serpens* 5:I, 7:I, 8:I; *Brachythecium velutinum* 3:I, 5:I, 6:I, 7:I, 8:I; *Bryum argenteum* 1:I; *Calliergonella cuspidata* 7:I, 8:I; *Cephaloziella rubella* 5:I, 8:I; *Cladonia cariosa* 3:I, 5:I, 6:I, 7:I, 8:I; *Cladonia coniocraea* 3:I, 4:I, 5:I, 6:I, 7:I, 8:I; *Cladonia gracilis* 6:I; *Cladonia mitis* 3:I; *Diploschistes muscorum* 3:I; *Lophocolea bidentata* 8:I, 9:I; *Lophocolea heterophylla* 8:I; *Peltigera rufescens* 6:I, 8:I, 9:I; *Polytrichum commune* 6:I; *Polytrichum piliferum* 3:I; *Racomitrium canescens* 5:I, 6:I; *Rhizomnium punctatum* 5:I; *Rhytidadelphus squarrosus* 5:I, 6:I, 7:I, 8:I, 9:I; *Scapania nemorea* 5:I, 6:I; *Stereocaulon condensatum* 5:I.



spiegelt also in etwa die Gegebenheiten im Gelände wider. Auch in (fast) ebenen Bereichen der Flussauen oder abgetragener Halden gibt es teilweise deutliche Abfolgen, z. B. 4/5 – 6 – 7/8/9 oder sogar bei gestörten Bereichen 1 – 4/5 – 7 (8/9). Schon geringe „Erhebungen“ von wenigen Zentimetern können an feinerdearmen Stellen flechtenreiche Ausbildungen aufweisen, die nach außen in andere Einheiten übergehen (z. B. 2/3 – 4/5 – 7). Schwache Mulden reichen oft zur Ausbildung der *Cardaminopsis*-Varianten aus.

Einige dieser Gesellschaften machen einen recht stabilen Eindruck. So dürfte die *Silene humilis*-Phase (1) auf grobem, feinerdearmem Substrat sehr langlebig sein. Auch das *Armerietum cladonietosum* (2, 3) kann, zumindest in etwas großflächigerer Ausprägung, als Dauergesellschaft angesehen werden. Dagegen scheint der Übergang vom *Armerietum typicum* zum *A. achilletesum* bei fortschreitender Humus- und Bodenbildung schneller möglich. Besonders in den Flussauen kommen beide oft benachbart vor, teilweise mit Übergangsbereichen. Auf etwas feuchteren Standorten, manchmal schon in kleinen Mulden, ist daneben die *Cardaminopsis halleri*-Variante beider Subassoziationen zu finden. Hier scheint die Gefahr weiterer Degeneration zu artenarmen, dichten *Agrostis-Festuca* (u. a.)-Rasen ohne Metallophyten (teilweise noch mit *Cardaminopsis*) am größten. Bereiche äußerer Ränder von Halden sowie größere Gebiete in den Flussauen zeigen diese Tendenz völliger Vergrasung sehr deutlich. Vermutlich sind aber auch dort noch höhere Schwermetallgehalte gegeben, wie das langzeitige Ausbleiben von Gehölzwuchs zeigt. Angrenzend an Fichtenforsten kann man im Harz zwar bereits in den Schwermetallrasen junge Fichten in größerer Zahl finden, die aber stark chlorotisch sind und über ein frühes Jugendstadium nicht hinauskommen. In den Tälern gibt es zwar nicht selten einzeln oder in lichten Beständen halbhohe Birken, meist aber erst auf der etwas höheren, vermutlich weniger kontaminierten Terrasse.

Diese und weitere Beobachtungen lassen eine dynamische Interpretation der Vegetationseinheiten des *Armerietum halleri* zu, ohne dass der genauere zeitliche Ablauf abschätzbar ist. Da die Schwermetallrasen teilweise schon über Jahrhunderte existieren, kann man von einer sehr langsamen Primärsukzession ausgehen. In Abb. 17 sind denkbare Abläufe und wichtige Gradienten zusammenfassend dargestellt. Demnach kann die Sukzession in drei Feuchteabstufungen des Substrates (von oben nach unten) etwas unterschiedlich ablaufen. Auf grobem, lückigem Substrat ohne stärkere Feinerdeansammlung kann aus der Pionierphase das *Armerietum cladonietosum chlorophaeae* (2, 3) entstehen, zunächst in einer artenarmen (Typischen) Ausbildung, später angereichert mit weiteren Arten bis zu grasreichen Beständen (s. auch Tab. 2). Es hat oft den Charakter einer langlebigen Dauergesellschaft. Die mittlere Deckung der Phanerogamen beträgt 38–50 %, die der Flechten 45 % (s. Tab. 4). Die mittlere Zahl der Flechtenarten übertrifft diejenige der Gefäßpflanzen (6–7 gegenüber 3–6); die Gesamtartenzahl ist mit 11–13 eher gering.

Wo sich etwas mehr Feinerde und Humus ansammelt, kann aus der Pionierphase auch direkt das *Armerietum typicum* in seiner Typischen Variante (4, 5) entstehen, wieder in einer artenarmen (Typischen) Ausbildung und einer folgenden *Festuca ovina*-Ausbildung. Die Deckung der Krautschicht steigt zwischen diesen Ausbildungen von 40 auf 59 %, die der Flechten nimmt leicht von 29 auf 24 % ab, die der Moose erreicht 9 bis 21 %. Die mittlere Artenzahl ist mit 8 bis 11 gering. – Bei weiterer Humusansammlung und Bodenbildung können neue Arten Fuß fassen. Sie sind bezeichnend für das *Armerietum achilletesum mil-lefoliae*, dessen Typische Variante (7) anschließt. Sie hat gegenüber dem *A. typicum* eine höhere Deckung der Krautschicht mit 10 Arten (76 %), Flechten und Moose verhalten sich gegenläufig zueinander; die mittlere Gesamtartenzahl steigt auf 14. In einem weiteren denkbaren Schritt zu *Agrostis capillaris-Festuca rubra*-Rasen nimmt die Artenzahl wieder ab.

Weniger scharf abtrennbar ist die Entwicklung auf durchgehend etwas feuchterem Untergrund. Hier ist von vornherein das *Armerietum typicum* in seiner *Cardaminopsis halleri*-Variante (6) denkbar, vielleicht auch zuerst die Typische Variante. In ersterer ist die Deckung der Krautschicht mit 70 % höher, die der Kryptogamen geringer, die Artenzahlen sind etwa gleich. Ein deutlicher Schritt vollzieht sich zur *Cardaminopsis*-Variante des *Armerietum achilletesum* (8, 9). Hier sind die Wuchsbedingungen für von außen kommende, weit verbreitete Arten innerhalb des *Armerietum* am besten. Günstigere Feuchte- und Nährstoff-

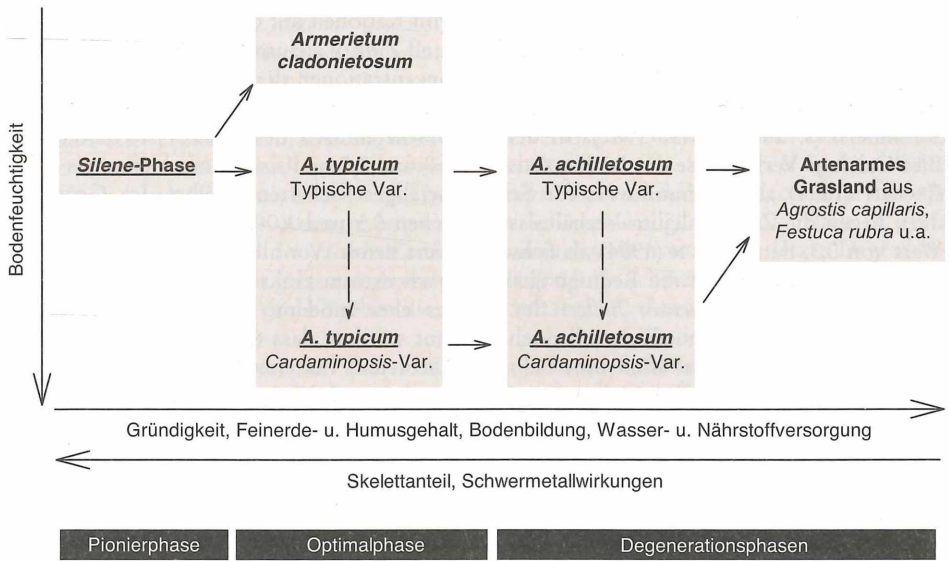


Abb. 17: Mögliches Sukzessionsschema für die Schwermetallrasen des Harzes.

Fig. 17: Possible succession scheme for the heavy-metal grassland in the Harz mountains.

bedingungen und abnehmende Schwermetallwirkungen verstärken die Produktivität und damit die Humusbildung mit entsprechenden positiven Wechselwirkungen, besonders in der *Trifolium repens*-Subvariante. Die Krautschicht deckt fast die ganze Fläche (79–86 %) und lässt kaum noch Flechten zu, während die schattenverträglichen Moose 26–32 % erreichen. Die Zahl der Phanerogamen liegt mit bis zu 18 bereits in der Größenordnung anderer Rasen.

Tab. 4 zeigt mit ihren recht gut abgegrenzten Trennartengruppen aus vorwiegend wohl schwermetallresistenten Ökotypen eine auch floristisch sinnvolle, dynamisch interpretierbare Gliederung. Mit Ausnahme der Pionierphase sind überall die drei typischen Metallophyten des *Armerietum halleri* mit hoher Stetigkeit vorhanden. Der Mangel an durchgehenden Begleitern der Phanerogamen (die aufgeführten sind meist eher schwache Trennarten des *Armerietum achilletteosum*) weist auf die sehr eigenständige Stellung der Assoziation hin. Bei den Kryptogamen gibt es dagegen noch zahlreiche Begleiter, wobei die Flechten mehr zur linken, die Moose zur rechten Seite der Tabelle tendieren.

## 7. Diskussion

### 7.1. Ökologische Gründe für die Ausbildung der Schwermetallrasen

Unbestreitbar hängt das Vorkommen der Metallophyten und Schwermetallrasen von hohen Metallgehalten im Boden ab, so auch in unserer Studie, wie die in allen Beständen extrem hohen Gehalte zeigen. Insgesamt unterscheiden sich die Schwermetallgehalte in den Untereinheiten des *Armerietum halleri* jedoch relativ wenig, sind also wahrscheinlich nicht der Hauptgrund für die Verschiedenartigkeit der Bestände. Andere Umweltfaktoren, z. B. der pH-Wert des Bodens sowie die Nährstoff- und Wasserversorgung, zeigen dagegen stärkere Unterschiede und sind damit für die Verschiedenheit der Bestände wohl wichtiger. Ähnliche Ergebnisse fand BROWN (1994) für Schwermetallrasen der Eifel. Dennoch dürften die Bedingungen im *A. cladonietosum* toxischer sein als im *A. achilletteosum*, weil hier (erstens) die Konzentrationen von Zink und Kupfer höher, (zweitens) das Zink/Calcium- und das Kupfer/Calcium-Verhältnis weiter sind und (drittens) der pH-Wert des Bodens niedriger ist – bei niedrigen pH-Werten (nach ALLOWAY 1999 allerdings erst stärker ab pH 5) steigt die Verfügbarkeit der Schwermetalle für Pflanzen an.

Da Calcium bei der pflanzlichen Aufnahme von Kationen mit den Schwermetallen konkurriert (SIMON 1978), zeigen die Blei/Calcium- und Zink/Calcium-Verhältnisse des Bodens die Toxizität der Standorte besser an als die Konzentrationen der Schwermetalle (BROWN 1993, 1994, 1995). Hohe Calcium-Gehalte können also die Toxizität der Metalle stark abmindern (s. auch ERNST 1982). In den Schwermetallrasen des Harzes schwanken die Blei/Calcium-Verhältnisse der Böden zwischen 0,8 und 3,0 und sind damit kleiner als 5, das BROWN (1994) als Minimumwert für Schwermetallgesellschaften anführt. Im Gegensatz dazu liegen die Zink/Calcium-Verhältnisse zwischen 0,5 und 3,0 und damit höher als der Wert von 0,3, den BROWN (1994) als Schwellenwert nennt. Vor allem im *A. cladonietosum* und *A. typicum* dürften die Bedingungen demnach extrem zinktoxisch sein, während die Bleitoxizität im *Armerietum halleri* des Harzes eher moderat ist (s. auch BECKER & DIERSCHKE 2008). – Schließlich soll noch erwähnt werden, dass (durch die Mittelung der Messwerte über Gesellschaften innerhalb von Gebieten) für einzelne Untereinheiten des *Armerietum* die Anzahl der Stichproben relativ gering und damit die „Macht“ der statistischen Tests eingeschränkt ist. Bei höheren Stichproben, also mehr Untersuchungsgebieten, wären sicher auch kleinere Unterschiede signifikant.

Das C/N-Verhältnis des Bodens unterscheidet sich zwischen den Untereinheiten des *Armerietum halleri* kaum und ist insgesamt relativ niedrig. Hohe Schwermetallkonzentrationen schränken vermutlich die Stickstoffnachlieferung weniger ein, als man erwarten könnte. Zu diesem Schluss kommt auch GERLACH (1983) nach genauerer Analyse der Stickstoff-Mineralisation in Harzer Schwermetallrasen. Allerdings haben wir nur die Gesamtmengen von C und N gemessen, einschließlich des anorganischen C (vor allem aus  $\text{CaCO}_3$ ). Vermutlich liegen daher die  $C_{\text{org}}/N_{\text{tot}}$ -Werte der (schwach) kalkhaltigen Böden des *A. achilletesum* noch etwas niedriger, sodass die Stickstoffnachlieferung hier evtl. doch etwas besser ist. Diesen Effekt des anorganischen C schätzen wir aber nur als gering ein.

Die Abhängigkeit des Auftretens der Metallophyten von den Metallgehalten des Bodens ist innerhalb der von uns untersuchten Rasen relativ schwach. Lediglich *Minuartia* kommt mit steigendem Zinkgehalt öfters vor; wahrscheinlich profitiert sie von der geringeren Konkurrenz auf hoch belasteten Böden. BECKER & BRÄNDEL (2007) fanden dagegen unter Einschluss schwach kontaminierter Standorte starke (positive) Abhängigkeiten des Auftretens von *Armeria halleri* bzw. *Minuartia hercynica* von den Bodengehalten an Kupfer und Zink (s. auch BECKER et al. 2007). *Armeria halleri* und *Cardaminopsis halleri* kommen in unserer Studie mit steigenden Kupfer-Gehalten zunehmend seltener vor. Dies kann durch die Abwesenheit beider Arten auf wenig entwickelten Böden mit hohem Anteil offener Steine erklärt werden, wo die Konzentration von Kupfer besonders hoch ist. Der negative Zusammenhang zwischen dem Vorkommen von *Armeria* und der Meereshöhe (Höhengrenze bei uns 400 m NN) kann an gewissen Wärmeansprüchen der Art liegen; möglicherweise deutet sich hier auch die Abstammung der Sippe (BAUMBACH 2005) von der wärmeliebenden *A. elongata* (T-Zeigerwert von 6; ELLENBERG et al. 2001) an. Die von uns festgestellte Bindung von *Cardaminopsis* und der entsprechenden Varianten des *A. typicum* und *A. achilletesum* an feuchte Böden beobachteten bereits ERNST (1974) und HÜLBUSCH et al. (1981) (s. Kap. 7.3). – Nach BROWN (2001) können *Galium mollugo* agg. und *Arrhenatherum elatius* keine Schwermetalltoleranz entwickeln und daher als Indikatorarten für nicht-kontaminierte Böden gelten. Im Harz kommen beide Arten aber häufiger auf kontaminierten Böden vor, deren Metallkonzentrationen (wasserlösliches Zink: 300 ppm, Blei: 150 ppm) Toleranzmechanismen der Pflanzen voraussetzen.

## 7.2. Das *Armerietum halleri* als eigenständige Assoziation

Nach unserer Darstellung gehören alle Bestände mit Metallophyten im Harz und seinem nördlichen Vorland zum *Armerietum halleri*, wie es bereits von LIBBERT (1930) mit je zwei Vegetationsaufnahmen von der Oker und Innerste (letztere von R. Tüxen) beschrieben wurde. Schon dort werden *Armeria halleri*, *Minuartia hercynica* und *Silene humilis* als Charakterarten aufgeführt. SCHUBERT (1953) stellt diesem *Armerietum halleri hercynicum* sein

*A. mansfeldense* und *A. saalense* gegenüber, die sich durch eigene Differenzialarten auszeichnen, also Geographische Rassen darstellen. Spätere Arbeiten, vor allem von ERNST (1965a ff.), sprechen wieder von einem einheitlichen *Armerietum halleri*. HÜLBUSCH et al. (1981) beschreiben aus dem Harz zusätzlich das *Holco-Cardaminopsietum halleri* von weniger stark schwermetallbeeinflussten, besser wasserversorgten Standorten der Schotterauen. Deren Tabelle enthält allerdings fast nirgends Metallophyten i. e. S. (in zwei Spalten *Silene humilis*, in einer *Minuartia hercynica*). *Cardaminopsis halleri* bildet zwar tolerante Ökotypen, kann aber nicht als Kennart einer eigenen Schwermetallgesellschaft gelten (s. auch Kap. 4.1). Die Einheiten des *Holco-Cardaminopsietum* stellen wohl nur letzte Degradationsphasen eines sehr weit gefassten *Armerietum halleri* bzw. schwer einzuordnende Grasbestände dar (s. Kap. 7.4). Ähnlich sehen dies RENNWALD (2000, Anmerkung 462) und BROWN (2001).

Selbst wenn das *Armerietum halleri* im Harz als einzige Schwermetall-Assoziation angesehen wird, bleibt ihr Rang nicht unbestritten. Dies beruht vor allem auf Unklarheiten der **taxonomischen Fassung der Charakterarten**. Hierzu hat erstmals SCHUBERT (1954a) genauere Angaben gemacht. Für die weithin ähnliche *Minuartia verna* übernimmt er die „ssp. *hercynica*“, für die kleinwüchsige Form von *Silene vulgaris* schlägt er eine Varietät „*humilis*“ vor. Bei *Armeria* werden neben *A. halleri* die Lokalendemiten *A. bottendorfensis* und *A. hornburgensis* genauer beschrieben, die auch Grundlage eigenständiger Assoziationen sind (SCHUBERT 1954b, 1974; s. auch BAUMBACH & VOLKMANN 2002). ERNST (1974) weist auf die insgesamt sehr große Variabilität von *Armeria* hin und nennt neun Varietäten (s. auch BAUMBACH 2005). Nach mehreren bei WISSKIRCHEN & HAEUPLER (1998) zitierten Autoren handelt es sich bei *A. maritima* ssp. *halleri* um „den Hybridkomplex zwischen den Unterarten *maritima*, *elongata* und *alpina*“, einschließlich zahlreicher lokaler Sippen, die höchstens als Varietäten behandelt werden können, deren eindeutige Charakterisierung aber fast unmöglich ist (S. 78). – Neuerdings haben geographisch weit gespannte **molekularbiologische Analysen** verschiedener Populationen von Metallophyten Mitteleuropas neue Blickpunkte ergeben (BAUMBACH 2005). Bei *Armeria maritima* ssp. *halleri* spricht alles für einen polyphyletischen Ursprung, d. h. die Populationen von *Armeria maritima* auf Schwermetallstandorten sind mehrfach aus benachbarten Populationen normaler Standorte entstanden. Demnach gab es in Mitteleuropa noch im frühen Postglazial eine weit verbreitete *Armeria*-Sippe (verwandt zur heutigen ssp. *elongata*), von der sich Populationen an den konkurrenzarmen, isolierten Schwermetallstandorten bis heute halten konnten. BAUMBACH sieht keine Möglichkeit, die *Armeria*-Mikroendemiten kleinerer Gebiete (*A. bottendorfensis*, *A. calaminaria*, *A. eifeliana*, *A. hornburgensis*) taxonomisch eigenständig zu erhalten, weder als Subspecies noch als Varietät. Auch die ssp. *halleri* ist uneinheitlich; eher gibt es hier eine regionale Differenzierung als Varietäten der ssp. *elongata*.

Auch für *Silene vulgaris* und *Minuartia verna* hat BAUMBACH (2005) entsprechende Analysen durchgeführt. *Silene* erscheint schon morphologisch sehr variabel, mit weiter Standortamplitude. Auch hier dürften die schwermetalltoleranten Populationen mehr- bis vielfach entstanden sein. Ein eigenes Taxon „*humilis*“ gibt es nicht. Anders sind die Verhältnisse bei *Minuartia verna*. Hier zeigt sich eine stärkere Verschiedenheit der Populationen der Alpen und außerhalb. Offenbar haben sich beide frühzeitig im Postglazial getrennt, sodass eine eigene ssp. *hercynica* gerechtfertigt sein kann. – Auch für *Thlaspi calaminare* gibt es genauere Untersuchungen. KOCH et al. (1998) halten es für wahrscheinlich, dass sich die Sippe in Mitteleuropa und England unabhängig neu gebildet hat und bestenfalls als Subspecies von *Thlaspi caerulescens* abtrennbar ist.

Aus den unklaren taxonomischen Verhältnissen bei *Armeria maritima* hat BROWN (2001) Konsequenzen gezogen und das *Armerietum halleri* zugunsten einer *Silene vulgaris*-*Armeria maritima*-Ges. im Eifel- und Harzgebiet abgelehnt. Andererseits spricht er *Silene humilis* den Rang einer Subspecies zu. Wenn einmal molekularbiologische Ergebnisse die Taxonomie noch stärker beeinflussen, wird es vielleicht mehr solcher unklarer Fälle geben, die bisher als gute Charakterarten angesehene Sippen abwerten. Allerdings ist der **Artbegriff der Taxonomie** von jeher vieldeutig, wie z. B. die Übersicht im Straßburger (SITTE et al. 2002, S. 573 ff.)

zeigt. In der Pflanzensoziologie soll ein Kennntaxon (Sippe von der Art abwärts) das betreffende Syntaxon in Vegetationstabellen, aber auch direkt im Gelände erkennbar machen. *Armeria maritima* ssp. *halleri* ist in diesem Sinne aus der Zusammensicht von Wuchsform und Blüte, Detailmerkmalen und Vergesellschaftung recht gut als pflanzensoziologisch eigenständige Sippe von Schwermetallstandorten anzusprechen, unabhängig von molekular-genetischen Verwandtschaftsbeziehungen. Entsprechendes gilt auch für *Silene vulgaris* var. *humilis*. Aus streng taxonomischer Sicht bliebe hingegen nur *Minuartia verna* ssp. *hercynica* übrig, was das ohnehin schwache System der Schwermetallgesellschaften auf eine minimale floristische Basis stellen würde.

Es wäre weiter von Interesse, auch bei den schwermetalltoleranten Ökotypen anderer Sippen genauere Untersuchungen anzustellen. So haben PATZKE & BROWN (1990) von *Festuca ovina* eine eigene Art schwermetallreicher Standorte Westdeutschlands ausgegliedert: *Festuca aquisgranensis*. Sie ist aber nur schwach abgrenzbar und hat offenbar wenig Akzeptanz gefunden, sodass sie WISSKIRCHEN & HAEUPLER (1998) zu *F. gvestfalica* rechnen. Von pflanzensoziologischen Bearbeitern der Schwermetallrasen wird sie hingegen begierig aufgegriffen (BROWN 2001, PARDEY 1999, POETSCHKE et al. 2003). Da *Festuca ovina* agg. eine der stetesten Sippen der meisten Schwermetallrasen ist, wären hier weitere Klärungen wichtig.

Wir betrachten das *Armerietum halleri* also weiter als eigenständige Assoziation, in die auch die *Silene vulgaris*-*Armeria maritima*-Ges. von BROWN (2001) einbezogen wird. Die Bestände im Harz sind oft sehr artenarm. ERNST (1990) sieht einen Grund hierfür im dortigen Zusammenwirken mehrerer Schwermetalle, das einen starken Selektionsdruck ausübt. Hinzu kommen sicher die basenarmen Böden der Umgebung mit entsprechend artenarmen Magerrasen als „Lieferanten“ für resistente Ökotypen. Dies gilt genauso für das Gebiet bei Mechernich, wo nicht auffällig viele Schwermetalle zusammenwirken (BROWN 1995). So lässt sich das *Armerietum halleri* als Assoziation von eher basenarmen Böden dem *Violetum calaminariae* gegenüberstellen, das in Gebieten mit basenreicheren Gesteinen Westdeutschlands zu Hause ist.

### 7.3. Untereinheiten des *Armerietum halleri*

Unsere Untereinheiten im *Armerietum halleri* entsprechen grob früher beschriebenen, vor allem denen von ERNST (1965a ff.). Die drei Subassoziationen *cladonietosum*, *typicum* und *achilletesum* finden sich ähnlich in anderen Arbeiten (z. B. HÜLBUSCH et al. 1981, PREISING et al. 1997). ERNST nennt das *A. achilletesum millefoliae* später (1976b) *A. plantaginetosum*, differenziert u. a. durch *Plantago lanceolata* und *P. media*, meint damit aber vor allem sehr artenreiche Bestände mit Verwandtschaft zu Trockenrasen, die nach unserer Ansicht nicht zum *Armerietum halleri* gehören (s. Kap. 7.5). Zweifellos ist *Plantago lanceolata* auch in unseren Aufnahmen die steteste und oft auch auffälligste Differenzialart (s. Tab. 2), was aber nach den Nomenklaturregeln (WEBER et al. 2001) kein Grund für eine Neubenennung sein kann. Die Cladonien bei uns entsprechen nicht voll denen von ERNST (1965a), gemeint ist aber in beiden Fällen die gleiche ökologische Situation. So ist auch bei uns der Name *A. cladonietosum chlorophaeae* zu benutzen. – Bei detaillierter Erfassung flechtenreicher Rasen können reine Strauchflechtenbestände getrennt erfasst werden. So finden sich in der Literatur vereinzelt Angaben über das *Cladonietum mitis* Krieger 1937 (z. B. LANGE & ZIEGLER 1963). Nach PAUS (1997) können solche Bestände als Synusie selbständiger betrachtet werden. So bildet das *Cladonietum mitis* in Nordwestdeutschland z. B. Synusien in *Calluna*-Heiden und *Corynephorus*-Rasen, entsprechend auch im *Armerietum halleri*.

Häufig wird auch eine Subassoziation von *Cardaminopsis halleri* beschrieben (ERNST 1965a ff., HÜLBUSCH et al. 1981, PREISING et al. 1997); überall ist auch *Holcus lanatus* mit dieser Art verbunden, wie auch bei uns. Die entsprechenden Tabellen zeigen aber oft eine enge Überlagerung mit den Trennarten des *A. achilletesum*. Da letzteres durch mehrere Arten differenziert ist und sich auch ökologisch deutlicher unterscheidet (s. Kap. 5, Ergebnisse der DCA), stufen wir die Schwermetallrasen mit *Cardaminopsis halleri* nur als Variante ein, die sowohl im *A. typicum* als auch im *A. achilletesum* auftreten kann (s. Tab. 2 und 4).

#### 7.4. Dynamische Phasen des *Armerietum halleri*

Schon in der ersten ausführlicheren Darstellung von Schwermetallrasen aus dem weiten Harzgebiet wurden von SCHUBERT (1953; s. auch 1974) dynamische Abfolgen von Kupferschieferhalden des Mansfelder Gebietes beschrieben, später von ERNST (1965a ff.) übernommen und teilweise verallgemeinert. Ähnliche Angaben finden sich bereits bei SCHWICKERATH (1944). Auch bei uns lassen sich diese Abfolgen erkennen (s. Kap. 6). Da es sich jeweils nur um kleinere floristische Abwandlungen innerhalb eines Vegetationstyps handelt, sprechen wir nicht von Stadien sondern von Phasen (s. auch DIERSCHKE 1994, S. 418).

Aus allen Gebieten wird eine erste **Pionierphase mit *Silene vulgaris* var. *humilis*** beschrieben, wo auf sehr grobem Rohmaterial nur diese Sippe Fuß fassen und sich ausbreiten kann. Ein Wurzelprofil bei SCHUBERT (1953) zeigt eine lange Pfahlwurzel bis etwas 2 Meter Tiefe, nahe der Bodenoberfläche außerdem reich verzweigte Seitenwurzeln, sodass sowohl im Substrat gespeicherte Feuchte als auch eindringendes Regenwasser gut genutzt werden können. Außerdem ist *Silene* durch eine hohe Keimungsrate und -geschwindigkeit an Pionierstandorte gut angepasst (ERNST 1965b, 1969). – Bei Anreicherung von etwas Feinerde bzw. als Pionier feinerdereicherer Standorte tritt *Minuartia verna* ssp. *hercynica* hinzu, die ein weniger tiefes, weit verzweigtes Wurzelsystem besitzt (SCHUBERT 1953) und mit absterbenden Resten ihrer Polster zu erster Humusbildung beiträgt. Nach ERNST (1990) können schon 15 bis 30 Jahre nach der Keimung von *Minuartia* in ihren Polstern andere Pflanzen Fuß fassen. Beide Arten vertragen leichte Rutschungen und Übersättigungen. Wir haben die beiden kaum unterscheidbaren Sukzessionsschritte zur *Silene humilis*-Pionierphase zusammengefasst. Die detaillierte Beschreibung von SCHUBERT zeigt, dass diese Phase sehr lange andauert und damit den Charakter einer Dauerpioniergesellschaft hat (s. TÜXEN 1975).

Die folgende ***Euphrasia stricta*-Phase**, bei leicht fortgeschrittener Bodenbildung mit weniger extremen Bedingungen, ist bei uns nicht klar erkennbar. Es folgt im Harz wohl direkt (wenn überhaupt eine Weiterentwicklung stattfindet) das ***Armerietum halleri typicum***, das sich wie auch bei SCHUBERT (1953) als **Optimalphase** darstellt. Vorbedingung für Eindringen und Ausbreitung neuer Arten ist die Abnahme der Schwermetallwirkungen, vor allem durch Auswaschung und durch die Bildung metallorganischer Komplexe, also letztlich durch die Pflanzen selbst. Im Mansfelder Gebiet findet sich diese Phase großflächiger nur auf sehr alten Halden aus dem 13. – 15. Jahrhundert (s. auch ERNST 1966). Auch die Schlackenhalde im Harz sind mindestens 400 Jahre alt (LANGE & ZIEGLER 1963). Auf jüngeren und steileren Halden ist hingegen über Jahrhunderte vor allem die Pionierphase verbreitet. Wie SCHUBERT für die Bestände des östlichen Harzvorlandes betont, wird schon die Optimalphase und auch die nächste Phase floristisch stark von der umgebenden Vegetation auf Normalstandorten beeinflusst, dort vor allem von Arten der *Festuco-Brometea*. Im Harz sind es hingegen syntaxonomisch eher nichtssagende, weit verbreitete Sippen, zudem nur in sehr geringer Zahl. Mit fortschreitender Sukzession werden sich damit die Phasen im Harz und Mansfelder Raum immer unähnlicher.

Wenig klar ist die dynamische Einordnung des *Armerietum cladonietosum*. SCHUBERT (1953) beschreibt eine ***Cladonia*-Phase** von Halden in luftfeuchten Tälern, die auf die *Euphrasia*-Phase folgt. ERNST (1974) stellt diese Phase in seinem allgemeinen Sukzessionsschema parallel zu Phasen dar, denen unser *Armerietum typicum* entspricht. Er deutet eine mögliche *Cladonia*-Terminalphase an, also ein *A. cladonietosum* als Dauergesellschaft ohne Weiterentwicklung. Diese Vorstellung passt sehr gut zu unseren eigenen Beobachtungen (s. auch Abb. 17).

Ein deutlicher floristischer Unterschied besteht zwischen der ***Brachypodium pinnatum***- bzw. ***Festuca ovina*-Phase** bei SCHUBERT (1953) an Haldenfüßen mit mehr Feinerde und stärkerer Humusansammlung zu unserem *Armerietum abülletosum millefoliae*, dem sich genügsame *Arrhenatheretalia*-Arten i. w. S. hinzugesellen, die ebenfalls geringeren Schwermetalleinfluss und etwas bessere Wuchsbedingungen anzeigen. Wie unsere *Trifolium repens*-Subvariante zeigt, liegt hier bereits eine Degenerationsphase mit Zurücktreten der Metallophyten vor. Noch stärker ist dies in den Beständen der Fall, die von HÜLBUSCH et al. (1981)

als eigenes *Holco-Cardaminopsisium halleri* beschrieben wurden und auf vorige Gesellschaft folgen können. Auch wir haben diese Bestände häufig, vor allem in den Schotterauen gesehen, sie wegen des weitgehenden Fehlens von Arten des *Armerietum halleri* aber nicht mit erfasst (s. auch Kap. 7.3). SCHUBERT (1953) beschreibt für seine *Festuca ovina*-Phase bereits das Aufkommen erster Sträucher. Auch in den Flussauen von Innerste und Oker gibt es nicht selten einzelne Gehölze, vor allem *Betula pendula*, in lockeren Beständen aber eher randlich auf etwas höheren Terrassen, die wohl weniger stark durch Schwermetalle beeinflusst sind. Eine Weiterentwicklung des *Armerietum halleri* zu einem Gehölz ist hingegen selten erkennbar.

Insgesamt erscheint die von vielen Autoren auch aus anderen Gebieten aus dem räumlichen Nebeneinander erschlossene zeitliche Abfolge von Sukzessionsphasen sehr plausibel. Exakte Untersuchungen auf langfristigen Dauerflächen gibt es wohl nicht. Die Entwicklung dürfte sehr langsam (über Jahrhunderte) ablaufen und meist nur bis zu einer rasenartigen Dauergesellschaft führen. Entscheidend sind die mit Zunahme von Feinerde und Humus abgeschwächten Wirkungen der Schwermetalle, in späteren Phasen auch verbesserte Bedingungen der Wasser- und Nährstoffversorgung (s. Kap. 5, ERNST 1990 u. a.). Somit kann die Entwicklung als **Primärsukzession auf nährstoffarmem Substrat**, bedingt vor allem durch endogene Faktoren, eingestuft werden (s. DIERSCHKE 1994, S. 422 ff.; zu Ähnlichkeiten und Besonderheiten in Bezug zu allgemeinen Sukzessionsmodellen s. ERNST 1990). Als erste Pioniere sind sehr genügsame (in diesem Fall zusätzlich schwermetalltolerante), ausdauernde Phanerogamen wirksam; kurzlebige Pioniere gibt es vorwiegend auf reicheren Substraten. Gute Vergleichsmöglichkeiten bietet die Pionierbesiedlung offener Flugsande im Binnenland, wie sie kürzlich wieder von FISCHER (1998, 2003) beschrieben wurde. Auch dort sind mit *Corynephorus canescens* und *Carex arenaria* ausdauernde Erstbesiedler vorhanden, denen verschiedene Flechten folgen, die das *Spergulo-Corynephorietum cladonietosum*, ebenfalls mit dem Charakter einer Dauergesellschaft, kennzeichnen. Unserem *Armerietum achilleetosum* entspricht dort das *S.-C. jasionetosum*, das zu *Festuco-Sedetalia*-Rasen, insbesondere zum *Armerion elongatae* überleitet.

### 7.5. Zur Syntaxonomie von Pflanzengesellschaften mit Metallophyten in Mitteleuropa

Die Geschichte der Syntaxonomie dieser eigentümlichen Spezialistengesellschaften zeigt, dass von vornherein den Metallophyten und ihrer besonderen ökologischen Situation hohe (manchmal zu hohe) Aufmerksamkeit galt. Schon das Vorkommen einer solchen Sippe reichte aus, eigene Syntaxa unterschiedlichen Ranges aufzustellen, wobei die Begleitarten meist wenig beachtet wurden. Eine eigene Klasse *Violetea calaminariae* wurde erstmals bei LOHMEYER et al. (1962) genannt, mit dem Zusatz „R. Tx. 1961“. Das Manuskript zu dieser Publikation stammte nämlich von 1961, als Ergebnisprotokoll einer längeren Diskussion zur Vereinheitlichung des pflanzensoziologischen Systems. Hier waren auch die *Violetalia calaminariae* Br.-Bl. et R. Tx. 1943 und das *Violion calaminariae* Schwickerath 1933 aufgeführt. ERNST (1965a; s. auch ERNST 1974, 1976b) hat dann erstmals unter Auswertung älterer und neuer Aufnahmen ein umfassenderes syntaxonomisches Konzept vorgelegt. Die mitteleuropäischen Schwermetallgesellschaften werden in drei neue Verbände gegliedert. Eine Übersichtstabelle (etwas ausführlicher auch in BAUMEISTER et al. 1967) zeigt allerdings nur wenige zur Abgrenzung brauchbare Arten. Im westlichen Mittel- bis Westeuropa ist das *Thlaspion calaminariae* verbreitet, mit dem Galmei-Hellerkraut als einziger VC. Als zweiter Verband wird für die weiter östlichen Gesellschaften das *Armerion halleri* neu aufgestellt, mit *Armeria maritima* ssp. *halleri* als einziger VC. Die zusätzlich genannten Trennarten (DV) entstammen außer *Cladonia alpicornis* alle den *Festuco-Brometea* und kommen im engeren Harz in den Schwermetallrasen nicht vor. Als dritter Verband wird für die Schwermetallvegetation der Alpen das *Galio anisophylli-Minuartion vernae* aufgestellt, allerdings nur mit weit verbreiteten alpinen Arten als DV. – In der bundesdeutschen Übersicht (OBERDORFER et al. 1967) und auch später von anderen Autoren (z. B. POTT 1995, SCHUBERT et al. 1995, SCHUBERT 2001) wird diese Gliederung übernommen.



Erst in jüngerer Zeit ist verschiedentlich **Kritik am bisherigen System** der Schwermetallvegetation geäußert worden. So lehnen die österreichischen Pflanzensoziologen das *Galio anisophylli-Minuartion verna* ab. PUNZ & MUCINA (1997) stellen mit neuen Aufnahmen und Tabellen die Schwermetallgesellschaften der Ostalpen größtenteils in die Schuttfluren der *Thlaspietea rotundifoliae*, einen kleinen Teil in die *Asplenietea trichomanis*.

In der Übersicht höherer Syntaxa Europas (RODWELL et al. 2002) gibt es keine *Violetea calaminariae* mehr, wohl aber noch die *Violetalia* (ohne Alpen) innerhalb der *Thlaspietea rotundifoliae*, mit dem *Armerion halleri* und dem *Thlaspion calaminariae*. Diese Vorstellung ist aber floristisch nicht zu rechtfertigen. In der neuen Gesellschaftsübersicht Deutschlands (RENNWALD 2000) sind alte Auffassungen aufgegriffen. In den Anmerkungen (Nr. 462 ff.) werden die Möglichkeiten der Zusammenfassung verschiedener *Armeria*-Assoziationen zum einheitlichen *Armerietum halleri* positiv diskutiert, nur für den Naturschutz sind das *Armerietum bottendorfsensis* und *A. hornburgensis* als Namen beibehalten.

Eine neue Analyse und Synthese der Schwermetallvegetation des nordwestlichen Europa vermittelt BROWN (2001). Wie schon kurz erwähnt (Kap. 7.2), wird ein eigenständiges *Armerietum halleri* verneint. Entsprechend werden auch die selbständigen Lokalassoziationen von Bottendorf und Hornburg abgelehnt und ein eigener Verband *Armerion halleri* aufgegeben, sodass als einziger Verband das *Thlaspion calaminariae* Ernst 1965 übrig bleibt.

Nachdem neben unserem Material inzwischen noch weitere Aufnahmen aus dem nordwestdeutschen Raum publiziert worden sind, erscheint es sinnvoll, abschließend mit einer neuen Übersichtstabelle kurz Bilanz zu ziehen. Tabelle 5 enthält eine Auswahl von älteren und jüngeren Vegetationstabellen von der Eifel über den Harz bis zum Mansfelder Land, Bottendorf und Hornburg, soll aber nur eine grobe Übersicht geben, vor allem bezogen auf unser *Armerietum halleri*. Die Detailgliederung von den Assoziationen abwärts und eine genauere syntaxonomische Analyse und Synthese ist einer späteren Synopsis vorbehalten.

Bei der Auswertung größerer Tabellen mit mehreren Subassoziationen wurden zunächst deren Stetigkeiten für alle Arten errechnet und darauf die entsprechenden Stetigkeitsklassen I–V (je 20 %) gemittelt, sodass alle Untereinheiten gleichwertig einbezogen sind. Die Tabelle ist stark gekürzt und vor allem auf den größeren floristischen Zusammenhang ausgerichtet. Aufgenommen wurden nur Arten, die als Charakter- oder Differenzialarten in Frage kommen oder mit höherer Stetigkeit die Einheiten verbinden. Da die taxonomische Wertung bzw. Ansprache einiger Sippen nicht in allen Arbeiten gleich ist, wurde z. B. nur *Festuca ovina* agg. angegeben. Auch die Unterscheidung von *Thymus*-Sippen ist unklar. So können in verschiedenen Arbeiten aus demselben Gebiet einmal *T. serpyllum*, im anderen Fall *T. pulegioides* genannt sein. Noch stärker dürfte die Ansprache der Kryptogamen differieren. Die mittlere Artenzahl ist deshalb nur für die Phanerogamen angegeben.

Wie die Tabelle zeigt, bestehen eigenständige Schwermetallgesellschaften meist nur aus wenigen Arten. Selbst wenn man einigen Erscheinungsformen taxonomischen Rang zuspricht, gibt es kaum Kenntaxa im syntaxonomischen Sinn. *Viola calaminaria* und *V. guestfalica* lassen sich als Assoziationscharakterarten bewerten. Hinzu kommen die weiter verbreiteten *Armeria maritima* ssp. *halleri* und *Thlaspi calaminare* und schließlich die sehr weit verbreiteten *Minuartia verna* ssp. *hercynica* und *Silene vulgaris* var. *humilis*. Somit stehen nur diese 6 Metallophyten als brauchbare Kenntaxa zur Verfügung. Nimmt man die als schwermetallresistente Ökotypen angesehenen steten Begleiter hinzu, ergibt sich aber eine sehr eigenständige Artenverbindung, die zudem kaum einem anderen Syntaxon zuordenbar ist. Hieraus lässt sich die Berechtigung einer floristisch zwar schwach, ökologisch eher sehr deutlich abgrenzbaren eigenen Klasse *Violetea calaminariae* ableiten, die sehr zerstreut in den mittel- bis westeuropäischen Mittelgebirgen, heute vorwiegend auf Sekundärstandorten des Bergbaus und der Erzverarbeitung vorkommt.

Tab. 5 lässt sich grob in drei Teile gliedern: die Schwermetallrasen Westdeutschlands bis zum Silberberg bei Osnabrück (Spalte 1–6) inmitten basenreicherer Standorte, diejenigen des Gebietes bei Mechernich (Eifel) sowie des Harzes und seiner Umgebung mit basenarmer Umgebung (7–11) und schließlich die Rasen in basenreicheren Gebieten im Mansfelder Raum und bei Bottendorf und Hornburg (12–16). Der rechte Teil fällt am deutlichsten heraus. Schon die mittlere Artenzahl der Phanerogamen ist mit teilweise über 25 bis fast 40

Tab. 5: Übersicht verschiedener Pflanzengesellschaften mit Metallophyten in Deutschland

Tab. 5: Survey of different plant communities with metallophytes in Germany

Spalte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Anzahl Aufnahmen	16	12	12	33	31	33	29	26	81	115	40	5	24	26	53	23
Mittlere Artenzahl Gefäßpflanzen	13	11	6	12	16	14	9	7	-	13	7	-	38	27	18	30
<b>Gr. 1</b>																
<i>Silene vulgaris</i> var. <i>humilis</i>	V	I	III	IV	V	V	V	V	V	IV	V	II	IV	.	.	.
<i>Minuartia verna</i> ssp. <i>hercynica</i>	.	II	III	I	III	IV	.	V	V	IV	V	.	V	V	V	V
<i>Thlaspi calaminare</i>	.	IV	II	.	IV	V	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Cardaminopsis halleri</i>	V	.	III	III	.	.	.	I	I	II	.	.	.	.	.	.
<i>Viola guesfalica</i>	.	.	IV	V	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Viola calaminaria</i>	.	.	.	V	V	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Armeria maritima</i> ssp. <i>halleri</i>	.	.	.	V	IV	V	V	V	IV	V	V	V	V	V	V	V
<b>Gr. 2</b>																
<i>Ranunculus acris</i>	V	III	I	V	III	III	.	.	.	I	.	.	.	.	.	.
<i>Potentilla erecta</i>	.	III	I	I	III	III	.	I	.	I	.	.	.	.	.	.
<i>Polygala vulgaris</i>	.	II	.	III	IV	II	.	.	.	.	.	.	II	.	.	.
<i>Euphrasia stricta</i>	.	.	I	I	III	IV	I	I	.	I	.	I	IV	II	III	V
<i>Linum catharticum</i>	II	.	I	I	I	I	I	.	.	.	.	.	III	I	I	III
<b>Gr. 3</b>																
<i>Koeleria macrantha</i>	.	.	.	.	II	I	II	.	.	.	.	V	V	V	IV	V
<i>Galium verum</i>	I	.	.	.	.	.	I	.	.	.	.	II	III	IV	II	III
<i>Euphorbia cyparissias</i>	.	I	.	.	.	.	.	I	I	I	.	IV	V	IV	III	V
<i>Hieracium pilosella</i>	.	.	.	.	.	.	I	I	I	I	.	IV	V	V	III	III
<i>Dianthus carthusianorum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	III	V	IV	II	IV
<i>Scabiosa ochroleuca</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	IV	V	II	I	II
<i>Potentilla tabernaemontani</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	III	II	V	I	II
<i>Asperula cynanchica</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	IV	V	II	IV	.
<i>Scabiosa canescens</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	IV	III	I	III	.
<i>Silene otites</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	III	V	IV	V	.
<i>Plantago media</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	V	II	I	V	.
<i>Festuca pallens</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	IV	V	IV	.
<i>Poa badensis</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	III	II	III	.
<b>Gr. 4</b>																
<i>Festuca ovina</i> agg.	V	II	IV	II	V	V	V	III	IV	IV	II	V	V	V	I	V
<i>Agrostis capillaris</i>	I	V	IV	IV	II	III	V	IV	IV	II	II	V	IV	III	III	I
<i>Campanula rotundifolia</i>	V	III	III	II	V	III	III	III	III	III	.	V	IV	II	.	I
<i>Rumex acetosa</i>	V	III	V	V	IV	IV	IV	II	IV	V	I	V	.	.	.	.
<i>Plantago lanceolata</i>	V	III	.	II	III	III	.	I	II	II	I	II	V	III	II	V
<i>Pimpinella saxifraga</i>	IV	I	.	II	IV	III	I	I	.	I	I	.	V	IV	I	III
<i>Achillea millefolium</i> agg.	I	.	.	I	II	II	I	I	II	I	III	IV	IV	III	II	V
<i>Thymus pulegioides</i>	V	.	.	I	IV	.	II	I	.	I	.	.	.	V	III	V
<i>Thymus serpyllum</i>	.	.	II	.	III	.	.	I	V	.	.	.	.	.	.	.
<i>Cerastium holosteoides</i>	II	II	.	.	I	III	I	I	.	I	I	.	I	.	I	I
<i>Molinia caerulea</i>	.	I	I	II	I	I	III	I	.	I	.	.	.	.	.	.
<i>Calluna vulgaris</i>	.	I	.	.	I	II	III	I	.	I	.	.	I	.	.	.
<i>Deschampsia flexuosa</i>	.	II	.	I	.	I	II	I	II	II	.	.	.	.	.	.
<b>Gr. 5</b>																
<i>Cladonia rangiformis</i>	V	.	II	.	IV	II	III	I	I	I	.	II	V	II	II	II
<i>Ceratodon purpureus</i>	IV	.	.	.	II	I	IV	I	I	II	III	IV	V	V	III	II
<i>Cladonia furcata</i>	V	.	.	I	IV	I	III	.	.	III	III	.	.	V	III	V
<i>Bryum caespitium</i>	II	.	.	.	.	II	.	I	.	II	.	.	II	.	III	II
<i>Cladonia pyxidata</i>	V	.	.	I	.	.	I	.	II	II	III	.	IV	.	III	II
<i>Cetraria aculeata</i>	.	.	.	.	I	.	III	I	I	I	.	.	.	IV	III	III
<i>Weissia controversa</i>	II	.	I	I	III	III	I	I	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Cladonia pyxidata</i> ssp. <i>chlorophaea</i>	I	.	II	.	IV	III	IV	II	.	.	.	I	.	.	.	.
<i>Cladonia subulata</i>	I	.	.	.	III	I	II	.	.	I	.	.	.	.	.	.
<i>Cladonia cervicornis</i> ssp. <i>verticillata</i>	.	.	III	.	.	I	II	I	.	I	.	.	.	.	.	.

mehr als doppelt so hoch wie bei allen übrigen. Dies erklärt sich aus zahlreichen Arten der *Festuco-Brometea*, von denen hier nur einige wiedergegeben sind (Gruppe 3). Ohne Zweifel gehören zumindest die Bestände von Bottendorf (14–16) in diese Klasse und haben mit den eigentlichen Schwermetallrasen nur wenige Arten gemeinsam. Ihre Bearbeiter (BECKER et al. 2007, BECKER & BRÄNDEL 2007) konnten kein eigenständiges *Armerietum bottendorffensis* erkennen. Selbst auf kleinen Flächen von 3 x 3 m<sup>2</sup> mit Metallophyten gibt es zusätzlich eine hohe Zahl von Pflanzenarten der Trockenrasen. Die genauere floristische Analyse zeigte, dass *Armeria maritima* ssp. *halleri* und *Minuartia verna* ssp. *hercynica* in verschiedenen Assoziationen und Verbänden der *Festuco-Brometea* vorkommen. Sie können dort als Differenzialarten eigener Subassoziationen benutzt werden, wurden früher offenbar wegen ihrer floristisch-ökologischen Besonderheiten syntaxonomisch überbewertet (was auch für verwandte Bestände im Mansfelder Gebiet gelten könnte).

Es bleibt also nur ein relativ artenarmer Kern von Schwermetallrasen übrig, der sich in Deutschland vor allem in der Eifel und im Harz konzentriert. Die so eingengegte Klasse *Violetea calaminariae* enthält nur die Ordnung *Violetalia calaminariae* und wohl auch nur einen Verband, der eigentlich wieder (wie bei SCHWICKERATH 1933) *Violion calaminariae* heißen müsste. Als Charakterarten aller drei Einheiten sind vor allem *Minuartia verna* ssp. *hercynica* und *Silene vulgaris* var. *humilis*, aber auch *Armeria maritima* ssp. *halleri* und im Westen *Thlaspi calaminare* zu werten (s. Tab. 5, Gruppe 1). Zum floristischen Grundbestand gehören auch einige schwermetalltolerante Ökotypen, vor allem von *Agrostis capillaris*, *Campanula rotundifolia*, *Festuca ovina* agg., *Plantago lanceolata* und *Rumex acetosa* (s. Gruppe 4), auch einige Flechten (Gruppe 5). Da die endemische *Viola calaminaria* nur ein kleines Areal besitzt, erscheint der Name *Violion calaminariae* wenig glücklich. Andererseits treten fast überall Kleinarten von *Armeria maritima* auf (s. Tabellen in ERNST 1974), die vielleicht bei genauerer Untersuchung auch zum Formenkreis *Armeria halleri* gehören. Deshalb schlagen wir vor, im Sinne der Nomenklaturregeln (WEBER et al. 2001) das *Armerion halleri* ERNST 1965 als *nomen conservandum* beizubehalten, jetzt mit erweitertem Inhalt.

Hierzu gehören in Deutschland 3 Assoziationen: Im Westen gibt es das durch den namengebenden Endemiten gut charakterisierte *Violetum calaminariae* Schwickerath 1931 (Spalte 5–6) des Aachen-Stolberger Raumes, dazu das lokalendemische *Violetum guesfalicae* Nauenburg 1987 von Blankenrode (Spalte 3–4). Die Tabelle enthält außerdem floristisch

## Herkunft der Spalten in Tabelle 5

- 1 DANIELS & GERINGHOFF (1994): *Cladonia rangiformis*-*Silene humilis*-Coenon (Briloner Hochfläche); Tab. 1, Aufn. 1–16
- 2 KOCH & KUHN (1989): *Minuartio-Thlaspietum alpestris* (Osnabrück); Tab. 1: 12 Aufn. (ohne Kryptogamen)
- 3 ERNST (1974): *Violetum calaminariae westfalicum* (Blankenrode); Tab. 73, Aufn. 1–12
- 4 POETSCHKE et al. (2003): *Violetum guesfalicae* (Blankenrode); Tab. 1, Aufn. 6–38
- 5 BROWN (2001): *Violetum calaminariae* (Gebiet Aachen); Tab. 1, Aufn. 1–31
- 6 ERNST (1974): *Violetum calaminariae rhenanum* (Aachen – Stolberg, Belgien); Tab. 72, Aufn. 1–33
- 7 BROWN (2001): *Silene vulgaris*-*Armeria maritima*-Ges. (Mechernich); Tab. 2, Aufn. 1–29
- 8 ERNST (1965a): *Armerietum halleri* (Harz); Tab. 1, Aufn. 1–5, 8–17, 22–27, 31–34
- 9 PREISING et al. (1997): *Armerietum halleri* (Harz); Stetigkeitstab. S. 25: 81 Aufn.
- 10 Diese Arbeit (Harz); Tab. 2, Aufn. 6–120
- 11 BAUMBACH et al. (2007): *Armerietum halleri* (Hettstedt, Mansfelder Land); Stetigkeitstab. S. 98: 40 Aufn.
- 12 SCHUBERT (1974): *Armerietum hornburgensis* (Hornburg); Übersichtstab. S. 43, Spalte 3: 5 Aufn.
- 13 ERNST (1974): *Armerietum halleri*, Subass. von *Plantago lanceolata* und *media* (NO-Harzvorland); Tab. 76, Aufn. 48–71
- 14 SCHUBERT (1954b): *Armerietum bottendorffensis* (Bottendorf); Tab. 1, Aufn. 5–13, 18–34
- 15 BECKER et al. (2007): *Teucrio- + Thymo-Festucetum pallentis armerietosum* (Bottendorf); Stetigkeitstab. 1, Spalte 3 + 4: 53 Aufn.
- 16 BECKER et al. (2007): *Adonido-Brachypodietum armerietosum* (Bottendorf); Tab. 8, Aufn. 1–23

stärker abweichende Rasen bei Osnabrück (Spalte 2), die bestenfalls als *Minuartia hercynica-Thlaspi calaminariae*-Ges. einzustufen sind (mit den Rasen in England haben sie wenig gemeinsam; vergl. ERNST 1974), und eine sehr fragmentarische *Cladonia rangiformis-Silene vulgaris*-Ges. aus dem Sauerland (1). Allen diesen Rasen ist eine sehr lockere Artengruppe gemeinsam (Gruppe 2), die vor allem von *Ranunculus acris* bestimmt ist. – Der mittlere Teil der Tabelle zeigt das *Armerietum halleri*, wie es schon von LIBBERT (1930) beschrieben wurde, nämlich recht artenarme Schwermetallrasen. Neben dem Harz (Spalte 8–10) ist auch der Raum Meckernich (Eifel, 7) vertreten. Eine Besonderheit sind die Schwermetallrasen auf durch langzeitige Staubbimmissionen von Metallhütten kontaminierten Standorten des Weinberges bei Hettstedt-Burggörner im Mansfelder Land (Spalte 11). Entgegen ERNST (1965a ff.), der die Bestände des Harzes nur als artenarme Ausbildung einstuft, sehen wir hier den Kern des eigentlichen *Armerietum halleri*. Er ist lediglich durch *Armeria halleri* selbst sowie im Gebiet durch *Minuartia hercynica* und *Silene humilis* charakterisiert. Damit kann das *Armerietum* als Zentralassoziatioon des Verbandes ohne eigene Kenntaxa eingestuft werden.

Die erst kürzlich erfolgte Publikation über den Weinberg (s. o.) von BAUMBACH et al. (2007) zeigt, dass es auch im Mansfelder Land noch Kenntnislücken gibt. Auch liegen Hinweise auf Schwermetallrasen im Freiburger Bergbaugesbiet im Erzgebirge vor (GOLDE 2001). Das Gesamtbild dürfte sich aber kaum noch verändern. Die Kenntnisse über andere Gebiete gehen heute wohl kaum über die Darstellungen von ERNST (1974, 1976b) hinaus. Noch fehlt eine genaue Analyse und Synthese der Schwermetallrasen Deutschlands auf der Grundlage aller vorhandenen Originalaufnahmen. Zur Zeit gehen wir von folgender syntaxonomischer Gliederung aus:

- K *Violetea calaminariae* Tx. in Lohmeyer et al. 1962
- O *Violetalia calaminariae* Br.-Bl. et Tx. 1943
- V *Armerion halleri* Ernst 1965 nom. cons. propos.
- Ass *Armerietum halleri* Libbert 1930
- Violetum calaminariae* Schwickerath 1931
- Violetum guestfaliae* Nauenburg 1987
- sowie weitere lokale Gesellschaften

## 7.6. Naturschutz

Unbestreitbar gehören die Schwermetallrasen des Harzes wegen ihrer eigentümlichen Artenzusammensetzung, mit dem Vorkommen von Metallophyten und schwermetalltoleranten Ökotypen anderer Arten, sowie auch als kulturhistorische Relikte zu den besonders schützenswerten, wegen ihres starken Rückganges auch schutzbedürftigen Pflanzengesellschaften. Von den **Phanerogamen** stehen *Armeria halleri* und *Minuartia verna* ssp. *hercynica* auf den Roten Listen Niedersachsens und Deutschlands als gefährdet (3) (GARVE 2004, KORNECK et al. 1996), *Armeria halleri* ist zudem gesetzlich geschützt. Weniger auffällig, aber zahlreich sind solche Arten bei den in unserer Tabelle vorkommenden **Flechten** (HAUCK 1992): in Niedersachsen vom Aussterben bedroht ist *Stereocaulon condensatum*, stark gefährdet *Diploschistes muscorum*, gefährdet sind *Cladonia cariosa*, *C. cervicornis*, *C. foliacea*, *C. phyllophora*, *C. rangiformis*, *Cetraria aculeata*, *Dibaeis baeomyces*, *Peltigera rufescens*, *Stereocaulon dactylophyllum*, *S. nanodes*. Hinzu kommen noch die direkt auf Schlacken und Gestein wachsenden Krustenflechten des hier nicht behandelten *Acarosporium sinopicae*. Viele Flechten, insbesondere die Trennarten des *Armerietum cladonietosum*, sind im niedersächsischen Berg- und Hügelland selten bis sehr selten und haben dort in Schwermetallrasen des Harzes und seines Vorlandes ihre Hauptvorkommen, während sie teilweise im Tiefland in Sandmagerrasen, Heiden u. ä. weiter verbreitet sind (s. HAUCK 1996). Aber auch für Deutschland stehen die meisten der genannten Arten in der Roten Liste (WIRTH et al. 1996), meist mit 3, *Cladonia cariosa* sogar mit 2 und zusätzlich *C. arbuscula*. Auch für andere Schwermetallstandorte wird ihr Flechtenreichtum besonders hervorgehoben (HEIBEL 1999). – Auf der Roten Liste der **Pflanzengesellschaften** Deutschlands (RENNWALD 2000) wird das *Armerietum halleri* als gefährdet (3) eingestuft; Gefährdungsursachen sind nicht genannt.

Auch in der Roten Liste der gefährdeten **Biotoptypen** Deutschlands (RIECKEN et al. 2006) sind die Schwermetallrasen aufgeführt (Code 34.05) und mit stark gefährdet (2) eingestuft, im Anhang I der FFH-Richtlinie stehen sie ebenfalls als zu schützender Lebensraumtyp (Natura 2000-Code 6130; SSYMANEK et al. 1998).

Für den Harz können zahlreiche **Gefährdungsursachen** angeführt werden (s. auch DRACHENFELS 1990, 1996): Bebauung oder Überflutung in Talsperren, auch Überdeckung oder Schlackenabfuhr für erneute Verhüttung oder für Wegebau und schließlich Aufforstung, im Vorland auch die Landwirtschaft, haben ganze Flächen zerstört oder nur kleine Reste übrig gelassen. Starke Beeinträchtigung der Schwermetallvegetation erfolgt außerdem durch die Nutzung als Holzablagerungs- oder Schuttplatz, starkes Befahren (inkl. Motocross) sowie Betreten und Lagern. Letztere Einflüsse zerstören vor allem den Flechtenbewuchs, wie verschiedene Beispiele zeigen. Dagegen scheinen die Phanerogamen, vor allem *Armeria halleri* und *Silene humilis*, weniger empfindlich. An Stellen mit bereits dichtem Rasenwuchs wachsen sie am ehesten am Rande öfters betretener Fußwege. Auch Umwühlen durch Mineraliensammler beeinträchtigt vor allem die Kryptogamen, zumindest kurzfristig. Schließlich ist eine Beeinträchtigung (Degradation) durch Nährstoffeinträge nicht auszuschließen. – Aber auch totaler Schutz kann sich ungünstig auswirken. Wie in Kap. 6 angesprochen, unterliegt das *Armerietum halleri* teilweise einer Vegetationsentwicklung von degenerativem Charakter. Vor allem die allmähliche Ausbildung einer die Schwermetalle abschirmenden bzw. bindenden Humusdecke und gleichzeitige Verbesserung der Wasser- und Nährstoffversorgung sind hierfür entscheidend (s. auch Kap. 5). Auch Beschattung durch randlich stehende Bäume einschließlich des zusätzlichen Streueintrages können eine negative bzw. verstärkende Rolle für die Schwermetallvegetation spielen.

Eine Neubewertung der bei BODE (1928) genannten Plätze findet sich bei FUNKE (1994). Damals waren bereits 26 Stellen zerstört oder nicht mehr auffindbar. An 40 Stellen waren bestenfalls noch kleine Schlackenreste, aber keine spezifische Vegetation vorhanden. An 31 Stellen fanden sich noch einzelne Metallophyten oder sehr kleinflächige Schwermetallrasen. Nur 17 Stellen besaßen großflächigere (>100 m<sup>2</sup>) Schwermetallvegetation. DIERSCHKE (1969a) nannte noch 11 Schlackenhalde, die sich als besonders schützenswert einstufen lassen. Bei FUNKE (1994) wurden 10 Schlackenplätze, dazu Pochsandflächen an Innerste und Oker sowie eine Bergwerkshalde als besonders schutzwürdig angesehen.

Für **Pflege- und Regenerationsmaßnahmen** von Schwermetallrasen gibt es bisher wenig genauere Hinweise. HELLWIG (2002) und POTT & HELLWIG (2007) nennen für das flächig entwickelte *Armerietum halleri achillettosum* Mahd als brauchbare Behandlung, durch die *Armeria halleri* sogar gefördert, die niedrigwüchsige *Minuartia* wenig betroffen wird. *Silene humilis* ist ebenfalls Mahdverträglich und regeneriert sich rasch (KOCH & KUHN 1989). Hingegen rät HELLWIG von Beweidung wegen Vergiftungsgefahr ab; PARDEY (1999) hält eine Schafbeweidung in weniger belasteten Bereichen für möglich. Bestände des *Armerietum cladonietosum* sollten gar nicht beeinflusst, vor allem nicht betreten werden, um die Flechten nicht zu stören. Eine eingezäunte Fläche in der Okeraue zeigt heute im Untersuchungsgebiet die großflächigsten Bestände dieser Gesellschaft. Auch das *Armerietum typicum* dürfte ohne Einwirkungen langfristiger stabil bleiben; beide sollten aber öfter kontrolliert werden. Randlich aufkommende Pioniergehölze sind von Zeit zu Zeit zu entfernen. – Die genaue Dokumentation einer Regeneration der stark durch Beschattung, Laubeintrag und Humusbildung veränderten Reste von Schwermetallrasen des Silberberges bei Osnabrück mit dauerflächenartigen Kartierungen geben KOCH & KUHN (1989). Nach Beseitigung schattenwerfender Gehölze und Abschieben des humosen Oberbodens konnten sich vor allem *Minuartia hercynica* und *Thlaspi calaminare* wieder ausbreiten. *Thlaspi* keimte als erste und konnte durch gezielte Aussaat weiter gefördert werden.

Ein erneuter Besuch einiger Flächen im Harz und Vorland im Sommer 2007 zeigte meist erfreulich geringe Beeinträchtigungen der noch bestehenden Schwermetallfluren. Ein früher sehr wertvoller Bereich im Siebertal ist heute allerdings durch großflächige Holzlagerung bis auf kleine randliche Reste völlig zerstört. Unbedingt sollten mehr Flächen unter Schutz gestellt werden. Zur Zeit gibt es nur das NSG „Schlackenhalde Bredelem“ an der Innerste

im Harzvorland (s. POHL 2001, SIPPEL 2005), das direkt auf den Erhalt der Schwermetallflora und -vegetation zielt. Leider fehlt bisher eine dem Naturschutz dienende Gesamtkonzeption, wie sie vorbildlich von PARDEY et al. (1999) für Nordrhein-Westfalen vorgelegt worden ist. In einer kürzlich erschienenen Übersicht von SCHERFOSE (2007), wo einzelne Bundesländer besondere Verantwortung für die Erhaltung bedeutsamer Lebensräume haben, sind bei den Schwermetallrasen nur Nordrhein-Westfalen und Sachsen-Anhalt aufgeführt. Hier kommt aber auch Niedersachsen eine hohe Verantwortung zu!

## Danksagung

Unser besonderer Dank gilt Frau Katja Funke-Heller, die uns die Ergebnisse aus ihrer Diplomarbeit zur Verfügung gestellt hat, aber nicht als Autorin genannt werden möchte. Sehr dankbar sind wir auch Herrn Dipl.-Ing. H. Ullrich (1913–2002) aus Goslar, einem der besten Flechtenkenner des Harzes, der sich dort besonders um die Erforschung und den Schutz der Schwermetallvegetation verdient gemacht hat. Schon in den 1960er Jahren konnte der Erstautor mit ihm mehrere Exkursionen zu verschiedenen Gebieten mit Schwermetallrasen machen und diese Spezialistengesellschaften mit ihren besonderen Flechten kennen lernen. Später und auch für diese Arbeit hat er uns mit Rat und Hilfe bei der Flechtenbestimmung wertvolle Unterstützung gegeben. Bei der Nachbestimmung kritischer Moose waren Dr. U. Drehwald und A. Gläser behilflich. Herrn Prof. H. E. Weber danken wir für Hilfe bei der Literaturbeschaffung und für die Beratung in Nomenklaturfragen.

## Literatur

- ALLOWAY, B. J. (1999): Schwermetalle in Böden: Analytik, Konzentration, Wechselwirkungen. – Berlin, Heidelberg.
- ANTONOVICS, J., BRADSHAW, A. D. & TURNER, R. G. (1971): Heavy metal tolerance in plants. – Adv. Ecol. Research 7: 1–85. London, New York.
- BAUMBACH, H. (2005): Genetische Differenzierung mitteleuropäischer Schwermetallsippen von *Silene vulgaris*, *Minuartia verna* und *Armeria maritima* unter Berücksichtigung biogeographischer, montan-historischer und physiologischer Aspekte. – Diss. Bot. 398: 1–128.
- & HELLWIG, F. H. (2003): Genetic variation within and among metal-tolerant and non-tolerant populations of *Armeria maritima* (Mill.) Willd. s. l. (Plumbaginaceae) in Central and Northeast Germany. – Pl. Biol. 5: 186–193.
- & VOLKMANN, H. (2002): Dynamik, genetische Struktur und Schutz kleiner Populationen – das Beispiel von *Armeria maritima* ssp. *hornburgensis*. – Mitt. florist. Kart. Sachsen-Anhalt 7: 3–24. Halle/Saale.
- , – & WOLKERSDORFER, C. (2007): Schwermetallrasen auf Hüttenstäuben am Weinberg bei Hettstedt-Burgörner (Mansfelder Land) – Ergebnis jahrhundertelanger Kontamination und Herausforderung für den Naturschutz. – Hercynia N. F. 40 (1): 87–109. Halle/S.
- BAUMEISTER, W. (1954): Über den Einfluss des Zinks bei *Silene inflata*. – Ber. Dtsch. Bot. Ges. 67: 205–213.
- (1967): Schwermetall-Pflanzengesellschaften und Zinkresistenz einiger Schwermetallpflanzen. – Angew. Bot. 40(5): 185–204.
- & ERNST, W. (1978): Mineralstoffe und Pflanzenwachstum. 3. Aufl. – Stuttgart, New York.
- , – & RÜTHER, F. (1967): Zur Soziologie und Ökologie europäischer Schwermetall-Pflanzengesellschaften. – Forschungsber. Nordrhein-Westf. 1803. Köln-Opladen: 46 S.
- BECKER, T. & BRÄNDEL, M. (2007): Vegetation-environment relationships in a heavy metal-dry grassland complex. – Folia Geobot. 42(1): 11–28. Průhonice.
- , – & DIERSCHKE, H. (2007): Trockenrasen auf schwermetall- und nicht schwermetallhaltigen Böden der Bottendorfer Hügel in Thüringen. – Tuexenia 27: 225–286. Göttingen.
- & DIERSCHKE, H. (2008): Vegetation response to high concentrations of heavy metals in the Harz Mountains, Germany. – Phytocoenologia 38 (im Druck).
- BODE, A. (1928): Reste alter Hüttenbetriebe im West- und Mittelharze. – Jahrb. Geogr. Ges. Hannover 1928: 141–197.
- BÖHME, W. (1978): Erzbergbau im Westharz und die Besiedlung des Oberharzes seit dem frühen Mittelalter. – Führer zu vor- und frühgeschichtlichen Denkmälern 36: 59–126. Römisch-Germ. Zentralmuseum Mainz.

- BRAUN-BLANQUET, J. & TÜXEN, R. (1943): Übersicht der höheren Vegetationseinheiten Mitteleuropas. – *Commun. Station Internat. Géobot. Médit.* 84: 1–9. Montpellier.
- BROWN, G. (1993): Pflanzensoziologische, vegetationsökologische und ökophysiologische Untersuchungen der Schwermetallrasen der Eifel. – Dissert. Univ. Bonn.
- (1994): Soil factors affecting patchiness in community composition of heavy metal-contaminated areas of Western Europe. – *Vegetatio* 115: 77–90.
- (1995): The effects of lead and zinc on the distribution of plant species at former mining areas of Western Europe. – *Flora* 190 (3): 243–249. Jena etc.
- (2001): The heavy-metal vegetation of north-western mainland Europe. – *Bot. Jahrb. Syst.* 123(1): 63–110. Stuttgart.
- BRUELHEIDE, H. (1995): Die Grünlandgesellschaften des Harzes und ihre Standortbedingungen. Mit einem Beitrag zum Gliederungsprinzip auf der Basis von statistisch ermittelten Artengruppen. – *Diss. Bot.* 244: 1–338. Berlin, Stuttgart.
- DANIELS, F. J. A. & GERINGHOFF, H. (1994): Pflanzengesellschaften auf schwermetallreichen Böden der Briloner Hochfläche, Sauerland. – *Tuexenia* 14: 143–150. Göttingen.
- DENECKE, D. (1972): Erzgewinnung und Hüttenbetriebe des Mittelalters im Oberharz und im Harzvorland. Erläuterungen zu einer Übersichtskarte. – *Archäol. Korrespondenzblatt* 8 (2): 77–85.
- DIERSCHKE, H. (1969a): Schutzwürdige Schwermetall-Schlackenhalde des Harzes. – Kurztgutachten zum Schutz der Schwermetallvegetation für die Obere Naturschutzbehörde Braunschweig. Mskr. Göttingen: 9 S. + Karten.
- (1969b): Pflanzensoziologische Exkursionen im Harz. Bericht über die Tagung der Floristisch-soziologischen Arbeitsgemeinschaft in Osterode vom 14. bis 16. Juni 1968. – *Mitt. Flor.-soz. Arbeitsgem.* N. F. 14: 458–479. Todenmann/Rinteln.
- (1994): Pflanzensoziologie. Grundlagen und Methoden. – Stuttgart: 683 S.
- (1997): Molinio-Arrhenatheretea (E1) – Kulturgrasland und verwandte Vegetationstypen. Teil 1: Arrhenatheretalia. Wiesen und Weiden frischer Standorte. – *Synopsis Pflanzenges. Deutschlands* 3: 1–74. Göttingen.
- & KNOLL, J. (2002): Der Harz, ein norddeutsches Mittelgebirge. Natur und Kultur unter botanischem Blickwinkel. – *Tuexenia* 22: 279–421. Göttingen.
- DRACHENFELS, O. VON (1990): Naturraum Harz – Grundlagen für ein Biotopschutzprogramm. Auswertung der Erfassung der für den Naturschutz wertvollen Bereiche (2. Durchgang) und Folgerungen für den Biopopschutz. – *Naturschutz Landschaftspfl. Nieders.* 19: 1–100. Hannover.
- (1996): Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen in Niedersachsen. – *Naturschutz Landschaftspfl. Nieders.* 34: 1–148. Hannover.
- DREHWALD, U. (1993): Die Pflanzengesellschaften Niedersachsens. Bestandsentwicklung, Gefährdung und Schutzprobleme. Flechtengesellschaften. – *Naturschutz Landschaftspfl. Nieders.* 20 (10): 1–122. Hannover.
- DRUDE, O. (1902): Der Hercynische Florenbezirk. Grundzüge der Pflanzenverbreitung im mitteldeutschen Berg- und Hügellande vom Harz bis zur Rhön, bis zur Lausitz und dem Böhmer Walde. – In: ENGLER, A. & DRUDE, O. (Hrsg.): *Die Vegetation der Erde* 6. Leipzig: 671 S.
- ELLENBERG, H. (1956): Aufgaben und Methoden der Vegetationskunde. – Stuttgart: 156 S.
- (1996): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht.* 5. Aufl. – Stuttgart: 1096 S.
- , WEBER, H. E., DÜLL, R., WIRTH, V. & WERNER, W. (2001): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. – *Scripta Geobot.* 18: 1–258. Göttingen.
- ERNST, W. (W.H.O.) (1965a): Ökologisch-Soziologische Untersuchungen der Schwermetall-Pflanzengesellschaften Mitteleuropas unter Einschluß der Alpen. – *Abh. Landesmus. Naturkunde Münster /Westf.* 72 (1): 1–54. Münster.
- (1965b): Über den Einfluß des Zinks auf die Keimung der Schwermetallpflanzen und auf die Entwicklung der Schwermetall-Pflanzengesellschaft. – *Ber. Dtsch. Bot. Ges.* 78: 205–212. Stuttgart.
- (1966): Ökologisch-soziologische Untersuchungen an Schwermetallpflanzengesellschaften Südfrankreichs und des östlichen Harzvorlandes. – *Flora* B 156: 301–318. Jena.
- (1969): Ökologische Untersuchungen der *Violetea calaminariae*-Schwermetallpflanzengesellschaften. – In: TÜXEN, R. (Hrsg.): *Experimentelle Pflanzensoziologie*: 146–155. Den Haag.
- (1968): Das *Violetum calaminariae westfalicum*, eine Schwermetallpflanzengesellschaft bei Blankenrode in Westfalen. – *Mitt. Flor.-soz. Arbeitsgem.* N. F. 13: 263–268. Todenmann.
- (1974): Schwermetallvegetation der Erde. – In: TÜXEN, R. (Hrsg.): *Geobotanica selecta* 5: 1–194. Stuttgart.

- (1975): Mechanismen der Schwermetallresistenz. – Verh. Ges. Ökol. Erlangen: 189–197. The Hague.
- (1976a): Ökologische Grenze zwischen *Violetum calamariae* und *Gentano-Koelerietum*. – Ber. Dtsch. Bot. Ges. 89 (2/3): 381–390. Stuttgart.
- (1976b): *Violetea calamariae*. – In: TÜXEN, R. (Edit.): Prodrömus der Europäischen Pflanzengesellschaften 3: 1–132. Vaduz.
- (1982): Schwermetallpflanzen. – In: KINZEL, H. (Hrsg.): Pflanzenökologie und Mineralstoffwechsel: 452–506. Stuttgart.
- (1990): Mine vegetation in Europe. – In: SHAW, A.J. (Edit.): Heavy metal tolerance in plants: Evolutionary aspects: 21–37. Boca Raton.
- (2000): Evolution and ecophysiology of metallophytes in Africa and Europe. – In: BRECKLE, S.-W. et al. (Hrsg.): Ergebnisse weltweiter ökologischer Forschung: 23–35. Stuttgart.
- , KNOLLE, F., KRATZ, S. & SCHNUG, E. (2004): Aspects of ecotoxicology of heavy metals in the Harz region – a guided excursion. – Landbauforsch. Völkenrode 54: 53–71.
- FISCHER, P. (1998): Sandtrockenrasen von Binnendünen in der Unteren Mittelbe-Niederung zwischen Dömitz und Boizenburg. – Tuexenia 18: 119–151. Göttingen.
- (2003): Trockenrasen des Biosphärenreservates „Flusslandschaft Elbe“ – Vegetation, Ökologie und Naturschutz. – Arch. Naturw. Diss. 15: 1–286.
- FUNKE, K. (1994): Vegetation schwermetallbeeinflusster Standorte im Westharz und ihre ökologischen Bedingungen. – Dipl.-Arb. Syst.-Geobot. Inst., Univ. Göttingen: 127 S.
- GARVE, E. (2004): Rote Liste und Florenliste der Farn- und Blütenpflanzen in Niedersachsen und Bremen. – Inform. Natursch. Nieders. 24 (1): 1–76. Hildesheim.
- GERLACH, A. (1983): Die Stickstoff-Nettomineralisation in schwermetallreichen Böden des Westharzes. – Verh. Ges. Ökologie 11: 131–144. Göttingen.
- GLÄSSER, R. (1994): Das Klima des Harzes. – Hamburg: 341 S.
- GOLDE, A. (2001): Schwermetallfluren – ein in Sachsen bislang verkannter Lebensraumtyp. Überblick über Vorkommen und Ausbildungsformen im Freiburger Bergbauebiet. – Ber. Arbeitsgem. Sächs. Bot. N. F. 18: 49–60. Dresden.
- HAUCK, M. (1992): Rote Liste der gefährdeten Flechten in Niedersachsen und Bremen. 1. Fassung vom 1.1.1992. – Informationsdienst Natursch. Nieders. 12 (1): 1–44. Hannover.
- (1996): Die Flechten Niedersachsens. Bestand, Ökologie, Gefährdung und Naturschutz. – Naturschutz Landschaftspfl. Nieders. 36: 1–208. Hannover.
- HEIBEL, E. (1999): Flechtenvegetation auf Schwermetallstandorten in Nordrhein-Westfalen. – Schriftenr. LÖBF 16: 49–73. Recklinghausen.
- HEINRICHS, H. & HERRMANN, A.G. (1990): Praktikum der analytischen Geochemie. – Berlin etc.: 669 S.
- HELLWIG, M. (2002): Die Schwermetallbelastungen und die Schwermetallvegetation im Innerstetal. – Ber. Naturhist. Ges. 144: 3–21. Hannover.
- HÜLBUSCH, K. H., HÜLBUSCH, I. M. & KRÜTZFELD, A. (1981): *Cardaminopsis halleri*-Gesellschaften im Harz. – In: DIERSCHKE, H. (Red.): Syntaxonomie. Ber. Internat. Sympos. IVV Rinteln 1980: 343–361. Vaduz.
- KOCH, K. (1932): Die Vegetationsverhältnisse des Silberberges im Hügellgebiet bei Osnabrück. – Mitt. Naturw. Ver. Osnabrück 22: 117–149.
- KOCH, M. (1999): Die Schwermetallvegetation im südlichen Osnabrücker Land (Niedersachsen). – Schriftenr. LÖBF 16: 259–270. Recklinghausen.
- & KUHN, L. (1989): Das *Minuartio-Thlaspietum alpestris* Koch 1932, eine Pflanzengesellschaft schwermetallhaltiger Böden im Hügellgebiet, Landkreis Osnabrück. – Osnabrücker naturwiss. Mitt. 15: 137–154.
- , MUMMENHOFF, K. & HURKA, H. (1998): Systematics and evolutionary history of heavy metal tolerant *Thlaspi caerulescens* J. et C. Presl. (Brassicaceae) in Western Europe: Evidence from genetical studies based on isozyme analysis. – Biochem. Syst. Ecol. 26: 823–838.
- KOPERSKI, M., SAUER, M., BRAUN, W. & GRADSTEIN, S. R. (2000): Referenzliste der Moose Deutschlands – Dokumentation unterschiedlicher taxonomischer Auffassungen. – Schriftenr. Vegetationskd. 34: 1–519. Bonn-Bad Godesberg.
- KORNECK, D., SCHNITTLER, M. & VOLLMER, I. (1996): Rote Liste der Farn- und Blütenpflanzen (Pteridophyta et Spermatophyta) Deutschlands. – Schriftenr. Vegetationskd. 28: 21–187. Bonn-Bad Godesberg.
- KRUCKEBERG, A. R. & KRUCKEBERG, A. L. (1990): Endemic metallophytes: their taxonomic, genetic, and evolutionary attributes. – In: SHAW, A. J. (ed.): Heavy metal tolerance in plants: Evolutionary aspects. Boca Raton.



- LANGE, O. L. & ZIEGLER, H. (1963): Der Schwermetallgehalt von Flechten aus dem Acarosporium sinopicae auf Erzschlackenhalde des Harzes. – Mitt. Flor.-soz. Arbeitsgem. N. F. 10: 156–183. Stolzenau/W.
- LEFÈBVRE, C. (1974): Population variation and taxonomy in *Armeria maritima* with special reference to heavy metal-tolerant populations. – New. Phytol. 73: 209–219.
- LIBBERT, W. (1930): Die Vegetation des Fallsteingebietes. – Mitt. Flor.-soz. Arbeitsgem. Nieders. 2: 1–66. Hannover.
- LOHMEYER, W. et al. (1962): Contribution à l'unification du système phytosociologique pour l'Europe moyenne et nord-occidentale. – Melhoramento 15: 137–151. Elvas.
- NAUENBURG, J. D. (1987): *Viola x preywischiana* einzig bei Blankenrode (Westfalen). – Flor. Rundbr. 21 (1): 2–7. Göttingen.
- (1988): Zur Karyologie und Taxonomie der heimischen Schwermetallsippen der Gattung *Viola*, Sekt. *Melanium*. – Decheniana 141: 96–102. Bonn.
- OBENDORFER, E., GÖRS, S., KORNECK, D., LOHMEYER, W., MÜLLER, T., PHILIPPI, G. & SEIBERT, P. (1967): Systematische Übersicht der westdeutschen Phanerogamen- und Gefäßkryptogamen-Gesellschaften. Ein Diskussionsentwurf. – Schriftenr. Vegetationskd. 2: 7–62. Bad Godesberg.
- PARDEY, A. (1999): Grundlagen des Naturschutzes auf Schwermetallstandorten in Nordrhein-Westfalen. Abiotische Verhältnisse, Flora, Vegetation, Fauna, aktuelle Schutzsituation und zukünftige Zielsetzungen. – Schriftenr. LÖBF 16: 7–48. Recklinghausen.
- et al. (1999): Naturschutz-Rahmenkonzeption Galmeifluren NRW. – Schriftenr. LÖBF 16: 1–270. Recklinghausen.
- PATZKE, E. & BROWN, G. (1990): *Festuca aquisgranensis* sp. nova, ein neuer Vertreter der Kollektivart *Festuca ovina* L. (Poaceae). – Decheniana 143: 194–195. Bonn.
- PAUS, S. (1997): Die Erdflechtenvegetation Nordwestdeutschlands und einiger Randgebiete. Vegetationsökologische Untersuchungen unter besonderer Berücksichtigung des Chemismus ausgewählter Arten. – Biblioth. Lichenol. 66: 1 – 222. Berlin, Stuttgart.
- PETER, A. (1899): Die Flora des Harzes. – In: HOFFMANN, H. (Hrsg.): Der Harz: 22–38. Unveränderter Nachdruck 1996. Leipzig.
- POETSCHKE, A., WILHELM, M. & DANIELS, F.J.A. (2003): Beitrag zur Vergesellschaftung und Bestandsentwicklung des Westfälischen Galmeiveilchens *Viola guestfalica* bei Blankenrode im Sauerland. – Abh. Westf. Mus. Naturk. 65 (1/2): 15–30. Münster.
- POHL, D. (2001): Stand der Ausweisung von Naturschutzgebieten in Niedersachsen. – Inform. Natursch. Nieders. 21 (4): 193 – 207. Hildesheim.
- POTT, R. (1995): Die Pflanzengesellschaften Deutschlands. 2. Aufl. – Stuttgart: 622 S.
- & HELMWIG, M. (2007): Das *Armerietum halleri* Libbert 1930 aus dem Tal der Innerste am Nordrand des Harzes. – Hercynia N.F. 40 (2): 245–255. Halle/S.
- PREISING, E. & Mitarb. (1997): Die Pflanzengesellschaften Niedersachsens. Rasen-, Fels- und Geröllgesellschaften. – Natursch. Landschaftspf. Nieders. 20 (5): 1–146. Hannover.
- PUNZ, W. (2001): Schwermetallakkumulierende und -hyperakkumulierende Pflanzen auf Bergbaustandorten im Ostalpenraum. – Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich 138: 129–136. Wien.
- & MUCINA, L. (1997): Vegetation on anthropogenic metalliferous soils in the Eastern Alps. – Folia Geobot. Phytotax. 32 (3): 183–195. Průhonice.
- RENNWALD, E. (Bearb.) (2000): Verzeichnis und Rote Liste der Pflanzengesellschaften Deutschlands. – Schriftenr. Vegetationsk. 35: 1–800. Bonn-Bad Godesberg.
- RIECKEN, U., FINCK, P., RATHS, U., SCHRÖDER, E. & SSYMAN, A. (2006): Rote Liste der gefährdeten Biopoptypen Deutschlands. 2. Fassung. – Natursch. Biol. Vielfalt 34: 1–318. Bonn-Bad-Godesberg.
- RODWELL, J. S., SCHAMINÉE, J. H. J., MUCINA, L., PIGNATTI, S., DRING, J. & MOSS, D. (2002): The diversity of European vegetation. An overview of phytosociological alliances and their relationships to EUNIS habitats. – Wageningen: 168 S.
- SCHERFOSE, V. (2007): Bundesweit bedeutsame Gebiete für den Naturschutz – Herleitung, Auswahlkriterien, Länderspezifika und Bilanzierung. – Natursch. Biol. Vielfalt 43: 7–28. Bonn-Bad Godesberg.
- SCHOLZ, P. (2000): Katalog der Flechten und flechtenbewohnenden Pilze Deutschlands. – Schriftenr. Vegetationskd. 31: 1–298. Bonn-Bad Godesberg.
- SCHROEDER, J. VON & REUSS, C. (1883): Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch und die Oberharzer Hüttenrauchschäden. Nachdruck 1986. – Hildesheim etc. 333 +XXXVII S.
- SCHUBERT, R. (1953): Die Schwermetallpflanzengesellschaften des östlichen Harzvorlandes. – Wiss. Z. Univ. Halle-Wittenberg, Math.-Nat. R. 3(1): 51–70. Halle.

- (1954a): Zur Systematik und Pflanzengeographie der Charakterpflanzen der Mitteldeutschen Schwermetallpflanzengesellschaften. – Wiss. Z. Univ. Halle-Wittenberg, Math.-Nat. R. 3 (4): 863–882. Halle.
- (1954b): Die Pflanzengesellschaften der Bottendorfer Höhe. – Wiss. Z. Univ. Halle-Wittenberg, Math.-Nat. R. 4(1): 99–120. Halle.
- (1974): Übersicht über die Pflanzengesellschaften des südlichen Teiles der DDR. VIII. Basiphile Trocken- und Halbtrockenrasen. – Hercynia N. F. 11 (1): 22–46. Leipzig.
- (2001): Prodromus der Pflanzengesellschaften Sachsen-Anhalts. – Mitt. Florist. Kart. Sachsen-Anhalt Sonderh. 2: 1–688. Halle/Saale.
- , HILBIG, W. & KLOTZ, S. (1995): Bestimmungsbuch der Pflanzengesellschaften Mittel- und Nordostdeutschlands. – Jena, Stuttgart: 403 S.
- SCHWICKERATH, M. (1931): Das Violetum calaminariae der Zinkböden in der Umgebung Aachens. Eine pflanzensoziologische Studie. – Beitr. Naturdenkmalpflege 14: 463 – 503.
- (1933): Die Vegetation des Landkreises Aachen und seine Stellung im nördlichen Westdeutschland. – Aachener Beitr. Heimatkd. 13: 1–135.
- (1944): Das Hohe Venn und seine Randgebiete. Vegetation, Boden und Landschaft. – Pflanzensoz. 6: 1–278. Jena.
- SIMON, E. (1978): Heavy metals in soils, vegetation development and heavy metal tolerance in plant populations from metalliferous areas. – New. Phytol. 81: 175–188.
- SIPPEL, U. (2005): Stand der Ausweisung von Naturschutzgebieten in Niedersachsen am 31. 12. 2004. – Informationsd. Natursch. Nieders. 25 (3): 62–126. Hannover.
- SITTE, P., WEILER, E. W., KADEREIT, J. W., BRESINSKY, A. & KÖRNER, C. (2002): Strasburger. Lehrbuch der Botanik. 35. Aufl. – Heidelberg, Berlin: 1123 S.
- SPEHLING, H. & STOPPEL, D. (1981): Gangkarte des Oberharzes mit Erläuterungen. – Geol. Jahrb. Reihe D 46: 5–90.
- SSYMANK, A., HAUKE, U., RÜCKRIEM, C. & SCHRÖDER, E. (1998): Das europäische Schutzgebietssystem NATURA 2000. BfN-Handbuch zur Umsetzung der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (92/43/EWG) und der Vogelschutzrichtlinie (79/409/EWG). – Schriftenr. Landschaftspf. Natursch. 53: 1–560. Münster.
- TER BRAAK, C. J. F. & ŠMILAUER, P. (2002): CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination 4.5. – Ithaca.
- TÜXEN, R. (1975): Dauer-Pioniergesellschaften. – In: SCHMIDT, W. (Red.): Sukzessionsforschung. Ber. Internat. Sympos. IVV Rinteln 1973: 13–30. Vaduz.
- VEKEMANS, X. & LEFÈBVRE, C. (1997): On the evolution of heavy-metal tolerant populations in *Armeria maritima*: evidence from allozyme variation and reproductive barriers. – J. Evol. Biol. 10: 175–191.
- WEBER, H. E., MORAVEC, J. & THEURILLAT, J. P. (2001): Internationaler Code der pflanzensoziologischen Nomenklatur (ICPN). 3. Aufl. – Synopsis Pflanzenges. Deutschl. Sonderh. 1: 1–61. Göttingen.
- WIRTH, V. et al. (1996): Rote Liste der Flechten (Lichenes) der Bundesrepublik Deutschland. – Schriftenr. Vegetationsk. 28: 307–368. Bonn-Bad Godesberg.
- WISSKIRCHEN, R. & HAEUPLER, H. (1998): Standardliste der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands. – Stuttgart: 765 S.

Prof. Dr. Hartmut Dierschke  
 Universität Göttingen  
 Albrecht-von-Haller-Institut  
 für Pflanzenwissenschaften  
 Abt. Vegetationsanalyse und Phytodiversität  
 Untere Karspüle 2  
 D-37073 Göttingen  
 E-mail: hdiersc@gwdg.de

Dr. Thomas Becker  
 Universität Marburg  
 Fachbereich Biologie / Pflanzenökologie  
 Karl-von-Frisch-Str. 8  
 D-35032 Marburg  
 E-mail: becker@staff.uni-marburg.de

Eingang des Manuskriptes am 10.10.2007, endgültig angenommen am 20.11.2007.

