

## Schwermetallrasen auf Hüttenstäuben am Weinberg bei Hettstedt-Burgörner (Mansfelder Land)<sup>1</sup> - Ergebnis jahrhundertelanger Kontamination und Herausforderung für den Naturschutz

Henryk BAUMBACH, Horst K. M. VOLKMANN und Christian WOLKERSDORFER

5 Abbildungen und 6 Tabellen

### Abstract

BAUMBACH, H.; VOLKMANN, H.K.M.; WOLKERSDORFER, C.: Metallicolous vegetation at soils impacted by smelter emissions at the Weinberg hill near Hettstedt-Burgörner (Mansfelder Land) – The result of decades of contamination and challenge for conservation issues. – *Hercynia N.F.* 40 (2007): 87–109.

For almost 800 years copper shale smelting in the Mansfeld region (Sachsen-Anhalt, Central Germany) was a serious source of soil pollution through metals as well as arsenic and aluminium. A tertiary metalliferous soil site originating from decades of emissions of a copper, lead, and zinc smelter downwind of the site is described here for the first time. This site is located at the Weinberg hill in Hettstedt-Burgörner (Mansfelder Land). First damages of the vegetation at this site resulting from smelter emissions were reported in 1870. The current vegetation at the Weinberg hill is not only due to (semi-)metal contamination but also to sulphur dioxide emissions of the former Kupferkammerhütte smelter located in the north and northwest, the smelter Kupfer-Silber-Hütte with Bessemer converters located in the southwest, and the rolling mill located in the west. The total area influenced by the emissions of the smelter covers approximately 11 hectares. At the western slope the top soil is covered by a dust layer up to 25 cm with high amounts of (semi-)metals. Therefore it is characterised by extended metallicolous vegetation (*Armerietum halleri*), which is poor in plant species and dominated by *Armeria maritima* ssp. *halleri*, *Minuartia verna* ssp. *hercynica*, and *Silene vulgaris* var. *humilis*. Some locally extreme amounts of (semi-)metals were found in the soil surface horizon at the middle slope (14,192 mg/kg Zn, 16,019 mg/kg Pb, 3,601 mg/kg Cu, 1,097 mg/kg As, and 293 mg/kg Cd). The Weinberg hill is the largest area with metalliferous vegetation in the Mansfeld region known to date. We propose to protect this area to allow long-term observations of regeneration processes in biocenoses at (semi-)metal-contaminated sites.

*Key words:* tertiary metalliferous soil site, smelter contamination, metallicolous vegetation, *Armerietum halleri*, land reclamation vs. conservation

## 1 Einleitung

Im Mansfelder Land (Sachsen-Anhalt) wurde fast 800 Jahre lang Kupferschiefer abgebaut und verhüttet, wobei das Wippertal zwischen Hettstedt und Mansfeld über den gesamten Zeitraum ein Zentrum der Hüttenindustrie war. Emissionen von Metallhütten führen in ihrer näheren Umgebung in der Regel zu schweren und oft großflächigen Beeinträchtigungen von Böden und Vegetation, aber auch der menschlichen Gesundheit (vgl. ERNST & JOOSSE-VAN DAMME 1983, DÄSSLER 1991). Die Kontaminationen sind dabei nicht allein auf die Deposition metallhaltiger Flugstäube sondern auch auf die Immission von Schwefeldioxid, das bei der Verarbeitung sulfidischer Erze in großen Mengen anfällt, auf den geschädigten Flächen zurückzuführen. Im Wippertal sind massive Beschwerden und Schadensersatzansprüche von Anliegern aus der Umgebung der Hütten bereits vor über 130 Jahren (FREYTAG 1870) dokumentiert.

Am Weinberg in Hettstedt-Burgörner haben Flugstaub- und Schwefeldioxid-Immissionen der benachbarten Kupferkammer- und späteren Bleihütte dazu geführt, dass nicht nur die ursprüngliche Vegetation

<sup>1</sup> Herrn Professor Dr. Rudolf Schubert (Halle) zum 80. Geburtstag gewidmet.

am Hang stark geschädigt wurde, sondern dass sich außerdem eine Schwermetallvegetation ausgebildet hat, die auch 16 Jahre nach der Einstellung der wesentlichen Emissionsquellen noch auf mehreren Hektar Fläche dominiert.

Ziel des Beitrages ist es, das Gebiet mit seiner Vegetation und seiner Historie vorzustellen und weitere Langzeitbeobachtungen der Biozönosen anzuregen. Zugleich möchten die Autoren einen Diskussionsprozess über den Umgang mit solchen tertiären Schwermetallstandorten im Spannungsfeld zwischen Naturschutz und möglichen Sanierungserfordernissen initiieren.

Zur Problematik des Begriffs Schwermetall sei auf die Ausführungen von DUFFUS (2002) verwiesen. Im Folgenden wird im geochemischen Zusammenhang der umfassende Begriff (Semi-)Metalle verwendet. Der Begriff (Semi-)Metalle umfasst alle Metalle sowie Aluminium und die Halbmetalle wie beispielsweise Arsen, Antimon oder Wismut.

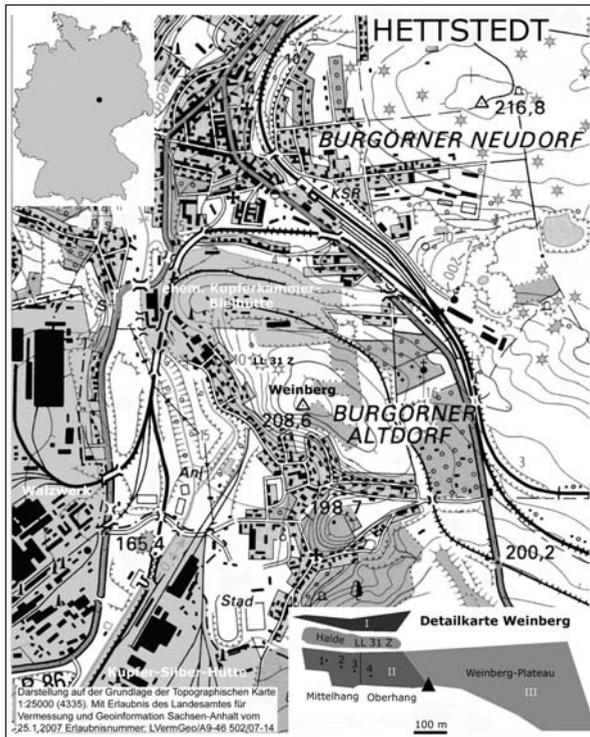


Abb. 1 Lage des Untersuchungsgebietes und der Dauerbeobachtungsflächen am Weinberg (unter Verwendung eines Ausschnitts der TK 25, Blatt 4335, Hettstedt, Ausgabe 1995)

Fig. 1 Location of the study area and the permanent plots at the Weinberg hill (using a clip of the topographical map, scale 1:25,000, sheet 4335, edition 1995)

## 2 Naturräumliche Gegebenheiten

Das Untersuchungsgebiet befindet sich in der Umgebung des Weinbergs im Stadtgebiet von Hettstedt im Ortsteil Burgörner (Abb. 1). In älteren Flurkarten ist dieses Gebiet mit einer Größe von ca. 11 ha auch als Lindenholz bezeichnet. Der Weinberg (209 m ü. NN), ein langgestreckter Buntsandsteinhügel, überragt das Wippertal um ca. 50 m. Auf dem Plateau sowie im Oberhangbereich des Westhangs steht in erosionsbeeinflussten Bereichen der feinkörnige Sandstein des Unteren Buntsandsteins oberflächlich an.

Dessen Verwitterungsprodukte sind vor allem am Unter- und Mittelhang an der Bodenbildung beteiligt. Den größeren Teil der Plateaufläche bedecken tertiärzeitliche Glimmersande und größere tertiärzeitliche Quarzite. Der Westhang des Weinbergs wurde durch glaziale Vorgänge erodiert. So finden sich dort neben schwarzen verkieselten Kalksteinen auch Quarzitknauern der Wipptraer Zone, die durch glaziale Strömungen abgelagert wurden. Das Wippertal selbst ist typisch fluvial geformt, die Gesteine gehören zum periglazialen Wildbachschotter. Das Weinbergplateau und seine Hänge sind von Löß oder sandigem Lehm in unterschiedlicher Stärke bedeckt.

Der Raum Hettstedt liegt wie das gesamte Mansfelder Land im subkontinentalen Klimabereich. Der Jahresniederschlag beträgt in Hettstedt 504 mm (langjähriges Mittel 1961—1990, Deutscher Wetterdienst), die Jahresmitteltemperatur im Gebiet ca. 8,5 °C (Wert für Eisleben-Helfta). Die Hauptwindrichtung im Gebiet ist Südwest (Eisleben: 28,7 % SW, Harzgerode 25,3 % SW; ARGE 1991).

### 3 Industrielle Aktivitäten im Umfeld des Untersuchungsgebietes

Schon in der Anfangszeit des Kupferschieferbergbaus (um 1200) wurden die ersten Hütten im Hettstedter Raum errichtet. Um 1520 stellte das Wippertal neben dem Eisleber Berg den zweiten Schwerpunkt der Kupferschieferverhüttung dar. Zu dieser Zeit bestanden 18 Schmelzöfen im Raum Hettstedt/Großörner und 24 Schmelzöfen (in 10 Hütten) im Raum Mansfeld/Leimbach. Der Jahresdurchsatz betrug etwa 10—12 t Kupfer je Schmelzofen (EISENÄCHER et al. 1999).

Während sich der Bergbau im Laufe der Jahrhunderte vom Ausgehenden des Kupferschieferflözes löste und nach Osten in das Zentrum der Mansfelder Mulde vorrückte, blieb die Verhüttung auf die permanent Wasser führenden Gründe konzentriert, da der für den Verhüttungsprozess notwendige „Wind“ lange Zeit allein durch Wasserkraft erzeugt werden musste. Die Hüttenstandorte wurden deshalb über viele Jahrhunderte genutzt, was zu einer kontinuierlichen und zeitweilig sprunghaft anwachsenden Belastung der Umgebung, vor allem durch SO<sub>2</sub>- und Metallstaubemissionen, führte. Der Weinberg und seine nähere Umgebung waren im Norden und Nordwesten, Westen und Südwesten von drei großen metallurgischen Komplexen umgeben (Abb. 1), in deren Abluftfahne sie lagen. Bedeutendster Emittent war die in unmittelbarer Nachbarschaft, im Nordwesten (Wippertal) und Norden (Schmalzgrund) gelegene Kupferkammerhütte, die von 1723 bis 1990 als Roh- sowie Röst- und Spürhütte in Betrieb war. Bereits 1493 ging die Berghütte, ein Vorgängerbau am Standort, in Betrieb. Von 1724 bis 1844 wurden auf der Kupferkammerhütte 395.000 t Schiefer geschmolzen und daraus 9.030 t Kupfer und 35 t Silber gewonnen (HEBESTEDT 2002). Bis 1870 war die Kupferkammerhütte die zweitgrößte Mansfelder Rohhütte. 1875/76 wurden die 11 bestehenden Öfen, die erst nach 1862 umfassend modernisiert worden waren, abgerissen und durch drei neue Großöfen ersetzt. Der Rohhüttenbetrieb wurde 1913 eingestellt (EISENÄCHER et al. 1999). Allein im Zeitraum von 1864 bis 1913 wurden auf der Rohhütte insgesamt 5,38 Mio. t Schiefer zu 0,4 Mio. t Rohstein verschmolzen (HEBESTEDT 2002). Die Kupferkammer-Spürhütte wurde ab 1878 neu gebaut und war bis 1927 in Betrieb. Anschließend diente der Standort noch bis 1976 als Bleihütte und bis 1990 als Zinkhütte (Umschmelzung von Zinkschrott). Umweltrelevante Prozesse, die am Standort über Jahrhunderte durchgeführt wurden und mit zum Teil erheblichen Emissionen von SO<sub>2</sub> und Metallstäuben einhergingen, waren die offene Schieferröstung (bis 1913), die Verhüttung des Schiefers und die anschließende Spürsteinröstung. In der letzten Betriebsperiode kam noch die Blei- und Zinkgewinnung aus den Flugstäuben der Rohhütten Eisleben und Helbra hinzu. Allein beim Schmelzen von einer Tonne Kupferschiefer fielen 20—25 kg Flugstäube an (EISENÄCHER et al. 1999), die über Jahrhunderte ungefiltert in der Umgebung der Hüttenstandorte niedergingen und auch nach der Installation der ersten Abgasreinigungsanlagen (Flugstaubkammern und Theißenwäscher, um 1880) nur zum Teil in den metallurgischen Prozess zurückgeführt werden konnten.

Ein weiterer alter Hüttenstandort, der Komplex der heutigen Kupfer-Silber-Hütte, liegt in der Hauptwindrichtung, im Südwesten des Untersuchungsgebietes. Dort befanden sich unter anderem die Wiesenhütte (ab 1671), die Gottesbelohnungshütte (Rohhütte 1695—1796, später Röst- und Spürhütte), die

Silberhütte (Rohhütte, 1800—1849) sowie die Kupfer-Silber-Hütte, die der letzte noch produzierende Hüttenbetrieb (Sekundärkupfergewinnung) im Mansfelder Land ist. Aufgrund der Entfernung zum Untersuchungsgebiet kommt dieser Standort wohl nicht primär als relevanter Flugstaubemittent in Frage, allerdings müssen die  $\text{SO}_2$ -Emissionen durch Bessemerie und Schwefelsäure-Kontakthanlage (bis 1990) sowie die Sekundärkupferanlage in Betracht gezogen werden. Diese erreichten bereits im 19. Jahrhundert nach Einführung des Ziervogelprozesses (sulfatisierende Spursteinröstung) auf der Gottesbelohnungshütte umweltrelevante Dimensionen (EISENÄCHER et al. 1999). Westlich des Untersuchungsgebietes befindet sich als dritter metallurgischer Komplex das Walzwerk Hettstedt (seit 1909), das in Teilen auch heute noch produziert (vgl. GROSSPIETSCH 2003). Im Jahr 1989, dem letzten Jahr mit Volllastproduktion, beliefen sich die Emissionen der Kupfer-Silber-Hütte auf 1413 t Staub, 402 t Schwermetalle und 5521 t  $\text{SO}_2$  und die des Walzwerks auf 300 t Staub, 107 t Schwermetalle und 2333 t  $\text{SO}_2$  (ARGE 1991). Punktuelle Erfassungen der (Semi-)Metall-Massenkonzentrationen im Boden wurden 1990/1991 großräumig im Rahmen des Großprojektes „Umweltsanierung des Großraumes Mansfeld“ durchgeführt (ARGE 1991). Die Messpunkte im Umfeld des Untersuchungsgebietes (Tab. 1) geben einen Eindruck von der besonderen Belastungssituation. Die wenigen direkt vom Weinberg vorliegenden Bodenproben (GFE 1993) weisen hohe Massenkonzentrationen von Pb, Zn, Cu, As und Cd auf, die aber in östlicher Richtung abnehmen (Tab. 1, Proben 1—4).

Tab. 1 (Semi-)Metall-Massenkonzentrationen (mg/kg TS) in Bodenproben des Burgörner Weinbergs und seiner Umgebung (Proben 1–4, 14: GFE 1993; Proben 5–8: diese Arbeit; Proben 9–13, 15–18: ARGE 1991, Anlagenband II, Anlage 4.1.2.2.-2). Methode: Königswasseraufschluss (DEV-S7), Salpetersäureaufschluss (DEV-A32; Proben 5–8), ICP/OES, ICP/MS und AAS; HW: Hochwert; RW: Rechtswert in GAUSS-KRÜGER Koordinaten (3° Meridianstreifen, Bessel-Ellipsoid, Potsdam Datum, Zentralpunkt Rauenberg)

Tab. 1 (Semi-)metal concentrations (mg/kg dry weight) in soil samples of the Burgörner Weinberg and its surroundings (samples 1–4, 14: GFE 1993; samples 5–8: this work; samples 9–13, 15–18: ARGE 1991, supplement volume II, supplement 4.1.2.2.-2). Methods: *aqua regia* dissolution (DEV-S7), nitric acid pulping (DEV-A32; samples 5–8) ICP/OES, ICP/MS and AAS; HW: nothing; RW: easting in GAUSS-KRÜGER coordinates (3° wide strips, BESSEL ellipsoid, Potsdam-datum, Rauenberg central point)

Nr.	Lage	Probe	HW	RW	As	Pb	Cd	Cu	Zn	
Weinberg										
1	unterer Mittelhang	211042	5721942	4466238	358	6098	47	1486	5550	
2	oberer Westhang	212041	5721768	4466460	135	2980	55	1817	5040	
3	Plateau	212031	5722015	4466558	61	1520	17	934	3071	
4	Südhang	213042	5721440	4466768	42	992	9	667	1034	
5	unterer Mittelhang	115-O	DBF 1	5721923	4466248	471	8294	116	3121	7482
6	mittlerer Mittelhang	113-A	DBF 2	5721904	4466277	1097	16019	293	3601	14192
7	oberer Mittelhang	112	DBF 3	5721897	4466286	506	9664	58	992	2537
8	Oberhang	114	DBF 4	5721876	4466332	21	170	2	146	159
Umgebung										
9	Lindenbergr	21785	Garten	5721845	4466195	167	2989	54	1784	4085
10	Schlagstraße	21784	Friedhof	5722120	4466635	43	657	10	324	1077
11	Stockhausstraße	20050	Grasland	5722370	4466175	250	3900	79	760	4250
12	Stockhausstraße	20011	Grashang	5722415	4466340	208	3900	71	1040	5020
13	Humboldtstraße	21788	Garten	5721500	4466530	68	1405	12	1950	3419
14	Hof Gut Burgörner	222022		5721410	4466292	21	472	2	2302	1600
15	Wiesenstraße	21786	Wiese	5721560	4466260	57	1121	21	1111	2548
16	An der Brache	21787	Garten	5721555	4466650	69	2448	36	990	3320
17	Ü. d. Schmalzgrund	21783	Ödland	5722520	4466235	91	1673	27	612	3306
18	Kirschberg	21782	Garten	5722645	4466020	144	3326	73	1097	4645

#### 4 Historische Schädigungen der Vegetation – Die Freytag-Gutachten (1870–1878)

Die Produktionssteigerung der Hettstedter Hütten und die damit verbundenen Belastungen führten ab der Mitte des 19. Jahrhunderts zu zahlreichen Schadenersatzprozessen gegen die Mansfeldsche Kupferschieferbauende Gewerkschaft (FREYTAG 1870). Diese gab daraufhin ab 1869 mehrere Gutachten in Auftrag, in denen die Schäden an der Vegetation durch die Hüttenemissionen im Untersuchungsgebiet erstmals untersucht und dokumentiert werden sollten. Das erste dieser Gutachten wurde 1870 von Moritz FREYTAG (Bonn-Poppelsdorf) unter dem Titel: „Wissenschaftliches Gutachten über den Einfluß, welchen die Hüttenwerke der Mansfelder Kupferschieferbauenden Gewerkschaft in dem Wipperthal zwischen Mansfeld und Hettstedt auf die Vegetation der benachbarten Grundstücke und indirect auf Menschen und Thiere ausüben“ veröffentlicht. Dieses und die bis 1878 erstellten Folgegutachten (FREYTAG 1873 und 1878) sind vor allem aus wissenschaftshistorischer Sicht interessant. Während von SCHROEDER & REUSS (1883) die Hüttenrauchschäden im Oberharz detailliert beschrieben und die Ausdehnung der geschädigten Waldbereiche zwischen Clausthal-Zellerfeld und Goslar kartographisch dargestellt wurden, liest sich das Gutachten Freytags aus heutiger Sicht wie ein Gefälligkeitsgutachten für seine Auftraggeber. So lautet sein allgemeines besonders hervorgehobenes Fazit im Jahr 1878:

„...Ich halte mich daher für verpflichtet, als unumstößliche Thatsache anzuerkennen, daß sowohl das Brennen der Schiefen, als auch das Rohschmelzen des Kupfersteins, also überhaupt der Rohhüttenbetrieb der Mansfelder Gewerkschaft der Vegetation der unmittelbar anstoßenden Grundstücke einen directen Nachtheil gar nicht, und einen indirecten in Entfernungen von mehr als 100 Fuß ebenfalls nicht zufügt (...) Nur volle Unkenntnis oder Voreingenommensein (...) kann die Behauptung noch aufrecht erhalten, daß der Mansfelder Rohhüttenbetrieb der Nachbarschaft Schaden bringt.“

Umso interessanter ist es, dass das Lindenholz in den Freytagschen Gutachten ausführlich behandelt wird. Offenbar waren die Schäden an der Vegetation dort so offensichtlich, dass sie nicht verleugnet werden konnten. So heißt es über das Untersuchungsgebiet nach einer Begehung im Mai 1869: „Einer sehr eingehenden Prüfung unterzog ich das südöstlich unmittelbar an die Kupferkammerhütte anschließende Lindenholz. (...) Dieses Terrain ist ca. 28 Morgen (7 Hektar, d. A.) groß und bildet einen von Ost nach West ansteigenden Höhenzug, so daß es sich von 100 Fuß bis 250 Fuß über den Spiegel der Wipper erhebt, also die Schornsteine von Kupferkammerhütte überragt. (...) Das sogenannte Lindenholz besteht aus Eichen, Birken und Akazien, welche sich augenscheinlich in höchst verwahrlostem Zustand befinden. Von einer regelrechten forstlichen Bewirtschaftung ist nirgends etwas zu beobachten. Die gegen die Weststürme freiliegende Fläche hat viel Windbruch. Weder dieser noch die abgestorbenen Äste und Bäume sind seit Jahren ordnungsmäßig entfernt, so daß das Lindenholz im Ganzen einen traurigen Anblick gewährt. In dem nordwestlichen Theile, welcher unmittelbar an das Hüttenterrain anschließt, treten noch besondere Erscheinungen auf, welche ich in dem ganzen übrigen Theil nicht beobachten konnte, die auf Einwirkungen des Hüttenrauchs schließen lassen. Die überall modrig faulige oberste Schicht des Bodens, welche von einem mangelhaften Verwesungsprozeß des Laubabfalls herrührt, erscheint hier wie versengt und mit einem dunklen Staube bedeckt. (...) Die Akazien und Birken waren hier theils todt, theils verkümmert; die Eichen dagegen erschienen weniger angegriffen. Insbesondere waren die Blätter der Zweige, welche der Hütte zugekehrt waren, am meisten beschädigt, und konnte die Einwirkung der Dämpfe aus den Schornsteinen der Spüröfen hier schichtweise verfolgt werden. Die charakteristische Tätowierung und Krümmung der Blätter machte es mir zweifellos, daß auf dieser Stelle eine Verletzung derselben durch saure Dämpfe resp. Vitriole vorliegt.“ Die daraufhin vorgenommenen bodenchemischen Untersuchungen ergaben „...mit absoluter Gewißheit, daß in der nordwestlichen Ecke des sogenannten Lindenholzes eine Anhäufung von Flugstaub und zwar nicht bloß von den Minern und aus den Hochöfen, sondern auch aus den Kaminen der Spürflamöfen stattfindet, da sich in der obersten humosen Schicht nicht bloß eine außergewöhnliche Menge Zinkoxid und Kupferoxid, sondern auch in dem wässrigen Auszug bestimmbare Mengen von Kupfer- und Zinkvitriol befinden (...) Drittens enthalten alle übrigen untersuchten Erdproben ganz geringe Mengen von Kupfer- und Zinkverbindungen und die meisten auch Spuren von Arsenik und Antimon.“

Um weiteren Schadensersatzansprüchen zu entgehen, empfahl Freytag der Gewerkschaft, „das ganze Lindenh Holz oder wenigstens den nordwestlichen Teil davon zu kaufen und auf demselben die widerstandsfähigsten Bäume anzupflanzen, zu denen besonders Pappeln, Rüstern und Maulbeerbäume gehören. Dieselben würden ein natürliches Filter für die Luft bilden...“ Das Lindenh Holz und die Plantage wurden daraufhin, neben weiteren der Kupferkammerhütte benachbarten Grundstücken, von der Ober-Berg- und Hüttdirektion im Flächentausch erworben. Im Frühjahr 1872 wurden auf einer Fläche von 1,72 ha 160 Pappeln, 30 Ulmen, 30 Rosskastanien und 150 Robinien als Jungbäume sowie 480 Ulmen-, 300 Robinien-, 2100 Birken und 900 Pappelstecklinge gepflanzt. Bereits im ersten Jahr machten sich auch an der neuen Pflanzung Hüttenrauchschäden bemerkbar, sodass im Frühjahr 1873 noch einmal 160 Pappeln, 180 Ulmen und 20 Rosskastanien als Jungbäume sowie 200 Eichen-, 400 Hainbuchen-, 700 Birken-, 200 Espen- und 200 Ahornschösslinge nachgepflanzt wurden (FREYTAG 1873).

## 5 Material und Methoden

Zur langzeitigen Beobachtung der Sukzession auf dem durch die Hüttenemissionen besonders stark geschädigten Westhang des Weinbergs wurde im Juli 2004 im Mittel- und Oberhangbereich ein Transekt von vier Dauerbeobachtungsflächen (DBF) von je 25 m<sup>2</sup> Fläche eingerichtet und dauerhaft mit Holzpflocken markiert (zur Lage vgl. Abb. 1). An jeder DBF wurde im September 2004 ein Bodenprofil gegraben und dokumentiert, Bodenproben wurden in verschiedenen Bodenhorizonten entnommen (Tab. 5). Pflanzensoziologische Vegetationsaufnahmen auf den DBF wurden am 24.7.2004, am 10.7.2005 und am 13.6.2006 durchgeführt. Ergänzungen wurden jeweils am 11.9.2004, 10.9.2005 und am 11.9.2006 vorgenommen.

Um die Vegetationsverhältnisse am Westhang repräsentativ zu erfassen, wurden im Juni 2006 in der Umgebung der DBF auf jeweils neun weiteren, zufällig ausgewählten Flächen von 4 m<sup>2</sup> Größe Vegetationsaufnahmen durchgeführt. Damit konnten für die Vegetationscharakterisierung insgesamt 40 Aufnahmen ausgewertet werden.

Seit 1998 erfolgten regelmäßige Begehungen des Gebietes, bei denen der Gesamtartenbestand an Phanerogamen und Kryptogamen kontinuierlich erfasst wurde. Gleichzeitig wurde die Situation am Westhang des Weinbergs regelmäßig fotografisch dokumentiert. Das Arteninventar der ebenfalls am Westhang liegenden Lichtlochhalde 31 des Zabenstedter Stollens (LL 31 Z) wurde 1998 für das Haldenkonzept der Landkreise Mansfelder Land und Sangerhausen (vgl. WEGE 2000) aufgenommen und im September 2006 ergänzt.

Die Nomenklatur der Arten richtet sich bei den Farn- und Blütenpflanzen nach WISSKIRCHEN & HAEUPLER (1998), bei den Moosen nach FRAHM & FREY (2004), bei den Flechten nach WIRTH (1995) und bei den Pflanzengesellschaften nach POTT (1995), SCHUBERT (2001) und SCHUBERT et al. (2001).

Um die (Semi-)Metall-Massenkonzentrationen der Bodenhorizonte in den vier DBF zu untersuchen, wurde eine vereinfachte sequentielle Extraktion in Anlehnung an ZEIEN (1995) verwendet. Dazu wurden die mobile Fraktion (1M NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>), die leicht nachlieferbare Fraktion (1 m NH<sub>4</sub>OAc pH 6,0) und die Residualfraktion (HNO<sub>3</sub>) an jeweils 2 g des homogenisierten Bodens eluiert und die (Semi-)Metall-Massenkonzentrationen mittels ICP-MS bestimmt (Mg, Ca, Al, Fe, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Cd, Ba, Pb, Al). Tab. 6 listet die Analysenergebnisse auf und Tab. 5 zeigt die Teufenlage der 7 untersuchten Proben, von denen 2 aus dem Humus, 3 aus dem A-Horizont und 2 dem C<sub>1</sub>-Horizont entstammen.

## 6 Ergebnisse

### 6.1 Allgemeine Charakterisierung der Vegetation des Weinbergs

Der West- und der Südhang des Burgörner Weinbergs sind im Unterhangbereich von der Talsohle (Wipperniveau, ca. 155 m NN) bis ca. 180 m NN mit Wohnhäusern und Gärten bebaut (Hüttenberg und Lindenberg). Die östliche und nordöstliche Begrenzung des Weinbergs stellt in etwa der Gleisverlauf der

ehemaligen Werksbahn vom Eduardschacht zum ehemaligen Kupferkammer- bzw. Bleihüttengelände dar. Dieses Areal im Norden und Nordwesten des Weinbergs wurde größtenteils durch Erdauftrag gesichert und liegt zurzeit brach.

Das Untersuchungsgebiet am Weinberg umfasst 3 Teilbereiche: das Gebiet zwischen der Halde LL 31 Z und der ehemaligen Zinkvitriolanlage auf dem Gelände der Bleihütte (Teilfläche 1: 0,9 ha), den mittleren und oberen Westhang des Weinbergs zwischen der Halde LL 31 Z und der südlichen Hangkante zum Dorf Burgörner hin (Teilfläche 2: Mittel- und Oberhang: 2,6 ha) sowie das Hangplateau (Teilfläche 3: 7,7 ha). Zwischen den Teilflächen 1 und 2 liegt die Halde LL 31 Z. Das dazugehörige Lichtloch 31 des Zabenstedter Stollens war von 1852 bis 1860 in Förderung (HEBESTEDT, pers. Mitt.).

Die Teilfläche 1 ist durch einen lichten Aufwuchs von Birken, Espen und Hybridpappeln charakterisiert, wobei letztere deutliche Schädigungen aufweisen. Hüttenstaubauflagerungen sind hier nicht mehr erkennbar. In gehölzfreien Bereichen wird die Krautschicht großflächig von *Minuartia verna* und in beschatteten Sukzessionsbereichen von *Armeria maritima* ssp. *halleri* dominiert.

Am mittleren Westhang (Teilfläche 2; Abb. 3), der ebenfalls durch ausgedehnte Schwermetallfluren charakterisiert ist, befand sich nach dem „Situationsplan von Kupferkammerhütte und nächster Umgebung“ (1869) die Obstplantage des Gutes Burgörner, deren Pflaumen- und Süßkirschenbäume laut FREYTAG bereits im Sommer 1870 entweder abgestorben oder im Absterben begriffen waren. Es kann davon ausgegangen werden, dass das Gelände in der Folgezeit nicht mehr als Plantage genutzt werden konnte, da der weitere Ausbau der Kupferkammerhütte erst noch bevorstand und sich die Belastungssituation dadurch weiter verschlechterte. Die heute in diesem Bereich vereinzelt anzutreffenden Gehölze (zum Beispiel *Lonicera xylosteum*, *Tilia cordata*, *Ulmus minor*, *Acer campestre*, *Acer pseudoplatanus*) sind zum größten Teil die Reste einer Anfang der 1990er Jahre erfolgten Aufforstungsmaßnahme. Sie zeigen starke chlorotische Schäden und Nekrosen sowie ein äußerst geringes Wachstum. Auf natürliche Sukzession dürften nur Einzelbäume von *Betula pendula* zurückgehen, deren Alter auf maximal 15 Jahre geschätzt werden kann (Abb. 2 und 3). Gelegentlich anzutreffende Sämlinge von *Quercus* sp. und *Acer* sp. überstehen nach den Beobachtungen der Jahre 2004–2006 den ersten Sommer nicht, was allerdings nicht nur auf abiotische Faktoren, sondern auch auf Wildverbiss zurückzuführen sein kann.

In Teilbereichen des oberen Mittelhangs entwickelt sich seit 1990 ein dichter Birkenpionierwald (Abb. 3). Allerdings ist, vor allem im südwestlichen Bereich, zum Teil keine Bodenvegetation ausgebildet. Vermutlich ist die Beschattung für die Schwermetallpflanzen bereits zu groß, für schattentolerante Kräuter sind wiederum die Massenkonzentrationen der (Semi-)Metalle im Boden zu hoch. Daher kommt es dort zu starken Erosionserscheinungen bis hin zu Bodenfließen (Solifluktion, Abb. 4).

Im Übergangsbereich zwischen Mittel- und Oberhang befindet sich ein etwa 10–20 m breiter Krüppel-eichensaum (mit *Quercus robur*, *Q. petraea* und vereinzelt *Q. rubra*). Das Eichenlaub bildet in diesem Saum stellenweise eine bis zu 25 cm dicke Schicht aus wenig bis nicht zersetztem Moder. Die Bäume selbst zeigen atypisches Wachstum: eine Hauptachse fehlt, sie sind bereits über dem Boden stark verzweigt, max. 3 m hoch und haben nur einen geringen Holzzuwachs. Dieses für Eichen und Hainbuchen typische Phänomen der „falschen Hexenbesen“ kommt dadurch zustande, dass durch den Wegfall der Apikaldominanz infolge absterbender Spitzentriebe sämtliche Seitenknospen der Äste austreiben, was zur Ausbildung zahlreicher Triebe auf engstem Raum führt. Die Beschädigung der Blätter bewirkt wiederum Wachstumsbeeinträchtigungen mit nachfolgendem Vertrocknen und Absterben der Zweige (ERNST & JOOSSE-VAN DAMME 1983).

Im Bereich des mittleren und oberen Oberhangs sowie auf dem Weinbergplateau (Teilfläche 3) dominiert ein gut entwickelter, lichter Birkenpionierwald, der aber immer wieder von zum Teil großflächigen Schwermetallrasen unterbrochen ist (Abb. 5). Die Krautschicht in diesem Birken-Vorwald wird flächendeckend noch von *Armeria halleri* dominiert, *Minuartia verna* ist dort aufgrund ihrer fehlenden Schattentoleranz schon größtenteils verdrängt. In einigen Bereichen sind größere Reinbestände von *Robinia pseudoacacia* und *Quercus rubra* ausgebildet, die wahrscheinlich auf frühere Anpflanzungen zurückgehen.



Abb. 2 Blick von der Halde des LL 31 Z nach Süden auf den mittleren Westhang des Weinbergs im September 1999. Der Vegetationsaspekt ist durch Schwermetallrasen (*Armerietum halleri*) geprägt. Unterhalb des Zaunes befindet sich die Aufforstungsfläche.

Fig. 2 View from the heap LL 31 Z to the south over the middle Weinberg slope (September 1999). Slope aspect is characterized by metalicolous vegetation (*Armerietum halleri*). The afforestation site is located beneath the fence.



Abb. 3 Blick vom gleichen Standort im September 2006. Deutlich erkennbar ist die starke Birkensukzession im Übergangsbereich von Mittel- und Oberhang (links). Die starkwüchsigen Einzelgehölze am Mittelhang sind vor allem Birken und Holzbirnen. Die Krautschicht besteht immer noch ausschließlich aus Schwermetallrasen. Die Pfeile kennzeichnen die Lage der Dauerbeobachtungsflächen. Im Hintergrund befindet sich die Kupfer-Silber-Hütte.

Fig. 3 View from the same place in September 2006. The intense succession of birch trees in the transition between middle and upper slope is clearly visible on the left hand. The fast-growing tree individuals on the middle slope are mainly birches and wild pears. In the herb layer metalicolous vegetation is still dominant. The permanent plots are marked by arrows. The Kupfer-Silber-Hütte smelter is located in the background.

Auf der inzwischen fast vollständig bewachsenen Halde des LL 31 Z konnten im Oberboden keine Flugstaubablagerungen festgestellt werden. Die ursprüngliche Bergehalde umfasst ein Volumen von 63.000 m<sup>3</sup> und soll als Mischdeponie zur Ablagerung von Stäuben und Schlämmen der Bleihütte sowie Erdaushub,



Abb. 4 Solifluktionserscheinungen im Übergangsbereich von Mittel- und Oberhang des westlichen Weinbergs (13.6.2006)

Fig. 4 Solifluction at the transition between middle and upper slope of the western Weinberg hill (13.6.2006)



Abb. 5 Auf natürliche Sukzession zurückgehender Birken-Vorwald im Oberhangbereich (13.6.2006). Die kümmerlichen Ahorn-Bäumchen im Vordergrund gehen noch auf die Aufforstung im Jahr 1993 zurück. In unbeschatteten Bereichen wird die Krautschicht großflächig von *Minuartia verna* dominiert, die im Halbschatten der Birken von *Armeria maritima* ersetzt wird.

Fig. 5 Birch succession at the upper slope region (13.6.2006). The lean *Acer* saplings in the foreground are remnants of the afforestation in 1993. *Minuartia verna* which is dominant in open sites is replaced by *Armeria maritima* in half-shaded birch understorey.

Bauschutt, Ofenbruch und metallhaltigen Zwischen- und Abprodukten genutzt worden sein (GFE 1991). Mitte der 1990er Jahre erfolgte auf dem Haldenplateau ein Erdauftrag mit anschließender Anpflanzung von Eschen, die inzwischen den Vegetationsaspekt bestimmen. In der Krautschicht dominieren ruderales Arten, am südlichen Haldenhang kommen auch einige Trockenrasenelemente hinzu (Tab. 4). Flächige Schwermetallrasen sind auf der Halde (nicht mehr?) ausgebildet, vereinzelt kommen aber *Minuartia verna* und *Armeria maritima* vor. Die dem Weinberg nächstgelegenen sekundären Standorte von Schwermetallvegetation befinden sich ca. 200 m westlich im Wippertal (Lichtloch- und Schlackehalden) sowie ca. 800 m östlich im ehemaligen Bergrevier Preußische Hoheit (Kupferschiefer-Kleinhalden).

## 6.2 Schwermetallvegetation am Weinberg-Westhang (*Armerietum halleri* Libb. 1930)

Das am Westhang des Weinbergs (Teilfläche 2) ausgebildete *Armerietum halleri* Libb. 1930 ist, verglichen mit der typischen Ausprägung auf den mittelalterlichen Kupferschieferhalden, eine sehr artenarme Variante mit der Dominanz von *Armeria maritima*, *Silene vulgaris* und *Minuartia verna* (vgl. Tab. 2 und 3). Hochstete Begleiter sind lediglich *Agrostis stolonifera* und *Festuca ovina* agg. Eine Reihe von steten Blütenpflanzenarten des typischen *Armerietum halleri* fehlen, so *Koeleria macrantha*, *Thymus praecox*, *Campanula rotundifolia*, *Euphorbia cyparissias*, *Achillea millefolium*, *Scabiosa ochroleuca*, *Hieracium pilosella*, *Dianthus carthusianorum*, *Potentilla tabernaemontani*, *Galium verum*, *Cirsium acaule*, *Carlina vulgaris*, *Asperula cynanchica*, *Potentilla heptaphylla* und *Euphrasia officinalis* (alle Stetigkeitsklasse III, 40–60 %, SCHUBERT 2001).

Auch die Moos- und Flechtenflora ist im Gebiet mit fünf bzw. drei Arten arm und nur sehr kümmerlich entwickelt (Tab. 2). Die vorkommenden Arten *Ceratodon purpureus*, *Cirriphyllum piliferum*, *Hypnum cupressiforme*, *Pottia bryoides*, *Pottia truncata*, sowie *Cladonia coniocraea*, *Cladonia furcata* und *Cladonia pyxidata* sind in Mitteldeutschland weit verbreitet und haben eine große ökologische Amplitude. Von den steten Moosarten des *Armerietum halleri* ist lediglich *Ceratodon purpureus* (Stetigkeitsklasse III) vertreten; *Bryum caespiticium* fehlt ebenso wie die Flechtenarten *Cladonia alcicornis*, *Cladonia chlorophaea* und *Peltigera rufescens* (alle Stetigkeitsklasse III).

Wie der Vergleich der Vegetationsaufnahmen (Tab. 2 und 3) und der Bodenprofile auf den DBF zeigt, ist der Einfluss der Hüttenstäube auf die Vegetation im Bereich des oberen Mittelhangs, bei etwa 190–200 m NN, besonders stark. Das Bodenprofil der in diesem Bereich liegenden DBF 3 (Tab. 5) zeigt eine Hüttenstaubaufflage von bis zu 15 cm Stärke über Podsol. Eine Rohhumusaufflage ist nicht ausgebildet. Das *Armerietum halleri* ist dort besonders artenarm und setzt sich nur aus den drei Charakterarten sowie *Agrostis stolonifera* und *Rumex acetosa* zusammen. Der mittlere Deckungsgrad beträgt 60 % (Tab. 3). Gehölzaufwuchs konnte im gesamten oberen Mittelhangbereich bis auf diesjährige Sämlinge von *Acer pseudoplatanus* nicht festgestellt werden.

Tab. 2 Vegetationsaufnahmen auf den Dauerbeobachtungsflächen am Westhang des Weinbergs (2004–2006)

Tab. 2 Vegetation records at the permanent plots on the western slope of the Weinberg hill (2004–2006)

DBF	1			2			3			4		
<b>Hochwert</b>	5721923			5721904			5721897			5721876		
<b>Rechtswert</b>	4466248			4466277			4466286			4466332		
<b>Fläche</b>	25 m <sup>2</sup>			25 m <sup>2</sup>			25 m <sup>2</sup>			25 m <sup>2</sup>		
<b>Exposition</b>	5° W			15° W			25° W			5° W, leicht wellig		
<b>Jahr</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
<b>Datum</b>	24.7.	10.7.	13.6.	24.7.	10.7.	13.6.	24.7.	10.7.	13.6.	24.7.	10.7.	13.6.
<b>Deckungsgrad (%)</b>	95	60	80	95	75	90	50	35	50	50	25	25
<b>Artenzahl (Phan./Krypt.)</b>	16/7	15/7	12/7	7/5	7/5	8/5	5/3	5/3	5/3	14/3	13/3	15/3
<i>Armeria maritima</i> ssp. <i>halleri</i>	3	1	r	3	2	3	2	+	+	2	+	1
<i>Minuartia verna</i> ssp. <i>hercynica</i>	3	2	3	3	3	3	3	3	2	3	2	2
<i>Silene vulgaris</i> var. <i>humilis</i>	3	1	2	3	1	2	1	+	1	+	+	+
<i>Agrostis stolonifera</i>	r	1	2	+	2	3	3	3	3	2	1	1
<i>Rumex acetosa</i>	1	2	3	1	2	3	+	+	1	r	+	+
<i>Artemisia vulgare</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	r	+
<i>Brachypodium pinnatum</i>	r	.	.	.	.	.	.	.	.	r	r	+
<i>Cerastium holosteoides</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.
<i>Convolvulus arvensis</i>	r	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Daucus carota</i>	+	r	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+

DBF	1			2			3			4		
<b>Hochwert</b>	5721923			5721904			5721897			5721876		
<b>Rechtswert</b>	4466248			4466277			4466286			4466332		
<b>Fläche</b>	25 m <sup>2</sup>			25 m <sup>2</sup>			25 m <sup>2</sup>			25 m <sup>2</sup>		
<b>Exposition</b>	5° W			15° W			25° W			5° W, leicht wellig		
<b>Jahr</b>	2004	2005	2006	2004	2005	2006	2004	2005	2006	2004	2005	2006
<b>Datum</b>	24.7.	10.7.	13.6.	24.7.	10.7.	13.6.	24.7.	10.7.	13.6.	24.7.	10.7.	13.6.
<b>Deckungsgrad (%)</b>	95	60	80	95	75	90	50	35	50	50	25	25
<b>Artenzahl (Phan./Krypt.)</b>	16/7	15/7	12/7	7/5	7/5	8/5	5/3	5/3	5/3	14/3	13/3	15/3
<i>Festuca rupicola</i>	1	2	3	1	1	2	.	.	.	.	.	.
<i>Pimpinella saxifraga</i>	+	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Plantago lanceolata</i>	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Sanguisorba minor</i>	r	r	+	.	.	r	.	.	.	r	.	+
<i>Solidago canadensis</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	+	+
<i>Tussilago farfara</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	r	r
<i>Erigeron acre</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	r
<b>Flechten</b>												
<i>Cladonia coniocraea</i>	r	r	r	r	r	r	.	.	.	.	.	.
<i>Cladonia furcata</i>	2	2	2	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Cladonia pyxidata</i>	.	.	.	+	+	+	r	r	r	r	r	r
<b>Moose</b>												
<i>Ceratodon purpureus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	.	.
<i>Cirriphyllum piliferum</i>	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Hypnum cupressiforme</i>	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Pottia bryoides</i>	+	+	+	r	r	r	.	.	.	.	.	.
<i>Pottia truncata</i>	+	+	+	.	.	.	.	.	.	r	r	r
<b>Bäume und Sträucher</b>												
<b>Natürliche Sukzession</b>												
<i>Betula pendula</i>												
≤ 0,15 m	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	2
≤ 0,5 m	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	1
0,5 bis 2,0 m	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	1
2,0 bis 2,5 m	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.
2,5 bis 3,0 m	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Acer pseudoplatanus</i>												
≤ 0,20 m	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r*	r*	r*
<i>Lonicera xylosteum</i>												
≤ 0,25 m	.	.	r*	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<b>angepflanzt</b>												
<i>Acer pseudoplatanus</i>												
≤ 1,0 m	r*	r*	r*	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Ulmus minor</i>												
≤ 1,5 m	r*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
≤ 1,8 m	.	r*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
≤ 2,0 m	.	.	r*	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Tilia cordata</i>												
≤ 0,3 m	.	.	.	r*	r*	r*	.	.	.	.	.	.
≤ 0,4 m	r*	r*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
≤ 0,5 m	.	.	r*	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Lonicera xylosteum</i>												
≤ 0,5 m	r*	r*	r*	.	.	.	.	.	.	.	.	.

\* 1 Individuum

Am mittleren Mittelhang zeigt das Bodenprofil (Tab. 5) im Bereich der DBF 2 eine mit etwa 5 cm Stärke deutlich geringmächtigere Hüttenstaubaufgabe über podsoliger Braunerde als am oberen Mittelhang. Auch dieser Hangbereich ist sehr artenarm, der durchschnittliche Deckungsgrad ist aber mit 85 % deutlich höher als am oberen Mittelhang (Tab. 3). Außer den Charakterarten kommen dort die xerothermen Elemente *Festuca rupicola* und *F. brevipila* vor.

Am unteren Mittelhang im Bereich der DBF 1 ist die Hüttenstaubaufgabe über podsoliger Braunerde mit bis zu 3 cm Stärke vergleichsweise dünn (Tab. 5). Auch dort dominieren die drei Charakterarten, außer

den steten Begleitern *Agrostis stolonifera* und *Rumex acetosa* kommen als Vertreter der Trocken- und Halbtrockenrasen *Festuca rupicola*, *Plantago lanceolata*, *Pimpinella saxifraga* und *Sanguisorba minor* sowie als ruderales Element *Convolvulus arvensis* vor. Der mittlere Deckungsgrad beträgt 75 %. Auch die wenigen Gehölze am unteren Mittelhang sind die Reste des Aufforstungsversuchs.

Die DBF 4 ist nicht repräsentativ für den gesamten Oberhangbereich sondern nur für den südwestlichen Sukzessionsbereich mit stellenweise starker Bodenerosion. Hüttenstaubablagerungen konnten dort nur an wenigen Stellen in oberflächlichen Vertiefungen nachgewiesen werden. Offenbar sind die Stäube dort durch Erosion in darunter liegende Hangbereiche transportiert worden. Der mittlere Deckungsgrad auf der DBF 4 beträgt nur 33 %. Charakteristisch ist der Aufwuchs erster Gehölze (*Betula pendula*, *Acer pseudoplatanus*). Die drei Charakterarten und die steten Begleiter *Rumex acetosa* und *Agrostis stolonifera* treten auf der DBF 4 zwar noch auf, zeigen aber eine deutlich geringere Dominanz als auf den anderen DBF. Hinzu kommen neben Vertretern der Halbtrockenrasen auch einige ruderales Arten.

Im östlichen Oberhangbereich ist ebenfalls ein starker Aufwuchs von Birken und anderen Gehölzen festzustellen (Tab. 3), dazwischen liegen mosaikartig verstreut die ehemals großflächigen Schwermetallrasen. Die mittlere Artenanzahl ist dort von allen Hangbereichen am höchsten (Tab. 3). Bei einem durchschnittlichen Deckungsgrad von 80 % und einer relativ geringen Hangneigung sind keine großflächigen Erosionserscheinungen festzustellen.

Tab. 3 Stetigkeitstabelle des Armerietum halleri Libb. 1930 (Kupfer-Grasnelken-Gesellschaft) am Weinberg bei Hettstedt-Burgörner (Mansfelder Land). Angegeben sind die Gesamtstetigkeit für den Westhang (STG), die Stetigkeit (ST) sowie die Abundanzspanne (AB) in den vier Teilbereichen. Stetigkeitsklassen nach SCHUBERT (2001): Art kommt in < 20 % (I), 20-40 % (II), 40-60 % (III), 60-80 % (IV) oder 80-100 % (V) der Vegetationsaufnahmen vor. Abkürzungen: KC: Klassen-Charakterart, AC: Assoziations-Charakterart, T: Trennart

Tab. 3 Constancy table of the Armerietum halleri Libb. 1930 at the Weinberg hill near Hettstedt-Burgörner (Mansfelder Land). Total constancy at the western slope (STG), constancy class (ST) and abundance range (AB) are given. Constancy classes according to SCHUBERT (2001): Species is present in < 20 % (I), 20-40 % (II), 40-60 % (III), 60-80 % (IV) or 80-100 % (V) of the relevés. KC: character species of the vegetation class, AC: character species of the association, T: differential species

	40	Mittelhang			Oberhang					
		Unterer	Mittlerer	Oberer						
<b>Anzahl Aufnahmen</b>	40	10	10	10	10					
<b>Datum</b>		12.6.2006	13.6.2006	13.6.2006	13.6.2006					
<b>Fläche (m<sup>2</sup>)</b>		1*25, 9*4	1*25, 9*4	1*25, 9*4	1*25, 9*4					
<b>Exposition</b>		W	W	W	W					
<b>mittlere Neigung (°)</b>		5(-10)	15(-20)	25(-30)	(5-)-15(-25)					
<b>mittlerer Deckungsgrad (%)</b>		75	85	60	80					
<b>Artenzahl (gesamt)</b>	25	13	13	6	18					
<b>mittlere Artenzahl</b>		8	7	5	9					
		ST <sub>G</sub>	ST	AB	ST	AB	ST	AB		
<b>Armerion halleri Ernst 1965</b>										
<i>Armeria maritima</i> ssp. <i>halleri</i>	AC	V	V	r-3	V	1-4	IV	+3	V	+2
<i>Minuartia verna</i> ssp. <i>hercynica</i>	KC	V	V	1-4	V	r-4	V	+4	V	2-4
<i>Silene vulgaris</i> var. <i>humilis</i>	KC	V	V	1-3	V	+3	IV	+3	V	+2
stete Begleiter										
<i>Agrostis stolonifera</i>		V	V	+3	V	+4	V	+4	V	+2
<i>Rumex acetosa</i>		V	V	1-3	V	2-3	V	+2	V	+1

		Mittelhang				Oberhang		
		Unterer		Mittlerer		Oberer		
<b>Anzahl Aufnahmen</b>	40	10	10	10	10	10		
<b>Datum</b>		12.6.2006	13.6.2006	13.6.2006	13.6.2006	13.6.2006		
<b>Fläche (m<sup>2</sup>)</b>		1*25, 9*4	1*25, 9*4	1*25, 9*4	1*25, 9*4	1*25, 9*4		
<b>Exposition</b>		W	W	W	W	W		
<b>mittlere Neigung (°)</b>		5(-10)	15(-20)	25(-30)	25(-30)	(5-)15(-25)		
<b>mittlerer Deckungsgrad (%)</b>		75	85	60	60	80		
<b>Artenzahl (gesamt)</b>	25	13	13	6	6	18		
<b>mittlere Artenzahl</b>		8	7	5	5	9		
		ST <sub>G</sub>	ST	AB	ST	AB	ST	AB
<b>Festuco-Brometea Br. Bl. et Tx. 1943</b>								
<i>Festuca rupicola</i>		II	V	+4	II	+4	II	+
<i>Festuca brevipila</i>		II			I	1	IV	+3
<i>Brachypodium pinnatum</i>		I					I	+
<i>Sanguisorba minor</i>		I	II	+	I	r	I	+
<i>Plantago lanceolata</i>		I	I	+				
<i>Pimpinella saxifraga</i>	T	I	I	1				
<i>Ranunculus bulbosus</i>		I			I	r		
<b>Molinio-Arrhenatheretea R. Tx. 1937</b>								
<i>Daucus carota</i>		I					II	r+
<i>Cerastium holosteoides</i>		I					I	+
<b>Artemisietea vulgaris Lohm. et al. in R. Tx. 1950</b>								
<i>Artemisia vulgare</i>		I					I	+
<i>Erigeron acre</i>		I					I	r
<b>Agropyretea repentis Oberd. et al. 1967 in Müll. et Görs 1969</b>								
<i>Convolvulus arvensis</i>		I	II	r+				
<i>Tussilago farfara</i>		I					I	r
<b>Bäume und Sträucher</b>								
<i>Lonicera xylosteum</i>		I	II	r+				
<i>Tilia cordata</i>		I	I	+	I	r		
<i>Ulmus minor</i>		I	II	r	I	r		
<i>Betula pendula</i>		I			I	r	I	r-2
<i>Acer pseudoplatanus</i>		I			I	r	I	r+
<i>Acer campestre</i>		I					I	r
<i>Quercus</i> sp. (K)		I					I	r

### 6.3 Vegetationsdynamik

In allen drei Vegetationsperioden konnte auf dem Westhang eine starke, offenbar witterungsbedingte Vegetationsdynamik beobachtet werden. Im Frühjahr 2004 waren die Polster von *Minuartia verna* durch die lange Trockenheit im Sommer 2003 und die anschließende starke Frostperiode im Winter 2003/2004 großflächig abgestorben. Das gleiche Phänomen konnte auch auf den Kupferschieferhalden im östlich vom Untersuchungsgebiet gelegenen Revier Preußische Hoheit beobachtet werden. Bereits im September 2004 hatten sich die von *Minuartia verna* dominierten Bestände unerwartet gut regeneriert. Zu einem geringen Teil hatten die Polster wieder ausgetrieben, größtenteils hatten sich aber Sämlinge in den abgestorbenen Polstern etabliert. In der gesamten Vegetationsperiode dominierte *Armeria maritima* den Blühaspekt.

Im Jahr 2005 war vom zeitlichen Verlauf her bei *Armeria maritima* ein ähnliches Phänomen wie bei *Minuartia verna* im Vorjahr feststellbar. Im Juli waren kaum lebende Jungpflanzen oder Rosetten, dafür aber zahlreiche tote Pflanzen nachweisbar. Bereits im September war der Blühaspekt erneut von *Armeria maritima* geprägt, wenn auch deutlich schwächer als zum gleichen Vorjahreszeitpunkt. Im Frühsommer-Blühaspekt des Jahres 2006 dominierte *Rumex acetosa*.

Diese quantitativen Veränderungen im Beobachtungszeitraum spiegeln sich auch in den Vegetationsaufnahmen der drei DBF am Mittelhang wider (Tab. 2). Wesentliche qualitative Veränderungen waren hingegen nicht festzustellen. Offenbar verharrt die Sukzession der Schwermetallflur in einem Pionierstadium, das aber in seiner Artenzusammensetzung keinem der typischen Sukzessionsstadien des Armerietum halleri auf den Kupferschieferhalden (vgl. SCHUBERT 1953) entspricht.

Deutliche quantitative und qualitative Veränderungen waren auf der DBF 4 zu beobachten. Dort ist über kurz oder lang eine Entwicklung zum Birkenvorwald zu erwarten, die mit einem völligen Verschwinden der Schwermetallvegetation einhergehen wird.

Tab. 4 Gesamtartenliste (Phanerogamen und Kryptogamen) des UG. WH: Westhang (Teilflächen 1 und 2), PL: Plateau (Teilfläche 3), LL: Halde Lichtloch 31 Z (LL 31 Z)

Tab. 4 Species list (phanerogames and cryptogames) of the study area. WH: western slope (subareas 1 and 2), PL: plateau (subarea 3), LL: heap of the gallery shaft 31 Z (LL 31 Z)

Art	WH	PL	LL	Art	WH	PL	LL
1 <i>Achillea millefolium</i>		X	X	66 <i>Trifolium pratense</i>		X	
2 <i>Agrostis stolonifera</i>	X	X	X	67 <i>Trifolium repens</i>		X	
3 <i>Armeria maritima</i> ssp. <i>halleri</i>	X	X	X	68 <i>Tussilago farfara</i>	X	X	X
4 <i>Artemisia vulgaris</i>		X	X	69 <i>Vicia cracca</i>			X
5 <i>Arrhenaterum elatius</i>			X	70 <i>Vicia tetrasperma</i>	X		
6 <i>Astragalus glycyphyllos</i>		X	X	<b>Gehölze</b>			
7 <i>Brachypodium pinnatum</i>	X			71 <i>Acer campestre</i>	X	X	X
8 <i>Calamagrostis epigejos</i>	X	X	X	72 <i>Acer negundo</i>	X	X	
9 <i>Calystegia sepium</i>			X	73 <i>Acer platanoides</i>	X	X	
10 <i>Centaurea stoebe</i>			X	74 <i>Acer pseudoplatanus</i>	X	X	X
11 <i>Centaureum umbellatum</i>	X			75 <i>Aesculus hippocastanum</i>	X	X	
12 <i>Cerastium holosteoides</i>	X			76 <i>Alnus glutinosa</i>	X		
13 <i>Chenopodium strictum</i>			X	77 <i>Alnus incana</i>	X		
14 <i>Cichorium intybus</i>		X	X	78 <i>Amorpha fruticosa</i>	X	X	
15 <i>Cirsium arvense</i>		X	X	79 <i>Betula pendula</i>	X	X	X
16 <i>Cirsium vulgare</i>			X	80 <i>Clematis vitalba</i>	X		X
17 <i>Convolvulus arvensis</i>	X		X	81 <i>Cornus sanguinea</i>	X		X
18 <i>Conyza canadensis</i>		X		82 <i>Cornus mas</i>			X
19 <i>Crepis biennis</i>			X	83 <i>Corylus avellana</i>	X		X
20 <i>Crepis capillaris</i>		X		84 <i>Crataegus monogyna</i>	X		X
21 <i>Dactylis glomerata</i>			X	85 <i>Crataegus rhipidophylla</i>		X	
22 <i>Daucus carota</i>	X	X	X	86 <i>Fagus sylvatica</i>		X	
23 <i>Deschampsia flexuosa</i>		X		87 <i>Frangula alnus</i>			X
24 <i>Echium vulgare</i>		X	X	88 <i>Fraxinus excelsior</i>	X	X	X
25 <i>Epilobium angustifolium</i>		X		89 <i>Humulus lupulus</i>	X	X	X
26 <i>Equisetum arvense</i>	X		X	90 <i>Lonicera xylosteum</i>	X	X	X
27 <i>Erigeron acre</i>	X			91 <i>Lycium barbarum</i>	X		X
28 <i>Eryngium campestre</i>			X	92 <i>Pinus sylvestris</i>		X	
29 <i>Euphorbia cyparissias</i>		X	X	93 <i>Populus trichocarpa</i> x			
30 <i>Euphorbia helioscopia</i>			X	<i>P. berolinensis</i>		X	
31 <i>Euphrasia stricta</i>		X		<i>Populus tremula</i>		X	
32 <i>Falcaria vulgaris</i>		X	X	95 <i>Prunus domestica</i>		X	
33 <i>Festuca brevipila</i>	X	X		96 <i>Prunus padus</i>			X
34 <i>Festuca ovina</i>			X	97 <i>Prunus spinosa</i>		X	
35 <i>Festuca rupicola</i>	X			98 <i>Pyrus communis</i>		X	
36 <i>Galium mollugo</i>			X	99 <i>Pyrus pyraeaster</i>	X		
37 <i>Geranium robertianum</i>				100 <i>Quercus petraea</i>	X		

Art	WH	PL	LL	Art	WH	PL	LL
38 <i>Hieracium caespitosum</i>	X			101 <i>Quercus robur</i>	X		
39 <i>Hieracium laevigatum</i>	X			102 <i>Quercus rubra</i>	X		
40 <i>Hieracium pilosella</i>		X		103 <i>Ribes uva-crispa</i>			X
41 <i>Hieracium sabaudum</i>		X		104 <i>Robinia pseudoacacia</i>	X	X	X
42 <i>Hypericum perforatum</i>			X	105 <i>Rosa canina</i>			X
43 <i>Lathyrus tuberosus</i>	X		X	106 <i>Rubus caesius</i>		X	X
44 <i>Linaria vulgaris</i>		X	X	107 <i>Salix caprea</i>	X		
45 <i>Lotus corniculatus</i>		X	X	108 <i>Salix cinerea</i>		X	
46 <i>Minuartia verna</i> ssp. <i>hercynica</i>	X	X	X	109 <i>Sambucus nigra</i>	X	X	X
47 <i>Pastinaca sativa</i>			X	110 <i>Sorbus torminalis</i>	X		
48 <i>Picris hieracioides</i>			X	111 <i>Symphoricarpos albus</i>	X		X
49 <i>Pimpinella saxifraga</i>	X	X	X	112 <i>Syringa vulgaris</i>		X	
50 <i>Plantago lanceolata</i>	X		X	113 <i>Tilia platyphyllos</i>	X		
51 <i>Plantago intermedia</i>				114 <i>Tilia cordata</i>	X		
52 <i>Plantago major</i>			X	115 <i>Ulmus minor</i>	X		
53 <i>Plantago media</i>		X		116 <i>Vitis vinifera</i>		X	
54 <i>Polygonum aviculare</i>		X		<b>Moose</b>			
55 <i>Ranunculus bulbosus</i>	X			1 <i>Ceratodon purpureus</i>	X	X	
56 <i>Ranunculus repens</i>		X		2 <i>Cirriphyllum piliferum</i>	X	X	
57 <i>Reseda lutea</i>			X	3 <i>Hypnum cupressiforme</i>	X	X	
58 <i>Rumex acetosa</i>	X	X	X	4 <i>Pottia bryoides</i>	X	X	
59 <i>Rumex thyrsoiflorus</i>		X		5 <i>Pottia truncata</i>	X	X	
60 <i>Sanguisorba minor</i>	X	X	X	<b>Flechten</b>			
61 <i>Scabiosa ochroleuca</i>		X		1 <i>Cladonia coniocraea</i>	X	X	
62 <i>Silene vulgaris</i> var. <i>humilis</i>	X	X	X	2 <i>Cladonia furcata</i>	X	X	
63 <i>Solidago canadensis</i>	X	X	X	3 <i>Cladonia pyxidata</i>	X	X	
64 <i>Taraxacum officinale</i>			X				
65 <i>Tanacetum vulgare</i>			X				

#### 6.4 Massenkonzentrationen der (Semi-)Metalle

Erwartungsgemäß zeigen sich in den 4 Bodenprofilen der DBF unterschiedliche, auch teufenabhängige Massenkonzentrationen der Metalle sowie des As und Al, die im Weiteren mit dem Begriff (Semi-)Metalle zusammengefasst werden (Tab. 6). Am höchsten sind die mittleren Massenkonzentrationen in DBF 2 und nehmen dann in der Reihenfolge DBF 1, DBF 3 und DBF 4 ab. Am Beispiel von DBF 2 zeigt sich außerdem, dass die Massenkonzentrationen vom Hüttenstaub ausgehend nach unten hin abnehmen und auch im darüber liegenden Rohhumus deutlich geringer sind als im Hüttenstaub.

In den 3 untersuchten Fraktionen (mobil, leicht nachlieferbar, Residualfraktion) zeigen die 14 analysierten Elemente unterschiedliche Verhalten, die ihre Mobilität in Böden widerspiegeln (SEIM & TISCHENDORF 1990, SCHEFFER et al. 2002). Lediglich die Massenkonzentrationen von Fe, Mg und Co weichen von diesem generellen Trend ab, da sie innerhalb der Fraktionen eine deutlich geringere Varianz aufweisen. Weiterhin weichen Ni, Mg und Fe von den anderen untersuchten Elementen ab, da deren Massenkonzentrationen von unten nach oben zunehmen.

## 7 Diskussion

Der im Beitrag erstmals vorgestellte Weinberg bei Hettstedt/Burgörner ist der bislang einzige bekannte Standort von Schwermetallvegetation im Mansfelder Land, der allein durch Immissionen von Hüttenstäuben, also tertiär, entstanden ist. Aus der Literatur sind zahlreiche Beispiele bekannt, in denen Metallhüttenemissionen zu schweren und ausgedehnten Beeinträchtigungen von Vegetation, Böden und Gesundheit geführt haben (vgl. ERNST & JOOSSE-VAN DAMME 1983, DÄSSLER 1991). Dagegen sind nur sehr wenige Beispiele dokumentiert, bei denen sich auf Immissionsflächen in der Umgebung von Metallhütten großflächig Schwermetallrasen ausgebildet haben, so zum Beispiel in der Umgebung der

Tab. 5 Bodenprofile der Dauerbeobachtungsflächen am Westhang des Weinbergs

Tab. 5 Soil profiles of the permanent plots at the western Weinberg slope

	<b>DBF 1</b>	<b>DBF 2</b>	<b>DBF 3</b>	<b>DBF 4</b>
	Bodentyp: podsolige Braunerde		Bodentyp: Podsol	
A <sub>0</sub>	3 cm schwarzer, stark durchwurzelter Rohhumus (Probe 115-O)	5 cm Rohhumus (Probe 113-O)		
A	11 cm staubfeiner (wie Schluff) und feinkörniger, stark durchwurzelter schwarzbrauner Hüttenstaub; kalkfrei, pH = 7,0 1—2 cm bläulichgraue Zone	5 cm schwarzgrauer, feinkörniger Hüttenstaub, stark durchwurzelte, kalkfrei pH = 7,0 1—2 cm bläulichgraue Zone (Probe 113-A) 5 cm graubrauner, staubfeiner toniger Lehm (Schluff) mit feinsten Staubkörnchen und einzelnen Grusen, kalkfrei, stark durchwurzelte	10 cm weißgrauer, sehr feinkörniger, stark durchwurzelter Hüttenstaub; sehr wenig Quarzitgrus, größere Quarzite über 5 cm, kalkfrei, pH = 7,0 (Probe 112) 1—2 cm bläulichgraue Zone	A <sub>1</sub> : 10 cm weiß-grauer, schwach tonig-lehmiger Sand, feinste Sandteilchen (Glimmersand), mit Quarzitgrus, 2—5 cm großen Quarziten, Feuersteinen u. verwittertem, feinkörnigen Sandstein; kalkfrei, pH = 7,0 (Probe 114) A <sub>2</sub> : 30 cm gelbgrauer, schwach lehmiger Feinsand; durch Eisenoxide rostbraune Streifen und Flecke; kalkfrei; schwach durchwurzelte
B	7 cm hellbrauner bis, durch Eisenoxide, dunkelrotbrauner, dicht gelagerter sandiger Lehm, mit vereinzelt großen (1—2 cm) und kleinen Quarzitgrus, kalkfrei, durchwurzelte	7 cm graugelber bis schwarzbrauner sandiger Lehm mit feinsten Staubkörnchen; kalkfrei, pH = 6,0	5 cm grauschwarzer, sehr feinkörniger Hüttenstaub, der in hellgelben, festeren Lehm übergeht (Verdichtung durch eingeschlammten Schluff); sehr stark durchwurzelte, kalkfrei	
(B)	25 cm durch Eisenoxide dunkelbrauner, schwach sandiger und toniger Lehm mit zahlreichem Quarzitgrus (≤ 2 cm), kalkfrei	6 cm gelbbrauner feinsandiger bis grusiger Lehm; kalkfrei 9 cm durch Eisenoxide gefärbter rotbrauner grusiger Lehm; grobkörnig mit Quarziten (≤ 2 cm); kalkfrei 10 cm durch Eisenoxide gefärbter, dunkelrot-brauner, toniger Lehm	10 cm hellbrauner, sehr feinkörniger sandiger Lehm, stellenweise durch Eisenoxide rostrote Streifen, kalkfrei; Quarzitgrus (≤ 2 cm), sehr wenig Kalk 30 cm dunkelgelber (bis graugelb und hellgrauer), fein- bis grob-sandiger Lehm; Quarzite (> 5 cm), sehr wenig Kalk	60 cm feinst- (< 1 mm) und feinkörniger (≥ 1 mm) Sand; Schluff mit Tonteilchen, Übergang zu Grobsand; kalkfrei; Grus (≤ 5 mm)
C <sub>1</sub>	30 cm hellere rotbraune Schicht geht in hell graubraunen, tonigen Lehm über; sehr wenig kalkhaltig, pH = 7,5 -darunter verwittertes Lockergestein des Unteren Buntsandsteins (Probe 115-U)	8 cm lockerer, dunkelroter bis braunroter toniger Lehm mit rotem Grus (≤ 2 cm); sehr wenig kalkhaltig; pH = 7,5 (Probe 113-U)	durch Eisenoxide rötlich-gelber, schwach sandiger Lehm wechselt mit tonigem Lehm, dazwischen schwach schiefrige Lagen, kalkfrei pH = 5,0	ab 60—70 cm neben gelbem Lehm durch Eisenoxide rotbrauner, sandig-grusiger Lehm (Körnung 1—10 mm) mit verwittertem feinkörnigem Sandstein; pH = 6,0
C	Sandsteinbänke des Unteren Buntsandsteins			

Frankenscharnhütte, der späteren Bleihütte Clausthal (1554–1967; ERNST et al. 2004). Trotzdem dürfte dieses Phänomen in den Erzbergbaurevieren Mitteleuropas generell nicht selten (gewesen) sein. Die Verhüttungstechnologie war prinzipiell sehr ähnlich und aufgrund der langandauernden Abhängigkeit

Tab. 6 Ergebnisse der vereinfachten sequentiellen Extraktion nach ZEIEN (1995). Massenkonzentrationen in mg/kg Trockensubstanz. Methode: Salpetersäureaufschluss (DEV-A32), ICP/MS. Unterschiedliche Nachweisgrenzen beim gleichen Element resultieren aus unterschiedlichen Verdünnungen bei der Analytik.

Tab. 6 Results of the simplified sequential extraction according to ZEIEN (1995). Mass concentrations in mg/kg dry weight. Method: nitric acid pulping (DEV-A32), ICP/MS. Differing detection limits are due to different dilutions during analytical procedures.

Profil/ Horizont	Mg	Ca	Fe	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Cd	Ba	Pb	Al
<b>Residualfraktion: konz. HNO<sub>3</sub></b>														
DBF 1 / A <sub>0</sub>	2168	4388	10511	417	15	36,7	3105	5924	467	53,4	94,3	104	8196	10459
DBF 1 / C <sub>1</sub>	3660	2681	13387	421	7,9	65,8	70	3381	12	5,9	17,1	27,7	44	9677
DBF 2 / A <sub>0</sub>	1484	169	8422	105	6,1	21,2	331	274	120	2,3	4,1	18	942	4880
DBF 2 / A	2224	5387	10029	525	14,1	38,9	3590	11984	1090	65,2	248	84,8	15754	14479
DBF 2 / C <sub>1</sub>	2668	<153	10057	137	8,3	111	122	144	13	1,3	1,8	13,7	40	8806
DBF 3 / A	1080	820	7345	120	9,1	16,5	980	1225	503	12,9	32,7	51,4	8939	4361
DBF 4 / A <sub>1</sub>	547	<153	6098	33	1,5	7,4	97	98	21	1,3	1,3	7,1	104	5248
<b>leicht nachlieferbare Fraktion: NH<sub>4</sub>OAc, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub></b>														
DBF 1 / A <sub>0</sub>	42	354	<10	3	0,04	0,3	3	127	1,5	5,4	1,9	10,3	9	4
DBF 1 / C <sub>1</sub>	24	756	<10	4	0,01	0,3	0,3	10	0,02	1,3	1,1	2,2	0,1	<4
DBF 2 / A <sub>0</sub>	9	26	21	<2	0,02	0,1	3	13	1	0,4	0,3	2,7	44	12
DBF 2 / A	71	581	<12	9	0,1	0,5	2	416	3,9	10,4	6,9	13,5	42	8
DBF 2 / C <sub>1</sub>	7	44	12	8	0,4	0,4	5	7	0,7	0,4	0,7	1,3	1	8
DBF 3 / A	9	69	17	2	0,03	0,2	2	79	2,7	2,3	1,7	12,2	69	4
DBF 4 / A <sub>1</sub>	4	4	17	<2	0,004	0,1	2	2	0,1	0,1	0,1	1,9	3	2
<b>Mobile Fraktion: NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub></b>														
DBF 1 / A <sub>0</sub>	449	5982	<10	21	0,4	3,4	13	1431	2,5	88,4	20	123	89	3
DBF 1 / C <sub>1</sub>	244	5304	<10	6	0,01	1,2	3	49	0,02	25,9	7,4	75,6	0,3	<4
DBF 2 / A <sub>0</sub>	157	1789	<10	4	0,2	0,8	26	255	0,1	24,8	8,6	70,1	594	52
DBF 2 / A	408	7099	<10	40	0,6	2,6	9	1792	2,7	147	38,3	139	223	7
DBF 2 / C <sub>1</sub>	302	3091	<10	109	6,4	3,6	81	230	<0,1	29,4	9,9	64,1	16	168
DBF 3 / A	114	2101	<10	33	0,4	2,9	10	1233	1	67	23,8	66,7	657	31
DBF 4 / A <sub>1</sub>	165	420	<10	3	0,1	0,5	47	59	<0,1	2,4	0,6	39,6	63	133
<b>Summen der obigen</b>														
DBF 1 / A <sub>0</sub>	2659	10724	10511	441	15,4	40,4	3121	7482	471	147	116,2	237	8294	10466
DBF 1 / C <sub>1</sub>	3928	8742	13387	431	7,9	67,3	73	3441	12	33,1	25,6	105	45	9677
DBF 2 / A <sub>0</sub>	1650	1984	8443	109	6,3	22,1	361	542	121	27,5	13	90,8	1580	4944
DBF 2 / A	2703	13068	10029	574	14,8	42,1	3601	14192	1097	222	293	237	16019	14495
DBF 2 / C <sub>1</sub>	2978	3135	10070	253	15,1	115	208	381	14	31,2	12,4	79,1	57	8983
DBF 3 / A	1203	2990	7363	155	9,6	19,6	992	2537	506	82,2	58,2	130	9664	4396
DBF 4 / A <sub>1</sub>	717	425	6116	36	1,6	8,1	146	159	21	3,7	2	48,6	170	5383

von der Wasserkraft lagen die Hütten in den Revieren in der Regel in den Tälern, sodass die Staub- und Schwefeldioxid-Emissionen vor allem in den Talgründen und den Hanglagen zur Ausbildung lokaler Belastungsschwerpunkte führen mussten.

Die durchgeführten Bodenanalysen und die bereits vorliegenden Daten belegen eine starke (Semi-) Metallbelastung des Oberbodens am Weinberg in Größenordnungen, wie sie auch in der Umgebung anderer Metallhüttenstandorte gefunden wurde (z. B. GILLET & PONGE 2002, STERCKEMAN et al. 2000). Interessanter als die bisher vorliegenden absoluten Massenkonzentrationen der Metalle ist ihre tatsäch-

liche Bioverfügbarkeit, die abhängig ist vom Substrat (Bodentyp und Bodenart, Humifizierungsgrad, Feuchtigkeitsverhältnisse, Azidität) und im Verlauf der Sukzession und der Pedogenese starken Veränderungen unterliegt. Untersuchungen auf Aufforstungsflächen in der Umgebung der ehemaligen Rohkupferhütte Helbra zeigten zudem eine starke Abhängigkeit der Schwermetалldynamik vom Alter und der Zusammensetzung der Gehölzbestände (FORNACON et al. 2005). Dort gibt es im Untersuchungsgebiet noch Forschungsbedarf und die hier vorgestellten Ergebnisse stellen eine erste Bestandsaufnahme dar.

Die Auswirkungen der Hüttenstaub- und Schwefeldioxid-Immissionen am Burgörner Weinberg auf die Flora und Vegetation und damit auf die Diversität der Primärproduzenten des Gebietes wird im vorliegenden Beitrag erstmals dokumentiert. Die Freytagschen Gutachten belegen, dass bereits um 1870 deutliche Vegetationsschäden zu verzeichnen waren. Es kann angenommen werden, dass das Lindenholz zu dieser Zeit auch ohne die Immissionen der Kupferkammerhütte kein geschlossener Wald mehr gewesen wäre. Die natürliche Vegetation am Standort dürfte der Traubeneichen-Hainbuchen-Winterlinden-Wald gewesen sein. Aufgrund des starken Bedarfs an Holz zur Holzkohleproduktion für die Kupferschieferverschüttung ist es wahrscheinlich, dass die Hänge des Wippertales bereits in der Anfangszeit der Verhüttung (13./14. Jahrhundert) entwaldet wurden und dann der Sukzession überlassen waren. Ob der Weinberg in der Vergangenheit mit Weinreben bepflanzt war, ist fraglich. Wenn ja, dürfte der Weinanbau vermutlich nur auf dem Südhang nach Burgörner zu stattgefunden haben. Der Westhang wurde nachweislich bis in die 1870er Jahre als Obstplantage genutzt. Das heutige Vegetationsbild ist auf die kombinierte Wirkung von Schwefeldioxid- und Metallimmissionen auf dem Weinberg zurückzuführen. Die SO<sub>2</sub>-Emmissionen der Kupferkammerhütte, aber auch der anderen Hüttenbetriebe, dürften in Verbindung mit den Flugstaubemissionen bereits recht früh zu einer starken Schädigung und letztendlich zum Absterben der Gehölze geführt haben.

Ob sich bereits zu dieser Zeit eine Schwermetallflur ausgebildet hat, ist fraglich. Zwar sind die heute auf der Fläche dominierenden Arten metallresistent, als ausdauernde (*Armeria maritima*, *Minuartia verna*, *Silene vulgaris*) und zum Teil immergrüne Pflanzen (*Armeria maritima*) dürften jedoch auch sie erhebliche Probleme mit den SO<sub>2</sub>-Immissionen gehabt haben. Es ist deshalb durchaus denkbar, dass sich die Schwermetallfluren in ihrer jetzigen Ausdehnung erst ab 1990 (Schließung der in Hauptwindrichtung gelegenen Bessemerie) ausgebildet haben. Für eine sehr junge Besiedlung spricht auch die Armut an Flechten und Moosen im Gebiet.

Die Dominanz von wenigen, an die Standortbedingungen besonders gut angepassten und damit konkurrenzstarken Arten ist typisch für gestörte Standorte. Trotzdem ist die geringe Artenvielfalt des Armerietum halleri am Weinberg im Vergleich zu dem der Haldenstandorte etwas überraschend. Sie dürfte vor allem auf die relativ homogene Staubschicht mit hoher (Semi-)Metall-Massenkonzentration auf großer Fläche zurückzuführen sein. Im Gegensatz dazu wechselt auf den Haldenstandorten aufgrund der Schüttungstechnologie das Substrat oft sehr kleinflächig von metallreich bis metallarm bzw. -frei. Somit sind die Standortbedingungen, auch hinsichtlich der Wasser- und Nährstoffversorgung, wesentlich heterogener als am Weinberg.

Perspektivisch ist am West- und Nordwesthang des Weinbergs die Ausbildung eines Birkenpionierwaldes zu erwarten. Am Oberhang und auf dem Hangplateau wird dieser voraussichtlich innerhalb der nächsten zehn Jahre die noch vorhandenen Schwermetallrasen verdrängt haben. Fraglich ist, welches Klimaxstadium sich langfristig (eine ungestörte Entwicklung vorausgesetzt) am Weinberg einstellen wird.

Bisher nicht untersucht wurden am Standort Burgörner die Auswirkungen der (Semi-)Metallkontamination auf die Diversität der Konsumenten und Destruenten sowie mögliche Folgen der (Semi-)Metallakkumulation in den Organismen. Die am Weinberg beobachtete Biomasse-Akkumulation infolge mangelhafter Streuzersetzung ist typisch für stark kontaminierte Standorte in der Umgebung von Metallhütten. So zeigten Untersuchungen in der Umgebung der Zinkhütte von Palmerton/Pennsylvania (STROJAN 1978), dass aufgrund stark verringerter Diversität der Mikro-Arthropodenfauna die Biomasseakkumulation im A<sub>0</sub>-Horizont in einem Kilometer Entfernung von der Hütte doppelt so groß war (8,1 kg/m<sup>2</sup> bei einer Streuschicht von 12,4 cm) wie in einem gering belasteten Kontrollgebiet (3,8 kg/m<sup>2</sup> in 6 cm Streuschicht). Noch höhere Werte (7,9–13,2 kg/m<sup>2</sup>) wurden in der Umgebung der Blei-, Zink- und

Cadmiumhütte Avonmouth (England) gefunden (COUGHTREY et al. 1979). Wie diese Studie außerdem zeigt, ist die Humusanreicherung besonders stark bei hohen Zn- und Cd-Massenkonzentrationen im Boden. Zurückzuführen ist die eingeschränkte Streuzersetzung vor allem auf einen starken Rückgang der Myriapoden und Isopoden-Diversität (GRELLE et al. 2000), der Regenwürmer (GILLET & PONGE 2002) sowie der Mikroorganismen (DÄSSLER 1991) im Boden. Außer diesen quantitativen Effekten wurden auch qualitative Veränderungen im  $A_0$ -Horizont festgestellt: in der kontaminierten Umgebung von Metallhütten dominiert Moder, in unbelasteten Gebieten Mulch; der Schwellenwert liegt bei etwa 20.000 mg/kg Zn (GILLET & PONGE 2002).

Das Beispiel des Weinbergs macht deutlich, in welchem Konfliktfeld sich der Naturschutz bei Abwägung der Schutzgüter (Naturschutz vs. Umwelt- und Gesundheitsschutz) bewegen kann. Wegen ihres hohen (Semi-)Metallsalzgehaltes gehören die inselartig verstreuten und meist nur kleinflächig auftretenden Standorte der Schwermetallrasen zu den in ökologischer Hinsicht besonders interessanten Lebensräumen Mitteleuropas. Sie sind deshalb entsprechend der FFH-Richtlinie, Anhang I, geschützt (Lebensraumtyp 6130) und gehören zu den besonders geschützten Biotoptypen (§ 30 BNatSchG, § 37 NatSchG LSA). Das Armerietum halleri und eine seiner Charakterarten, *Minuartia verna* ssp. *hercynica*, sind nach den Roten Listen des Landes Sachsen-Anhalt (SCHUBERT 2004, FRANK et al. 2004) gefährdet (Kat. 3), *A. m.* ssp. *halleri* gehört zu den besonders geschützten Arten nach BArtSchV, Anhang 1.

Das Mansfelder Land stellt im mitteleuropäischen Maßstab neben dem Aachen-Stolberger Raum den wichtigsten Verbreitungsschwerpunkt der Schwermetallflora dar. Die bisher bekannten Standorte von Schwermetallvegetation im Mansfelder Land sind allerdings ausschließlich Kupferschiefer- und Schlackehalden (sekundäre Standorte; BAUMBACH 2000, SCHUBERT 1953) sowie wenige kleinflächige natürliche (primäre) Standorte (BAUMBACH 2005; BAUMBACH & VOLKMAN 2002). Tertiäre Standorte von Schwermetallvegetation, wie der durch Flugstaub-Deposition beeinflusste Weinberg bei Burgörner, sind aus dem Mansfelder Land bisher nicht bekannt. Mit einer zusammenhängenden Fläche von ca. 3,5 ha im Bereich des West- und Nordwesthangs sowie weiteren 7,7 ha mit mosaikartiger Vegetationsstruktur kann er als der größte Standort von Schwermetallvegetation im Mansfelder Land gelten. Anders als auf den inselartig verstreuten Halden bestünde dort die Möglichkeit, den Vegetationstyp Schwermetallrasen auf einer großen zusammenhängenden Fläche zu schützen und langfristig die natürliche Sukzession und die Regeneration auf solchen stark gestörten Standorten wissenschaftlich zu beobachten. Auf Initiative der beiden erstgenannten Autoren stellte der Naturschutzbeirat bei der Unteren Naturschutzbehörde (UNB) des Landkreises Mansfelder Land am 22.4.2005 deshalb einen Antrag auf Ausweisung des Weinbergs als Naturschutzgebiet. Dieser Antrag wurde, vor allem mit Hinweis auf eine aus der Metallbelastung des Gebietes resultierenden Gefährdungssituation und einer sich daraus eventuell ergebenden Sanierungsverpflichtung, abgelehnt.

Tatsächlich liegen die (Semi-)Metall-Massenkonzentrationen in den 3 Profilbereichen, in denen der Hüttenstaub ansteht, über den Prüfwerten der Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV Anh. 2, Industrie/Gewerbegrundstücke). So zeigen As und Pb gegenüber den Prüfwerten eine Anreicherung um den Faktor 8 und Cd um den Faktor 5, wohingegen Ni deutlich unter den Prüfwerten liegt. Für alle anderen untersuchten Elemente sieht die BBodSchV keine Prüfwerte vor, bzw. sind diese nicht nötig, da die Metalle nicht als potentiell toxisch angesehen werden. Gerade aus diesem Grund könnte eine langfristige wissenschaftliche Bearbeitung in einem Schutzgebiet einen Erkenntnisgewinn für derartige Standorte nach sich ziehen.

Bei den Elementen Mg, Fe und Ni zeigen die Analysendaten, dass diese nicht primär aus dem Hüttenstaub stammen, sondern aus den anstehenden Gesteinen des Unteren Buntsandsteins, da die Massenkonzentrationen in den  $C_1$ -Horizonten höher sind als im Hüttenstaub und dem Rohhumus.

Die wesentlichen Gefährdungen, die vom Standort ausgehen könnten, sind mit einem Austrag von (Semi-)Metallen auf dem Wasserpfad (Grund- und abfließendes Oberflächenwasser) oder Luftpfad (Verwehung) verbunden. Eine Belastung des Grundwassers setzt voraus, dass die Metalle in gelöster Form aus dem Oberboden dorthin gelangen. Entscheidend für die Löslichkeit und damit für die Bioverfügbarkeit ist, ob die Metalle mobil oder organisch bzw. anorganisch gebunden vorliegen. Die Mobilität von (Semi-)Metallen im Boden ist in der Regel relativ gering; Untersuchungen von GODIN et al. (1986) zeigten für Cd, Cu, Hg,

Pb und Zn eine logarithmische Abnahme der Massenkonzentration mit der Bodentiefe. In der Umgebung von Metallhütten in Nord-Frankreich (STERCKEMAN et al. 2000) wurde die Hauptkontamination von Pb, Cd und Zn in den oberen 20–30 cm der Bodenprofile gefunden, Spuren von Cd und Zn wurden bis in 2 m Tiefe nachgewiesen. Die Tiefe, bis in die die Metalle transportiert werden, nimmt zu mit ihrer Ausgangsmassenkonzentration an der Oberfläche, einer Abnahme des pH-Werts und einem Ansteigen des Sand-Gehaltes im Boden. Die Mobilität der Metalle kann wie folgt klassifiziert werden:  $Cd \gg Pb \geq Zn$ . Die Tiefe, die durch Zink erreicht wird, steigt mit einer Zunahme des organischen Kohlenstoffgehaltes im Oberflächen-Horizont. Generell begünstigt wird der vertikale Transport von Metallen im Boden durch Regenwurmgänge (STERCKEMAN et al. 2000).

Wie die sequentielle Extraktion zeigt, ist ein Austrag der (Semi-)Metalle jedoch recht unwahrscheinlich, da der Großteil der Fraktion erst im Salpetersäureaufschluss lösbar ist. Die mobile Fraktion hingegen ist außer bei Zn und Cd relativ gering. Bei der Gegenüberstellung der (Semi-)Metallgehalte und dem Pflanzenbewuchs bestätigt sich, was auch schon durch die Aufnahme der Bodenprofile deutlich wurde: erhöhte (Semi-)Metall-Massenkonzentrationen haben eine Verminderung von Artenzahl und Deckungsgrad zur Folge, was sich besonders deutlich beim Vergleich von DBF 1 und DBF 2 zeigt. Bei DBF 3 muss jedoch neben den Massenkonzentrationen der (Semi-)Metalle ein anderer Faktor von Einfluss sein: obwohl die Massenkonzentrationen der (Semi-)Metalle bei DBF 3 gegenüber DBF 2 geringer sind, sind Artenzahl und Deckungsgrad geringer. Möglicherweise ist dies dadurch bedingt, dass sich bei DBF 3 noch kein Humus gebildet hat und folglich die Wasserspeicherung weniger ausgeprägt ist als bei DBF 2.

Aufgrund der vergleichsweise geringen Niederschlagsmenge im Gebiet, der grundwasserfernen Hanglage und des lehmig-sandigen Bodens ist ein Transport von Metallen aus dem Oberboden ins Grundwasser mittelfristig unwahrscheinlich.

Der Abtransport von Stäuben durch abfließendes Oberflächenwasser ist vor allem in den vegetationsfreien bzw. -armen Bereichen am oberen Mittelhang und am unteren Oberhang relevant. Ein Austrag auf dem Luftpfad ist nur über die Verwehung von vegetationsfreien, trockenen Hüttenstäuben möglich und daher besonders in den Sommermonaten relevant. Bei einer Staubschicht von bis zu 25 cm Stärke und weniger als 50 % Deckungsgrad der Vegetation ist die Gefahr einer Verwehung besonders hoch im Bereich des oberen Mittelhangs, der zudem trockener und stärker windexponiert ist als die unteren Hangbereiche. Auf dem Hangplateau ist die Gefahr einer Auswehung von Stäuben durch die stellenweise schon sehr dichte Bestockung als relativ gering einzuschätzen.

Die radiologische Belastung der Hüttenstandorte und ihrer Umgebung resultiert vor allem aus einer Anreicherung des Betastrahlers  $^{210}\text{Pb}$  und seiner kurzlebigen Zerfallsprodukte ( $^{210}\text{Bi}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ) im Oberboden.  $^{210}\text{Pb}$  wurde zum größten Teil in verschiedenen Verhüttungsprozessen freigesetzt, als Kontaminationsquellen kommen aber auch mehrere, ehemals offene Hüttenstaubdeponien (vor allem im Wippertal) in Betracht. Im Untersuchungsgebiet wurden zwischen 1993 und 1995 im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz die Gehalte relevanter Radionuklide im Oberboden (bis 10 cm Tiefe) untersucht (GFE 1993, 1995). Das Umfeld der Bleihütte weist bis zu einer Entfernung von 3 km erhöhte Gehalte an  $^{210}\text{Pb}$  auf, wobei diese mit der Entfernung vom ehemaligen Hüttenstandort logarithmisch abnehmen (WICHTEREY 1993).

Im Gebiet des Weinbergs wurden an 23 von 148 Messpunkten Aktivitäten von  $^{210}\text{Pb} > 200 \text{ Bq/kg}$  nachgewiesen, im Mittel betrug die Aktivität von  $^{210}\text{Pb}$   $127 \text{ Bq/kg}$ . Bei einer Halbwertszeit des  $^{210}\text{Pb}$  von ca. 22 Jahren dürften sich die Aktivitäten inzwischen halbiert haben. Damit wird in spätestens 80 Jahren die radioaktive Belastung bis auf den geogenen Hintergrundwert (in Sachsen-Anhalt  $60$ – $80 \text{ Bq/kg}$ , K. WICHTEREY (BfS), pers. Mitt.) abgeklungen sein. Somit besteht nach dieser Zeit keine erhöhte radiologische Belastung mehr, allerdings ist das nun stabile Blei ( $^{206}\text{Pb}$ ) nach wie vor im Boden und kann physiologisch wirksam werden. Die durch Gammastrahler verursachte  $\gamma$ -Ortsdosisleistung betrug im Mittel  $111 \text{ nS/h}$  (geogener Hintergrundwert in Sachsen-Anhalt ca.  $100 \text{ nS/h}$ ) und erreichte an keinem der 48 Messpunkte den Wert von  $300 \text{ nS/h}$ , bei dem im Falle einer Nutzung Handlungsbedarf bestehen würde.

Generell kann festgestellt werden, dass allein durch das Aufhalten auf der Fläche keine Gesundheitsgefährdung gegeben ist. Dies gilt allerdings nur eingeschränkt, da für dort spielende (Klein)Kinder die Gefahr

der Ingestion von Stäuben oder Schlämmen besteht. Ein Transport von metallhaltigem Substrat auf die am westlichen und südlichen Unterhang gelegenen Grundstücke kann nicht völlig ausgeschlossen werden, dürfte aber mit fortschreitender Sukzession immer unwahrscheinlicher werden.

## 8 Schlussfolgerungen

Das Gebiet des Burgörner Weinbergs wird noch auf eine lange Zeit durch eine hohe Massenkonzentration der (Semi-)Metalle im Boden gekennzeichnet sein. Aufgrund der Größe der kontaminierten Fläche kommt ein Bodenaustausch oder eine Abdeckung mit kulturfähigem Substrat nicht in Frage. Die Gefahr der Mobilisierung der Metalle auf dem Wasser- oder Luftpfad dürfte aufgrund der Ergebnisse aus der sequentiellen Extraktion und den Erfahrungen aus anderen Gebieten als relativ gering einzuschätzen sein, sollte aber dennoch an besonders exponierten Stellen geprüft werden.

Durch die von den Autoren vorgeschlagene Ausweisung des Weinbergs als Naturschutzgebiet ergäbe sich zum einen die Möglichkeit, Sukzessionsabläufe auf hochgradig kontaminierten Flächen sowie Regenerationsprozesse in den geschädigten Biozöosen über längere Zeiträume wissenschaftlich beobachten zu können, zum anderen wäre durch den Schutzstatus eine menschliche Nutzung der Flächen und damit eine mögliche Gesundheitsgefährdung weitgehend ausgeschlossen.

## 9 Zusammenfassung

BAUMBACH, H.; VOLKMANN, H.K.M.; WOLKERSDORFER, C.: Schwermetallrasen auf Hüttenstäuben am Weinberg bei Hettstedt-Burgörner (Mansfelder Land) – Ergebnis jahrhundertelanger Kontamination und Herausforderung für den Naturschutz. – *Hercynia N.F.* 40 (2007): 97–109.

Am Weinberg (Hettstedt-Burgörner, Mansfelder Land, Sachsen-Anhalt) haben sich in der Umgebung der ehemaligen Kupferkammer-Bleihütte auf einer Gesamtfläche von 11 ha Hüttenstäube abgelagert. Am Westhang des Weinbergs sind diese Staubablagerungen, die sich durch hohe Gehalte an Zink, Blei, Kupfer, Arsen und Cadmium auszeichnen, bis zu 25 cm stark. Dort sind großflächig Schwermetallrasen (*Armeria halleri*) ausgebildet, die im Vergleich zu den Schwermetallpflanzengesellschaften auf den mittelalterlichen Kupferschieferhalden besonders artenarm sind und von *Armeria maritima* ssp. *halleri*, *Minuartia verna* ssp. *hercynica* und *Silene vulgaris* var. *humilis* dominiert werden. Das heutige Vegetationsbild ist nicht nur auf die Metallkontamination zurückzuführen, sondern auch auf SO<sub>2</sub>-Emissionen der ehemaligen Bleihütte, der Kupfer-Silber-Hütte mit Bessemerie sowie des Walzwerkes, die sich ebenfalls in der Nähe des Standortes befanden. Der Weinberg kann als der größte Standort von Schwermetallvegetation im Mansfelder Land gelten und sollte als Naturschutzgebiet ausgewiesen werden. Dadurch ergäbe sich zum einen die Möglichkeit, Sukzessionsabläufe auf hochgradig kontaminierten Flächen sowie Regenerationsprozesse in den geschädigten Biozöosen über längere Zeiträume wissenschaftlich beobachten zu können, zum anderen wäre durch den Schutzstatus eine menschliche Nutzung der Flächen und damit eine mögliche Gesundheitsgefährdung weitgehend ausgeschlossen.

## 10 Danksagung

Bei Frau Karin Wichterey (Bundesamt für Strahlenschutz, Berlin), Herrn Elmar Hebestedt (Hinweise zur Montangeschichte der Hettstedter Hütten), Dr. Stefan König (Hinweise zur Geologie des Gebietes), Herrn Gunnar Korte (Erstellung der GIS-Karte) sowie Herrn Prof. Dr. R. Schubert (Nachbestimmung der Flechten- und Moosarten) möchten wir uns für ihre Unterstützung recht herzlich bedanken. Die sequentielle Extraktion wurde am Geologischen Institut der TU Bergakademie Freiberg (Lehrstuhl für Hydrogeologie) durchgeführt und die Proben in Tharandt, an der Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften der TU Dresden analysiert.

## 11 Literatur

- ARGE TÜV Bayern/L.U.B. Lurgi (1991): Abschlußbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben Umweltsanierung des Großraumes Mansfeld. – Lutherstadt Eisleben.
- BAUMBACH, H. (2000): Beitrag zur Flora und Vegetation von Bergbau-, Hütten- und Stollenhalden im Mansfelder und Sangerhäuser Revier. – Schr.R. des Mansfeld-Museums N.F. **5**: 105-118.
- BAUMBACH, H. (2005): Genetische Differenzierung mitteleuropäischer Schwermetallsippen von *Silene vulgaris*, *Minuartia verna* und *Armeria maritima* unter Berücksichtigung biogeographischer, montanhistorischer und phytologischer Aspekte. Dissertationes Botanicae 398. – Stuttgart.
- BAUMBACH, H.; 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.
- COUGHTREY, P. J.; JONES, C. H.; MARTIN, M. H.; SHALES, S. W. (1979): Litter accumulation in woodlands contaminated by Pb, Zn, Cd and Cu. – *Oecologia* (Berl.) **39**: 51-60.
- DÄSSLER, H.-G. (1991): Einfluß von Luftverunreinigungen auf die Vegetation. 4. Auflage. – Jena.
- DUFFUS, J. H. (2002): „Heavy metals“ – A meaningless term? – *Pure Appl. Chem.* **74** (5): 793-807.
- EISENÄCHER, W.; KLETTE, W.; PROHL, H. (1999): Vom Kupferschiefer zum Metall – Die Verhüttung. In: Autorenkollektiv: Mansfeld: die Geschichte des Berg- und Hüttenwesens. – Veröff. Dt. Bergbau-Museum Bochum **80**: 205-359.
- ERNST, W.; JOOSSE-VAN DAMME, E. (1983): Umweltbelastung durch Mineralstoffe. – Jena.
- ERNST, W.; KNOLLE, F.; KRATZ, S.; SCHNUG, E. (2004): Aspects of ecotoxicology of heavy metals in the Harz region – a guided excursion. – *Landbauforschung Völkenrode* **54**: 530-571.
- FORNACON, C.; FRÜHAUF, M.; SCHUMANN, H. (2005): Beitrag zur Schwermetallodynamik auf aufgeforsteten Standorten im Einflussbereich der ehemaligen August-Bebel-Hütte in Helbra (Mansfelder Land). – *Hercynia* N.F. **38**: 197-207.
- FRAHM, J.-P.; FREY, W. (2004): Moosflora. 4. Neubearb. Auflage. – Stuttgart.
- FRANK, D.; HERDAM, H.; JAGE, H.; JOHN, H.; KISON, H.-U.; KORSCH, H.; STOLLE, J. (2004): Rote Liste der Farn- und Blütenpflanzen (Pteridophyta et Spermatophyta) des Landes Sachsen-Anhalt. – Ber. Landesamt Umweltschutz Sachsen-Anhalt **39**: 91-110.
- FREYTAG, M. (1870): Wissenschaftliches Gutachten über den Einfluß, welchen die Hüttenwerke der Mansfelder Kupferschieferbauenden Gewerkschaft in dem Wipperthal zwischen Mansfeld und Hettstedt auf die Vegetation der benachbarten Grundstücke und indirect auf Menschen und Thiere ausüben. – Eisleben.
- FREYTAG, M. (1873): Wissenschaftliches Gutachten über den Einfluß, welchen die Hüttenwerke der Mansfelder Kupferschieferbauenden Gewerkschaft in dem Wipperthal zwischen Mansfeld und Hettstedt während der Jahre 1871 und 1872 auf die Vegetation der benachbarten Grundstücke und indirect auf Menschen und Thiere ausgeübt haben. – Eisleben.
- FREYTAG, M. (1878): Wissenschaftliches Gutachten über den Einfluß, welchen die Eckardthütte bei Leimbach im Wipperthale während der Jahre 1873 bis 1877 auf die Vegetation der benachbarten Grundstücke und indirect auf Menschen und Thiere ausgeübt hat, unter besonderer Berücksichtigung der Betriebsveränderungen während dieses Zeitraums. – Eisleben.
- GODIN, P.; FEINBERG, M.; DUCAUZE, C. (1986): Modelling of soil contamination by airborne lead and cadmium around several emission sources. – *Environmental Pollution* **10**: 97-114.
- GFE (1991): Altlastenkataster Südregion – Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten. Ergebnisbericht Verdachtsfläche Mansfelder Mulde. – GFE GmbH Halle, i. A. des Bundesamtes für Strahlenschutz.
- GFE (1993): Altlastenkataster Südregion – Ergebnisbericht Sonderverifikation mit Meßprogramm in der Verdachtsfläche 1, Mansfelder Mulde. – GFE GmbH Halle, i. A. des Bundesamtes für Strahlenschutz.
- GFE (1995): Ergebnisbericht über die Auswertung der im Rahmen des radiologischen Meßprogrammes Hettstedt durchgeführten Untersuchungen. – GFE GmbH Halle, i. A. des Bundesamtes für Strahlenschutz.
- GILLET, S.; PONGE, J. F. (2002): Humus forms and metal pollution in soil. – *European J. Soil Science* **53**: 529-539.
- GRELLE, C.; FABRE, M.-C.; LEPRETRE, A.; DESCAMPS, M. (2000): Myriapod and isopod communities in soils contaminated by heavy metals in northern France. – *European J. Soil Science* **51**: 425-433.
- GROSSPIETSCH, W. (2003): Hauptabschnitte der Betriebsentwicklung. In: Das Walzwerk Hettstedt – Beiträge zu seiner Geschichte. – Schr.R. Mansfeld-Museum N.F. **7**: 9-13.
- HEBESTEDT, E. (2002): Die Kupferkammerhütte bei Hettstedt. – Schr.R. Mansfeld-Museum N.F. **6**: 9-37.
- POTT, R. (1995): Die Pflanzengesellschaften Deutschlands. 2. Auflage. – Stuttgart.
- SCHAEFFER, F.; SCHACHTSCHABEL, P.; BLUME, H.-P.; BRÜMMER, G.; SCHWERTMANN, U.; HORN, R. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde. 15. Auflage. – Spektrum Heidelberg.
- SCHROEDER, J. VON; REUSS, C. (1883): Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch und die Oberharzer Hüttenrauchschäden. – Berlin.

- SCHUBERT, R. (1953): Die Schwermetallpflanzengesellschaften des östlichen Harzvorlandes. – Wiss. Z. Martin-Luther- Univ. Halle-Wittenberg, Math.-Naturwiss. Reihe **3** (1): 51-70.
- SCHUBERT, R. (2001): Prodrromus der Pflanzengesellschaften Sachsen-Anhalts. – Mitt. florist. Kart. Sachsen-Anhalt, Sonderheft 2.
- SCHUBERT, R. (2004): Rote Liste der Blütenpflanzengesellschaften des Landes Sachsen-Anhalt. – Ber. Landesamt Umweltschutz Sachsen-Anhalt **39**: 111-122.
- SCHUBERT, R.; HILBIG, W.; KLOTZ, S. (2001): Bestimmungsbuch der Pflanzengesellschaften Deutschlands. – Heidelberg.
- SEIM, R.; TISCHENDORF, G. (1990): Grundlagen der Geochemie. – Leipzig.
- STERCKEMAN, T.; DOUAY, F.; PROIX, N.; FOURRIER, H. (2000): Vertical distribution of Cd, Pb and Zn in soils near smelters in the north of France. – Environmental Pollution **107**: 377-389.
- STROJAN, C. L. (1978): Forest leaf litter decomposition in the vicinity of a zinc smelter. – Oecologia (Berl.) **32**: 203-212.
- WEGE, F. W. (2000): Das Haldenkonzept der Landkreise Mansfelder Land und Sangerhausen. In: Bergbau- und Rückstandshalden des Mansfelder Kupferschieferbergbaus. – Schr.R. Mansfeld-Museum (Hettstedt) N.F. **5**: 2-13.
- WICHTEREY, K. (1993): Radioaktive Umweltkontamination durch die Verhüttung von Kupfererzen im Mansfelder Raum. – BfS-Jahresbericht: 143-144.
- WIRTH, V. (1995): Flechtenflora. 2. neubearb. u. erg. Auflage. – Stuttgart.
- WISSKIRCHEN, R.; HAEUPLER, H. (1998): Standardliste der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands. – Stuttgart.
- ZEIEN, H. (1995): Chemische Extraktionen zur Bestimmung der Bindungsformen von Schwermetallen in Böden: Bonner bodenkundliche Abhandlungen 17. – Diss. Univ. Bonn.

Gesetze und Verordnungen:

- BArtSchV (Verordnung zum Schutz wildlebender Tier und Pflanzenarten) vom 16.2.2005
- BBodSchV (Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung) vom 12.7.1999, zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 23.12.2004
- BNatSchG (Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege) vom 25.3.2002, zuletzt geändert durch Art 40 G v. 21.6.2005 I 1818
- FFH-Richtlinie (Richtlinie 92/43/EWG des Rates zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen) vom 21. Mai 1992
- NatSchG LSA (Naturschutzgesetz des Landes Sachsen-Anhalt) vom 23.7.2004, zuletzt geändert durch Gesetz vom 20.12.2005, GVBl. LSA 2005, S. 769, 801

*Manuskript angenommen: 3. Januar 2007*

Adressen der Autoren:

Dr. Henryk Baumbach

Universität Potsdam, Institut für Biochemie und Biologie, Biozönoseforschung/Spezielle Botanik

Maulbeerallee 1, D-14469 Potsdam

e-mail: baumbach@uni-potsdam.de

Dr. Horst K. M. Volkmann

Bucherstraße 2, D-06295 Lutherstadt Eisleben

Prof. Dr. Christian Wolkersdorfer

Ludwig-Maximilians-Universität München, Department für Geo- und Umweltwissenschaften,

AG Hydrogeologie und Umweltgeologie

Luisenstr. 37, D-80333 München

e-mail: wolkersdorfer@lmu.de

**GODET, J.-D.: Alpenpflanzen nach Farben bestimmen.** – Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 2006. 256 Seiten, paperback. – ISBN-10: 3800153157. Preis: 12,90 Euro.

Das vorliegende Buch versteht sich als bewusst einfach gehaltene, erste Einführung zu den Alpenpflanzen und stellt 304 von ihnen in Habitusaufnahmen und Detailfotografien vor. Behandelt werden Farne und Samenpflanzen; Gehölze und „grasähnliche“ Pflanzen sind nicht darunter. Ein kurzes Einleitungskapitel beschreibt die Besonderheiten des Lebensraumes, den Bau der Pflanzen und den Gebrauch des Buches. An den Bildteil schließt sich der Textteil mit Angaben zu den Arten an. Die Auswahl der Arten ist nicht ungeschickt und der Anfänger kann durchaus zu einigen Ergebnissen kommen. Zwangsläufig werden sich viele Pflanzen nicht bestimmen lassen (dafür gibt es umfangreicherer Werke als Alternative, aber zu einem höheren Preis), auch wird das Bestimmen nach Farben nicht ganz so einfach sein wie es der Klappentext vorgibt. Wenn man zwischen weiß und gelb unterscheiden soll, wird es bei cremefarbenen Blüten oder zweifarbigen schwierig und man muss doch das ganze Buch durchblättern. Ähnlich ist es bei der Unterscheidung zwischen Blüten rot oder blau, auch wird man verwundert feststellen, z.B. *Aquilegia einseiliana* bei den rotblühenden Pflanzen zu finden. So stößt der interessierte Laie rasch an Grenzen – weniger die eigenen, denn die des Büchleins.

Martin RÖSER, Halle (Saale)

**BAUMANN, H., KÜNKELE, S. & LORENZ, R.: Orchideen Europas mit angrenzenden Gebieten.** – Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 2006. 333 Seiten, paperback. – ISBN-10: 3800141620. Preis: 19,90 Euro.

Dieser neue Orchideenfürer aus der Feder bekannter Autoren ist mit fast 640 Farbfotos reich und schön bebildert. 219 Unterarten und 233 Unterarten werden für das Gebiet vorgestellt. Die Texte zu den Taxa enthalten morphologische Beschreibungen, Synonyme, sowie Angaben zu Blütezeit, Variabilität, Verwechslungsmöglichkeiten, Vorkommen, Areal und Gefährdung. Als Nachteil ist anzusehen, dass vom Gebrauch von Bestimmungsschlüsseln komplett abgesehen wird, mit Ausnahme eines zweiseitigen Schlüssels zu den Gattungen. Ob es gelingen kann, in bekanntermaßen „schwierigen“ Gattungen, von denen es bei den Orchideen etliche gibt, allein anhand von Fotografien zu sicheren Bestimmungsergebnissen zu kommen, dürfte zu bezweifeln sein. Dass es möglich ist, solche Gattungen auch durch Schlüssel zumindest bis hinab zu Gruppen einander ähnlicher Arten zu gliedern, haben andere Orchideenfürer gezeigt und können diesbezüglich mehr überzeugen. Die Umgrenzung der Gattungen folgt ganz der Tradition, obwohl es gute Gründe gibt, neuere diesbezügliche Erkenntnisse zu rezipieren. Insgesamt jedoch ein optisch ansprechendes Werk zu einem akzeptablen Preis!

Martin RÖSER, Halle (Saale)