

Trockenrasen auf schwermetall- und nicht schwermetallhaltigen Böden der Bottendorfer Hügel in Thüringen

– Thomas Becker, Markus Brändel und Hartmut Dierschke –

Zusammenfassung

Wir untersuchen Zusammenhänge zwischen der Artenzusammensetzung, dem Artenreichtum und den Umweltbedingungen der Schwermetallrasen und Trockenrasen der Bottendorfer Hügel in Nord-Thüringen. In diesem Gebiet wachsen primäre und sekundäre Schwermetallrasen und verschiedene Trockenrasengesellschaften auf nicht-schwermetallhaltigen Böden mit einer artenreichen Xerothermrasen-Flora. Anhand von 206 Aufnahmen unterscheiden wir neun Pflanzengesellschaften aus sechs Verbänden der Klassen *Koelerio-Corynephoretea* (*Sedo-Veronicion*, *Alysso-Sedion*) und *Festuco-Brometea* (*Festucion pallentis*, *Koelerio-Phleion*, *Festucion valesiacae*, *Cirsio-Brachypodion*). Vier Trockenrasengesellschaften, in denen die Metallophyten *Armeria maritima* subsp. *halleri* und *Minuartia verna* subsp. *hercynica* häufig vorkommen, werden als spezielle Subassoziationen (*armerietosum halleri*) von vier Assoziationen (*Teucrio-Festucetum*, *Thymo-Festucetum*, *Filipendulo-Helictotrichetum*, *Adonido-Brachypodietum*) neu beschrieben. In einer DCA mit angezeigten Umweltvektoren bilden die Gesellschaften klare Gruppen. Das *Teucrio-Festucetum armerietosum* und *Thymo-Festucetum armerietosum* sind in der DCA mit den Gehalten des Bodens an Kupfer und Blei sowie dem C/N-Verhältnis des Bodens eng korreliert, das *Adonido-Brachypodietum teucrietosum* und *Festuco-Stipetum teucrietosum* mit dem pH und Karbonatgehalt des Bodens. Der Artenreichtum an Gefäßpflanzen, Moosen und Flechten nimmt bis pH 7,5 zu und dann ab. Der Artenreichtum steigt mit dem Karbonatgehalt und der Leitfähigkeit des Bodens und nimmt mit dem C/N-Verhältnis des Bodens ab. Der Artenreichtum der Gefäßpflanzen nimmt mit dem Kupfergehalt des Bodens ab, während die Wahrscheinlichkeit des Vorkommens der Metallophyten mit dem Kupfer- und Zinkgehalt steigt. – Unsere Studie zeigt, dass Bodenfaktoren wie der pH und der Karbonatgehalt für die Zusammensetzung und den Artenreichtum der Vegetation auf kontaminierten Böden ebenso wichtig sind wie der Gehalt an Schwermetallen. Schwermetallrasen können daher Trockenrasen auf nicht-schwermetallhaltigen Böden floristisch sehr ähnlich sein.

Abstract: Dry grasslands on sites with and without heavy metal influence in the Bottendorf Hills of Thuringia (Germany)

We studied relationships between species composition, species richness and environmental characteristics of grasslands on sites with and without heavy metal influence in the Bottendorf Hills in northern Thuringia. This area harbours primary and secondary heavy metal-rich grasslands and a wide variety of dry grasslands without heavy metal influence with a species-rich flora. Based on 206 relevés, we distinguish nine communities in the classes *Koelerio-Corynephoretea* (*Sedo-Veronicion*, *Alysso-Sedion*) and *Festuco-Brometea* (*Festucion pallentis*, *Koelerio-Phleion*, *Festucion valesiacae*, *Cirsio-Brachypodion*). Four communities, in which the metallophytes *Armeria maritima* subsp. *halleri* and *Minuartia verna* subsp. *hercynica* occur with high frequency, are classified as special sub-associations (*armerietosum halleri*) of four dry grassland associations (*Teucrio-Festucetum*, *Thymo-Festucetum*, *Filipendulo-Helictotrichetum*, *Adonido-Brachypodietum*). In a DCA with displayed environmental vectors the communities are well separated. The *Teucrio-Festucetum armerietosum* and *Thymo-Festucetum armerietosum* are positively correlated with the content of copper and lead and the C/N ratio, whereas the *Adonido-Brachypodietum teucrietosum* and *Festuco-Stipetum teucrietosum* are correlated with pH and carbonate content in the DCA. The number of vascular plant, moss and lichen species per plot increases with pH up to 7.5 and then decreases slightly. Species richness increases with carbonate content and soil conductivity and decreases with C/N ratio of the soil. The number of vascular plant species decreases with the copper content of the soil, whereas the probability of occurrence of metallophytes increases with the content of copper and zinc. In conclusion, our study shows that heavy metal content is not necessarily the main factor determining the composition and richness of grasslands on soils containing heavy metals. Heavy metal-influenced grasslands are thus not necessarily floristically distinct from dry grasslands on soils without heavy metals.

Keywords: *Festuco-Brometea*, *Koelerio-Corynephoretea*, soil factors, species richness, syntaxonomy, *Violettea calaminiariae*, Central Germany.

1. Einleitung

Böden mit hohen Konzentrationen an Schwermetallen tragen eine besondere Vegetation mit Pflanzenarten, die spezielle Mechanismen besitzen, mit denen sie in ihrer giftigen Umwelt überleben (ANTONOVICS et al. 1971, ERNST 1974, KRUCKEBERG & KRUCKEBERG 1990, HALL 2002). Diese Mechanismen sind energetisch kostspielig, und daher sind Pflanzen, die hohe Konzentrationen an Schwermetallen ertragen können, schwache Konkurrenten, die nur auf kontaminierten Böden wachsen, wo die Konkurrenz anderer Arten gering ist (WILSON 1988, ERNST et al. 1992). Schwermetallböden kamen ursprünglich nur im Bereich natürlicher Ausbisse erzführender Adern vor. Durch Bergbau wurden sie fast alle zerstört oder verändert (ERNST 1990). Auf der anderen Seite hat der Bergbau die Fläche der Schwermetallböden durch die Schaffung von Abraumhalden erheblich vergrößert. In Mitteleuropa sind die meisten heutigen Schwermetallstandorte anthropogen; primäre Vorkommen sind extrem selten (ERNST 1974). Daher wurden die meisten Studien über Schwermetallvegetation zwangsläufig in Sekundärhabitaten, meist Abraumhalden, und auch in Tertiärhabitaten, wie die durch Erzwäsche entstandenen Pochsandablagerungen entlang einiger Flüsse oder Immissionsgebiete in der Umgebung von Metallhütten, durchgeführt. Diese Habitate sind in der Regel jung und ihre Böden meist kaum entwickelt. Viele der Gebiete sind zudem Habitatsinseln, die von anderen Bergbauregionen und Gebieten mit ähnlicher Vegetation isoliert sind (ERNST 1990).

Diese Voraussetzungen haben unser Verständnis der Vegetation schwermetallhaltiger Böden sicher beeinflusst und unsere Einschätzung der Zusammensetzung und des Artenreichtums der Schwermetallvegetation möglicherweise verzerrt. Die Abwesenheit einiger Arten muss z. B. nicht unbedingt an deren Intoleranz gegenüber Schwermetallen liegen, sondern kann auch durch ein geringes Ausbreitungspotenzial und eine Intoleranz gegenüber Rohböden begründet sein. In Gebieten, in denen Schwermetallrasen zusammen mit ähnlichen Vegetationstypen auf nicht-kontaminierten Böden vorkommen, können die genannten Effekte minimiert werden, so dass ein besseres Verständnis von Schwermetallrasen möglich wird. Solche Gebiete sind allerdings selten und deshalb wurden Studien, die Schwermetallrasen im Kontext mit Magerrasen auf nicht-schwermetallhaltigen Böden betrachten, bisher kaum durchgeführt (BROWN 1994, 2001).

Magerrasen zählen zu den artenreichsten Vegetationstypen in Mitteleuropa mit vielen gefährdeten Pflanzenarten und haben daher für Naturschützer einen besonderen Wert (WALLISDEVRIES et al. 2002, DENGELER 2005). Während es zahlreiche Studien über Zusammenhänge zwischen dem Artenreichtum von Gefäßpflanzen und Umweltbedingungen gibt, ist diesbezüglich über den Artenreichtum von Moosen und Flechten wenig bekannt (PAUSAS 1994, LÖBEL et al. 2006, s. a. JESCHKE & KIEHL 2006). Die meisten Studien untersuchen Zusammenhänge zwischen Artenreichtum, Nährstoffversorgung und pH des Bodens (z. B. GRACE 1999, DUPRÉ et al. 2002, PÄRTEL 2002, CHYTRÝ et al. 2003, SCHUSTER & DIEKMANN 2003), während andere Bodenfaktoren kaum berücksichtigt wurden (s. jedoch CLARK & CLARK 1981).

Wir untersuchen Zusammenhänge zwischen Artenzusammensetzung, Artenreichtum und Umweltfaktoren der Schwermetallrasen und Trockenrasen der Bottendorfer Hügel in Nord-Thüringen (Mitteldeutschland). In diesem Gebiet sind diese Rasentypen besonders vielfältig entwickelt und verzahnt, da das Ausgangsgestein stark variiert und sekundäre Schwermetallrasen auf ehemaligen Halden zusammen mit primären Beständen auf natürlichen Schwermetallstandorten vorkommen. Die Schwermetallrasen der Bottendorfer Hügel und die des angrenzenden östlichen Harzvorlandes wurden vor etwa 50 Jahren bereits untersucht (SCHUBERT 1953, 1954). Seit dieser Zeit hat unser Wissen über Schwermetallrasen zugenommen und die Möglichkeiten der Vegetationsanalyse wurden verbessert. Daher erschien uns eine erneute Untersuchung des Gebietes als interessant. Die vorliegende Arbeit beruht auf Geländearbeiten und Laboranalysen im Jahr 1999 (BRÄNDEL 2000). Einige allgemeine ökologische Aspekte der Untersuchung wurden bereits publiziert (BECKER & BRÄNDEL 2007). In der vorliegenden Arbeit stehen nun die Rasengesellschaften im Vordergrund

und die Originalaufnahmen werden dokumentiert. Die wichtigsten Fragen der Studie lauten: (1) Welche Rasengesellschaften wachsen auf den Bottendorfer Hügeln? (2) Welche Umweltfaktoren bestimmen die Ausbildung der Gesellschaften, vor allem die der Schwermetallrasen? (3) Welche Umweltfaktoren bestimmen den Artenreichtum der Rasen?

2. Untersuchungsgebiet

2.1. Lage und Klima

Die Bottendorfer Hügel liegen südöstlich des Harzes im Unstruttal nahe der Ortschaft Bottendorf (Östliche Länge $11^{\circ}23'58''$ – $11^{\circ}25'60''$, Nördliche Breite $51^{\circ}18'43''$ – $51^{\circ}19'15''$; Gauß-Krüger-Koordinaten 44576–44598 und 56858–56872; TK 4634/3/4 und 4634/4/3). Das Gebiet umfasst einen von Nordwest nach Südost streichenden Höhenzug mit großflächigen Magerrasen, die kleinflächig von Äckern und Ackerbrachen durchzogen sind. Gehölze beschränken sich auf ein 1905 angepflanztes „Wäldchen“ aus Schwarzkiefern am südlichen Galgenberg sowie Gebüsch am nördlichen Galgen- und Leimberg. Die Lage der neun Teilgebiete ist in Abb. 1 dargestellt; ihre Gauß-Krüger-Koordinaten sind in Abb. 1 angegeben.

Die Bottendorfer Hügel liegen in der kollinen Stufe 150–207 m über dem Meer. Die Jahresmitteltemperatur im Gebiet beträgt $8,5^{\circ}\text{C}$, das Januarmittel $-0,7^{\circ}\text{C}$ und das Julimittel $17,6^{\circ}\text{C}$ (DEUTSCHER WETTERDIENST 2006). Durch die Lage im Regenschatten der Mittelgebirge ist das Klima relativ trocken. Im 10 km weit entfernten Artern fielen von 1960–1990 durchschnittlich nur 417 mm Jahresniederschlag (DEUTSCHER WETTERDIENST 2006). Die geringen Niederschläge, die im Sommer ihr Maximum haben, und hohen Verdunstungswerte bedeuten ein subkontinentales Klima, das mit milden Wintern allerdings auch submediterrane und subatlantische Züge besitzt.

2.2. Geologie

Die Bottendorfer Hügel liegen am Nordrand der Hermundurischen Scholle, einer Krustenscholle, die sich vom Kyffhäusergebirge bis nach Gera hin zieht. Im Jura und im Tertiär wurde der nordwestliche Teil dieser Scholle gehoben und eine tektonische Störung führte zur Aufwölbung des Roßlebener Sattels, in dessen Bereich das Untersuchungsgebiet liegt. Durch diese Prozesse treten in den Bottendorfer Hügeln die permischen Schichten des Oberrotliegenden und Zechsteins zu Tage, während das Umland von jüngeren Schichten der Trias und des Quartär geprägt ist (KUGLER & SCHMIDT 1988).

Der Mittlere Zechstein kommt im Gebiet als Gips (Anhydrit) (in den Tabellen mit ZG abgekürzt) und bituminöser Mergelkalk vor, der als Stinkschiefer (ZS) bezeichnet wird. Darunter liegt Unterer Zechstein mit Kupferschiefer und Zechsteinkonglomerat (= Basalkonglomerat, ZK) (WAGENBRETH & STEINER 1982). Der Kupferschiefer enthält etwa 2,5 % Kupfer, 1,1 % Zink und 0,8 % Blei (LÖFFLER 1962). Er wurde Jahrhunderte lang abgebaut und reicht heute an keiner Stelle mehr bis an die Oberfläche. Auf den ehemaligen Halden (HA) sind jedoch Beimengungen von Kupferschiefer zu finden. Ansonsten bestehen die Halden aus mehreren der genannten Gesteine in wechselnder Mischung. Das Zechsteinkonglomerat, ein basenarmes, ebenfalls kupfer- und zinkhaltiges Silikatgestein aus fluvialen Schottern, liegt als wenige Meter mächtige Schicht unter dem Kupferschiefer und reicht stellenweise bis an die Oberfläche.

In weiten Teilen des Gebietes sind die Schichten des Zechstein vollständig erodiert und das darunter liegende Porphyrykonglomerat (PK) aus der Zeit des Oberrotliegenden bildet das Ausgangssubstrat der Bodenbildung. Porphyrykonglomerat ist ein basenarmes Silikatgestein aus dem Abtragungsschutt der variskischen Gebirge und hat eine ähnliche Zusammensetzung wie Zechsteinkonglomerat, enthält jedoch weniger Schwermetalle als dieses. Kleinstäumig kommen im Gebiet >20 cm mächtige Lössschichten (LÖ) vor. Meist liegt den Böden jedoch nur ein Lössschleier auf. In diesem Fall bedeuten in den Tabellen das Kürzel ZL eine Mischung aus Zechsteingips oder -Kalk und Löss, und PL ein Porphyrykonglomerat-Lössgemisch.

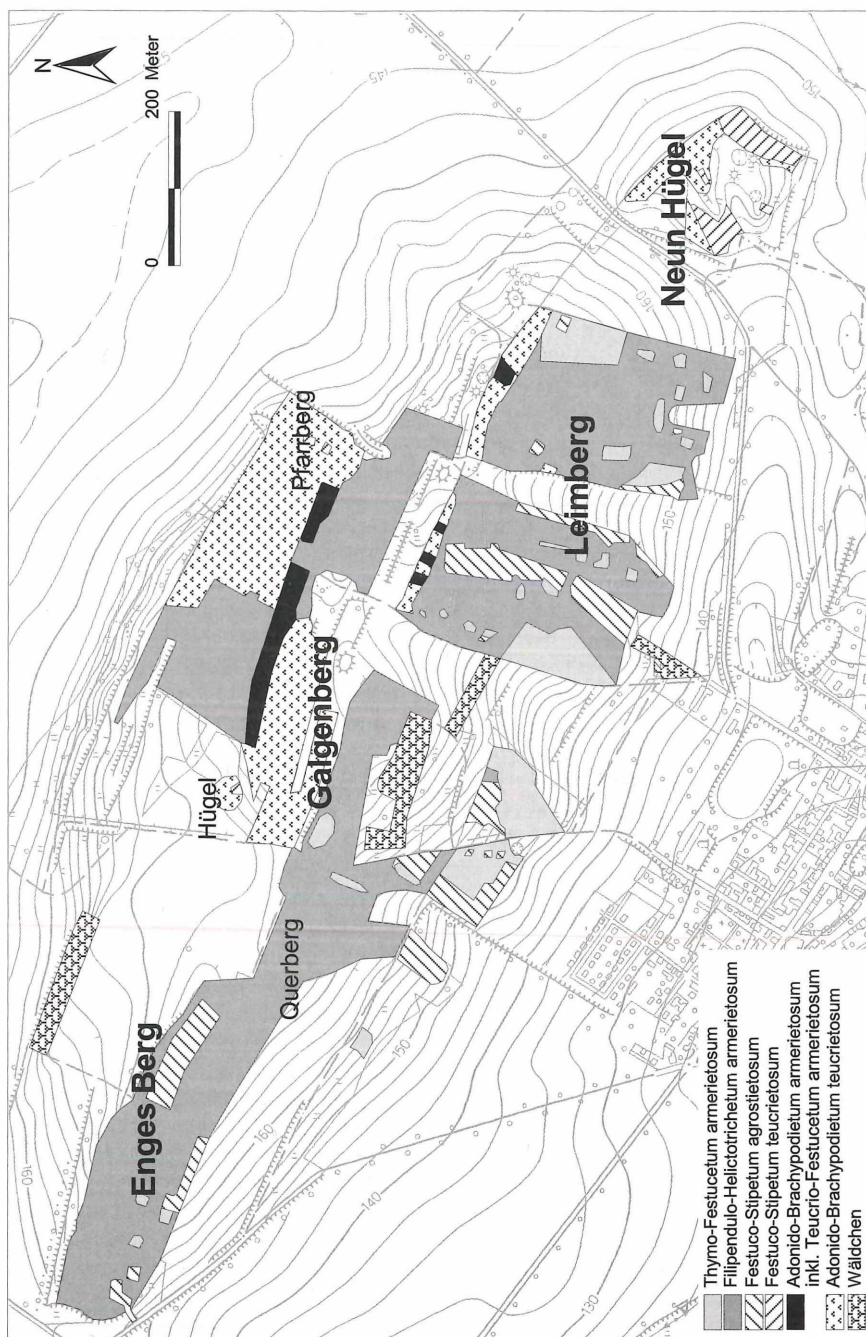


Abb. 1: Vegetationskarte der Bottendorfer Hügel mit Teilgebieten. Gauß-Krüger-Koordinaten (Mittelpunkt des jeweiligen Teilgebiets): Enges Berg (*En*) 44581/56868, Querberg (*Qu*) 44583/56864, Galgenberg (*Ge*) 44588/56867, südlicher Leimberg (*Gs*) 44586/56864, nordwestlich des Galgenbergs gelegener Hügel (*Gh*) 44587/56868, Pfarberg (*Pf*) 44591/56866, westlicher Leimberg (*Lw*) 44589/56864, östlicher Leimberg (*Lo*) 44592/56862, Neun Hügel (*Nh*) 44596/56860. Messtischblattnummern: Neun Hügel TK 4634/4/3, alle anderen Teilgebiete TK 4634/3/4.

Fig. 1: Vegetation map of the Bottendorfer Hills with sub-areas. For Gauss-Krüger coordinates (centre of the respective sub-area) and numbers of ordnance maps see the German figure caption.

2.3. Bergbau und Landnutzung

Die Schichten des Kupferschiefers reichten im Gebiet ehemals bis an die Oberfläche und könnten bereits in der Bronzezeit abgebaut worden sein. Das Kupfer der um 1.700 v. Chr. gefertigten bronzezeitlichen „Himmelsscheibe von Nebra“, die im Jahr unserer Geländearbeiten nur acht Kilometer östlich der Bottendorfer Hügel auf dem Mittelberg im Ziegelrodaer Forst gefunden wurde, stammt allerdings nicht aus dem hier untersuchten Gebiet, sondern aus den Ostalpen bei Bischofshofen (BERTEMES 2005). Aktenkundlich ist der Bergbau auf den Bottendorfer Hügeln erst seit 1473 belegt (LEIPOLD 1992). Im 15. Jhd. wurde Bottendorf Bergmannssiedlung. Zunächst wurden nur Flöze nahe der Erdoberfläche abgebaut. Dazu wurden mehrere Meter tiefe Schächte (Pingen) gegraben und der Abraum wurde um die Schächte verteilt. Ab Mitte des 17. Jhd. wurden insgesamt 32 bis zu 120 m tiefe Schächte und Stollen gegraben und zu Beginn des 18. Jhd. erreichte der Bergbau im Gebiet sein Blüte (WEIDAUER & HILLER 1993, SCHMIDT 2004). Der Bergbau konzentrierte sich entsprechend der Lagerstätten auf die Bereiche nördlich und südlich des Galgenbergs, der „Segen Gottes-Zug“ genannt wurde und der Hauptverwerfung im Gebiet folgt, sowie nordöstlich des Galgenbergs und den südöstlichen Leimberg (SCHUMANN & WUNDERLICH 2005; s. darin auch die genaue Lage der Schächte). Spuren des ehemaligen Bergbaus finden sich mit Mulden und Hügeln, die Reste der Schächte und Halden sind, vor allem am nördlichen Galgenberg. Südlich des Galgenbergs ist der Verlauf der ehemaligen Lagerstätten durch die Halden am Leimberg noch zu erkennen. Die Abbaugebiete nordöstlich des Galgenbergs (Neuer Zug) und am südöstlichen Leimberg sind heute nicht mehr zu erkennen. 1791 wurde der Bergbau wegen technischer Schwierigkeiten eingestellt und die Halden wurden teilweise eingeebnet.

Besiedelt wurde das Gebiet lange bevor der Bergbau begann. Südlich von Bottendorf wurden Gräber gefunden, die 7.000 bis 9.000 Jahre alt sind und einen dauerhaften Siedlungsplatz erkennen lassen. Auf dem Galgenberg und den Neun Hügeln existieren jungsteinzeitliche Gräber und auf dem Leimberg ein vorgeschichtlicher größerer Siedlungsplatz (KUGLER & SCHMIDT 1988). Sicher hat der Mensch seit Jahrtausenden einen Einfluss auf die Vegetation der Bottendorfer Hügel gehabt, z. B. durch Weide und Feuer, und dadurch die Trockenrasen gefördert. Vermutlich war der Hügelkomplex im Holozän nie vollständig bewaldet, obwohl auf den schwermetallfreien Standorten heute zumindest teilweise Wald wachsen könnte.

Vom 17. Jhd. bis in die 1960er Jahre wurde in Bottendorf zeitweise im großen Stiel Schafzucht betrieben. Zwei Zuchtbetriebe existierten bis 1990 (WEIDAUER & HILLER 1993). Ackerbaulich dürften die meisten der heutigen Magerrasenstandorte wegen ihrer flachgründigen Böden nie genutzt worden sein. Allerdings dienten die Bottendorfer Hügel zeitweise als militärisches Übungsgebiet, wovon noch heute die Reste von Schützengräben und -löchern zeugen. 1983 wurde das Naturschutzgebiet „Bottendorfer Hügel“ ausgewiesen und 2001 wurde es auf seine heutige Größe von 131,6 ha erweitert.

3. Material und Methoden

3.1. Aufnahme und Gliederung der Vegetation

Die Vegetation mit Gefäßpflanzen, Moosen und Flechten wurde zwischen April und August 1999 aufgenommen. 206 Aufnahmeflächen wurden gleichmäßig über das Gebiet verteilt und mit dem Ziel ausgewählt, alle Rasentypen zu erfassen. Die Größe der homogenen Flächen beträgt für die Trockenrasen einheitlich 9 m² (3 x 3 m) und für die kleinflächig entwickelten Felsfluren 0,5 m². Auf den Kuppen der Bergbauhalden wurden je nach vorhandener homogener Vegetation 1,5 bis 9 m² Flächen (im Mittel 3,2 m²) aufgenommen. Der Deckungsgrad 2 wurde in 2a (5–15 %) und 2b (>15–25 %) unterteilt. Ansonsten entsprechen die Klassen der Deckungsgrade der üblichen Braun-Blanquet-Skala. Alle Aufnahmeflächen wurden mindestens zweimal aufgesucht, um sowohl früh als auch spät blühende Arten zu erfassen.

Die Aufnahmen wurden mit Hilfe des Computerprogramms TAB 3.0 (PEPPLER 1988) nach floristischer Ähnlichkeit und diagnostischen Arten gegliedert. Die diagnostischen Arten folgen OBERDORFER & KORNECK (1993) und BECKER (2003). Die Kriterien, die die Differenzialarten hinsichtlich Häufigkeit

erfüllen müssen, folgen BERGMEIER et al. (1990). Wir überprüften die vegetationskundliche Literatur über die Region sorgfältig und ordneten die Aufnahmen bevorzugt Assoziationen mit großräumiger Gültigkeit zu.

Die Nomenklatur der Gefäßpflanzen folgt WISSKIRCHEN & HAEUPLER (1998), die der Moose KOPERSKI et al. (2000) und die der Flechten SCHOLZ (2000). Die in den Tabellen verwendeten Abkürzungen der Teilgebiete sind in Abb. 1 und die der Ausgangsgesteine in Kapitel 2.2 erläutert.

3.2. Bodenanalysen

Die Gründigkeit des Bodens wurde mit Hilfe einer Stahlstange in jeder Aufnahme­fläche an fünf Punkten gemessen. An den gleichen Punkten wurden aus dem oberen Horizont (obere 5 cm) Bodenproben entnommen, zu einer Mischprobe vereinigt und luftgetrocknet. Für die Karbonat- und C/N-Bestimmung wurde ein Teil jeder Mischprobe durch ein Sieb mit der Maschenweite 2 mm getrieben und nach der Entfernung von Wurzeln mit einer Schwingmühle staubfein gemahlen.

Der pH-Wert wurde mit einem pH-Meter mit automatischer Temperaturkompensation in einer Suspension aus 40 mg Boden und 100 ml Aqua demin ca. 24 Stunden nach dem Ansetzen gemessen. Die elektrolytische Leitfähigkeit wurde mit einer Leitfähigkeitsmesszelle in der gleichen Suspension wie der pH gemessen und um die H^+ -Ionen-Konzentration korrigiert. Der Karbonatgehalt des Bodens wurde mit Hilfe einer Scheibler-Apparatur gemessen und das C_{org}/N_{ges} -Verhältnis mit einem C/N-Analysator (Vario EL III) der Firma Elementar.

Die Gehalte an wasserlöslichem Kupfer, Zink und Blei wurden nach LINDSAY & NORVELL (1978) mit einem Extraktionsmittels mit pH 7,3 gemessen. Gebundene Schwermetalle werden mit dieser Methode teilweise mit extrahiert. Jeweils 10 g Boden wurden mit 20 ml der Extraktionslösung (0,005 M Diäthylentriaminpentaacetat (DTPA), 0,1 M Tetraethylammonium (TEA), 0,01 M $CaCl_2$, pH 7,3) versetzt und drei Stunden lang bei 200 u/min auf einem Horizontalschüttler geschüttelt. Die Zeit und die Stärke des Schüttelns sind bei diesem Verfahren entscheidend, da kein Gleichgewicht zwischen dem Boden und der Extraktionslösung entsteht. Die Suspension wurde gefiltert und der Schwermetallgehalt des Filtrats mit einem Flammen-Atom-Absorptions-Spektrometer (AAS) der Firma Varian (Spektra 30 Serie) gemessen.

Die Bodengehalte an Kupfer, Zink und Blei wurden für alle 157 Aufnahme­flächen auf Porphyry- und Zechsteinkonglomerat und den Bergbauhalden gemessen. Für die Aufnahme­flächen auf Gips und Stinkschieferkalk wurden die Schwermetallgehalte exemplarisch bestimmt, da hier keine erhöhten Gehalte erwartet wurden.

3.3. Statistische Analysen

Eine Korrespondenzanalyse (DCA) mit Herabgewichtung seltener Arten und angezeigten Umweltfaktoren wurde mit dem Programm CANOCO 4.5 durchgeführt (TER BRAAK & SMILAUER 2002). Vor den Rechnungen wurden die Artmächtigkeiten der Braun-Blanquet-Skala in Prozentwerte umgewandelt (Mittelwerte der prozentualen Klassen) und $\log(x + 1)$ -transformiert. Die Einstrahlung pro Fläche, die die Trockenheit der Standorte widerspiegelt, wurde mit Hilfe von Formel 3 in McCUNE & KEON (2002) auf Basis der Hanglage, Hangneigung und geographischen Breite errechnet.

Zusammenhänge zwischen Umweltfaktoren und binominalen Variablen wurden mit einfachen und multiplen logistischen Regressionen mit Rückwärtsausschluss auf der Basis von Wald-Statistik untersucht, wobei als Wahrscheinlichkeit für die Entfernung von Variablen aus dem Model 0,05 galt. Unterschiede der Umweltfaktoren zwischen den Vegetationstypen wurden mit Varianzanalyse (ANOVA, Quadratsummen-Typ I) und Tukey's Post-hoc Tests untersucht. Die Residuen wurden auf Normalverteilung getestet.

Zusammenhänge zwischen dem Artenreichtum und einzelnen Umweltvariablen wurden mit Hilfe von hierarchischer Polynomial-Regression untersucht. Da die Aufnahme­flächen auf den Kuppen der Halden kleiner als die der anderen Habitate waren, kombinierten wir vor der Untersuchung der Zusammenhänge zwischen dem Artenreichtum und Umweltfaktoren drei zufällig gezogene Aufnahmen der Haldenkuppen zu neuen 7,9–9,8 m² (Mittel von 9,1 m²) großen Flächen. Die Felsfluren wurden wegen ihrer Flächengröße von 0,5 m² und der geringen Anzahl an Aufnahmen, die keine Zusammenfassung zu 9 m² Flächen erlaubte, von der Analyse des Artenreichtums ausgeschlossen. Zuerst wurde ein lineares Model angepasst, dann wurde untersucht, ob ein quadratischer Term das Model signifikant verbesserte, und schließlich wurde die Signifikanz eines zusätzlichen kubischen Terms untersucht. Zusammenhänge zwischen der Anzahl an Arten von Gefäßpflanzen, Moosen und Flechten und Umweltbedingungen wurden mit Spearman-Rangkorrelationen untersucht, wobei die Signifikanzen nach Bonferroni um die Anzahl der Tests korrigiert wurden (MILLER 1981). Alle statistischen Analysen, außer der DCA, wurden mit dem Programm SPSS 11.0 (SPSS INC. 2001) durchgeführt.

4. Ergebnisse

4.1. Pflanzengesellschaften

Die Trockenrasen und Schwermetallrasen der Bottendorfer Hügel gehören zu sieben Assoziationen aus sechs Verbänden der Ordnungen *Sedo-Scleranthetalia* (*Koelerio-Corynephoretea*) und *Festucetalia valesiacae* (*Festuco-Brometea*) (Tab. 1–8). Auf dem Niveau der Subassoziationen stellen sich neun Vegetationstypen dar, die sich in ihrer Artenzusammensetzung sowohl im Tabellenvergleich als auch in der DCA, deren erste Achse 14 % und zweite Achse 7 % der floristischen Variation der Gesellschaften erklären, klar unterscheiden (Tab. 1, Abb. 7).

In vier Rasentypen auf schwermetallhaltigen Böden kommen die Metallophyten *Armeria maritima* subsp. *halleri* und *Minuartia verna* subsp. *hercynica* häufig vor. Diese Rasen werden im Folgenden als Schwermetallrasen bezeichnet. Da aber in allen vier Fällen die Arten der Trockenrasen klar überwiegen, werden diese Gesellschaften nicht zu den Schwermetallrasen der *Violetea calaminariae* gestellt, sondern vier Trockenrasen-Assoziationen als spezielle Subassoziationen (*armerietosum halleri*) zugeordnet.

4.1.1. *Poo badensis-Allietum montani* Gauckler 1957 (Tabelle 2, Aufn. 1–8)

Gipsfelsfluren des *Poo badensis-Allietum montani* kommen am westlichen Galgenberg und am Südwestrand der Neun Hügel auf Blänken des anstehenden Zechsteingips vor (Abb. 1). Sie gehören zum Verband *Alyso-Sedion albi* Oberd. et Müller in Th. Müller 1961. Lokale Kennarten sind die Erdflechten *Fulgensia bracteata*, *Toninia sedifolia* und *Psora decipiens* (Tab. 1). Weitere charakteristische Arten, die aber auch in den Silikatfelsfluren und einigen Trockenrasen vorkommen, sind z. B. *Erophila verna*, *Cerastium semidecandrum* und *Erodium cicutarium*. Die namensgebende *Poa badensis* ist in den Beständen häufig, kommt aber ebenfalls in den Silikatfelsfluren und auch auf den ehemaligen Halden vor. Die Gipsfelsfluren können auch als eine Kryptogamensynusie aufgefasst werden, und zwar als *Toninio-Psoretum decipientis* Stodiek 1937 (Bunte Erdflechtengesellschaft). Dieser Auffassung folgt SCHUBERT (1954).

4.1.2. *Gageo saxatilis-Veronicetum dillenii* (Oberd. 1957) Korneck 1974 (Tabelle 2, Aufn. 9–19)

Silikatfelsfluren des Verbandes *Sedo-Veronicion dillenii* (Oberd. 1957) Korneck 1974, die zu dem aus Süddeutschland beschriebenen *Gageo saxatilis-Veronicetum dillenii* gestellt werden können, wachsen auf Felsgrus des bankig anstehenden Porphyry- und Zechsteinkonglomerats entlang zweier Wege, die aus Bottendorf in nördliche Richtung durch das Gebiet führen (Abb. 1). Charakteristisch sind kalkmeidende Winterannuelle mit höheren Basenan sprüchen, wie *Petrorhagia prolifera*, *Scleranthus polycarpus*, *Veronica verna* und *Saxifraga tri-dactylites* (Tab. 1). Zahlreiche weitere Annuelle und die Sukkulenten *Sedum acre* und *S. sexangulare* kommen ebenfalls vor. Diese Gefäßpflanzenarten bilden im Frühjahr dichte Bestände zusammen mit dichten Moosrasen aus *Tortula ruralis* agg. und *Hypnum cupressi-forme* (Abb. 6). Auch Flechten wie *Cladonia foliacea* und *C. furcata* sind darin häufig. Die namensgebende *Gagea bohemica* ist im Gebiet relativ selten und wurde nicht mit Aufnahmen erfasst. Sie wurde aber im *Gageo-Veronicetum* und auch in den Bleichschwingelrasen des *Thymo-Festucetum* (s. Kap. 4.1.4.) beobachtet. In der DCA sind das *Poo-Allietum* und *Gageo-Veronicetum* deutlich von den Gesellschaften der *Festuco-Brometea*, jedoch nicht untereinander, getrennt (Abb. 7).

4.1.3. *Teucrio montani-Festucetum pallentis* Mahn 1965 *armerietosum halleri* subass. nov. (Tabelle 3, Holotypus Aufn. 9)

Diese Gesellschaft siedelt auf den Kuppen der ehemaligen Halden (Abb. 1 und 3). Die Zugehörigkeit zum *Festucion pallentis* (Oberd. 1957) Korneck 1974 ergibt sich aus dem häufigen Vorkommen der Verbandskennarten *Festuca pallens*, *Silene otites*, *Alyssum montanum*

Tab. 1: Rasengesellschaften der Bottendorfer Hügel. Stetigkeiten in Prozent. Schwermetallrasen sind mit Sternchen (*) gekennzeichnet. Fettdruck, bis auf fettkursiv, differenziert gegen Normaldruck nach der Definition von Differentialarten von BERGMIEER et al. (1990). Gekürzte Tabelle.

Tab. 1: Grassland communities of the Bottendorf Hills. Constancies in percent. Heavy metal grasslands are indicated by asterisks (*). Values in boldface, except for boldface-italic, differ from values in normal font following the definition of differential species of BERGMIEER et al. (1990). Shortened table.

A-S: Alyso-Sedion	1: Poo badensis-Allietum montani (Tab. 2)
S-V: Sedo-Veronicion	2: Gageo-Veronictetum dillenii (Tab. 2)
Fp: Festucion pallentis	3: Teucrio-Festucetum pallentis armerietosum (Tab. 3)
	4: Thymo-Festucetum pallentis armerietosum (Tab. 4)
K-P: Koelerio-Phleion	5: Filipendulo-Helictotrichetum armerietosum (Tab. 5)
Fv: Festucion valesiacae	6: Festuco-Stipetum agrostietosum (Tab. 6)
	7: Festuco-Stipetum teucrietosum (Tab. 6)
C-B: Cirsio-Brachypodion	8: Adonido-Brachypodietum teucrietosum (Tab. 7)
	9: Adonido-Brachypodietum armerietosum (Tab. 8)

Verband	A-S	S-V	Fp	K-P	Fv	C-B			
Gesellschaft	1	2	3*	4*	5*	6	7	8	9*
Anzahl an Aufnahmen	8	11	30	23	23	34	35	12	30
Fulgensia bracteata	100	.	.	.	.	.	.	3	.
Toninia sedifolia	87	.	.	.	.	2	8	20	.
Psora decipiens	25	.	3	.	.	.	8	.	.
Cerastium semidecandrum	87	100	10	34	11	5	.	3	26
Veronica praecox	25	45	.	8	29	48	41	3	13
Erodium cicutarium	62	81	.	30	8	48	66	.	4
Arenaria serpyllifolia agg.	37	81	.	4	.	25	83	3	.
Erophila verna	100	90	6	26	.	28	41	10	26
Tortula ruralis agg.	87	90	26	4	2	2	66	10	17
Medicago minima	37	72	.	8	2	25	.	.	.
Holosteum umbellatum	25	54	.	8	.	2	.	.	.
Peltigera rufescens	37	18	6	8	.	5	.	3	.
Saxifraga tridactylites	12	90	3	4	.	2	16	.	.
Petrorhagia prolifera	.	72	.	4	.	5	.	.	.
Veronica verna	12	63	.	34	.	.	.	.	.
Scleranthus polycarpus	.	63	.	13	2	5	.	.	.
Lamium amplexicaule	.	27	.	.	.	2	8	.	.
Spergula pentandra	.	27	.	13	.	.	.	.	.
Poa badensis	100	100	53	13	.	2	41	16	43
Cladonia foliacea	62	36	43	86	5	22	33	6	52
Sedum acre	50	45	53	21	8	5	.	.	60
Diploschistes muscorum	75	.	70	39	.	14	.	.	17
Armeria maritima subsp. halleri	.	9	96	86	35	17	.	.	100
Minuartia verna subsp. hercynica	12	18	100	73	5	5	.	.	100
Festuca pallens	25	9	93	100	14	31	.	20	65
Silene otites	.	36	66	65	23	37	.	.	86
Cetraria aculeata	12	18	40	43	2	2	.	.	56
Alyssum montanum	12	.	73	.	.	5	41	10	65
Collema sp.	.	.	53	8	.	.	16	13	26
Rumex acetosella	.	18	6	86	14	28	.	.	4
Aira caryophyllea	.	.	.	82	38	34	.	.	.
Sedum rupestre	.	.	.	73	29	28	.	.	.
Polytrichum piliferum	.	.	.	65	.	2	.	3	.
Cephaloziella divaricata	.	.	10	43	.	11	.	.	13
Orchis morio	.	.	.	26	.	5	.	.	.
Filago minima	.	.	.	21	.	.	.	.	.
Pimpinella saxifraga	.	.	10	4	85	34	.	40	47
Luzula campestris	.	.	3	8	73	.	.	.	21
Plagiomnium affine	.	.	.	.	38	8	8	.	.
Anthoxanthum odoratum	.	.	.	21	23	.	.	.	8
Agrostis capillaris	.	.	3	91	97	57	16	3	17
Trifolium campestre	.	27	.	82	70	65	.	.	26
Trifolium arvense	.	18	.	82	58	71	.	.	.
Cladonia rangiformis	.	27	.	52	38	51	.	.	21
Saxifraga granulata	.	9	.	56	52	37	.	.	4
Trifolium striatum	.	18	.	43	50	34	.	.	.
Myosotis stricta	.	45	.	56	20	42	.	.	.

Gesellschaft	1	2	3*	4*	5*	6	7	8	9*
<i>Dianthus carthusianorum</i>	.	.	6	43	97	71	16	6	78
<i>Koeleria macrantha</i>	25	18	26	91	100	97	100	30	95
<i>Festuca rupicola</i>	.	.	6	17	97	82	91	83	82
<i>Helictotrichon pratense</i>	.	.	3	43	100	54	58	93	60
<i>Hieracium pilosella</i>	25	18	.	82	97	71	8	83	60
<i>Galium verum</i>	50	.	10	34	76	60	58	83	56
<i>Asperula cynanchica</i>	25	.	6	39	58	62	41	73	65
<i>Achillea pannonica</i>	.	18	3	8	35	51	50	50	86
<i>Hypericum perforatum</i>	.	.	.	39	52	54	50	26	8
<i>Eryngium campestre</i>	12	.	.	21	52	68	83	20	.
<i>Potentilla tabernaemontani</i>	.	18	6	34	55	62	16	16	26
<i>Myosotis ramosissima</i>	.	.	.	.	23	34	.	.	17
<i>Centaurea stoebe</i>	.	36	.	26	8	65	8	23	.
<i>Bromus hordeaceus</i>	.	18	.	4	2	42	8	.	.
<i>Convolvulus arvensis</i>	.	.	13	4	2	25	16	10	17
<i>Vicia hirsuta</i>	.	.	.	4	.	22	.	.	.
<i>Brachythecium rutabulum</i>	.	.	.	8	14	22	16	.	.
<i>Festuca valesiaca</i>	25	36	.	13	23	91	83	6	.
<i>Stipa capillata</i>	.	.	.	.	.	57	91	30	.
<i>Acinos arvensis</i>	.	9	.	21	2	54	75	6	.
<i>Lactuca serriola</i>	12	9	.	8	.	42	41	.	.
<i>Conyza canadensis</i>	.	.	.	.	.	28	25	3	.
<i>Galium glaucum</i>	.	9	.	17	11	14	91	36	.
<i>Falcaria vulgaris</i>	.	.	.	.	2	17	66	.	.
<i>Stachys recta</i>	.	.	.	.	.	8	58	10	.
<i>Anthericum liliago</i>	.	.	.	.	.	.	58	6	.
<i>Allium oleraceum</i>	.	.	.	.	.	2	58	.	.
<i>Hypericum elegans</i>	.	.	.	.	.	.	41	3	.
<i>Reseda lutea</i>	.	.	.	.	.	.	33	.	.
<i>Stipa pulcherrima</i>	.	.	.	.	.	.	25	.	.
<i>Salvia pratensis</i>	.	.	.	.	.	14	91	100	.
<i>Potentilla incana</i>	75	.	.	.	.	31	100	70	4
<i>Carex humilis</i>	.	.	.	.	.	.	50	100	.
<i>Dactylis glomerata</i>	.	.	.	.	2	17	91	53	.
<i>Fissidens taxifolius</i>	.	.	.	.	5	17	50	86	.
<i>Filipendula vulgaris</i>	.	.	.	.	14	14	66	63	.
<i>Cirsium acaule</i>	.	.	.	.	2	17	41	83	13
<i>Centaurea scabiosa</i>	.	.	.	.	.	14	50	63	8
<i>Koeleria pyramidata</i>	.	.	.	.	.	.	41	66	.
<i>Tortella tortuosa</i>	.	9	.	.	.	.	66	40	.
<i>Campylium chrysophyllum</i>	.	.	.	.	.	.	33	50	.
<i>Helianthemum num. subsp. obscurum</i>	.	.	.	.	2	.	41	40	8
<i>Inula hirta</i>	.	.	.	.	.	.	25	46	.
<i>Adonis vernalis</i>	.	.	.	.	.	.	25	33	.
<i>Scabiosa canescens</i>	12	.	23	13	17	25	75	70	60
<i>Linum catharticum</i>	.	.	3	.	8	11	58	80	52
<i>Potentilla heptaphylla</i>	.	.	23	8	29	8	25	66	95
<i>Plantago media</i>	.	.	3	4	23	20	33	70	82
<i>Homalothecium lutescens</i>	12	27	16	4	11	17	75	33	56
<i>Scabiosa ochroleuca</i>	.	18	.	8	14	40	66	60	30
<i>Leontodon hispidus</i>	.	.	3	4	5	.	25	43	34
<i>Agrimonia eupatoria</i>	.	.	3	.	32	14	25	53	21
<i>Brachypodium pinnatum</i>	.	.	.	.	.	.	25	100	13
<i>Hippocrepis comosa</i>	.	.	.	.	.	2	33	83	.
<i>Teucrium montanum</i>	.	.	.	.	.	.	8	60	.
<i>Anthericum ramosum</i>	.	.	.	.	.	.	8	60	.
<i>Carlina vulgaris</i>	.	.	.	.	2	2	.	60	8
<i>Ctenidium molluscum</i>	.	.	.	.	2	.	.	60	.
<i>Anthyllis vulneraria</i>	.	.	.	.	.	.	16	50	.
<i>Campanula glomerata</i>	.	.	.	.	.	5	.	43	4
<i>Galium boreale</i>	.	.	.	.	2	.	16	36	4
<i>Weissia controversa</i>	.	.	.	.	5	14	16	33	.
<i>Gentianella germanica</i>	.	.	.	.	.	.	.	20	8

Fortsetzung Tabelle 1

Gesellschaft	1	2	3*	4*	5*	6	7	8	9*
Briza media	.	.	.	.	2	.	8	83	47
Lotus corniculatus subsp. hirsutus	.	.	.	4	41	11	.	50	39
Astragalus danicus	.	.	3	.	26	8	.	26	43
Ranunculus bulbosus	.	.	.	.	26	2	8	6	65
Polygala comosa	.	.	.	.	2	.	.	6	47
Viola rupestris	.	.	.	.	.	.	8	13	47
Seseli annuum	.	.	6	.	.	.	.	3	30
Trifolium repens	.	.	.	.	32	2	.	.	26
Euphorbia cyparissias	50	36	33	56	94	65	100	96	100
Thymus pulegioides	87	9	16	69	100	85	41	86	95
Cerastium pumilum	100	72	10	69	55	77	83	13	39
Plantago lanceolata	.	54	10	47	88	62	8	13	86
Taraxacum Sekt. Erythrosperma	87	27	10	26	73	60	83	50	30
Euphrasia stricta	37	.	60	30	41	25	8	33	91
Sedum sexangulare	50	72	3	100	38	62	8	.	30
Sanguisorba minor	50	9	30	8	5	40	25	93	34
Rosa canina et Rosa rubiginosa	.	.	23	8	14	11	16	13	21
Allium vineale	.	.	.	39	11	20	41	.	8
Campanula rotundifolia	.	.	.	.	20	2	8	36	8
Cerastium holosteoides	.	.	.	13	32	11	.	.	17
Bromus erectus	.	.	.	.	.	25	16	33	.
Arabis hirsuta agg.	.	.	.	4	.	11	16	10	34
Cerastium arvense	.	.	3	.	23	14	.	.	13
Echium vulgare	.	18	16	4	.	8	25	.	8
Vicia tetrasperma	12	.	.	.	11	22	.	.	4
Medicago falcata	.	.	.	4	.	2	16	26	4
Hypochaeris radicata	.	.	.	26	14	5	.	.	.
Thalictrum minus	.	.	.	.	.	.	25	16	.
Artemisia campestris	.	.	.	.	.	2	25	10	.
Hypnum cupressiforme	75	90	30	100	97	97	66	70	95
Cladonia furcata	62	54	63	100	67	74	8	53	86
Bryum caespitium	62	27	56	43	26	20	33	13	34
Cladonia pyxidata agg.	.	18	43	56	11	31	16	3	39
Abietinella abietina	37	9	33	.	2	2	75	26	69
Ceratodon purpureus	50	45	20	65	5	28	8	16	26
Barbula convoluta	25	27	43	.	.	17	50	6	13
Racomitrium canescens	.	45	30	4	.	2	.	.	13
Bryum capillare agg.	.	.	.	30	11	17	8	3	8
Ditrichum flexicaule	.	9	3	.	2	14	25	3	4
Tortella inclinata	12	18	.	8	.	2	25	3	.

und der für den Verband ebenfalls typischen *Poa badensis*. *Alyssum montanum* hat in der Gesellschaft im Gebiet seinen Schwerpunkt, ansonsten besitzt die Gesellschaft lokal keine nur ihr eigenen Arten. Die Metallophyten *Armeria maritima* subsp. *halleri* und *Minuartia verna* subsp. *hercynica* sind in den offenen Rasen (Deckung der Krautschicht von durchschnittlich 35 %; Abb. 6) höchst vertreten, und die Letztere ist hier besonders vital. Annuellen fehlen dagegen in den Beständen fast völlig. Insgesamt ist die Gesellschaft, die bei SCHUBERT (1954) der *Plantago media*-Subass. des *Armerietum bottendorffensis* entspricht, vor allem durch das Fehlen zahlreicher Arten floristisch recht eigenständig (Abb. 7).

4.1.4. *Thymo-Festucetum pallentis* Mahn 1959 *armerietosum halleri* subass. nov. (Tabelle 4, Beilage; Holotypus Aufn. 4)

An der Südflanke der Bottendorfer Hügel wächst auf anstehendem Porphy- und Zechsteinkonglomerat inselartig in einer Matrix aus Rasen, die von *Helictotrichon pratense* dominiert sind (Abb. 1; Kap. 4.1.5.), ein weiterer Bleichschwingelrasen des *Festucion pallentis* auf kalkfreien und schwermetallhaltigen Böden, den wir als *Thymo-Festucetum armerietosum halleri* subass. nov. klassifizieren (Abb. 3). Es handelt sich um einen der primären Schwer-

metallrasen, die in der kollinen Stufe Mitteleuropas extrem selten sind. Standortlich-floristische Beziehungen zu den Schwermetallrasen des *Armerion halleri* Ernst 1965 sind durch höchstes Vorkommen von *Minuartia verna* subsp. *hercynica* und *Armeria maritima* subsp. *halleri* gegeben. Lokale Kennarten der Gesellschaft sind kalkmeidende Sippen wie *Rumex acetosella*, *Aira caryophyllaea* und *Polytrichum piliferum*, die als überregionale Kennarten der Kleinschmielenrasen des *Thero-Airion* gelten (Tab. 1). *Agrostis capillaris*, *Saxifraga granulata* und die beiden Kleearten *Trifolium campestre* und *T. arvense* bilden Beziehungen zu den Silikattrockenrasen des *Filipendulo-Helictotrichetum* (Kap. 4.1.5.). In der DCA steht die Gesellschaft zwischen dem *Teucro-Festucetum armerietosum* auf den Kuppen der ehemaligen Halden und dem *Filipendulo-Helictotrichetum armerietosum* auf schwach schwermetallhaltigem Substrat (Abb. 7). Sie entspricht bei SCHUBERT (1954) der *Rumex acetosella*-Subass. des *Armerietum bottendorfsensis*.

Innerhalb der Gesellschaft gibt es eine Ausbildung von *Cladonia pyxidata* auf besonders flachgründigen Böden, z. B. mit *Filago minima* und der seltenen *Orchis morio* als charakteristischen Arten, sowie eine Ausbildung von *Helictotrichon pratense* auf etwas tiefergründigeren Böden. Letztere Ausbildung leitet zum *Filipendulo-Helictotrichetum* über.

4.1.5. *Filipendulo-Helictotrichetum pratensis* Mahn 1965 *armerietosum halleri* subass. nov. (Tabelle 5, Beilage; Holotypus Aufn. 11)

Das *Filipendulo-Helictotrichetum armerietosum* ist mit ausgedehnten Beständen am Leimberg, Enges Berg und südlichen Galgenberg der häufigste Rasentyp im Gebiet (Abb. 1 u. 4). Die Assoziation gehört zum Verband *Koelerio-Phleion phleioidis* Korneck 1974. Floristisch sind die Bestände relativ gleichförmig entwickelt, was sich im DCA-Diagramm an der geringen Streuung der Aufnahmewerte zeigt (Abb. 7). Typisch sind kalkmeidende Arten mit höheren Basenansprüchen, z. B. *Saxifraga granulata*, *Trifolium campestre*, *T. striatum*, *T. arvense* und *Agrostis capillaris*, die auch Beziehungen zur floristisch ähnlichen *Agrostis*-Subass. der Pfriemengrasrasen (Kap. 4.1.6.) und zum *Thymo-Festucetum pallentis* herstellen. Die Metallophyten treten in der Gesellschaft zurück (*Minuartia verna* subsp. *hercynica*: 5 %, *Armeria maritima* subsp. *halleri*: 35 % Stetigkeit) und erreichen eine geringere Deckung als in den anderen Gesellschaften auf schwermetallhaltigen Böden. Dennoch erscheint die Klassifikation der Gesellschaft als eigene Subassoziation gerechtfertigt (s. a. Kap. 5.2.). Lokale Kennarten, allerdings mit niedriger Deckung, sind *Luzula campestris* und *Pimpinella saxifraga*. Bezeichnend sind zudem *Agrostis capillaris*, *Trifolium arvense*, *T. striatum* und *Saxifraga granulata*. Einjährige Pflanzenarten sind in den dichtwüchsigen Beständen kaum vertreten. Im Feld erkennt man den Rasentyp am besten an der Dominanz von *Helictotrichon pratense*. Er wurde von SCHUBERT (1954), ebenso wie das *Thymo-Festucetum armerietosum*, als *Rumex acetosella*-Subass. des *Armerietum bottendorfsensis* klassifiziert.

4.1.6. *Festuco-Stipetum capillatae* Sillinger 1931 (Tabelle 6, Beilage)

Pfriemengrasrasen des *Festuco-Stipetum capillatae*, die zum Verband *Festucion valesiacae* Klika 1931 zählen, nehmen ebenfalls im Gebiet größere Flächen ein (Abb. 1 u. 5). Diagnostische und zugleich aufbauende Arten sind *Stipa capillata* und *Festuca valesiaca*. Weitere charakteristische Arten sind *Acinos arvensis*, *Lactuca serriola* und *Conyza canadensis*, wobei die letzteren wohl aus angrenzenden Ruderalflächen stammen. Weitere annuelle Arten, z. B. *Erophila verna*, *Erodium cicutarium* und *Veronica praecox*, gelten als überregionale Differenzialarten der Assoziation. Mit den anderen Rasengesellschaften teilen die Pfriemengrasrasen z. B. *Koeleria macrantha*, *Festuca rupicola* und *Helictotrichon pratense* (Tab. 1).

Die Bestände repräsentieren zwei Subassoziationen. Die *Agrostis capillaris*-Subass. (Tab. 6, Aufn. 36–47; Abb. 5) mit *Centaurea stoebe* und *Bromus hordeaceus* als lokalen Kennarten ist an Silikatböden gebunden. Schwermetallpflanzen sind in den Beständen selten, sodass man nicht mehr von einer Subassoziation schwermetallhaltiger Standorte sprechen kann. Die *Teucrium montanum*-Subass. (Tab. 6, Aufn. 1–35) kommt dagegen auf Kalk und Gips vor und hat z. B. *Galium glaucum*, *Anthericum liliago*, *Allium oleraceum* und *Stipa*

Tab. 2: Felsfluren der Bottendorfer Hügel: *Poo badensis-Allietum montani* Gauckler 1957 und *Gageo saxatilis-Veronicetum dillenii* (Oberd. 1957) Korneck 1974.Tab. 2: Outcrop vegetation of the Bottendorf Hills: *Poo badensis-Allietum montani* Gauckler 1957 und *Gageo saxatilis-Veronicetum dillenii* (Oberd. 1957) Korneck 1974.

	Poo badensis-Allietum montani										Gageo-Veronicetum dillenii									
Aufnahme-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Teilgebiet	Ga	Ga	Ga	Ga	Ga	Nh	Nh	Nh	Lw	Ga	Lw	Ga	Ga	Lw	Lö	Lö	Ga	Ga	Ga	
Hanglage [°]	270	200	300	260	280	190	360	109	210	220	230	220	190	220	220	65	260	230	250	
Hangneigung [°]	4	4	8	18	10	17	10	12	2	12	10	10	10	10	20	10	14	10	10	
Ausgangsgestein	ZG	ZG	ZG	ZG	ZG	ZG	ZG	ZG	PK	PK	PK	PK	PK	PK	PK	PK	PK	PK	PK	
Gründigkeit des Bodens [cm]	6	5	4	4	1	6	8	9	5	4	2	4	2	2	4	6	6	5	3	
pH	7,3	7,6	7,4	8,0	7,5	7,4	7,7	7,8	6,8	6,8	8,1	6,7	6,5	8,0	8,0	6,4	8,2	8,0	7,6	
Karbonat [%]	5	4	7	9	10	18	13	13	0	1	3	0	0	2	2	0	7	9	2	
C/N-Verhältnis	11	11	11	10	10	11	11	12	13	12	11	13	13	11	11	14	11	10	11	
Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$]	1615	533	593	637	730	631	765	723	277	195	303	244	273	308	289	212	303	313	425	
Kupfer [$\mu\text{mol}/\text{g}^{-1}$]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,210	572	372	400	460	700	811	210	861	
Zink [$\mu\text{mol}/\text{g}^{-1}$]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,740	570	852	1,160	590	550	643	641	072	
Blei [$\mu\text{mol}/\text{g}^{-1}$]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,000	461	260	780	710	670	902	041	583	
Deckung der Krautschicht [%]	80	70	35	45	25	80	75	80	80	70	75	60	50	70	70	80	80	70	70	
Deckung der Kryptogamenschicht [%]	80	85	90	60	60	40	90	80	90	90	80	40	50	90	80	80	35	95	90	
Anteil offener Boden [%]	5	2	5	20	5	5	10	20	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	
Anteil Steine [%]	1	0	25	10	40	0	0	0	0	0	0	1	2	2	0	0	1	0	0	
Artenzahl Gefäßpflanzen	15	15	12	15	10	14	13	15	19	16	19	16	24	18	21	16	17	17	13	
Artenzahl Moose und Flechten	8	9	11	8	10	6	7	7	6	5	6	11	11	4	5	6	6	3	4	

Alyso-Sedion (V₁) lokal

DV ₁ Fulgensia bracteata	1	1	2a	2a	2a	1	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
DV ₁ Toninia sedifolia	1	1	1	1	2a	.	1	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Thymus pulegioides et T. praecox	1	1	+	1	r	1	+	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.
KC ₁ Taraxacum Sekt. Erythrosperma	+	+	+	1	+	1	.	1	.	+	.	.	.	.	1	.	.	.	r
KC ₁ Diploschistes muscorum	2a	1	2a	2a	2b	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
KC ₂ Potentilla incana	.	+	.	+	+	+	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
KC ₂ Galium verum	1	.	.	.	.	2a	1	2a	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
KC ₂ Sanguisorba minor	r	+	+	2a	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.
Euphrasia stricta	.	.	.	+	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
VC ₁ Psora decipiens	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Sedo-Veronicion (V₂) lokal

VC ₁ Saxifraga tridactylites	.	.	.	1	.	.	.	.	.	2a	1	2b	2a	1	2a	2a	+	2a	.	2a
KC ₁ Arenaria serpyllifolia	.	.	.	+	.	1	.	1	.	1	.	1	+	+	1	+	1	+	1	.
KC ₁ Medicago minima	1	+	.	+	.	.	.	.	.	.	+	1	.	+	2a	2a	.	2a	2a	2a
KC ₁ Petrorhagia prolifera	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	+	1	1	1	.	+	1	.
VC ₂ Veronica verna	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	1	1	1	+	1	.	1	.	1	.
OC Scleranthus polycarpus	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	+	.	1	.	1	+	+	+	.
Plantago lanceolata	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	+	1	.	1	r
KC ₁ Racomitrium canescens	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	1	1	.	1	1	.	.	.	.
KC ₁ Myosotis stricta	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	+	1	.	1	.	.	.
KC ₂ Silene otites	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	1	.	.	+	.	.	.
KC ₂ Centaurea stoebe	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	+	+	.	.	.	.	.	+	.
VC ₂ Spargula pentandra	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	+	1	.	.	.	.	.
Cladonia rangiformis	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	+	.	.	1	.	.	.
KC ₁ Trifolium campestre	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	1	.	.	.	+	.	.
Lamium amplexicaule	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	r	+
DV ₂ Riccia ciliifera	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	1	.	.	.	.

VC₁ Alyso-Sedion

Veronica praecox	.	.	.	.	.	1	1	.	.	.	.	.	+	1	.	+	.	+	1	.
DV Tortella inclinata	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	1	.	.

KC₁ Koelerio-Corynephoretea

OC Poa badensis	2a	2b	2a	2b	2a	3	3	2b	2b	2b	2a	2a	2b	2b	2a	2a	2a	2a	2b
Erophila verna	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	.	2a	1	+	2a	1	1	1
Cerastium semidecandrum	1	1	+	1	1	.	1	1	1	+	1	+	1	1	1	1	+	2a	1
Tortula ruralis	2b	4	1	2a	2a	.	3	1	.	3	1	1	4	4	4	2b	2a	2a	3
OC Cerastium pumilum	1	1	+	1	1	2a	2a	1	.	1	1	.	1	1	1	1	.	1	1
Erodium cicutarium	.	+	.	+	.	1	1	2a	1	2a	1	1	1	1	1	1	.	1	1
Sedum sexangulare	3	.	.	2a	2a	2a	.	.	3	3	1	1	2a	2b	.	.	3	3	2a
Cladonia furcata	1	+	+	1	.	1	.	1	1	.	1	1	1	1	.	1	.	.	.
Sedum acre	.	3	2b	.	.	1	1	.	.	.	1	.	.	1	1	2a	.	1	.
Cladonia foliacea	.	1	1	1	1	1	.	.	.	1	.	1	1	.	.	1	.	.	.
Ceratodon purpureus	.	1	.	1	1	1	.	.	1	.	1	+	.	.	.	1	.	1	.
Holosteum umbellatum	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	1	+	.	+	r	1	1	.	.
Cetraria aculeata	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	1	.	.	.
KC ₂ Festuco-Brometea	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Euphorbia cyparissias	.	+	+	r	.	.	.	r	.	.	.	.	1	.	+	.	1	2a	.
Festuca valesiaca	+	.	.	.	.	.	+	.	.	.	r	.	.	+	+	.	+	.	.
Abietinella abietina	.	.	.	.	1	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.
Koeleria macrantha	.	.	.	.	.	1	1	1	.	.	.	.	.	.	r	1	.	.	.

Fortsetzung Tab. 2

Aufnahme-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
<i>Hieracium pilosella</i>	1		1																
<i>Festuca pallens</i>	+																		
KC <i>Violetea calaminariae</i>																			
<i>Minuartia verna</i> subsp. <i>hercynica</i>			1																
Weitere Moos- und Flechtenarten																			
<i>Hypnum cupressiforme</i>	1	1	1		1	1	3		2b	2b	1	2a	3	1	1	4	1	2a	
<i>Bryum caespitium</i>		2a	1	1		1	1					1	+		1				
<i>Barbula convoluta</i>		1	1								1						1	1	
<i>Peltigera rufescens</i>			1		1			1			1								
<i>Homalothecium lutescens</i>							1				1				1				1

Außerdem: *Achillea pannonica* 12:1, 16:1; *Acinos arvensis* 14:++; *Alyssum montanum* 6:++; *Asperula cynanchica* 5:+, 6:++; *Cladonia pyxidata* 16:1, 1:++; *Ditrichum flexicaule* 15:1; *Galium glaucum* 16:1; *Geranium pusillum* 14:1, 17: r; KC *Echium vulgare* 16:+, 17:++; *Encalypta streptocarpa* 15:1, 16:++; *Eryngium campestre* 11:r; *Lactuca serriola* 9:++; *Medicago lupulina* 8:++; *Poa angustifolia* 11:r; *Potentilla argentea* 13:++, 2:++; *Potentilla tabernaemontani* 15:+, 16:++; *Prunus mahaleb* 15:r; *Rumex acetosella* 12:1, 19:++; *Saxifraga granulata* 3:r; *Scabiosa ochroleuca* 14:1, 18:++; *Tortella tortuosa* 12:1; KC *Trifolium arvense* 13:+, 15:2a; KC *Trifolium striatum* 12:1, 18:r; *Vicia tetrasperma* 5:++; *Viola arvensis* 9:++.

pulcherrima als charakteristische Arten. Beide Subassoziationen bilden in der DCA eine gemeinsame Gruppe, in der sie sich aber abgrenzen (Abb. 7). Die *Agrostis*-Subass. leitet zu den Silikattrockenrasen des *Filipendulo-Helictotrichetum armerietosum* über und die *Teucrium*-Subass. ähnelt den kontinentalen Halbtrockenrasen des *Cirsio-Brachypodietum teucrietosum* (s. Kap. 4.1.7.). Die letzteren beiden Subassoziationen teilen sich besonders viele Arten, z. B. die Calcicolen *Scabiosa canescens* und *Carex humilis*, oder Arten mit höheren Nährstoff- und Wasseransprüchen wie *Salvia pratensis*, *Scabiosa ochroleuca* und *Plantago media*.

4.1.7. *Adonido vernalis-Brachypodietum pinnati* (Libbert 1933) Krausch 1961 (Tabellen 7 und 8, Beilage)

Kontinentale Halbtrockenrasen des *Cirsio-Brachypodion* Hadaè et Klika 1944 kommen auf den Bottendorfer Hügeln mit zwei Gesellschaften vor, die beide zur Assoziation *Adonido vernalis-Brachypodietum pinnati* zählen. Die Bestände des *Adonido-Brachypodietum teucrietosum* (Tabelle 7) wachsen über Stinkschiefer und Zechsteingips in nördlicher Hanglage oder auf ebenen Flächen. Lokal-diagnostische Arten der Subassoziation sind z. B. *Adonis vernalis*, *Brachypodium pinnatum*, *Briza media*, *Cirsium acaule* und *Hippocrepis comosa*. Überregionale Differenzialarten der Subassoziation kommen mit *Scabiosa canescens*, *Carex humilis* und *Teucrium montanum* vor. Innerhalb des *Adonido-Brachypodietum teucrietosum* unterscheiden wir eine Variante von *Potentilla heptaphylla* am Nordhang des Galgenbergs und dem nordwestlich davon gelegenen Hügel. In diesen Beständen kommen submediterran verbreitete Arten häufiger vor, z. B. *Gentianella germanica* und *Anthericum ramosum*. Die Bestände der Variante von *Stipa capillata* wachsen dagegen vor allem am Südhang des Galgenbergs und enthalten mehr kontinental verbreitete und xerophile Arten, z. B. *Stipa capillata* und *Teucrium montanum*. Die Bestände am Pfarrberg, westlichen Galgenberg und am westlich davon gelegenen Hügel enthalten teilweise *Fumana procumbens* und können wahlweise auch zum *Trinio-Caricetum humilis* Br.-Bl. et Moor 1938 (*Xerobromion*) gestellt werden, das im unteren Unstruttal auf Muschelkalk häufig vorkommt (BECKER 1998, 2003). SCHUBERT (1954) klassifizierte den Großteil der Bestände als *Armerietum bottendorffensis teucrietosum*, obwohl in ihnen keine Metallophyten vorkommen.

Die zweite Subassoziation des *Adonido-Brachypodietum* kommt auf den eingeebneten Halden auf schwermetallhaltigen Böden vor. Wir klassifizieren die Bestände als *Adonido-Brachypodietum armerietosum halleri* subass. nov. (Tabelle 8, Holotypus Aufn. 7). Die Metallophyten *Minuartia verna* subsp. *hercynica* und besonders *Armeria maritima* subsp. *halleri* sind in den Beständen häufig; letztere bildet hier im Frühsommer auffällige Aspekte. Insgesamt überwiegen aber die Kenn- und Trennarten des *Cirsio-Brachypodion*, zu denen *Astragalus danicus*, *Festuca rupicola*, *Plantago media*, *Scabiosa canescens* und *S. ochroleuca*

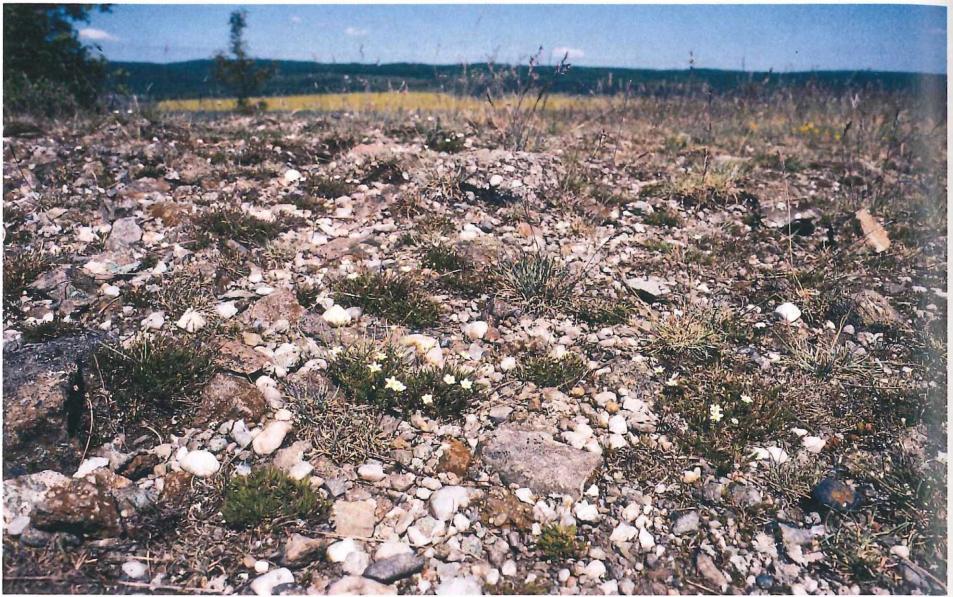


Abb. 2: Bleichschwingel-Schwermetall-Trockenrasen (*Teucrio-Festucetum armerietosum*) mit *Minuartia verna* subsp. *hercynica* und *Festuca pallens* auf der Kuppe einer ehemaligen Halde (Juni 1999; Th. Becker).

Fig. 2: Heavy metal-influenced dry grassland (*Teucrio-Festucetum armerietosum*) with *Minuartia verna* subsp. *hercynica* and *Festuca pallens* on the hilltop of a former mine tailing (June 1999; Th. Becker).



Abb. 3: Blick vom westlichen Leimberg über Bottendorf in die Unstrutau. Über dem bankig anstehenden Zechsteinkonglomerat wachsen auf schwermetallhaltigen Böden Bleichschwingelfluren des *Thymo-Festucetum armerietosum* (Mai 1995; T. Becker).

Fig. 3: View from the western Leimberg to Bottendorf over the floodplain of the Unstrut River. Pale fescue grasslands of the *Thymo-Festucetum armerietosum* grow on heavy metal-containing soil on the outcropping Zechstein conglomerate (May 1995; Th. Becker).



Abb. 4: Schwermetall-Trockenrasen (*Filipendulo-Helictotrichetum armerietosum*) auf schwach-schwermetallhaltigen Porphyrkonglomerat-Böden zur Blütezeit von *Saxifraga granulata* und *Orchis morio* am östlichen Leimberg (12. Mai 1999; M. Brändel).

Fig. 4: Dry grasslands (*Filipendulo-Helictotrichetum armerietosum*) on porphyry conglomerate soils with low heavy metal content at the eastern Leimberg, during the flowering season of *Saxifraga granulata* and *Orchis morio* (12 May 1999; M. Brändel).



Abb. 5: Pfriemengrasrasen auf Silikat (*Festuco-Stipetum agrostietosum*) mit *Stipa capillata* am südlichen Galgenberg (Juni 1998; Th. Becker).

Fig. 5: Grasslands with *Stipa capillata* on silicate (*Festuco-Stipetum agrostietosum*) on the southern Galgenberg (June 1998; Th. Becker).

Tab. 3: Bleichschwingel-Schwermetalltrockenrasen der Haldenkuppen der Bottendorfer Hügel: *Teucrio montani-Festucetum pallentis* Mahn 1965 *armeretosum halleri* Subass. nov.Tab. 3: Pale fescue - heavy metal - dry grasslands of the hilltops of the Bottendorf Hills: *Teucrio montani-Festucetum pallentis* Mahn 1965 *armeretosum halleri* subass. nov.

	Offene Haldenkuppen															Bewachsene Haldenkuppen															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Aufnahme-Nr.	Lw	Lw	Ga	Lw	Lö	Lw	Ga	Lw	Ga	Lw	Ga	Lw	Ga	Lw	Ga	Lw	Ga	Lw	Lw	Lw	Ga	Lö	Lw	Ga	Lö	Lw	Ga	Lö	Ga	Lö	Ga
Teilgebiet	4	6	2,7	4,5	2,8	2,5	4	4	3,6	1,9	2,6	2	1,5	2,3	3	2	1,7	6	2,0	4	2,5	2	1,8	4,2	1,8	2,6	4	2,6	3,4	2,5	
Flächengröße [m²]	-	30	30	10	40	20	190	-	90	320	230	230	-	20	30	120	120	230	40	90	230	270	320	20	70	100	350	20	220	90	
Hanglage [°]	0	18	6	18	12	10	5	0	10	10	2	2	0	16	20	12	2	14	10	18	2	4	18	8	10	10	2	14	2	14	
Hangneigung [°]	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	
Ausgangsgestein	90	19	20	17	3	23	3	4	11	22	10	3	7	20	29	27	9	11	15	16	17	11	20	9	14	8	19	2	10	12	
Gründigkeit des Bodens [cm]	8,0	8,0	8,0	8,0	8,2	7,8	7,9	7,8	7,9	7,3	8,2	8,4	8,5	8,2	8,2	8,2	6,9	7,9	7,8	8,3	8,3	7,8	8,2	8,1	8,2	8,0	8,4	8,2	8,0	8,0	
pH	22	26	25	23	25	19	5	3	21	18	15	20	20	28	22	21	26	0	25	26	19	14	22	10	17	23	12	20	16	7	
Karbonat [%]	17	16	12	28	31	16	13	13	26	13	19	11	14	26	22	15	25	18	17	11	12	14	16	10	13	12	13	12	12	12	
C/N-Verhältnis	1921	1932	1352	1776	482	1871	276	264	1852	1857	428	281	253	379	794	308	687	174	555	1844	396	296	936	288	295	296	322	284	283	323	
Leitfähigkeit [µS/cm ⁻¹]	11,90	9,49	11,79	9,95	5,86	9,37	13,10	13,25	8,31	11,54	9,40	8,06	7,89	9,95	11,37	10,59	10,12	0,98	9,99	6,85	9,39	11,99	11,04	10,39	10,77	9,38	8,52	9,05	10,28	11,43	
Kupfer [µmol/g ⁻¹]	2,94	3,07	0,74	2,65	4,63	1,83	0,35	0,36	2,75	0,25	0,56	0,40	1,69	1,55	0,99	0,64	2,68	5,28	1,51	2,87	1,64	0,16	0,58	1,06	1,21	2,68	0,19	5,01	1,03	0,25	
Zink [µmol/g ⁻¹]	0,16	0,33	0,42	0,20	0,13	0,56	0,04	0,08	1,08	0,25	0,93	1,35	3,82	0,17	0,08	0,76	0,48	0,80	0,47	1,96	0,23	0,16	0,15	0,29	0,23	0,62	0,01	0,12	0,81	0,14	
Blei [µmol/g ⁻¹]	5	10	20	5	30	10	35	45	25	15	20	25	30	35	45	25	60	40	45	40	45	40	50	50	55	30	40	50	50	60	
Deckung der Krautschicht [%]	1	1	5	1	5	5	10	20	30	5	20	35	10	5	10	60	5	90	20	40	30	20	60	40	70	10	30	60	35	70	
Deckung der Kryptogamenschicht [%]	10	15	15	15	15	15	20	25	30	30	5	20	10	20	10	5	5	35	20	10	10	5	10	10	10	40	10	40	30	20	
Anteil offener Boden [%]	90	75	70	85	70	70	60	55	45	30	50	45	50	55	50	30	70	10	5	15	45	30	35	40	5	60	20	20	15	5	
Anteil Steine [%]	2	4	4	5	6	6	7	7	9	6	7	8	10	9	14	12	9	10	14	14	15	13	14	11	14	15	19	12	18	18	
Artenzahl Gefäßpflanzen	2	2	3	2	3	3	4	5	3	4	3	5	4	5	5	8	8	10	3	7	9	12	8	11	9	6	7	8	10	12	
Artenzahl Moose und Flechten																															
VC Festucion pallentis	.	+	+	+	1	.	2b	2b	2a	1	1	1	1	+	+	2a	1	3	2b	2a	2a	2a	2a	2a	2a	2b	2a	2a	2a	2b	
Festuca pallens	.	+	.	+	+	+	.	+	1	.	1	+	1	r	+	.	1	.	1	.	1	1	+	.	1	1	1	+	+	+	.
Alyssum montanum	.	.	.	.	.	.	+	1	+	+	+	.	1	.	.	1	1	1	.	2a	+	+	+	1	+	2a	1	+	1	1	1
OC Festucetalia pallentis	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Silene otites	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Scabiosa canescens	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Potentilla heptaphylla	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
VC Armerion halleri	+	.	2a	+	+	+	+	+	2a	1	1	+	1	1	2a	1	1	1	1	2a	1	1	2a	1	2a	1	1	1	1	1	1
Armeria maritima subsp. halleri																															

KC	Violetea calaminiarum	1	1	2a	1	2b	2b	2a	1	2a	2a	2b	2a	2b	2a	2b	2a	2b	3
Minuartia verna subsp. hercynica		+	.	1	.	1	1	2a	1	2a	3	.	1	2b	1	.	1	2a	2a
Weitere Arten																			
Diploschistes muscorum																			
KC ₂ Tortula ruralis																			
KC ₂ Sedum acre																			
KC ₂ Cladonia furcata																			
Barbula convoluta																			
Bryum caespitium																			
KC ₂ Cladonia foliacea																			
Collema spec.																			
KC ₂ Poa badensis																			
Collena spec.																			
Euphrasia stricta																			
Cladonia pyxidata																			
KC ₁ Euphorbia cyparissias																			
KC ₂ Cetraria aculeata																			
Hypnum cupressiforme																			
KC ₁ Abietinella abietina																			
KC ₁ Sanguisorba minor																			
KC ₂ Racomitrium canescens																			
KC ₂ Ceratodon purpureus																			
KC ₁ Koeleria macrantha																			
Thymus pulegioides et T. praecox																			

Außerdem: Achillea pannonica 20+; Agrimonia eupatoria 29+; Agrostis capillaris 28+; Asperula cynanchica 23+; Astragalus danicus 23+; Cephalozia divaricata 14+; Cerastium arvense 26+; Cerastium pumilum 21+; 25+; 28+; Cerastium semidecandrum 18+; 29+; 30+; Convolvulus arvensis 4+; 11+; 13+; 15+; Crataegus spec. 23+; Dianthus carthusianorum 17+; 20+; Ditrichum flexicaule 23+; Echium vulgare 13+; 16+; 22+; 26+; 29+; Erophila verna 21+; 28+; Festuca rupicola 15+; 19+; Fulgensia fulgens 1+; 13+; Galium verum 7+; 25+; Helictotrichon pratense 19+; Homalothecium lutescens 21+; 22+; 23+; 24+; Leontodon hispidus 18+; Linum catharticum 14+; Luzula campestris 29+; Peligera rufescens 2+; Pimpinella saxifraga 26+; 27+; 29+; Plantago media 23+; Potentilla tabernaemontani 21+; 30+; Prunus mahaleb 1+; 24+; Psora decipiens 7+; Riccia ciliifera 18+; Rosa spec. 10+; 15+; 22+; 23+; 27+; 29+; 30+; Rumex acetosella 15+; 18+; Saxifraga tridactylites 28+; Sedum sexangulare 14+; Seseli annuum 23+; 30+; Taraxacum Sekt. Erythrosperma 9+; 13+; 16+.

K₁: Festuco-Brometea, K₂: Koelerio-Corynephoretea

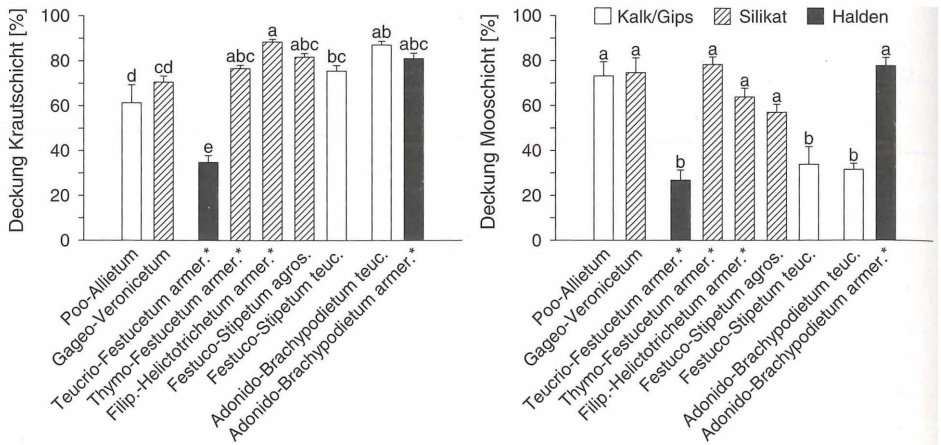


Abb. 6: Struktur der Schwermetall- und Trockenrasen der Bottendorfer Hügel. Mittelwert und 1 Standardfehler; Stichproben wie in Tab. 1; Werte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, $P < 0,05$.

Fig. 6: Vegetation structure of the grasslands of the Bottendorf Hills. Mean and one standard error; sample size corresponds to Tab. 1; values with different letters differ significantly, $P < 0.05$.

zählen. *Festuca pallens* und *Alyssum montanum* können hier als Überbleibsel früherer Sukzessionsstadien gedeutet werden, denn die Halden sind erst etwa 200 Jahre alt. Bei SCHUBERT (1954) entspricht die Gesellschaft mit Einschränkung der *Plantago media*-Subass. des *Armerietum bottendorfensis*.

4.2. Umweltbedingungen

Die Vektoren im DCA-Diagramm zeigen Zusammenhänge zwischen dem Auftreten der Gesellschaften und Umweltbedingungen an (Abb. 7). Das *Teucrio-Festucetum armerietosum* und *Thymo-Festucetum armerietosum* sind mit den Kupfer- und Bleigehalten sowie dem C/N-Verhältnis des Bodens positiv korreliert. Das *Adonido-Brachypodietum teucrietosum* und *Festuco-Stipetum teucrietosum* sind dagegen mit dem pH und Karbonatgehalt des Bodens positiv korreliert, und die Felsfluren (*Poo-Allietum*, *Gageo-Veronicetum*) negativ mit der Gründigkeit und positiv mit der Einstrahlung.

Die höchsten Gehalte an Kupfer im Boden zeigen die ehemaligen Halden (*Teucrio-Festucetum armerietosum*, *Adonido-Brachypodietum armerietosum*), wo die Werte mit 9,7 bzw. 8,2 $\mu\text{mol pro g}$ Boden etwa achtmal so hoch liegen, wie über dem schwach kontaminierten Porphy- und Zechsteinkonglomerat (Abb. 8a). Die Zinkgehalte der Haldenböden liegen mit Werten zwischen 1,7 und 2,5 μmol niedriger, zeigen jedoch das gleiche Muster wie die Kupfergehalte (Abb. 8b). Die Bleigehalte sind allgemein niedrig (0,5–1,4 μmol) und unterscheiden sich zwischen den Gesellschaften kaum (Abb. 8c). Das Blei/Karbonat-Verhältnis ist in den Gesellschaften über Silikat deutlich erhöht, da hier die Böden kaum Kalk enthalten. Das weiteste Blei/Karbonat-Verhältnis wurde mit 5,5 im *Thymo-Festucetum armerietosum* gemessen (Abb. 8d).

Die beiden Gesellschaften der Halden (*Teucrio-Festucetum armerietosum*, *Adonido-Brachypodietum armerietosum*) unterscheiden sich kaum in ihren Gehalten an Schwermetallen, jedoch im Grad der Bodenentwicklung. Auf den Kuppen der Halden (*Teucrio-Festucetum armerietosum*) geht die Bodenentwicklung nicht über ein Rohbodenstadium hinaus, was in einem weiten C/N-Verhältnis des Bodens von 16 zum Ausdruck kommt (Abb. 8e). Auf den verebneten Halden (*Adonido-Brachypodietum armerietosum*) sind dagegen humus- und feinerdereiche Rendzinen mit einem engeren C/N-Verhältnis um 12 entwickelt. In den Felsfluren (*Poo-Allietum*, *Gageo-Veronicetum*) ist das C/N-Verhältnis auffällig niedrig, ver-

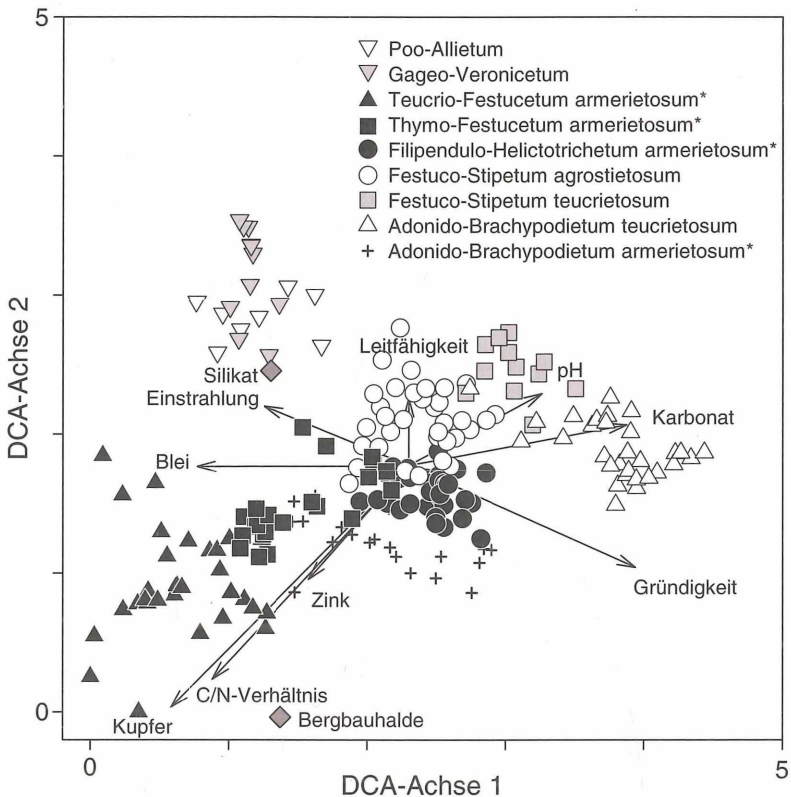


Abb. 7: DCA der Schwermetallrasen und Trockenrasen der Bottendorfer Hügel mit eingeblendeten Umweltvektoren. Schwermetallrasen-Gesellschaften sind mit Sternchen markiert. 206 Aufnahmen, 197 Arten; Achse 1: Länge 4,4 Standardabweichungseinheiten, Eigenwert 0,49; Achse 2: 3,5, 0,26.

Fig. 7: DCA of the grasslands on sites with and without heavy metals in the Bottendorf Hills, with projected environmental vectors. Heavy metal-influenced grassland communities are indicated by asterisks. 206 relevés, 197 species; axis 1: length 4.4 standard deviation units, eigenvalue 0.49; axis 2: 3.5, 0.26.

mutlich weil die dominierenden Annuellen und Sukkulanten kaum Sklerenchym enthalten. Die Böden des *Gageo-Veronicetum* sind zudem mit etwa 1,3 μmol Kupfer, Zink und Blei schwach kontaminiert (Abb. 8a–c).

Die pH-Werte, Leitfähigkeiten und Karbonatgehalte des Bodens liegen in den Gesellschaften auf Kalk, Gips und den Halden höher als in den Gesellschaften auf Silikat (Abb. 8f–h). Die höchsten Karbonatgehalte von durchschnittlich 39 bzw. 27 % wurden im *Festuco-Stipetum teucrietosum* und *Adonido-Brachypodietum teucrietosum* gemessen, während im *Thymo-Festucetum armerietosum* der Karbonatgehalt mit <0,1 %, und mit 5,7 auch der pH, am niedrigsten liegen. Das C/N-Verhältnis des Bodens beträgt im *Thymo-Festucetum* lediglich 14 und die mittlere Gründigkeit 11 cm (Abb. 8e,i). Das *Festuco-Stipetum agrostietosum* kommt ebenfalls auf sehr flachgründigen Böden vor, die jedoch Löss enthalten und daher ein C/N-Verhältnis von 12 und einen pH von 6,7 haben (Abb. 8e,f,i).

Die Bestände des *Festuco-Stipetum teucrietosum* wachsen sowohl an Südhängen mit hoher Einstrahlung als auch auf ebenen Flächen mit geringerer Einstrahlung, ebenfalls zumeist auf lösshaltigen Böden. Die Rasen des *Adonido-Brachypodietum teucrietosum* kommen an Nordhängen mit geringerer Einstrahlung (*Potentilla heptaphylla*-Var.) und Südhängen auf relativ tiefergründigen Böden vor (*Stipa capillata*-Var.). Insgesamt ist die Einstrahlung in den Silikatrassen am höchsten (Abb. 8i,j).

Die Bodengründigkeit ist in den Felsfluren (*Poo-Allietum*, *Gageo-Veronicetum*) am niedrigsten und in den Halbtrockenrasen und Kalkrasen (*Adonido-Brachypodietum*, *Festuco-Stipetum teucrietosum*) am höchsten (Abb. 8i). Die Einstrahlung ist dagegen in den Felsfluren hoch und in Halbtrockenrasen niedrig (Abb. 8j).

In der multiplen logistischen Regression ist die Konzentration an Kupfer im Boden der einzige Umweltfaktor, der in einem positiven Zusammenhang mit dem Vorkommen von *Armeria maritima* subsp. *halleri* und *Minuartia verna* subsp. *hercynica* steht, während der pH, die Leitfähigkeit, der Anteil an Steinen und die Deckung der Krautschicht in einem negativen Zusammenhang mit dem Vorkommen der einen oder anderen Art stehen (Tab. 9). In der einfachen logistischen Regression ist das Auftreten der Metallophyten mit dem Kupfer- und Zinkgehalt des Bodens positiv korreliert (Abb. 9). In einer einfachen linearen Regression (nicht dargestellt) nimmt die Deckung von *Armeria maritima* subsp. *halleri* ($r^2 = 0,34$, $P < 0,001$) und *Minuartia verna* subsp. *hercynica* ($r^2 = 0,54$, $P < 0,001$; jeweils $n = 157$) mit der Konzentration an Kupfer im Boden zu.

4.3. Artenreichtum

Insgesamt konnten wir in den Schwermetallrasen und Trockenrasen der Bottendorfer Hügel 157 Gefäßpflanzen-, 28 Moos- und 12 Flechtenarten nachweisen. Besonders artenreich sind die Gesellschaften auf Kalk und Gips (*Festuco-Stipetum teucrietosum*, *Adonido-Brachypodietum teucrietosum*) in denen 37 bzw. 36 Gefäßpflanzenarten auf 9 m² vorkommen (Abb. 10). Auf kalkarmen und schwach sauren Silikatböden mit relativ weitem C/N-Verhältnis (*Thymo-Festucetum armerietosum*, *Filipendulo-Helictotrichetum armerietosum*, *Festuco-Stipetum agrostietosum*) wachsen dagegen im Mittel nur 27 bis 32 Gefäßpflanzenarten auf 9 m². Die Rasen auf den ehemaligen Halden sind nur artenarm, wenn sie auf Rohböden wachsen (10 Gefäßpflanzenarten auf 3,2 m² im *Teucrio-Festucetum armerietosum*), während auf den tiefgründigeren Böden der verebneten Halden artenreiche Rasen vorkommen (31 Gefäßpflanzenarten auf 9 m² im *Adonido-Brachypodietum armerietosum*). Auch die Felsfluren (*Gageo-Veronicetum*, *Poo-Allietum*) sind mit 15 bzw. 20 Gefäßpflanzenarten auf 0,5 m² recht artenreich. Allerdings können ihre Artenzahlen wegen der kleineren Aufnahmeflächen nicht mit denen der Rasen verglichen werden.

Der Artenreichtum der Moose und Flechten ist in den Gesellschaften insgesamt ähnlich. Geschlossene Silikattrockenrasen (*Filipendulo-Helictotrichetum armerietosum*, *Festuco-Stipetum agrostietosum*) enthalten allerdings weniger Moose und Flechten, dagegen lückige Silikattrockenrasen (*Gageo-Veronicetum*, *Thymo-Festucetum armerietosum*) besonders viele (Abb. 10). Das Verhältnis von Moosen und Flechten hält sich in den meisten Gesellschaften die Waage. Lediglich in den Kalkmagerrasen (*Festuco-Stipetum teucrietosum*, *Adonido-Brachypodietum teucrietosum*) dominieren die Moose in ihrer Artenzahl deutlich (Abb. 10).

Der Artenreichtum von Gefäßpflanzen, Moosen und Flechten nimmt bis pH 7,5 zu und dann leicht ab (Abb. 11). Der Artenreichtum ist mit der Leitfähigkeit und dem Karbonatgehalt des Bodens linear positiv korreliert. Das C/N-Verhältnis des Bodens ist linear negativ mit dem Artenreichtum korreliert.

Der Artenreichtum der Gefäßpflanzen nimmt mit dem pH, Karbonatgehalt, der Leitfähigkeit und Gründigkeit des Bodens zu und mit dem C/N-Verhältnis und Kupfergehalt des Bodens ab (Tab. 10). Diese Faktoren sind allerdings stark miteinander korreliert. Die Artenzahl der Moose ist mit der Deckung der Krautschicht negativ und dem Anteil an Steinen positiv korreliert. Zudem gibt es einen positiven Zusammenhang zwischen der Moosartenzahl und dem Kupfergehalt des Bodens, der die Offenheit der Vegetation positiv widerspiegelt, und einen negativen Zusammenhang zwischen der Moosartenzahl und der Gründigkeit. Die Artenzahl der Flechten hängt ebenfalls stark von der Struktur der Vegetation ab. Zusätzlich ist die Artenzahl der Flechten mit dem pH, Karbonatgehalt und der Leitfähigkeit des Bodens positiv korreliert.

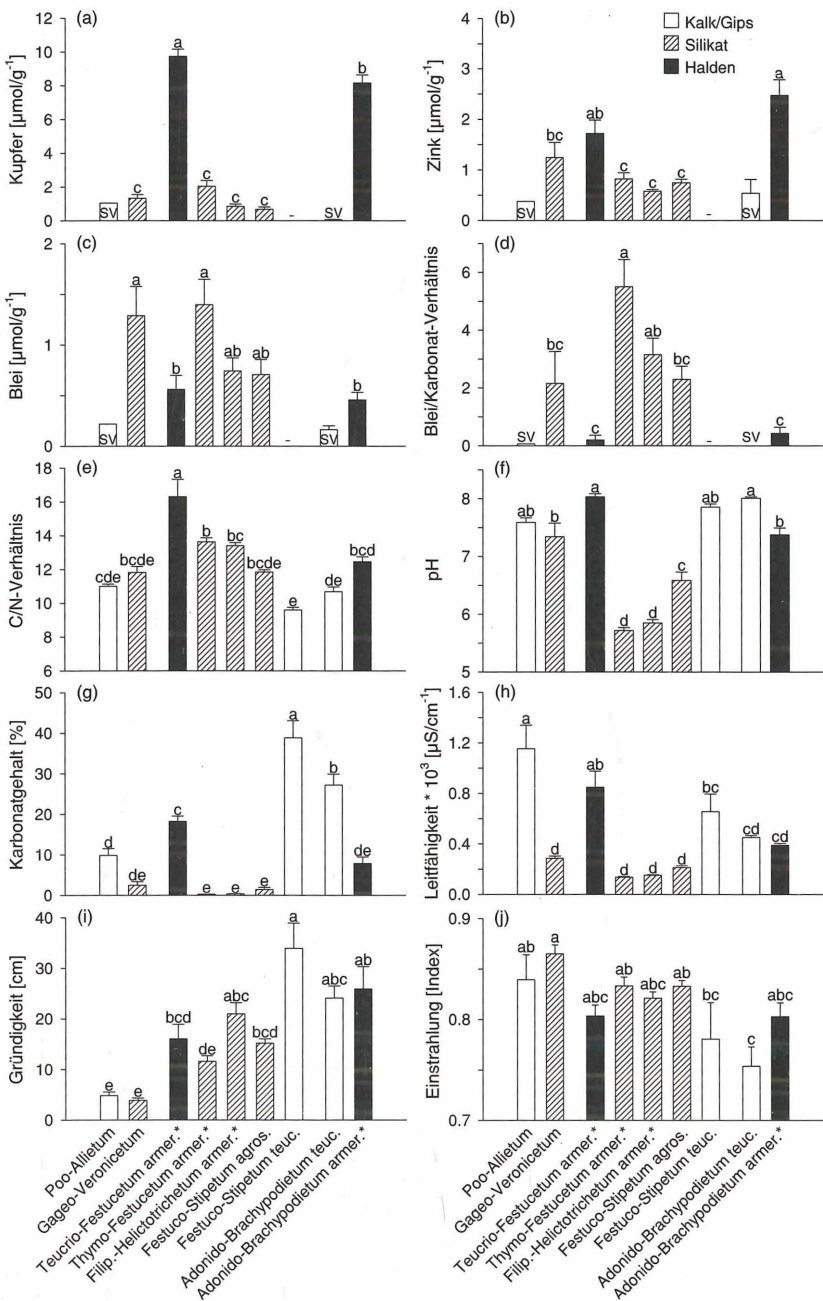


Abb. 8: Umweltbedingungen der Schwermetall- und Trockenrasen der Bottendorfer Hügel. Schwermetallrasen sind mit Sternchen (*) markiert. Mittelwert und 1 Standardfehler. SV = Einzelwerte; Stichproben ansonsten wie in Tab. 1; Werte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, Tukey's HSD-Test, $P < 0,05$.

Fig. 8: Environmental characteristics of the grassland communities of the Bottendorf Hills. Heavy metal grasslands are indicated by asterisks (*). Mean and one standard error. SV = single values; otherwise sample sizes correspond to Tab. 1; values with different letters differ significantly, Tukey's HSD test, $P < 0.05$.

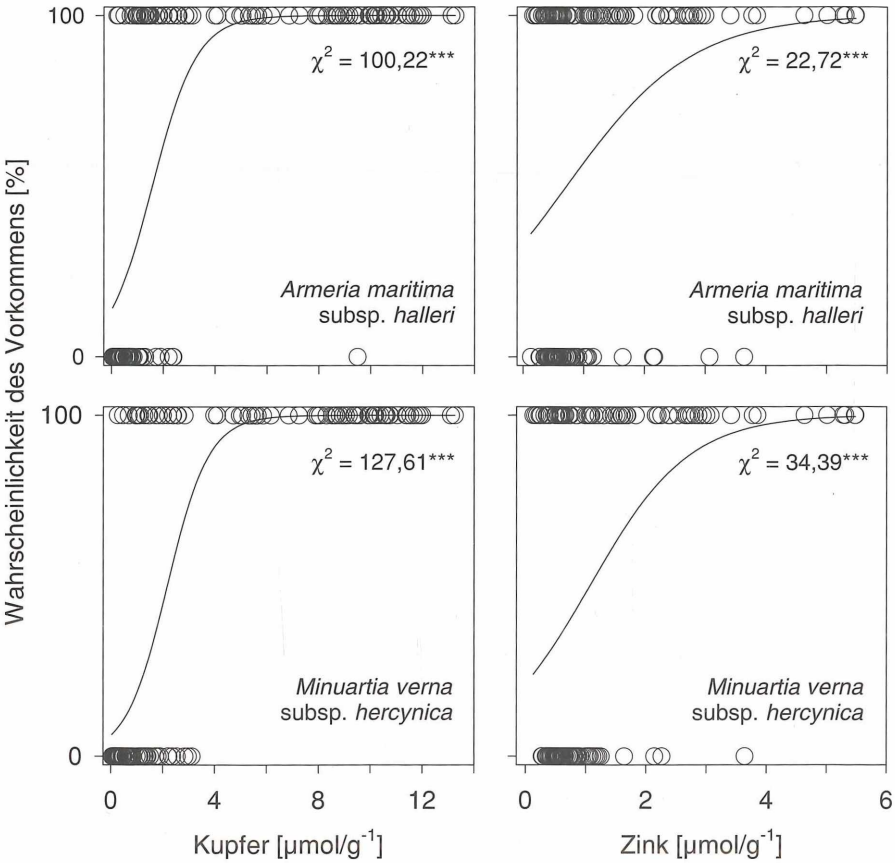


Abb. 9: Wahrscheinlichkeit des Vorkommens von zwei Metallophyten in Abhängigkeit vom Kupfer- und Zinkgehalt des Bodens (n=157).

Abb. 9: Probability of the occurrence of two metallophytes in relation to the soil content of copper and zinc (n=157).

Tabelle 9: Ergebnisse einer Multiplen logistischen Regression (Regressionskoeffizienten) der Zusammenhänge zwischen der Wahrscheinlichkeit des Vorkommens von zwei Metallophyten und Umweltbedingungen. Die gleichen Umweltparameter wie in Tab. 10 dienten der Analyse. Nur signifikante Parameter ($P < 0,05$) sind dargestellt. n = 157; *, $P < 0,05$, **, $P < 0,01$, ***, $P < 0,001$.

Table 9: Results of a multiple logistic regression (regression coefficients) of the relationships between the probability of occurrence of two metallophytes and environmental conditions. The same environmental parameters as shown in Tab. 10 were used in the analyses. Only significant parameters ($P < 0.05$) are shown. n = 157; *, $P < 0.05$, **, $P < 0.01$, ***, $P < 0.001$.

	<i>Armeria maritima</i> subsp. <i>halleri</i>	<i>Minuartia verna</i> subsp. <i>hercynica</i>
Gesamtmodel (Chi^2)	149,04***	139,42***
Kupfer	3,09***	1,38***
pH	-2,39**	-
Leitfähigkeit	-0,01**	-
Anteil Steine	-0,09*	-
Deckung der Krautschicht	-	-0,08**

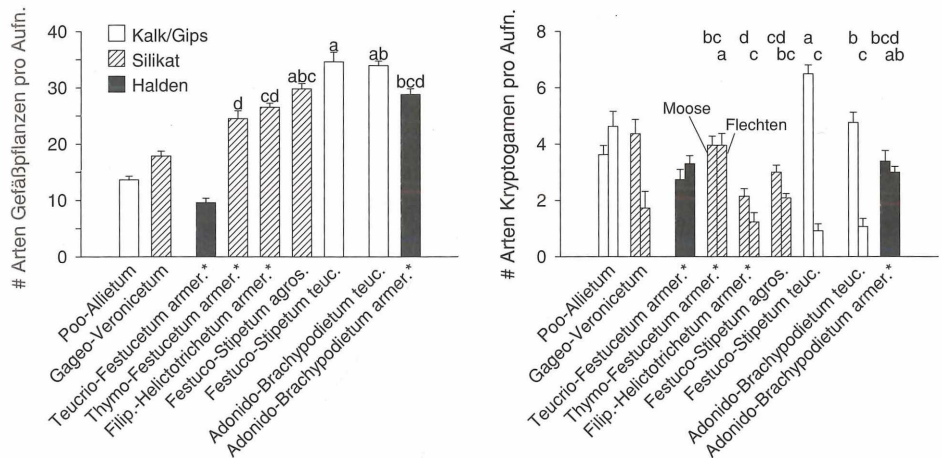


Abb. 10: Artenreichtum der Schwermetall- und Trockenrasen der Bottendorfer Hügel. Mittelwert und 1 Standardfehler; Stichproben wie in Tab. 1; Werte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant (obere Zeile: Moose, untere: Flechten); ANOVA, $P < 0,05$. Drei Gesellschaften wurden wegen kleinerer Aufnahmeflächen statistisch nicht untersucht.

Fig. 10: Species richness of the grasslands of the Bottendorf Hills. Mean and one standard error; for sample size see Tab. 1; values with different letters differ significantly (upper line: mosses; lower: lichens); ANOVA, $P < 0.05$. Three communities were not analysed statistically because plot size was smaller.

Tabelle 10: Zusammenhänge zwischen dem Artenreichtum von Gefäßpflanzen, Moosen und Flechten und Umweltbedingungen in den Schwermetallrasen und Trockenrasen der Bottendorfer Hügel. Spearman-Rangkorrelationen; für Kupfer, Zink, Blei und das Blei/Karbonat-Verhältnis: $n = 125$, ansonsten: $n = 165$.

Table 10: Relationships of species richness of vascular plants, bryophytes and lichens and habitat conditions in the heavy metal and dry grasslands of the Bottendorf Hills. Spearman rank correlations; for copper, zinc, lead and the lead/carbonate ratio: $n = 125$, otherwise: $n = 165$.

	Anzahl Gefäßpflanzenarten		Anzahl Moosarten		Anzahl Flechtenarten	
	r	p	r	p	r	p
Kupfer	-0,27	0,002	0,42	<0,001	0,30	<0,001
Zink	-0,03	0,708	0,10	0,254	0,19	0,035
Blei	-0,14	0,126	-0,08	0,399	0,03	0,713
Blei/Karbonat-Verhältnis	0,01	0,916	-0,24	0,006	-0,22	0,015
pH	0,30	<0,001	-0,06	0,415	0,34	<0,001
Karbonat	0,27	<0,001	-0,10	0,195	0,51	<0,001
Leitfähigkeit	0,31	<0,001	-0,12	0,135	0,39	<0,001
C/N-Verhältnis	-0,56	<0,001	0,26	<0,001	-0,18	0,021
Gründigkeit	0,26	<0,001	-0,40	<0,001	0,03	0,744
Einstrahlung	-0,08	0,324	0,10	0,191	-0,09	0,269
Anteil Steine	-0,12	0,115	0,29	<0,001	0,51	<0,001
Anteil offener Boden	0,12	0,112	-0,02	0,778	0,54	<0,001
Deckung der Krautschicht	0,29	<0,001	-0,53	<0,001	-0,36	<0,001

Signifikante Werte nach Bonferroni-Korrektur in Fettdruck

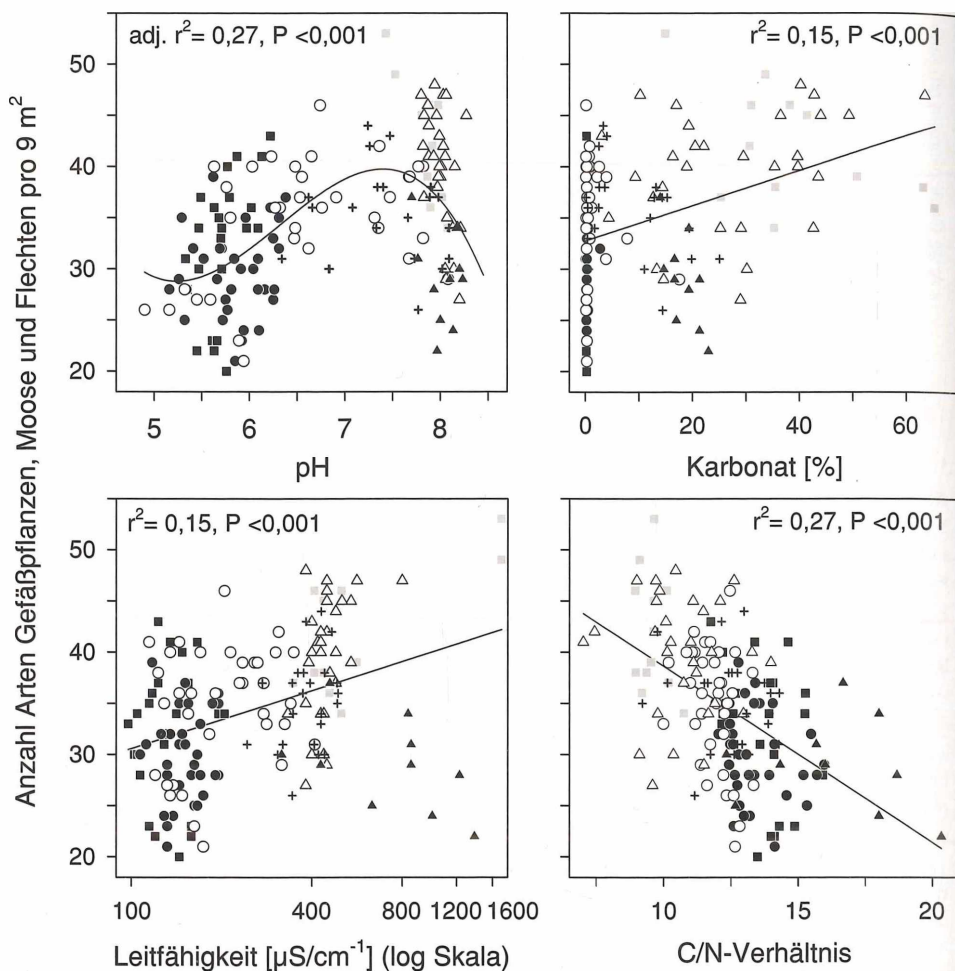


Abb. 11: Beziehungen zwischen dem Artenreichtum von Gefäßpflanzen, Moosen und Flechten und Umweltfaktoren in den Schwermetall- und Trockenrasen der Bottendorfer Hügel. Die Symbole der Gesellschaften siehe in Abb. 7.

Fig. 11: Relationships between the number of vascular plant, bryophyte and lichen species and soil factors in the grasslands of the Bottendorf Hills. For symbols of the communities, see Fig. 7.

5. Diskussion

5.1. Pflanzengesellschaften der Schwermetallrasen und Trockenrasen

Die Schwermetallrasen und Trockenrasen der Bottendorfer Hügel wurden von SCHUBERT (1954) nach der von SCHULZ (1912) als Lokalendemit beschriebenen *Armeria maritima* subsp. *bottendorfensis* (A.A.H. Schulz) Rothm. als lokal-endemische Assoziation *Armerietum bottendorfensis* Schubert 1952 beschrieben. Später wurde die Subspezies *bottendorfensis* eingezogen und der Subspezies *halleri* angegliedert (Lefébvre und Lambinon in WISSKIRCHEN & HAEUPLER 1998). Die Subspezies *halleri* wiederum stellt die Charakterart der Schwermetallrasen des Harzes dar, die derzeit im *Armerietum halleri* Libbert 1930 zusammengefasst sind. Wir stellen die Schwermetallrasen der Bottendorfer Hügel jedoch nicht zum *Armerietum halleri*, da sich ihre floristische Zusammensetzung erheblich von den

Beständen im Harz unterscheidet. Die Schwermetallrasen des Harzes wachsen unter einem feuchteren, eher montanen Klima auf kalkarmen Böden. Daher kommen in ihnen keine Arten der Trockenrasen, sondern eher acidophytische Sippen mit geringeren Wärmeanforderungen vor (ERNST 1974, BROWN 2001), während in den Beständen der Bottendorfer Hügel Azidophyten selten sind und die Arten der Xerothermrasen stark dominieren. Hier kommen z. B. auf einen Metallophyten etwa 50 Nicht-Metallophyten, und auch wenn man die Arten mit ihrer Abundanz wichtet, überwiegen die Nicht-Metallophyten mit einem Verhältnis von 11 zu 1. Daher stellen wir die Rasen der Bottendorfer Hügel auf schwermetallhaltigen Böden als spezielle Subassoziationen (*armerietosum halleri*) zu verschiedenen Trockenrasen-Assoziationen der *Festuco-Brometea*. Diese Einordnung ist unserer Meinung nach die konsequenteste Lösung.

Ein grundsätzliches Problem der Syntaxonomie von Schwermetallrasen ist, dass verschiedene Schwermetall-Pflanzenarten, die für diese Vegetationstypen als Charakterarten genutzt werden, offensichtlich nicht monophyletisch sind und daher keine eigenen Taxa darstellen. VEKEMANS & LEFÈBVRE (1997) fanden auf Grundlage von Allozymloci keine nähere Verwandtschaft metall-toleranter Sippen von *Armeria maritima* im Vergleich zu nicht-toleranten Sippen (s. a. LEFÈBVRE & VERNET 1990). BAUMBACH & HELLWIG (2003) stellten mit Hilfe von RAPD-Markern sogar eine nähere Verwandtschaft der metall-toleranten *Armeria maritima* subsp. *halleri* von den Bottendorfer Hügeln und der nicht-toleranten *Armeria maritima* subsp. *elongata* von der Ostseeküste bei Rügen fest. Dagegen unterschieden sich die metall-toleranten Pflanzen der Unterart *halleri* aus dem östlichen Harzvorland (Mannsfelder Land) von den *Armeria*-Pflanzen aus Bottendorf deutlich. Die Autoren schließen daraus, dass sich Schwermetallresistenz bei *Armeria maritima* mehrfach und unabhängig voneinander entwickelt hat. Lefévre und Lambinon (in WISSKIRCHEN & HAEUPLER 1998: 78) bezeichnen daher die Unterart *halleri* als einen „Hybrid-Komplex aus den Unterarten *maritima*, *elongata* und *alpina*“. Nach BAUMBACH & HELLWIG (2003) sind die metall-toleranten Sippen aus der Unterart *elongata* hervorgegangen. Dennoch handelt es sich bei den schwermetallresistenten Sippen, die derzeit als *Armeria maritima* subsp. *halleri* zusammengefasst werden, um eine paraphyletische Gruppe, die keinen Status einer Art oder Unterart hat, und damit eigentlich nicht als Kennart eines Syntaxons dienen kann.

Ähnliche Ergebnisse wurden für die Schwermetallrasen-Charakterarten *Silene vulgaris* subsp. *humilis* und mit Einschränkung auch *Minuartia verna* subsp. *hercynica* gefunden (BAUMBACH 2005). Vom Standpunkt der Kennartenlehre kann man daher die Existenz der Klasse *Violetea calaminariae* anzweifeln. Eine Alternative könnte ihre Fassung als niederrangige Syntaxa, z. B. Subassoziationen oder Assoziationen innerhalb von Nicht-Schwermetallrasen-Verbänden darstellen. Eine ähnliche Meinung vertrat bereits SCHUBERT (1953), der mit Blick auf die Schwermetallrasen des östlichen Harzvorlandes zwar einen eigenen Verband der Schwermetallrasen (*Violion calaminariae*) gefordert hat, jedoch eine eigene Ordnung oder Klasse wegen des Vorherrschens von Arten der Trockenrasen ablehnte und die Bestände zu den *Festucetalia valesiacae* stellte.

Dem könnte man entgegen halten, dass die Rasen auf schwermetallhaltigen Böden auch durch metalltolerante Ökotypen der Arten der Trockenrasen gekennzeichnet sind, die ihre Zuordnung zu den Schwermetallrasen (im pflanzensoziologischen Sinn) rechtfertigen würden. Solche Ökotypen sind für mehrere der Pflanzenarten, die enger mit kontaminierten Böden assoziiert sind, bekannt, z. B. für *Agrostis capillaris*, *Festuca pallens*, *Silene otites*, *Alysum montanum*, *Plantago lanceolata* und *Euphrasia stricta* (GREGORY & BRADSHAW 1964, SIMON 1977, ERNST 1974, 1990). Allerdings sind lokale Anpassungen von Pflanzenpopulationen an ihre Umwelt und die damit verbundene Ausbildung von Ökotypen die Regel. Insgesamt sind Ökotypen von Pflanzenarten, die morphologisch meist unauffällig sind, kaum zur Charakterisierung von Vegetationstypen geeignet.

Die anderen Rasengesellschaften der Bottendorfer Hügel gehören zu Vegetationstypen, die im Mitteldeutschen Trockengebiet verbreitet sind (z. B. MAHN 1965, HENSEN 1995, BECKER 1998, 2003). Ähnliche Silikatmagerrasen, wie die von uns untersuchten, kommen auf den Porphyrkuppen nördlich von Halle vor (MAHN 1957, WESCHE et al. 2005). Hier fin-

det man z. B. Bestände des *Thymo-Festucetum*, *Filipendulo-Helictotrichetum* und *Festuco-Stipetum agrostietosum* (entspricht dem *Galio-Agrostidetum* bei MAHN 1965). Hervorzuheben ist auch die Felsgrusgesellschaft auf Silikat, das *Gageo-Veronicetum dillenii*. Diese aus den südwestdeutschen Vulkangebieten beschriebene Assoziation (KORNECK 1974) mitsamt des Verbandes *Sedo-Veronicion* ist für das Mitteldeutsche Trockengebiet bisher wenig bekannt und wurde hier nur aus dem unteren Unstruttal (*Veronica praecox*-*Cerastium semidecandrum*-Ges.; BECKER 1998) sowie unteren Saaletal und östlichen Harzvorland beschrieben (SCHUBERT 2001). Die Bestände der Gesellschaft auf den Bottendorfer Hügeln rechnete SCHUBERT (1954) zum *Armerietum bottendorfensis*.

Die Trockenrasen der Bottendorfer Hügel auf Kalk und Gips (*Festuco-Stipetum teucrietosum*) ähneln den Beständen im Kyffhäusergebirge (vgl. JANDT 1999). Gleichzeitig unterscheidet sich im Gebiet das *Festuco-Stipetum teucrietosum* vom *Festuco-Stipetum agrostietosum* floristisch so stark, dass sich die Frage stellt, ob beide Subassoziationen innerhalb einer Assoziation zusammengefasst werden können oder zwei verschiedene Assoziationen vorliegen. MAHN (1965) hat letzteres bereits mit einem *Teucrio-Stipetum* auf Kalk und Gips und einem *Festuco-Stipetum* auf Silikat praktiziert. Allerdings hat sich diese Gliederung in Mitteleuropa nicht durchgesetzt (SCHUBERT et al. 2001). Vor allem auf der mitteleuropäischen Skala erscheint uns eine Gliederung der *Stipa*-Rasen nach edaphischen Unterschieden sinnvoller als die jetzige geographische Gliederung der deutschen Bestände in ein süddeutsches *Allio-Stipetum*, mitteleuropäisches *Festuco-Stipetum* und nordostdeutsches *Potentillo-Stipetum* (vgl. RENNWALD 2000). Im *Festucion pallentis* wird die Notwendigkeit der Gliederung nach Bodenfaktoren noch deutlicher und wurde in dieser Arbeit mit einer Assoziationen auf kalkreichen Halden und einer auf Silikat (*Teucrio-Festucetum*, *Thymo-Festucetum*) auch praktiziert. Zudem gibt es hier auf der Ebene der Assoziationen keine geographische Gliederung wie bei den *Stipa*-Rasen.

Zahlreiche Pflanzenarten, die auf den Bottendorfer Hügeln vorkommen, können als Reste der ausgedehnten Steppentundren des Spät-Pleistozän betrachtet werden, z. B. *Adonis vernalis*, *Carex humilis*, *Oxytropis pilosa*, *Stipa spec.* (BECKER 2003). Vermutlich konnten diese Arten in der Region nicht zuletzt deshalb überleben, weil der Mensch seit der Jungsteinzeit oder der Altsteinzeit die Trockenrasen durch Rodung, Weide und Feuer gefördert hat. So wurden unweit der Bottendorfer Hügel 7.000 bis 9.000 Jahre alte Reste dauerhafter Siedlungen gefunden (KUGLER & SCHMIDT 1988). Die Vorkommen der Metallophyten im Gebiet sind vermutlich ebenfalls Reste der Vegetation des Pleistozän, die auf schwermetallhaltigen Böden überlebten, wo sich kein Wald entwickeln konnte (SCHULZ 1912, s. a. KRUCKEBERG & KRUCKEBERG 1990). Das Hauptverbreitungsgebiet von *Minuartia verna* liegt heute in den Alpen und der Arktis (MEUSEL et al. 1965).

5.2. Zusammenhänge zwischen Artenzusammensetzung und Umweltfaktoren

Ein wichtiges Ergebnis unserer Studie ist, dass das Auftreten der Metallophyten mit dem Gehalt des Bodens an Kupfer und Zink eng korreliert, während die sonstige floristische Zusammensetzung der Schwermetallrasen eher durch andere Umweltfaktoren, wie den pH, die Art des Substrats und den Grad der Bodenentwicklung bestimmt wird. Die Wichtigkeit letzterer Bodenfaktoren für die Artenzusammensetzung von Schwermetallrasen stellte auch BROWN (2001) in der Eifel fest. Im Gegensatz dazu machte ERNST (1976), ebenfalls in der Eifel, den Gehalt des Bodens an Schwermetallen als einzigen differenzierenden Faktor zwischen einem Schwermetallrasen (*Violetum calaminariae*) und Kalkmagerrasen (*Gentiano-Koelerietum*) verantwortlich.

In den Rasen auf Kalk und Gips untersuchten wir den Gehalt an Schwermetallen lediglich exemplarisch. Vermutlich hätte die Untersuchung von Schwermetallen in allen Aufnahmen einen noch stärkeren Zusammenhang zwischen dem Auftreten der Metallophyten und der Konzentration des Bodens an Schwermetallen ergeben, da die Rasen auf Kalk und Gips nicht kontaminiert sind und keine Metallophyten enthalten.

Die Anzahl der Nicht-Schwermetallarten ist auf den verebneten Halden (*Adonido-Brachypodietum armerietosum*) deutlich höher als auf den Haldenkuppen (*Teucrio-Festuce-*

tum armerietosum), obwohl sich der gemessene Schwermetallgehalt in beiden Gesellschaften kaum unterscheidet. Dies kann durch die Bildung von organischen Schwermetallverbindungen auf den verebneten Halden erklärt werden (ERNST 1974, SIMON 1978). Sie sind gut wasperlöslich und werden daher bei den Analysen erfasst. Sie sind aber weniger giftig und schädigen daher die Nicht-Schwermetallpflanzen geringer (ERNST 1974). Zusätzlich dürfte die Wasser- und Nährstoffversorgung auf den verebneten Halden, wo die Böden stärker entwickelt sind, besser sein, was den Stress der Pflanzen abmildert. Man kann daher vermuten, dass die Differenzierung der beiden Gesellschaften *Teucrio-Festucetum armerietosum* und *Adonido-Brachypodietum armerietosum* vor allem durch unterschiedlich weit fortgeschrittene Bodenentwicklung entstanden ist.

Höhere Nährstoffmengen können auch der Grund dafür sein, dass die konkurrenzkräftigen Gräser *Helictotrichon pratense* und *Agrostis capillaris* in den letzten 50 Jahren zugenommen und die konkurrenzschwachen Metallophyten abgenommen haben. Diese Veränderung wird durch einen Vergleich unserer Aufnahmen mit denen von SCHUBERT (1954) deutlich. In den Beständen des *Filipendulo-Helictotrichetum armerietosum* nahmen die Steigkeiten von *Armeria maritima* subsp. *halleri* von 95 auf 35 % und von *Minuartia verna* subsp. *hercynica* von 100 auf 6 % ab. Es ist unwahrscheinlich, dass für diesen Unterschied die mit etwa 20 m² doppelt so großen Aufnahmeflächen von SCHUBERT (1954) verantwortlich sind. Wir vermuten vielmehr, dass eine verminderte Intensität der Beweidung durch Schafe seit den 1960er Jahren zusammen mit dem Eintrag von Stickstoff aus angrenzenden Feldern und der Atmosphäre die konkurrenzstarken Arten gefördert haben und so die Abnahme der konkurrenzschwachen Arten bewirkten. Ähnliche Ergebnisse wurden in den Silikattrockenrasen der Porphyrhügel bei Halle gefunden (PARTZSCH 2000, siehe auch BOBBINK 1991). Vermutlich würden *Armeria maritima* subsp. *halleri* und *Minuartia verna* subsp. *hercynica* bei stärkerer Nutzung der Rasen des *Filipendulo-Helictotrichetum* wieder häufiger werden. Auch deshalb erscheint uns die Einstufung dieser Assoziation im Gebiet als „*armerietosum halleri*“ als gerechtfertigt.

Für die Schwermetallrasen über Porphy- und Zechsteinkonglomerat (*Thymo-Festucetum armerietosum*, *Filipendulo-Helictotrichetum armerietosum*) stellten wir geringere Schwermetallkonzentrationen fest als erwartet, denn *Minuartia verna* subsp. *hercynica* ist zumindest im *Thymo-Festucetum armerietosum* sehr häufig. Ein möglicher Grund für die Häufigkeit der Frühlingsmiere bei den niedrigen Schwermetallkonzentrationen ist, dass die gemessenen Konzentrationen in dieser Gesellschaft nicht die tatsächliche Menge verfügbarer Schwermetall-Ionen widerspiegeln, da der pH des Extraktionsmittels (7,3) höher als der des Bodens (5,7) war und die Verfügbarkeit der Schwermetalle mit abnehmendem pH zunimmt. Allerdings steigt die Verfügbarkeit von Schwermetallen erst bei einem pH <5 stärker an (ALLOWAY 1999). Weiterhin wird vermutet, dass das Blei/Karbonat-Verhältnis des Bodens die Toxizität von Blei besser erklärt als der absolute Bleigehalt, da Kalziumkarbonat und Blei eine weniger giftige Verbindung (Bleikarbonat) bilden können (SIMON 1978, GARDLAND & WILKINS 1981, BROWN 1994). Diese Vermutung kann ebenfalls das häufige Vorkommen der Metallophyten im *Thymo-Festucetum armerietosum* erklären, denn das Blei/Karbonat-Verhältnis ist hier besonders weit und das Blei liegt kaum gebunden vor.

5.3. Zusammenhänge zwischen Artenreichtum und Umweltfaktoren

Der Artenreichtum der Schwermetallrasen und Trockenrasen nimmt in unserer Studie mit dem pH, Karbonatgehalt und der Leitfähigkeit des Bodens zu und mit dem C/N-Verhältnis des Bodens ab. Diese Parameter spiegeln in Magerrasen allgemein die Nährstoffversorgung wider. In sehr mageren Rasen kann eine positive Beziehung zwischen der Produktivität, die die Nährstoffversorgung der Standorte positiv widerspiegelt, und dem Artenreichtum erwartet werden, während bei höheren Nährstoffmengen der Artenreichtum abnimmt (GRIME 1979, LEPS 2005). In unserer Studie haben die Böden der Kuppen der ehemaligen Halden den höchsten pH, enthalten gleichzeitig größere Mengen an kalkhaltigem Schutt und sind zudem am geringsten entwickelt. Diese Unfruchtbarkeit dürfte den Grund für ihre

Artenarmut darstellen; und vermutlich nimmt daher in unserer Studie der Artenreichtum ab pH 7,5 ab.

Daneben kann sich auch das relativ junge Alter der Halden auf den Artenreichtum auswirken. PÄRTEL & ZOBEL (1999) fanden in estnischen Trockenrasen einen positiven Zusammenhang zwischen dem Artenreichtum und Flächenalter, das von ca. 600 bis 6.000 Jahren reichte.

Im Gegensatz zu SCHUSTER & DIEKMANN (2003), die den höchsten Artenreichtum von Graslandgesellschaften bei pH 5–6,5 fanden, kommen bei uns die meisten Arten bei einem pH von 7,5 vor. Ein intermediärer pH, bei dem Basen- und Säurezeiger koexistieren (*mid-domain effect* nach COLWELL & LEES 2000), scheidet damit als Erklärung für hohen Artenreichtum in unserem Untersuchungsgebiet aus. Vielmehr stimmen unsere Ergebnisse mit dem Artenpool-Konzept überein (PÄRTEL & ZOBEL 1999, PÄRTEL 2002). Zweifelsfrei gibt es im Mitteleuropa mehr calcicole als calcifuge Pflanzenarten (GRIME 1979, EWALD 2003). Alleine aus diesem Grund kann man auf kalkreichen Böden mit hohem pH eine höhere Anzahl an Arten erwarten (GRUBB 1987). PÄRTEL (2002) hat gezeigt, dass die Geschichte der Evolution der europäischen Flora für den hohen Anteil an Kalkarten verantwortlich sein kann. Er fand in weltweit 80 Florenregionen immer dann einen positiven Zusammenhang zwischen dem Artenreichtum und dem pH, wenn in den entsprechenden evolutionären Zentren der Floren Böden mit hohem pH dominierten. In anderen Regionen, in denen saure Böden vorherrschen, nahm dagegen der Artenreichtum mit dem pH ab. EWALD (2003) vermutet, dass in Europa im Pleistozän die Pflanzenarten auf sauren Böden ein höheres Aussterberisiko hatten, da in den Refugien im Mittelmeergebiet Kalkstein vorherrscht. Im Periglazial in Mitteleuropa kamen kalkreiche Böden ebenfalls dominant vor (WALKER et al. 2001). Da die Schwermetallrasen und Trockenrasen der Bottendorfer Hügel die Vegetation des Periglazial repräsentieren, stimmen unsere Ergebnisse am besten mit der Hypothese von PÄRTEL (2002) überein.

Ähnlich zu unseren Ergebnissen fanden auch TYLER (1996) in Kalktrockenrasen, DUPRÉ et al. (2002) in Laubwäldern und SCHUSTER & DIEKMANN (2003) in verschiedenen Formationen einen positiven Zusammenhang zwischen dem Artenreichtum und dem pH des Bodens. Auch in diesen Studien ist der Abfall der Artenkurve (meist ab pH >7) nur angedeutet. Andere Studien fanden entlang kürzerer pH-Gradienten lineare Beziehungen (GOULD & WALKER 1999, DUPRÉ et al. 2002, PÄRTEL 2002). LÖBEL et al. (2006) wiesen für Moose und Flechten in schwedischen Trockenrasen ebenfalls einen positiven Zusammenhang zwischen dem Artenreichtum und dem pH nach, während, wie in unserer Studie, der Artenreichtum mit der Deckung der Krautschicht abnahm.

6. Hinweise zur Pflege der Schwermetallrasen und Trockenrasen

Die Bottendorfer Hügel beherbergen zahlreiche seltene und gefährdete Pflanzenarten. Insgesamt konnten wir 37 Gefäßpflanzenarten der Roten Listen von Deutschland und Thüringen nachweisen, z. B. *Gagea bohemica*, *Gypsophila fastigiata*, *Fumana procumbens*, *Hypericum elegans*, *Orchis morio*, *Oxytropis pilosa*, *Poa badensis*, *Seseli annuum* und *Stipa pulcherrima* sowie *Armeria maritima* subsp. *halleri* und *Minuartia verna* subsp. *hercynica* (KORNECK et al. 1996, KORSCH & WESTHUS 2001).

Aktuell wird das Gebiet durch eine Schafherde gepflegt und ist in einem vergleichsweise guten Zustand. Man kann jedoch auf alten Fotos in SCHUBERT (1954) erkennen, dass die Rasen vor 50 Jahren magerer waren. Diese Beobachtung deckt sich mit unserem Ergebnis, dass die oben genannten konkurrenzschwachen Metallophyten seit den fünfziger Jahren in den großflächigen Silikattrockenrasen abgenommen haben, was Ortsansässige bestätigen. Die Bewohner von Bottendorf erzählen auch, dass früher größere Teile des Gebietes regelmäßig gebrannt wurden. Diese Managementform scheint uns für die Silikattrockenrasen am Leimberg und Engesberg, deren Grasnarbe aktuell verfilzt ist, eine mögliche Managementform zu sein, da die Schafe die hartblättrigen Gräser *Helictotrichon pratense* und *Festuca palensis* kaum fressen. Allerdings sollten solche Brandeinsätze in längeren Zeitabständen durch-

geführt werden, da sich häufiges Brennen negativ auf den Artenreichtum von Trockenrasen auswirkt (KÖHLER et al. 2005; s. a. Empfehlungen zu Brandeinsätzen in WEGENER 1997 und darin zitierte Literatur). In den Kalk- und Gipstroekenrasen (Galgenberg und nordwestlich davon gelegener Hügel, Pfarrberg, Neun Hügel) besteht beim Brennen die Gefahr der Vernichtung der Zwergsträucher wie *Fumana procumbens*. Diese Flächen dürfen deshalb ausschließlich beweidet werden.

Danksagung

Wir danken W. Westhus (Jena) für die Genehmigung und Unterstützung dieser Arbeit, J. Pusch (Bad Frankenhausen) für Informationen zum Gebiet, U. Nüsse-Hahne (Göttingen) für die Hilfe bei den Schwermetallanalysen am AAS sowie U. Becker (Marburg) und K. Kiehl (Freising-Weihenstephan) für konstruktive Hinweise zum Manuskript. Die Vegetationskarte wurde vom Zweitautor im Rahmen einer von der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG) in Jena in Auftrag gegebenen Erfassung erstellt. Der TLUG danken wir für die Erlaubnis, die Karte hier publizieren zu dürfen.

Die raumbezogenen Basisdaten für Abb. 1 wurden vom Thüringischen Landesamt für Vermessung und Geoinformation bereitgestellt und werden gemäß Genehmigung Nr. 1612-00922/2006 genutzt.

Literatur

- ALLOWAY, B. J. (Hrsg.) (1999): Schwermetalle in Böden: Analytik, Konzentration, Wechselwirkungen. – Springer, Berlin-Heidelberg: 540 S.
- ANTONOVICS, J., BRADSHAW, A. D. & TURNER, R. G. (1971): Heavy metal tolerance in plants. – *Advances Ecol. Res.* 7: 1–85.
- BAUMBACH H. (2005): Genetische Differenzierung mitteleuropäischer Schwermetallsippen von *Silene vulgaris*, *Minuartia verna* und *Armeria maritima* unter Berücksichtigung biogeographischer, montanhistorischer 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.
- BECKER, T. (1998): Die Pflanzengesellschaften der Felsfluren und Magerrasen im unteren Unstruttal (Sachsen-Anhalt). – *Tuexenia* 18: 153–206.
- (2003): Auswirkungen langzeitiger Fragmentierung auf Populationen am Beispiel der reliktsichen Steppenrasenart *Astragalus excapus* L. (Fabaceae). – *Diss. Bot.* 380: 1–210.
- & BRÄNDEL, M. (2007): Vegetation-environment relationships in a heavy metal-dry grassland complex. – *Folia Geobot.* 42: 11–28.
- BERGMEIER, E., HÄRDTE, W., MIERWALD, U., NOWAK, B. & PEPPLER, C. (1990): Vorschläge zur syntaxonomischen Arbeitsweise in der Pflanzensoziologie. – *Kieler Not. Pflanzenk. Schleswig-Holstein Hamburg* 20: 92–103.
- BERTEMES, F. (2005): Aufbruch zu neuen Horizonten – Die Funde von Nebra und ihre Bedeutung für die Bronzezeit Europas. – *Scientia halensis – Wissenschaftsjournal der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg* 9: 7–9.
- BOBBINK, R. (1991): Effects of nutrient enrichment in Dutch chalk grassland. – *J. Appl. Ecol.* 28: 28–41.
- BRÄNDEL, M. (2000): Magerrasen unter subkontinentalem Klimaeinfluss des Naturschutzgebietes „Bottendorfer Hügel“ (Thüringen). – *Diplomarb. Univ. Göttingen*: 143 S.
- BROWN, G. (1994): Soil factors affecting patchiness in community composition of heavy metal-contaminated areas of Western Europe. – *Vegetatio* 115: 77–90.
- (2001): The heavy-metal vegetation of north-western mainland Europe. – *Bot. Jahrb. Syst.* 123: 63–110.
- CHYTRÝ, M., TICHÝ, L. & ROLEČEK, J. (2003): Local and regional patterns of species richness in central European vegetation types along the pH/calcium gradient. – *Folia Geobot.* 38: 429–442.
- CLARK, R. K. & CLARK, S. C. (1981): Floristic diversity in relation to soil characteristics in a lead mining complex in the Pennines, England. – *New Phytol.* 87: 799–815.
- COLWELL, R. K. & LEES, D. C. (2000): The mid-domain effect: geometric constraints on the geography of species richness. – *Trends Ecol. Evol.* 15: 70–76.
- DENGLER, J. (2005): Zwischen Estland und Portugal – Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Phyto-diversitätsmuster europäischer Trockenrasen. – *Tuexenia* 25: 387–405.

- DEUTSCHER WETTERDIENST (2006): http://www.dwd.de/de/FundE/Klima/KLIS/daten/online/nat/index_mittelwerte.htm.
- DUPRÉ, C., WESSBERG, C. & DIEKMANN, M. (2002): Species richness in deciduous forests: effects of the species pools and environmental variables. – J. Veg. Sci. 13: 505–516.
- ERNST, W. (1974): Die Schwermetallvegetation der Erde. – G. Fischer, Stuttgart: 179 S.
- (1976): Ökologische Grenze zwischen Violetum calaminariae und Gentiano-Koelerietum. – Ber. Deutsch. Bot. Ges. 89: 381–390.
- (1990): Mine vegetation in Europe. – In: SHAW, A. J.: Heavy metal tolerance in plants: Evolutionary aspects, 21–37. CRC Press Inc., Boca Raton.
- , VERKLEIJ, J. A. C. & SCHAT, H. (1992): Metal tolerance in plants. – Acta Bot. Neerl. 41: 229–248.
- EWALD, J. (2003): The calcareous riddle: why are there so many calciphilous species in the Central European flora? – Folia Geobot. 38: 357–366.
- GARDLAND, C. J. & WILKINS, D. A. (1981): Effect of calcium on the uptake and toxicity of lead in *Hordeum vulgare* L. and *Festuca ovina* L. – New. Phytol. 87: 581–593.
- GOULD, W. A. & WALKER, M. D. (1999): Plant communities and landscape diversity along a Canadian Arctic river. – J. Veg. Sci. 10: 537–548.
- GRACE, J. P. (1999): The factors controlling species density in herbaceous plant communities: sment. – Perspect. Pl. Ecol. Evol. Syst. 2: 1–28.
- GREGORY, R. P. G. & BRADSHAW, A. D. (1964): Heavy metal tolerance in populations of *Agrostis tenuis* Sibth. and other grasses. – New Phytol. 64: 131–143.
- GRIME, J. P. (1979): Plant strategies and vegetation processes. – Wiley, Chichester: 417 S.
- GRUBB, P. J. (1987): Global trends in species-richness in terrestrial vegetation: a view from the northern hemisphere. – In: GEE, J. H. R. & GILLER, P. S. (eds.): Organization of communities, past and present. Blackwell, Oxford.
- HALL, J. L. (2002): Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. – J. Exp. Bot. 53: 1–11.
- HENSEN, I. (1995): Die kontinentalen *Stipa*-Steppenrasen der mittel- und nordostdeutschen Trockengebiete. – Gleditschia 23: 3–24.
- JANDT, U. (1999): Kalkmagerrasen am Südharrand und im Kyffhäuser. – Diss. Bot. 322: 1–246.
- JESCHKE, M. & KIEHL, K. (2006): Auswirkung von Renaturierungs- und Pflegemaßnahmen auf die Artenzusammensetzung und Artendiversität von Gefäßpflanzen und Kryptogamen in neu angelegten Kalkmagerrasen. – Tuexenia 26: 223–242.
- KÖHLER, B., GIGON, A., EDWARDS, P. J., KRÜSI, B., LANGENAUER, R., LÜSCHER, A. & RYSER, P. (2005): Changes in the species composition and conservation value of limestone grasslands in Northern Switzerland after 22 years of contrasting managements. – Perspect. Pl. Ecol. Evol. Syst. 7: 51–67.
- KOPERSKI, M., SAUER, M., BRAUN, W. & GRADSTEIN, S. R. (2000): Referenzliste der Moose Deutschlands. – Schriftenr. Vegetationskde. 34: 1–519.
- KORNECK, D. (1974): Xerothermvegetation in Rheinland-Pfalz und den Nachbargebieten. – Schriftenr. Vegetationskde. 7: 1–196.
- , SCHNITTLER, M. & VOLLMER, I. (1996): Rote Liste der Farn- und Blütenpflanzen (Pteridophyta et Spermatophyta) Deutschlands. – Schriftenr. Vegetationskde. 28: 21–187.
- KORSCH, H. & WESTHUS, W. (2001): Rote Liste der Farn- und Blütenpflanzen (Pteridophyta und Spermatophyta) Thüringens. – Naturschutzreport 18: 273–296.
- KRUCKEBERG, A. R. & KRUCKEBERG, A. L. (1990): Endemic metallophytes: their taxonomic, genetic, and evolutionary attributes. – In: SHAW, A. J. (edit.): Heavy metal tolerance in plants: Evolutionary aspects: 301–312. CRC Press Inc., Boca Raton.
- KUGLER, H. & SCHMIDT, W. (Hrsg.) (1988): Das Gebiet an der unteren Unstrut. – Akademie-Verlag, Berlin: 223 S.
- LEFÉBVRE, C. & VERNET, P. (1990): Microevolutionary processes on contaminated deposits. – In: SHAW, A. J. (edit.): Heavy metal tolerance in plants: Evolutionary aspects: 285–300. CRC Press Inc., Boca Raton.
- LEIPOLD, J. (1992): Die Bottendorfer Kupferhütte im Wandel der Zeiten 1689–1813. Veröff. Kreisheimatmus. Bad Frankenhausen 14: 1–43.
- LEPS, J. (2005): Diversity and ecosystem function. – In: VAN DER MAAREL, E. (edit.): Vegetation ecology: 199–237. Blackwell, Oxford.
- LINDSAY, W. L. & NORWELL, W. A. (1978): Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. – Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421–428.

- LÖBEL, S., DENGLER, J. & HOBOHM, C. (2006): Species richness of vascular plants, bryophytes and lichens in dry grasslands: The effects of environment, landscape structure and competition. – *Folia Geobot.* 41: 377–393.
- LÖFFLER, J. (1962): Die Kali- und Steinsalzlagerstätten des Zechsteins in der DDR, Teil 3: Sachsen-Anhalt. – *Freiberger Forschungshefte C* 97: 1–347.
- MAHN, E.-G. (1957): Über die Vegetations- und Standortverhältnisse der Porphyrkuppen bei Halle. – *Wiss. Z. Univ. Halle, Math.-Naturwiss. R.* 6: 177–208.
- (1965): Vegetationsaufbau und Standortverhältnisse der kontinental beeinflussten Xerothermgellschaften Mitteldeutschlands. – *Abh. Sächs. Akad. Wiss., Math.-Naturwiss. Kl.* 49: 1–138.
- MCCUNE, B. & KEON, D. (2002): Equations for potential annual direct incident radiation and head load. – *J. Veg. Sci.* 13: 603–606.
- MEUSEL, H., JÄGER, E. & WEINERT, E. (1965): Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora. Bd. 1, Textteil: 583 S. und Kartenteil: 258 S. – G. Fischer, Jena.
- MILLER, R. G. (1981): *Simultaneous statistical inference*. – McGraw Hill, N.Y.
- OBERDORFER, E. & KORNECK, D. (1993): Klasse: *Festuco-Brometea*. – In: OBERDORFER, E. (Hrsg.): *Süd-deutsche Pflanzengesellschaften Teil 2*, 3. Aufl.: 86–180. G. Fischer, Jena.
- PÄRTEL, M. (2002): Local plant diversity patterns and evolutionary history at the regional scale. – *Ecology* 83: 2361–2366.
- & ZOBEL, M. (1999): Small-scale species richness in calcareous grasslands determined by the species pool, community age and shoot density. – *Ecography* 22: 153–159.
- PARTZSCH, M. (2000): Die Porphyrkuppenlandschaft des unteren Saaletals – Strukturwandel ihrer Vegetation in den letzten vier Jahrzehnten. – *Tuexenia* 20: 153–187.
- PAUSAS, J. G. (1994): Species richness patterns in the understory of Pyrenean *Pinus sylvestris* forest. – *J. Veg. Sci.* 5: 517–524.
- PEPLER, C. (1988): TAB – Ein Computerprogramm für die pflanzensoziologische Tabellenarbeit. – *Tuexenia* 8: 393–406.
- RENNWALD, E. (Bearb.) (2000): Verzeichnis und Rote Liste der Pflanzengesellschaften Deutschlands. – *Schriftenr. Vegetationskde.* 35: 1–800.
- SCHMIDT, H.-J. (2004): Der Bergbau im Kyffhäuserkreis. Bergbauverein „Glückauf“, Sondershausen (Hrsg.). – *Starke, Sondershausen*: 153 S.
- SCHOLZ, P. (2000): Katalog der Flechten und flechtenbewohnenden Pilze Deutschlands. – *Schriftenr. Vegetationskde.* 31: 1–298.
- SCHUBERT, R. (1953): Die Schwermetallpflanzengesellschaften des östlichen Harzvorlandes. – *Wiss. Z. Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg, Math.-Naturwiss. R.* 3: 51–70.
- (1954): Die Pflanzengesellschaften der Bottendorfer Höhe. – *Wiss. Z. Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg, Math.-Naturwiss. R.* 4: 99–120.
- (2001): *Prodromus der Pflanzengesellschaften Sachsen-Anhalts*. – *Mitt. Florist. Kart. Sachsen-Anhalt, Sonderh.* 2: 1–688.
- , HILBIG, W. & KLOTZ, S. (2001): *Bestimmungsbuch der Pflanzengesellschaften Deutschlands*. – Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg-Berlin.
- SCHULZ, A. (1912): Über die auf schwermetallhaltigen Boden wachsenden Phanerogamen Deutschlands. – *Jahres-Ber. Westfäl. Prov.-Vereins Wiss.* 40: 210–227.
- SCHUMANN, S. & WUNDERLICH, J. (2005): Zur Geologie und Geschichte des Kupferschieferbergbaus im Bottendorfer Höhenzug (Nordthüringen). – *Beitr. Geologie von Thüringen N. F.* 12: 259–288.
- SCHUSTER, B. & DIEKMANN, M. (2003): Changes in species density along the soil pH Gradient – Evidence from German plant communities. – *Folia Geobot.* 38: 367–379.
- SIMON, E. (1977): Cadmium tolerance in populations of *Agrostis tenuis* and *Festuca ovina*. – *Nature* 265: 328–330.
- (1978): Heavy metals in soils, vegetation development and heavy metal tolerance in plant populations from metalliferous areas. – *New Phytol.* 81: 175–188.
- SPSS Inc. (2001): *SPSS 11.0 for Windows and Smart-ViewerTM*. – SPSS Inc., Chicago.
- TER BRAAK, C. J. F. & SMILAUER, P. (2002): *CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5)*. – Microcomputer Power, Ithaca.
- TYLER, G. (1996): Soil chemistry and plant distributions in rock habitats of southern Sweden. – *Nord. J. Bot.* 16: 609–635.
- VEKEMANS, X. & LEFÈVRE, 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.

- WAGENBRETH, O. & STEINER, W. (1982): Geologische Streifzüge: Landschaft und Erdgeschichte zwischen Kap Arkona und Fichtelgebirge. – Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig: 204 S.
- WALKER, D. A., BOCKHEIM, J. G., CHAPIN, F. S., EUGSTER, W., NELSON, F. E. & PING, C. L. (2001): Calcium-rich tundra, wildlife, and the „Mammoth Steppe“. – Quatern. Sci. Rev. 20: 149–163.
- WALLISDEVRIES, M. F., POSCHLOD, P. & WILLEMS, J. H. (2002): Challenges for the conservation of calcareous grasslands in northwestern Europe: integrating the requirements of flora and fauna. – Biol. Conservation 104: 265–273.
- WEGENER, U. (1997): Feuereinsatz zur Pflege von Trockenrasen. – NNA-Berichte 10: 54–58.
- WEIDAUER, K. & HILLER, E. (1993): Schutzwürdigkeitsgutachten, Landkreis Artern, Bottendorfer Höhe. – Unveröff. Manuskript, Bottendorf: 74 S.
- WESCHE, K., PARTZSCH, M., KREBES, S. & HENSEN, I. (2005): Gradients in dry grassland and heath vegetation on rock outcrops in eastern Germany – an analysis of a large phytosociological data set. – Folia Geobot. 40: 341–356.
- WILSON, J. B. (1988): The cost of heavy metal tolerance: an example. – Evolution 42: 408–413.
- WISSKIRCHEN, R. & HAEUPLER, H. (1998): Standardliste der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands. – Ulmer, Stuttgart: 765 S.

Dr. Thomas Becker
Fachbereich Biologie/Pflanzenökologie
Universität Marburg
Karl-von-Frisch-Str. 8
D-35043 Marburg
Email: becker@staff.uni-marburg.de

Dr. Markus Brändel
Biocenter Klein Flottbek und Botanischer Garten
Universität Hamburg
Ohnhorststr. 18
D-22609 Hamburg
Email: markus.braendel@botanik.uni-hamburg.de

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

Eingang des Manuskriptes am 28.12.2005, endgültig angenommen am 10.11.2006.

Außerdem: *Abietinella abietina* 30:1; *Acinos arvensis* 14:4; *Allium senescens* subsp. *montanum* 11:4; *Brachythecium rutabulum* 22:1, 23:1, 29:1, 31:2b, 34:2a; *Briza media* 28:4; *Bromus hordeaceus* 10:4; *Carlina vulgaris* 29:4; *Centaurea stoebe* 9:4, 10:4, 20:1; *Ceratodon purpureus* 21, 25:1; *Cetraria aculeata* 5:4; *Cirsium acaule* 23:4; *Cirsium vulgare* 29:4; *Cladonia foliacea* 20:2a, 21:1; *Cladonia pyxidata* 4:1, 18:2a, 23:4, 33:1; *Convolvulus arvensis* 20:1; *Cnidium molluscum* 28:2b; *Dactylis glomerata* 32:4; *Daucus carota* 34:4; *Ditrichum flexuale* 13:1; *Erodium cicutarium* 6:4, 10:4, 25:4; *Falcaria vulgaris* 32:1; *Fissidens taxifolius* 22:1, 29:1; *Fragaria viridis* 31:4; *Galium boreale* 15:4; *Geranium pusillum* 10:4; *Helianthemum nummularium* subsp. *obscurum* 16:2b; *Leontodon hispidus* 32:4; *Linum catharticum* subsp. *catharticum* 5:4, 19:4, 28:4; *Lophocolea bidentata* 8:1, 30:1; *Medicago lupulina* 17:1; *Medicago minima* 14:1; *Minuartia verna* subsp. *hercynica* 1:1, 20:4; *Ononis spinosa* 5:1; *Poa angustifolia* 23:1; *Polygala comosa* 16:1; *Polytrichum formosum* 8:1; *Potentilla argentea* 10:1; *Pulsatilla vulgaris* 7:1; *Sanguisorba minor* 3:4; *Vicia tetrasperma* 31:2a, 32:1, 33:4, 34:4.

Außerdem: *Anthesis arvensis* 21+; *Anthericum ranunculifolium* 44+; *Anthrillis vulneraria* 39+; 43+; *Brachypodium pinnatum* 36+; 37.1; 43.2a; *Briza media* 37+; *Bromus sterilis* 41+; *Bupleurum falcatum* 39+; *Campanula glomerata* 10+; 25+; *Campanula rotundifolia* 2+; 39+; *Carlinia vulgaris* 2+; *Cerastium semidecandrum* 19.2a; 32.1; *Cetaria aculeata* 23.1; *Cirsium vulgare* 27+; 46+; *Collema* spec. 43.1; 46.1; *Crataegus* spec. 46.1; *Eranthosodon fascicularis* 6.1; *Fulgensia fulgens* 13.1; *Gallium boreale* 37.1; 38+; *Geranium columbinum* 29+; *Geranium dissectum* 31+; *Geranium pusillum* 10+; 17.2a; *Gypsophila fastigiata* 39.1; *Holosteum umbellatum* 19+; *Hypochaeris radicata* 11+; 23.1; *Lamium amplexicaule* 17.1; 46+; *Leontodon hispidus* 39+; 45+; 47+; *Lolium perenne* 20.1; *Matricaria recutita* 41+; *Medicago falcata* 35+; 38+; 39.1; *Minnaria verna* subsp. *herycina* 13.1; 31.1; *Nonea pulpa* 47.2a; *Ononis spinosa* 18.1; 35+; *Orchis morio* 12+; 31+; *Oxytropis pilosa* 39.1; *Papaver rhoeas* 26+; 41+; *Peltigera rufescens* 4.2a; 11.1; *Petrorhagia prolifera* 11+; 15+; *Poa angustifolia* 17.1; 41.2a; 46.1; *Polytrichum formosum* 7.1; *Polytrichum juniperinum* 26+; *Polytrichum piliferum* 23.1; *Prunella grandiflora* 26+; *Psora cespiciens* 44+; *Pterogonum ovatum* 46.1; 47.1; *Racomitrium canescens* 4.1; *Ranunculus bulbosus* 8.2a; 37.2; *Riccia ciliifera* 40+; *Scleranthus polycarpus* 21+; 22+; *Sedum acre* 31+; 32+; *Teucrium montanum* 37.1; *Thalictrum minus* 36+; 37.1; 47.1; *Toninia sedifolia* 13.1; 39+; *Trifolium repens* 32+; *Vicia sativa* subsp. *angustifolia* 18.1; 33.1; *Viola arvensis* 17.1; 39+; 41+; *Viola rupestris* 39.1.

Tab. 7: Halbtrockenrasen der Bottendorfer Hügel auf Kalk und Gips: *Adonido-Brachypodietum pinnati* (Libbert 1933) Krausch 1961 *teucrietosum montani*.
Tab. 7: Semi-dry grasslands of the Bottendorf Hills on lime stone and gypsum: *Adonido-Brachypodietum pinnati* (Libbert 1933) Krausch 1961 *teucrietosum montani*.

	Variante von Stipa capillata															Variante von Potentilla heptaphylla														
Aufnahme-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Teilgebiet	Pf	Ga	Ga	Pf	Ga	Ga	Ga	Ga	Ga	Gh	Ne	Ga	Ne	Ga	Ne	Gh	Pf	Pf	Pf	Ne	Ne	Ga	Ga	Ga	Ga	Gh	Gh	Gh	Gh	Gh
Hanglage [°]	160	170	120	140	170	170	180	180	200	240	340	240	260	310	270	110	30	0	60	60	0	0	0	10	20	330	0	340	340	
Hangneigung [°]	22	20	24	22	22	20	22	18	16	25	22	36	28	20	20	24	30	30	22	10	12	32	28	30	36	22	30	34	10	10
Ausgangsgestein	ZS	ZS	ZS	ZS	ZS	ZS	ZS	ZS	ZS	ZS	ZG	ZG	ZS	ZS	ZG	ZS	ZS	ZG	ZG	ZS	ZS	ZG	ZG	ZG	ZG	ZS	ZS	ZS	ZS	ZS
Gründigkeit des Bodens [cm]	11	8,4	11	17	15	20	14	13	22	18	22	48	19	12	35	13	55	19	17	15	17	33	31	39	26	51	47	36	17	22
pH	8,2	7,8	8,0	7,9	8,0	8,1	8,2	7,9	8,0	7,8	8,0	8,1	7,8	7,9	7,9	8,2	8,0	8,0	7,9	7,8	8,0	8,0	8,3	8,0	8,1	8,1	8,2	8,1	8,1	8,1
Karbonat [%]	43	22	40	40	9	30	29	17	3	49	43	64	13	30	19	35	20	14	40	10	19	44	36	44	16	4	25	29	15	13
C/N-Verhältnis [%]	10	7	10	10	14	9	10	10	10	12	9	10	11	10	11	12	10	11	7	13	13	11	10	11	11	12	13	12	11	10
Leitfähigkeit [µS/cm ¹]	333	447	394	379	385	398	384	445	1399	446	446	561	482	419	480	428	430	457	414	790	482	540	496	543	427	384	436	431	451	440
Deckung der Krautschicht [%]	60	70	70	80	95	80	80	90	90	80	95	85	95	80	95	90	80	90	95	90	90	90	85	95	85	95	95	95	95	95
Deckung der Kryptogamenschicht [%]	5	50	20	20	20	20	30	30	20	15	35	20	30	30	30	20	30	30	60	70	60	30	35	20	50	40	30	30	20	45
Anteil offener Boden [%]	20	10	25	15	5	15	20	10	0	20	5	15	5	15	5	10	15	15	5	10	5	10	15	5	20	5	5	5	5	5
Anteil Steine [%]	20	2	10	5	5	2	2	1	0	10	0	2	0	5	0	0	5	0	5	0	5	1	2	0	0	0	0	0	0	0
Artenzahl Gefäßpflanzen	29	33	32	37	35	28	24	42	40	34	36	37	30	37	36	34	36	33	38	41	34	36	38	34	36	31	30	29	27	27
Artenzahl Moose und Flechten	5	9	8	11	4	2	3	4	3	11	11	10	7	4	8	6	6	5	3	6	6	9	7	5	5	4	4	5	2	3
Artenzahl gesamt	34	42	40	48	39	30	27	46	43	45	47	47	37	41	44	40	42	38	41	47	40	45	45	39	41	35	34	34	29	30
VC Cirsio-Brachypodion																														
Scabiosa ochroleuca	1	.	1	+	2a	1	1	2a	1	+	.	+	.	1	.	.	+	.	.	+	1	+	+	.	+	+	.	.	.	.
Astragalus danicus	.	.	.	.	.	.	.	1	+	.	1	.	.	+	1	.	+	.	2a	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.
OC Festucetalia valesiacae																														
Festuca rupicola	.	2a	2a	2a	2a	1	1	2a	1	1	1	1	1	2a	1	1	2a	+	2a	1	.	1	1	1	+	.	1	.	1	.
Potentilla incana	1	2a	2a	1	2a	1	1	1	1	1	1	1	+	1	.	.	.	+	.	+	+	1	1	1	+	.	.	.	.	.
Scabiosa canescens	.	.	.	.	1	1	.	+	+	1	2a	.	+	1	1	1	+	2a	1	2a	.	+	1	1	.	1	1	1	.	+
Achillea pannonica	.	.	+	1	1	.	.	1	+	+	.	.	1	1	.	1	1	.	1	1	1	.	+	.	.	+	.	.	.	.
Centaurea stoebe	.	.	.	.	+	+	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	1	.	.	+
Onobrychis arenaria	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	1	.	1
Viola rupestris	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.
D Variante von Stipa capillata																														
OC Stipa capillata	+	1	.	r	.	1	.	+	.	2a	1	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
KC Teucrium montanum	2a	1	1	2a	1	1	1	1	+	1	1	+	.	1	.	1	.	+	.	.	.	.	+	+	+	.	.	.	.	.
Tortella tortuosa	1	1	1	2a	2a	2a	3	1	.	.	2b	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.
Galium glaucum	+	2a	2a	1	1	1	.	1	.	1	1	.	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
KC Koeleria macrantha	1	2a	1	1	.	.	1	2a	+	.	1	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
KC Bromus erectus	.	2a	.	.	2a	1	2a	1	1	.	1	.	.	.	.	.	1	.	1	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.
Hypericum perforatum	.	+	1	.	1	+	.	+	1	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.
VC Adonis vernalis	.	2a	.	.	1	+	1	+	1	.	.	.	+	.	1	.	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Toninia sedifolia	+	1	1	1	.	.	.	.	.	1	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
OC Festuca pallens	2a	2b	1	1	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Poa badensis	1	1	1	1	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
KC Potentilla tabernaemontani	.	1	1	.	1	.	.	1	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Bryum caespitium	.	1	1	1	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Collema spec.	.	.	.	+	.	.	1	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Cerastium pumilum	.	1	1	1	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Echinops sphaerocephalus	.	.	+	.	1	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
KC Fumana procumbens	1	.	.	1	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D Variante von Potentilla heptaphylla																														
VC Potentilla heptaphylla	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Ctenidium molluscum	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
KC Filipendula vulgaris	.	.	.	.	.	.	.	.	1	+	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Anthericum ramosum	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Campyllum chrysophyllum	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	.	1	.	2a	.	1	.	2a	1	1	2a	2a	2b	1	.	.	.	.	1
KC Leontodon hispidus	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2b	.	.	2b	1	+	1	2b	.	.	2b	2b	2a	2a	.	2a	1	.	1
Lotus corniculatus subsp. hirsutus	.	.	.	1	.	.	.	.	.	+	.	+	.	1	1	.	+	+	1	1	+	.	+	1	+	.	.	1	1	1
Pimpinella saxifraga	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2a	.	1	.	2a	.	1	.	+	+	+	.	+	+	.	+	+
Galium boreale	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2a	.	1	.	2a	2a	.	1	+	+	.	.	.	.	.	.	+	+	+	+
Homalothecium lutescens	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	1	1	.	1	.	2a	2a	2a	1	.	.	.	.	.	.	.	.
Campanula rotundifolia	.	.	.	.	.	.	.	1	1	.	.	.	.	1	.	.	1	1	.	1	.	1	+	+	+	.	+	.	.	.
Euphrasia stricta	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	+	+	+	1	.	1	+	.	.	.	.	.	.
KC Gentianella germanica	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	1	1	+	.	.	.	.
KC Festuco-Brometea																														
Carex humilis	2b	2a	2b	3	2a	2b	2b	2a	1	3	3	4	3	3	2a	4	+	4	4	2a	2a	3	3	4	3	3	4	4	3	4
Brachypodium pinnatum	2b	1	3	2b	4	4	4	4	3	2a	2a	2a	2b	3	2a	2b	4	2a	2b	2b	2b	2b	2a	2b	2a	1	1	2b	2a	
Salvia pratensis	2b	3	2b	2b	3	2b	2b	2b	2a	2a	2a	+	1	2a	1	1	1	1	+	2b	2a	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Helictotrichon pratense																														

Tab. 8: Schwermetall-Halbtrockenrasen der Bottendorfer Hügel auf verebneten ehemaligen Halden: *Adonido-Brachypodietum pinnati* (Libbert 1933) Krausch 1961 *armerietosum halleri* Subass. nov.

Tab. 8: Heavy metal-semi dry grasslands of the Bottendorf Hills on graded former spoil heaps: *Adonido-Brachypodietum pinnati* (Libbert 1933) Krausch 1961 *armerietosum halleri* subass. nov.

	Offene Rasen														Geschlossene Rasen													
Aufnahme-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23					
Teilgebiet	Ga	Lö	Lö	Ga	Ga	Lw	Ga	Lö	Lw	Lö	Ga	Ga	Ga	Lö	Ga	Ga	Ga	Lw	Ga	Lw	Ga	Ga	Ga					
Hanglage [°]	220	203	30	120	230	10	10	40	90	-	30	20	-	20	90	300	20	30	180	-	350	-	300					
Hangneigung [°]	8	10	2	16	20	12	4	4	10	0	10	20	0	8	10	2	10	24	2	20	20	22	20					
Ausgangsgestein	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA	HA					
Gründigkeit des Bodens [cm]	7	10	8	12	37	35	32	12	27	9	15	27	17	13	15	19	24	31	10	38	31	60	13					
pH	8,1	7,9	7,7	7,9	8,0	8,0	7,5	7,4	7,8	6,8	7,3	7,9	6,3	7,3	7,2	6,2	6,6	8,1	6,8	7,7	6,7	7,1	7,3					
Karbonat [%]	20	13	12	13	11	15	4	3	14	0	4	14	0	3	3	0	0	25	1	19	0	3	2					
C/N-Verhältnis	14	13	9	12	13	10	12	12	11	12	13	12	13	10	13	14	14	14	13	13	14	14	13					
Leitfähigkeit [µS/cm ⁻¹]	319	358	484	393	307	483	381	439	343	439	374	343	243	464	428	427	273	345	419	406	487	487	428					
Kupfer [µmol/g ⁻¹]	11,78	707,25	10,71	10,61	0,68	825,426	165,307	9710,29	166,16	10,24	974,099	918,948	663,988	609,60														
Zink [µmol/g ⁻¹]	0,862	373,770	721,681	461,095	473,855	311,290	623,003	411,302	532,191	422,812	405,481	602,25																
Blei [µmol/g ⁻¹]	0,130	270,320	820,190	131,530	361,200	200,220	430,120	470,280	460,870	410,100	680,680	340,30																
Deckung der Krautschicht [%]	50	70	0	75	65	70	80	95	85	95	70	70	85	95	90	85	80	95	80	95	90	90	80					
Deckung der Kryptogamenschicht [%]	80	90	90	85	25	90	80	60	90	50	90	90	90	90	90	75	60	90	70	50	90	80	90					
Anteil offener Boden [%]	5	5	5	15	30	5	0	0	0	0	5	2	5	0	2	0	0	0	5	0	0	0	0					
Anteil Steine [%]	5	5	0	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0					
Artenzahl Gefäßpflanzen	19	27	27	28	24	29	34	33	24	28	32	29	25	40	36	31	35	32	24	29	34	32	32					
Artenzahl Moose und Flechten	13	12	9	10	7	9	10	6	4	3	7	9	7	3	9	3	4	3	7	3	3	5	4					
VC Cirsio-Brachypodion																												
Astragalus danicus	+	.	.	1	.	.	1	.	.	.	1	1	+	.	1	1	.	.	.	.	+	1	.					
Scabiosa ochroleuca	.	1	1	.	.	.	.	+	.	1	.	.	.	+	.	.	.	+	1	.	.	.	.					
Seseli annuum	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	1	1	+					
Thesium linophyllum	.	.	.	.	.	1	+	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.					
OC Festucetalia valesiacae																												
Potentilla heptaphylla	1	1	+	1	1	.	1	1	+	1	1	1	1	1	1	+	1	1	+	1	1	1	1					
Achillea pannonica	.	.	+	1	+	.	1	2a	1	2a	1	+	1	1	+	2a	1	+	1	+	1	1	1					
Silene otites	1	+	1	2a	+	+	1	1	+	.	1	1	1	+	+	1	1	.	2a	+	.	+	+					
Festuca rupicola	.	.	1	1	.	.	1	2b	1	1	2a	1	2b	1	2a	2a	2b	1	2a	2a	1	1	1					
Alyssum montanum	.	+	2a	1	1	+	1	.	1	+	1	.	.	1	+	.	.	+	+	+	.	.	1					
Scabiosa canescens	1	.	.	.	2a	2a	2a	.	.	.	2a	+	.	.	2b	2a	.	2a	1	+	1	2a	2a					
VC Armerion halleri																												
Armeria maritima subsp. halleri	1	1	2a	2a	1	1	1	1	1	1	2a	2a	2a	1	2a	1	1	1	1	1	1	1	1					
KC Violetea calaminariae																												
Minuartia verna subsp. hercynica	2b	2b	2a	2b	3	2a	2a	1	2a	1	2a	2a	3	2a	2b	2a	3	1	2b	2a	2a	1	2a					
Arten verschiedener Sukkzessionsphasen																												
Barbula convoluta	.	2a	1	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.					
Diploschistes muscorum	1	.	.	.	1	2a	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.					
Cladonia pyxidata	1	1	1	.	1	1	1	.	.	.	.	+	.	.	1	.	.	.	.	.	1	.	.					
Collema spec.	2a	2a	.	2b	1	2b	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.					
KC ₂ Erophila verna	.	1	1	+	.	+	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.					
KC ₂ Poa badensis	1	1	2a	+	1	1	1	.	+	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.					
KC ₂ Cladonia foliacea	2b	1	1	2a	2a	1	2a	.	.	.	2a	1	2a	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.					
KC ₂ Sedum acre	1	1	1	1	1	1	1	2a	1	1	.	1	+	1	.	.	.	.	1	.	.	.	.					
KC ₁ Festuca pallens	2a	2b	3	3	2b	2a	2a	1	2b	1	+	1	1	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.					
KC ₂ Cerastium pumilum	.	1	1	.	.	1	1	1	1	+	.	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.					
Linum catharticum	.	.	.	.	1	+	1	.	.	.	1	1	.	1	1	.	1	1	.	1	1	1	.					
KC ₁ Helictotrichon pratense	.	.	.	.	1	1	1	1	1	.	1	.	1	.	1	2a	.	1	.	1	2a	1	1					
Lotus corniculatus subsp. hirsutus	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	1	1	.	.	1	+	1	.	.	.	1	1	1					
KC ₁ Ranunculus bulbosus	.	+	.	.	.	.	+	2a	+	2a	.	1	+	2a	.	1	2a	.	+	1	+	1	2a					
KC ₁ Leontodon hispidus	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2a	.	.	+	2b	.	.	+	.	2a	2b	1	.					
Briza media	.	.	.	.	.	+	.	.	1	.	.	.	.	.	2a	1	+	1	2a	2b	2b	2b	2b					
OC Viola rupestris	.	.	.	.	1	+	.	.	.	.	.	.	.	+	1	1	.	1	1	1	2a	1	+					
KC ₁ Festuco-Brometea																												
Euphorbia cyparissias	+	1	1	1	1	1	1	1	1	+	1	1	+	2b	1	1	1	1	2a	1	1	2a	1					
Koeleria macrantha	1	+	1	2a	.	1	2a	2b	2a	1	1	1	2b	+	2a	2a	2b	1	2a	1	2a	1	1					
Plantago media	+	+	1	1	1	+	2a	1	.	+	1	+	.	+	1	1	1	1	.	.	2a	2a	1					
Dianthus carthusianorum	.	+	+	+	.	1	+	1	+	+	1	.	.	+	1	+	1	+	1	+	+	+	.					
Abietinella abietina	1	2a	1	1	.	.	.	.	.	2a	.	3	.	1	1	3	1	4	1	2a	3	1	2a					
Asperula cynanchica	.	.	+	1	+	+	1	1	.	.	1	1	+	2a	+	+	.	1	.	.	.	1	+					
Galium verum	.	.	1	+	.	.	.	1	+	1	.	1	1	+	.	1	.	+	.	+	.	+	+					
Polygala comosa	+	.	.	.	1	.	1	.	.	.	.	.	.	+	.	1	1	2a	.	1	.	1	+					
Pimpinella saxifraga	+	+	+	.	+	+	1	1	.	.	.	.	.	.	1	+	+	+	.	.	.	.	.					
Sanguisorba minor	.	+	.	1	.	+	.	.	.	.	+	1	.	.	.	+	.	1	.	+	.	.	.					
Arabis hirsuta	.	.	+	.	.	.	.	1	.	+	+	.	.	+	+	.	+	.	.	.	.	.	+					
Potentilla tabernaemontani	.	+	.	1	.	.	1	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.					
Carex caryophylla	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	2a	1	.	.	.	.	1	.					
KC ₂ Koelerio-Coryneporetea																												
Cetraria aculeata	1	+	1	1	1	.	1	.	+	.	1	1	1	.	1	.	1	.	.	.	.	.	+					
Sedum sexangulare	.	2b	2a	.	.	1	.	1	.	1	.	.	+	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.					
Taraxacum Sekt. Erythrosperma	.	.	.	+	.	.	.	1	.	1	.	+	.	+	.	1	2a	.	.									

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Tuexenia - Mitteilungen der Floristisch-soziologischen Arbeitsgemeinschaft](#)

Jahr/Year: 2007

Band/Volume: [NS_27](#)

Autor(en)/Author(s): Becker Thomas, Brändel Markus, Dierschke Hartmut

Artikel/Article: [Trockenrasen auf schwermetall- und nicht schwermetallhaltigen Böden der Bottendorfer Hügel in Thüringen 255-286](#)