

Analyse der Artenzusammensetzung und Struktur der Gehölzbestände der „Spülhalde Münzbachtal“ bei Halsbrücke

Analysis of the Species Composition and the Structure of the Woody Vegetation on the flotation tailing Münzbachtal near Halsbrücke

Andrea Scholz, Roland Achtziger, Elke Richert

Zusammenfassung: Nach der Einstellung des Betriebes der „Spülhalde Münzbachtal“ im Jahr 1968 und dem anschließenden Versuch der Renaturierung mittels Begrünungsmaßnahmen war die Halde der Sukzession überlassen. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Artenzusammensetzung und Vegetationsstruktur der Gehölzbestände auf der Halde im Vergleich zu Beständen in der näheren Umgebung (Referenzflächen) zu analysieren. Dazu wurden auf ausgewählten Flächen Vegetationsaufnahmen nach Braun-Blanquet angefertigt, Gehölzindividuen gezählt und deren Stammumfänge gemessen. Auf der Halde konnten ein Birkenvorwald in drei unterschiedlichen Ausbildungen und eine Birkenwald-Gesellschaft nachgewiesen werden. Die Aufnahmen der Referenzbestände wurden als Birkenwald-Gesellschaft in einer Ausbildung mit *Sambucus nigra* und als Kiefernforst klassifiziert. Der Birkenvorwald mit *Pinus sylvestris* wies im Mittel signifikant geringere mittlere Zeigerwerte für die Bodenreaktion und den Stickstoffgehalt auf als die anderen Gesellschaften der Halde und ähnelte hinsichtlich dieser Parameter dem Kiefernforst der Referenzflächen. Die Birkenwald-Gesellschaft der Referenzflächen ähnelte in Bezug auf die Individuendichte und die mittleren Stammdurchmesser der Birkenwald-Gesellschaft der Halde in der Ausbildung mit *Sambucus nigra*. Es ist anzunehmen, dass sich die Gehölzbestände der Halde in Richtung des Birkenwaldes in der Ausbildung mit *Sambucus nigra* entwickeln werden, sofern die Sukzession weiter ungestört abläuft. Die durchgeführten Korrelationsanalysen unter Einbeziehung der mittleren Ellenberg-Zeigerwerte Reaktionszahl und Stickstoffzahl legen nahe, dass die Sukzession auf sauren, nährstoffarmen Standorten gehemmt abläuft. Aus naturschutzfachlicher Sicht ist es wünschenswert, dass zumindest Teilflächen der Halde weiterhin der ungestörten Sukzession überlassen werden, da solche Flächen in der heutigen Kulturlandschaft selten geworden sind.

Schlüsselwörter/Keywords: Sukzession, Bergbaufolgelandschaft, Waldgesellschaften, succession, post-mining landscape, forest communities

1. Einleitung

Die „Spülhalde Münzbachtal“ befindet sich nördlich von Freiberg (Sachsen) und westlich der Ortschaft Halsbrücke. Die Halde diente von 1958 bis 1968 als Absetzanlage für die Aufbereitung Halsbrücke (Mollée 2013). Während des durchgeführten Flotationsprozesses zur Erzgewinnung setzten sich Spülsande ab, welche überwiegend aus Quarz, Spat, Glimmer, Metallsulfiden und Flotationsreagenzien (Xanthat, NaCn, CuSO₄) bestehen (Saxonia 2016, unpubl.; vgl. auch Fritz & Jahn 2017 für die Spülhalde Davidschacht in Freiberg). Nach der Einstellung des Betriebes wurde die Halde mit Erdstoffen abgedeckt und begrünt, wobei die Plateaufläche nur eine gering mächtige und teilweise lückige Abdeckung erfuhr (Mollée 2013). In den folgenden Jahren entwickelte sich eine durch Sukzession bestimmte Vegetation mit Vorwäldern, Staudenfluren und Ruderalflächen (vgl. Westhäuser & Richert 2017). Die vorliegende Arbeit, die sich auf die Ergebnisse der Bachelorarbeit von Andrea Scholz stützt (Scholz 2017, unpubl.), zielt auf die Analyse der Artenzusammensetzung und der Strukturvielfalt der Gehölzbestände der Spülhalde Münzbachtal im Vergleich zu Referenzflächen in der näheren Umgebung ab.

2. Untersuchungsgebiet

Die Spülhalde Münzbachtal befindet sich im Tal des Münzbaches westlich von Halsbrücke und nördlich von Freiberg (Abb. 1). Die Grundfläche des Haldenkörpers ist circa 5 ha groß. Der Haldenkörper weist des Weiteren eine mittlere Höhe von 35 m über der Talmitte auf (Saxonia 2016, unpubl.). Der Haldenkomplex ist dem Naturraum Unteres Osterzgebirge, Freiburger und Oederaner Hochflächen zuzuordnen (Mannsfeld & Syrbe 2008). Es herrscht ein gemäßigt-humides Klima mit einer mittleren Jahrestemperatur von 8,5 °C und einem mittleren Niederschlag von 688 mm/a im Zeitraum von 1999 bis 2010 (Deutscher Wetterdienst 2017).

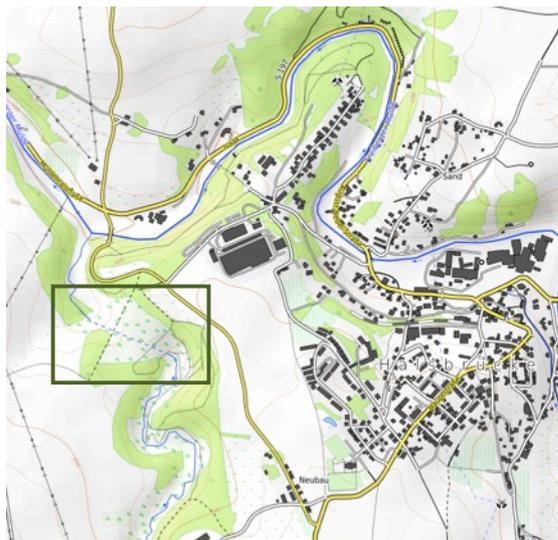


Abb. 1: Lage der Spülhalde Münzbachtal (grüner Kasten) westlich von Halsbrücke (Sachsen).

Fig. 1: Location of the flotation tailing (green box) western from Halsbrücke (Saxony).

(Quelle/source: © OpenStreetMap-Mitwirkende, SRTM | Kartendarstellung: © OpenTopoMap (CC-BY-SA)).

Die Geologie des Gebietes wird von magmatischen und metamorphischen Gesteinen wie Gneis, Granulit und Granodiorit geprägt (Bernstein 1986). Diese Gesteine entwickelten sich durch Verwitterungsprozesse in Verbindung mit Lössanwehung zu Löss, Decklöss und Pseudogleyen. Im Auenbereich des Münzbachs treten außerdem Regosole und Gley-Vega auf (LfULG, Bodenkarte Sachsen 13.03.2017). Die Bodenentwicklung der Spülhalde wird vor allem durch die abgelagerten Spülsande beeinflusst. Diese bestehen überwiegend aus Quarz. Ebenfalls enthalten sind Metallsulfide, deren Verwitterung zu einem pH-Wert im mäßig schwachen bis schwach sauren Bereich führt (NSI Freiberg & Beak Consultants 1994, unpubl.). Aufgrund des gegebenen Ausgangssubstrates und der kurzen Entwicklungszeit treten auf der Halde mehrheitlich Rohbodenformen wie Kipp-Spülsande, Lockersyroeme und podsolierte Regosole auf. Auf vereinzelt Flächen konnte außerdem Bauschutt festgestellt werden (NSI Freiberg 1994 & Beak Consultants, unpubl.).

3. Methoden

3.1 Vegetationsaufnahmen und Berechnung mittlerer Ellenberg-Zeigerwerte

In jedem größeren Gehölzbestand auf der Halde wurden mehrere, möglichst repräsentative, 100 m² große Aufnahmeflächen ausgewählt (Abb. 2). In den Wäldern der näheren Umgebung der Halde wurden außerdem 400 m² große Referenzflächen ausgewählt. Insgesamt wurden 17 Halden- und 8 Referenzflächen untersucht. Die vegetationskundlichen Aufnahmen erfolgten von April bis August 2016 nach der Methode von Braun-Blanquet (1964) (vgl. Dierschke 1994). Eine Erfassung der Moosarten wurde nicht durchgeführt. Während der Aufnahmen wurden für jede Vegetationsschicht (Definition s. Tabelle 1) die Arthäufigkeiten bzw. die Deckungsgrade der einzelnen Arten bestimmt (Tabelle 2). Außerdem erfolgte die Abschätzung der Gesamtdeckungen und der Wuchshöhen der einzelnen Vegetationsschichten. Die vegetationskundlichen Daten wurden mithilfe der Software SORT (Durka & Ackermann 1998) weiterverarbeitet. Die Arten und die Vegetationsaufnahmen wurden hierbei nach Gesellschaften sortiert. Des Weiteren wurden für jede Aufnahmefläche unter Einbeziehung aller Vegetationsschichten die mittleren gewichteten Zeigerwerte nach Ellenberg et al. (1992) unter Verwendung der code replacement-Werte entsprechend Tabelle 2 berechnet. Die Nomenklatur der Arten richtet sich nach Schulz (2013).

Tabelle 1: Einteilung der Vegetationsschichten für die Gehölzarten nach ihrer Wuchshöhe.

Table 1: Classification of the vegetation layers for the woody species according to their growth height.

Bezeichnung der Vegetationsschicht	Größeneinteilung
Krautschicht	< 1 m
Strauchschicht	> 1 bis 3 m
Baumschicht 1	> 3 bis 9 m
Baumschicht 2	> 9 m

Tabelle 2: Verwendete Symbole für die Abschätzung der Abundanzen der Arten und zugehörige code replacement-Werte.

Table 2: Symbols used for the estimation of species abundance and corresponding code replacement values.

Symbole	Abundanz	Code replacement-Wert
r	< 1% (1 Ind.)	1,0
+	< 1% (1–5 Ind.)	1,5
1	1–5% (< 50 Ind.)	2,5
m	1–5% (> 50 Ind.)	3,5
a	5–12,5%	10,0
b	13–25%	20,0
3	26–50%	37,5
4	51–75%	62,5
5	76–100%	87,5

3.3 Parameter zur Analyse der Vegetationsstruktur

In jeder Aufnahme­fläche wurden die Gehölzindividuen gezählt und deren Stammumfänge gemessen. Die Gehölzindividuen wurden bei der Zählung nach Arten und Vegetationsschichten getrennt. Bei Gehölzen mit einer Wuchshöhe größer 4 m wurde die Messung in 1 m Höhe durchgeführt. Gehölzindividuen mit einer Wuchshöhe zwischen 0,5 m und 4 m wurden in 0,2 m Höhe vermessen, während alle Individuen kleiner als 0,5 m nur gezählt wurden. Im Falle von an der Basis verzweigten Individuen erfolgte die Messung am dicksten Stamm des Individuums. Die Stammumfänge ermöglichten die Berechnung der Stammdurchmesser und der Querschnittsfläche der Stämme. Außerdem wurde mithilfe des Programms SORT die Abundanzsumme pro Aufnahme­fläche berechnet, indem die code replacement-Werte der jeweils vorkommenden Arten aufsummiert wurden.

3.4 Statistische Auswerteverfahren

Die statistischen Auswertungen wurden mit der Statistiksoftware Statgraphics® Centurion XVI (Statpoint Technologies, Inc. 1992-2010) durchgeführt. Die Mittelwerte (Mediane) der einzelnen Kategorien wurden mit Hilfe von Kruskal-Wallis-Tests (KW-Tests) sowie Box-Whisker-Plots mit Mediankerben auf signifikante Unterschiede geprüft. Die Ermittlung von Korrelationen zwischen den Parametern erfolgte anhand von Spearman-Rangkorrelationen. Für alle statistische Tests wurde $p < 0,1$ als Signifikanzniveau festgelegt (verwendete Symbole s. Tabelle 3). Gesellschaften, welche nur mit einer Aufnahme belegt werden konnten, wurden bei den statistischen Auswertungen nicht berücksichtigt.

Tabelle 3: Verwendete Symbole für die Signifikanz.

Table 3: Symbols used for the levels of significance.

Symbol	p-Wert
n.s.	$\geq 0,1$
(*)	$< 0,1$
*	$< 0,05$
**	$< 0,01$
***	$< 0,001$

4. Ergebnisse

4.1 Artenzusammensetzung der Gehölzbestände

Es lagen 25 Vegetationsaufnahmen vor, auf denen insgesamt 66 Pflanzenarten festgestellt wurden (Tabelle A1, Abb. 2). Die Vegetationstabelle wurde so aufgebaut, dass die Bestände der Halde links und die der Referenzflächen rechts stehen, wobei die Gesellschaften der Halde entsprechend eines anhand der Artenzusammensetzung abgeleiteten möglichen Sukzessionsverlaufes angeordnet wurden. Alle auf der Spülhalde nachgewiesenen Gehölzbestände wurden von Pioniergehölzen, insbesondere *Betula pendula* (Hänge-Birke) dominiert, wohingegen die Baumschicht der Referenzflächen höherwüchsig war und zusätzlich Gehölzarten der Folgegesellschaften aufwies (Tabelle A1).

4.1.1 Gesellschaften und Ausprägungen auf der Halde

Im **Birkenvorwald in der Ausbildung mit *Pinus sylvestris*** (BVP) trat in der B1-Schicht neben *B. pendula* als Hauptbaumart zudem *Pinus sylvestris* (Wald-Kiefer) als Nebenbaumart auf (Abb. 3a; Tabelle A1/1-8). Der Unterwuchs war artenarm und neben Arten des Grünlandes von Magerkeitszeigern geprägt. Die dieser Gesellschaft zugeordneten Aufnahmeflächen (Abb. 2, orange umrandeter Bereich) lagen alle in der Nähe des Gehölzbestandes, welcher als Kiefernforst (Referenzflächen) charakterisiert wurde (Abb. 2, rot umrandeter Bereich).

Der **Birkenvorwald in der Ausbildung mit *Salix caprea*** (BVS) wurde insbesondere von Gehölzen der B1-Schicht aufgebaut, wobei *B. pendula* die dominante Art war (Abb. 3b; Tabelle A1/9-13). Nebenbaumarten auf diesen Aufnahmeflächen waren *Salix caprea* (Sal-Weide) und *Populus tremula* (Zitter-Pappel). In der Krautschicht konnten *Quercus robur* (Stiel-Eiche) und *Picea abies* (Gemeine Fichte) nachgewiesen werden. Im Unterwuchs kamen Arten des Grünlandes wie *Festuca rubra* und *Agrostis capillaris* mit teilweise größeren Deckungswerten vor. Des Weiteren konnten neben *Deschampsia flexuosa* als Magerkeitszeiger auch Stickstoffzeiger wie zum Beispiel *Urtica dioica* belegt werden.



Abb. 2: Lage der Aufnahmeflächen. Jeweils umrandete Aufnahmen gehören einer Gesellschaft an (vgl. Tabelle A1). Abgrenzung des Haldenkörpers (weiß); Birkenvorwald, Ausbildung mit *Pinus sylvestris* (orange); Birkenvorwald, Ausbildung mit *Salix caprea* (grün); Birkenvorwald, Ausbildung mit *Populus tremula* (schwarz); Birkenwald (blau); Birkenwald, Ausbildung mit *Sambucus nigra* (gelb); Stieleichenwald (braun); Kiefernforst (rot). (Luftbild: Google Earth, 13.03.2017).

Fig. 2: Locations of the plots. Encircled plots belong to the same community. Borders of the flotation tailing (white); birch pioneer forest with *Pinus sylvestris* (orange); birch pioneer forest with *Salix caprea* (green); birch forest community (blue); birch forest community with *Sambucus nigra* (yellow); pine forest (red); birch pioneer forest with *Populus tremula* (black); english oak forest (brown) (refer to table A1) (aerial photo: Google Earth, 13.03.2017).

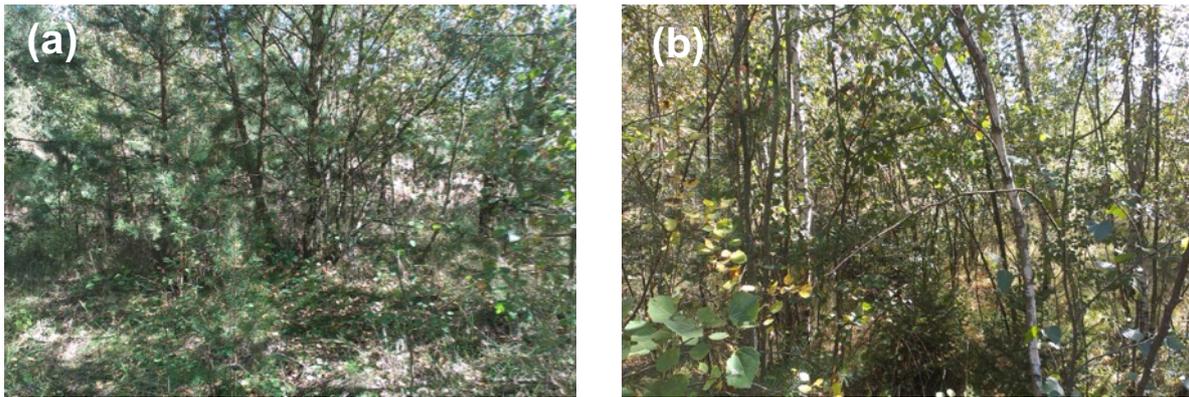


Abb. 3: (a) Birkenvorwald, Ausbildung mit *Pinus sylvestris* und (b) Birkenvorwald, Ausbildung mit *Salix caprea* (Foto: A. Scholz, 24.08.2016).

Fig. 3: (a) Birch pioneer forest with *Pinus sylvestris* and birch pioneer forest with *Salix caprea* (Photo: A. Scholz, 24th August 2016).



Abb. 4: (a) Birkenvorwald, Ausbildung mit *Populus tremula* und (b) Birkenwald-Gesellschaft (Foto: A. Scholz, (a) 26.08.2016, (b) 24.08.2016).

Fig. 4: (a) Birch pioneer forest with *Populus tremula* and (b) Birch forest (Photo: A. Scholz, (a) 26th August 2016, (b) 24th August 2016).

Im **Birkenvorwald in der Ausbildung mit *Populus tremula*** trat *P. tremula* als Hauptbaumart in der B2-Schicht auf (Abb. 4a; Tabelle A1/14). Im Vergleich zu den bereits genannten Ausbildungen war *B. pendula* insgesamt weniger häufig, wobei einige Exemplare bereits in der B2-Schicht vertreten waren. Die Krautschicht wurde von Arten des Grünlandes frischer Standorte wie zum Beispiel *Poa trivialis* und *Ranunculus acris* sowie von Nährstoffzeigern geprägt. Die Gesellschaft konnte nur durch eine Aufnahme belegt werden, so dass sie bei den folgenden Auswertungen nicht berücksichtigt wurde. Die Aufnahme lag am westlichen Rand der Halde (Abb. 2, Aufnahme 8).

Der **Birkenwald (BW; Abb. 4b; Tabelle A1/15-17)** unterschied sich vor allem durch die schon höherwüchsigen Exemplare von *B. pendula*, der Hauptbaumart in der B2-Schicht, von den anderen Birken-dominierten Gesellschaften der Halde. Neben *B. pendula* kamen weitere Pioniergehölze wie *P. tremula* und *S. caprea* vor. In der Krautschicht konnte Naturverjüngung von *Acer pseudoplatanus* (Berg-Ahorn) nachgewiesen werden, eine Gehölzart der Folgegesellschaften, die ansonsten nur auf den Referenzflächen nachgewiesen werden konnte. Außerdem kamen im Vergleich zu den anderen Haldengesellschaften Stickstoffzeiger (*Urtica dioica*) mit hohen Deckungswerten vor, während Magerkeitszeiger kaum eine Rolle spielten. Auffällig sind die hohen Deckungswerte des Glatthafters (*Arrhenatherum elatius*), wohingegen die in den Birkenvorwäldern nachgewiesenen anderen Arten des Grünlandes nur eine untergeordnete Rolle spielten. Die dieser Gesellschaft zugehörigen Aufnahmen lagen in der Mitte der Plateaufläche der Halde (Abb. 2, blau umrandeter Bereich).



Abb. 5: (a) Birkenvorwald, Ausbildung mit *Sambucus nigra*, (b) Kiefernforst, (c) Stieleichenwald (Foto: A. Scholz (a) und (c) 26.08.2016, (b) 24.08.2016).

Fig. 5: (a) Birch pioneer forest with *Sambucus nigra*, (b) pine forest, (c) english oak forest (Photo: A. Scholz (a) and (c) 26.08.2016, (b) 24.08.2016).

4.1.2 Gesellschaften der Referenzbestände

Der **Birkenwald in der Ausbildung mit *Sambucus nigra*** (BWS: Abb. 5a; Tabelle A1/18-22) wurde, ebenso wie die Bestände der Birkenwald-Gesellschaft der Halde, durch die Pionierart *Betula pendula* in der B2-Schicht geprägt. Zusätzlich kamen in der Baumschicht Gehölzarten der Folgegesellschaften wie *Acer pseudoplatanus* und *Quercus robur* vor. Die Strauchschicht dieser Gesellschaft wurde von *Sambucus nigra* (Schwarzer Holunder) und *Sorbus aucuparia* dominiert. Im Unterwuchs traten gehäuft Stickstoffzeiger und mit *Milium effusum*, *Athyrium filix-femina* und *Geum urbanum* schattentolerante Arten des Waldunterwuchses auf. Verglichen mit den Gesellschaften der Halde ist darüber hinaus das deutlich seltenere Auftreten von Grünlandarten in der Krautschicht auffällig.

Der **Kiefernforst** (PF: Abb. 5b; Tabelle A1/24-25) wurde in der Baumschicht von *Pinus sylvestris* dominiert, vereinzelt trat zudem *Quercus robur* in der Baumschicht auf. In der Strauchschicht konnten *Sambucus nigra* und *Sorbus aucuparia* in geringen Deckungen nachgewiesen werden. Der Unterwuchs wurde durch *Calamagrostis arundinacea* und *Calamagrostis villosa* geprägt.

Ein **Stieleichenwald** (Abb. 5c; Tabelle A1/23) konnte nur auf einer Aufnahmefläche festgestellt werden und wurde daher bei den folgenden Auswertungen nicht berücksichtigt. Der Bestand zeichnete sich durch *Quercus robur* als Hauptbaumart aus. Verglichen mit allen anderen Gesellschaften wies diese Fläche eine höhere Anzahl an Nebenbaumarten wie etwa *Prunus avium*, *B. pendula* und *Carpinus betulus* auf. Die Krautschicht wurde durch *Calamagrostis villosa* dominiert.

4.2 Vergleich der Diversität zwischen den Waldgesellschaften

Als Indikatoren für die Diversität wurden die Gesellschaften hinsichtlich ihrer Artenzahlen miteinander verglichen. Signifikante Unterschiede konnten nur bei der Betrachtung von Baumschicht 1 und 2 (vgl. Tabelle 1) festgestellt werden: Der Birkenvorwald mit *Pinus sylvestris* wies die geringste Artenzahl in der B2-Schicht (KW-Test, $p = 0,025$) und zusammen mit dem Birkenvorwald mit *Salix caprea* die höchste Artenzahl in der B1-Schicht auf (KW-Test, $p = 0,019$). Diese Unterschiede zeigen ein ähnliches Muster wie die unterschiedlichen Wuchshöhen der Gehölzschichten der Gesellschaften: So erreichte die Kronenschicht der Birkenvorwälder fast ausschließlich nur die B1-Schicht, während die der anderen Gesellschaften in der höheren B2-Schicht lag (Abb. 6). Bezüglich der Gehölzartenzahlen über alle Schichten (KW-Test, $p = 0,126$) sowie der Strauchschicht (KW-Test, $p = 0,21$) konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gesellschaften festgestellt werden. Die mittlere Gehölzartenzahl der Krautschicht war im Birkenwald und im Birkenwald in der Ausbildung mit *S. nigra* signifikant geringer als die der restlichen Gesellschaften (KW-Test, $p = 0,093$).

4.3 Vergleich ausgewählter Strukturparameter zwischen den Waldgesellschaften

4.3.1 Vergleich der Deckungswerte und Abundanzsummen

Die Analyse der Deckungswerte und Abundanzsummen der Vegetationsschichten ermöglicht die Charakterisierung des vertikalen Aufbaus und damit der strukturellen Merkmale der Gesellschaften. In Tabelle 4 sind die Mittelwerte für die Gesamt-Vegetationsdeckung sowie die der einzelnen Vegetationsschichten für die Pflanzengesellschaften zusammengestellt. Die Gesamtdeckung wies dabei keine signifikanten Unterschiede auf. Bei der Betrachtung der mittleren Deckung der B2-Schicht (> 9 m) konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den Birkenvorwäldern (BVP, BVS) und den Gesellschaften der Referenzflächen (BWS, PF) festgestellt werden. So lagen die Deckungswerte der Referenzflächen signifikant höher als die der Birkenvorwälder auf der Halde (Tabelle

4). Beim Vergleich der mittleren Deckungen der B1-Schicht wiesen die Birkenvorwälder der Halde eine signifikant höhere Deckung als die restlichen Gesellschaften auf, dies traf demnach auch für den Birkenwald (BW) der Halde zu. Im Mittel war die Deckung der Krautschicht des Birkenwaldes (BW) signifikant höher als die der Birkenvorwälder und des Birkenwaldes in der Ausbildung mit *Sambucus nigra*.

Die Abundanzsummen über alle Schichten sowie für die Strauch- und Krautschicht unterschieden sich im Mittel nicht signifikant voneinander, ebenso nicht die Abundanzsummen der Gehölzarten über alle Vegetationsschichten (KW-Tests, $p > 0,1$; Abb. 6). Die Birkenwald-Gesellschaft (BW) wies die höchste Abundanzsumme der B2-Schicht auf (KW-Test, $p < 0,001$), gefolgt von den Gesellschaften der Referenzflächen (BWS, PF). Die Abundanzsumme der B2-Schicht der Birkenvorwälder (BVP, BVS) war signifikant geringer als die der anderen Gesellschaften. Jedoch wiesen die Birkenvorwälder die höchsten Abundanzsummen der B1-Schicht auf (KW-Test, $p = 0,001$). Aus Abb. 6b wird darüber hinaus ersichtlich, dass in Waldgesellschaften mit einer hohen Abundanzsumme der B2-Schicht (BW, BWS, PF) die niedrigwüchsiger B1-Schicht nur sehr gering ausgebildet war oder gar nicht vorkam. Im Gegensatz dazu konnte sich die B1-Schicht in den Vorwaldbeständen (BVP, BVS) gut entwickeln und Individuen in der B2-Schicht konnten lediglich geringe Abundanzsummen entwickeln.

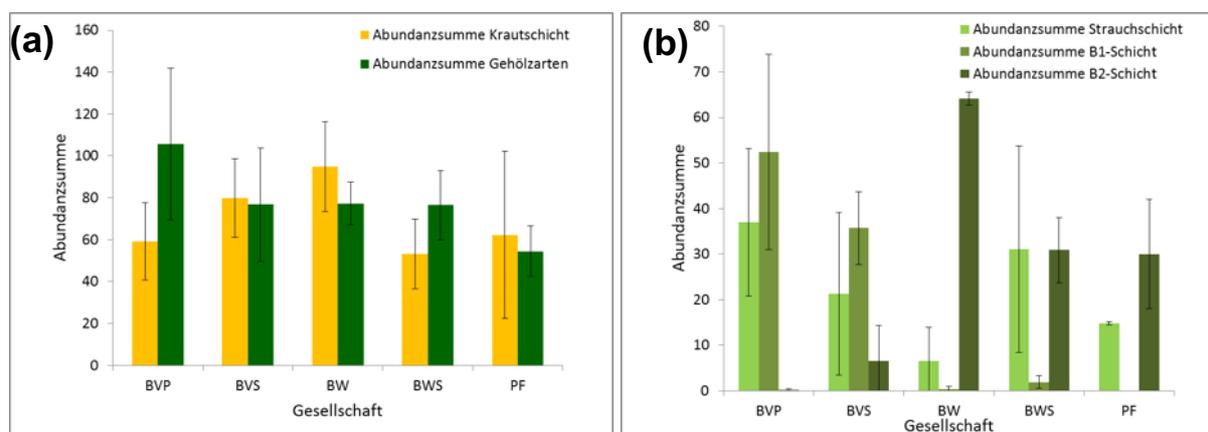


Abb. 6: Vergleich der Vegetationseinheiten hinsichtlich der mittleren Abundanzsummen (a) der Arten der Krautschicht und der Gehölzarten über alle Vegetationsschichten sowie (b) der Arten der Strauch-, B1- und B2-Schicht. Gesellschaften (vgl. Tabelle A1): Birkenvorwald, Ausbildung mit *Pinus sylvestris* (BVP), Birkenvorwald, Ausbildung mit *Salix caprea* (BVS), Birkenwald (BW), Birkenwald, Ausbildung mit *Sambucus nigra* (BWS) und Kiefernforst (PF); dargestellt sind nur Gesellschaften mit mehr als einer Aufnahme; Fehlerbalken sind Standardabweichungen.

Fig. 6: Comparison of the mean sum of abundance (a) for all species in the herb layer and for the woody species in all vegetation layers and (b) for the species in the shrub, B1, and B2 layer. Communities (see Table A1): birch pioneer forest with *Pinus sylvestris* (BVP), birch pioneer forest with *Salix caprea* (BVS), birch forest (BW), birch forest community with *Sambucus nigra* (BWS) and pine forest (PF); error bars are standard deviations.

Tabelle 4: Mittlere Deckungswerte (%) (\pm Standardabweichung) über alle Vegetationsschichten (gesamt) und für Baum-, Strauch- und Krautschicht in den Pflanzengesellschaften Birkenvorwald, Ausbildung mit *Pinus sylvestris* (BVP), Birkenvorwald, Ausbildung mit *Salix caprea* (BVS), Birkenwald (BW), Birkenwald, Ausbildung mit *Sambucus nigra* (BWS) und Kiefernforst (PF) mit den Ergebnissen von Kruskal-Wallis-Tests (KW-Tests); Werte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant (ermittelt anhand der Median-Kerben).

Table 4: Mean cover values (%) (\pm standard deviation) for all layers and for tree, shrub, and herb layers the forest communities birch pioneer forest with *Pinus sylvestris* (BVP), birch pioneer forest with *Salix caprea* (BVS), birch forest (BW), birch forest with *Sambucus nigra* (BWS) and pine forest (PF) with results of Kruskal-Wallis tests (KW-tests); values with different letters indicate significant differences (based on median notches).

Parameter	Haldenflächen		Referenzflächen			KW-Test (p-Wert)
	BVP (n = 8)	BVS (n = 5)	BW (n = 3)	BWS (n = 5)	PF (n = 2)	
Deckung gesamt (%)	68,1 \pm 14,4	63,0 \pm 9,8	80,0 \pm 8,7	62,0 \pm 11,5	65,0 \pm 7,1	n.s.
Deckung B2-Schicht (%)	0,3 \pm 0,7 ^a	13,0 \pm 12,0 ^a	50,0 \pm 34,6 ^c	34,0 \pm 5,5 ^b	35,0 \pm 7,1 ^b	0,002
Deckung B1-Schicht (%)	54,4 \pm 20,1 ^a	43,0 \pm 20,2 ^a	15,0 \pm 5,0 ^b	7,0 \pm 2,4 ^b	7,5 \pm 3,5 ^b	0,002
Deckung Strauchschicht (%)	43,1 \pm 19,3 ^a	51,0 \pm 23,9	8,3 \pm 2,9 ^b	33,0 \pm 18,5 ^a	7,5 \pm 3,5 ^b	0,029
Deckung Krautschicht (%)	48,1 \pm 14,6 ^b	32 \pm 5,5 ^b	71,7 \pm 5,8 ^a	42,0 \pm 5,7 ^b	45,0 \pm 35,4	0,076

4.3.2 Vergleich der Individuenzahlen, mittleren Stammdurchmesser und –flächen pro Aufnahmefläche

Auf der Halde wurden 840 und auf den Referenzflächen 636 Gehölzindividuen gezählt und deren Stammdurchmesser bestimmt. Zur Charakterisierung der Struktur der Pflanzengesellschaften wurden jeweils die Individuenzahlen sowie die Stammdurchmesser der Gehölzindividuen pro Aufnahmefläche (100 m²) betrachtet (Scholz 2017, unpubl.). *Betula pendula* war mit 409 Individuen die am häufigsten vertretene Art der Haldenflächen, gefolgt von *Quercus robur* (n = 142) und *Pinus sylvestris* (n = 142) (vgl. Abb. 7a). Die Referenzflächen wiesen eine hohe Anzahl von *Sorbus aucuparia* (n = 158), *Acer pseudoplatanus* (n = 147) und *Betula pendula* (n = 68) auf (Abb. 7b).

Beim Vergleich der mittleren Individuenzahlen pro 100 m² wiesen die Birkenvorwälder (BVP, BVS) im Mittel höhere Individuenzahlen als der Birkenwald, Ausbildung mit *S. nigra* (BWS) und der Kiefernforst (PF) auf (KW-Test, $p = 0,002$, vgl. Abb. 8a). Stellt man den Vergleich der Individuenzahl dem Vergleich der Stammquerschnittsflächen gegenüber, wird deutlich, dass die Gesellschaften mit höheren Individuenzahlen nur geringe Stammquerschnittsflächen aufweisen (Abb. 8b). So besaß der Birkenvorwald, Ausbildung mit *Pinus sylvestris* eine signifikant höhere Individuenzahl als der Kiefernforst, aber gleichzeitig auch eine signifikant niedrigere Summe der Stammquerschnittsfläche (KW-Test, $p = 0,065$, $n = 23$). Flächen mit hoher Individuendichte wiesen somit viele Individuen mit geringen Stammdurchmessern und damit Querschnittsflächen auf. Die Stammdurchmesser der Gehölzindividuen der Halde reichten von < 2 cm bis 24 cm (Abb. 7a). Im Gegensatz dazu erreichten die Individuen der Referenzflächen Stammdurchmesser von bis zu 42 cm (Abb. 7b). Sowohl auf der Halde als auch auf den Referenzflächen war die Mehrheit der Stammdurchmesser < 2 cm (Abb. 7a,b). Dies wurde durch die hohe Anzahl von Gehölzkeimlingen in der Krautschicht verursacht.

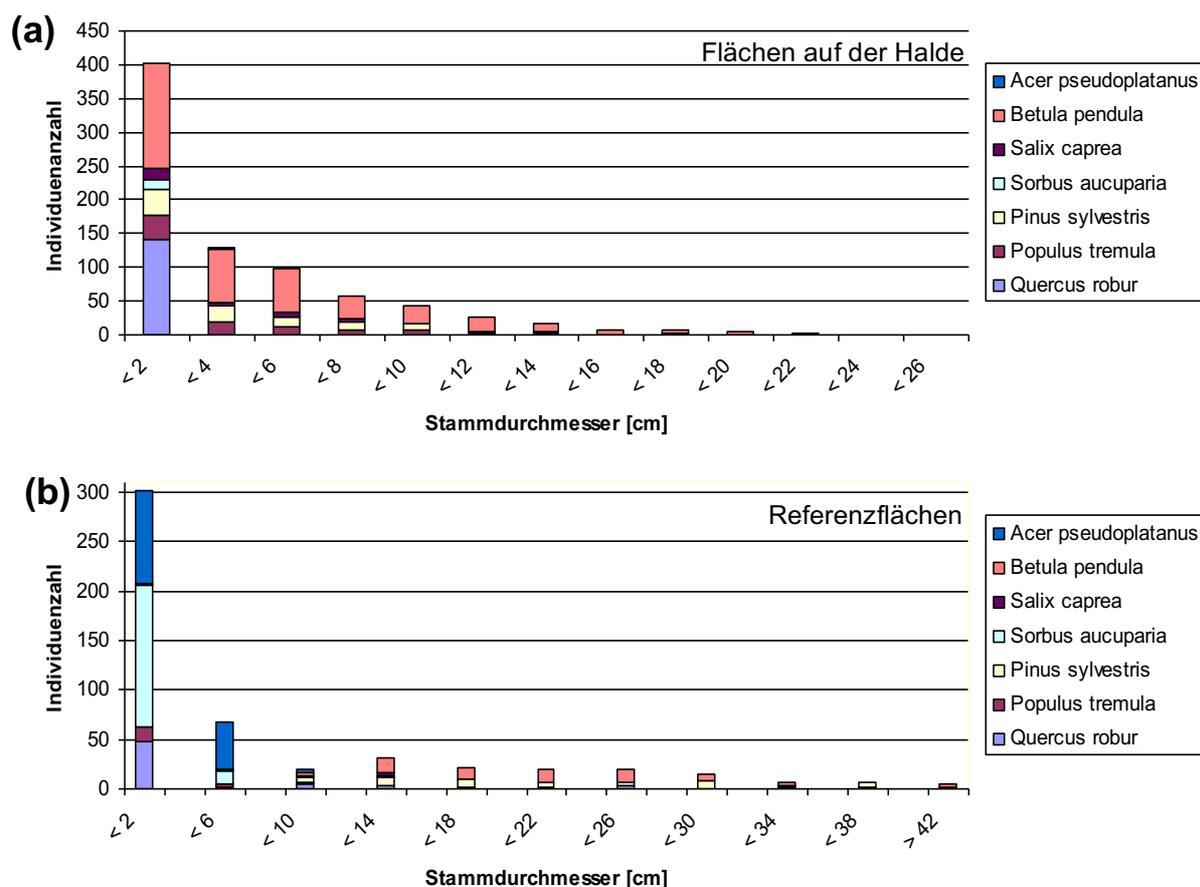


Abb. 7: Verteilung der Individuen der häufigsten Gehölzarten bezüglich der Stammdurchmesser auf (a) den Haldenflächen und (b) den Referenzflächen.

Fig. 7: Distribution of individuals of the most frequent woody species according to stem diameter of (a) tailing sites and (b) reference sites.

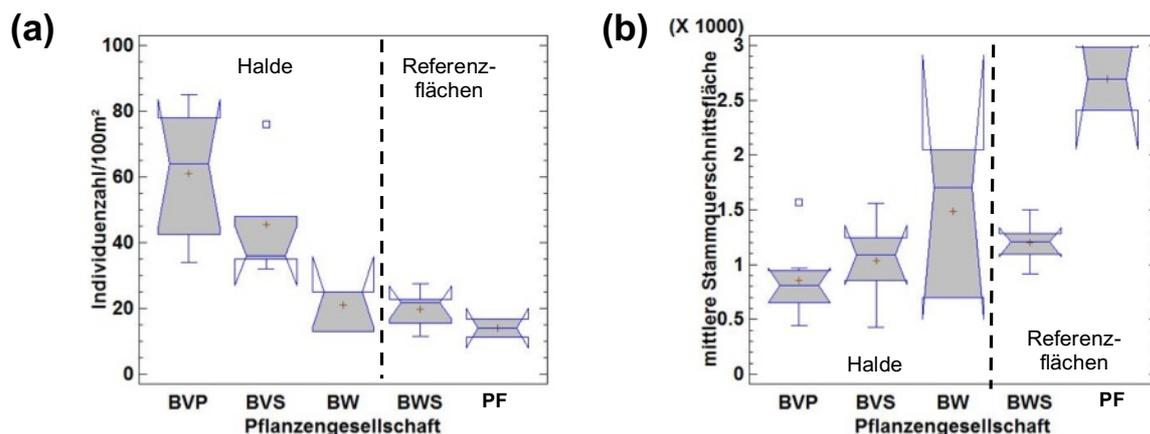


Abb. 8: Vergleich (a) der mittleren Anzahl der Gehölzindividuen und (b) der mittleren Summe der Stammflächen aller Gehölzindividuen [cm²] pro Aufnahmefläche (100 m²) zwischen den Pflanzengesellschaften Birkenvorwald, Ausbildung mit *Pinus sylvestris* (BVP), Birkenvorwald, Ausbildung mit *Salix caprea* (BVS), Birkenwald (BW), Birkenwald, Ausbildung mit *Sambucus nigra* (BWS) und Kiefernforst (PF).

Fig. 8: Comparison of the average sum of trunk areas of all woody species per plot (100 m²) between the forest communities birch pioneer forest with *Pinus sylvestris* (BVP), birch pioneer forest with *Salix caprea* (BVS), birch forest (BW), birch forest with *Sambucus nigra* (BWS) and pine forest (PF).

4.3.3 Vergleich der Standortparameter anhand der mittleren Ellenberg-Zeigerwerte

Die Standortparameter wurden mit Hilfe der gewichteten Ellenberg-Zeigerwerte charakterisiert (vgl. Kap. 3.1). Die Gesellschaften unterschieden sich hinsichtlich der mittleren Stickstoff-, Reaktions- und Lichtzahl (Tabelle 5). Die Birkenwald-Gesellschaften (BW, BWS) wiesen im Mittel die signifikant höchsten Stickstoffzahlen im Vergleich zu den Gesellschaften mit *Pinus sylvestris* (BVP, PF) auf. Letztere kamen auch auf den basenärmsten Standorten im Untersuchungsgebiet vor (Tabelle 5, mR). Auffällig sind außerdem die signifikant höheren mittleren Lichtzahlen der Gesellschaften der Halde im Vergleich zu den Gesellschaften der Referenzflächen (KW-Test, $p = 0,0041$, $n = 23$).

4.4 Beziehungen zwischen Diversitäts-, Struktur- und Standortparametern

Bei der Betrachtung der Strukturparameter ergaben sich signifikante negative Korrelationen zwischen der Gehölzindividuenzahl und dem mittleren Stammdurchmesser pro Aufnahme ($r_s = -0,669^{***}$, $n = 21$, Abb. 9) sowie zwischen der Gehölzindividuenzahl und der mittleren Stickstoffzahl ($r_s = -0,619^{**}$, $n = 23$). Des Weiteren stieg die Deckung über alle Schichten mit steigender Stickstoffzahl an ($r_s = 0,393^*$, $n = 23$). Ebenfalls positiv war die Beziehung zwischen der Stickstoffzahl und der Deckung der B2-Schicht ($r_s = 0,588^{***}$, $n = 23$), während die Deckung der B1-Schicht negativ mit der mittleren Stickstoffzahl korrelierte ($r_s = -0,568^{***}$, $n = 23$). Auf sauren und mageren Standorten waren somit mehr Individuen mit geringen Stammdurchmessern zu finden als auf nährstoff- und basenreicheren Standorten. Des Weiteren waren die Gehölzindividuen auf nährstoffreicheren Standorten höherwüchsiger als auf mageren Standorten und wiesen dadurch höhere Deckungen in der B2-Schicht auf.

Tabelle 5: Mittelwerte der mittleren gewichteten Ellenberg-Zeigerwerte (alle Vegetationsschichten) für Stickstoff und Bodenreaktion pro Aufnahmefläche (\pm Standardabweichung) in den Pflanzengesellschaften Birkenvorwald, Ausbildung mit *Pinus sylvestris* (BVP), Birkenvorwald, Ausbildung mit *Salix caprea* (BVS), Birkenwald (BW), Birkenwald, Ausbildung mit *Sambucus nigra* (BWS) und Kiefernforst (PF) mit den Ergebnissen von Kruskal-Wallis-Tests (KW-Tests); Werte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant (ermittelt anhand der Median-Kerben).

Table 5: Mean of weighted averages of Ellenberg indicator values for nitrogen and soil reaction (all layers) per plot (\pm standard deviation) for the forest communities birch pioneer forest with *Pinus sylvestris* (BVP), birch pioneer forest with *Salix caprea* (BVS), birch forest (BW), birch forest with *Sambucus nigra* (BWS) and pine forest (PF) with results of Kruskal-Wallis tests (KW-tests); values with different letters indicate significant differences (based on median notches).

Parameter	BVP (n = 8)	BVS (n = 5)	BW (n = 3)	BWS (n = 5)	PF (n = 2)	KW-Test p-Wert)
Mittlere Stickstoffzahl mN	4,4 \pm 0,8 ^b	5,1 \pm 0,8	6,8 \pm 0,7 ^a	6,8 \pm 0,8 ^a	4,2 \pm 0,2 ^b	0,016
Mittlere Reaktionszahl mR	4,9 \pm 1,0 ^a	5,1 \pm 0,8 ^a	6,9 \pm 0,1 ^b	5,5 \pm 0,3 ^a	3,2 \pm 0,1 ^a	0,031
Mittlere Lichtzahl mN	6,9 \pm 0,1 ^a	6,7 \pm 0,2 ^a	7,2 \pm 0,3 ^a	6,2 \pm 0,8 ^b	6,3 \pm 0,1 ^b	0,037

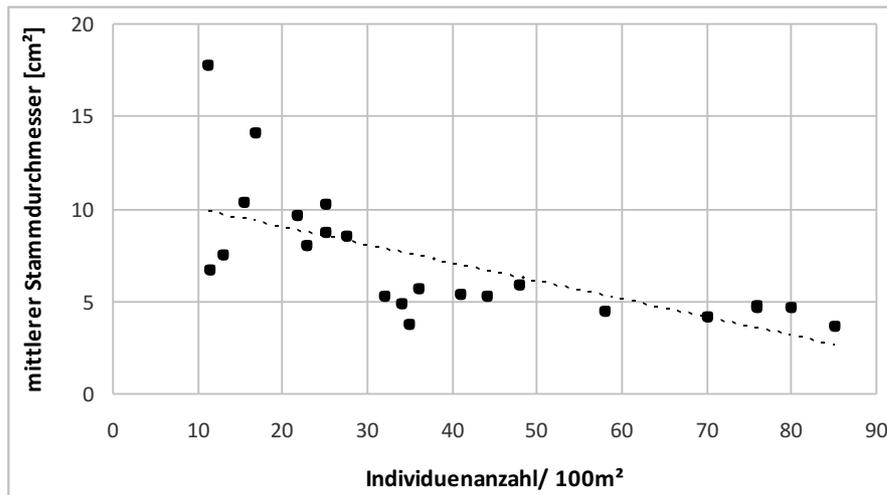


Abb. 9: Korrelation zwischen dem mittleren Stammdurchmesser der Gehölze (cm) und der Gehölzindividuenzahl pro 100 m² (Plot) ($r_s = -0,669^{***}$, $n = 21$).

Fig. 9: Correlation between the mean stem diameter (cm) and the individual number of woody species per plot (100 m²) ($r_s = -0,669^{***}$, $n = 21$).

5. Diskussion

Die Gehölzvegetation der Spülhalde Münzbachtal wurde von Vorwäldern mit dominanter Hänge-Birke (*Betula pendula*) geprägt (Tabelle A1; s. auch Westhäuser & Richert 2017). Dieser Typ von Gehölzbeständen ist typisch für Halden der Freiburger Bergbaufolgelandschaft (Golde 2013). Ähnliche, von Birken dominierte Gehölzbestände konnten beispielsweise auf der Spülhalde Davidschacht in Freiberg nachgewiesen werden, die einen vergleichbar langen Zeitraum der natürlichen Sukzession überlassen war (Erler et al. 2017, Richert et al. 2017). Auch auf der Spülhalde Davidschacht konnten Birkenvorwälder mit *Pinus sylvestris* bzw. *Salix caprea* belegt werden, die den eigenen Aufnahmen der Birkenvorwald-Gesellschaft in den jeweiligen Ausbildungen sowohl in der Artenzusammensetzung der Gehölze als auch des Unterwuchses sehr ähnlich waren (Tabelle A1/Spalte 1-8 bzw. 9-13). Auf der Davidschachthalde konnten darüber hinaus Bestände nachgewiesen werden, die der Birkenwald-Gesellschaft (Tabelle A1/15-17) ähneln, welche von hochwüchsigen Birken dominiert wird. Übereinstimmungen gab es darüber hinaus hinsichtlich des Vorkommens von Grünlandarten wie *Agrostis capillaris* und *Holcus lanatus* im Unterwuchs der überwiegend noch lichten Gehölzbestände und, wenn auch mit vergleichsweise geringen Stetigkeiten und niedrigen Deckungswerten, von schattentoleranten Arten wie *Athyrium filix-femina* und *Geum urbanum*. Letztere deuten auf eine zunehmende Beschattung bedingt durch zunehmende Deckungen der Gehölzschichten im Verlauf der Sukzession hin.

Die Vorwaldbestände mit *P. sylvestris* kamen auf Böden mit sehr geringen Reaktions- und Stickstoffzahlen, also auf sauren und mageren Standorten vor. Die Referenzbestände des Kiefernforstes wiesen sogar noch niedrigere Werte insbesondere für die Bodenreaktion auf (vgl. Tabelle 5). Trotz dieser sauren Bodenverhältnisse wiesen die Vorwälder mit *P. sylvestris* die höchste Anzahl an Gehölzindividuen auf (Abb. 7a), insbesondere in der Krautschicht, wodurch sich die niedrigen Mittelwerte der Stammdurchmesser ergeben (Abb. 7b). Die mit *P. sylvestris* bewachsenen Flächen könnten in Zukunft noch basenärmer werden, da die Nadelgehölze Versauerung der Böden begünstigen (z. B. Augusto et al. 1998).

Die Birkenvorwald-Gesellschaft mit *S. caprea* und die Birkenwald-Gesellschaft (Tabelle A1/9-13 bzw. 15-17) wiesen nur vereinzelt Magerkeitszeiger, dafür aber vermehrt Nährstoffzeiger wie *Urtica dioica* im Unterwuchs auf. Dementsprechend sind die mittleren Stickstoffzahlen höher als bei der Ausbildung mit *P. sylvestris* und ähnlich zu den Werten der Birkenwald-Gesellschaft der Referenzflächen (Tabelle 5). Mit steigendem Nährstoffangebot ist eine Abnahme der Anzahl von Nebenbaumarten auf der Halde zu beobachten, sodass die Birkenwald-Gesellschaft in der Baumschicht fast ausschließlich aus *B. pendula*-Individuen bestand (Tabelle A1). Die Birkenwald-Gesellschaft besaß außerdem die größten Deckungen in der höchsten Baumschicht (B2) (Kapitel 4.3.1) und die größten mittleren Stammquerschnittsflächen der Haldengesellschaften (Kapitel 4.3.2), verbunden mit einer sehr geringen Individuendichte (Abb. 7a). Hinsichtlich dieser Strukturparameter ähnelte die Birkenwald-Gesellschaft der Halde der Birkenwald-Gesellschaft in der Ausbildung mit *S. nigra* der Referenzflächen.

Deutliche Unterschiede zwischen Halden- und Referenzflächen traten in Bezug auf die vertikale Verteilung von Arten wie *Sorbus aucuparia*, *Acer pseudoplatanus* und *Quercus robur* auf: So war *Q. robur* zwar mit hohen Individuenzahlen auf der Halde vertreten, konnte aber nur in der Krautschicht nachgewiesen werden (Abb. 8a). Im Gegensatz dazu kam diese Art auf den Referenzflächen vorwiegend in der Baumschicht mit entsprechend

deutlich höheren Stammdurchmessern vor (Abb. 8b). Des Weiteren traten *A. pseudoplatanus* und *S. aucuparia* auf den Referenzflächen verstärkt in der Kraut- und Strauchschicht auf. Diese Arten waren auf der Halde kaum vertreten.

Auch die weitere Entwicklung wird auf Flächen mit höherem Nährstoffreichtum schneller ablaufen als auf nährstoffarmen Flächen. Durch die Anreicherung organischer Substanz über die Streu wird darüber hinaus eine Nährstoffanreicherung erfolgen, wodurch Gehölzarten wie *A. pseudoplatanus*, *Fraxinus excelsior* oder auch *Tilia cordata* begünstigt werden. *Quercus robur* wird mit der Zeit *Betula pendula* als Hauptbaumart verdrängen, da diese Art auf längere Sicht die konkurrenzstärkere ist, sodass die Entstehung eines Eichen-Birkenwaldes zu erwarten ist. Des Weiteren wird der Anteil der Grünlandarten in der Krautschicht (vgl. Tabelle A1) aufgrund zunehmender Beschattung durch Gehölze abnehmen (vgl. Tabelle 5). In Zusammenhang damit steht die Zunahme von Halbschatten- und Schattenzeigern. So wurden *Milium effusum* und *Geum urbanum* auf den älteren Referenzflächen bereits mit höheren Deckungen nachgewiesen als auf den Haldenflächen (Tabelle A1).

Die Ergebnisse zeigen, dass die Entwicklung der Gehölzbestände wesentlich von den Standortparametern, insbesondere von den Faktoren Bodenazidität und Stickstoffangebot abhängt. Kleinknecht (2002) identifizierte auf Halden des Braunkohletagebaus im Leipziger Raum die Bodenazidität noch vor der Stickstoffversorgung als den wichtigsten limitierenden Faktor für die Gehölzentwicklung. Auf der Spülhalde bestimmt der Spülsand an sich bzw. die aufgebrachte Substratschicht diese Parameter. Auf den nährstoffarmen Spülsanden der Halde ohne zusätzliche Substratschicht konnten auch nach über 40 Jahren ungestörter Sukzession kaum Gehölze Fuß fassen, so dass immer noch Vegetationstypen des Offenlandes vorzufinden waren (Westhäuser & Richert 2017). Auf den Flächen mit zusätzlicher Substratschicht konnten sich, je nach Basen- und Nährstoffverfügbarkeit sowie der Substratmächtigkeit, Gehölze etablieren, die aber nach 40 Jahren sowohl hinsichtlich der Artenzusammensetzung als auch der Vegetationsstruktur noch viele Charakteristika von Pionierbeständen aufwiesen. Die etwas besser versorgten Flächen wiesen dabei bereits große Ähnlichkeiten mit den untersuchten Referenzbeständen auf, wobei die Birkenwald-Gesellschaft der Halde gut das Übergangsstadium vom Vorwald zum Birkenwald mit *Sambucus nigra* der Referenzbestände repräsentierten. Für die Birkenvorwälder waren lichtliebende Pioniergehölze kennzeichnend (Tabelle A1), die lückige und niedrigwüchsige Bestände (Tabelle 4) mit großen Individuenzahlen und vergleichsweise kleinen Stammdurchmessern bildeten (Abb. 7a). Die Birkenwald-Gesellschaft (Tabelle A1/15-17) bildete aufgrund des bereits hochwüchsigen Baumbestandes den Übergang zu den Referenzbeständen, die durch einen dichten und hochwüchsigen Gehölzbestand mit wenigen Gehölzindividuen und großen Stammdurchmessern gekennzeichnet waren (Abb. 7b). Allerdings wurden auch diese Bestände mit überwiegend *B. pendula* in der Baumschicht noch von einer Pionierart dominiert. Anders war die Situation im Stieleichenwald, in dem *Quercus robur* mit hochwüchsigen Individuen dominierte. Arten der Schlusswaldgesellschaften wie *Fagus sylvatica* kamen ausschließlich auf den Referenzflächen vor (Tabelle A1).

Gehölzbestände, welche für einen längeren Zeitraum ungestört der Sukzession überlassen werden, besitzen in der heutigen Kulturlandschaft Deutschlands Seltenheitswert. Es wäre daher aus naturschutzfachlicher Sicht, aber auch aus Sicht der ökologischen Forschung (vgl. Heilmeier et al. 2016) wünschenswert, wenn zumindest auf einem Teilbereich der Halde weiterhin der Ablauf einer natürlichen Sukzession zugelassen wird.

6. Summary

After the closure of the Spülhalde Münzbachtal in 1969 and the subsequent attempt to restore the tailing by planned greening, the area was left to natural succession. Aim of the study was the analysis of species composition and structure of the woody vegetation on the tailing in comparison with adjacent stands (reference sites). For this purpose, on selected sites Braun-Blanquet vegetation surveys were done, the individuals of woody species were counted, and their trunk diameters were measured. On the tailing three types of a birch pioneer forest and birch forest could be identified. On the reference sites birch forests with *Sambucus nigra* and pine forests could be found. The birch pioneer forest with *Pinus sylvestris* showed significantly lower indicator values for soil reaction and nitrogen amount than the other woody plant communities and were comparable to the pine forest with regard to these environmental parameters. The birch forest of the reference sites was similar to the birch forest with *Sambucus nigra* on the tailing in regard to the number of woody individuals and average trunk diameter. In the future, the woody vegetation of the tailing area probably will develop in the direction of the birch forest with *Sambucus nigra*, if an undisturbed succession will continue. The correlation analyses including mean Ellenberg indicator values for soil reaction and nitrogen availability indicate that succession is inhibited on acid, low-nutrient sites. From a nature conservation point of view it would make sense to leave some of the woody vegetation to undisturbed succession, since such areas have become rare in the cultural landscape.

Danksagung

Unser Dank gilt Frau Dr. Christin Jahns (SAXONIA Standortentwicklungs- und Verwaltungsgesellschaft mbH, Freiberg) für die Bereitstellung von Informationen zur Halde.

7. Literatur

- Augusto, L., Bonnaud, P., Ranger, J. (1998): Impact of tree species on forest soil acidification, *Forest Ecology and Management* 105: 67-78.
- Bernstein, K.-H. (1986): Geologischer Lehrpfad Freiberg. VEB Geologische Forschung u. Erkundung Freiberg, Freiberg, 80 S.
- Braun-Blanquet, J. (1964): Pflanzensozioogie. Springer, Wien, 865 S.
- Dierschke, H. (1994): Pflanzensozioogie. Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart, 683 S.
- Durka, W. & Ackermand, W. (1998): SORT 4.0 - Ein Computerprogramm zur Bearbeitung von floristischen und faunistischen Artentabellen. *Natur und Landschaft* 68: 16-21.
- Deutscher Wetterdienst (2017): http://www.dwd.de/bvw/generator/DWDWWW/Content/Oeffentlichkeit/KU/KU2/KU21/klimadaten/german/nieder_8110_fest_html.templateId=raw.property=publicationFile.html/nieder_8110_fest_html.html (Einsicht 13.03.2017).
- Ellenberg, H., Weber, H.E., Düll, R., Wirth, V., Werner, W. & Paulissen, D. (1992): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica* 18: 1-258.
- Erlor, L., Achtziger, R. & Richert, E. (2017): Vegetationskundliche Analysen zur Artenzusammensetzung, Diversität und Struktur der Vorwaldgesellschaften auf der Spülhalde Davidschacht. *Freiberg Ecology online* 2: 37-51.
- Fritz, E. & Jahns, C. (2017): Die Spülhalde Davidschacht in Freiberg – Geschichte, Umweltproblematik und geplante Sanierung. *Freiberg Ecology online* 2: 4-17.
- Golde, A. (2013): Das Freiburger Bergbauebiet. In: Baumbach, H., Sanger, H., Heinze, M. (Hrsg.): Bergbaufolgelandschaften Deutschlands. Geobotanische Aspekte und Rekultivierung. Weißdorn-Verl., Jena. S. 437–467.
- Heilmeyer, H., Achtziger, R., Günther, A., Richert, E. & Wiche, O. (2016): Bergbaufolgelandschaften – ideale Standorte zur Anwendung von Prinzipien der Ökologie. In: Groß, U. (Hrsg.): Glanzlichter der Forschung an der TU Bergakademie Freiberg – 250 Jahre nach ihrer Gründung. Chemnitzer Verlag, S. 451-459 [ISBN 978-3-944509-26-6].
- Kleinknecht, U. (2002): Primäre Gehölzsukzession in der Bergbaufolgelandschaft des Leipziger Südraumes. *Dissertationes Botanicae* 358: 1-159.
- LfULG (Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie) (2017): Digitale Bodenkarte 1:50.000. <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/ida/pages/map/default/index.xhtml?jssessionid=1865220F2A38D3493322574ED3653523> (Einsicht 14.12.2017).
- Mannsfeld, K. & Syrbe, R.-U. (Hrsg.) (2008): Naturräume in Sachsen, Forschungen zur deutschen Landeskunde, Band 257, Deutsche Akademie für Landeskunde, Selbstverlag, Leipzig.
- Mollée, R. (2013): Altlastenprojekt SAXONIA - eine Retrospektive. SAXONIA Standortentwicklungs- und Verwaltungsgesellschaft mbH, Freiberg, 404 S.
- NSI Freiberg (Naturschutzzinstitut Freiberg) & Beak Consultants (1994, unpubl.): Boden- und Vegetationsverhältnisse sowie floristische und faunistische Ausstattung auf acht Halden im Freiburger Raum. In: SAXONIA a.G. (1994): Ökologisches Großprojekt. Bericht, S. 23-41 (unpubl.).
- Richert, E., Aufsfeld, P. & Olias, M. (2017): Biototypenausstattung der Spülhalde Davidschacht in Freiberg. *Freiberg Ecology online* 2: 18-36.
- Saxonia (SAXONIA Standortentwicklungs- und Verwaltungsgesellschaft mbH, Freiberg) (2016, unpubl.): Untersuchungen zu 17 Grobberge- und Aufbereitungshalden des Erzgebirges im Rahmen des Teilprojektes „SMSB – Gewinnung strategischer Metalle und Mineralien“ der BMBF-Fördermaßnahme „r3 – Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Strategische Metalle und Mineralien“, Freiberg, S. 29-31, unpubl. Bericht.
- Scholz, A. (2017, unpubl.): Analyse der Artenzusammensetzung und Struktur der Gehölzbestände der „Spülhalde Münzbachtal“ bei Halsbrücke. Bachelorarbeit Geoökologie, AG Biologie/Ökologie, TU Bergakademie Freiberg (unpubl.).
- Schulz, D. (2013): Rote Liste und Artenliste Sachsens - Farn und Samenpflanzen. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.), Dresden, 310 S.
- Westhäuser, E. & Richert, E. (2017.): Biototypenausstattung der Spülhalde Münzbachtal bei Freiberg. *Freiberg Ecology online* 3: 33-53.
- Wiegand, G., (Hrsg.) (2000): Naturschutz in Bergbaufolgelandschaften: Landschaftsanalyse und Leitbildentwicklung. Physica-Verlag, Heidelberg, 396 S.

Anschriften der Autor(inn)en:

Scholz, Andrea; Achtziger, Roland; Richert, Elke*: TU Bergakademie Freiberg, Institut für Biowissenschaften / Interdisziplinäres Ökologisches Zentrum (IÖZ), AG Biologie / Ökologie, Leipziger Straße 29, 09599 Freiberg, E-Mail: roland.achtziger@ioez.tu-freiberg.de; elke.richert@ioez.tu-freiberg.de.

*Korrespondierende Autorin

Anhang

Tabelle A1: Vegetationstabelle der Pflanzengesellschaften der Gehölzbestände der Spülhalde Münzbachtal-und angrenzender Gebiete (Referenzflächen)

Abkürzungen:

Ges: Gesamt
 B1: Baum1-Schicht (3-9 m)
 K: Krautschicht
 Moos: Mooschicht
 H: Halde

B2: Baum2-Schicht (> 9 m)
 S: Strauchschicht (1-3 m)
 Streu: Streuschicht

R: Referenzfläche

Spalte 1-8: Birkenvorwald, Ausbildung mit *Pinus sylvestris* (BVP)

Spalte 9-13: Birkenvorwald, Ausbildung mit *Salix caprea* (BVS)

Spalte 14: Birkenvorwald, Ausbildung mit *Populus tremula*

Spalte 15-17: Birkenwald (BW)

Spalte 18-22: Birkenwald, Ausbildung mit *Sambucus nigra* (BWS)

Spalte 23: Stieleichenwald

Spalte 24-25: Kiefernforst (PF)

Spalten-Nummer		1111	1	111	11222	2	22
	12345678	90123	4	567	89012	3	45
Aufnahmenummer	11	1	1	1	111	22222	2
	12673625	17094	8	435	45321	0	89
Lage	HHHHHHHH	HHHHH	H	HHH	RRRRR	R	RR
Exposition		SSN	S	NNS		NN	N
		SS				SS	
		OOW	O	WVO		NOO	O
		WW				WW	
Neigung [°]	24	4	44			4	1
	00200000	00005	0	000	00225	0	55
Größe (m ²)	11111111	11111	1	111	44444	4	44
	00000000	00000	0	000	00000	0	00
	00000000	00000	0	000	00000	0	00
Deckung gesamt [%]	88678565	76567	4	887	56586	5	76
	50505000	00005	0	550	00505	0	00
Deckung B2 [%]		2	13	4	711	33434	4
	00000020	00005	0	000	00000	0	00
Deckung B1 [%]	87467253	64316	1	211	1	1	1
	05000505	50550	0	050	50550	5	50
Deckung S [%]	56268344	71216	1	11	32362	2	1
	00500500	00005	0	005	00050	0	05
Deckung K [%]		27456464	65455	4	776	34445	4
	50000000	00500	0	555	50500	0	00
Deckung Moos [%]		4	1412	4341	1	72	1
	50050000	00005	0	055	05050	5	50
Deckung Streu [%]		74754374	64354	3	442	44374	4
	00000000	00505	5	000	05000	5	00
Wuchshöhe B2 [m]		1	111	1	111	22222	2
		0	110	5	777	00000	5
Wuchshöhe B1 [m]	88888898	88998	9	9	7999		
Wuchshöhe S [m]				2			
				,			
Wuchshöhe K [cm]	33333323	33333	5	233	33333	3	32
	44545634	54564	5	788	45556	4	84
	00505000	05000	0	000	50005	0	00

Fortsetzung Tabelle A1

Spalten-Nummer		1111	1	111	11222	2	22	
	12345678	90123	4	567	89012	3	45	
Aufnahmenummer	11	1	1	1	111	22222	2	11
	12673625	17094	8	435	45321	0	89	
Lage	HHHHHHHH	HHHHH	H	HHH	RRRRR	R	RR	
Gesamtartenzahl	1111	111	11111	1	111	11111	1	11
	13349552	92294	6	330	30743	5	21	
Artzahl Gehölze	56566557	76468	5	464	96866	8	67	
mittl. Lichtzahl	66766666	76666	6	767	66647	5	66	
	
	99098989	07875	5	195	25480	7	24	
mittl. Feuchtezahl	55555555	55655	5	555	55555	6	56	
	
	78361116	35088	3	272	36492	4	90	
mittl. Reaktionszahl	55555425	54356	6	766	55555	2	33	
	
	34242757	39830	1	089	16817	5	21	
mittl. Stickstoffzahl	44334534	46455	7	676	86666	3	44	
	
	53579749	81053	3	662	16461	0	30	

Birkenvorwald, Ausbildung mit *Pinus sylvestris*

<i>Pinus sylvestris</i> ^B1	4bbbr..	.....	.	....	.....	.	..
<i>Pinus sylvestris</i> ^S	31ab1.r+	.....	r	....	.....	.	a
<i>Pinus sylvestris</i> ^K	1.aal.+1	rt...	.	....	.....	.	1.

Birkenvorwald, Ausbildung mit *Salix caprea*

<i>Salix caprea</i> ^B2	.....	.r1r	r	.11	....	+	..
<i>Salix caprea</i> ^B1	....1..1	.1..r	.	....	..r..	.	..

Birkenvorwald, Ausbildung mit *Populus tremula*

<i>Populus tremula</i> ^B2rr	3	...	rr...	1	..
----------------------------	-------	-------	---	-----	-------	---	----

Birkenvorwald

<i>Betula pendula</i> ^B1	13b35b33	333b3	1	r..	.....	.	..
<i>Betula pendula</i> ^S	1ba333a3	31a13	a	1.a	.....	.	..
<i>Populus tremula</i> ^B1	.r.1++r1	+r.+r	1	...	.....	.	..
<i>Populus tremula</i> ^S	.r111.r+	.1r++	1	.r.	..1..	1	..
<i>Picea abies</i> ^S	.r..a..1	11.rr	.	....	.....	.	..
<i>Salix caprea</i> ^S	.r.rr...	....+	.	....	..+r	.	..
<i>Salix caprea</i> ^K	..+.r+.+	r1r..	.	....	....+	.	..
<i>Betula pendula</i> ^K	1maalamb	.1a++	+	+.a	.....	.	..
<i>Quercus robur</i> ^K	11+1++++	++1+1	.	+. .	1...+	.	+
<i>Populus tremula</i> ^K	.r...+rr	+.+. 1	...	.....	+	..	..
<i>Picea abies</i> ^K	r...a..1	+a.ra	.	....	.....	.	..

Birkenwald, Ausbildung mit *Sambucus nigra*

<i>Sambucus nigra</i> ^S	.....	.....	.	....	bar..	.	a.
<i>Sambucus nigra</i> ^K	.....	.....+	.	....	aar..	.	+

Birkenwald

<i>Betula pendula</i> ^B2	.....r.	b.11+	1	444	ba3b3	a	..
<i>Acer pseudoplatanus</i> ^B2	.....	.....	.	....	..r+	.	..
<i>Acer pseudoplatanus</i> ^B1	.....	.....	.	....	1..11	.	..
<i>Acer pseudoplatanus</i> ^S	.....	.....	.	....	1..4a	.	..
<i>Acer pseudoplatanus</i> ^K	.....	.....	.	++.	111+1	.	r
<i>Sorbus aucuparia</i> ^B2	.....	.....	.	....	r....	r	..
<i>Sorbus aucuparia</i> ^S	.....	.....	.	....	ab111	.	11
<i>Sorbus aucuparia</i> ^K	...+.++	+.1+	.	..+	1a111	+	+1
<i>Geum urbanum</i> ^K	.....	...1+	.	.a.	111+	.	+
<i>Milium effusum</i> ^K	.....	.....	.	....	..11a.	.	..
<i>Athyrium filix-femina</i> ^K	.....	...r.	+	....	..11.	.	..
<i>Rubus spec.</i> ^K	.....	.....	a	1..	..3b.	.	++

Fortsetzung Tabelle A1

Spalten-Nummer	1111	1	111	11222	2	22
12345678	90123	4	567	89012	3	45
Aufnahmenummer	11	1	1 1	111	22222	2 11
12673625	17094	8	435	45321	0	89
Lage	HHHHHHHH	HHHHH	H	HHH	RRRRR	R RR
Stieleichenwald						
Quercus robur^B2	.....	.....	.	...	+b...	a +r
Quercus robur^S	.r.....	.....	.	...	.....	. .
Prunus avium^S	.....	.....	.	...	+.+r.	1 ..
Luzula luzuloides^K	.....	.....	.	...	.....	a ..
Carpinus betulus^K	.....	.....	.	...	.....	1 1.
Kiefernforst						
Pinus sylvestris^B2	.....	.....	.	...	.....	b3
Calamagrostis arundinacea^K	.....	.....	.	...	...1	1 3a
Calamagrostis villosa^K	...+....	.....	.	...	...1	3 3a
Magerkeitszeiger						
Deschampsia flexuosa^K	.1...b.	1.31.	.	...	...111	1 ..
Pilosella officinarum^K	.aa.m+	1....	.	...	.....	. ..
Hypericum perforatum^K	.1.a+.1	1....	.	...	.....	. ..
Rumex acetosella^K	.....+	1....	.	...	.....	. ..
Campanula patula^K	+++..+.	....+	.	...	.....	. ..
Arten des Grünlandes						
Festuca rubra^K	abb3am.b	aaaa3	.	...+	.....	. ..
Agrostis capillaris^K	aaaaaa..	.bab.	.	m..	.....	. ..
Holcus lanatus^K	1a11.maa	a..1a	1	...	.....	. ..
Rumex acetosa^K	..+1...+	+1+.	.	...	.....	. ..
Scorzoneroides autumnalis^K	.+...a	....+	.	...	.....	. ..
Poa pratensis^K	...1.a..	.a...	.	ba1	.....	. ..
Arrhenatherum elatius^K	.....	a....	.	33b	..a13	. ..
Vicia cracca^K	.....+.	.....	.	++.	.....	. ..
Dactylis glomerata^K	.....	.....	.	a +.	..1.1	. ..
Poa trivialis^K	+.....	.....	1	...	1....	1 .1
Ranunculus acris^K	.....	.....	1	...	.....	. ..
Stickstoffzeiger						
Urtica dioica^K	.....	...a.	+ 13+	11...	.....	. ..
Galium aparine^K	.....	++1a.	3 ma.	..11+	.....	. ..
weitere Gehölzarten						
Fraxinus excelsior^K	+.....	.....	1	.1.	+.....	. ..
Fraxinus excelsior^S	.....	.....	.....	r.	.....	. ..
Rubus idaeus^K	.....	..a1.	.....	..	.b...	m ..
Crataegus monogyna^S	.....	.....	.....	r.1	.....	. ..
Fagus sylvatica^K	.....	.....	.....	..	1....	+ .1
Prunus avium^B2	.....	.....	.....	..	r....	. ..
Prunus avium^B1	.....	.....	.....	..	....r	. ..
Prunus avium^K	.....	.....	.....	..	.....	1 ..
Tilia cordata^S	.....	.....	.....	..	..r..	. ..
Tilia cordata^K	.....	.....	.....	..	..r..	. ..
Corylus avellana^S	.....	.....	.....	..	...r.	. .r
Corylus avellana^K	.....	.....	.....	..	.....	. 1
Carpinus betulus^B2	.....	.....	.....	..	.....	r ..
Carpinus betulus^S	.....	.....	.....	..	.....	r .r
Picea abies^B2	.....	.....	.....	..	.....	r ..
Alnus incana^S	.....	.....	.....	..	.....	. 1.
Alnus incana^K	.....	.....	.....	..	.....	. +.
weitere Arten der Krautschicht						
Impatiens parviflora^K	.+.....	.+1+	+	...	+.....	. +.
Elymus repens^K	.....a..	.3...	1	...	.....	. ..
Solidago canadensis^K	.....	+a..	.	..4	.....	. ..
Viola tricolor ssp. tricolor^K	1.....+	.....	.....	.....	.....	. ..
Epilobium tetragonum^K	.....	.....	.....	..	++.	. ..

Fortsetzung Tabelle A1

Außerdem kommen vor:

Anthoxanthum odoratum^K 9:1; *Anthriscus sylvestris*^K 9:+; *Deschampsia cespitosa*^K 10:m; *Acer campestre*^K 4:+; *Vaccinium myrtillus*^K 11:+; *Meum athamanticum*^K 11:+; *Centaurea jacea*^K 12:+; *Taraxacum officinale* agg.^K 12:+; *Lathyrus tuberosus*^K 12:r; *Pilosella aurantiaca*^K 12:1; *Cerastium holosteoides*^K 12:1; *Cirsium arvense*^K 6:r; *Galeopsis speciosa*^K 2:+; *Vicia sepium*^K 8:r; *Vinca minor*^S 15:1; *Luzula campestris*^K 21:a; *Mycelis muralis*^K 23:1; *Dryopteris filix-mas*^K 22:+; *Holcus mollis*^K 20:a; *Hypericum maculatum*^K 18:+.