

Vegetationskundliche Analysen zur Artenzusammensetzung, Diversität und Struktur der Vorwaldgesellschaften auf der Spülhalde Davidschacht

Vegetation studies on species composition, diversity, and structure of pioneer forests on the flotation tailing Davidschacht in Freiberg

Laura Erler, Roland Achtziger, Elke Richert

Zusammenfassung: Nach Stilllegung der Spülhalde Davidschacht im Jahr 1969 und anschließenden Begrünungsmaßnahmen entwickelten sich im Laufe der Sukzession auf etwa der Hälfte der Fläche drei verschiedene Birkenvorwaldgesellschaften (Birkenvorwald, Ausbildung mit *Pinus sylvestris*; Birkenvorwald, Ausbildung mit *Epilobium angustifolium* und Birkenvorwald, gehölzartenreiche Ausbildung), die sich hinsichtlich Artenzusammensetzung, Diversität, Struktur und Standorteigenschaften unterscheiden: So wies der Birkenvorwald mit *P. sylvestris* im Mittel signifikant geringere Gesamt- und Gehölzartenzahlen (alle Schichten, Krautschicht), geringere Deckungen der Baum- und Strauchschicht sowie geringere mittlere Zeigerwerte für die Bodenreaktion auf als die beiden anderen Ausbildungen. In der Ausbildung mit *E. angustifolium* waren die höchsten Gehölzindividuenichten festzustellen, wobei diese in den jüngeren Stadien aller drei Ausbildungen jeweils höher waren als in den älteren Stadien. Korrelationsanalysen unter Einbeziehung der mittleren Ellenberg-Zeigerwerte für Stickstoff und Bodenreaktion zeigten, dass saure, nährstoffarme Standorte geringere Artenzahlen, Deckungen und dünnere Gehölzindividuen aufwiesen als weniger saure und nährstoffreichere Flächen. Aus naturschutzfachlicher und aus Sicht der ökologischen Forschung sollten bei der geplanten Sanierung zumindest auf einem Teil der Haldenfläche ungestörte Sukzessionsprozesse zur Etablierung solcher Vorwaldgesellschaften zugelassen werden.

Schlüsselwörter/Keywords: Sukzession, Bergbaufolgelandschaft, Waldgesellschaft, Stammdurchmesser, succession, post-mining landscape, forest communities, stem diameter

1. Einleitung

Die Spülhalde Davidschacht liegt im Osten Freibergs (Sachsen). Die eingespülten Sande stammen aus einem Flotationsverfahren zur Gewinnung von Erzen. Bereits kurz nach der Einstellung des Betriebes 1969 (Fritz & Jahns 2017) wurden zur Eindämmung von Schwermetallausträgen Begrünungsmaßnahmen vorgenommen (IBUR 1995). Dazu wurden stellenweise Substrate unterschiedlichster Art und Mächtigkeit aufgetragen und neben Ansaatversuchen auch Gehölzpflanzungen durchgeführt. Der überwiegende Anteil der gepflanzten Gehölze starb allerdings nach kurzer Zeit ab (IBUR 1995). Danach konnte sich die Vegetation bis zum Untersuchungsjahr 2015 über mehr als 45 Jahre weitestgehend ungestört entwickeln. Eine Biotoptypenkartierung aus dem Jahr 2015 zeigte, dass sich auf 46 % der Haldenfläche Pionier- bzw. Vorwälder entwickeln konnten (Aufsfeld 2015, unpubl.; s. Richert et al. 2017). Die vorliegende Arbeit, die auf den Ergebnissen der Bachelorarbeit von Laura Erler (Erler 2016, unpubl.) basiert, hat die Analyse der Artenzusammensetzung und –vielfalt der Vorwälder sowie deren Vegetationsstruktur zum Ziel.

2. Untersuchungsgebiet

Die zum Komplex der Schachanlage Davidschacht gehörende Spülhalde Davidschacht befindet sich östlich der Stadt Freiberg (Sachsen). Der Haldenkörper bedeckt eine Grundfläche von etwa 6,3 ha und erhebt sich im Mittel 22 m über das umgebende Gelände (IBUR 1995). Die Entstehungsgeschichte der Spülhalde, die Altlastensituation und das geplante Sanierungsvorhaben werden ausführlich von Fritz & Jahns (2017) beschrieben. Angaben zu erfolgten Begrünungsmaßnahmen nach der Stilllegung können Richert et al. (2017) entnommen werden (s. auch IBUR 1995).

Nach Mannsfeld & Syrbe (2008) befindet sich die Halde naturräumlich am nördlichen Rand des Osterzgebirges im Übergang zum Mulde-Lösshügelland und damit im Bereich der mittleren Berglagen. Es herrscht mäßig feuchtes Klima mit mittleren jährlichen Niederschlagssummen von 818 mm und einer mittleren Jahrestemperatur von 7,9 °C. Geologisch betrachtet befindet sich Freiberg und dessen Umgebung auf einem aufgestiegenen Gneiskomplex (Pälchen & Walter 2008).

3. Methoden

3.1 Vegetationsaufnahmen und Zeigerwertberechnung

Basierend auf der Biotoptypenkartierung von Aufsfeld (2015, unpubl.) wurden für die flächenmäßig häufigsten Biotoptypen der Gehölze jeweils mehrere repräsentative 100 m² große Aufnahme­flächen ausgewählt. Die vegetationskundlichen Aufnahmen erfolgten von Mai bis Anfang Juli 2015 nach der Methode von Braun-Blanquet (1964) (vgl. Dierschke 1994). Für jede der unterschiedenen Vegetationsschichten (Tabelle 1) erfolgte die Abschätzung der Arthäufigkeiten nach der in Tabelle 2 dargestellten Symbolik. Die Gesamtdeckungen der einzelnen Vegetationsschichten sowie deren Wuchshöhen wurden abgeschätzt. Die Bestimmung der Pflanzenarten erfolgte mit Rothmaler (2005, 2007) und Haeupler & Muer (2007). Angaben zur Ökologie der Arten wurden Oberdorfer (2001) und Licht (2013) entnommen. Die Nomenklatur der Arten richtet sich nach Schulz (2013). Eine Erfassung der Moosarten erfolgte nicht.

Die vegetationskundlichen Daten wurden mithilfe der Software SORT (Durka & Ackermann 1998) verarbeitet. Diese ermöglicht neben der Sortierung der soziologischen Vegetationsaufnahmen die Berechnung mittlerer gewichteter Zeigerwerte nach Ellenberg et al. (1992) unter Verwendung des in Tabelle 2 angegebenen code replacements.

3.3 Parameter zur Analyse der Vegetationsstruktur

Zur Analyse der Vegetationsstruktur der Gehölzbestände wurden sowohl Gehölzindividuen gezählt als auch Stammumfänge aufgenommen. Die Analysen erfolgten auf den in Kap. 3.2 beschriebenen 100 m² großen Aufnahme­flächen. Die Gehölzindividuen wurden für jede Art getrennt gezählt. Als Indikator für das Alter der Individuen wurden die Stammumfänge mit einem Maßband gemessen und zwar bei kleinen Gehölzen (< 4 m) in 0,2 m Höhe über dem Boden und bei größeren Gehölzen (> 4 m) in 1,00 m Höhe. Bei an der Basis verzweigten größeren Gehölzindividuen, oft vorkommend bei *Salix caprea*, wurde am dicksten Stamm Maß genommen. Die Stammumfänge wurden später in Stammdurchmesser und in die Querschnittsfläche der Stämme umgerechnet und als solche für die weitere Analyse verwendet. Bereits während der Freilanderhebungen wurde anhand der Altersstruktur und Wuchshöhe der Gehölze eine Klassifizierung in jüngere (dünne Stämme, niedriger Wuchs) und ältere Ausprägung (mehrere dickere Stämme, größere Wuchshöhe) vorgenommen. Als ein Maß für die Vegetationsdichte wurde mit SORT für jede Aufnahme­fläche die Abundanzsumme berechnet, indem die Deckungswerte der jeweils vorkommenden Arten in Form der code replacement-Werte aufsummiert wurden.

Tabelle 1: Einteilung der Vegetationsschichten nach ihrer Wuchshöhe.

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

Bezeichnung der Vegetationsschicht	Größeneinteilung
Krautschicht	< 1 m
Strauchschicht	1 bis 4 m
Baumschicht	> 4 m

Tabelle 2: Verwendete Symbole für die Abschätzung der Artabundanzen und das zugehörige code replacement.

Table 2: Used symbols to estimate the species abundance and their associated code replacement.

Symbole	Deckung	Code replacement
r	< 1% (1 Ind.)	0,1
+	< 1% (1-5 Ind.)	0,5
1	1-5%	2,5
2	6-20%	12,5
3	21-45%	37,5
4	46-70%	62,5
5	71-100%	87,5

3.4 Statistische Auswerteverfahren

Die statistischen Auswertungen erfolgte mit Hilfe der Statistiksoftware Statgraphics® Centurion XVI (Statpoint Technologies, Inc. 1992-2010). Zum Vergleich der Mittelwerte zwischen mehreren Kategorien wurde der Kruskal-Wallis-Test (KW-Test) für nicht-parametrische Daten genutzt. Für Korrelationsanalysen wurden die Spearman-Rangkorrelationen berechnet. Als Signifikanzniveau wurde für alle statistischen Tests $p < 0,1$ festgelegt (verwendete Symbole s. Tabelle 3).

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 Vorwaldgesellschaften

Insgesamt lagen 21 Vegetationsaufnahmen mit 85 Pflanzenarten vor (Tabelle A1). Die Lage der Vegetationsaufnahmen kann Abb. A1 entnommen werden. Bei allen auf der Spülhalde nachgewiesenen Waldbeständen handelte es sich aufgrund des dominanten Auftretens von Pionierarten wie Hänge-Birke (*Betula pendula*), Zitter-Pappel (*Populus tremula*) und Salweide (*Salix caprea*) um Vorwälder (Tabelle A1). Da die Birke auf allen Aufnahmeflächen mit überwiegend hohen Deckungswerten auftrat, wurden die Aufnahmen als „Birkenvorwaldgesellschaft“ klassifiziert, wobei drei Ausbildungen mit jeweils einer jüngeren und einer älteren Ausprägung unterschieden wurden.

4.1.1 Birkenvorwald, Ausbildung mit *Pinus sylvestris*

Im „Birkenvorwald in der Ausbildung mit *Pinus sylvestris*“ (B-VW_*Pinus*) dominierte neben *Betula pendula* die Waldkiefer (*Pinus sylvestris*) (Abb. 2; Tabelle A1/1-5). *P. sylvestris* kam ausschließlich in der Strauch- und Baumschicht nicht aber in der Krautschicht vor. Im artenarmen krautigen Unterwuchs dominierten die Grasarten *Deschampsia flexuosa*, *Holcus lanatus* und *Agrostis capillaris*, die auf basen- und nährstoffarme Standorteigenschaften hinweisen. Die betreffenden Aufnahmeflächen lagen alle an der Nordspitze der Halde aufgenommen (Abb. A1, blau umrandeter Bereich).

4.1.2 Birkenvorwald, Ausbildung mit *Epilobium angustifolium*

Im „Birkenvorwald in der Ausbildung mit *Epilobium angustifolium*“ (B-VW_*Epilob*) war *B. pendula* die dominante Art der Baumschicht (Abb. 3; Tabelle A1/6-11).

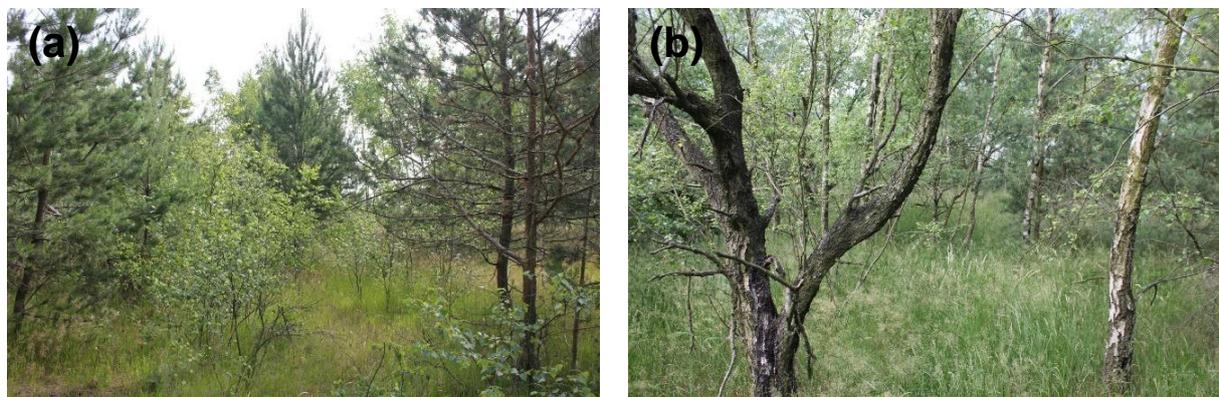


Abb. 2: Jüngere (a) und ältere (b) Ausprägung des „Birkenvorwaldes in der Ausbildung mit *Pinus sylvestris*“ (Foto: L. Erlер, 30.06.2015).

Fig. 2: Younger (a) and older (b) type of community “birch pioneer forest with *Pinus sylvestris*” (Photo: L. Erlер, 30th June 2015).

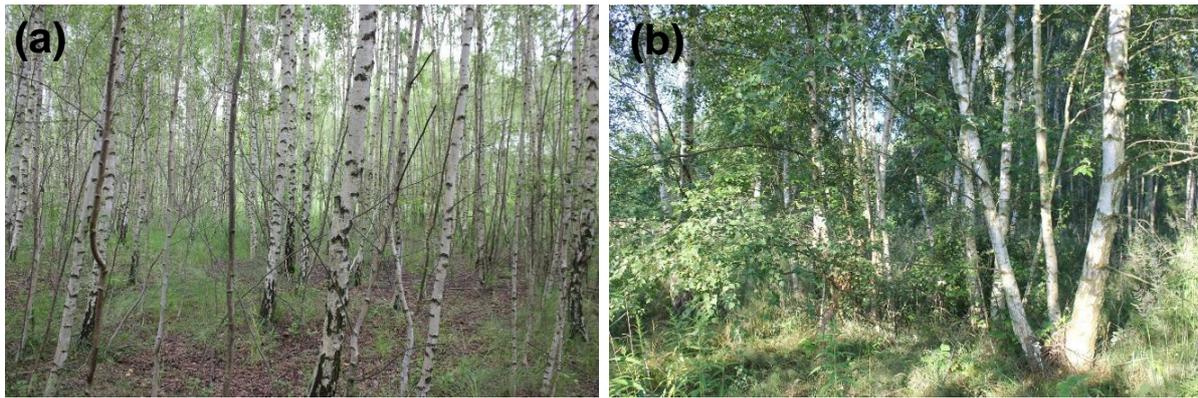


Abb. 3: Jüngere (a) und ältere (b) Ausprägung des „Birkenvorwaldes in der Ausbildung mit *E. angustifolium*“ (Foto: L. Erler, 18. Juni 2015).

Fig. 3: Younger (a) and older (b) type of the “birch pioneer forest with *E. angustifolium*“ (Photo: L. Erler, 18 June 2015).

Bei drei der fünf Aufnahmen des „Birkenvorwaldes in der Ausbildung mit *Epilobium angustifolium*“ wurde das Alter des Bestandes als jung klassifiziert (Tabelle A1/6-9; Abb. 3a), bei zwei Aufnahmeflächen als ältere Ausprägung (Tabelle A1/10-1; Abb. 3b). Neben *B. pendula* waren nur sehr vereinzelt andere Gehölzarten in der Baumschicht vertreten. In der Krautschicht dagegen konnten zum Beispiel *Sorbus aucuparia*, *Quercus robur* und *Acer platanoides* nachgewiesen werden. Neben der Dominanz von *B. pendula* war für diese Ausbildung das Auftreten von *Epilobium angustifolium*, *Tussilago farfara* und weiteren krautigen Arten kennzeichnend, die auf Störungen bzw. das Vorkommen von Rohboden und auf für Pioniergehölze typischen, hohen Lichtgenuss des Unterwuchses hinweisen. Mit *Rubus idaeus* und *Rubus fruticosus* agg. waren darüber hinaus Arten des Unterwuchses lichter Wälder vorhanden, welche, ebenso wie *Urtica dioica* und die aus dem Grünland übergreifenden Arten *Holcus lanatus*, *Taraxacum officinale* agg. und *Dactylis glomerata*, auf eher nährstoffreichere und frischere Standorte hindeuten. Die Aufnahmen dieser Gesellschaft lagen im Zentrum bzw. dem südöstlichen Bereich der Halde (Abb. A1, rot umrandeter Bereich).

4.1.3 Birkenvorwald, gehölzartenreiche Ausbildung

Die Bestände der am häufigsten nachgewiesenen Gesellschaft, dem „Birkenvorwald in der gehölzartenreichen Ausbildung“ (B-VW_artenreich) (Tabelle A1/12-21), wurden überwiegend als ältere Ausprägung erfasst (Abb. 4a; Tabelle A1/14-21), wohingegen jüngere Ausprägungen nur zweimal belegt werden konnten (Tabelle A1/12-13). Neben der dominanten *B. pendula* kamen weitere Gehölzarten in der Baum- und Strauchschicht vor, so z. B. *Salix caprea* und *Populus tremula*. Im Vergleich zu den anderen Ausbildungen ist hier das regelmäßige Auftreten von Gehölzkeimlingen von *Acer pseudoplatanus* und *Acer platanoides* in der Krautschicht auffällig. Einzig in diesen Beständen konnten die Gehölzarten *Corylus avellana* und *Fagus sylvatica* nachgewiesen werden, allerdings ebenfalls nur als Junggehölze in der Kraut- bzw. Strauchschicht. In der krautigen Vegetation kamen Arten wie *Geum urbanum* und *Athyrium felix-femina* vor, die – im Vergleich zu den anderen Gesellschaften – auf eher schattige Verhältnisse hinweisen. Die Aufnahmen dieser Gesellschaft lagen im südlichen Bereich der Halde und entlang der Westböschung (Abb. A1, grün umrandeter Bereich).

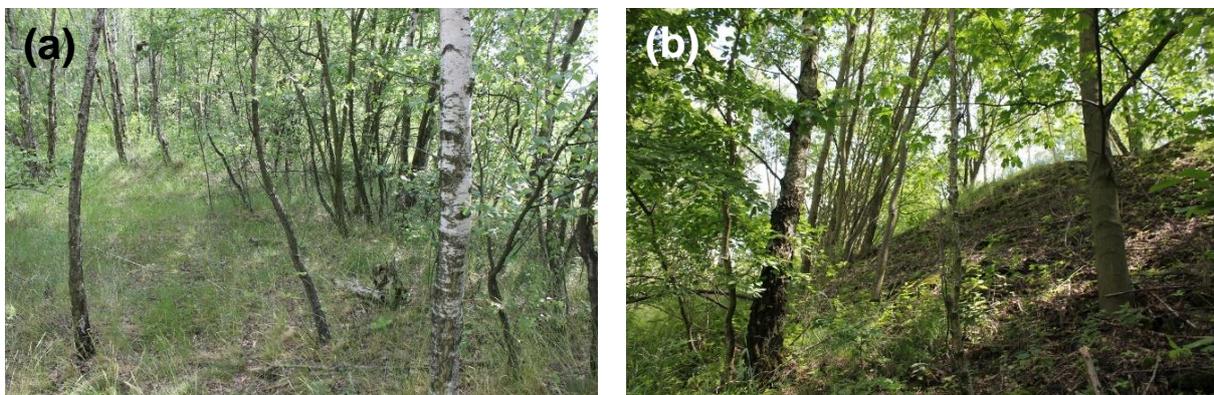


Abb. 4: Jüngere (a) und ältere (b) Ausprägung des „Birkenvorwaldes in der gehölzartenreichen Ausbildung“ (Foto: L. Erler, 10. Juni 2015).

Fig. 4: Younger (a) and older (b) type of the community “birch pioneer forest with high woody species richness” (Photo: L. Erler, 10 June 2015).

4.2 Vergleich der Diversität der Vorwaldgesellschaften

Im Folgenden werden die drei Ausbildungen der Birkenvorwälder hinsichtlich der Artenzahlen mit Hilfe von Kruskal-Wallis-Tests (KW-Tests) miteinander verglichen. Dabei zeigte sich, dass der Birkenvorwald mit *P. sylvestris* im Mittel signifikant artenärmer war als die beiden anderen Waldgesellschaften (vgl. Abb. 5). Dies gilt für die Gesamtartenzahlen sowohl über alle Vegetationsschichten betrachtet (KW-Test, $p = 0,003$, Abb. 5a) als auch für die Artenzahl der Krautschicht (KW-Test, $p = 0,001$, Abb. 5b): Mit im Mittel 8 (alle Schichten) bzw. 6 Pflanzenarten (Krautschicht) wies der Birkenvorwald mit *P. sylvestris* damit jeweils etwa nur die Hälfte der Anzahl an Arten im Vergleich mit den anderen Waldgesellschaften auf (ca. 15 bzw. ca. 14 Arten, vgl. Abb. 5).

Hinsichtlich der Gehölzartenzahlen erwies sich über alle Schichten sowie getrennt für Baum-, Strauch- und Krautschicht die Waldgesellschaft „Birkenvorwald, gehölzartenreiche Ausbildung“ erwartungsgemäß als die artenreichste (Abb. 6): Dabei war die Gehölzartenzahl über alle Schichten im Mittel signifikant höher als in der Gesellschaft „Birkenvorwald mit *P. sylvestris*“ (KW-Test, $p = 0,043$, Abb. 6). In der Baumschicht wies die Gesellschaft „Birkenvorwald mit *E. angustifolium*“ im Mittel signifikant geringere Gehölzartenzahlen auf als die beiden anderen Waldgesellschaften (KW-Test, $p = 0,060$, Abb. 6); in der Strauchschicht ergaben sich dagegen keine signifikanten Unterschiede bzgl. der Gehölzartenzahl (KW-Test, $p = 0,802$, Abb. 6). Die Gehölzartenzahl in der Krautschicht war in der Gesellschaft „Birkenvorwald mit *P. sylvestris*“ im Mittel signifikant geringer als in den beiden anderen Waldgesellschaften (KW-Test, $p = 0,079$, Abb. 6).

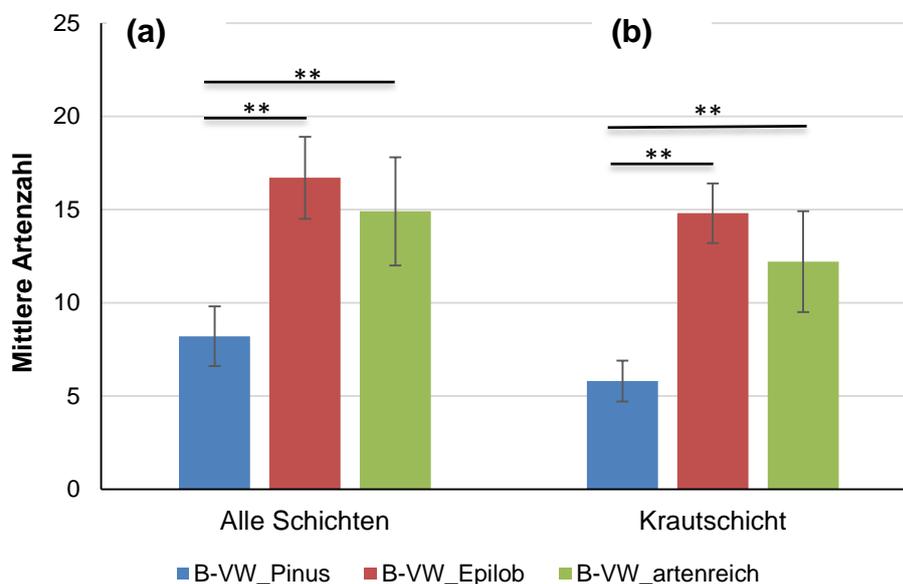


Abb. 5: Vergleich der mittleren Gesamtartenzahlen über (a) alle Vegetationsschichten und (b) nur für die Krautschicht zwischen den Vorwaldgesellschaften „Birkenvorwald, Ausbildung mit *Pinus sylvestris*“ (B-VW_Pinus, $n = 5$), „Birkenvorwald, Ausbildung mit *Epilobium angustifolium*“ (B-VW_Epilob, $n = 6$) und „Birkenvorwald, gehölzartenreiche Ausbildung“ (B-VW_artenreich, $n = 10$). Striche über den Säulen und * zeigen signifikante Unterschiede an (Kruskal-Wallis-Test), Fehlerbalken sind Standardabweichungen.

Fig. 5: Comparison of the mean species numbers for (a) all vegetation layers and (b) only for the herb layer between the pioneer forest communities “Birch pioneer forest with *Pinus sylvestris*” (B-VW_Pinus, $n = 5$), “birch pioneer forest with *Epilobium angustifolium*” (B-VW_Epilob, $n = 6$), and “birch pioneer forest with high woody species richness” (B-VW_artenreich, $n = 10$). Solid lines and * indicate significant differences (Kruskal-Wallis test), error bars are standard deviations.

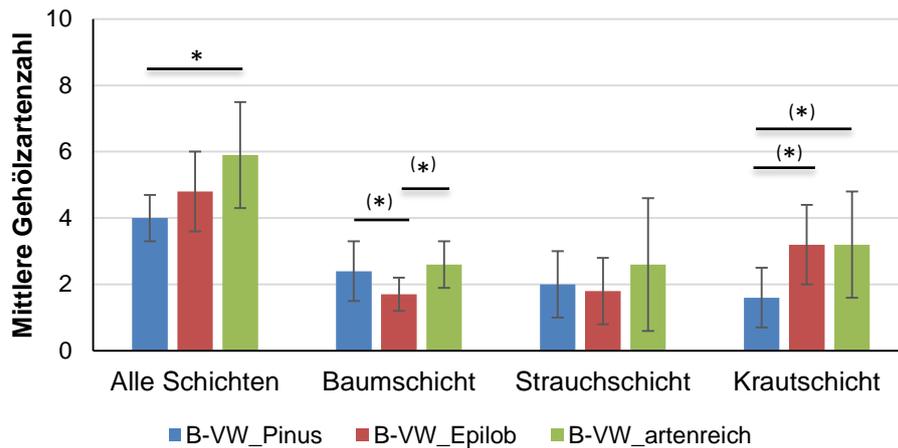


Abb. 6: Vergleich der mittleren Gehölzartenzahlen über alle Vegetationsschichten und für Baum-, Strauch- und Krautschicht getrennt zwischen den Vorwaldgesellschaften „Birkenvorwald, Ausbildung mit *Pinus sylvestris*“ (B-VW_Pinus, n = 5), „Birkenvorwald, Ausbildung mit *Epilobium angustifolium*“ (B-VW_Epilob, n = 6) und „Birkenvorwald, gehölzartenreiche Ausbildung“ (B-VW_artenreich, n = 10). Striche über den Säulen und * zeigen signifikante Unterschiede an (Kruskal-Wallis-Test), Fehlerbalken sind Standardabweichungen).

Fig. 6: Comparison of the mean species numbers for all vegetation layers and for tree, shrub, and herb layer separately between the pioneer forest communities “Birch pioneer forest with *Pinus sylvestris*” (B-VW_Pinus, n = 5), “birch pioneer forest with *Epilobium angustifolium*” (B-VW_Epilob, n = 6), and “birch pioneer forest with high woody species richness” (B-VW_artenreich, n = 10). Solid lines and * indicate significant differences (Kruskal-Wallis test), error bars are standard deviations.

4.3 Vergleich ausgewählter Strukturparameter zwischen den Vorwaldgesellschaften

4.3.1 Vergleich der Deckungswerte und Abundanzsummen

In Tabelle 4 sind die Mittelwerte für die Gesamt-Vegetationsdeckung sowie die einzelnen Vegetationsschichten mit den Ergebnissen von Kruskal-Wallis-Tests (Medianvergleiche) für die drei Waldgesellschaften zusammengestellt. Dabei zeigt sich, dass die Gesamtdeckung pro Aufnahme­fläche im Mittel vom Birkenvorwald mit *P. sylvestris* (60 %) über den Birkenvorwald mit *E. angustifolium* (68 %) zum „Birkenvorwald, gehölzartenreiche Ausbildung“ (70 %) anstiegen, die Unterschiede waren jedoch nicht signifikant (Tabelle 4). Die mittlere Deckung der Baumschicht war in den lockeren Birkenvorwäldern mit *P. sylvestris* mit 22 % signifikant geringer als in den beiden anderen Gesellschaften (47 % bzw. 46 %), dagegen war in diesen die Deckung der Strauchschicht mit etwas über 6 % signifikant geringer als im Birkenvorwald mit *P. sylvestris* mit 13 % (Tabelle 4). Auch die Deckung der Krautschicht war in der relativ lückigen Vorwald-Gesellschaft mit *P. sylvestris* deutlich höher (32 %) als in den anderen beiden Waldtypen (15 % bzw. 19 %) und zusammen mit der artenreichen Ausbildung auch im Mittel signifikant höher als in der Ausbildung mit *E. angustifolium* (Tabelle 10). Damit bilden die Deckungswerte der drei Vegetationsschichten den unterschiedlichen vertikalen Aufbau und damit ein wichtiges strukturelles Merkmal der einzelnen Vorwaldgesellschaften ab.

Tabelle 4: Mittlere Deckungswerte (%) (\pm Standardabweichung) über alle Vegetationsschichten (gesamt) und für Baum-, Strauch- und Krautschicht in den Vorwaldgesellschaften „Birkenvorwald, Ausbildung mit *Pinus sylvestris*“ (B-VW_Pinus), „Birkenvorwald, Ausbildung mit *Epilobium angustifolium*“ (B-VW_Epilob) und „Birkenvorwald, gehölzartenreiche Ausbildung“ (B-VW_artenreich) mit den Ergebnissen von Kruskal-Wallis-Tests (KW-Tests); Werte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant.

Table 4: Mean cover values (%) (\pm standard deviation) for all layers and for tree, shrub, and herb layers the pioneer forest communities “Birch pioneer forest with *Pinus sylvestris*” (B-VW_Pinus), “birch pioneer forest with *Epilobium angustifolium*” (B-VW_Epilob), and “birch pioneer forest with high woody species richness” (B-VW_artenreich) with results of Kruskal-Wallis tests (KW-tests); values with different letters indicate significant differences.

Parameter	B-VW_Pinus (n = 5)	B-VW_Epilob (n = 6)	B-VW_artenreich (n = 10)	KW-Test
Deckung gesamt (%)	60,0 \pm 22,6	67,5 \pm 9,9	69,6 \pm 10,2	n.s.
Deckung Baumschicht (%)	22,0 \pm 2,7 ^a	47,2 \pm 7,8 ^b	45,5 \pm 10,9 ^b	p = 0,004
Deckung Strauchschicht (%)	13,0 \pm 2,7 ^a	6,2 \pm 2,2 ^b	6,5 \pm 4,5 ^b	p = 0,022
Deckung Krautschicht (%)	32,0 \pm 33,3 ^b	14,8 \pm 17,3 ^a	18,7 \pm 9,1 ^b	p = 0,098

Die Abundanzsummen über alle Schichten sowie getrennt für Baum-, Strauch- und Krautschicht unterschieden sich im Mittel nicht signifikant (Kruskal-Wallis-Tests, $p > 0,1$). Die Werte für die Gehölzschichten waren allerdings im Birkenvorwald mit *P. sylvestris* tendenziell geringer als in den beiden anderen Vorwaldgesellschaften.

4.3.2 Vergleich der Individuenzahlen, mittleren Stammdurchmesser und Stammflächen pro Aufnahme-fläche

Als weitere Parameter zur strukturellen Charakterisierung der Vorwaldgesellschaften wurden die Individuenzahlen sowie die Stammdurchmesser der Gehölzindividuen pro Aufnahme-fläche ausgewertet (s. Erler 2016, unpubl.). Insgesamt wurden über 800 Gehölzindividuen gezählt und vermessen, wobei die Hänge-Birke *Betula pendula* mit 579 Individuen mit Abstand die häufigste Gehölzart war. Darauf folgten *Quercus robur* ($n = 59$ Individuen), *Salix caprea* ($n = 57$), *Populus tremula* ($n = 49$), *Sorbus aucuparia* ($n = 29$) und *Pinus sylvestris* ($n = 25$). Alle anderen Gehölzarten waren nur in sehr geringen Individuenzahlen oder in Einzelvorkommen vertreten (Erler 2016, unpubl.). Die Stammdurchmesser der vermessenen Gehölzindividuen reichten von < 2 cm bis 32 cm, wobei die meisten Individuen relative geringe Stammdicken aufwiesen (< 10 cm, s. Abb. 7).

Vergleicht man die Anzahl der Gehölzindividuen pro Aufnahme-fläche zwischen den drei Vorwaldgesellschaften, differenziert nach junger und älterer Ausbildung (vgl. Kap. 4.1 und Abb. 2-4, Tabelle A1), dann wird ersichtlich, dass die jüngeren Ausbildungen im Mittel jeweils höhere Individuenzahlen aufwiesen als die älteren Ausbildungen (Abb. 8). Die höchsten Individuendichten waren in der jüngeren Ausbildung der Gesellschaft „Birkenvorwald mit *E. angustifolium*“ zu finden (Abb. 8). Aufgrund der z. T. sehr geringen Stichprobenanzahl pro Waldgesellschaft und Altersklasse wurde auf eine statistische Auswertung verzichtet.

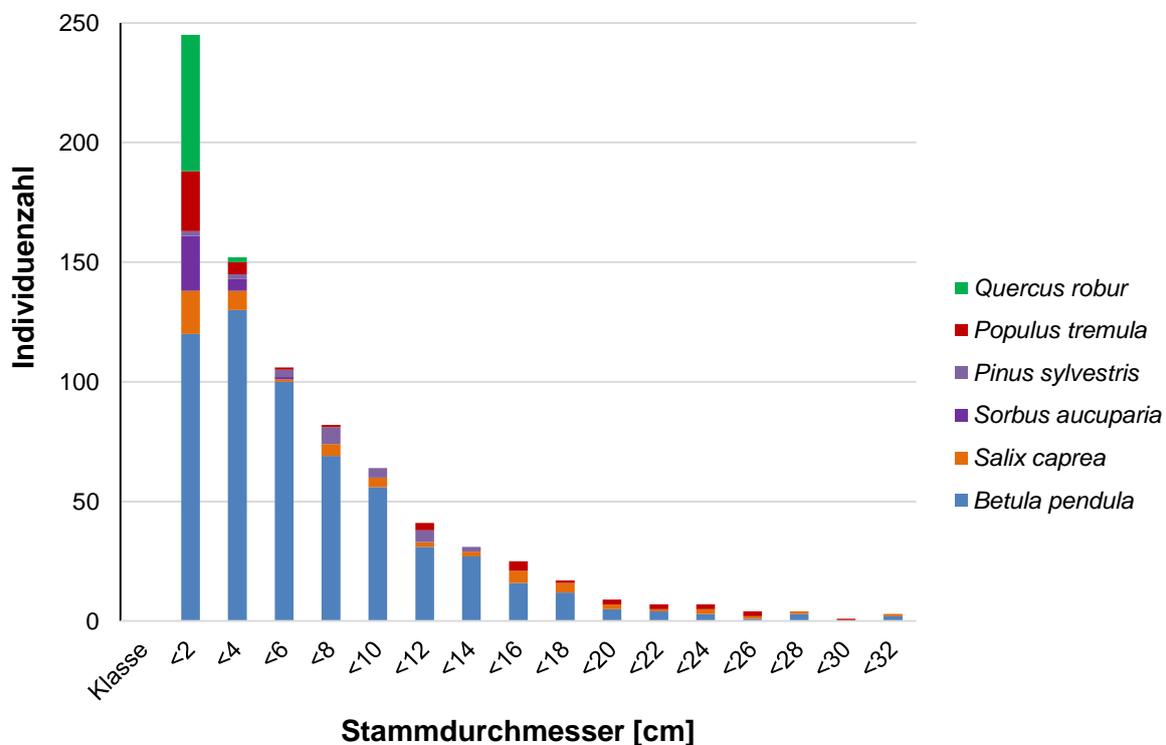


Abb. 7: Verteilung der Individuen der häufigsten Gehölzarten bezüglich der Stammdurchmesser.

Fig. 7: Distribution of individuals of the most frequent woody species according to stem diameter.

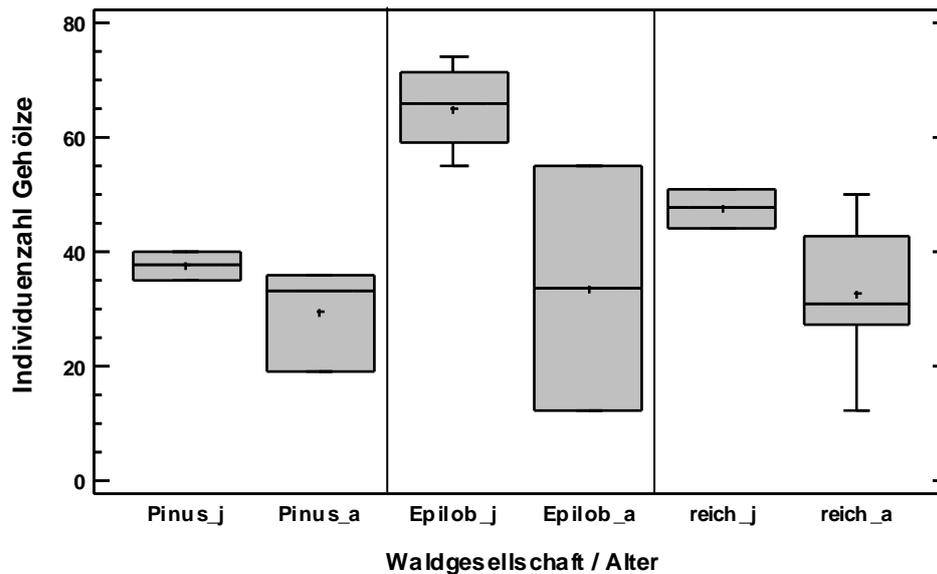


Abb. 8: Vergleich der Individuenzahlen der Gehölzarten pro Aufnahme­fläche zwischen den Vorwaldgesellschaften „Birkenvorwald, Ausbildung mit *Pinus sylvestris*“ (Pinus), „Birkenvorwald, Ausbildung mit *Epilobium angustifolium*“ (Epilob) und „Birkenvorwald, gehölzartenreiche Ausbildung“ (reich), jeweils getrennt nach jüngerer (j) und älterer Ausprägung (a).

Fig. 8: Comparison of the individual numbers of woody species per plot between the pioneer forest communities “Birch pioneer forest with *Pinus sylvestris*” (Pinus), “birch pioneer forest with *Epilobium angustifolium*” (Epilob), and “birch pioneer forest with high woody species richness” (reich), for younger (j) and older (a) age class separately.

Ein Vergleich der drei Vorwaldgesellschaften hinsichtlich der Anzahl der Gehölzindividuen zeigt, dass die Ausbildung mit *E. angustifolium* im Mittel die meisten Individuen aufwies (Abb. 9a; KW-Test, $p = 0,0388$). Der Vergleich der Summe aller Stammquerschnittsflächen ergab für die Ausbildung mit *P. sylvestris* im Mittel die niedrigste und für die gehölzartenreiche Ausbildung die höchste Summe (Abb. 9b), allerdings waren diese Unterschiede nicht signifikant (KW-Test, $p > 0,1$).

4.3.3 Vergleich der Standortparameter anhand der mittleren Ellenberg-Zeigerwerte

Die Standortparameter Stickstoffgehalt des Bodens und Bodenreaktion, ermittelt anhand der gewichteten Ellenberg-Zeigerwerte (vgl. Kap. 3.1), unterschieden sich ebenfalls zwischen den drei Vorwaldgesellschaften (Tabelle 5).

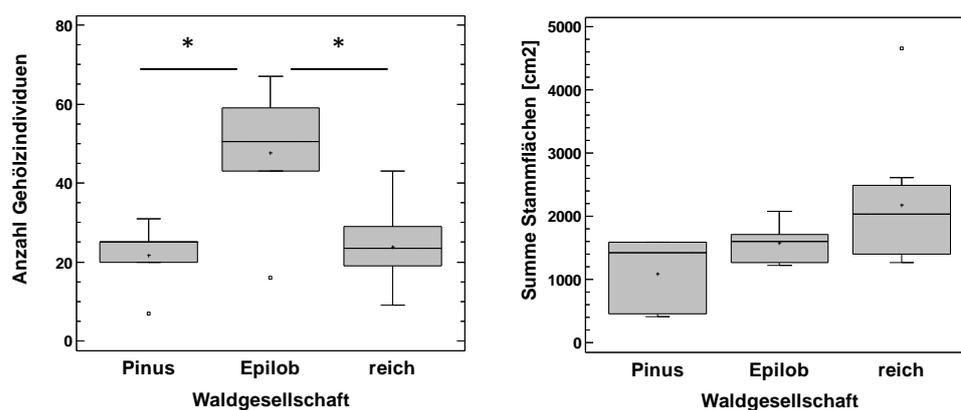


Abb. 9: Vergleich (a) der mittleren Anzahl der Gehölzindividuen und (b) der mittleren Summe der Stammflächen aller Gehölzindividuen pro Aufnahme­fläche (100 m²) zwischen den Vorwaldgesellschaften „Birkenvorwald, Ausbildung mit *Pinus sylvestris*“ (Pinus), „Birkenvorwald, Ausbildung mit *Epilobium angustifolium*“ (Epilob) und „Birkenvorwald, gehölzartenreiche Ausbildung“ (reich). Striche über den Säulen und * zeigen signifikante Unterschiede an (Kruskal-Wallis-Test).

Fig. 9: Comparison of the average sum of trunk areas of all woody species per plot between the pioneer forest communities “Birch pioneer forest with *Pinus sylvestris*” (Pinus), “birch pioneer forest with *Epilobium angustifolium*” (Epilob), and “birch pioneer forest with high woody species richness” (reich). Solid lines and * indicate significant differences (Kruskal-Wallis test).

Tabelle 5: Mittelwerte der mittleren gewichteten Ellenberg-Zeigerwerte für Stickstoff und Bodenreaktion pro Aufnahme­fläche (\pm Standardabweichung) in den Vorwaldgesellschaften „Birkenvorwald, Ausbildung mit *Pinus sylvestris*“ (B-VW_Pinus), „Birkenvorwald, Ausbildung mit *Epilobium angustifolium*“ (B-VW_Epilob) und „Birkenvorwald, gehölzartenreiche Ausbildung“ (B-VW_artenreich) mit den Ergebnissen von Kruskal-Wallis-Tests (KW-Tests); Werte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant.

Table 5: Mean of weighted averages of Ellenberg indicator values for nitrogen and soil reaction per plot (\pm standard deviation) for the pioneer forest communities “Birch pioneer forest with *Pinus sylvestris*” (B-VW_Pinus), “birch pioneer forest with *Epilobium angustifolium*” (B-VW_Epilob), and “birch pioneer forest with high woody species richness” (B-VW_artenreich) with results of Kruskal-Wallis tests (KW-tests); values with different letters indicate significant differences.

Parameter	B-VW_Pinus (n = 5)	B-VW_Epilob (n = 6)	B-VW_artenreich (n = 10)	KW-Test
Mittlere Stickstoffzahl mN	4,7 \pm 1,1	6,0 \pm 0,9	6,0 \pm 0,7	n.s.
Mittlere Reaktionszahl mR	4,5 \pm 1,4 ^a	5,5 \pm 0,5 ^a	6,2 \pm 0,6 ^b	p = 0,037

Die Aufnahme­flächen des “Birkenvorwalds mit *P. sylvestris*” wiesen im Mittel deutlich geringere mittlere Stickstoffzahlen auf als die beiden anderen Waldgesellschaften (Tabelle 5). Die mittlere Reaktionszahl war ebenfalls geringer als in den beiden anderen Gesellschaften, gegenüber der gehölzartenreichen Ausbildung lag sogar ein signifikanter Unterschied vor. Damit können die Flächen mit der Gesellschaft „Birkenvorwald, Ausbildung mit *P. sylvestris*” als die nährstoff- und basenärmsten Gehölzstandorte auf dem Haldenplateau charakterisiert werden.

4.4 Beziehungen zwischen Diversitäts-, Struktur- und Standortparametern

Die Gehölzartenzahl pro Aufnahme­fläche korrelierte erwartungsgemäß signifikant positiv mit der Gesamtartenzahl (Spearman-Rangkorrelation: $r_s = 0,441$, $p = 0,049$, $n = 21$). Innerhalb der Strukturparameter ergaben sich signifikante negative Korrelationen zwischen der Gehölzindividuenzahl und (a) der Deckung der Krautschicht ($r_s = -0,496$, $p = 0,027$, $n = 21$) und (b) dem mittleren Stammdurchmesser der Gehölze pro Aufnahme­fläche ($r_s = -0,619$, $p = 0,006$, $n = 21$, Abb. 10). Auf individuenreichen und dichter bewachsenen Flächen war infolge von Lichtmangel die Krautschicht somit weniger gut ausgeprägt und die Stämme der einzelnen Gehölzindividuen waren auf dicht bewachsenen Flächen auch deutlich dünner (Abb. 10). Unter Einbeziehung der Standortparameter “Bodenreaktion” (mR) und “Stickstoffgehalt” (mN) ergeben sich folgende Ergebnisse: Die Gehölzartenzahl stieg mit der mittleren gewichteten Reaktionszahl mR an, d.h. auf weniger sauren Flächen waren mehr Pflanzenarten festzustellen als auf sauren; diese Beziehung war allerdings nicht signifikant ($r_s = 0,357$, $p = 0,111$, $n = 21$). Signifikante positive Beziehungen mit der Bodenreaktion (mR pro Aufnahme­fläche) waren (a) für die Abundanzsumme als Maß für die Vegetationsdichte ($r_s = 0,512$, $p = 0,022$, $n = 21$) sowie mit dem Mittelwert der Stammdurchmesser pro Aufnahme­fläche festzustellen ($r_s = 0,533$, $p = 0,017$, $n = 21$). Da die mittlere Reaktionszahl und die mittlere Stickstoffzahl ebenfalls signifikant positiv korrelierten ($r_s = 0,705$, $p = 0,002$, $n = 21$), ergab sich auch eine positive Korrelation zwischen Stammdurchmesser und mittlerer Stickstoffzahl ($r_s = 0,618$, $p = 0,006$, $n = 21$). Saure, nährstoffarme Standorte wiesen somit geringere Deckungen und dünnere Gehölzindividuen auf als weniger saure und nährstoffreichere Flächen.

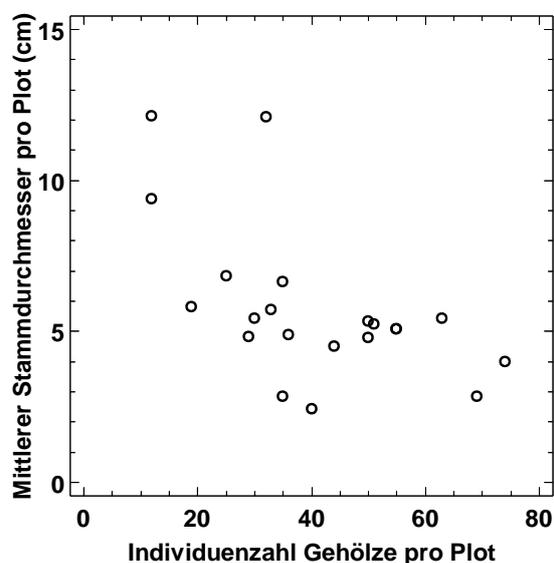


Abb. 10: Korrelation zwischen dem mittleren Stammdurchmesser der Gehölze (cm) und der Gehölzindividuenzahl pro Aufnahme­fläche (Plot).

Fig. 10: Correlation between the mean stem diameter (cm) and the individual number of woody plants per plot.

5. Diskussion

Die räumliche Verteilung der Aufnahmeflächen und damit der nachgewiesenen Vorwaldgesellschaften auf dem Plateau der Halde wies ein spezifisches Muster auf (Abb. A1): Die Aufnahmen des Birkenvorwaldes in der Ausbildung mit *Pinus sylvestris* lagen ausschließlich im nördlichen Bereich der Halde (Abb. A1, blau umrandeter Bereich), die der Ausbildung mit *Epilobium angustifolium* im Zentrum bzw. südöstlichen Bereich (Abb. A1, rot umrandeter Bereich) und die Aufnahmen der gehölzartenreichen Ausbildung im Süden der Halde sowie auf den Plateauflächen parallel zur Westböschung (Abb. A1, grün umrandeter Bereich). Dieses Verbreitungsmuster lässt sich gut mit der Mächtigkeit der Substratauflagen in Übereinstimmung bringen, die nach der Stilllegung der Halde als Grundlage für eine Begrünung aufgetragen wurden. Nach IBUR (1995) nimmt die Mächtigkeit der aufgebrachten Substrate auf der Halde im Wesentlichen von Südwesten nach Nordosten ab. Richert et al. (2017) konnten eine gute Übereinstimmung des Vorkommens bestimmter Biotoptypen mit der Substratmächtigkeit auf der Halde feststellen. Vorwaldbestände konnten sich demnach offensichtlich nur auf Standorten mit aufgebrachtem Substrat entwickeln, alle anderen Standorte wiesen Offenlandbiotoptypen auf. Die eigenen Ergebnisse zeigen, dass sich auf den nördlich liegenden Haldenflächen mit demnach geringer Substratauflage der Birkenvorwald in der Ausbildung mit *Pinus sylvestris* entwickeln konnte. Diese Ausbildung wies die niedrigsten mittleren Zeigerwerte für Bodenreaktion und Nährstoffverfügbarkeit auf (Tabelle 5). Dementsprechend waren für diese Ausbildung sowohl die Gesamtartenzahl als auch die Artenzahl in der Krautschicht von den drei Gesellschaften am geringsten (Abb. 5). Auch die Vegetationsdeckung der Baumschicht war bei der Ausbildung mit *P. sylvestris* im Vergleich am geringsten (Tabelle 4), wohingegen die von Grasarten dominierte Krautschicht (Tabelle A1) im Mittel die höchsten Deckungswerte erreichte (Tabelle 4). Die Standorte der Aufnahmen der Ausbildung mit *Epilobium angustifolium* und der gehölzartenreichen Ausbildung verfügen nach IBUR (1995) über eine dickere Substratauflage. Dementsprechend sind die mittleren Zeigerwerte für Bodenreaktion und Nährstoffverfügbarkeit höher als bei der Ausbildung mit *P. sylvestris*, wobei die gehölzartenreiche Ausbildung im Mittel die höchsten Reaktionszahlen aufwies (Tabelle 5). Diese bessere Nährstoff- und Basenverfügbarkeit, zumindest in den oberen Substratschichten, hat offensichtlich eine entscheidende Bedeutung sowohl für die Artenzusammensetzung der Krautschicht als auch für die der Gehölzschicht (Tabelle A1). So kamen in der Krautschicht u. a. Nährstoffzeiger wie *Urtica dioica* vor und die Gehölzschicht wurde neben *Betula pendula* von weiteren Laubbäumen wie *Salix caprea* und *Quercus robur* dominiert. Auch die Gehölzartenzahl in der Krautschicht war bei diesen beiden Ausbildungen höher als bei der Ausbildung mit *P. sylvestris* (Abb. 6).

Hinsichtlich der Gehölzindividuenzahl wiesen bei allen drei Ausbildungen die jüngeren Bestandesausprägungen deutlich höhere Anzahlen auf als die älteren (Abb. 8). Unabhängig von der Altersausprägung wies die Ausbildung mit *E. angustifolium* im Mittel deutlich die höchste Anzahl an Gehölzindividuen auf, die beiden anderen Ausbildungen unterschieden sich diesbezüglich kaum (Abb. 9a). Der Vergleich der drei Ausbildungen hinsichtlich der Summe der Stammquerschnittsflächen zeigt wiederum keine deutlichen Unterschiede, auch wenn tendenziell die gehölzartenreiche Ausbildung etwas höhere Werte aufwies als die beiden anderen Ausbildungen. Aufgrund dieser strukturellen Unterschiede kann man schließen, dass die Gehölzentwicklung der Bestände mit der Ausbildung mit *E. angustifolium* im Vergleich zur gehölzartenreichen Ausbildung aufgrund der ungünstigeren Standortbedingungen (geringere Substratauflage und daraus resultierend höherer Säuregrad des Bodens) etwas verzögert abgelaufen ist. Bei fortschreitender ungestörter Entwicklung der Bestände und durch die durch Streuverwitterung anzunehmende allmähliche Verbesserung der Bodeneigenschaften ist anzunehmen, dass die Bestände sich sowohl hinsichtlich der Artenzusammensetzung als auch der Vegetationsstruktur ähnlich zu denen der gehölzartenreichen Ausbildung entwickeln würden. Mit zunehmendem Wachstum der Gehölze wird es im Verlauf der Sukzession zu einer Zunahme der Stammquerschnittsflächen und zu einer Abnahme der Individuenzahl insbesondere der lichtbedürftigen Pioniergehölze kommen. Eine Verzögerung der Gehölzsukzession auf Halden ist auch von anderen Autoren beobachtet worden. Kleinknecht (2002) identifizierte auf Halden des Braunkohletagebaus im Leipziger Raum die Bodenazidität noch vor der Stickstoffversorgung als den wichtigsten limitierenden Faktor für die Gehölzentwicklung. Diese Aussage trifft offensichtlich auch auf die Gehölzentwicklung auf der Halde Davidschacht zu, wie dies oben anhand der unterschiedlichen mittleren Zeigerwerte der drei Ausprägungen der Vorwälder diskutiert wurde.

Über längere Zeit ungestörte Gehölzbestände sind in der heutigen Kulturlandschaft, in der überwiegend forstwirtschaftlich geprägte Waldbestände dominieren, allgemein eher selten. Im Freiburger Raum kommen ähnliche von Birke und anderen Pioniergehölzen dominierte Vorwälder auch auf anderen Spülhalden, z. B. auf der Spülhalde Münzbachtal (Scholz 2017, unpubl.) und auf zahlreichen Halden des Altbergbaus (Golde 2013) vor. Entsprechende von *Betula pendula* und anderen Pioniergehölzen geprägte Vorwaldstadien könnten sich nach der Sanierung der Halde wieder selbstständig entwickeln, vorausgesetzt, dass die aufgebrachten Substrate nicht zu hohe Nährstoff- und pH-Werte aufweisen und die Flächen nicht gestört werden. Das Zulassen ungestörter Sukzessionsprozesse auf zumindest einem Teil der Haldenfläche wäre nicht nur aus Naturschutzsicht, sondern auch aus Sicht der ökologischen Forschung zur Sukzession und Biodiversität von Bergbaufolgelandschaften wünschenswert (vgl. Heilmeier et al. 2016).

6. Summary

After the abandonment of the Spülhalde Davidschacht in 1969 and subsequent plantation measures, on about the half of the tailing area pioneer birch forest communities established during natural succession (“Birch pioneer forest with *Pinus sylvestris*”, “birch pioneer forest with *Epilobium angustifolium*“, and “birch pioneer forest with high woody species richness”), which differed in species composition, diversity, structure, and site conditions: So the birch pioneer forest with *P. sylvestris* showed on average significantly lower total species numbers and species numbers of woody species (all layers, herb layer), lesser coverage of tree and shrub layer, and lower indicator values for soil alkalinity than the other two forest types. The birch forest with *E. angustifolium* showed the highest density of woody plant individuals; the latter was higher in the younger stages than in the older stages in each pioneer forest type. Correlation analyses with mean Ellenberg indicator values showed that sites with high acidity and poor in nitrogen had lower species numbers, vegetation coverage and smaller woody plants than sites with lower acidity and higher nutrient contents. From the viewpoint of nature conservation and ecological research some parts of the tailing should be left open during the planned restoration in order to enable undisturbed succession processes for the (re-)establishment of different pioneer forest types.

Danksagung

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

7. Literatur

- Aufsfeld, P. (2015, unpubl.): Biototypenausstattung und Gehölzdeckungen der Spülhalde Davidschacht in Freiberg. Bachelorarbeit Geoökologie, AG Biologie/Ökologie, TU Bergakademie Freiberg (unpubl.).
- Braun-Blanquet, J. (1964): Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde, Springer-Verlag, Wien, 865 S.
- Campbell, N. A., Reece, J. B. (2011): Biologie. Pearson Studium, München, 1918 S.
- Dierschke, H. (1994): Pflanzensoziologie. Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart, 683 S.
- Durka, W. & Ackerhagen, W. (1993): SORT 4.0 - Ein Computerprogramm zur Bearbeitung von floristischen und faunistischen Artentabellen. Natur und Landschaft 68: 16-21.
- Ellenberg, H., Weber, H.E., Düll, R., Wirth, V., Werner, W. & Paulissen, D. (1992): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Scripta Geobotanica 18: 258 S.
- Erler, L. (2016, unpubl.): Pflanzensoziologische und strukturelle Charakterisierung der Gehölzbestände auf der Spülhalde Davidschacht in Freiberg. Bachelorarbeit Geoökologie, AG Biologie/Ökologie, TU Bergakademie Freiberg (unpubl.).
- Fritz, E. & Jahns, C. (2017): Die Spülhalde Davidschacht in Freiberg – Geschichte, Umweltproblematik und geplante Sanierung. Freiberg Ecology online 2: 4-17.
- Haeupler, H. & Muer, T. (2007): Bildatlas der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 789 S.
- 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.
- IBUR (Ingenieurbüro für Baugrund, Umwelt, Rohstoffe GmbH) (1995): Historische Erkundung Spülhalde Davidschacht. Ergebnisbericht an die SAXONIA GmbH, 35 S. (unpubl.).
- Kleinknecht, U. (2002): Primäre Gehölzsukzession in der Bergbaufolgelandschaft des Leipziger Südraumes. Dissertationes Botanicae 358: 159 S.
- Licht, W. (2012): Zeigerpflanzen. Erkennen und Bestimmen. Quelle und Meyer, Wiebelsheim, 488 S.
- Mannsfeld, K. & Syrbe, R.-U. (Hrsg.), (2008): Naturräume in Sachsen, Forschungen zur deutschen Landeskunde, Band 257, Deutsche Akademie für Landeskunde, Selbstverlag, Leipzig.
- Oberdorfer, E. (2001): Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Deutschland und angrenzende Gebiete. 8. Aufl. Ulmer, Stuttgart, 1056 S.
- Pälchen, W. & Walter, H. (Hrsg.), (2008): Geologie von Sachsen: Geologischer Bau und Entwicklungsgeschichte. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- Richert, E., Aufsfeld, P. & Olias, M. (2017): Biotypenausstattung der Spülhalde Davidschacht in Freiberg. Freiberg Ecology online 2: 18-36
- Rothmaler, W. (2005): Exkursionsflora von Deutschland (2): Grundband. G. Fischer, Jena, 640 S.
- Rothmaler, W. (2007): Exkursionsflora von Deutschland (3): Atlasband. Spektrum Akademischer Verlag, Berlin, 756 S.
- 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, Dresden, 310 S.
- Tremp, H. (2005): Aufnahme und Analyse vegetationsökologischer Daten. Ulmer, Stuttgart, 141 S.
- Zimmermann, R. & Gloaguen, R. (2015): Luftaufnahme der Spülhalde Davidschacht aus dem Frühjahr 2015. Remote Sensing Group, TU Bergakademie Freiberg. unveröff.

Anschriften der Autor(innen):

Laura Erler; Roland Achtziger; Elke Richert*: TU Bergakademie Freiberg, AG Biologie/Ökologie, Leipziger Str. 29, 09599 Freiberg, E-Mail: lauraerler@yahoo.de, roland.achtziger@ioez.tu-freiberg.de, elke.richert@ioez.tu-freiberg.de

* Korrespondierende Autorin

Anhang

Luftaufnahme der Spülhalde Davidschacht

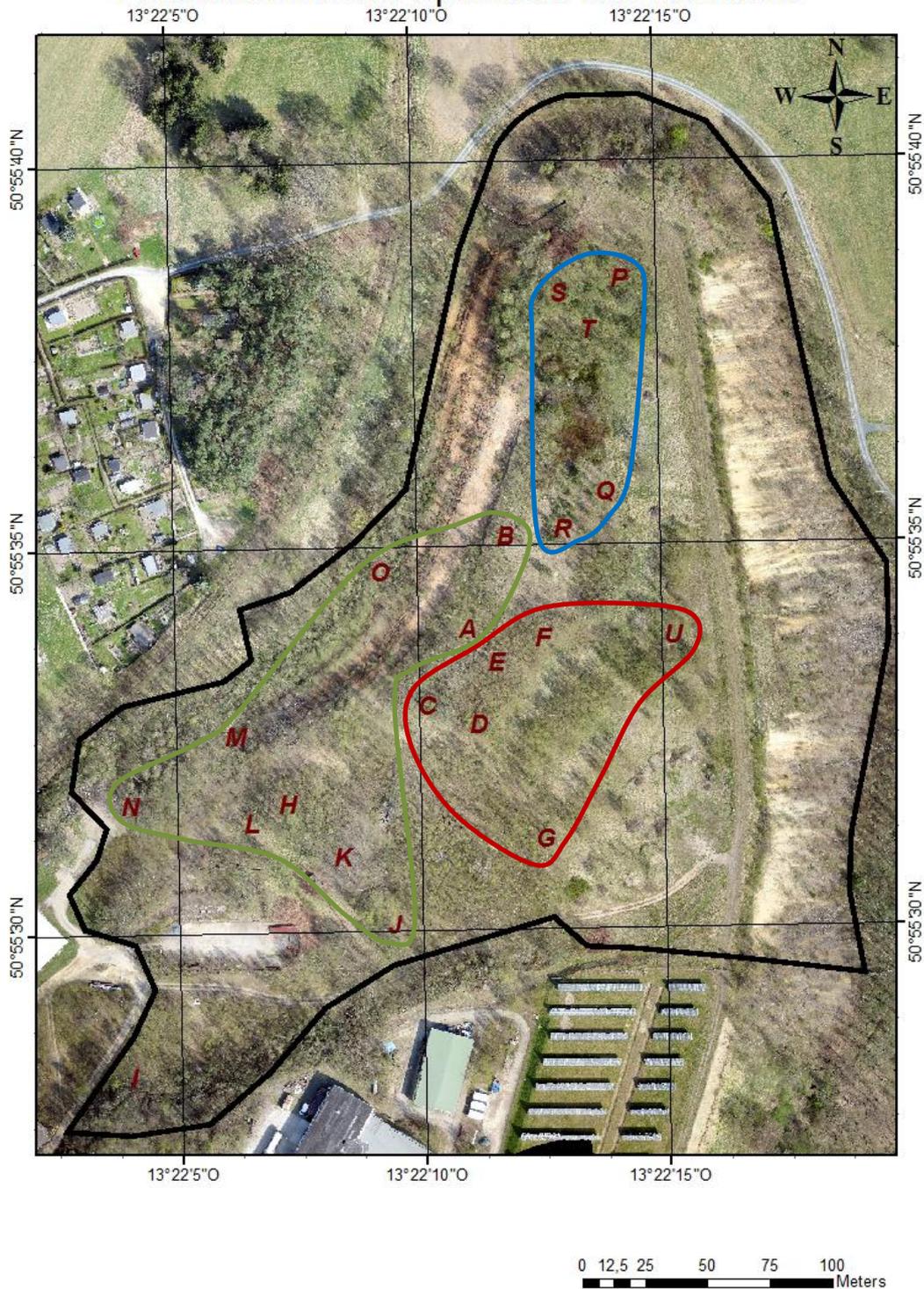


Abb. A1: Lage der Aufnahmeflächen. Jeweils umrandete Aufnahmen gehören einer Gesellschaft an (vgl. Tabelle A1) (Luftbild Zimmermann & Gloaguen 2015).

Fig. A1: Locations of the plots. Edged plots belong to the same community (refer to table A1) (aerial photo Zimmermann & Gloaguen 2015).

Tabelle A1: Vegetationstabelle der Vorwaldgesellschaften auf der Spülhalde Davidschacht

Table A1: Vegetation table of the pioneer forests on the Spülhalde Davidschacht

Spalte 1-2: Birkenvorwald, Ausbildung mit *Pinus sylvestris* (jüngere Ausprägung)
 Spalte 3-5: Birkenvorwald, Ausbildung mit *Pinus sylvestris* (ältere Ausprägung)
 Spalte 6-9: Birkenvorwald, Ausbildung mit *Epilobium angustifolium* (jüngere Ausprägung)
 Spalte 10-11: Birkenvorwald, Ausbildung mit *Epilobium angustifolium* (ältere Ausprägung)
 Spalte 12-13: Birkenvorwald, gehölzartenreiche Ausbildung (jüngere Ausprägung)
 Spalte 14-21: Birkenvorwald, gehölzartenreiche Ausbildung (ältere Ausprägung)

Spalten-Nummer	11	11	111111122
Aufnahmenummer	12	345	6789
D Gesamt [%]	01	23	45678901
D Baumschicht [%]	RQ	TPS	CEDF GU AB HIJKLMO
D Strauchschicht [%]	44	966	6766
D Krautschicht [%]	00	550	5055
H Baumschicht [m]	55	55	55
H Strauchschicht [m]	22	222	4555
H Krautschicht [cm]	00	550	5805
Gesamtartenzahl	11	111	1 1
Artenzahl Gehölze	00	555	0505
Artenzahl Baumschicht	11	922	1 1
Artenzahl Strauchschicht	00	055	0750
Artenzahl Krautschicht	57	766	7878
Abundanzsumme (alle Schichten)	1	1	1
Abundanzsumme (Baumschicht)	15	513	5252
Abundanzsumme (Strauchschicht)	13	322	1312
mL	50	055	0000
mF	76	909	1665
mR	43	454	6565

Spalten-Nummer					11	11	11111122
Aufnahmenummer	12	345	6789	01	23	45678901	
	RQ	TPS	CEDF	GU	AB	HIJKLMON	
mN	33	553	6556	57	45	45665656	
	
	88	779	1661	05	95	48477645	

Birkenvorwald, Ausbildung mit *Pinus sylvestris*

Pinus sylvestris^B	29	21	211	....	..	..	.....+
Pinus sylvestris^S	14	+r	...	....	..	..	.....+
Pinus sylvestris^K	10	..	...	..r.	..	..	....r..
Deschampsia flexuosa^K	38	12	111	...+	..	.1+...

Birkenvorwald, Ausbildung mit *Epilobium angustifolium*

Epilobium angustifolium^K	29	..	...	++++	+2	..	.....
Tussilago farfara^K	24	..	...	+++.	++	..	.....
Vicia hirsuta^K	14	..	...	..++	+	..	.....
Scrophularia nodosa^K	14	..	...	++.+	..	..	.....
Hypericum perforatum^K	19	..	...	+r.	+	..	....+...

Birkenvorwald, gehölzartenreiche Ausbildung

Salix caprea^B	48	..	22.	....	1.	.1	112221.2
Salix caprea^S	10	..	...	....	..	r.	.....r
Salix caprea^K	10	..	...	....	..	.1	..+.....
Populus tremula^B	10	..	..1	....	.1	11	...3....
Populus tremula^S	19	+	...	....	..	+	..+.....
Populus tremula^K	24	+	...	+...	..	++	...+....
Corylus avellana^S	10	..	...	....	..	..	.....+.+
Corylus avellana^K	5	..	...	....	..	+	.....
Fagus sylvatica^S	10	..	...	....	..	+	.....r.
Geum urbanum^K	14	..	...	....	..	+	.....++.
Epilobium montanum^K	19	..	...	+...	..	..	...+.+.+
Athyrium filix-femina^K	14	..	...	....	..	..	...+.1.2
Impatiens parviflora^K	10	..	...	....	..	..	.....1.+

Birkenvorwald

Betula pendula^B	90	.2	322	3444	32	33	32322333
Betula pendula^S	81	11	2+1	1+21	1.	11	.1.21.1+
Betula pendula^K	48	+	2..	...+	++	++	...++...

weitere Gehölzarten

Quercus robur^S	14	..	..+	....	..	..	+. ....r.
Quercus robur^K	81	++	+++	++++	..	++	1++....
Sorbus aucuparia^S	19	..	...	+r..	..	+	...+.r.
Sorbus aucuparia^K	33	..	...	++++	+	..	1...+..
Acer platanoides^B	5	..	...	....	..	..	.....1.
Acer platanoides^S	5	..	...	....	..	..	...1....
Acer platanoides^K	33	..	...	+. .	+	..	+.++r+.
Acer pseudoplatanus^B	5	..	...	....	..	..	.....1.
Acer pseudoplatanus^S	10	..	...	....	..	+	...+.+
Acer pseudoplatanus^K	24	..	...	+...	..	+	...+.+
Laburnum anagyroides^B	10	..	...	....	..	..	...1....
Picea abies^S	14	..	..r.	+...	..	..	+. ....
Picea abies^K	5	..	...	..r.	..	..	.....
Acer negundo^B	5	..	...	...1	..	..	.....
Rosa corymbifera^S	5	..	...	..r.r	..	..	.....
Rosa corymbifera^K	5	..	...	...+	..	..	.....

Spalten-Nummer		11	11	11111122
	12	345	6789	01 23 45678901
Aufnahmenummer		RQ	TPS	CEDF GU AB HIJKLMON

Cornus sanguinea^S	5	..	...	....	..	+	.....
Cornus sanguinea^K	5	..	...	....	..	+	.....
Prunus avium^B	5	..	...	....	..	..	.....1..
Tilia cordata^B		..	...	..1.	..	..	.....

Arten des Unterwuchses lichter Wälder

Rubus idaeus^K	33	..	...	.1.+	+	+r	...+...1
Rubus fruticosus agg.^K	29	..	...	+++.	..	..	...+1.+
Dryopteris filix-mas^K	24	..	...	....	11	..	.....11+
Poa nemoralis^K	19	..	...	....	2.	1.	2.....2.
Fragaria vesca^K	5	..	...	....	+	..	.....
Calamagrostis epigejos^K	5	..	...	....	2.	..	.....

Aus dem Grünland übergreifende Arten

Holcus lanatus^K	0	81	12	111	+.++	+	..	+ 11.+1+++
Agrostis capillaris^K	52	23	111	....	..	11	.11.+1.
Festuca rubra^K	19	..	...	....	..	21	..+1...
Rumex acetosa^K	14	..	...	....	..	+	+. ....+
Poa trivialis^K	24	..	...	....	.1	..	.11...21
Arrhenatherum elatius^K	38	..	...	+.+	..	11	.1.1.1.1
Taraxacum officinale agg.^K	29	..	...	+.++	r.	..	+...+....
Dactylis glomerata^K	24	..	...	+1+1	..	.1	.....
Poa pratensis^K	33	..	...	+1..	1+	..	1...++...
Vicia sepium^K	10	..	...	....	+	..	..+.....
Vicia cracca^K	24	..	...	++..	..	++	.1.....
Plantago lanceolata^K	10	..	...	+...	..	..	+.....

Nährstoffzeiger

Urtica dioica^K	33	..	...	..rr	..	+	....111
Aegopodium podagraria^K	14	..	...	....	.2	..	.....1+.
Galium aparine^K	14	..	...	.+..	..	+	.....+..

Störzeiger / Pionierarten

Elymus repens^K	24	..	11+	....	..	.1+
Vicia villosa^K	14	..	11+	....	..	..	.....
Equisetum arvense^K	19	..	...	++..	..	..	.....++
Silene vulgaris^K	10	..	...	....	..	..	...++....

Außerdem kommen vor:

Galium spec.^K C:+, D:+; Cirsium oleraceum^K U:+;
 Trifolium pratense^K U:+; Lysimachia vulgaris^K G:1;
 Tanacetum vulgare^K U:+; Fallopia japonica^S C:r;
 Campanula patula^K I:+; Lupinus polyphyllus^K A:+;
 Lotus corniculatus^K B:+; Deschampsia cespitosa^K M:+;
 Pileosella officinarum^K B:+; Fallopia japonica^K J:r;
 Vinca minor^K I:1; Geranium robertianum^K N:+;

S = Artenzahl, D = Deckung, H = Wuchshöhe

^K = Art in der Krautschicht, ^S = Art in der Strauchschicht, ^B = Art in der Baumschicht