

Vegetationsentwicklung auf unterschiedlich behandelten Flächen zur Entwicklung von Magerstandorten auf einer Hochspannungstrasse im Freiburger Stadtwald

Vegetation development on differently managed areas to establish nutrient poor sites on a high-voltage transmission line in the Stadtwald Freiberg

Christian Rumberg, Maik Röder, Roland Achtziger, Elke Richert

Zusammenfassung

Auf einer Schneise entlang einer Hochspannungstrasse im Freiburger Stadtwald wurden unterschiedliche Maßnahmen (Gehölzschnitt mit anschließendem Häckseln und Mulchen, teilweiser und kompletter Oberbodenabtrag) zur Etablierung von Magerstandorten umgesetzt, um die standörtlichen Voraussetzungen zur Entwicklung naturschutzfachlich wertvoller Bestände insbesondere mit Besenheide (*Calluna vulgaris*) und begleitender Arten zu schaffen. Ziel der vorliegenden Arbeit war die Analyse der Vegetationsentwicklung in Abhängigkeit vom Maßnahmetyp unter Einbeziehung von Vegetationsaufnahmen aus 2016 und 2017. Die 11 Dauerbeobachtungsflächen wurden mit der Methode nach Braun-Blanquet wöchentlich vegetationskundlich untersucht. Der Maßnahmetyp wirkte sich wesentlich auf die Vegetationsentwicklung der Flächen aus. Zwar nahmen die Vegetationsdeckung und Wuchshöhe sowie die Pflanzenartenzahl auf allen Flächen im ersten Jahr nach der Maßnahme zu, dies verlief aber insbesondere auf den Flächen mit vollständigem Oberbodenabtrag stark verzögert. Die Vegetation der gehäckselten und gemulchten Flächen entwickelte sich dagegen am schnellsten, da die vor der Maßnahme vorhandenen Pflanzenindividuen wieder austreiben und sich entwickeln konnten. Der Nachweis von Arten wie *Deschampsia flexuosa* und *Agrostis capillaris* zeigt, dass durch Oberbodenabtrag nährstoffarme Standortbedingungen etabliert werden konnten. Momentan ist allerdings nicht absehbar, ob die auf den Flächen mit Oberbodenabtrag bereits vorhandenen Gehölzkeimlinge die Etablierung von *Calluna vulgaris* durch eine zunehmende Beschattung beeinträchtigen werden. Auch hatten sich auf den Flächen mit teilweiseem Abtrag bereits im zweiten Jahr dichte Bestände von Binsen und Süßgräsern entwickelt, die die Etablierung von *Calluna vulgaris* ebenfalls verhindern oder verzögern könnten.

Schlüsselwörter/Keywords: Sukzession, Aushagerung, Mulchen, Oberbodenabtrag, *Calluna vulgaris*, succession, soil impoverishment, mulching, top soil removal

1. Einleitung

Lineare Infrastrukturen wie Straßen und Stromtrassen werden oft mit dem Verlust oder der Zerschneidung von Lebensräumen in Verbindung gebracht (Übersicht in Richardson et al. 2017). Im Fall von Stromtrassen werden in der Literatur insbesondere die negativen Auswirkungen auf die Vogelwelt (z. B. Bömer & Haas 2004) diskutiert. Die Ortsgruppe Freiberg des Naturschutzbunds (NABU) erhielt die Möglichkeit, auf einer Stromtrasse im Freiburger Stadtwald Maßnahmen zur Förderung und Entwicklung naturschutzfachlich wertvoller Lebensräume umzusetzen. Ergänzend zur Anlage von mehreren Kleingewässern wurden seit dem Winter 2015/16 unterschiedliche Maßnahmen zur Aushagerung und Offenhaltung von Standorten umgesetzt. Ein wichtiges Ziel ist dabei, gehölzfreie Magerstandorte und damit potentielle Lebensräume für Heidebestände (*Calluna vulgaris*) zu entwickeln. Neben dem Mulchen, also einem Gehölzschnitt mit anschließendem Häckseln der vorhandenen Gehölz- und Krautvegetation mit Verbleib der Biomasse auf der Fläche, wurde auf ausgewählten Standorten der Oberboden in unterschiedlichem Umfang (teilweise bzw. komplett) abgetragen. Seitdem wurden von der TU Bergakademie im Rahmen der Lehrveranstaltung „Biotop- und Landschaftsmanagement“ (Studiengang Geoökologie) Analysen zur Vegetationsentwicklung 2016 und 2017 sowohl auf den Maßnahmeflächen als auch im Bereich der gesamten Schneise durchgeführt (2016: Hecht et al. 2017, unpubl.; 2017: Galinsky & Kessler 2018, unpubl.; Gerisch & Mißfeld 2018, unpubl.; Richert et al. 2018). Ziel der vorliegenden Arbeit ist, die zeitliche Entwicklung der Vegetation (Struktur, Zusammensetzung) auf den unterschiedlich behandelten Flächen in den beiden Jahren 2016 und 2017 vergleichend zu analysieren.

2. Untersuchungsgebiet und Lage der Untersuchungsflächen

Eine detaillierte Beschreibung des Untersuchungsgebietes kann Richert et al. (2018) entnommen werden. Abb. 1 zeigt die Lage der untersuchten Flächen auf der Hochspannungstrasse im Stadtwald von Freiberg (Sachsen). Die einzelnen Flächen wurden wie folgt behandelt (Abb. 1, 2):

- Fläche A1 und A2: Gehölzschnitt mit anschließendem Häckseln und Mulchen (2015/16) (Abb. 2a,b)
- Fläche B1 bis B3 sowie B4 bis B6: Teilweiser Oberbodenabtrag (Humus) (2015/16) (Abb. 2c – e)
- Fläche B7 bis B9: Vollständiger Oberbodenabtrag (bis Mineralboden) (2016/17) (Abb. 2f) im Bereich von B4 bis B6 (daher Vegetationsaufnahmen auf B4 bis B6 nur für 2016 vorhanden; s. Hecht et al. 2017, unpubl.).



● Aufnahmeflächen, wöchentlich kontrolliert

Abb. 1: Lage der Dauerbeobachtungsflächen im Stadtwald von Freiberg: A1 und A2 gemulcht (Winter 2015/2016); Flächen B1 – B3: teilweiser Oberbodenabtrag (Winter 2015/2016); Flächen B7 – B9 kompletter Oberbodenabtrag (Winter 2016/2017). Die Flächen B4 – B6 lagen im Abschnitt der Flächen B7 – B9. (Quelle: © Google Earth 2018, © 2009 GeoBasis-DE/BKG).

Fig. 1: Position of the permanent plots in the Stadtwald Freiberg; A1 and A2: mulched (winter 2015/2016); B1 – B3 - partial topsoil removal (winter 2015/2016); B7 – B9 - complete topsoil removal (winter 2016/2017). The plots B4 – B6 were located in the area of the plots B7 – B9. (Source: © Google Earth 2018, © 2009 GeoBasis-DE/BKG).

3. Methoden

3.1 Vegetationsaufnahmen

Die im Jahr 2017 durchgeführten Braun-Blanquet-Vegetationsaufnahmen erfolgten wöchentlich im Zeitraum vom 04.05.2017 bis zum 12.07.2017, die im Jahr 2016 im Zeitraum vom 20.04.2016 bis zum 21.07.2016 (s. Hecht et al. 2017, unpubl.). Hierbei wurden für jeden Maßnahmeabschnitt homogene repräsentative Aufnahmeflächen von 5 m x 5 m Abmessung ausgewählt. Die Aufnahme der Abundanzen der einzelnen Pflanzenarten erfolgte anhand der in Tabelle 1 dargestellten Skala. Die Pflanzenarten wurden mittels Rothmaler (2005) bestimmt; die Nomenklatur der Arten richtet sich nach Schulz (2013). Zusätzlich wurden die Gesamtdeckung und die Deckung der Kraut- und Strauchschicht in Prozent geschätzt. Dabei wurden alle Pflanzen bis 1 m Höhe zur Krautschicht gezählt und alle zwischen 1 m und 2 m zur Strauchschicht. Höherwüchsige Pflanzen wurden auf den Flächen nicht vorgefunden. Die GPS-Koordinaten der Dauerflächen wurden an deren südwestlichen Eckpunkt mit einem GPS-Gerät (Garmin etrex 10) aufgenommen. Angaben zur Ökologie der Arten wurden Oberdorfer (2001) entnommen.

Tabelle 1: Verwendete Skala zur Erfassung der Artabundanzen nach Braun-Blanquet (1964; s. Dierschke 1994) und entsprechende code replacement-Werte (CR-Wert).

Table 1: Symbols used for estimating species' abundances according to Braun-Blanquet (1964; see Dierschke 1994) and corresponding code replacement values (CR-Wert).

Symbol	Abundanz	CR-Wert
r	1 Individuum, Deckung < 1%	1,00
+	2 bis 50 Individuen, Deckung < 1%	1,00
1	< 50 Individuen, Deckung 1-5%	2,00
m	> 50 Individuen, Deckung < 5%	3,00
a	Deckung 5% bis 12,5%	8,75
b	Deckung 13% bis 25%	18,75
3	Deckung 26% bis 50%	37,50
4	Deckung 51% bis 75%	62,50
5	Deckung > 75%	87,50

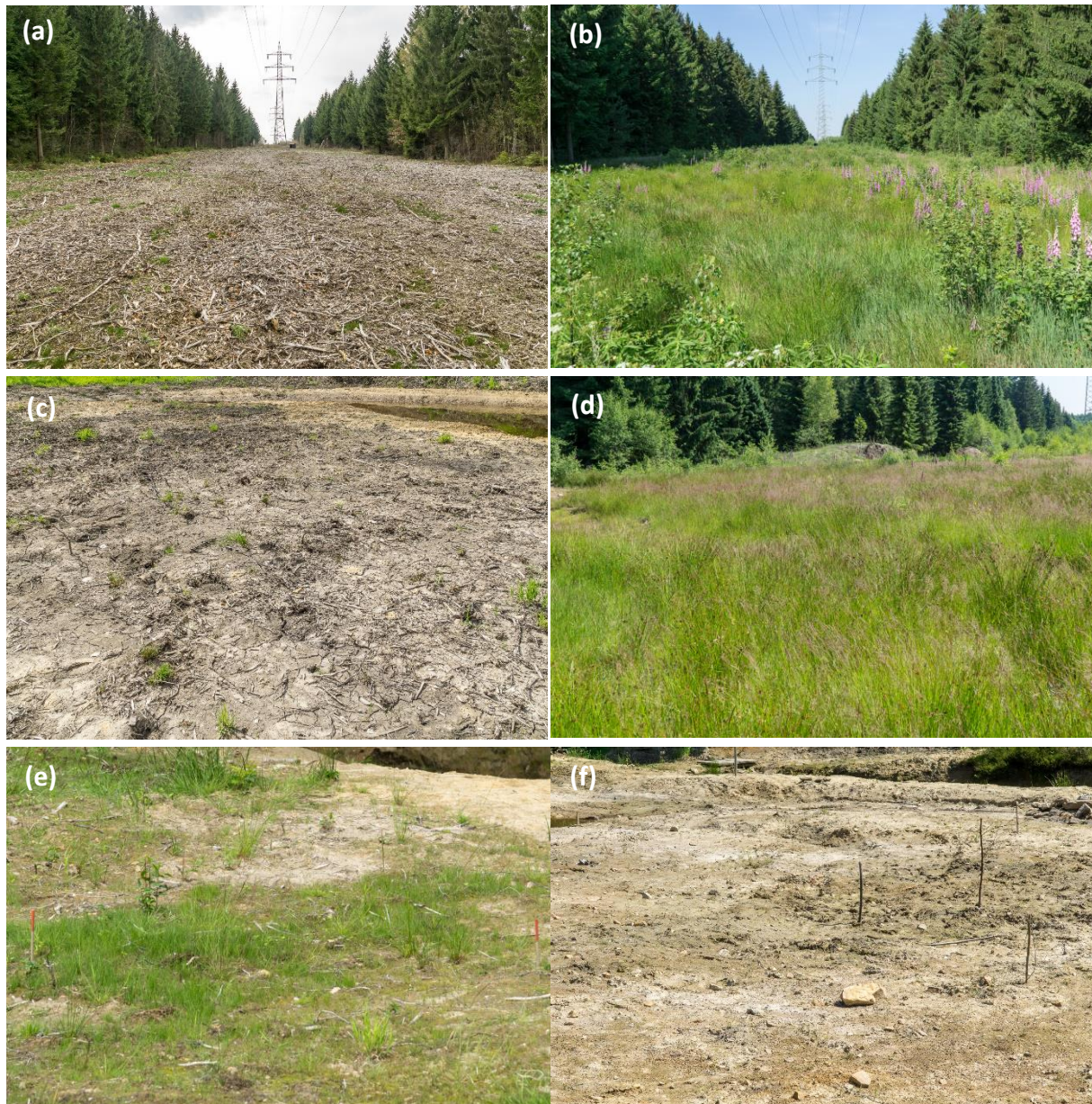


Abb. 2: Fotos der unterschiedlich behandelten Flächen: (a) Gemulchte Fläche (A1, A2) 1. Jahr (13.04.2016); (b) gemulchte Fläche (A1, A2) 2. Jahr (20.06.2017); (c) teilweiser Oberbodenabtrag (B1 – B3) 1. Jahr (11.05.2016); (d) teilweiser Oberbodenabtrag (B1 – B3) 2. Jahr (20.06.2017); (e) teilweiser Oberbodenabtrag (B4 – B6) 1. Jahr (22.06.2016); (f) kompletter Oberbodenabtrag (B7 – B9) 1. Jahr (20.06.2017) (Fotos: R. Achtziger).

Fig. 2: Photos of the differently managed sites: (a) Mulched area (A1, A2) 1st year (13.04.2016); (b) mulched area (A1, A2) 2nd year (20.06.2017); (c) partial topsoil removal (B1 – B3) 1st year (11.05.2016); (d) partial topsoil removal (B1 – B3) 2nd year (20.06.2017); (e) partial topsoil removal (B4 – B6) 1st year (22.06.2016); (f) complete topsoil removal (B7 – B9) 1st year (20.06.2017) (photos: R. Achtziger).

3.2 Abundanzsummen und Lebensformen

Neben den Artenzahlen wurde pro Aufnahme­fläche die Abundanzsumme als Summe der code replacement-Werte aller nachgewiesenen Pflanzenarten berechnet. Des Weiteren wurden für die Aufnahmen Lebensformenspektren erstellt. Neben Gestaltsmerkmalen beziehen die Lebensformen nach Raunkiaer (1934) die Lage der Überdauerungsorgane im Winter und damit ökologische Adaptationen ein (Smith & Smith 2009). Folgende Lebensformen wurden unterschieden (vgl. Ellenberg & Leuschner 2010): Phanerophyten (Bäume), Nanophanerophyten (Sträucher), holzige Chamaephyten (Zwergsträucher), krautige Chamaephyten (ausdauernd, Knospe über der Erde), Hemikryptophyten (ausdauernd, krautig, Knospen an der Erdoberfläche), Geophyten (ausdauernd, krautig, unterirdisch Überdauernde) und Therophyten (Kurzlebige). Alle Berechnungen wurden mit dem Programm SORT (Durka & Ackermann 1993) durchgeführt.

3.3 Ordination mittels NMS

Zur Analyse der Entwicklung der Vegetation auf den Dauerflächen wurde eine NMS-Ordinierung (Nonmetrical Multidimensional Scaling, s. Peck 2010) mit dem Programm PC-ORD (Version 6.08, McCune & Mefford 1999) durchgeführt. Dabei gingen die Arthäufigkeiten als code replacement-Werte (Tabelle 1) in die Berechnungen ein, als Distanzmaß wurde die Sørensen-Distanz (Sørensen 1948) gewählt.

4. Ergebnisse

4.1 Entwicklung der Vegetationsstruktur

Auf allen Untersuchungsflächen nahm die **Wuchshöhe** der Krautschicht insbesondere in der ersten Vegetationsperiode nach der Maßnahmenumsetzung zu, dabei erfolgte der Anstieg auf den gemulchten Flächen besonders rasch (Abb. 3a,b). Während auf diesen Flächen bereits im 1. Jahr eine Strauchschicht nachgewiesen werden konnte, wurden auf den Flächen mit Oberbodenabtrag auch nach zwei Jahren keine entsprechend hohen Sträucher festgestellt (Abb. 3c,d). Sowohl auf den gemulchten als auch auf den Flächen mit teilweise Oberbodenabtrag stieg die **Vegetationsdeckung** im 1. Jahr relativ gleichmäßig an, wobei die gemulchten Flächen am Jahresende etwas niedrigere Vegetation aufwies (Abb. 4a,c). Im 2. Jahr wurde auf allen Flächen bereits zu Beginn der Vegetationsperiode eine vergleichsweise hohe Krautdeckung von bis zu 90 % erreicht, die sich im weiteren Verlauf nicht grundlegend änderte. Auch hier waren die Deckungen auf den Flächen mit teilweise Bodenabtrag (Abb. 4b) höher als auf den gemulchten Flächen (Abb. 4d). Auf den Flächen B4 bis B6 (Abb. 2e) mit bis dahin teilweise Oberbodenabtrag wurde nach einem Jahr (2017) der komplette Oberboden abgetragen und es wurden die Flächen B7 bis B9 angelegt (Abb. 2f). Dadurch wurde ein direkter Vergleich von teilweise und komplettem Oberbodenabtrag für die erste Vegetationsperiode nach der jeweiligen Maßnahmenumsetzung möglich (Abb. 5): Die Deckung der Krautschicht nahm auf den Flächen mit nur teilweise Abtrag wesentlich schneller zu (Abb. 5a) als auf Flächen mit vollständigem Abtrag (Abb. 5b). Dagegen verlief die Entwicklung der Wuchshöhen im Wesentlichen ähnlich (Abb. 5c,d).

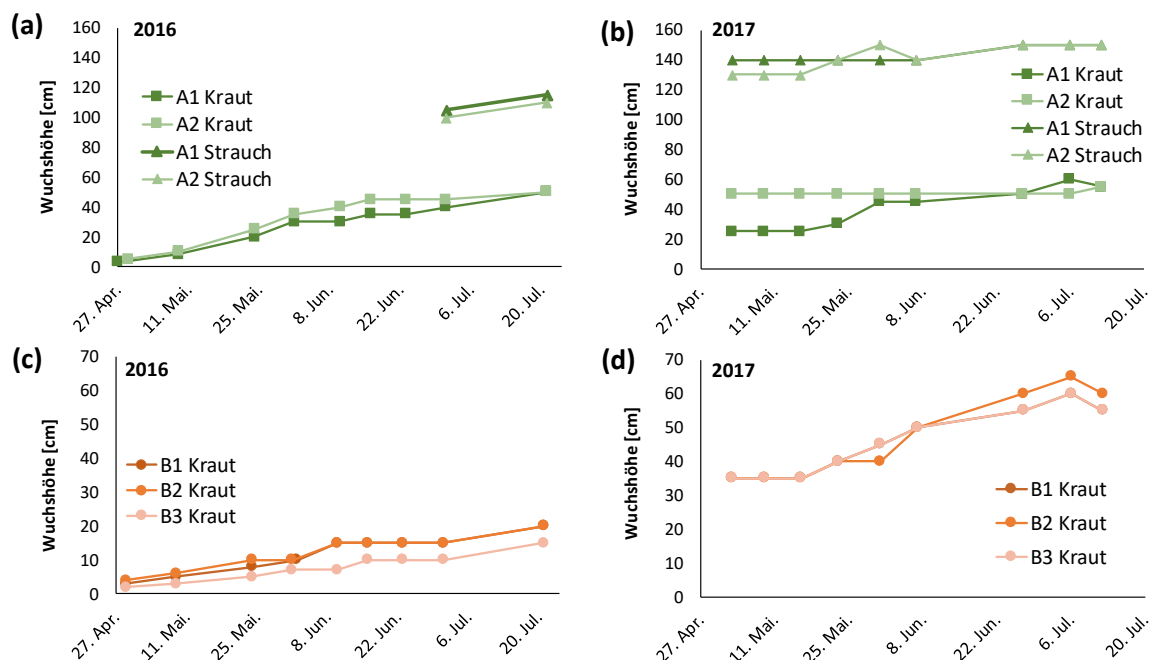


Abb. 3: Entwicklung der Wuchshöhen der Kraut- und Strauchschicht auf den gemulchten Flächen A1 und A2 2016 (a) und 2017 (b) sowie auf den Flächen mit teilweise Oberbodenabtrag B1 bis B3 2016 (c) und 2017 (d).

Fig. 3: Development of height of the herb and shrub layer on the mulched plots A1 and A2 in 2016 (a) and 2017 (b) as well as on plots with partial topsoil removal B1 to B3 2016 (c) and 2017 (d).

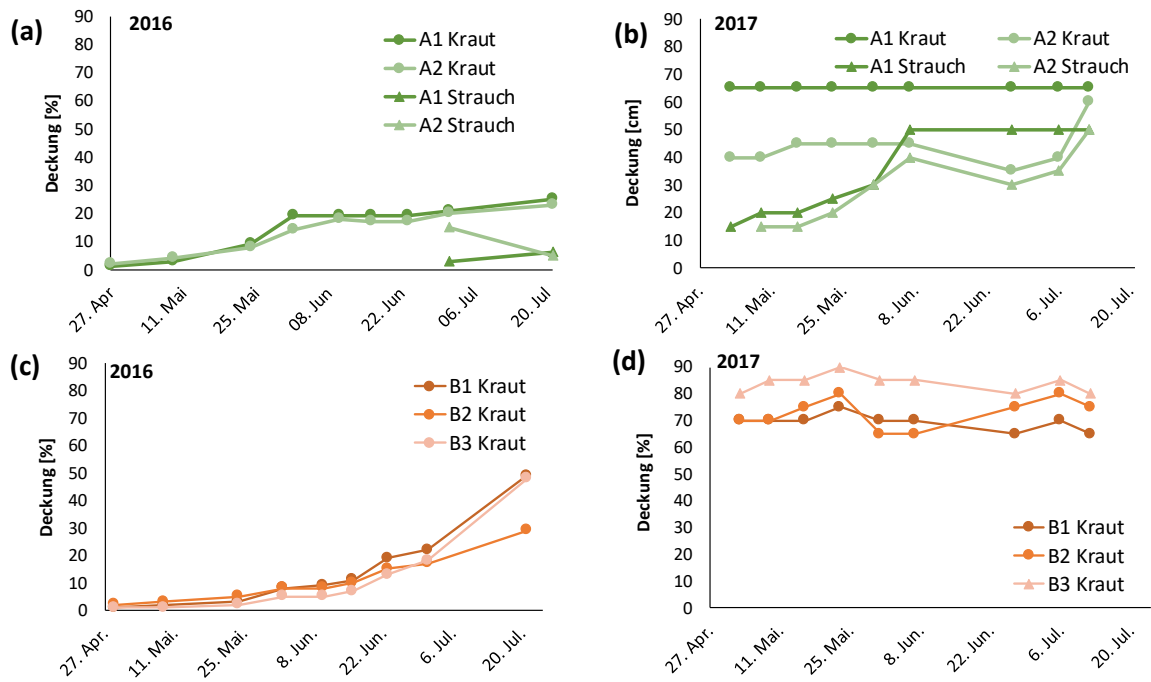


Abb. 4: Entwicklung der Deckung der Kraut- und Strauchschicht auf den gemulchten Flächen A1 und A2 2016 (a) und 2017 (b) sowie auf den Flächen mit teilweise Oberbodenabtrag B1 bis B3 2016 (c) und 2017 (d).

Fig. 4: Development of the cover of the herb and shrub layer on the mulched plots A1 and A2 in 2016 (a) and 2017 (b) as well as on plots with partial topsoil removal B1 to B3 2016 (c) and 2017 (d).

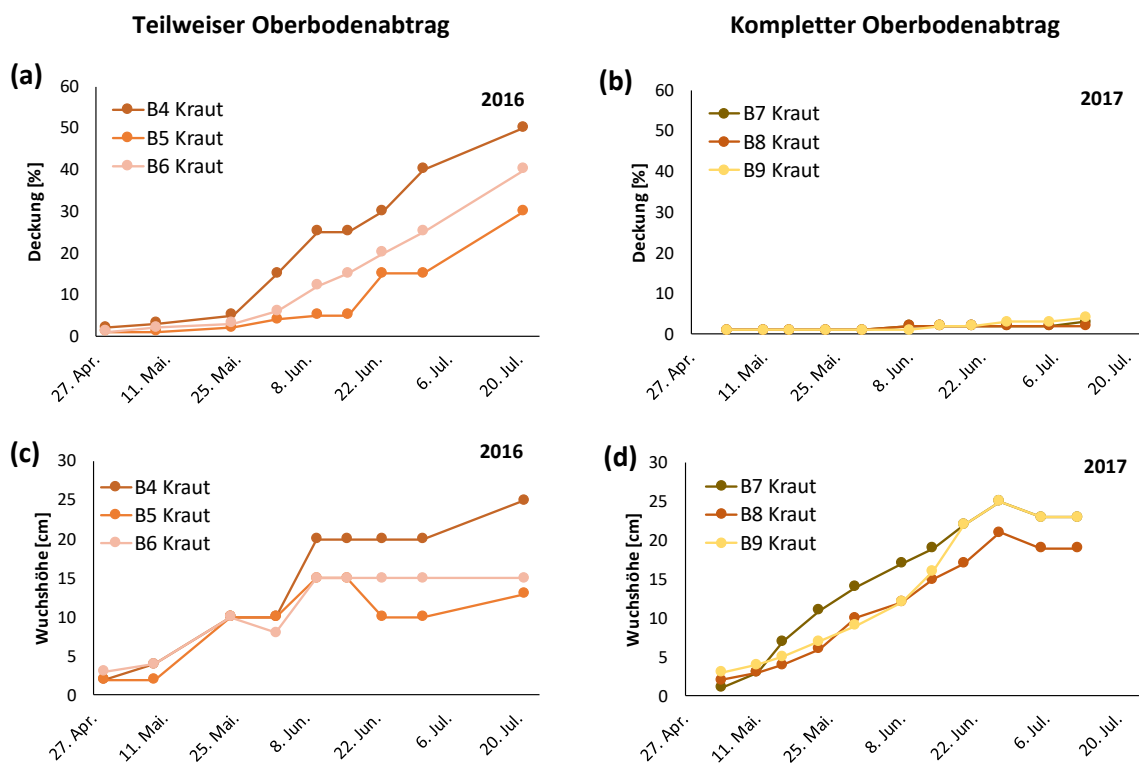


Abb. 5: Vergleich der Entwicklung der Gesamtdeckung (a, b) und der Wuchshöhe der Krautschicht (c, d) auf Flächen mit teilweise Oberbodenabtrag (a, c) und komplettem Oberbodenabtrag (b, d) in der jeweils ersten Vegetationsperiode nach Maßnahmenbeginn (2016 oder 2017).

Fig. 5: Comparison of the development of total cover (a, b) and of the height of the herb layer (c, d) on plots with partial topsoil removal (a, c) and complete topsoil removal (b, d) in the first vegetation period after measurement implementation (2016 or 2017).

4.3 Entwicklung der Artenzusammensetzung

Tabelle A1 (Anhang) zeigt alle auf den Dauerbeobachtungsflächen in den Jahren 2016 und 2017 erhobenen Vegetationsaufnahmen. Auf allen Flächen waren Magerkeits- und Säurezeiger wie *Calluna vulgaris* oder *Deschampsia flexuosa* vertreten. Auf den Flächen mit komplettem Oberbodenabtrag kamen nur wenige, meist Pionierarten mit niedrigen Deckungswerten vor. Auf den anderen Flächen traten hingegen, neben *Rubus idaeus* und weiteren *Rubus*-Arten, regelmäßig Feuchtezeiger wie *Juncus effusus* und *Juncus conglomeratus* auf (Tabelle A1). Gehölze in der Strauchschicht kamen nur auf den gemulchten Flächen A1 und A2 vor, wobei es sich dabei um Stockausschläge von vor der Maßnahme vorhandenen Individuen handelte (insbesondere *Frangula alnus* und *Betula pendula*). Weitere Gehölzarten waren in der Krautschicht und damit als Naturverjüngung zum Teil regelmäßig vorhanden. Hierzu zählen *Rubus idaeus* und andere *Rubus*-Arten, aber auch *F. alnus*, *B. pendula* und *Quercus* spp.. Im Vergleich zu den Magerkeitszeigern kamen nur vereinzelt Nährstoffzeiger wie beispielsweise *Galeopsis tetrahit* vor. Krautige einjährige Pionierarten wie *Juncus bufonius* oder *Galeopsis tetrahit* kamen fast ausschließlich auf den Flächen mit Oberbodenabtrag vor (Tabelle A1).

Um die Änderung der Artenzusammensetzungen pro Maßnahmetyp im Verlauf der Jahre vergleichend zu analysieren, wurden NMS-Ordinierungen durchgeführt (Abb. 6). Dabei ist zu erkennen, dass die Entwicklung der Vegetation auf den unterschiedlich behandelten Flächen im Wesentlichen in ähnliche Richtungen verlief (Abb. 6), lediglich am Ende des 2. Jahres deuten hiervon abweichende Aufnahmepunkte auf divergierende Entwicklungen hin (Abb. 6a). Außerdem zeigt sich, dass die Aufnahmeflächen eines Maßnahmetyps, im Vergleich mit den anderen Typen, untereinander stärkere Ähnlichkeiten in ihrer Artenzusammensetzung aufwiesen (Abb. 6a,b). Demnach ist sowohl die Artenzusammensetzung als auch die Vegetationsentwicklung wesentlich vom Maßnahmetyp abhängig. Im Verlauf der Vegetationsperiode und auch im darauffolgenden Jahr nehmen die Distanzen zwischen den Aufnahmepunkten im Diagramm deutlich ab, was wiederum auf geringe Veränderungen in der Artenzusammensetzung und den Abundanzen auf den Flächen hindeutet. Dies trifft insbesondere auf die Flächen mit teilweise Oberbodenabtrag zu.

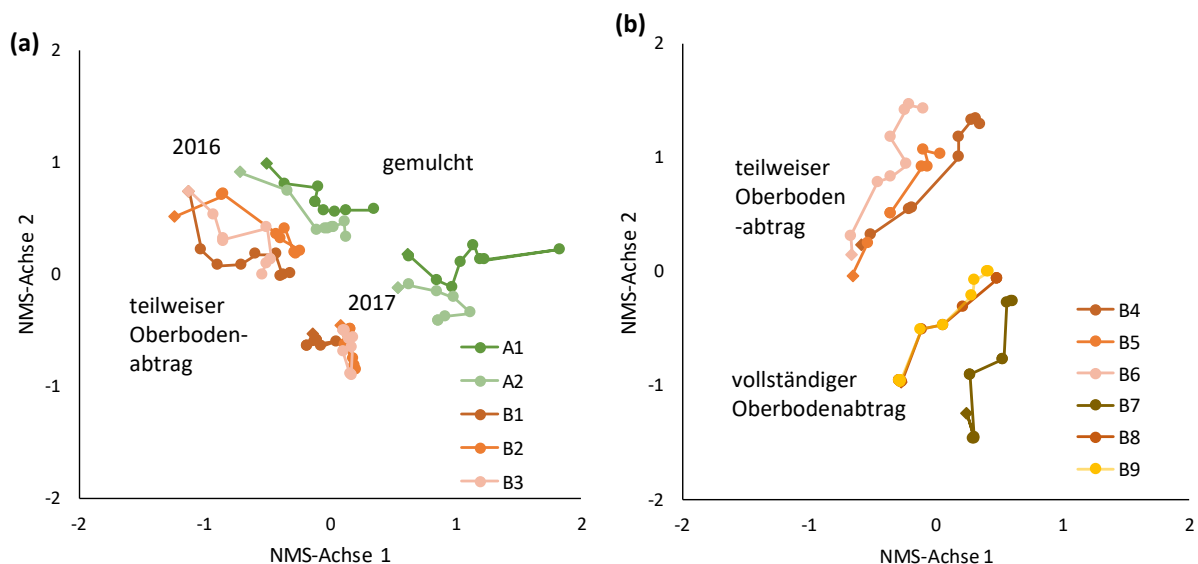


Abb. 6: Ergebnisse von NMS-Ordinierungen zum Vergleich der Vegetationsentwicklung unterschiedlich behandelter Flächen: (a) Flächen mit teilweise Oberbodenabtrag (B1 – B3) und gemulchte Flächen (A1 und A2) über die ersten zwei Vegetationsperioden (2016 und 2017) nach der Maßnahme; (b) Flächen mit teilweise Oberbodenabtrag (B4 – B6) und vollständigem Oberbodenabtrag (B7 – B9) im 1. Jahr nach der Maßnahme (2016 bzw. 2017) (ein Ausreißer (Fläche B5) ist nicht dargestellt). Die erste Vegetationsaufnahme im Jahr ist jeweils mit einer Raute (◊) dargestellt.

Fig. 6: Results of NMS ordinations for a comparison of the vegetation development differently managed plots: (a) plots with partial topsoil removal (B1 – B3) and mulched plots (A1 and A2), 1st and 2nd year (2016 and 2017) after measure implementation; (b) plots with partial topsoil removal (B4 – B6) and plots with complete topsoil removal (B8 – B9), first year after measure implementation (2016 resp. 2017) (one outlier (plot B5) is not shown). The first records of the year are marked with a diamond (◊).

4.2 Entwicklung der Artenanzahl und Abundanzsummen der Lebensformen

Wie beispielhaft an der gemulchten Fläche A2 in Abb. 7 dargestellt, stieg die Artenzahl im 1. Jahr (2016) nach dem Eingriff in kurzer Zeit stark an (Abb. 7a) und änderte sich im 2. Jahr nach der Maßnahme kaum (Abb. 7b). Im 1. Jahr dominierten zu Beginn die Hemikryptophyten und 2. Jahr zusätzlich die Nanophanerophyten. Dagegen blieben die Abundanzsummen auf den gemulchten Flächen im 1. Jahr auf einem konstant niedrigen Niveau (Abb. 7c) und stiegen im 2. Jahr deutlich an (Abb. 7d). Wie bei den Artenanzahlen nahmen die Hemikryptophyten im 1. Jahr den größten Anteil ein (Abb. 7a), während im 2. Jahr die Anteile der Nanophanerophyten und Phanerophyten deutlich zunahmen. Die Artenanzahlen und die Abundanzsummen über alle Lebensformen stiegen auf den Flächen mit teilweise Oberbodenabtrag (Abb. 8a,c) deutlich schneller an als auf den Flächen mit vollständigem Oberbodenabtrag (Abb. 8b,d). Unabhängig vom Typ des Bodenabtrags dominierten im 1. Jahr die Hemikryptophyten. Diese besiedelten auch im Jahr 2017 die neu entstandenen Rohbodenflächen zuerst, gefolgt von den Phanerophyten (Abb. 8).

5. Diskussion

Ziel der Arbeit war der Vergleich der Vegetationsentwicklung auf unterschiedlich behandelten Standorten zur Entwicklung von naturschutzfachlich wertvollen Magerstandorten mit einer entsprechenden Vegetation. Für die untersuchte Hochspannungstrasse sind das insbesondere Bestände mit Besenheide (*Calluna vulgaris*) (Hecht et al. 2017, unpubl., Richert et al. 2018). Für die Interpretation der Daten muss berücksichtigt werden, dass diese im Rahmen studentischer Lehrveranstaltungen (Masterstudiengang Geoökologie, Schwerpunkt Ökosystem- und Landschaftsmanagement) erhoben wurden und daher ein Bearbeiterwechsel zwischen den Untersuchungsjahren stattfand. Zudem wurde jeweils nur ein Teil der gesamten Vegetationsperiode untersucht (April bis Anfang Juli), so dass die Entwicklung der Vegetation nicht vollständig erfasst werden konnte. Beide Umstände könnten Ursache für die auf größere Änderungen in der Vegetation hindeutenden Ergebnisse der Ordinierung (Abb. 6a) vom 1. zum 2. Jahr sein. Der Wechsel der Bearbeiter_innen könnte auch Ursache für den Wechsel von *Agrostis stolonifera* (ausschließlich im 1. Jahr) und *A. capillaris* (ausschließlich im 2. Jahr) auf den gemulchten Flächen sein (Tabelle A1).

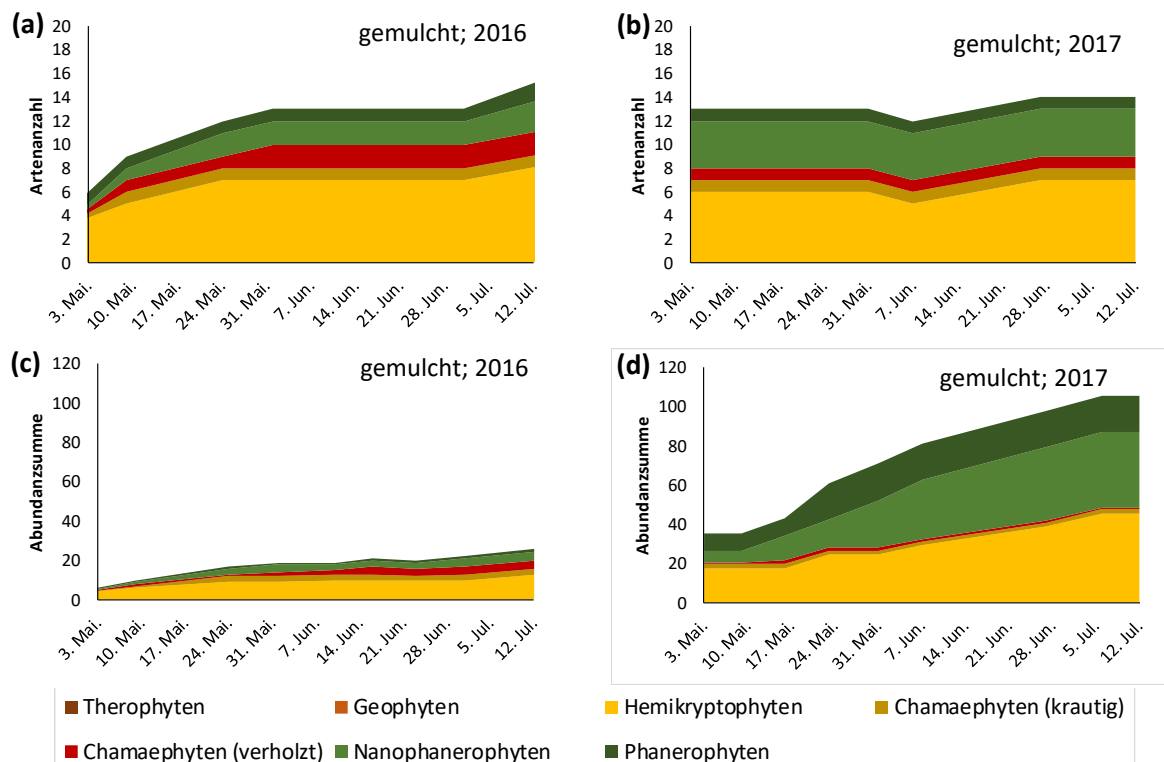


Abb. 7: Entwicklung der Artenanzahlen (a, b) und Abundanzsummen (c, d) der Lebensformen auf der gemulchten Untersuchungsfläche A2 im Verlauf der ersten zwei Jahre nach der Maßnahme.

Fig. 7: Development of species numbers (a, b) and abundances (c, d) of life forms on the mulched plot A2 during the first and second year after measure implementation.

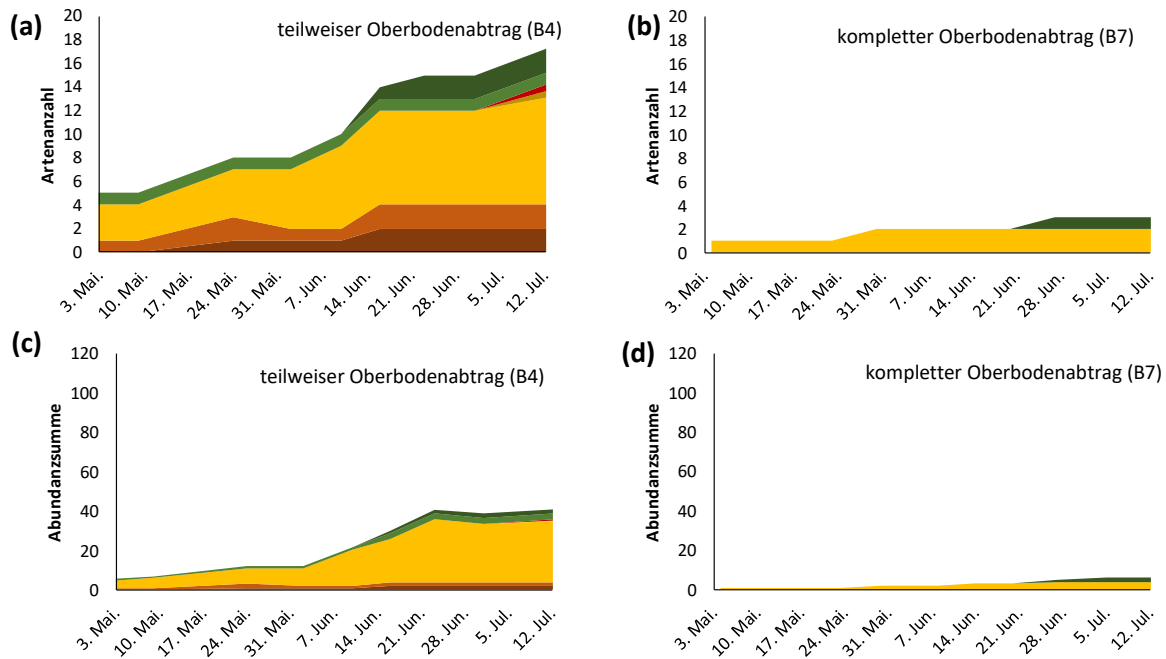


Abb. 8: Entwicklung der Artenanzahlen (a, b) und Abundanzsummen (c, d) der Lebensformen auf Flächen mit teilweise Oberbodenabtrag (a, c) und komplettem Oberbodenabtrag (b, d) im 1. Jahr nach der Maßnahmenumsetzung am Beispiel der Fläche B4 (Aufnahme 2016) und B7 (Aufnahme 2017) (Legende s. Abb. 7).

Fig. 8: Development of species numbers (a, b) and abundances (c, d) of life forms of plots with partial topsoil removal (a, c) and complete topsoil removal (b, d) in the first year after measure implementation shown by plot B4 (recorded 2016) and B7 (recorded 2017) as an example (legend see Fig. 7).

Insgesamt zeigen die vegetationskundlichen Ergebnisse aber, dass die Entwicklung der Vegetationsstruktur (Kap. 4.1) und der Artenzusammensetzung (Kap. 4.2 und 4.3) wesentlich vom Maßnahmetyp beeinflusst wird. Aus zahlreichen Untersuchungen ist bekannt, dass bei Renaturierungsmaßnahmen die Nährstoffversorgung ein entscheidender Faktor für den Verlauf und die Geschwindigkeit der Vegetationsentwicklung ist (z. B. Krumbiegel et al. 1995, Snow et al. 1997, Verhagen et al. 2001, Hölzel & Otte 2009). Diese Aussage trifft auch auf die vorliegenden Maßnahmen zu. Im Fall der kompletten Abtragung des Oberbodens kam es – im Vergleich zum teilweisen Abtrag – vermutlich zu einem nahezu totalen Verlust an Biomasse und der im Boden befindlichen Nährstoffe. Auf den gemulchten Flächen lag das gehäckselte Material aus dem Gehölzschnitt zu Beginn des 1. Jahres noch gut sichtbar auf der Bodenoberfläche (Abb. 2a), im Verlauf der nächsten Wochen setzte dann aber die Verrottung ein, wodurch dem System die Nährstoffe wieder zugeführt wurden (vgl. Käding & Petrich 2001). Die insgesamt gute Nährstoffverfügbarkeit und der Erhalt eines Großteils der vor der Maßnahme vorhandenen Pflanzen (insbesondere ausdauernde Kräuter oder Sträucher), war entscheidend für die rasche Vegetationsentwicklung. So entwickelte sich bereits im 1. Jahr wieder eine Strauchschicht aus den Stockausschlägen (Abb. 3a, b) und verschiedene *Rubus*-Arten konnten hohe Deckungswerte erreichen (Tabelle A1). Auf den Flächen mit teilweise Oberbodenabtrag hingegen gingen mit der Biomasse und dem Bodenmaterial zwar Nährstoffe verloren, allerdings nicht in vollem Umfang. Auf diesen Flächen konnte sich zwar noch keine Strauchschicht, aber eine dichte krautige Vegetation entwickeln (Abb. 4a,b), mit hohen Deckungswerten von *Juncus*- und *Carex*-Arten (Tabelle A1, vgl. Abb. 2d). Die Flächen wiesen deutliche Unterschiede insbesondere hinsichtlich der Vegetationsdeckung (Abb. 5a,b) und der Wuchshöhen (Abb. 5c,d) zu den Flächen mit komplettem Oberbodenabtrag auf. Die im Vergleich niedrige Vegetationsdeckung der Krautschicht auf den gemulchten Flächen im 2. Jahr (Abb. 4b) kann durch die Beschattung durch die sich entwickelnden Gehölze erklärt werden.

Bornkamm (1987) beschreibt, dass die Sukzession auf offenen lehmigen Böden mit einer kurzen annuellen Phase beginnt und nachfolgend von einer längeren perennen Phase abgelöst wird, bevor anschließend der Gehölzaufwuchs beginnt. Im vorliegenden Fall kamen auf den gemulchten Flächen keine kurzlebigen Arten (Therophyten) vor (Abb. 7). Auf den Flächen mit teilweise Bodenabtrag hingegen waren Therophyten wie *Juncus bufonius* oder *Galeopsis tetrahit* im ersten Jahr regelmäßig vertreten, was wiederum auf die Flächen mit komplettem Oberbodenabtrag nicht zutraf (Abb. 8b). Diese Flächen wiesen insgesamt einen sehr spärlichen Bewuchs (Abb. 2f, Abb. 5b) von ausdauernden Arten auf (Abb. 8b,d). Ob sich im weiteren Verlauf noch annuelle Arten in der Vegetationsperiode 2018 auf diesen Flächen ansiedeln oder es gleich zur Etablierung weiterer ausdauernder Arten kommt, müssen Folgeuntersuchungen zeigen.

Wie in Tabelle A1 zu erkennen ist, kamen auf den Maßnahmeflächen zahlreiche Magerkeits- und Säurezeiger vor, also Arten, für die potentielle Standorte entwickelt werden sollten. Die Zielart *Calluna vulgaris* kam bisher

mit nennenswerten Vorkommen ausschließlich auf den gemulchten Flächen vor, wobei die Deckungswerte auf beiden Dauerflächen rückläufig waren (Tabelle A1). Parallel dazu stieg die Deckung von Gehölzen wie *Rubus* spp., *Betula pendula* und *Frangula alnus* deutlich an (Tabelle A1, Abb. 4a,b). Daher ist zu befürchten, dass diese *Calluna*-Vorkommen durch die mit der voranschreitenden Gehölzentwicklung einhergehende zunehmende Beschattung bereits in den nächsten Jahren erlöschen. Auf den Flächen mit Oberbodenabtrag konnte *C. vulgaris* (noch) nicht belegt werden, sieht man von den einmaligen Nachweisen auf den Flächen B4 bis B6 ab (Tabelle A1), die allerdings durch den erneuten Bodenabtrag in diesem Bereich verloren gingen. Es bleibt abzuwarten, inwieweit sich die bereits vorhandenen *Rubus*-Individuen und Baumkeimlinge, u. a. von *B. pendula* und *F. alnus*, in den nächsten Jahren entwickeln werden. Auf den Flächen mit teilweise Oberbodenabtrag hat sich zudem bereits im zweiten Sukzessionsjahr eine krautige Vegetation mit bis zu 90 % Deckung (Abb. 4c,d) entwickelt. Die von dieser von Binsen und Gräsern dominierten Vegetation (s. Abb. 2d) ausgehende Beschattung sowie Platzkonkurrenz kann das Auskeimen lichtliebender Arten wie *C. vulgaris* ebenfalls beeinträchtigen (vgl. Siebel & Bouwma 1998, Hautier et al. 2009). Es ist davon auszugehen, dass die Etablierung dieser Art einen längeren Zeitraum in Anspruch nehmen wird, obwohl Mutterpflanzen in der näheren Umgebung vorkommen (vgl. Verhagen et al. 2001).

Für die Wiederbesiedlung von offenen Standorten sind neben den Standorteigenschaften die im Boden befindliche Samenbank, der Eintrag von Samen und damit das Vorkommen von Saatgutlieferanten in der Umgebung dieser Flächen von entscheidender Bedeutung (u. a. Krumbiegel et al. 1995, Bakker & Berendse 1999, Hölzel & Otte 2009). Im Gegensatz zu den gemulchten Flächen mit ungestörtem Oberboden ist die Samenbank der Flächen mit Oberbodenabtrag vermutlich vollständig bzw. zumindest in entscheidendem Maße verloren gegangen, so dass eine Besiedlung nur durch neu eingetragene Samen oder vegetativ ausgehend von Individuen benachbarter Flächen erfolgen kann. Abb. 4 und 5 zeigen, dass die Vegetationsentwicklung der Flächen mit Oberbodenabtrag im Vergleich zu den gemulchten Flächen (Abb. 3a,b; Abb. 4a,b) deutlich verzögert abließ. Aufgrund der Erfahrungen aus den Geländebegehungen kann gesagt werden, dass die auf den Versuchsflächen nachgewiesenen Pflanzenarten auf der Schneise und deren nähere Umgebung vorkamen, die Samen also keine sehr großen Entfernungen zurücklegen mussten. Unter diesen Arten war neben den Hemikryptophyten *Agrostis* spp. und *Juncus* spp. auch *Betula pendula* (Tabelle A1), die nährstoffarme Standorte über Windverbreitung rasch besiedeln kann (Müller & Rosenthal 1998).

Abschließend kann also festgestellt werden, dass insbesondere durch den Oberbodenabtrag eine Aushagerung der Standorte erreicht werden konnte. Es ist allerdings noch nicht absehbar, wann und ob sich auf diesen Flächen *Calluna vulgaris* und ihre Begleitarten etablieren können, da es – bedingt durch bereits etablierte Arten – zu für *C. vulgaris* ungünstigen, lichtarmen Verhältnissen kommen könnte.

6. Summary

In order to establish nutrient poor site conditions suitable for the development of *Calluna vulgaris* and other heathland species on the area of a high-voltage power line in the Freiburger Stadtwald, the following management measures were carried out after cutting the woody vegetation: shredding and mulching, partial and complete topsoil removal. The aim of the present study was to compare the vegetation development between the different management types. For this purpose, in 2017 11 permanent vegetation plots were examined weekly according to the method of Braun-Blanquet. Additionally, data from 2016 were included into the analysis. Results showed that the management type had a significant influence on the development of the vegetation. On all plots vegetation cover and plant height as well as the plant species number increased in the first year after the implementation of the management measures, but with a significant delay on the areas with complete topsoil removal. The most rapid development was observed on the mulched areas, because plants that existed before the cutting were able to shoot again. The occurrences of species such as *Deschampsia flexuosa* and *Agrostis capillaris* show that nutrient-poor site conditions could be established by topsoil removal. However, it is not yet predictable whether the seedlings of woody species which could be observed on all sites with topsoil removal may prevent or hamper the establishment of *Calluna vulgaris* due to increased shading. Furthermore, dense populations of grasses and *Juncus* species on the areas with partial soil removal may also negatively affect the establishment of *Calluna vulgaris*.

Danksagung

Unser Dank gilt dem NABU Freiberg sowie den Mitarbeitern des NSI Freiberg Dr. André Günther und Marko Olias für die Bereitstellung von Informationen zur Historie der Flächen und für die hilfreichen fachlichen Hinweise und Diskussionen. Des Weiteren möchten wir uns bei Franziska Messinger, Emely Assam und Christian Hecht bedanken, die 2016 die Dauerflächen anlegten und erstmalig vegetationskundlich erfassten und deren Datenmaterial in dieser Arbeit verwendet wurde.

7. Literatur

- Bakker, J. P. & Berendse, F. (1999): Constraints in the restoration of ecological diversity in grassland and heathland communities. *Trends in Ecology & Evolution* 14: 63-67.
- Bömer, W. & Haas, D. (2004): Stromtod von Vögeln: Grundlagen und Standards zum Vogelschutz an Freileitungen. *Ornithologische Mitteilungen* 67: 286-290.
- Bornkamm, R. (1987): Veränderungen der Phytomasse in den ersten zwei Jahren einer Sukzession auf unterschiedlichen Böden. *Flora* 179: 179-192.
- Braun-Blanquet, J. (1964): *Pflanzensoziologie*. Wien. 865 S.
- Dierschke, H. (1994): *Pflanzensoziologie*. Eugen Ulmer, Stuttgart, 683 S.
- Durka, W. & Ackermann, W. (1993): SORT – Ein Computerprogramm zur Bearbeitung von floristischen und faunistischen Artentabellen. *Natur und Landschaft* 68: 16-21.
- Ellenberg, H. & Leuschner, C. (2010): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht*. Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Ellenberg, H., Weber, H.E., Düll, R., Wirth, V., Werner, W. & Paulissen, D. (1992): *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*. *Scripta Geobotanica* 18: 258 S.
- Galinsky, B. & Keßler, S. (2018, unpubl.): Analyse der Entwicklung der hydrochemischen und ökologischen Parameter unterschiedlich alter Gewässer auf der Hochspannungstrasse im Stadtwald Freiberg. Praktikumsbericht, TU Bergakademie Freiberg, AG Biologie/Ökologie, Institut für Biowissenschaften.
- Gerisch, M. & Mißfeldt, T. (2018, unpubl.): Vegetationskundliche Analyse der Vegetationsentwicklung auf einer Hochspannungstrasse im Freiburger Stadtwald. Praktikumsbericht, TU Bergakademie Freiberg, AG Biologie/Ökologie, Institut für Biowissenschaften.
- Hautier, Y., Niklaus, P. A. & Hector, A. (2009): Competition for light causes plant biodiversity loss after eutrophication. *Science* 324: 636-638.
- Hecht, C., Messinger, F. & Assan, E. (2017, unpubl.): Vegetationskundliche und gewässerökologische Untersuchungen der Hochspannungstrasse im Freiburger Stadtwald. Praktikumsbericht, TU Bergakademie Freiberg, AG Biologie/Ökologie, Institut für Biowissenschaften.
- Hölzel, N. & Otte, A. (2009): Restoration of a species-rich flood meadow by topsoil removal and diaspore transfer with plant material. *Applied Vegetation Science* 6: 131-140.
- Käding, H. & Petrich, G. (2001): Mulchen von Grünland - eine Variante der Landschaftspflege. *Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau* 3: 105 S..
- Koleff, P., Gaston, K. J. & Lennon, J. J. (2003): Measuring beta diversity for presence-absence data. *Journal of Animal Ecology* 72: 367-382.
- Krumbiegel, A., Klotz, S., & Otte, V. (1995): Die Vegetation junger Ackerbrachen in Mitteldeutschland. *Tuexenia* 15: 387-414.
- McCune, B. & Mefford, M.J. (1999): *PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data, Version 4*. MJM Software Design, Gleneden Beach, 237 S.
- Müller, J. & Rosenthal, G. (1998): Brachesukzessionen - Prozesse und Mechanismen. *Berichte des Instituts für Landschafts- und Pflanzenökologie, Universität Hohenheim, Beiheft* 5 (1998): 103-132.
- Oberdorfer, E. (2001): *Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Deutschland und angrenzende Gebiete*. 8te, stark überarbeitete und ergänzte Aufl., Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Peck, J.E. (2010): *Multivariate analysis for community ecologists – step-by-step using PC-ORD*. Glenden Beach, Oregon.
- Raunkiaer, C. (1934): *The life forms of plants and statistical plant geography; being the collected papers of C. Raunkiaer*. Clarendon, Oxford.
- Richardson, M. L., Wilson, B. A., Aiuto, D. A., Crosby, J. E., Alonso, A., Dallmeier, F. & Golinski, G. K. (2017): A review of the impact of pipelines and power lines on biodiversity and strategies for mitigation. *Biodiversity and Conservation* 26: 1801-1815.
- Richert, E., Jodoin, R., Dreier, F. & Achtziger, R. (2018): Biotopausstattung der Hochspannungstrasse im Freiburger Stadtwald, Freiberg. *Freiberg Ecology online* 4: 21-29.
- Rothmaler, W. (2005): *Exkursionsflora von Deutschland – Gefäßpflanzen. Grundband (Band 2)*. 19. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, München.
- Schulz, D. (2013): *Rote Liste und Artenliste Sachsens - Farn und Samenpflanzen*. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.), Dresden, 310 S.
- Siebel, H.N. & Bouwma, I. M. (1998): The occurrence of herbs and woody juveniles in a hardwood floodplain forest in relation to flooding and light. *Journal of Vegetation Science* 9: 623-630.
- Smith, T. & Smith, R. (2009): *Ökologie*. 6te Aufl., Pearson, München, Boston.
- Snow, C.S.R., Marrs, R.H. & Merrick, L. 1997. Trends in soil chemistry and floristics associated with the establishment of a low-input meadow system on an arable clay soil in Essex. *Biological Conservation* 79: 35-41.
- Sørensen, T. (1948): A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. *Biologiske Skrifter* 5: 1-34.
- Verhagen, R., Klooker, J., Bakker, J.P. & van Diggelen, R. (2001): Restoration success of low-production plant communities on former agricultural soils after topsoil removal. *Applied Vegetation Science* 4: 75-82.

Anschriften der Autor(inn)en:

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

Rumberg, Christian: Paul-Müller Str. 52, 09599 Freiberg, E-Mail: crumberg@web.de

Röder, Maik: Erbsche Straße 2, 09599 Freiberg, E-Mail: maik.roeder@gmx.net

*Korrespondierende Autorin

