

# Vegetationskundliche Untersuchungen zur Revitalisierung des Hochmoores Stengelhaide in verbauten Entwässerungsgräben

## Vegetation analysis in dammed drains regarding the restoration of the raised bog Stengelhaide

Luise Janovsky, Anke Haupt, Roland Achtziger, Elke Richert

**Zusammenfassung:** Seit 2003 wurden im entwässerten Hang-Regenmoor Stengelhaide nahe des Erzgebirgskamms bei Reitzenhain (Erzgebirgskreis) 284 Dämme und Verfüllungen mit dem Ziel der Wasserrückhaltung und Moorrevitalisierung angelegt. 2022 wurden Vegetationsaufnahmen in den Stauflächen der verbauten Entwässerungsgräben durchgeführt, um die zeitliche Entwicklung der sich in den angestauten Gräben ansiedelnden Vegetation zu analysieren und Indikatoren für eine aus Sicht der Moorrevitalisierung günstige Grabenentwicklung zu identifizieren. Anhand der Vegetationserhebungen konnten 6 Grabentypen unterschieden werden. Diese zeigten unterschiedliche Entwicklungsstände von nicht entwickelten Anfangsstadien (G1) über mesotroph-sumpfige (G2 und G3) und nährstoffarm-heideähnliche (G5) bis zu zwischen- und hochmoorähnlichen Stadien (G5 und G6) an. Dabei konnten rund 30 % der Stauflächen als gut entwickelt (G5 und G6) eingestuft werden, während bei 11 % der Flächen noch keine Entwicklung (G1) zu beobachten war. Das Spektrum der vorhandenen Torfmoose entsprach zu fast 50 % dem der zwischen- und hochmoortypischen Arten. Es konnten zudem mehrere Indikatoren identifiziert werden, die eine Vorhersage über die Entwicklung neu angelegter Stauflächen zulassen. Eine günstige Grabenentwicklung ist bei eher flacheren und älteren Stauen zu erwarten, die ausreichend Nässe und Nährstoffarmut aufweisen. In der Stengelhaide war das vor allem in den östlichen Gebieten der Fall. Die Entwicklung der Stauflächen im Zentrum des Gebietes war durch erhöhten Nährstoffeintrag stark eingeschränkt, während die Flächen in den westlichen Gebieten eine starke Heterogenität aufwiesen.

**Schlüsselwörter/Keywords:** Erzgebirge, Hochmoor, Wiedervernässung, Erfolgskontrolle, Vegetationsanalyse/Ore Mountains, bog, rewetting, efficiency assessment, vegetation analysis

## 1. Einleitung

Hochmoore sind aus Sicht des Klima- und Naturschutzes sehr wichtige Ökosysteme. Zum einen bilden sie bedeutende CO<sub>2</sub>-Senken (lebende Hochmoore speichern etwa 300 kg C pro Hektar und Jahr, s. Dierßen & Dierßen 2001) und können als Wasserspeicher sowohl Starkregenereignisse als auch Trockenzeiten abpuffern (Eigner 1995). Zum anderen dienen Hochmoore als Lebensräume für zahlreiche Pflanzen- und Tierarten und bilden, u. a. aufgrund ihrer extremen Standortbedingungen (meist sauer und nährstoffarm), oftmals die letzten Refugien von hochgradig spezialisierten Arten (Dierßen & Dierßen 2001; Lehmann & Achtziger 2016; Slobodda 2016).

Im Erzgebirge wurden die Moore seit über 100 Jahren systematisch entwässert, um Torf abzubauen und um land- bzw. forstwirtschaftlich nutzbare Flächen zu schaffen (Männel 1896; Succow & Joosten 2001). Dies führte dazu, dass mittlerweile über 95 % der noch wachsenden Moore verloren gegangen sind (Edom & Wendel 2008; Wendel 2014). Als Gegenmaßnahme werden auch im Erzgebirge immer mehr Moore wiedervernässt. Eines dieser Moore ist das Hang-Regenmoor Stengelhaide im Erzgebirgskreis, in dem seit 1990 Revitalisierungsprojekte in Form von Grabenanstauen und -verfüllungen durchgeführt werden (Succow & Jeschke 2022). Bei der Revitalisierung werden die vorhandenen Entwässerungsgräben mit dem Ziel verbaut, dass sich in den angestauten Flächen Pflanzenarten der Zwischen- und Hochmoore ansiedeln. Wenn es in den aufgestauten Gräben zur Torfbildung kommt, breitet sich das Wasser auch in die Umgebung, also in die Bereiche zwischen den parallel verlaufenden Gräben aus, wodurch eine flächendeckende Wiedervernässung des Moores eingeleitet wird. In stark entwässerten Mooren bilden die Entwässerungsgräben zudem Refugien für wichtige Arten, die sich bei erfolgreicher Wiedervernässung wieder in die Umgebung ausbreiten können (Edom 2001; Wendel 2010).

In diesem Beitrag werden die Ergebnisse von vegetationskundlichen Untersuchungen in 284 aufgestauten Gräben der Stengelhaide präsentiert, die im Sommer 2022 im Rahmen einer Bachelorarbeit im Studiengang Geoökologie im Naturpark Erzgebirge/Vogtland durchgeführt wurden (Janovsky 2023, unpubl.). Ziel der Arbeit war es, die zeitliche Entwicklung der sich in den angestauten Gräben ansiedelnden Vegetation zu analysieren und Indikatoren für eine aus Sicht der Moorrevitalisierung günstige Grabenentwicklung zu identifizieren.

## 2. Untersuchungsgebiet

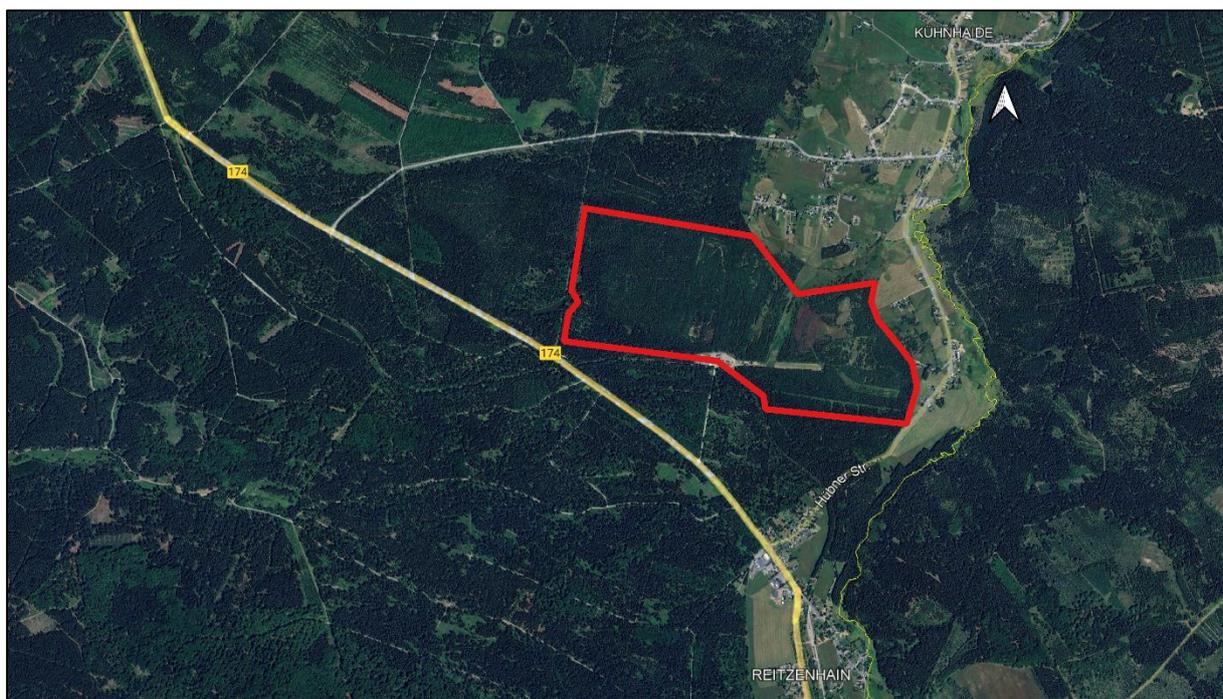
### 2.1 Lage und Standort Stengelhaide

Das Hangregenmoor Stengelhaide ist ein Teil des Reitzenhain-Kühnhaider Moorkomplexes in der Kühnhaider Verebnung und befindet sich an der B174 zwischen Reitzenhain und Kühnhaide nahe des Erzgebirgskammes auf einer Höhe von 730 bis 770 m über NN (Abb. 1; Schindler et al. 2008; Succow & Jeschke 2022). Die Stengelhaide wird im Süden durch den 1551 gebauten Zeuggraben und im Norden durch den Stinkenbach begrenzt. Die westliche Abgrenzung bildet der Reitsteig, während die östliche Abgrenzung durch die Hübner Straße zusammen mit den Ausläufern der Ortschaft Kühnhaide gebildet wird (Abb. 1). Am Südrand des Untersuchungsgebietes befindet sich das ehemalige Torfwerk Reitzenhain, an dessen Stelle sich seit 1998 eine Köhlerei befindet.

Das über 100 ha große Untersuchungsgebiet (UG) gehört zum Naturraum „Mittelerzgebirge“ (Mannsfeld & Richter 1995; Haupt & Opitz 2020). Das Grundgebirge bilden Rotgneise, die anstehenden Böden wurden überwiegend aus quartären Überdeckungen der pleistozänen Schuttdecken gebildet (Schindler et al. 2008). Während auf unvernässten Standorten wie Kuppen, Hängen, Rücken und Plateaus Braunerden und Braunpodsole anstehen, befinden sich in den nassen Mulden Torfauflagen (Schindler et al. 2008). Die Region Kühnhaide, in der sich das UG befindet, gehört zur Regionalausprägung „Schellerhauer Makroklimaform“ der forstlichen Klimastufe „Feuchte höhere Berglagen“ (Schindler et al. 2008). Der durchschnittliche Jahresniederschlag beträgt 927 mm, dazu kommt ein Nebelniederschlag von ungefähr 145 mm/a (Edom & Keßler 2006).

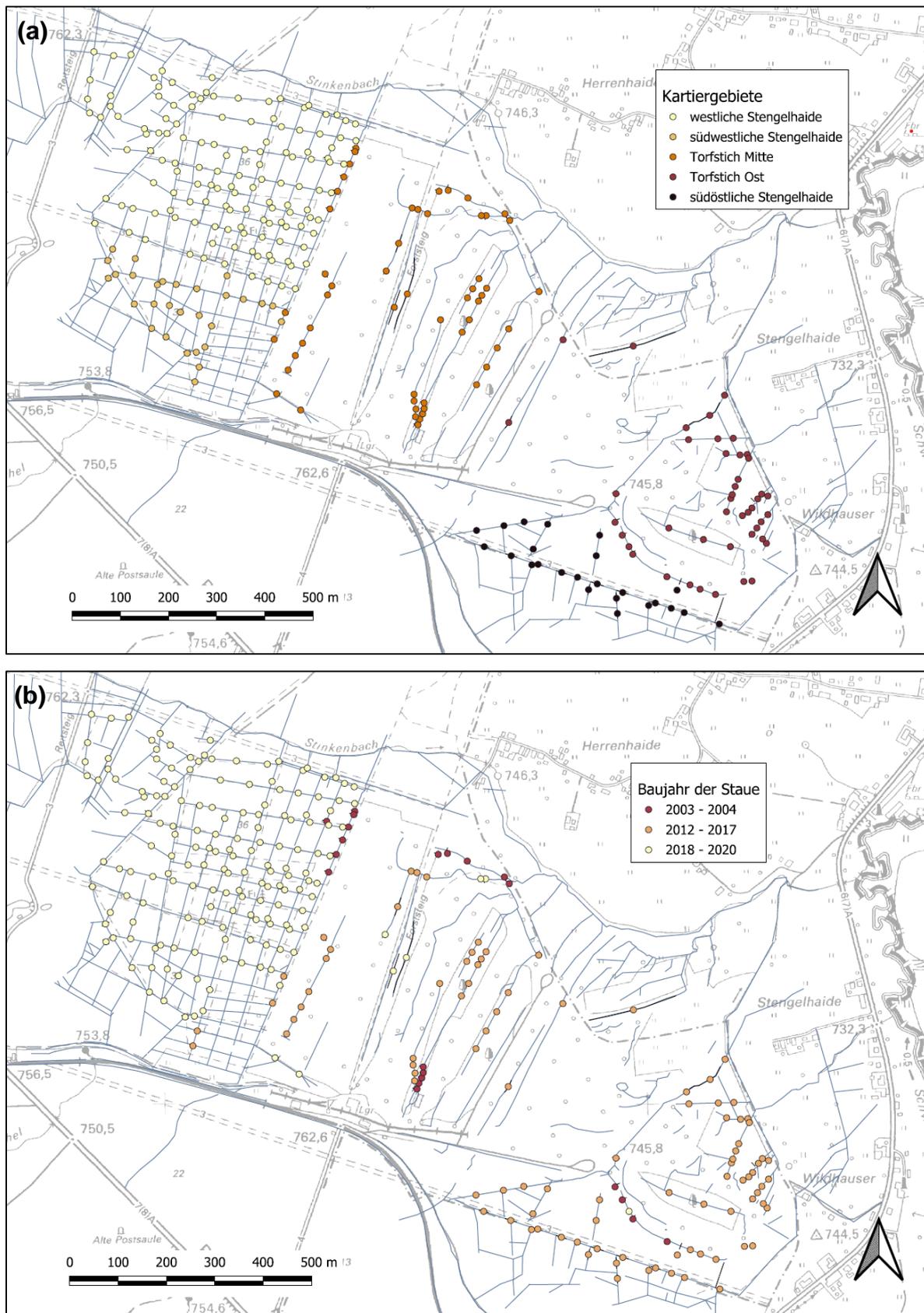
### 2.2 Lage der Untersuchungsflächen, PNV und aktuelle Vegetation

Im UG existieren 289 umgesetzte Maßnahmen zur Revitalisierung, davon 284 Dämme und Grabenverfüllungen (Succow & Jeschke 2022; Naturpark Erzgebirge/Vogtland 2022, unpubl.). Die Vegetationsaufnahmeflächen befanden sich in den Gräben direkt an den Dämmen in der Staufläche. Die Lage aller aufgenommenen Stauflächen ist in Abb. 2 dargestellt. In der Karte in Abb. 2a ist die Zugehörigkeit der Stauflächen zu den fünf Kartiergebieten der Stengelhaide farblich markiert, in der Karte der Abb. 2b sind die Baujahre der Maßnahmen dargestellt. Zu den westlichen Kartiergebieten gehören die westliche und die südwestliche Stengelhaide, die östlichen Kartiergebiete sind der Torfstich Ost und die südöstliche Stengelhaide. Zwischen diesen beiden Gebieten befindet sich der Torfstich Mitte. In Abb. A1-A3 im Anhang sind die Nummern der Stau gekennzeichnet.



**Abb. 1:** Lage der Stengelhaide (rot markiert) zwischen Reitzenhain und Kühnhaide (Quelle: Google Earth Image © 2024 Airbus, Aufnahmedatum 08.07.2023, bearbeitet von L. Janovsky).

**Fig. 1:** Location of the Stengelhaide (marked in red) between Reitzenhain and Kühnhaide (source: Google Earth Image © 2024 Airbus from 08.07.2023, edited by L. Janovsky).



**Abb. 2:** Lage der grabenanstauenden Dämme und Verfüllungen in der Stengelhaide (a) farblich markiert nach Zugehörigkeit zu den Kartiergebieten und (b) nach Baujahren der umgesetzten Maßnahmen (Kartengrundlage Hintergrund: GeoSN, Gräben und Stau: verändert nach Edom et al. 2009).

**Fig. 2:** Location of the dams and ditch plugs color-coded according to (a) the different areas of the Stengelhaide and (b) years of construction (map background source: GeoSN, ditches and dams: modified after Edom et al. 2009).

Die Stengelhaide besitzt zwei Wassereinzugsgebiete, von denen das eine vom Erlberg im Westen und das andere vom Stengelberg im Südosten ausgeht. Die Stengelhaide entwässert natürlicherweise in den Stinkenbach im Norden (Schindler et al. 2008).

Eine Besonderheit ist die Ablagerung von 13.500 t Frostschutzmaterial, das beim Bau der B174 vor 2002 Verwendung fand, im südlichen Bereich des Torfstichs Mitte (Schindler et al. 2008). Diese Ablagerung verhindert das Moorwachstum an dieser Stelle, fungiert als Wasserbarriere und erhöht den Nährstoffeintrag ins Moor (Zinke 2002, unpubl.).

Die Potentielle Natürliche Vegetation (PNV) des UG besteht in der westlichen, südwestlichen und südöstlichen Stengelhaide aus einem Beerstrauch-Fichten-Moorwald stark degradiertes, oligotropher Moorstandorte. Im Bereich des Torfstichs dagegen dominieren Wollreitgras-Fichtenwälder, die sich im Komplex mit Vegetation der bodensauren und offenen Zwischen- und Niedermoore sowie dem montanen Sumpfdotterblumen-Erlenwald befinden. Jedoch befinden sich auch im Torfstich Bereiche des Beerstrauch-Fichten-Moorwaldes, insbesondere an Stellen, an denen die Torfaufgabe nicht abgebaut wurde (Schindler et al. 2008). Da die PNV auf dem degradierten Zustand der Stengelhaide beruht, ist aufgrund der vielen vorgenommenen Wiedervernässungsmaßnahmen mittlerweile eine andere Entwicklung zu erwarten.

Die aktuelle Vegetation wird in der westlichen Stengelhaide von Fichten dominiert, während das Waldbild im Bereich des Torfstichs hauptsächlich von der Moorbirke und der Hängebirke geprägt wird (Schindler et al. 2008; Staatsbetrieb Sachsenforst 2023).

### 2.3 Historische Entwicklung bis heute

Die Stengelhaide war in ihrer Entwicklung bis zum Beginn der ersten Bergbauperiode im 11.-14. Jh. weitgehend ungestört. Seit 1551 führt der Zeuggraben durch die südliche Stengelhaide und seit ca. 1839 wurden gelegentlich kleine Torfstiche betrieben (Schindler et al. 2008). Vom Bau der engmaschigen Entwässerungssysteme, durch welche ab Anfang des 19. Jh. im Rahmen der geregelten Forstwirtschaft viele Moore stark entwässert wurden, blieb die Stengelhaide bis Anfang des 20. Jh. verschont. Bis zum Ende des ersten Weltkrieges war es eines der wenigen wohl erhaltenen Moore auf der sächsischen Seite des Erzgebirges. Die Stengelhaide zeichnete sich durch ein einzigartiges Rüllennetz aus. Nach Ende des ersten Weltkrieges wurde der Moorkiefernbestand gerodet und es wurden tiefe Entwässerungsgräben angelegt. Auch die Torfverarbeitungsfabrik mit Gleisanschluss wurde in dieser Zeit gebaut (Kästner & Flößner 1933). Ab 1947 wurde in der Stengelhaide großtechnisch Torf abgebaut, bis 1989 wurde der Ostteil komplett abgetorft und völlig zerstört. Dies betrifft die heutigen Gebiete Torfstich Mitte und Torfstich Ost. Die westliche Stengelhaide blieb vom Abbau verschont, nicht jedoch von der umfangreichen Entwässerung (Schindler et al. 2008; Succow & Jeschke 2022). Zusätzlich kam es im 20. Jahrhundert zu massiven Waldschäden durch Immissionen insbesondere von SO<sub>2</sub>, die 1960 begannen und etwa 1980 ihren Höhepunkt fanden (Schindler et al. 2008).

Nach Ende des Torfabbaus 1989/90 wurden verschiedene Rekultivierungsmaßnahmen umgesetzt (Abb. 2b; Lehmann & Achtziger 2016; Haupt & Opitz 2020): 1990 und 1992 wurden als erste Maßnahme Rekultivierungsbeete angelegt, 1993 folgte die Aufforstung der teilweise abgebauten nackten Torfflächen mit Moorkiefern. 2003 und 2004 wurden die ersten Gräben im Torfstich Mitte und Torfstich Ost mit Dämmen verbaut oder über längere Strecken verfüllt. In diesem Zeitraum wurde auch der Hauptabfluss verschlossen. Fast 10 Jahre später, von 2012 bis 2017, wurden in einem Großteil der Gräben im Torfstich Mitte, Torfstich Ost und in der südöstlichen Stengelhaide Dämme und Verfüllungen angelegt sowie das östliche Wassereinzugsgebiet wieder angeschlossen. 2018 und vereinzelt 2020 wurden in der westlichen und südwestlichen Stengelhaide und punktuell auch in der restlichen Stengelhaide die Gräben verbaut sowie das westliche Wassereinzugsgebiet wieder angeschlossen (s. Abb. 2b). Ein Großteil der westlichen Stengelhaide wurde langjährig im außerregelmäßigen Betrieb, also stark extensiv, forstwirtschaftlich genutzt (Schindler et al. 2008). Seit 2023 ist die gesamte Stengelhaide als natürliches Waldentwicklungsgebiet (NWE-Gebiet) ausgewiesen und aus der Nutzung genommen (Staatsbetrieb Sachsenforst 2023).

## 3. Methoden

### 3.1 Erfassungsmethoden

Die Begehung des Untersuchungsgebietes fand von Anfang August bis Anfang Oktober 2022 statt. Mit Hilfe der Karte zur Lage der Dämme und Auffüllungen (Abb. 2a) wurden diese aufgesucht und die Aufnahmeflächen zur Erfassung der Grabenvegetation auf einer Länge von 5 m, beginnend bei der Dammkrone und entgegen der Fließrichtung, abgesteckt. Die Breite der Aufnahmeflächen wurde durch die jeweilige Grabenbreite festgelegt. Die Stau W151 und W152 wurden wegen eines kreuzenden Quergrabens nur mit einer Staulänge von 4 m aufgenommen, der Stau PZ11 nur mit 2,50 m. Bei Grabenverfüllungen wurde das gleiche Prinzip jeweils am stauenden Ende der Verfüllung angewandt.

Innerhalb der Aufnahmeflächen wurden alle vorhandenen Gefäßpflanzen sowie die Torfmoosarten in der Grabensohle aufgenommen. Die Deckung der Arten wurde in Anlehnung an vorausgegangene Vegetationsaufnahmen in 2018 (Meyer & Klink 2018, unpubl.) in Prozentwerten aufgenommen, um eine Vergleichbarkeit der

Ergebnisse zu gewährleisten. Die Arten der Baumschicht wurden dabei nur aufgenommen, wenn die Individuen direkt in der Grabensohle wuchsen. Die Arten der Gattung *Betula* wurden aufgrund der möglichen Hybridbildungen (Parolly & Rohwer 2019) nur als *Betula* spec. bestimmt. Da die genaue Artbestimmung der Torfmoose im Feld nicht möglich war, wurde nur die Gesamtdeckung aller Torfmoose geschätzt. Die Artbestimmung der Gefäßpflanzen erfolgte mit Jäger (2017), nach welchem sich die Nomenklatur dieser Arten richtet.

Die Bestimmung der *Sphagnum*-Arten erfolgte nachträglich im Labor. Als Bestimmungsliteratur wurde Frahm & Frey (2004) verwendet, nach dieser Literatur richtet sich auch die Nomenklatur der *Sphagnum*-Arten. Da in einigen Staufflächen die Torfmoose außer Reichweite im Wasser wuchsen oder in zu geringer Menge vorhanden waren, konnten nicht immer alle Arten bestimmt werden.

### 3.2 Ökologische Tabellenarbeit und statistische Auswertung

Die Vegetationsaufnahmen wurden mittels vegetationsökologischer Tabellenarbeit mit dem Programm SORT (Durka & Ackermann 1998) ausgewertet (vgl. Dierschke 1994). Dabei wurden sowohl das Vorkommen der bestimmten *Sphagnum*-Arten ohne Deckungswert als auch die Gesamtdeckung der *Sphagnum*-Arten als „Sph. spp.“ eingegeben. Um die umfangreiche Vegetationstabelle übersichtlich zu halten, wurden die geschätzten Prozentwerte durch Code Replacement-Werte (Tabelle 1) ersetzt. Dabei wurden überwiegend Kategorien in 25 %-Schritten gebildet, nur für geringe und sehr häufige Abundanzen wurden kleinere Schritte gewählt, um diese Werte besser darstellen zu können. Zusätzlich wurde eine Stetigkeitstabelle mit den relativen Stetigkeiten der jeweiligen Arten pro Gesellschaft erstellt. Die Stetigkeitsklassen I-V geben dabei die relativen Stetigkeiten in 20 %-Schritten wieder (vgl. Tremp 2005).

In SORT wurden zusätzlich die mittleren Ellenberg-Zeigerwerte (vgl. Ellenberg et al. 2001), die Gesamtartenzahl und die Abundanzsummen (Summe der im Gelände erhobenen Deckungswerte pro Aufnahme) der Aufnahmeflächen berechnet. Die mittleren Zeigerwerte wurden ungewichtet berechnet, da für die einzelnen Torfmoosarten keine Deckung geschätzt werden konnte.

Die statistische Auswertung der Daten wurde mit der Statistik-Software R (v4.3.1, R Core Team 2023) vorgenommen. Für Mittelwertvergleiche bei nicht normalverteilten Daten wurde der Kruskal-Wallis-Test verwendet. Als Post-Hoc Test wurde der Dunn-Test durchgeführt. Die p-Werte wurden mit der Bonferroni-Holm-Methode korrigiert (Dinno 2015). Die Tests wurden mit den Paketen rstatix und FSA durchgeführt (v0.7.2, Kassambara 2023; v0.9.4, Ogle et al. 2023). Die grafische Ausgabe erfolgte in Box-Plots, die mit dem Paket ggplot2 (v3.4.2, Wickham 2016) erstellt wurden. Für die Untersuchung von Zusammenhängen innerhalb der Daten wurde die Spearman-Rangkorrelation für die mindestens ordinal skalierten und der exakte Fisher-Test (Fahrmeir et al. 2016) für die nominal skalierten Daten verwendet. Die Effektstärke des exakten Fisher-Tests wurde mit Cramers V berechnet. Die Signifikanzniveaus der Ergebnisse statistischer Tests werden folgendermaßen angegeben:

ns	$p \geq 0,05$ (nicht signifikant)
*	$p < 0,05$
**	$p < 0,01$
***	$p < 0,001$

Die statistischen Tests wurden mit den Paketen rstatix, rcompanion und correlation (v0.7.2, Kassambara 2023; v.0.8.4, Makowski et al. 2022; v.2.4.30, Mangiafico 2023) durchgeführt. Die zugehörigen Grafiken wurden mit dem Paket ggplot (v3.4.2, Wickham 2016) erstellt. Zur Veranschaulichung der Ähnlichkeiten der untersuchten Gräben hinsichtlich ihrer Artenzusammensetzung und der Schwerpunktorkommen ausgewählter Pflanzenarten wurden Ordinationen nach der Methode des Nonmetrical Multidimensional Scalings (NMS-Ordinationen) mit Hilfe der Software PC-ORD, Version 4.0 (McCune & Mefford 2011) durchgeführt.

**Tabelle 1:** Kategorien der für die Abundanzen verwendeten geschätzten Deckungswerte und die für quantitative Auswertungen verwendeten Code Replacement-Werte (CR).

**Table 1:** Categories of cover values used for abundances and the code replacement values (CR) used for the evaluations respectively.

Deckung in %	CR
0 – 4	1
5 – 14	2
15 – 25	3
26 – 50	4
51 – 75	5
76 – 95	6
96 – 100	7

## 4. Ergebnisse und Diskussion

### 4.1 Artenzusammensetzung der Grabenvegetation

#### 4.1.1 Gesellschaften und Grabentypen

Das Ergebnis der Tabellenarbeit ist in Tabelle A1 (Vegetationstabelle) und in kompakterer Form in der Stetigkeitstabelle (Tabelle A2) im Anhang dargestellt. Mit Hilfe der 284 Vegetationsaufnahmen wurden **14 Gesellschaften** mit charakteristischen Artenzusammensetzungen unterschieden. Diese sind in Tabelle A1 entsprechend ihrer Ähnlichkeit zur Hochmoorvegetation von links nach rechts angeordnet: Links in der Tabelle befinden sich die am weitesten degenerierten bzw. am wenigsten entwickelten (jungen) Flächen, nach rechts in der Tabelle treten zunehmend Arten der Zwischen- und Hochmoore hinzu, ganz rechts befinden sich die Flächen, die der ursprünglichen Hochmoorvegetation am ähnlichsten sind. Aufgrund der nur 51 in den Staufflächen nachgewiesenen Pflanzenarten und der Inhomogenität der Aufnahmeflächen ließen sich die einzelnen Gesellschaften nicht scharf gegeneinander abgrenzen. Dies ist an den zum Teil großen Streuungen der Arten in den Tabellen A1 und A2 zu erkennen. Für die Auswertung wurden die 14 Gesellschaften anhand ihrer Artenzusammensetzung und dem Vorkommen von charakteristischen Arten zu **sechs Grabentypen** zusammengefasst (s. Tabelle 2 sowie Tabelle A1 und A2), die im Folgenden charakterisiert werden.

#### (a) Grabentyp G1 – vegetationsfreier Typ

Dem „vegetationsfreien Grabentyp“ konnten zwei Gesellschaften zugeordnet werden (Tabelle A1/1-32). In allen Aufnahmen dieses Typs kamen kaum Arten und diese auch nur mit geringen Deckungswerten vor, sodass häufig eine offene Wasserfläche vorhanden war (vgl. Tabelle 2, G1). Bei zwei Aufnahmen der ersten Gesellschaft (Tabelle A1/1-26) wurde die Schwimmblattart *Lemna minor* als Zeiger für eutrophe Gewässer (Schubert et al. 2001) mit hohen Deckungswerten nachgewiesen. In zwei weiteren Gräben kamen mit geringer Deckung auf der Oberfläche schwimmende Algen (Art nicht bestimmt) vor. Der Rest der Gräben enthielt keinerlei Vegetation.

Auch die Gräben der zweiten Gesellschaft (Tabelle A1/27-32) des Grabentyps G1 waren annähernd vegetationsfrei. Am häufigsten kamen Torfmoose wie *Sphagnum cuspidatum* und *Sphagnum fallax* vor. In einem Graben kam zusätzlich das Süßgras *Agrostis stolonifera* vor. Keine der Arten erreichte eine Deckung von mehr als 5 %.

Die Aufnahmeflächen des Grabentyps G1 stehen in ihrer Entwicklung noch ganz am Anfang. Die Grabenverlandung hat bis jetzt noch nicht oder nur in geringem Maße eingesetzt. Sie bilden somit den Ausgangspunkt für die weitere Entwicklung der Gräben, die von zahlreichen Faktoren, u.a. der Stickstoffverfügbarkeit, Bodenreaktion und der Bodenfeuchte beeinflusst wird (s.u.). Zudem spielen auch das Artenspektrum der Umgebung sowie die Samenbank im Boden eine Rolle für die weitere Grabenentwicklung (vgl. Cronk & Fennessy 2001).

---

#### Nächste Seite / next page:

**Tabelle 2:** Übersicht über die Grabentypen (G) und deren zugehörige Gesellschaften (vgl. Tabelle A1, A2 im Anhang) mit Fotos jeweils eines typisch ausgeprägten Staus (Fotos: G1: W141, G2: W302, G3: W227, G4: W212, G5: W125, G6: W167; Fotos: L. Janovsky).

**Table 2:** Overview of ditch types (G) and their associated communities (see table A1, A2 in the appendix) with photos of a typically pronounced dam for each (photos: G1: W141, G2: W302, G3: W227, G4: W212, G5: W125, G6: W167; photos: L. Janovsky).

G	Grabentyp	Gesellschaft	Foto einer charakteristischen Staufläche
G1	<b>Vegetationsfreier Typ</b> Tabelle A1: Spalte 1-32 Tabelle A2: Spalte 1-2	1, 2	
G2	<b><i>Juncus effusus</i>-<i>Sphagnum girgensohnii</i>-Typ</b> mit Untertypen:	3, 4, 5	
G2a	<i>Sphagnum girgensohnii</i> -Untertyp	3	
G2b	<i>Molinia caerulea</i> - <i>Juncus effusus</i> -Untertyp	4	
G2c	<i>Glyceria fluitans</i> - <i>Juncus effusus</i> -Untertyp	5	
	Tabelle A1: Spalte 33-90 Tabelle A2: Spalte 3-5		
G3	<b><i>Juncus effusus</i>-<i>Carex canescens</i>-Typ</b> Tabelle A1: Spalte 91-148 Tabelle A2: Spalte 6-8	6, 7, 8	
G4	<b><i>Vaccinium myrtillus</i>-<i>Deschampsia flexuosa</i>-Typ</b> Tabelle A1: Spalte 149-199 Tabelle A2: Spalte 9-10	9, 10	
G5	<b><i>Carex canescens</i>-<i>Sphagnum fallax</i>-Typ</b> Tabelle A1: Spalte 200-252 Tabelle A2: Spalte 11-12	11, 12	
G6	<b><i>Eriophorum vaginatum</i>-<i>Sphagnum fallax</i>-Typ</b> Tabelle A1: Spalte 253-284 Tabelle A2: Spalte 13-14	13, 14	

### (b) Grabentyp G2 – *Juncus effusus*-*Sphagnum girgensohnii*-Typ mit Untertypen

Dem Grabentyp G2 wurden die in ihrer Artenzusammensetzung recht heterogenen Gesellschaften (Gesellschaft 3 (Untertyp G2a), Gesellschaft 4 (G2b) und Gesellschaft 5 (G2c), s. Tabelle A1/33-90; vgl. Tabelle 2, G2) zugeordnet. In allen drei Untertypen kamen die Nässe- und Staunässezeiger *Agrostis stolonifera* und *Juncus effusus* vor (Tabelle A2). Typische Zwischen- und Hochmoorarten kamen bis auf *Sphagnum fallax* in Grabentyp 2b nur vereinzelt vor. Dieser Grabentyp wies aufgrund seiner Heterogenität keinen einheitlichen Entwicklungsstand auf.

Grabentyp G2a (Tabelle A1/33-63) enthielt eine Reihe von Gräben mit Torfmoosen der nassen Wälder und Waldsümpfe. Am häufigsten war dabei *Sphagnum girgensohnii* vertreten, aber auch die Arten *S. russowii* oder *S. riparium* traten auf (vgl. Weddeling & Ludwig 2003; Frahm & Frey 2004). Vereinzelt wuchsen in den Gräben die Nässezeiger *Juncus effusus*, *Agrostis stolonifera* oder *Carex vesicaria*, welche auf stickstoffarme bis mäßig stickstoffreiche Standorte hindeuten (Ellenberg et al. 2001). Die Aufnahmen dieser Gesellschaft zeichneten sich durch generelle Artenarmut und eher geringere Deckungswerte aus und waren die am wenigsten entwickelten Aufnahmeflächen dieses Grabentyps.

In den Gräben des Grabentyps G2b (Tabelle A1/64-79) wurden besonders häufig das Pfeifengras *Molinia caerulea* als Magerkeits- und Wechselfeuchtezeiger (Licht 2022) und das Torfmoos *Sphagnum fallax* nachgewiesen. Beide Arten sind typisch für gestörte Nieder- und Hochmoore (Weddeling & Ludwig 2003; Meister & Liebert 2004; Licht 2022). *S. fallax* ist außerdem bedeutend für die Grabenverlandung und die Torfbildung im Erzgebirge (Wendel 2010). Daher kann diese Gesellschaft als die am weitesten entwickelte innerhalb des Grabentyps G2 eingestuft werden. Hier steht vor allem *Molinia caerulea* für gestörte Standorte, da diese Art durch Entwässerung und einen instabilen Wasserstand gefördert wird (Licht 2022).

Die Aufnahmeflächen von Grabentyp G2c (Tabelle A1/80-90) wurden von *Glyceria fluitans* geprägt, in drei Stauen kam zudem *Stellaria media* vor. Beide Arten sind ausgesprochene Stickstoffzeiger. Auch weitere Nährstoffzeiger wie *Epilobium palustre* und *Ranunculus repens* deuten auf eher eutrophe Standorte hin (Ellenberg et al. 2001). Sowohl in G2b als auch in G2c kamen die Nässezeiger *Agrostis stolonifera* und *Juncus effusus* häufiger vor (Tabelle A2). Dabei stellt Grabentyp G2c wohl den schlechtesten Entwicklungszustand dieses Grabentyps aus Sicht der Moorrevitalisierung dar, die vorhandene Vegetation ähnelte in ihrer Artenzusammensetzung (vgl. Tabelle A2) eher dem Verband der Flutrasen (vgl. Sturm et al. 2018) statt einem Zwischen- oder Hochmoor. *Sphagnum*-Arten fehlten zum großen Teil, stattdessen kamen Nährstoffzeiger wie *Glyceria fluitans* und *Ranunculus repens* vor. Das Entwicklungspotential dieser Aufnahmeflächen ist zudem eher gering, da der Nährstoffeintrag, der u.a. durch die in Kap. 2.2 beschriebenen Ablagerungen von Frostschutzmaterial besteht, eine Ansiedlung hochmoortypischer Arten mit teils oligotrophen Standortansprüchen verhindert.

### (c) Grabentyp G3 – *Juncus effusus*-*Carex canescens*-Typ

Dem Grabentyp G3 wurden die Gesellschaften 6, 7 und 8 (Tabelle A1/91-148) zugeordnet, deren Gräben durch das hochstete Vorkommen der Nässe- und Magerkeitszeiger *Carex canescens* und *Carex rostrata* geprägt wurden. Beide Arten gehören nach Succow & Joosten (2001) zur Vegetation der mesotroph-sauren Moore und gelten nach Wendel (2010) als mesotrophente Schlüsselarten (vgl. Kratochwil & Schwabe 2001) für die Moorregeneration im Erzgebirge. Häufige begleitende Arten waren die Zeiger für mesotrophe Verhältnisse *Agrostis stolonifera* und *Juncus effusus* (Licht 2022), die nur in Gesellschaft 6 nicht nachgewiesen werden konnten (Tabelle A2). Das Artenspektrum der Torfmoose in diesem Grabentyp entspricht dem der sumpfigen Wälder, wenngleich *Sphagnum riparium* als trockenheitsempfindliche Art dauerhafte Nässe in den Gräben anzeigt (Dierßen 1983).

In den Gesellschaften 6 und 7 (Tabelle A1/91-127) kam *Carex canescens* als typische Art der Zwischenmoore (Meier-Uhlherr et al. 2011) in fast allen Aufnahmen vor. Diese mesotrophente Art ist bedeutend für die Grabenverlandung und ein wichtiger Torfbildner im Erzgebirge (Wendel 2010). Das Spektrum der Torfmoose in diesen beiden Gesellschaften war durch Arten der nassen Wälder und Waldsümpfe wie *Sphagnum riparium* und *Sphagnum girgensohnii* geprägt, Arten der Zwischen- und Hochmoore wie *Sphagnum fallax* und *Sphagnum cuspidatum* waren selten. Außerdem kamen auf einigen Flächen Arten der bodensauren Wälder wie *Vaccinium myrtillus* und *Deschampsia flexuosa* vor (Tabelle A2). In Gesellschaft 8 (Tabelle A1/128-148) kam in allen Grabenstauen die mesotrophente Segge *Carex rostrata* mit teils hoher Deckung vor. Wie *Carex canescens* ist auch *Carex rostrata* bedeutend für die Grabenverlandung und die Torfbildung im Erzgebirge (Wendel 2010). Die Stetigkeiten von *Agrostis stolonifera*, *Juncus effusus* und *Carex canescens* waren im Gegensatz zu Gesellschaft 7 stark verringert. Die häufigste Torfmoosart war mit *Sphagnum fallax* eine Art der Zwischen- und Hochmoore (Weddeling & Ludwig 2003). *Sphagnum fallax* gilt in der Literatur allerdings nicht uneingeschränkt als positiver Indikator für die Moorregenerierung. Diese Torfmoosart tendiert dazu, auf mineralisch beeinflussten Standorten aufgrund der hohen Wachstumsraten zu Lasten artenreicher Torfmoosgesellschaften Massenbestände auszubilden (Baxter et al. 1990; Quinger & Siuda 2009). Dieser Effekt wird bereits von Kästner & Flößner (1933) und Hempel (1974) beschrieben: *S. fallax* überwallt durch seine höhere Wuchsgeschwindigkeit u.a. *S. cuspidatum*-Teppiche und bildet so artenarme Dominanzbestände aus. *Sphagnum fallax* wird u.a. durch Nährstoffeintrag durch z.B. Mineralbodenwasser oder anthropogene Luftbelastung auf Regenmoorstandorten gefördert (Pakarinen 1977).

Nichtsdestotrotz ist diese Art von großer Bedeutung für die Regenerierung von entwässerten Hochmoorstandorten, da ihr eine wichtige Funktion bei der Grabenverlandung zukommt. Zum anderen ist *S. fallax* in der Lage, den Wasserspiegel über mehrere Zentimeter kapillar anzuheben. Dadurch trägt sie stärker als einige andere Torfmoosarten wie etwa *Sphagnum girgensohnii* zur Wiedervernässung und zur Torfbildung bei (Ellenberg 1996; Wendel 2010).

Insgesamt lässt sich Grabentyp G3 anhand des Artenspektrums (Tabelle A2, Spalten 6-8) als mäßig gut entwickelt einstufen. Der Großteil der in den Flächen dieses Grabentyps vorkommenden Arten, wie z.B. *Juncus effusus* oder *Carex canescens*, zeigt zwar einen Mineralbodenwassereinfluss und damit eine höhere Nährstoffverfügbarkeit an, allerdings sind einige Arten davon Schlüsselarten für die Hochmoorregenerierung (Wendel 2010; Meier-Uhlherr et al. 2011). Die Flächen des Grabentyps G3 weisen ein relativ hohes Entwicklungspotential auf. Wenn *Sphagnum fallax* sich weiter ausbreitete und *Sphagnum cuspidatum* in größerem Umfang dazu käme, dann würden diese Flächen bereits eine hohe Ähnlichkeit zu dem Artenspektrum des *Carex-Sphagnum*-Typs (G5) aufweisen (vgl. Tabelle A1). Als limitierender Faktor für diese Entwicklung wirkt der Nährstoffeinfluss im Torfstich Mitte, in welchem sich eine größere Anzahl der Aufnahmeflächen des Grabentyps G3 befanden (s.u.). Dieser dürfte insbesondere die Ansiedlung des auf oligotrophe Bedingungen angewiesenen *Sphagnum cuspidatum* erschweren (Meister & Liebert 2004).

#### (d) Grabentyp G4 – *Vaccinium myrtillus-Deschampsia flexuosa*-Typ

Die Gesellschaften 9 und 10 wurden dem Grabentyp G4 (Tabelle A1/149-199) zugeordnet (Tabelle 2, G4). Dieser zeichnete sich durch das hochstete Vorkommen von *Vaccinium myrtillus* und der Begleitart *Deschampsia flexuosa* aus. Letztere Art ist typisch für stark ausgetrocknete und degradierte Moore (Wendel 2010). Die am häufigsten nachgewiesene Torfmoosart war *Sphagnum girgensohnii*. Diese drei Arten zeigen ein feuchtes, aber nicht nasses, bodensaures Nadelwaldregime an (Licht 2022). Die Flächen dieses Grabentyps kamen, wie die Geländebegehung gezeigt hat, entsprechend häufiger in stärker bewaldeten Gebieten vor. In Gesellschaft 9 (Tabelle A1/149-163) kam auf allen Aufnahmeflächen *Calamagrostis villosa* vor, während diese Art in Gesellschaft 10 (Tabelle A1/164-199) vollständig fehlte. *Sphagnum fallax* als typische Art der Zwischen- und Hochmoore kam in einer Reihe von Aufnahmen vor, jedoch nur selten gemeinsam mit *Sphagnum girgensohnii*. Innerhalb dieser Gesellschaft zeigte *S. fallax* besser entwickelte Moorbereiche an (vgl. Schindler et al. 2008). Seltener waren die oligotraphenten Arten *Sphagnum cuspidatum* und *Sphagnum capillifolium* (Wendel 2010). Das vermehrte Vorkommen von Bäumen in der Grabensohle ist ein Zeichen von höherer Trockenheit (Meier-Uhlherr et al. 2011). *Picea abies* und *Betula spec.* waren in der Baum-, Strauch- und Krautschicht der Grabensohle häufiger vertreten als in allen anderen Gesellschaften (Tabelle A2). Da Fichten nur bei starker Austrocknung auf nicht-randlichen Moorstandorten dominieren und Arten der Fichten-Moorwälder wie *Vaccinium oxycoccos* fehlen, entsprachen die Flächen dieses Grabentyps einem degradierten Fichtenmoorwald (vgl. Schindler et al. 2008; Wendel 2014).

Obwohl die Flächen dieses Grabentyps einen relativ degradierten Zustand darstellen, weisen sie ein gutes Entwicklungspotential auf. Das Artenspektrum zeigt ein eher saures und nährstoffarmes Regime an. Bei einer fortschreitenden Wiedervernässung würden bei ausreichend Wasser die nässeunverträglichen Arten wie *Vaccinium myrtillus* und die Bäume im Graben absterben und mehr Raum und Licht schaffen für die Ansiedlung und Ausbreitung von typischen Moorarten wie *Sphagnum fallax*. Dieser Prozess konnte im Gelände an einzelnen Stauen beobachtet werden (z.B. Stau W138, Abb. 3).

#### (e) Grabentyp G5 – *Carex canescens-Sphagnum fallax*-Typ

Die Aufnahmeflächen der Gesellschaften 11 und 12 (Tabelle A1/200-252), die dem Grabentyp G5 zugeordnet wurden, zeichneten sich durch das häufige Auftreten von *Sphagnum fallax* und *Sphagnum cuspidatum* aus. In Gesellschaft 11 (Tabelle A1/200-215) kamen zusätzlich die Torfmoosarten der feuchten Wälder *Sphagnum russowii* und *Sphagnum girgensohnii* (Frahm & Frey 2004) in einer Reihe von Aufnahmeflächen vor. Letztere Art verschwand in Gesellschaft 12, hinzu kam *Sphagnum riparium*. Gesellschaft 12 (Tabelle A1/216-252) wurde durch das hochstete Auftreten der mesotraphenten Art *Carex canescens* (Wendel 2010) in fast allen Aufnahmeflächen geprägt. Außerdem kam der Wechselfeuchte- und Störzeiger *Molinia caerulea* (Licht 2022) häufiger vor. Auch in dieser Gesellschaft wuchs *Betula spec.* häufiger in der Grabensohle.

Der *Carex-Sphagnum*-Typ (G5) lässt sich als bereits recht gut entwickelt einstufen. Es sind typische Arten der mesotroph-nährstoffarmen Zwischenmoore vorhanden, wohingegen Zeiger entwässerter Flächen wie *Juncus effusus* und *Agrostis stolonifera* (Meier-Uhlherr et al. 2011) weitgehend fehlen. Nur *Molinia caerulea* kam als Zeiger wechselnder Wasserstände (Licht 2022) noch häufiger vor. Mit *Sphagnum fallax* und *S. cuspidatum* sind wesentliche Torfbildner in der Mooschicht dominant, die außerdem in der Grabenverlandung eine wichtige Rolle spielen. Auch *Carex canescens* kommt eine wichtige Bedeutung für die Torfbildung und Grabenverlandung zu (Wendel 2010). Allerdings fehlen immer noch typische Arten der Hochmoore wie *Eriophorum vaginatum*. *Carex canescens* zeigt außerdem als minerotraphente Art den Einfluss von Mineralbodenwasser an, der auf reinen Regenmoorstandorten fehlt (Dierßen & Dierßen 2001).



**Abb. 3:** Staufläche des Staus W138 (G5, westliche Stengelhaide): (a) 2018 mit Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*) in der Staufläche (Foto: K. Meyer), (b) 2022 sind die Heidelbeeren durch Nässe verschwunden, Torfmoose wie *Sphagnum fallax* haben sich angesiedelt (Foto: L. Janovsky).

**Fig. 3:** Dam pool of dam W138 (G5, western Stengelhaide). (a) 2018 with blueberries (*Vaccinium myrtillus*) in the dam pool (photo: K. Meyer), (b) 2022 blueberries disappeared due to moisture, peat mosses such as *Sphagnum fallax* have established (photo: L. Janovsky).

Insgesamt entspricht dieser Grabentyp am ehesten den Hochmoorvorläufergesellschaften. Die oligotraphente Schlenkenart *Sphagnum cuspidatum* ist eine Pionierart junger Hochmoorkomplexe (Succow & Joosten 2001) und lässt sich zusammen mit *Carex canescens* in den Verband der Braunseggensümpfe, einer Hochmoorvorläufergesellschaft, einordnen (Schubert et al. 2001). Somit besteht für die Flächen dieses Grabentyps ein hohes Entwicklungspotential, da die Ausgangsbedingungen der Gräben bereits gut sind – das Artenspektrum spricht für ähnliche Standortbedingungen wie denen des Grabentyps G6, dem am besten entwickelten Grabentyp (s.u.). Aufgrund der hohen Ähnlichkeit zwischen den beiden Grabentypen würden sich die Flächen des Grabentyps G5 bei einer Ansiedlung von Hochmoorarten wie *Eriophorum vaginatum* zu denen des Grabentyps G6 zuordnen lassen.

#### **(f) Grabentyp G6 – *Eriophorum vaginatum*-*Sphagnum fallax*-Typ**

Die Gesellschaften 13 und 14 ließen sich zu Grabentyp G6 (Tabelle A1/253-284) zusammenfassen. Dieser Grabentyp wird durch das häufige Auftreten von *Sphagnum fallax* und *Eriophorum vaginatum*, einer oligotraphenten Kennart der Hochmoorbultengesellschaften (Schubert et al. 2001; Wendel 2010), geprägt. *Sphagnum cuspidatum*, *Sphagnum riparium* und *Carex canescens* waren mit geringeren Stetigkeiten ebenfalls in beiden Gesellschaften vertreten. Dieser Grabentyp lässt sich von allen Grabentypen als der am besten regenerierte Grabentyp einordnen.

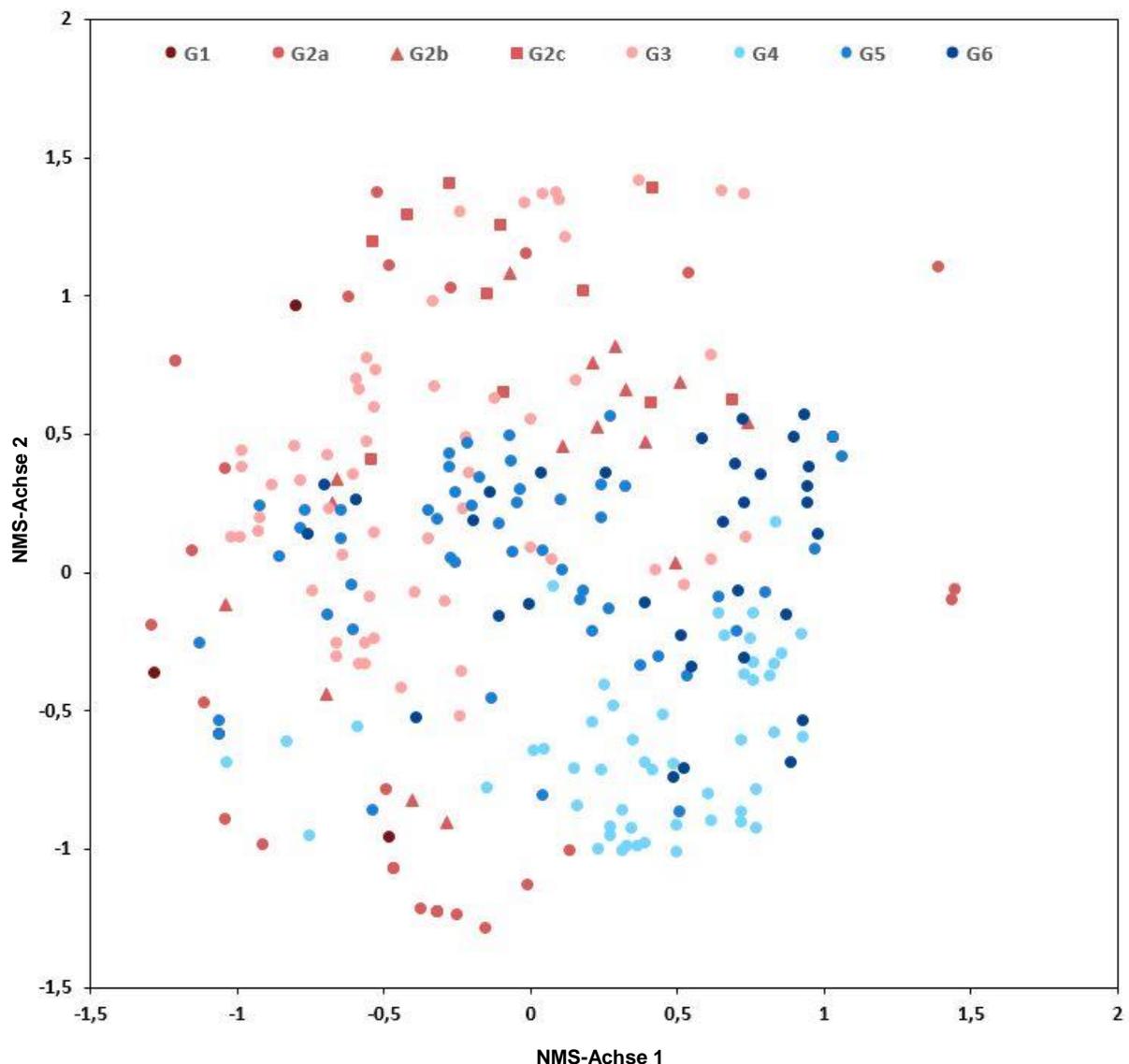
Gesellschaft 13 (Tabelle A1/253-267) unterschied sich von Gesellschaft 14 durch das Auftreten des Mineralbodenwasserzeigers *Eriophorum angustifolium* in allen 15 Aufnahmeflächen. *Eriophorum vaginatum* kam dazu ebenfalls häufig vor, außerdem war der Degradationszeiger *Molinia caerulea* in einer Reihe von Aufnahmen vorhanden (vgl. Meier-Uhlherr et al. 2011). *Eriophorum angustifolium*, *Sphagnum fallax* und *Sphagnum cuspidatum* sind Arten der Torfmoos-Wollgras-Gesellschaft, die zu den Pioniergesellschaften der Moorschlenken gehört und vor allem in mesotroph-sauren Mooren vorkommt (Schubert et al. 2001; Meier-Uhlherr et al. 2011). *Eriophorum angustifolium* ist häufig als letzte Art der Übergangsmoore noch in Hochmooren anzutreffen (Göttlich 1990).

In Gesellschaft 14 (Tabelle A1/268-284) kam *Eriophorum vaginatum*, eine für die Grabenverlandung und Torfbildung wichtige oligotraphente Art (Wendel 2010), in allen Aufnahmeflächen vor. Hier war *Sphagnum fallax*, eine Schlüsselart für die Moorregenerierung (Wendel 2010), das häufigste Torfmoos, weiterhin traten *Vaccinium myrtillus*, *Sphagnum cuspidatum* und *Carex canescens* häufiger auf. Diese Gesellschaft wies mit dem Auftreten der Torfbildner *Eriophorum vaginatum*, *Sphagnum cuspidatum*, *Sphagnum fallax* und *Carex canescens* (Wendel 2010) die meisten Arten der Zwischen- und Hochmoore auf (vgl. Meier-Uhlherr et al. 2011).

Dennoch fehlen auch im Artenspektrum des *Eriophorum*-*Sphagnum*-Typs noch wichtige Arten der Hochmoore wie *Andromeda polifolia*, *Vaccinium oxycoccos* oder *Sphagnum*-Arten der Hochmoorbulte wie *Sphagnum magellanicum* (Schubert et al. 2001). Weiterhin zeigt das Vorkommen von Stör- und Degradierungszeigern wie *Molinia caerulea* auf manchen Flächen immer noch instabile Verhältnisse an.

#### 4.1.2 NMS-Ordinierung der Staue anhand der Artenzusammensetzung

Zur Veranschaulichung der Ähnlichkeiten der untersuchten Grabenstaue bzgl. ihrer Artenzusammensetzung sind in Abb. 4 die Ergebnisse einer NMS-Ordinierung auf Basis der Code replacement-Werte aus Tabelle 1 dargestellt (für die *Sphagnum*-Arten nur Vorkommen, d.h. Code replacement-Wert 1, nur Gräben mit Vegetation). Analog zu Tabelle A1 lässt sich anhand der Vorkommen und Häufigkeit der Pflanzenarten eine Differenzierung in den oben vorgestellten Graben(unter)typen aus Tabelle 2 erkennen (Abb. 4). Dabei ist entlang der NMS-Achse 1 eine Entwicklung vom Anfangsstadium G1 (vegetationsfreier Typ) und den Übergangsstadien G2a-c (*Juncus effusus*-*Sphagnum girgensohnii*-Typ mit Untertypen) hin zu den Heide- und Hochmoorstadien G4 (*Vaccinium myrtillus*-*Deschampsia flexuosa*-Typ), G5 (*Carex canescens*-*Sphagnum fallax*-Typ) und G6 (*Eriophorum vaginatum*-*Sphagnum fallax*-Typ) zu erkennen. Entlang von NMS-Achse 2 zeigt sich eine Differenzierung entsprechend der Standortfaktoren Feuchte und Stickstoffversorgung, wobei G4 (*Vaccinium myrtillus*-*Deschampsia flexuosa*-Typ) als trockener Typ und G3 (*Juncus effusus*-*Carex canescens*-Typ) als relativ nährstoffreicher Grabentyp die beiden Gegenpole entlang der Achse bilden (Abb. 4).

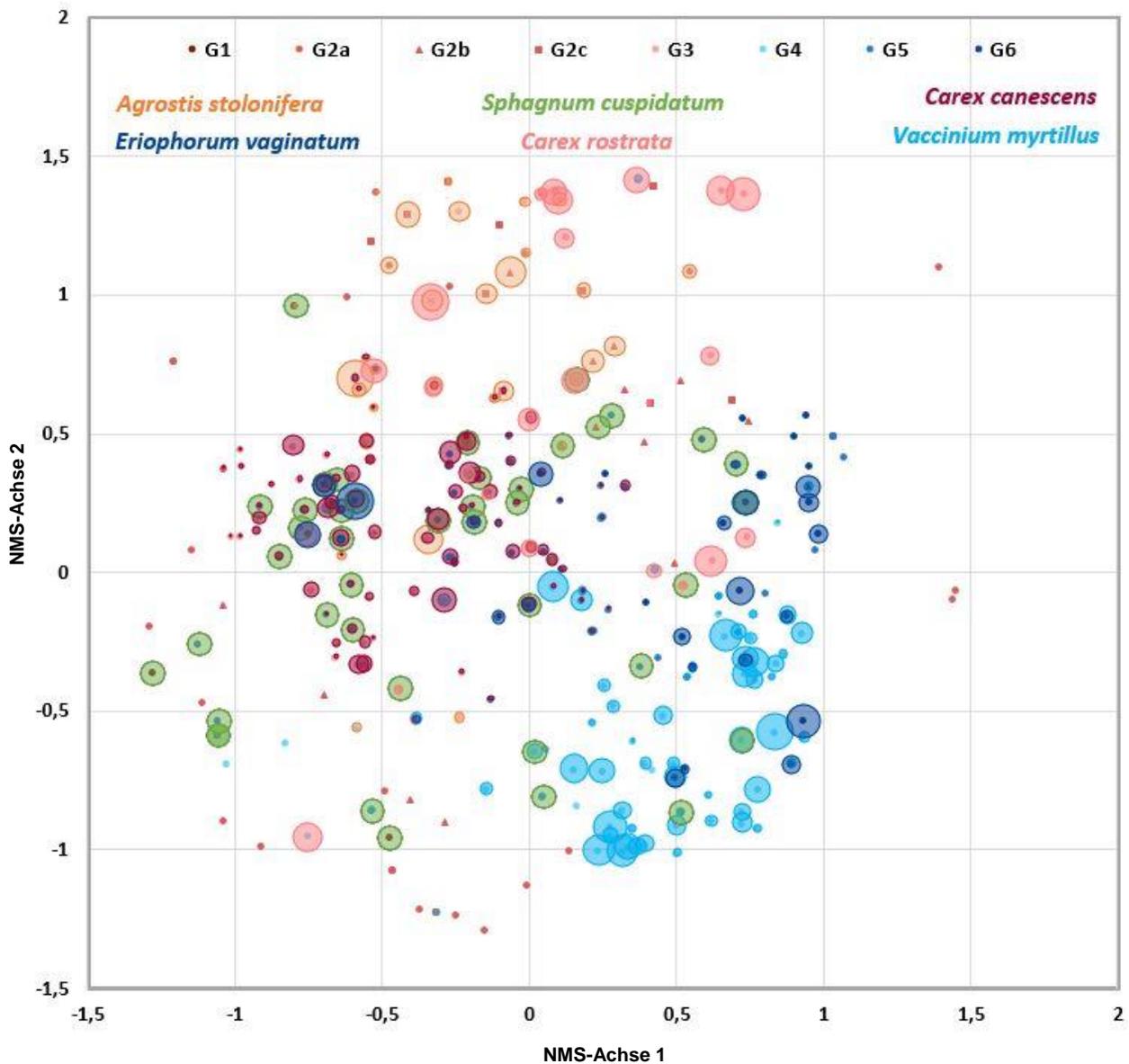


**Abb. 4:** Ergebnisse einer NMS-Ordinierung der Grabenstaue mit Kennzeichnung der Graben(unter)typen. Datengrundlage: Code replacement-Werte der Arten pro Aufnahme (Grabenstau), bei *Sphagnum*-Arten nur Vorkommen (Code replacement-Wert = 1). Definition der Grabentypen s. Tabelle 2.

**Fig. 4:** Results of a NMS ordination of the ditches with symbols according to ditch (sub) type. Data base were code replacement values of species per relevée (ditch dam), in the case of *Sphagnum* species only the occurrence was used (code replacement value = 1). Definition of the ditch types refer table 2.

In der NMS-Ordinierungsgrafik in Abb. 5 sind zusätzlich die Abundanzwerte (Code replacement-Werte) der indikatorisch bedeutsamen Pflanzenarten *Agrostis stolonifera*, *Sphagnum cuspidatum* (nur Vorkommen), *Carex canescens*, *Eriophorum vaginatum*, *Carex rostrata* und *Vaccinium myrtillus* in Form von Kreisen dargestellt. Entlang der NMS-Achse 2 zeigt sich dabei eine ähnliche Differenzierung wie in Abb. 4: Hier bilden *Vaccinium myrtillus* als trocken und nährstoffarm stehende Art und *A. stolonifera* und *C. rostrata* als mesotrophe, feucht bis nass stehende Arten die Gegenpole.

Wie in Kapitel 4.1.1 ausgeführt, zeigen die einzelnen Arten die unterschiedliche Entwicklung der Grabenstauer und Grabentypen an. Hierbei lassen sich die in Kap. 4.1.1 dargestellten Entwicklungspotentiale der Grabentypen und deren Untertypen visuell gut nachvollziehen. Die kaum bis schlecht entwickelten Grabentypen G1 und G2a-c können sich nach diesen Ergebnissen unter Zunahme von *A. stolonifera* und *C. rostrata* einerseits entlang der NMS-Achse 2 hin zu den nährstoffreicheren, sumpfähnlichen Flächen des Grabentyps G3 entwickeln (Abb. 5). Entlang NMS-Achse 1 ist hiernach eine Entwicklung entweder hin zu trockeneren, heideähnlichen Flächen mit *V. myrtillus* (Grabentyp G4) oder, im günstigsten Fall und bei genügend Feuchtigkeit, zu den zwischen- und hochmoorähnlichen Flächen der Grabentypen G5 und G6 mit *E. vaginatum* möglich.



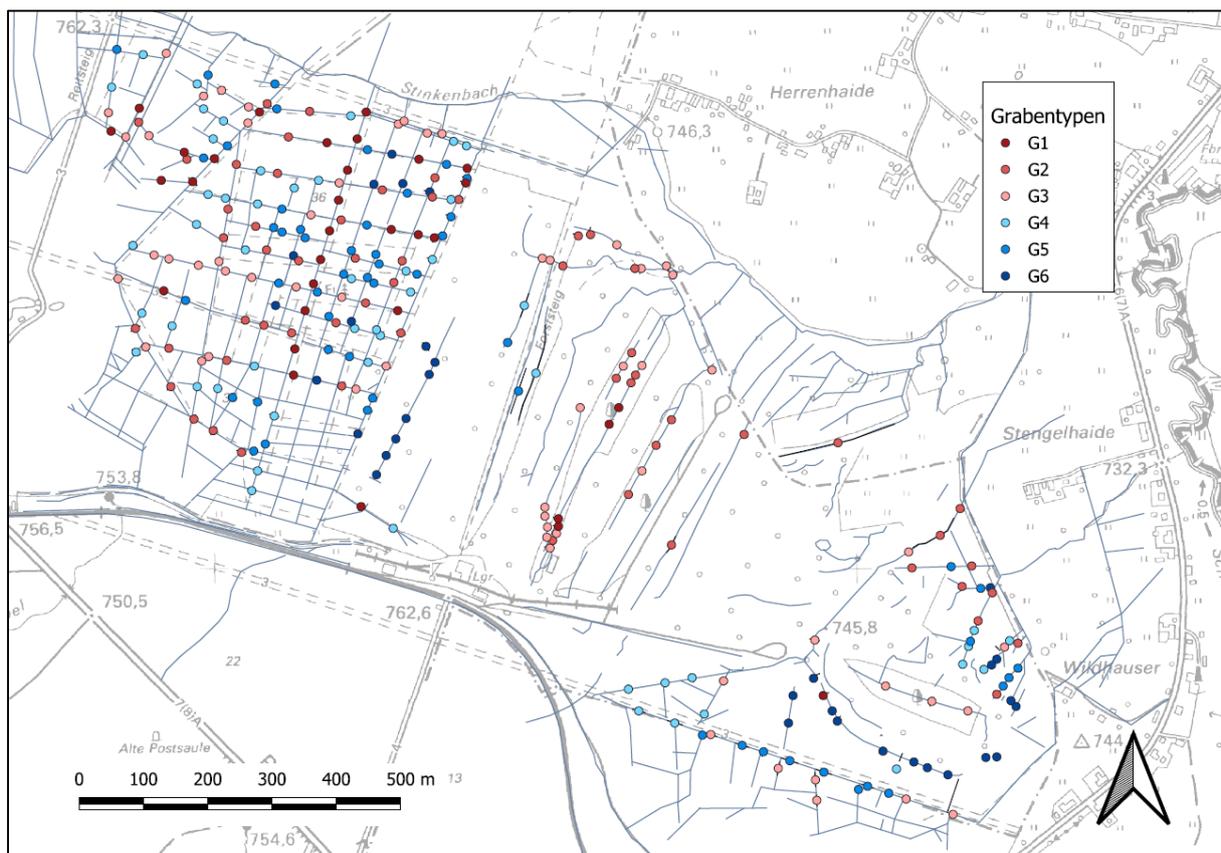
**Abb. 5:** Ergebnisse einer NMS-Ordinierung der Gräben mit Kennzeichnung der Graben(unter)typen wie in Abb. 4 sowie der Abundanz ausgewählter Pflanzenarten (Größe der Kreise). Datengrundlage: Code replacement-Werte der Arten pro Aufnahme (Grabenstauer), bei *Sphagnum*-Arten nur Vorkommen (Code replacement-Wert = 1). Definition der Graben-Typen s. Tabelle 2.

**Fig. 5:** Results of a NMS ordination of the ditches with symbols according to ditch (sub) type as in Fig. 4 and the abundance of selected plant species (size of the circles). Data base: Code replacement values of species per relevée (ditch dam), in the case of *Sphagnum* species only the occurrence was used (code replacement value = 1). Definition of the ditch types refer table 2.

## 4.2 Vergleich der Grabentypen

### 4.2.1 Vergleich der Grabentypen bzgl. ihrer Lage im Untersuchungsgebiet

Abb. 6 zeigt die räumliche Verteilung der Grabentypen in der Stengelhaide. Es wird deutlich, dass sich die Kartiergebiete (s. Abb. 2a) hinsichtlich des Vorkommens und der Häufigkeiten der Grabentypen voneinander unterscheiden: Der Anteil an Aufnahmeflächen, die sich den eher weniger entwickelten Grabentyp G1 bis G3 zuordnen ließen, war in der westlichen und südwestlichen Stengelhaide sowie im Torfstich Mitte am größten. Im Torfstich Ost und in der südöstlichen Stengelhaide waren die aus Sicht der Moorrevitalisierung eher gut entwickelten Grabentypen G5 und G6 häufiger. Die Aufnahmeflächen des vegetationsfreien Grabentyps (G1) lagen mehrheitlich in der westlichen Stengelhaide. Auffällig war hier die Verteilung der Flächen entlang des großen Süd-Nord-Grabens (Abb. 6). Der *Juncus-Sphagnum*-Typ (G2) war, außer in der südöstlichen Stengelhaide, im gesamten Untersuchungsgebiet zu finden. Die Aufnahmen des *Juncus-Carex*-Typs (G3) kamen ebenfalls im gesamten Gebiet vor, am häufigsten jedoch in der westlichen Stengelhaide und im Torfstich Mitte. Abb. 6 zeigt, dass der Torfstich Mitte östlich des Forststeiges nahezu vollständig durch Aufnahmeflächen der eher weniger entwickelten Grabentypen G1, G2 und G3 geprägt war. Der Grabentyp G4 (*Vaccinium-Deschampsia*-Typ) war ebenfalls in der gesamten Stengelhaide zu finden. Er hatte seinen Verbreitungsschwerpunkt in der westlichen und südwestlichen Stengelhaide, kam allerdings auch im südöstlichen Bereich häufiger vor. Die Aufnahmeflächen des *Carex-Sphagnum*-Typs (G5) kamen am häufigsten in der westlichen Stengelhaide vor, waren jedoch auch in der südöstlichen Stengelhaide vorhanden. Die Mehrzahl der Anstau entlang des Grabens auf einer Forstschneise, die das Gebiet durchzieht, ließen sich diesem Grabentyp zuordnen. Der Grabentyp G6 (*Eriophorum-Sphagnum*-Typ) kam mehrheitlich im Torfstich der Stengelhaide vor, dort vor allem im südlichen Teil des Torfstiches Ost und westlich des Forststeiges im Torfstich Mitte (Abb. 6).

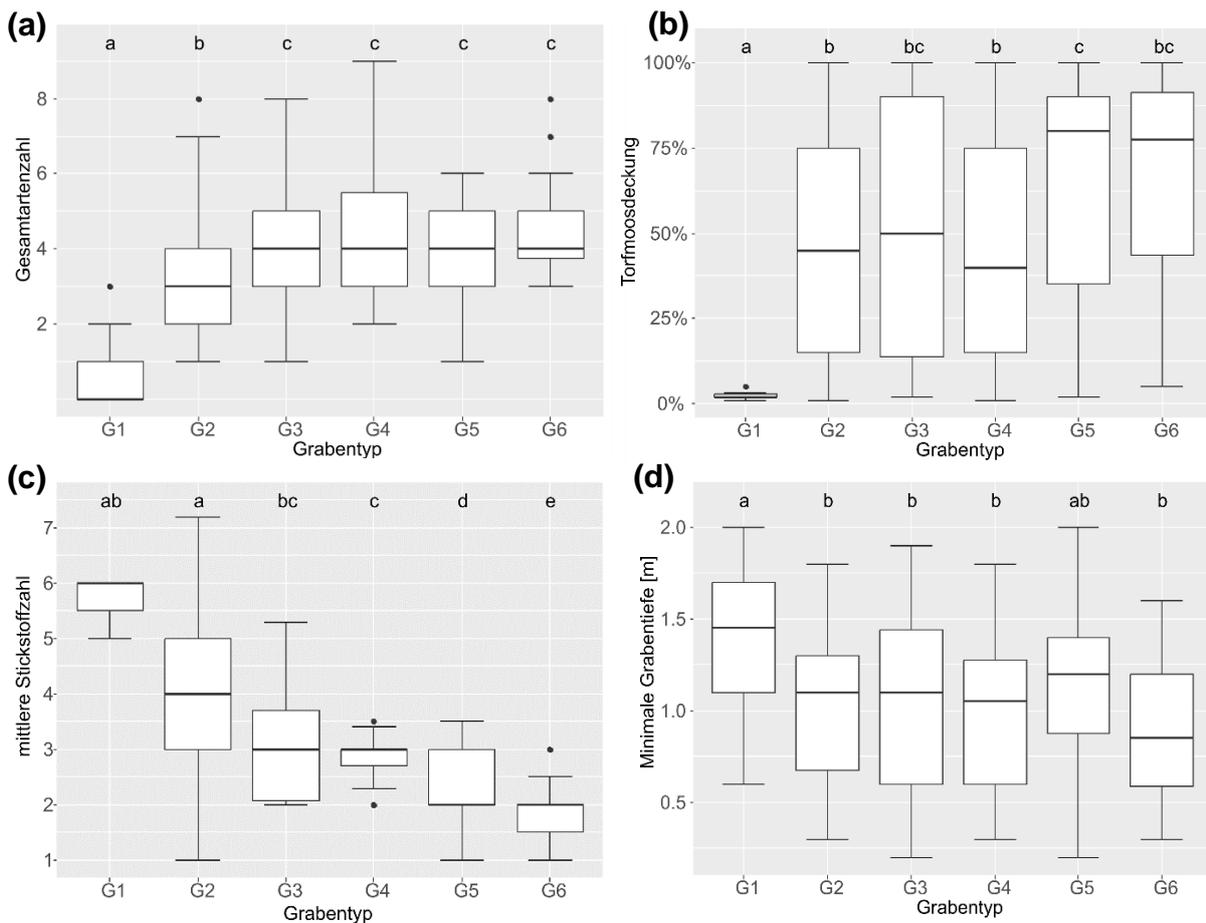


**Abb. 6:** Karte der Stau, farblich markiert sind die Grabentypen (vgl. Tabelle 2), denen die Stau zugeordnet wurden (Kartengrundlage Hintergrund: GeoSN, Gräben und Stau: verändert nach Edom et al. 2009).

**Fig. 6:** Map of the dams, the colours mark the type of drain (s. table 2) the dams have been categorised as (Map Background: GeoSN, drains and dams: modified after Edom et al. 2009).

#### 4.2.2 Vergleich der Grabentypen bzgl. ausgewählter Grabenparameter

Die Boxplots in Abb. 7 zeigen den Vergleich der Grabentypen bzgl. ausgewählter Vegetations- und Grabenparameter (vgl. Janovsky 2023, unpubl.). Der Vergleich der Grabentypen bezüglich der **Gesamtartenzahl** in Abb. 7a verdeutlicht die für Zwischen- und Hochmoore typische Artenarmut (Dierßen & Dierßen 2001). Es zeigte sich ein zunehmender Trend der Artenzahl vom vegetationsfreien Grabentyp (G1) zu Grabentyp G3, ab Grabentyp G3 stagniert die mittlere Artenzahl (Median) bei 4 Arten pro Aufnahme­fläche. Bezüglich der **Torfmoosdeckung** (Abb. 7b) lassen sich die Grabentypen grob in drei Gruppen einteilen: Grabentyp G1 wies mit annähernd 0 % kaum Torfmoosdeckung auf, die Deckung mit Torfmoosen in den Grabentypen G2-G4 bewegte sich im Mittel bei knapp unter 50 % während die Torfmoosdeckung der Grabentypen G5 und G6 im Mittel (Median) über 75 % lagen. Zu beachten ist jedoch, dass die Streuung der Deckungswerte der Torfmoose bei den Grabentypen G2-G6 sehr hoch ist. Dennoch ist der Trend deutlich und die Unterschiede zwischen einzelnen Grabentypen sind signifikant (Abb. 7b). Abb. 7c zeigt den Vergleich der Grabentypen bezüglich der ungewichteten **mittleren Stickstoffzahl**. Diese zeigt einen deutlich abnehmenden Trend vom vegetationsfreien Grabentyp (G1) mit mäßig stickstoffreichen bis stickstoffreichen Verhältnissen über die anderen Grabentypen bis zum *Eriophorum vaginatum-Sphagnum fallax*-Typ (G6) mit stickstoffarmen bis extrem stickstoffarmen Standortverhältnissen. Grabentyp G2 wies dabei entsprechend der heterogenen Artenzusammensetzung (s. Kap. 4.1.1.(b)) eine sehr hohe Streuung der Stickstoffwerte auf. Die hohe Torfmoosdeckung und die niedrigen Stickstoffzahlen der Grabentypen G5 und G6 bestätigen deren Einschätzung als aus Sicht der Moorrevitalisierung am besten entwickelte Grabentypen. Abb. 7d zeigt den Vergleich der Grabentypen hinsichtlich der **minimalen Grabentiefe**. Diese stellt den gesicherten Mindestwert der Grabentiefe dar, da bei der Erhebung der Daten (i.d.R. beim Bau der Maßnahme, in einigen Fällen jedoch erst nachträglich) bei knapp 30 % der Gräben aufgrund der bereits eingetretenen Wasser- und Schlammfüllung keine genauen Werte gemessen werden konnten. Es zeigt sich, dass die Grabentypen G2-G5 ähnliche Grabentiefen aufwiesen (Abb. 7d). Die Gräben des Grabentyps G1 waren mit ca. 1,2 m bis 1,7 m die signifikant tiefsten Gräben. Der Grabentyp G6 wies mit ca. 0,6 bis 1,2 m tendenziell die flachsten Gräben auf.



**Abb. 7:** Vergleich der Grabentypen bezüglich der (a) Gesamtartenzahl, (b) der Torfmoosdeckung, (c) der mittleren ungewichteten Stickstoffzahl und (d) der minimalen Grabentiefe. Unterschiedliche Buchstaben über den Boxplots kennzeichnen signifikante Unterschiede (Dunn-Test).

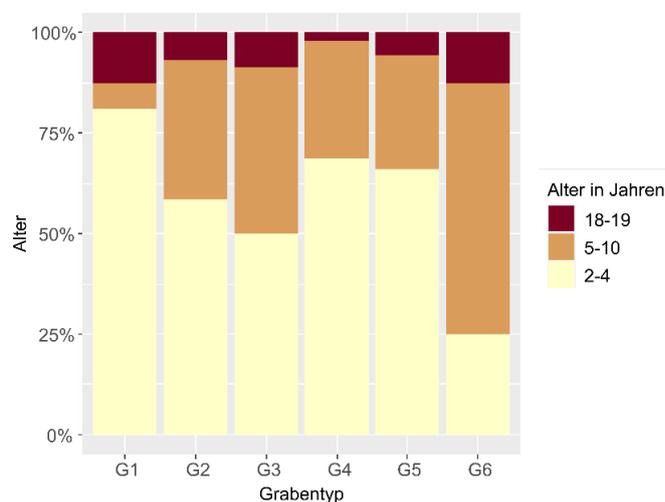
**Fig. 7:** Comparison of ditch types according to (a) species number, (b) coverage of *Sphagnum* species, (c) unweighted indicator value for nitrogen and (d) minimal ditch depth. Different letters above the boxplots show significant differences (Dunn test).

### 4.3 Faktoren für eine aus naturschutzfachlicher Sicht günstige Grabenentwicklung

Die vergleichende Analyse der Grabentypen zeigte, dass sich die Grabentypen G5 (*Carex canescens-Sphagnum fallax*-Typ) und insbesondere G6 (*Eriophorum vaginatum-Sphagnum fallax*-Typ) aufgrund der Artenzusammensetzung (Anteile hochmoortypischer Arten, s. Kap. 4.1.1, Abb. 5, 7b) und der vorherrschenden sauren und nährstoffarmen Standortbedingungen aus Sicht der Moorrevitalisierung und des Naturschutzes am günstigsten entwickelt haben. Dabei spielen verschiedene Faktoren eine Rolle für die Entwicklung der einzelnen Grabenstau: So konnte gezeigt werden, dass das Alter der Stau, die Lage im Untersuchungsgebiet und das Vorhandensein von Torfmoosen in den Gräben vor dem Bau der Stau sowie die Grabentiefe einen Einfluss auf die Entwicklung der Stau hatten (Janovsky 2023, unpubl.). Aufgrund von Interkorrelationen zwischen diesen Parametern, ist die Stärke des Einflusses der jeweiligen Parameter auf die Stauentwicklung nicht immer klar zu benennen. Es haben sich beispielsweise Stau besser entwickelt, in denen Torfmoose im Graben bereits vor dem Bau der Maßnahme vorhanden waren. Jedoch waren Torfmoose im Graben beim Maßnahmenbau in allen Kartiergebieten bis auf den Torfstich Mitte sehr häufig, welcher allerdings aufgrund des erhöhten Nährstoffeintrages (s. Kap. 2.2) schon von vornherein schlechtere Bedingungen für die Grabenentwicklung aufwies.

Dass die **Lage der Stau** in den jeweiligen Kartiergebieten mit der Grabenentwicklung zusammenhängt, zeigte sich bereits in Abb. 6. Für die unterschiedliche Entwicklung je nach Kartiergebiet gibt es verschiedene Gründe: So herrscht im Torfstich Mitte östlich des Forststeigs (vgl. Abb. 2a) das schon beschriebene Überangebot an Nährstoffen vor, weswegen dort verstärkt die Grabentypen G2 und G3 vorkamen. In den westlichen Kartiergebieten (westliche und südwestliche Stengelhaide, Abb. 2a) sorgt der dort vorherrschende Fichtenwald (Staatsbetrieb Sachsenforst 2023) für mehr Trockenheit, da Fichten das ganze Jahr bei entsprechenden Temperaturen über dem Gefrierpunkt dem Boden Wasser entziehen können (Andersson 2005). Außerdem erschwert der eher dunkle Fichtenwald die Ansiedlung schattenunverträglicher hochmoortypischer Arten wie *Eriophorum vaginatum* (Ellenberg et al. 2001). Weiterhin befanden sich in der westlichen und südwestlichen Stengelhaide mehr tiefe Gräben als in den anderen Kartiergebieten (Janovsky 2023, unpubl.). Bei den Geländebegehungen konnte beobachtet werden, dass die größten Gräben oft komplett mit Wasser gefüllt waren. Durch mögliche Wellenbildung auf größeren Wasserflächen bei Wind oder das Fließen von Wasser, was durch Überstauung nach Regenereignissen ausgelöst werden kann, siedeln sich hochmoortypische Arten nur sehr langsam an. In solchen überstauten Flächen kommen häufiger hochmooruntypische Wasserpflanzen wie *Lemna minor* (Lemmer & Graf 2016) in einigen Flächen des Untersuchungsgebietes vor (vgl. Tabelle A1). Andererseits konnte in einigen solcher Gräben bereits eine beginnende Verlandung z.B. mit *Sphagnum cuspidatum* beobachtet werden. In den östlichen Kartiergebieten, also im Torfstich Ost und der südöstlichen Stengelhaide (vgl. Abb. 2a), kamen häufiger gut entwickelte Grabentypen wie G5 und G6 vor (Abb. 6). Dies ist wahrscheinlich auf die lichtreicheren Bedingungen aufgrund des dort vorherrschenden lichten Birkenwalds bzw. der vorhandenen offenen Flächen ohne Baumbewuchs (vgl. Luftbild in Abb. 1) zurückzuführen. Außerdem waren die Gräben flacher als in den westlichen Kartiergebieten (Janovsky 2023, unpubl.), wodurch sich Arten in den Staufflächen leichter ansiedeln konnten. Weiterhin wurden Teile der südöstlichen Stengelhaide schon um 1970 aus der Nutzung genommen (Jürgens 2011), sodass dort die Regeneration der Flächen früher einsetzen konnte und typische Arten mehr Zeit hatten, sich anzusiedeln.

Abb. 8 zeigt den Einfluss des **Alters** auf die Grabentypen: Es wird deutlich, dass es sich bei den wenig entwickelten Aufnahmeflächen des vegetationsfreien Grabentyps (G1) zu über 75 % um junge, erst 2018 angestaute Gräben (2-4 Jahre alt) handelte. Dagegen waren die am besten entwickelten Flächen des *Eriophorum-Sphagnum*-Typs (G6) zu ca. 75 % ältere angestaute Gräben (5-10 Jahre alt oder älter, vgl. Abb. 8).



**Abb. 8:** Vergleich der Grabentypen hinsichtlich des Alters im Jahr 2022. Definition der Graben-Typen s. Tabelle 2.

**Fig. 8:** Comparison of ditch types according to the age in 2022. Definition of the ditch types refer to table 2.

Allerdings wird der Effekt des Grabenalters im Untersuchungsgebiet aufgrund der Kürze des Entwicklungszeitraumes vor allem in den westlichen Kartiergebieten von anderen Einflussfaktoren stark überlagert: Aufgrund der verschiedenen dort vorhandenen Bedingungen haben sich die Gräben sehr unterschiedlich entwickelt. So gab es zwar einerseits zahlreiche, wenig entwickelte Stau (G1-G3, Abb. 6), andererseits konnte sich bei geeigneten Bedingungen innerhalb von vier Jahren bereits eine teils beeindruckende Entwicklung vollziehen (s. Beispiel in Abb. 9). Die Stau in den östlichen Kartiergebieten hatten dagegen mehr Zeit sich zu entwickeln: Die Mehrzahl der Stau wurde zwischen 2012 und 2014 gebaut (s. Abb. 2b), sodass sich hier sehr wahrscheinlich auch Stau mit schlechteren Voraussetzungen besser entwickelt haben als das bei vergleichbaren Flächen in der westlichen Stengelhaide der Fall war.

## 5. Ableitungen für den Naturschutz

Insgesamt konnten rund 30 % der Stauflächen der Stengelhaide aus Sicht der naturschutzfachlichen Erfolgskontrolle als gut entwickelt (Grabentypen G5 und G6) eingestuft werden; etwa 11 % (Grabentyp G1) zeigten (noch) keine Entwicklung, waren also noch nicht verlandet oder zeigten kaum bis keine Vegetation. Das in den Stauflächen vorhandene Spektrum von *Sphagnum*-Arten deutet ebenfalls eine gute Entwicklung der Gräben an: Knapp 50 % der nachgewiesenen Arten sind typisch für Zwischen- und Hochmoorstandorte (Janovsky 2023, unpubl.) und ihr häufiges Auftreten spricht für das zweite und dritte Stadium der primären Moorkolonisation nach Gorham et al. (1985), welches sich nach Meister & Liebert (2004) auch auf die Regeneration von Moorstandorten übertragen lässt. Das erste Stadium bilden dabei trophisch anspruchsvollere Torfmoose wie *Sphagnum squarrosum*, welche nur sehr selten im Untersuchungsgebiet nachgewiesen werden konnten (vgl. Tabelle A1). Das zweite Stadium ist das *Sphagnum recurvum* (agg.)-Stadium. Diese Artengruppe umfasst die Arten *Sphagnum fallax*, *Sphagnum flexuosum* und *Sphagnum angustifolium* (Frahm & Frey 2004). Der hohe Anteil von *Sphagnum fallax* an den nachgewiesenen Torfmoosarten zeigt, dass dieses Stadium in der Stengelhaide sehr dominant ist. Auch andere Autoren haben bereits die Dominanz dieser Art in sich regenerierenden Zwischen- und Hochmooren festgestellt (z.B. Meister & Liebert (2004) in der Schwarzen Heide am Erzgebirgskamm). Bultbildende Arten wie *Sphagnum capillifolium* und Arten der Schlenken wie *Sphagnum cuspidatum* machen das letzte Stadium aus. Im Untersuchungsgebiet lassen sich vor allem die Stauflächen, in denen *Sphagnum cuspidatum* vorkam, in dieses Stadium einordnen. Bulttorfmoose konnten dagegen nur selten nachgewiesen werden (Tabelle A1). Auch Lemmer & Graf (2016) beobachteten bei ihren Untersuchungen, dass sich die Torfmoose der Schlenken als Pionierarten junger Hochmoorkomplexe zuerst ansiedelten, Bulttorfmoose dagegen häufig noch fehlten. Die Grabentypen G5 und G6 entsprechen mit ihrem Torfmoospektrum diesen letzten beiden Stadien.

Nach Janovsky (2023, unpubl.) lassen sich mehrere **Indikatoren** benennen, die die Entwicklung dieser Stadien und demzufolge auch der Grabentypen G5 und G6 stark begünstigen: Eine günstige Grabenentwicklung konnte vor allem in den eher flachen und älteren Stauflächen beobachtet werden. Weiterhin waren ausreichende Nässe und Nährstoffarmut wichtige Voraussetzungen für die Ansiedlung hochmoortypischer Arten wie *Sphagnum cuspidatum* oder *Eriophorum vaginatum*. Anhand dieser Punkte lässt sich die Stauentwicklung auch neu angelegter Stau in gewissem Maße abschätzen. Die Anlage von Staus in eher dunklen Fichtenwäldern wird tendenziell durch die starke Beschattung und den Wasserentzug durch die Bäume weniger erfolgsversprechend sein als die Anlage in wesentlich lichtreicheren und offeneren Flächen.



**Abb. 9:** Entwicklung des Staus W215 (G5, südwestliche Stengelhaide): (a) 2018 (Foto: K. Meyer), (b) 2022 (Foto: L. Janovsky): Innerhalb von vier Jahren konnte sich ein durchgehender Torfmoosteppich entwickeln.

**Fig. 9:** Development of dam pool W215 (G5, southwestern Stengelhaide): (a) 2018 (photo: K. Meyer), (b) 2022 (photo: L. Janovsky): Within four years a comprehensive cover of *Sphagnum* mosses could develop.

Letztendlich wird die Entwicklung aller Stau durch die sich ändernden klimatischen Bedingungen immer mehr erschwert. Mit der Klimaerwärmung werden die Winter wärmer und schneeärmer, sodass das Wasser aus dem Schnee nicht ausreichend Zeit hat, den Boden zu infiltrieren und es immer mehr Tage im Winter über 5°C gibt, an welchen die Fichten Wasser aufnehmen und zusätzlich zu den Gräben für eine Austrocknung sorgen. Im Sommer sorgen wärmere Temperaturen und weniger Niederschläge zusätzlich für mehr Trockenheit. Aufgrund dessen ist es unabhängig vom Erfolgsversprechen eines einzelnen Staus von großer Wichtigkeit, so viele Gräben wie möglich anzustauen. Da der Wasserspiegel in der Umgebung der Gräben erst steigt, wenn in den Gräben das Torfwachstum eingesetzt hat (Edom 2001), ist es unabdingbar zu versuchen, so viel Wasser wie möglich in den Gräben zurückzuhalten.

In zukünftigen Untersuchungen in der Stengelhaide wäre es von Interesse, die Vegetation in den Bereichen zwischen den Gräben aufzunehmen und so zu untersuchen, ob sich Zusammenhänge zu den gut entwickelten Grabentypen G5 und G6 identifizieren lassen. Dies könnte Rückschlüsse auf die mögliche Torfbildung in den Gräben dieser Grabentypen zulassen.

## 6. Summary

Since 2003 284 dams and ditch-plugs have been built in the drained bog Stengelhaide, which is located close to the ridge of the ore mountains near Reitzenhain (Erzgebirgskreis), in order to retain water in the landscape and to revitalise the bog. In 2022, to monitor the success of these measures, vegetation relevés have been conducted in the dam pools. The goal was to analyse the temporal development of vegetation and to identify indicators for a good drain development from the perspective of bog revitalisation. By analysing all relevés 6 ditch types could be identified. They represent different stages of development from not developed (G1) to mesotrophic swampy types (G2 and G3) to a nutrient-poor heathland type (G4) to the types that most closely resemble the vegetation of transitional mires and bogs (G5 and G6). In total, 30 % of the dam pools could be classified as well developed (G5 and G6) whereas in 11 % of the pools no development could be observed (G1). Almost 50 % of the occurring *Sphagnum* mosses could be identified as species typical for transitional mires and raised bogs. Additionally, multiple factors could be identified which allow predictions of the development of newly built dam pools. A positive development is to be expected when the pools are shallower, when there is enough water and when the nutrient availability is poor. Also, older dam pools are generally expected to be better developed than younger ones. In the Stengelhaide this was mostly the case in the eastern areas. The development of the dam pools in the centre of the Stengelhaide was strongly restricted by a high nutrient input whereas the dam pools of the western areas were quite heterogeneous in their development.

## Danksagung

Wir danken dem Naturpark Erzgebirge/Vogtland für die Möglichkeit, in der Stengelhaide im Rahmen eines Praktikums über 3 Monate die Daten zu erheben.

## 7. Literatur

- Andersson, F. (Hrsg.) (2005): Ecosystems of the World 6 – Coniferous Forests. Elsevier B. V., Amsterdam, 633 S.
- Baxter, R., Emes, M.J. & Lee J.A. (1990): The relationship between extracellular metal accumulation and bisulphite tolerance in *Sphagnum cuspidatum* Hoffm. New Phytologist 111: 462-472.
- Cronk, J.K. & Fennessy, M.S. (2001): Wetland Plants – Biology and Ecology. CLC Press LLC, Boca Raton (Florida), 462 S.
- Dierschke, H. (1994): Pflanzensoziologie. Grundlagen und Methoden. Ulmer, Stuttgart, 683 S.
- Dierßen, K. (1983): Zur Verbreitung und Soziologie von *Sphagnum riparium* Ångstr. in Mitteleuropa. Andrias 2: 9-22.
- Dierßen, K. & Dierßen, B. (2001): Ökosysteme Mitteleuropas aus geobotanischer Sicht: Moore. Ulmer, Stuttgart, 230 S.
- Dinno, A. (2015): Nonparametric pairwise multiple comparisons in independent groups using Dunn's test. The Stats Journal 15: 292-300.
- Durka, W. & Ackermand, W. (1998): SORT 4.0 – Ein Computerprogramm zur Bearbeitung von floristischen und faunistischen Artentabellen. Natur und Landschaft 68: 16-21.
- Edom, F. (2001): Moorlandschaften aus hydrologischer Sicht. In Succow, M. & Joosten, H. (Hrsg.): Landschafts-ökologische Moorkunde. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart: 185-228.
- Edom, F. & Keßler, K. (2006): Hydrologische Auswirkungen der Görkauer Straße auf das FFH-Gebiet „Mothhäuser Haide“. Im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie. HYDROTELM Frank Edom, Dresden & Dr. Dittrich & Partner Hydro-Consult GmbH, Bannewitz.
- Edom, F. & Wendel, D. (2008): Moore in Sachsen. In: Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (Hrsg.): Naturschutzgebiete in Sachsen. Dresden, S. 49-58.
- Edom, F., Keßler, K., Stegmann, H., Wendel, D., Dittrich, I., Münch, A. (2009): Hydrologisches und moorkundliches Gutachten zur Konkretisierung von Erhaltungs- und Entwicklungsmaßnahmen für das Moor Stengelhaide im FFH-Gebiet „Mothhäuser Heide“. Bericht im Auftrag des sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Dr. Dittrich & Partner Hydro-Consult GmbH Bannewitz, 75 S., 20 Anl.

- Eigner, J. (1995): Renaturierung von Hochmooren. Möglichkeiten und Grenzen nach 20-jähriger Erfahrung und wissenschaftlicher Begleitung. *Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft* 7: 189–217.
- Ellenberg H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen: In ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Ulmer, Stuttgart, 1095 S.
- Ellenberg, H., Weber, H., Düll, R., Wirth, V., Werner, W. (2001): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica* 18: 262 S.
- Fahrmeir, L., Heumann, C., Künstler, R., Pigeot, I., Tutz, G. (2016): Statistik – Der Weg zu Datenanalyse. Springer Spektrum Berlin, Heidelberg, 581 S.
- Frahm, J.-P., Frey, W. (2004): Moosflora. Eugen Ulmer GmbH & Co Stuttgart, 538 S.
- Gorham, E., Eisenreich, S.J., Ford, J., Santelmann, M.V. (1985): The chemistry of bog waters. In: Stumm, W. (Hrsg.): *Chemical processes in lakes*. John Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, S. 339-363.
- Göttlich K.-H. (1990): Moor- und Torfkunde. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart, 529 S.
- Haupt, A. & Opitz, T. (2020, unpubl.): Auswertung der Moorwasserstände im Moor Stengelhaide. Unveröff. Bericht, Naturpark „Erzgebirge/ Vogtland“, Schlettau, 20 S.
- Hempel, W. (1974): Die gegenwärtige Struktur und Vegetation der geschützten Hochmoore des Erzgebirges (Teil I). *Veröffentlichungen des Museums für Naturkunde Karl-Marx-Stadt* 8: 9-36.
- Jäger, E. (Hrsg.) (2017): Rothmaler – Exkursionsflora von Deutschland Gefäßpflanzen: Grundband. Springer Spektrum, Berlin, 930 S.
- Janovsky, L. (2023, unpubl.): Vegetationskundliche Untersuchungen zur Revitalisierung des Hochmoores Stengelhaide in verbauten Entwässerungsgräben. Bachelorarbeit Studiengang Geoökologie, in Kooperation mit dem Naturpark „Erzgebirge/Vogtland“, TU Bergakademie Freiberg, AG Biologie / Ökologie.
- Jürgens, A. (2011, unpubl.): Rekonstruktion der Nutzungsgeschichte des Torfstiches Stengelhaide als Grundlage für eine genauere Betrachtung des Sukzessionsgeschehens nach Torfabbau. Großer Beleg: TU Dresden, Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften.
- Kassambara, A. (2023): rstatix: Pipe-Friendly Framework for Basic Statistical Tests. R package version 0.7.2, <https://CRAN.R-project.org/package=rstatix>, abgerufen am 24.09.2023.
- Kästner M., Flößner, W. & Uhlig, J. (1933): Die Pflanzengesellschaften des westsächsischen Berg- und Hügellandes – 2. Teil: Die Pflanzengesellschaften der erzgebirgischen Moore. Verlag des Landesvereins Sächsischer Heimatschutz zu Dresden, 208 S.
- Kratochwil, A., Schwabe A. (2001): Ökologie der Lebensgemeinschaften: Biozönologie. Eugen Ulmer GmbH & Co, Stuttgart, 756 S.
- Lehmann, M. & Achtziger, R. (2016): Zikaden (Auchenorrhyncha) auf unterschiedlichen Regenerationsstadien des Hochmoorkomplexes „Stengelhaide“ bei Reitzenhain im Erzgebirge (Sachsen). *Mitteilungen des Naturschutzinstituts Freiberg*, Heft 9 / 2016: 25-61.
- Lemmer, M. & Graf, M. (2016): Wie erfolgreich verläuft die Renaturierung abgebauter Hochmoore? *Sphagnum*-Vorkommen auf 19 wiedervernässten Flächen in Niedersachsen. *TELMA* 46: 109-124.
- Licht, W. (2022): Zeigerpflanzen. Erkennen und Bewerten. Quelle & Meyer, Wiebelsheim, 528 S.
- Makowski, D., Wiernik, B.M., Patil, I., Lüdecke, D., Ben-Shachar, M.S. (2022): correlation: Methods for correlation analysis. R package version 0.8.3. <https://CRAN.R-project.org/package=correlation>, abgerufen am 24.09.2023.
- Männel, H. (1896): Die Moore des Erzgebirges und ihre forstwissenschaftliche und nationalökonomische Bedeutung mit besonderer Berücksichtigung des sächsischen Anteils. Inaugural-Dissertation, Universität München.
- Mannsfeld, K. & Richter H. (1995): Naturräume in Sachsen. *Forschungen zur Deutschen Landeskunde* 238. Zentralausschuß für deutsche Landeskunde, Selbstverlag, Trier, 228 S.
- Mangiafico, S.S. (2016): Summary and Analysis of Extension Program Evaluation in R, version 2.4.30, revised 2023. – Rutgers Cooperative Extension. New Brunswick, New Jersey. 802 S.
- McCune, B. & Mefford, M.J. (2011): PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data, Version 6. MjMSoftware, Gleneden Beach, Oregon, USA.
- Meier-Uhlherr, R., Schulz, C. & Luthardt, V. (2011): Steckbriefe Moorsubstrate. HNE Eberswalde (Hrsg.), Berlin, 154 S.
- Meyer, K. & Klink, M. (2018, unpubl.): Vegetationsaufnahmen in den Staufflächen der angestauten Gräben der Stengelhaide. Unveröff. Datensatz des Zweckverbands Naturpark Erzgebirge/ Vogtland.
- Meister, K. & Liebert, H.-P. (2004): *Sphagnum* – Schlüsselart zur Bewertung erzgebirgischer Hochmoore und Hochmoorreste. *Beiträge zum Naturschutz im Mittleren Erzgebirgskreis* 3: 40-50.
- Naturpark Erzgebirge/Vogtland (2022, unpubl.): Stengelhaide – Daten, Fotos und Vegetation (unpubl. Datensatz).
- Ogle, D.H., Doll, J.C., Wheeler, A.P. & Dinno A. (2023): FSA: Simple Fisheries Stock Assessment Methods. R package version 0.9.4, <https://CRAN.R-project.org/package=FSA>, abgerufen am 24.09.2023.
- Pakarinen, P. (1977): Element contents of Sphagna: variation and its sources. *Bryophytorum Bibliotheca* 13: 751-762.
- Parolly, G. & Rohwer, J.G. (Hrsg.) (2019): Schmeil-Fitschen – Die Flora Deutschlands und angrenzender Länder. Quelle & Meyer Verlag, Wiebelsheim, 980 S.
- Quinger, B. & Siuda, C. (2009). Moorrenaturierung kompakt – Teilbeitrag Naturschutz. Allgemeiner Teilbericht B: Vegetationsanalysen zu den Regenerationsflächen in den 28 bearbeiteten Mooregebieten. Allgemeine Gesamtbetrachtung mit Darstellung der methodischen Vorgehensweise. Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Augsburg.
- R Core Team (2023): R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.r-project.org/>, abgerufen am 23.09.2023.
- Schindler, T., Wendel, D., Landgraf, K., Richter, F., Schimkat, J., Lorenz, J. & Stolzenburg, U. (2008): FFH-Managementplan SCI DE5345-302 „Mothäuser Heide“. Unveröff. Abschlussbericht zum MaP im Auftrag des RP Chemnitz, Umweltfachbereich. 295 S., 18 Karten, 93 Tab., 22 Abb. (Mskr.).
- Schubert, R., Hilbig, W. & Klotz, S. (2001): Bestimmungsbuch der Pflanzengesellschaften Deutschlands. Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg, Berlin, 472 S.
- Slobboda, S. (2016): Moore als gefährdete Lebensräume. Ihre Bedeutung für den Landschaftshaushalt und Maßnahmen

- zu ihrer Erhaltung. In: Landesverein Sächsischer Heimatschutz e.V. (Hrsg.): *Bewahrung der Biologischen Vielfalt. Beispiele aus Sachsen*. Dresden, S. 47-60.
- Staatsbetrieb Sachsenforst (2023): QGIS Projekt Natürliche Waldentwicklung (NWE10), Geodatenbestand. <https://luis.sachsen.de/natur/nwe10.html>, abgerufen am 20.09.2023.
- Sturm, P., Zehm, A., Baumbach, H., von Brackel, W., Verbücheln, G., Stock, M. & Zimmermann, F. (2018): *Grünlandtypen – Erkennen, Nutzen, Schützen*. Quelle & Meyer Verlag, Wiebelsheim, 344 S.
- Succow, M., Jeschke, L. (2022): *Deutschlands Moore – Ihr Schicksal in unserer Kulturlandschaft*. Natur+Text GmbH Rangsdorf, 544 S.
- Succow, M., Joosten, H. (2001): *Landschaftsökologische Moorkunde*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 622S.
- Tremp, H. (2005): *Aufnahme und Analyse vegetationsökologischer Daten*. Eugen Ulmer, Stuttgart, 140 S.
- Weddeling, K., Ludwig, G. & Hachtel, M. (2003): 2. Die Moose (Bryophyta, Marchantiophyta, Anthoceroophyta) der FFH-Richtlinie. Abschnitt 2.14/Code 1409/Anhang V: *Sphagnum* L. spp. In: Bundesamt für Naturschutz Bonn (Hrsg.): *Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz (Band 69/1)*. Das europäische Schutzgebietssystem Natura 2000 – Ökologie und Verbreitung von Arten der FFH-Richtlinie in Deutschland. Band 1: *Pflanzen und Wirbellose*. Münster, S. 308-317 (weddeling.info, abgerufen am 24.09.2023).
- Wendel, D. (2010): *Autogene Regenerationserscheinungen in erzgebirgischen Moorwäldern und deren Bedeutung für Schutz und Entwicklung der Moore*. Dissertation, TU Dresden, Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften Tharandt. URL <https://core.ac.uk/download/pdf/236366459.pdf>.
- Wendel, D. (2014): *Moore im mittleren Erzgebirge*. In: Staatsbetrieb Sachsenforst (Hrsg.): *Moorrevitalisierung im Erzgebirge*. Abschlussbroschüre: *Revitalisierung der Moore zwischen H. Sv. Sebastiana und Satzung, Umsetzungsphase*. Pirna, S. 8-11.
- Wickham, H. (2016): *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag, New York, 260 S.
- Zinke, P. (2002, unpubl.): *Ergänzende hydrologische Untersuchungen zum Moorgebiet Stengelhaide/Torfwerk Reitzenhain*. Zweckverband „Naturpark Erzgebirge/Vogtland“, Schlettau (unveröff. Manuskript).

### **Anschriften der Autorinnen und Autoren:**

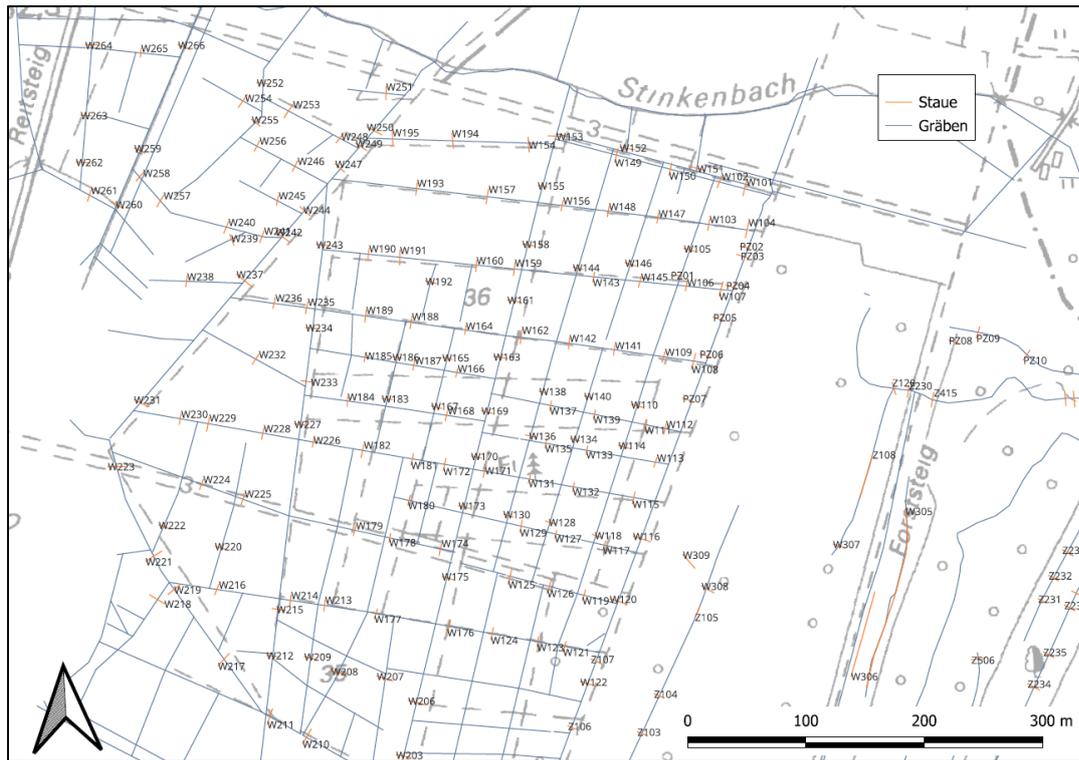
Luise Janovsky\*: E-Mail: [l.janovsky@web.de](mailto:l.janovsky@web.de).

Anke Haupt: Naturpark Erzgebirge-Vogtland, Außenstelle Erzgebirge, Naturschutzstation, Hinterer Grund 4a, 09496 Marienberg/OT Pobershau; E-Mail: [fachberatung-erzgebirge@naturpark-erzgebirge-vogtland.de](mailto:fachberatung-erzgebirge@naturpark-erzgebirge-vogtland.de).

Elke Richert, Roland Achtziger: TU Bergakademie Freiberg, Institut für Biowissenschaften, AG Biologie / Ökologie, Lessingstraße 45, 09599 Freiberg, E-Mail: [elke.richert@tu-freiberg.de](mailto:elke.richert@tu-freiberg.de), [roland.achtziger@tu-freiberg.de](mailto:roland.achtziger@tu-freiberg.de).

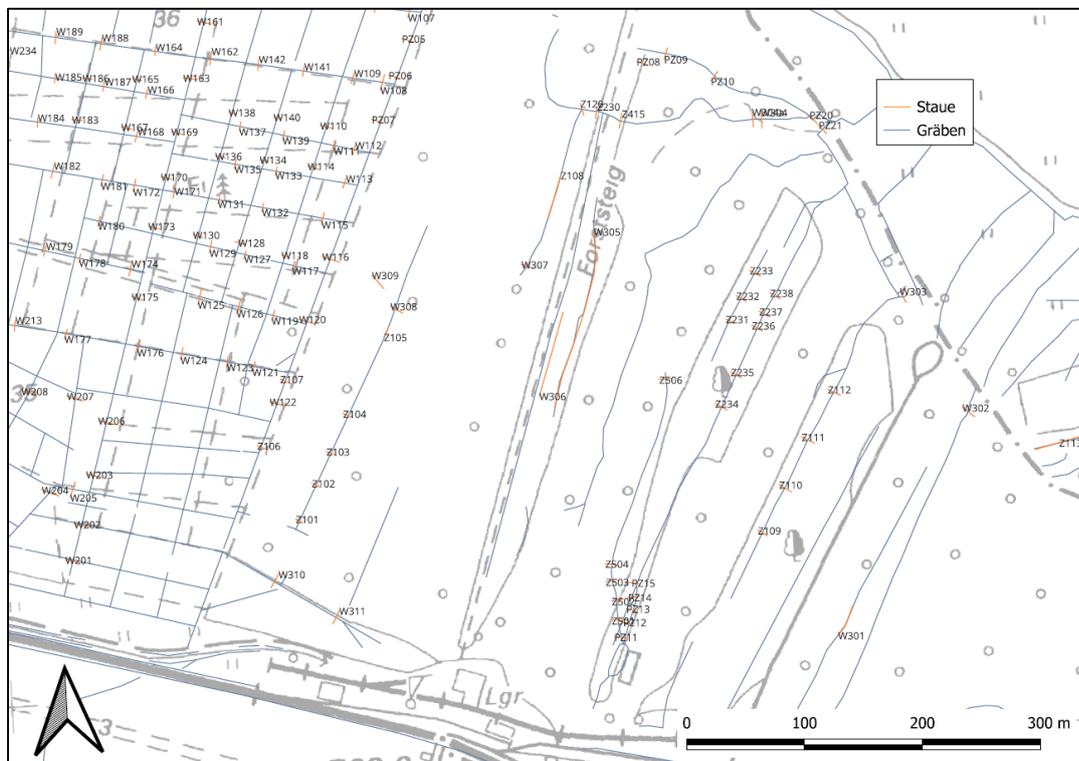
\*Korrespondierende Autorin

## ANHANG



**Abb. A1:** Lage der Anstau in der westlichen und südwestlichen Stengelhaide mit Staunummern beschriftet (Kartengrundlage Hintergrund: GeoSN, Gräben und Stau: verändert nach Edom et al. 2009).

**Fig. A1:** Location of the dams and ditch plugs in the western and south-western Stengelhaide labelled with the number of the dams (map background source: GeoSN, ditches and dams: modified after Edom et al 2009).



**Abb. A2:** Lage der Anstau im Torfstich Mitte mit Staunummern beschriftet (Kartengrundlage Hintergrund: GeoSN, Gräben und Stau: verändert nach Edom et al. 2009).

**Fig. A2:** Location of the dams and ditch plugs in the central peat-cutting labelled with the number of the dams (map background source: GeoSN, ditches and dams: modified after Edom et al 2009).





Tabelle A2: Stetigkeitstabelle der Gesellschaften, farblich markiert ist die Zugehörigkeit der Gesellschaften zu den Grabentypen.

Table A2: Frequency table of the plant communities, the colors mark the affiliation of the communities to the drain types.

Gesellschafts-Nummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Grabentyp	G1	G1	G2	G2	G2	G3	G3	G3	G4	G4	G5	G5	G6	G6
Aufnahmen pro Gesellschaft	27	6	30	16	11	12	25	21	15	36	16	37	15	17
Mittl. Alter in Jahren	6,6	4,0	5,0	7,3	10	5,3	6,4	8,6	7,3	4,6	4,6	6,7	8,7	8,7
Mittl. Sphagnum-Deckung [%]	1,0	2,5	41	65	18	61	50	49	37	48	66	65	53	78
Mittl. Artzahl Krautschicht	0,0	0,2	0,6	2,4	4,1	1,3	3,4	2,8	3,5	2,5	0,7	2,3	2,8	2,2
Mittl. AbS Krautschicht	0,07	0,33	5,5	49,2	65,1	22,17	37,1	57,7	33,5	41,1	1,63	28,0	55,6	32,59
<b>Zeiger für Degradierung</b>														
<b>nährstoffarm bis mäßig nährstoffreich</b>														
Juncus effusus	K	.	I	III	III	.	IV	II	I	I	.	I	I	I
Agrostis stolonifera	K	.	I	I	II	III	III	III	I	.	.	I	.	.
Calamagrostis epigejos	K	.	.	.	I	I	I	.	.	.	.	.	.	.
<b>nährstoffarm</b>														
Molinia caerulea	K	.	I	V	I	.	.	I	I	I	.	III	II	I
Deschampsia cespitosa	K	.	.	I	I	.	I	I	I	.	.	I	.	.
<b>Nässezeiger</b>														
<b>mesotroph</b>														
Glyceria fluitans	K	.	.	.	V	.	I	I	.	.	.	.	.	.
Stellaria media	K	.	.	.	II	.	I	.	.	.	.	.	.	.
Ranunculus repens	K	.	.	.	I	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Carex vesicaria	K	.	.	I	.	.	.	I	.	.	.	I	.	I
<b>nährstoffarm</b>														
Carex canescens	K	.	I	I	I	V	V	II	.	I	.	V	II	II
Carex rostrata	K	.	.	.	I	.	.	V	.	.	.	.	I	I
Carex nigra	K	.	.	I	I	.	I	I	.	I	.	.	I	.
<b>Arten bodensaurer nährstoffarmer Standorte (Moore, Heiden, Wälder)</b>														
Calamagrostis villosa	K	.	.	I	II	.	II	.	V	.	I	I	.	.
Vaccinium myrtillus	K	.	I	.	.	.	I	I	IV	V	II	I	I	III
Deschampsia flexuosa	K	.	I	.	.	.	I	I	III	II	I	I	I	I
Calluna vulgaris	K	.	.	I	.	.	I	.	.	I	.	.	I	I
Vaccinium vitis-idaea	K	.	.	.	.	.	.	.	.	I	I	I	.	.
Dryopteris carthusiana	K	.	.	.	.	.	.	.	I	I	.	.	.	.
Trientalis europae	K	I	.	.	.	.	I	.	I	.	.	.	.	.
<b>Gehölze</b>														
Picea abies	K	.	.	.	.	I	I	.	I	III	I	I	.	I
Picea abies	B	.	.	.	.	.	.	.	I	I	.	I	.	.
Picea abies	S	.	.	I	.	.	.	.	.	I	.	.	.	.
Betula sp.	B	.	I	I	I	I	I	I	I	II	I	I	I	II
Betula sp.	S	.	.	.	.	.	I	I	.	I	.	.	I	I
Betula sp.	K	.	.	I	I	I	I	I	.	II	I	I	I	.
Sorbus aucuparia	K	.	.	.	.	.	.	.	I	.	.	.	.	.
<b>typische Zwischen- und Hochmoorarten</b>														
Eriophorum angustifolium	K	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I	V	I
Eriophorum vaginatum	K	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I	III	V
Sphagnum fallax	M	I	II	.	III	II	.	I	III	I	II	IV	IV	IV
Sphagnum cuspidatum	M	I	IV	.	I	.	.	I	.	I	III	III	I	II
Sphagnum rubellum	M	.	.	.	.	I	.	.	.	.	.	.	.	.
<b>Torfmoose der Zwischenmoore und Waldsümpfe</b>														
Sphagnum girgensohnii	M	I	I	III	I	.	III	II	II	II	II	I	I	II
Sphagnum fimbriatum	M	I	.	.	I	I	.	I	I	I	.	II	I	II
Sphagnum riparium	M	I	.	I	I	.	IV	II	I	I	I	II	I	II
Sphagnum russowii	M	I	I	I	I	.	I	I	I	.	I	I	I	.
Sphagnum capillifolium	M	I	I	I	I	.	.	.	.	I	.	.	.	I
Sph.spec	M	II	.	II	.	I	I	I	.	I	.	.	.	.
Sphagnum flexuosum	M	.	.	I	.	.	.	.	.	.	.	I	I	.
Sphagnum squarrosum	M	.	.	.	.	.	.	I	I	.	.	.	.	.
Sphagnum palustre	M	I	.	.	.	.	I	.	.	.	.	.	.	.
Sphagnum angustifolium	M	.	.	.	I	.	.	.	I	.	.	.	.	.
<b>Gattung Sphagnum und Polytrichum</b>														
Sph.spp.	M	I	V	IV	V	III	V	V	III	IV	V	V	V	V
<b>Schwimblattvegetation /Eutrophierungszeiger</b>														
Lemna minor	W	I	.	.	.	I	.	I	I	.	.	.	.	.
Algen	W	I	.	I	.	.	I	I	.	.	I	I	I	.
<b>Sonstige Arten</b>														
Carex brizoides	K	.	.	I	I	I	.	.	I	.	.	.	.	.
Epilobium palustre	K	.	.	.	.	I	.	.	.	.	.	.	.	.
Urtica dioica	K	.	.	.	.	I	.	.	.	.	.	.	.	.
Epilobium angustifolium	K	.	.	.	.	I	.	.	.	.	.	.	.	.
Alopecurus geniculatus	K	.	.	.	.	I	.	.	.	.	.	.	.	.
Oxalis acetosella	K	.	.	.	.	.	.	I	.	I	.	.	.	.
Galium uliginosum	K	.	.	.	.	.	.	.	.	I	.	.	.	.
Equisetum sylvestris	K	.	.	.	.	.	.	.	I	.	.	.	.	.
Juncus filiformis	K	.	.	I	I	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Sorbus aucuparia	B	.	.	.	.	.	.	.	.	I	.	.	.	.
Sorbus aucuparia	S	.	.	.	.	.	.	.	I	.	.	.	.	.
Callitriche palustris	W	.	.	.	.	.	.	I	.	.	.	.	.	.
Lysimachia thyrsoiflora	K	.	.	.	.	.	.	I	.	.	.	.	.	.
Agrostis capillaris	K	.	.	.	.	.	.	.	.	I	.	.	.	.