

TELMA	Band 46	Seite 109 - 124	8 Abb., 1 Tab.	Hannover, November 2016
-------	---------	-----------------	----------------	-------------------------

Wie erfolgreich verläuft die Renaturierung abgebauter Hochmoore? *Sphagnum*-Vorkommen auf 19 wiedervernässten Flächen in Niedersachsen

How successful is bog restoration on milled peatlands? *Sphagnum* occurrence on 19 restored peatlands in Lower Saxony

MEIKE LEMMER und MARTHA GRAF

Zusammenfassung

Seit etwa 40 Jahren werden Maßnahmen zur Renaturierung von abgetorften Hochmooren in Niedersachsen durchgeführt. Hier fand in 2014 eine Untersuchung zum Artenvorkommen von Torfmoosen (*Sphagnum spec.*) auf 19 wiedervernässten Flächen statt, um zu ermitteln, welche *Sphagnum*-Arten sich zu welchem Zeitpunkt und unter welchen Bedingungen bei der Hochmoorrenaturierung auf niedersächsischen, industriell abgetorften Flächen ansiedeln. Die Flächen wurden zuvor mittels Fräßtorf- und Stechkastenverfahren sowie Ober-/Unterfeld-Methode abgetorft und sind seit unterschiedlichen Zeiten in das Renaturierungsprogramm integriert. Es zeigte sich, dass Torfmoose bereits sehr schnell die Flächen wieder zurückerobern können, doch müssen die abiotischen Gegebenheiten, insbesondere der Wasserstand, förderlich sein. Der Wasserstand, die Torfmächtigkeit sowie die elektrische Leitfähigkeit des Wassers und des Torfes wirkten sich auf die Vorkommen der Torfmoose aus. Hierbei ist zu beachten, dass sich innerhalb der bisherigen Renaturierungszeiten hauptsächlich Schlenkentangmoose angesiedelt haben, während die Vorkommen der Bulttorfmoose vorerst zu gering sind, um bei den wiedervernässten Flächen mit Torfmoosvorkommen von wachsenden Hochmooren sprechen zu können. Bulttorfmoose gelten als wichtig für die Wiederherstellung der ursprünglichen Biodiversität und die Torfakkumulation, daher ist ihre Rückkehr in Hochmoore äußerst wichtig und entscheidend für eine erfolgreiche Renaturierung. Wir sind der Ansicht, dass eine aktive Wiedereinführung dieser Arten auf abgetorften Hochmoor-Renaturierungsflächen, ihre erfolgreiche Wiederkehr gewährleistet.

Abstract

In Lower Saxony, a state in northwestern Germany, ombrotrophic milled peatlands (bogs) have been restored over the last 40 years. In 2014 19 rewetted areas of industrially harvested raised bogs in Lower Saxony, Germany, were surveyed to see to what extent *Sphagnum* mosses spontaneously recolonized the sites. The sites were harvested using the following techniques: milling, block-cut and the upper and lower field

techniques. Our research shows that peat mosses recolonize the restored sites quite fast as long as suitable environmental conditions, especially suitable hydrology, are found on the site. Additionally, the height of the water table, peat's thickness, pH and conductivity, as well as the conductivity of water have significant effects on the growth of *Sphagnum*. However, the results show that, even after 30 years of restoration, only a small percentage of the crucial hummock forming species return to the sites. Mostly peat mosses growing in hollows (Section Cuspidata) established on the restored sites. As hummock-forming species are considered important for restoring the original biodiversity and peat-accumulating function, their return to peatland is crucial for a successful restoration. We believe that these species must be reintroduced for them to successfully establish on restored peatlands.

1. Einleitung

Seit ca. 40 Jahren gibt es in Deutschland Bemühungen, sowohl natürlich verbliebene, als auch degradierte und abgebaute Hochmoore zu schützen und renaturieren. Mit dem Niedersächsischen Moorschutzprogramm Teil I (1981) und Teil II (1986) gibt es seit Beginn der 1980er Jahre ein wirkungsvolles Instrument, um die Moore vor weiterer verhängnisvoller Zerstörung zu bewahren. Ein zentraler Aspekt der Schutzbemühungen ist es, Hochmoore mittels Renaturierung wieder zum Leben zu erwecken und erneut wachsen zu lassen. Während ein Großteil ehemaliger Torfabbaugebiete renaturiert wird und die letzten Abbaugenehmigungen im Jahr 2050 enden (MU 2016), schreitet die Degradierung landwirtschaftlich genutzter Moore jedoch voran (BLANKENBURG 1999). Derzeit gelten 99 % der deutschen Hochmoore als beeinträchtigt (COUWENBERG & JOOSTEN 2001). Niedersachsen allein hält einen Anteil von über 70 % der Hochmoore Deutschlands, welche zu 71 % intensiver Nutzung unterliegen (BLANKE 2003, LLUR 2012, SSMYANK & SCHERFOSE 2012). Neben der Landwirtschaft, die 60 % der bewirtschafteten Hochmoorstandorte vorwiegend als Grünland oder für den Maisanbau zur Energiegewinnung nutzt, macht maschineller, großflächiger Torfabbau die größte Nutzungsform aus (DIERSSEN & DIERSSEN 2008).

Der industrielle Torfabbau wird seit dem 19. Jahrhundert betrieben (SCHMATZLER 2015), wobei verschiedene Formen der Abtorfung angewandt werden. In Niedersachsen ist Frästorf die am weitesten verbreitete Methode um Torf zu gewinnen (IVG 2015). Daneben werden weitere Verfahren wie das Sodenstech- und Klumpentorfverfahren sowie die Ober-/Unterfeld-Bearbeitung angewandt (ebd.). Beim Frästorfverfahren werden die obersten 1-2 cm Torf großflächig umgebrochen, mehrmals gewendet und auf derselben Fläche zum Trocknen belassen bis daraus Bodenmieten geformt werden können zum Abtransportieren (RICHARD 1990). Wird das Sodenstechverfahren angewendet, werden die gestochenen Soden bis zum Abtransport auf dem trockenen Feld in Reihen gestapelt (ebd.). Beim inzwischen seltener angewendeten Klumpentorfverfahren hebt ein Greifbagger den Torf auf das Trockenfeld, wo er zum Trocknen bis zum Abtransport verbleibt (ebd.). Bei diesen drei Verfahren werden großflächig Hochmoorbereiche entwässert, abgetorft und erst im Anschluss wiedervernässt. Das Ober-/Unterfeldverfahren sieht vor,

Abbau und Wiedervernässung parallel stattfinden zu lassen. Mittels streifenweise voranschreitendem Sodenstechverfahren wird vorerst ein Streifen in der Mitte des Abbaufeldes abgetorft, welcher sogleich durch die Entwässerung der angrenzenden Bereiche wiedervernässt (GRAMOFLO 2016). Auf diese Weise ereignet sich eine schrittweise Abtorfung von der Mitte zum Rand der Fläche, bei gleichzeitiger Wiedervernässung im selben Rhythmus, sodass hier die Nachnutzung „Renaturierung“ bei Ende der Abbauzeit bereits einen Vorsprung hat (ebd.).

In jedem Fall ist nach industriellem Abbau eine Nachnutzung, entweder landwirtschaftliche Nutzung oder Renaturierung, vorgesehen. Die Hochmoor-Renaturierung sieht in Deutschland Wiedervernässung vor, wobei Niederschläge auf den Flächen gesammelt werden, sodass der Torfkörper überstaut und schließlich aufquellen kann, während ein Abfließen von überschüssigem Wasser auch möglich sein muss (EGGELSMANN 1990).

Im Zuge der Renaturierungsversuche erhalten Torfmoose (*Sphagnum spec.*) eine besondere Aufmerksamkeit, da sie Stabilität und positive Auswirkungen für dieses Ökosystem erzeugen und daher als Schlüsselarten der Hochmoore gelten (WENDELBERGER 1986, MILLER 1993, ROCHEFORT 2000, DIERSSEN & DIERSSEN 2008, TIMMERMANN, JOOSTEN & SUCCOW 2009). Ideale Bedingungen bestehen für die Torfmoose in einem ausreichend feuchten Lebensraum mit einem stabilen Wasserniveau nahe oder flach über der Bodenoberfläche (RYDIN 1985, ROCHEFORT, CAMPEAU & BUGNON 2002). Diese Feuchtgebiete weisen ein saures Milieu auf, welches durch nährstoffarme Niederschläge und die Moose selbst geschaffen wird, welche Kationenaustausch betreiben, sodass der pH-Wert gering und der Standort für andere Vegetationsformen feindlich bleibt (CLYMO 1963, RYDIN, GUNNARSSON & SUNDBERG 2006). Diese Untersuchung legte den Fokus auf die natürliche Wiederbesiedlung von 19 Renaturierungsflächen industriell abgebauter Hochmoorflächen in Niedersachsen durch Torfmoose. Folgende Fragestellungen wurden dabei bearbeitet:

- Welche *Sphagnum*-Arten kommen im Zuge von Hochmoorrenaturierungen auf Flächen ehemaliger industrieller Abtorfung am häufigsten zurück?
- Zu welchem Zeitpunkt besiedeln diese *Sphagnum*-Arten die renaturierten Flächen industriell abgetorfte Hochmoore?
- Unter welchen Bedingungen besiedeln *Sphagnum*-Arten die industriell abgetorfte und wiedervernässten Hochmoorflächen?

2. Untersuchungsgebiete

Insgesamt wurden 19 Flächen in zehn niedersächsischen, industriell genutzten Hochmooren ausgewählt (Abb. 1). Die Flächen wurden aufgrund ihrer unterschiedlichen geografischen Lage in Niedersachsen, des angewendeten Abtorfungsverfahrens sowie ver-

schieden langer Renaturierungsdauer ausgewählt, sodass eine Variation dieser drei Parameter Anwendung fand und eine Entwicklungsspanne von über 30 Jahren betrachtet werden konnte. Darüber hinaus wurden zu Vergleichszwecken vier weitere, natürlich erhaltene Flächen untersucht. Insgesamt standen so 23 Aufnahmeflächen zur Verfügung.

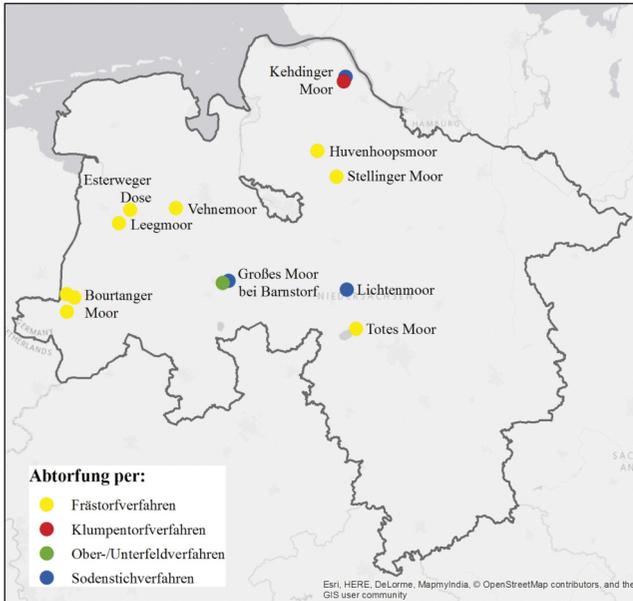


Abb. 1: Lage der Untersuchungsflächen in der niedersächsischen norddeutschen Tiefebene. Die Flächen wurden mittels unterschiedlicher Verfahren abgetorft und befinden sich in verschiedenen Stadien der Renaturierung
Location of research sites in Lower Saxony's northern German lowlands. Different peat milling techniques were used on the sites, which were restored at different times

3. Methoden

Um eine Vergleichbarkeit mit anderen Studien zu der Entwicklung renaturierter Hochmoore zu ermöglichen ist die Methodik der Freilanduntersuchung angelehnt an die Methoden von GONZÁLEZ & ROCHEFORT (2014) sowie KONVALINKOVÁ & PRACH (2014) genutzt worden.

3.1 Vegetationsaufnahmen

Im Zuge der Vegetationsaufnahmen wurden ausschließlich die vorhandenen Torfmoose (*Sphagnum*) berücksichtigt. Weitere Vegetation, wie das Vorkommen von Gefäßpflanzen und anderer Moose, wurde ebenfalls erfasst und in einer gesonderten Arbeit beleuchtet

(GRAF et al. 2015). Ein im Vorfeld festgelegtes V-Transekt bot die Voraussetzungen, um Auswirkungen eventuell vorhandener Umweltgradienten einbeziehen zu können. Entlang des Transekts wurden auf jeder Aufnahme­fläche fünf Untersuchungsquadrate von 5 m x 5 m eingerichtet (Abb. 2). Innerhalb dieser Untersuchungsquadrate wurde in 12 Aufnahme­quadraten von 25 cm x 25 cm die Torfmoosvegetation geprüft. Hierbei wurde der Deckungsgrad jeder Art sowie die Gesamtdeckung der Torfmoose mit genauen Prozentsätzen notiert. Diese Information wurde dann für jedes Untersuchungsquadrat zusammengefasst, um einen Durchschnitt zu ermitteln. Weil es für jede der 19 untersuchten Flächen fünf Aufnahme­quadrate gab, gab es insgesamt $n = 95$ Stichproben für die renaturierten Flächen und weitere $n = 4$ Stichproben von den natürlichen Flächen. Bei einem Befall der Moose mit Pilzen, wurden diese Individuen nicht in die Aufnahme einbezogen. Sind die Moose lediglich trocken gefallen und ihrem Spitznamen entsprechend bleich geworden, floss ihre Deckung mit in die Wertung ein. Eine genaue Artbestimmung wurde im Feld mittels einer Lupe mit 20-facher Vergrößerung und Bestimmungsliteratur von LUDWIG (2005) und HÖLZER (2010) vorgenommen. Nicht eindeutig bestimmbare Arten wurden im Nachhinein im Labor mittels mikroskopischer Untersuchung und unter Einbeziehung weiterer Bestimmungsschlüssel von DIERSSEN (1996), FRAHM & FREY (2004) und LÜTH (2011) identifiziert.

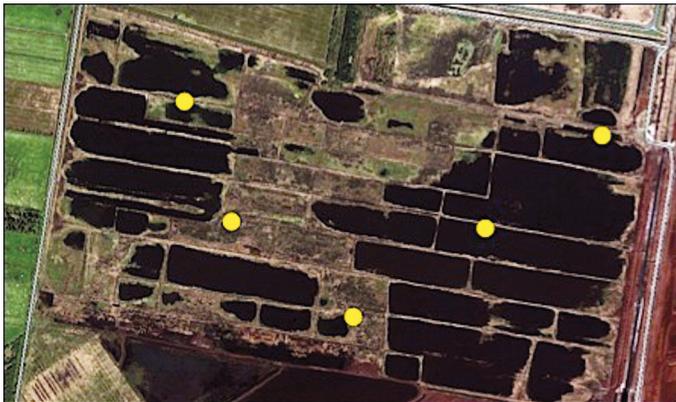


Abb. 2: Verteilung der Untersuchungsquadrate (5 m x 5 m) entlang eines V-Transekts auf einer Renaturierungsfläche in der Esterweger Dose (LEMMER 2014)
Allocation of the research quadrats (5 m x 5 m) in a V-formation on one of the research sites in the Esterweger Dose peatland (LEMMER 2014)

3.2 Aufnahme abiotischer Faktoren

Neben den Vegetationsaufnahmen wurden außerdem folgende abiotische Standortfaktoren in jedem Untersuchungsquadrat erfasst. Der Wasserstand wurde durch eine Art Brunnenpfeife erfasst, wobei ein Schlauch entlang einer Messleiste befestigt ist, welcher

unter stetigem hineinpusen in ein mittels Pürckhauer-/Rillenbohrer (Eijkelkamp Agrisearch Equipment, Giesbeek, Niederlande) erstelltes Bohrloch gelassen wird. Sobald der Wasserstand erreicht wird, ist dies deutlich akustisch zu vernehmen und der Wasserstand anhand der Messleiste ablesbar. Lag der Wasserstand unter der Torfauflage, sodass hier nur eine Restfeuchtigkeit erkennbar war, wurde der Wasserstand gemäß der Torfmächtigkeit angegeben.

Der pH-Wert und die elektrische Leitfähigkeit des Wassers wurden unmittelbar im Feld gemessen, sofern eine ausreichende Menge frei fließenden Wassers zur Verfügung stand. Die Messungen erfolgten für den pH-Wert mittels pH Tester HI 98107 (WTW GmbH, Weilheim) sowie für die elektrische Leitfähigkeit per HI 8733 Conductivity Meter (Hanna Instruments Deutschland, Kehl am Rhein).

Die Torfmächtigkeit wurde ebenfalls anhand der Bohrung mittels Pürckhauer-/Rillenbohrer festgestellt. Um den pH-Wert und die elektrische Leitfähigkeit des Torfes im Labor messen zu können, wurden drei Torfproben mit einem 100 cm³ Edelstahlstechzylinder nach DIN ISO 11 272 entnommen, luftdicht verschlossen und kühl gelagert, bis eine anschließende Analyse im Labor möglich war. Die Probenaufbereitung zur Messung des pH-Wertes und der elektrischen Leitfähigkeit des Torfes erfolgte gemäß der 1:4 Methode von POULIOT (2007): Hierbei werden 15 ml Torf mit 45,6 ml destilliertem Wasser vermengt. Während der folgenden 30 Minuten wird die Lösung alle fünf Minuten für 30 Sekunden mit einem Glasstäbchen gerührt und anschließend für zwei bis drei Minuten ruhen gelassen, bevor die Messung erfolgt.

3.3 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit unterschiedlichen Methoden, die hier entsprechend der Fragestellung berücksichtigt wurden. Es ergaben sich Stichprobenzahlen von $n = 95$ für die wiedervernässten Flächen sowie $n = 4$ für die naturnahen Flächen.

3.3.1 Welche Torfmoosarten kommen zurück?

Häufigkeitswerte und das Gesamtvorkommen der Torfmoosarten wurden per Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation, Redmond, USA) berechnet. Die Häufigkeit stellt den prozentualen Wert aller Flächen dar, auf denen eine entsprechende Torfmoosart verzeichnet werden konnte. Das Vorkommen gesamt zeigt den Mittelwert der prozentualen Deckungsgrade der Torfmoosarten. Alle Berechnungen wurden zu Vergleichszwecken ebenso für die naturnahen Flächen durchgeführt.

3.3.2 Zu welchem Zeitpunkt besiedeln Torfmoose die Wiedervernässungsflächen?

Per Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation, Redmond, USA) wurde ein Vergleich der Renaturierungsdauer mit dem durchschnittlichen Torfmoosvorkommen aller Arten

vorgenommen und in einem Punktwolkendiagramm dargestellt. Eine Normalverteilung der Daten war nicht gegeben, sodass für die Ermittlung der Signifikanz eine Rangkorrelation nach Spearman berechnet wurde.

3.3.3 Bei welchen Bedingungen besiedeln Torfmoose die Wiedervernässungsflächen?

Mittels IBM SPSS Statistics 22 (IBM Coporation, Armonk, USA) wurde das Verhältnis zwischen durchschnittlichen Torfmoosvorkommen und den abiotischen Faktoren (Wasserstand, Torfmächtigkeit, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit von jeweils Wasser und Torf, Renaturierungsdauer) ermittelt. Diese Auswertung wurde lediglich für die drei am häufigsten vorkommenden Arten, *S. cuspidatum*, *S. fallax* und *S. majus*, durchgeführt. Da nicht immer frei verfügbares Wasser zur Verfügung stand, ergibt sich für die elektrische Leitfähigkeit $n = 76$. Durch Ausfall des pH-Messgerätes ergibt sich für den pH-Wert des Wassers $n = 74$. Bei der Torfmächtigkeit ergibt sich $n = 94$, da an einem Standort die endgültige Torfmächtigkeit nicht ermittelt werden konnte. Die Auswertung wurde in Punktwolkendiagrammen mit Trendlinien dargestellt, um eventuelle lineare Trends erkennbar zu machen. Eine Normalverteilung der Daten ist nicht gegeben, was weder durch eine logarithmische Transformation noch durch Transformationen mit Wurzel- oder Arc-Sin-Funktion korrigiert werden konnte. Stattdessen wurden für die Parameter bivariate Rangkorrelationen nach Spearman errechnet.

4. Ergebnisse

Insgesamt wurden bei den Untersuchungen auf 23 Flächen 14 verschiedene Torfmoosarten vorgefunden (Tab. 1). So wurden auf 16 der 19 Renaturierungsflächen 14 verschiedene Torfmoosarten aus den vier Sektionen Cuspidata, Acutifolia, Sphagnum und Squarrosa bestimmt. Die übrigen drei Flächen wiesen keine Torfmoosvorkommen auf. Auf den vier naturnahen Flächen wurden acht verschiedene Torfmoosarten aus den Sektionen Cuspidata und Sphagnum verzeichnet.

4.1 Welche Torfmoosarten kommen zurück?

Insgesamt wurden 14 Arten der Gattung *Sphagnum* auf den in der Renaturierung befindlichen Untersuchungsflächen vorgefunden (Tab. 1). Drei Arten stehen mit hohen Anteilen am Gesamtvorkommen besonders hervor: *S. cuspidatum* (10,9 %), *S. majus* (3,62 %) und *S. fallax* (2,95 %). Sie gehören zu den Schlenkentorfmoosen der Sektion Cuspidata. Diese drei Arten zeigten eine besonders gute Entwicklung, sodass teilweise schon nach fünf Jahren der Renaturierung Deckungsgrade von bis zu 50 % erreicht werden konnten. Die übrigen Arten wiesen lediglich Gesamtvorkommen von unter 1,09 % auf.

Auf den naturnahen Flächen sind höhere Anteile bultbildender Torfmoosarten aus der Sektion Sphagnum zu erkennen. Außerdem kommt *S. tenellum* einzig auf diesen Flächen vor, nicht aber auf den Renaturierungsflächen. Auf den naturnahen Flächen treten *S. fallax* und *S. papillosum* am häufigsten auf, während die höchsten Gesamtvorkommen von *S. fallax* (27,24 %), *S. palustre* (7,49 %) und *S. papillosum* (6,31 %) verzeichnet werden konnten.

Tab. 1: Vorkommen von Torfmoosarten auf den Untersuchungsflächen. Insgesamt wurden 14 Torfmoosarten vorgefunden. „Vorkommen gesamt“ entspricht dem prozentualen Vorkommen der Art auf den gesamten Untersuchungsflächen. „Häufigkeit“ entspricht dem prozentualen Flächenanteil aller Untersuchungsflächen, auf dem die Art vorgefunden wurde (Renaturierte Untersuchungsflächen: renUF, n = 95; Naturnahe Flächen: natUF, n = 4) (LEMMER 2014)
The peat mosses found on the research sites. 14 species of peat mosses were found overall. „Vorkommen gesamt“ correlates with the species' percentaged cover on all research sites. „Häufigkeit“ requeryency with which the species occurred (Restored research site: renUF, n = 95; natural sites: natUF, n = 4) (LEMMER 2014)

Art	Sektion	Vorkommen gesamt [%]		Häufigkeit [%]	
		renUF	natUF	renUF	natUF
<i>S. cuspidatum</i>	Cuspidata	10,90	3,62	49,47	50
<i>S. majus</i>	Cuspidata	3,6	20,36	18,95	25
<i>S. fallax</i>	Cuspidata	2,95	27,24	18,95	75
<i>S. fimbriatum</i>	Acutifolia	1,09	-	8,42	-
<i>S. flexuosum</i>	Cuspidata	0,62	-	1,05	-
<i>S. balticum</i>	Cuspidata	0,6	14,06	6,32	25
<i>S. angustifolium</i>	Cuspidata	0,17	-	2,11	-
<i>S. russowii</i>	Acutifolia	0,14	-	4,22	-
<i>S. papillosum</i>	Sphagnum	0,09	6,31	1,05	50
<i>S. squarrosum</i>	Squarrosa	0,09	-	7,37	-
<i>S. obtusum</i>	Cuspidata	0,08	-	1,05	-
<i>S. palustre</i>	Sphagnum	0,01	7,49	3,16	25
<i>S. tenellum</i>	Cuspidata	-	0,21	-	25
<i>S. teres</i>	Squarrosa	0,01	-	2,11	-

4.2 Zu welchem Zeitpunkt besiedeln Torfmoose die Wiedervernässungsflächen?

Bei der Auswertung der Daten zeigte sich, dass Torfmoose bereits innerhalb der ersten zwei Jahre einer Renaturierung die Flächen erneut besiedeln können. Das Vorkommen von Torfmoosen ist abhängig von der Dauer der Renaturierung (Abb. 3), bei einzelnen Arten kann dies jedoch nicht nachvollzogen werden. Auf den zwei Jahre alten Renaturierungsflächen wurden Deckungsgrade der Torfmoose von bis zu 30 % verzeichnet, während auf Flächen, die seit fünf Jahren in der Renaturierung sind, bereits Deckungs-

grade bis zu 50 % festgestellt wurden und 90 % bei Flächen, die vier Jahre länger wiedervernässt sind. Ab einer Renaturierungsdauer von 15 Jahren wurden regelmäßig > 70 % Deckung der Torfmoose festgestellt. Bei den drei Untersuchungsflächen ohne Torfmoosvorkommen handelt es sich um Flächen, die seit fünf, 11 und 20 Jahren in der Renaturierung sind.

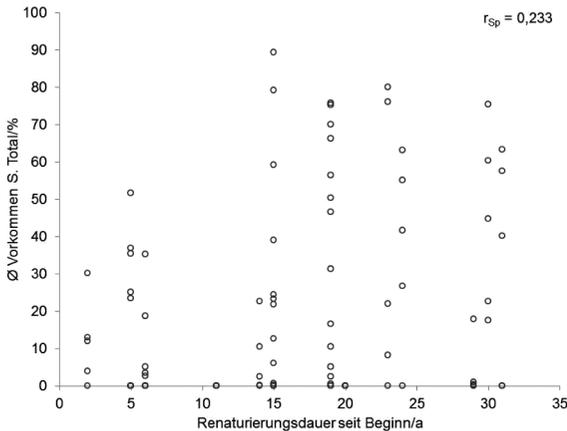


Abb. 3: Das Vorkommen von Torfmoosen ist signifikant abhängig von der Renaturierungsdauer (n = 95) (LEMMER 2014)
The occurrence of peat mosses is significantly dependent on the restoration time (n = 95) (LEMMER 2014)

Bei Flächen die zuvor im Sodenstech- sowie Ober-/Unterfeldverfahren abgebaut wurden, traten innerhalb der ersten fünf Jahre starke Bestände von *S. majus* auf, während Flächen die früher per Klumpentorfverfahren abgebaut wurden, selbst nach 15 Jahren Renaturierung nur geringe Vorkommen von *S. cuspidatum* aufwiesen. Bei Fräbtorf-Flächen sind erste Torfmoosvorkommen nach sechs Jahren zu verzeichnen. Hierbei handelt es sich um *S. cuspidatum*. Nach 15 Jahren der Renaturierung konnten auf diesen Flächen weitere Arten erfasst werden, unter anderem alle drei am häufigsten vorgefundenen Arten (vgl. Kapitel 4.1).

4.3 Bei welchen Bedingungen besiedeln Torfmoose die Wiedervernässungsflächen?

Neben der Auswirkung der Renaturierungsdauer auf die Torfmoose insgesamt (Abb. 3), zeigt sich außerdem eine hohe Signifikanz des Wasserstands (Abb. 4) sowie der elektrischen Leitfähigkeit (Abb. 5). Die meisten Arten waren in einem feuchten Milieu bei Wasserständen von 10 cm unter Flur bis 20 cm über Flur zu finden. Einige Schlenkentangarten wie *S. cuspidatum* kommen auch noch bei höheren Wasserständen bis > 70 cm über Flur vor. Höchste Torfmoosvorkommen sind bei einer Konduktivität zwischen 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ zu verzeichnen. Ab 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ gibt es nur noch geringe Vorkommen.

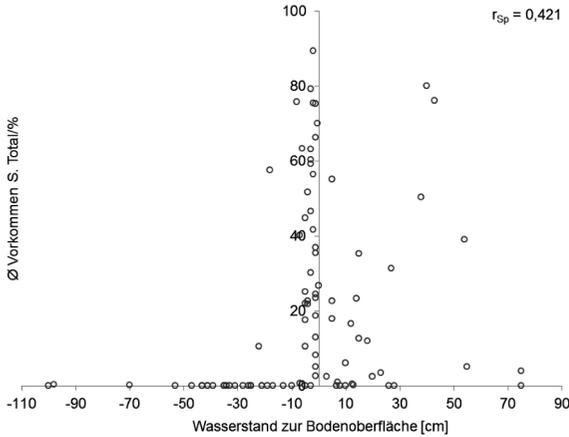


Abb. 4: Der Wasserstand wirkt sich hoch signifikant auf die Gesamtvorkommen von *Sphagnum* aus (n = 95) (LEMMER 2014)
 The water level very significantly influences overall cover of *Sphagnum* (n = 95) (LEMMER 2014)

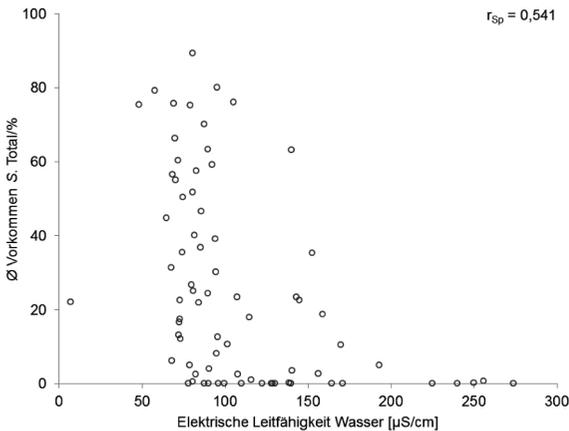


Abb. 5: Die elektrische Leitfähigkeit des Wassers zeigt einen hoch signifikanten Einfluss auf das Torfmoosvorkommen (n = 76) (LEMMER 2014)
 The water's electrical conductivity shows a highly significant impact on the percentage cover of peat mosses (n = 76) (LEMMER 2014)

Weiterhin zeigen jeweils der pH-Wert von Torf (Abb. 6) und seine elektrische Leitfähigkeit (Abb. 7) einen hoch signifikanten Einfluss auf die Torfmoosvorkommen gesamt. Entsprechend ihrer Tätigkeit als Kationentauscher, wird frisch zugeführtes Niederschlagswasser seinen pH von 5,6 ändern und das Milieu in dem die Torfmoose existieren versauern. So treten die meisten Torfmoosvorkommen bei pH-Werten zwischen 3,7 und

4,4 auf. Die elektrische Leitfähigkeit des Torfes wirkt sich stark auf das Vorkommen der Torfmoose aus. Zwischen 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bis 75 $\mu\text{S}/\text{cm}$ konnten die meisten Torfmoosanteile verzeichnet werden.

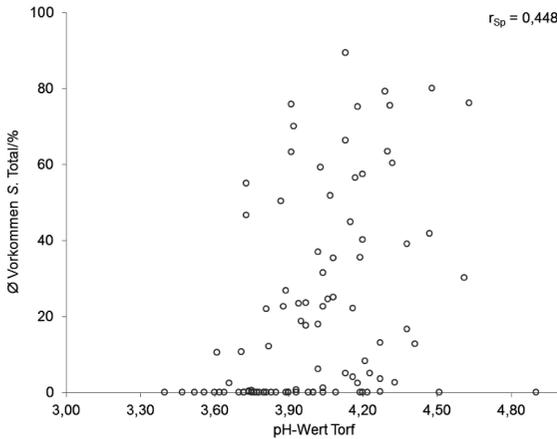


Abb. 6: Der pH-Wert des Torfes zeigt einen hoch signifikanten Einfluss auf den Torfmoos-Bestand (n = 95) (LEMMER 2014)
The pH of peat has a highly significant impact on the peat mosses' cover (n = 95) (LEMMER 2014)

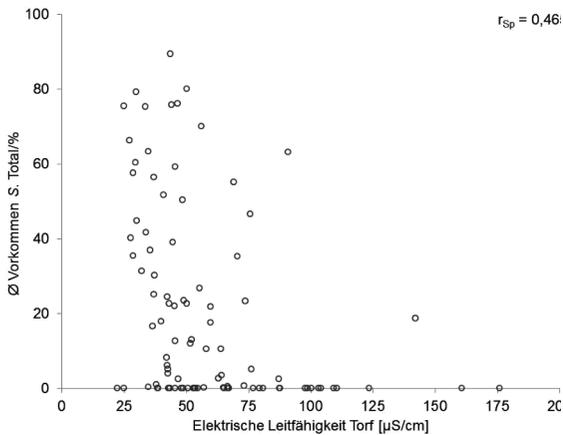


Abb. 7: Ein hoch signifikanter Einfluss auf *Sphagnum* ergibt sich aus der elektrischen Leitfähigkeit des Torfes (n = 95) (LEMMER 2014)
The electric conductivity significant impacts *Sphagnum* cover (n = 95) (LEMMER 2014)

Die Torfmächtigkeit zeigt keinen signifikanten Einfluss auf das Vorkommen von Torfmoosen. Lediglich auf das Vorkommen von *S. cuspidatum* gibt es einen hoch signifikanten Einfluss (Abb. 8). Bei dieser Art zeigen sich einerseits erhebliche Deckungsgrade bei hohen Torfauflagen von 3,50 m, andererseits aber auch bei geringeren Torfmächtigkeiten von 0,5 m bis 1,2 m.

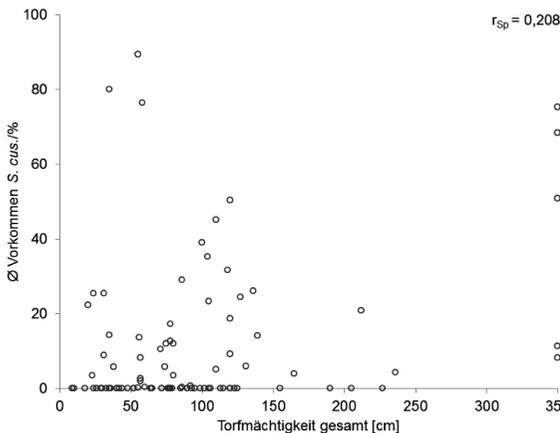


Abb. 8: Die Torfmächtigkeit ist hoch signifikant für das Vorkommen von der Pionierart *S. cuspidatum* ($n = 94$) (LEMMER 2014)
The peat layer's thickness had a highly significant impact on the cover of the pioneer species *S. cuspidatum* ($n = 94$) (LEMMER 2014)

Bei Betrachtung der drei am häufigsten auftretenden Arten *S. cuspidatum*, *S. majus* und *S. fallax* in Bezug auf die unabhängigen Variablen, kann gesagt werden, dass das Vorkommen dieser Torfmoose abhängig von dem Wasserstand sowie dem pH-Wert und der elektrischen Leitfähigkeit von sowohl Torf, als auch von Wasser ist. Die Renaturierungsdauer ist weniger ausschlaggebend für das Vorkommen von Torfmoosen, während der pH-Wert des Wassers und die Torfmächtigkeit keine signifikanten Auswirkungen zeigen. Im Speziellen kann dies bei einzelnen Arten abweichen, wie beispielsweise bei *S. cuspidatum* und *S. fallax*, welche eine Signifikanz bei der Torfmächtigkeit zeigen.

5. Diskussion

Die Untersuchung zeigt, dass die Renaturierungen größtenteils erfolgreich sind. Torfmoose kommen schnell auf die industriell abgebauten und stark genutzten Flächen zurück, wodurch diese Hochmoorstandorte wieder zum Leben erweckt werden. Hierbei tritt ein, für so junge Hochmoorbereiche, großes Artenspektrum von Torfmoosen auf, die

als Schlüsselarten der Hochmoore gelten. Weiterhin kann festgestellt werden, dass es neben den vorgefundenen geringen Deckungsgraden von Bulttorfmoosen und weitaus größeren Vorkommen von Schlenkentorfmoosen, drei Untersuchungsflächen gibt, die so schlechte Bedingungen aufweisen, dass hier keine Torfmoose zu finden waren. Diese Flächen waren entweder sehr trocken, oder aber sie waren zu hoch eingestaut. Bei acht von 19 Untersuchungsflächen liegt der Wasserspiegel < 20 cm unter Flur.

Bei den vorgefundenen Torfmoosarten handelt es sich hauptsächlich um Schlenkentorfmoose, Arten der Sektionen, die sich weitaus lieber in den nassen Bereichen aufhalten und weniger danach streben, höhergelegene Bulte aufzubauen und Hochmoore zum Höhenwachstum zu bewegen. Diese Schlenkenarten, wie *S. cuspidatum* und *S. majus*, sind eher als Pioniere junger Hochmoorkomplexe zu sehen (SUCCOW & JOOSTEN 2001, TIMMERMANN, JOOSTEN & SUCCOW 2009, ROSINSKI 2012). Die Bulttorfmoose, wie *S. magellanicum*, *S. papillosum* oder *S. rubellum*, aus den Sektionen *Sphagnum* und *Acutifolia* sind nur sehr gering vertreten und daher kann man hier nicht von lebenden Hochmooren sprechen (TIMMERMANN, JOOSTEN & SUCCOW 2009, ROSINSKI 2012). Infolge der überaus trockenen Bedingungen auf einigen Flächen, fördern diese Standorte den kräftigen Aufwuchs anderer Gefäßpflanzen, während die Trockenheit die Wiederansiedlung von Torfmoosen ausschließt (DIERSSEN & DIERSSEN 2008). Sind die Flächen zu hoch überstaut und bilden lediglich vegetationsarme Schwarzwasserseen, fördert dies die Wiederansiedlung von Torfmoosen ebenso wenig, da Wellenschlag, bedingt durch zu hohe Wasserstände, dies verhindert (ebd., HÖLZEL et al 2009). Da auf den wasserreichen Flächen lediglich die Schlenkentorfmoose einen Lebensraum finden, bleibt zu hoffen, dass diese möglicherweise eine Grundlage für Bulttorfmoose schaffen können. Vorstellbar ist, dass auf den schwimmenden Teppichen von *S. cuspidatum* andere Diasporen einen geeigneten Standort finden und sich so im Laufe der Zeit ein natürlicher Schwingrasen bilden kann, welcher sich als Standort für Bulttorfmoose auszeichnet (TIMMERMANN, JOOSTEN & SUCCOW 2009). Vor diesem Hintergrund sind die vorgefundenen Artenvorkommen und ihre Deckungsgrade sehr ansehnlich. Allerdings wird eine erfolgreiche Wiederansiedlung von Torfmoosen auf Schwarztorf, insbesondere ohne aktive Einführung von Diasporen und eine schützende Mulchschicht, in Frage gestellt (ROCHEFORT 2000, GONZÁLEZ et al 2009). Da über mehrere Jahre betrachtet, die jeweiligen Deckungsgrade von Torfmoosarten stark schwanken können (RYDIN 1993, HÖLZEL et al 2009), wäre ein regelmäßiges Monitoring von wiedervernässten Abbaufächen anzustreben.

Das Vorkommen von Schlenkentorfmoosen und das Einwandern weiterer Torfmoosarten kann eine gute Entwicklung aufzeigen, da jede Art andere Standortbedingungen bevorzugt und ihre Umwelt aktiv gestaltet und so in Zukunft ein Mosaik verschiedener Torfmoosarten vorkommen wird, welche sowohl auf Bulten als auch in Schlenken existieren. Durch ein regelmäßiges Monitoring auf Niedersachsens renaturierten Hochmooren kann diese Entwicklung beobachtet werden. Darüber hinaus kann auch eine größere Auswahl von Flächen in Betracht gezogen werden, um die Auswirkungen der verschiedenen Ab-

bauverfahren auf die Wiederansiedlung von Torfmoosen weiter zu untersuchen. Dazu konnte in dieser Untersuchung keine Aussage gemacht werden, da nicht ausreichend Stichproben zu im Klumpentorf- und Ober-/Unterfeldverfahren bearbeiteten Flächen vorlagen.

6. Literaturverzeichnis

- BATES, T. E. (1993): Soil handling and preparation. – In: CARTER, M. R.: Soil sampling and methods of analysis: 19 - 24; Boca Raton (Lewis Publishers).
- BLANKE, R. (2003): Moore in Deutschland – Schutz und Nutzung zwischen Anspruch und Wirklichkeit. – 22 S.; Hannover.
- BLANKENBURG, J. (1999): Leitbilder der Hochmoornutzung und die langfristige Nutzung von Hochmoorgrünland. – *Telma* **29**: 183 - 190; Hannover.
- CLYMO, R. (1963): Ion exchange in Sphagnum and its relation to bog ecology. – *Annals of Botany* **27/106**: 309 - 324, 5 Abb., 7 Tab.; London.
- COUWENBERG, J. & JOOSTEN, H. (2001): Das Beispiel Deutschland. – In: SUCCOW, M. & JOOSTEN, H.: Landschaftsökologische Moorkunde: 409 - 411; Stuttgart (Schweizerbart).
- DIERSSEN, K. (1996): Bestimmungsschlüssel der Torfmoose in Norddeutschland. – 86 S.; Kiel (Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Geobotanik in Schleswig-Holstein und Hamburg).
- DIERSSEN, K. & DIERSSEN, B. (2008): Moore. – 230 S.; Stuttgart (Eugen Ulmer).
- EGGELSMANN, E. (1990): Ökohydrologie und Moorschutz. – In: GÖTLICH, K.: Moor- und Torfkunde: 357 - 373; Stuttgart (Schweizerbart).
- FRAHM, J.-P. & FREY, W. (2004): Moosflora. – 538 S.; Stuttgart (Eugen Ulmer).
- GONZÁLEZ, E. & ROCHEFORT, L. (2014): Drivers of success in 53 cutover bogs restored by a moss layer transfer technique. – *Ecological Engineering* **68**: 279 - 290, 5 Abb., 1 Tab.; (Elsevier).
- GONZÁLEZ, E., HENSTRA, S., ROCHEFORT, L., BRADFIELD, G. & POULIN, M. (2009): Is rewetting enough to recover Sphagnum and associated peat-accumulating species in traditionally exploited bogs?. – *Wetlands Ecology Management* **22**: 49 - 62, 4 Abb., 2 Tab.; Dordrecht (Springer).
- GRAF, M., ROSINSKI, E., KLEINEBECKER, T. & HÖLZEL, N. (2015): Evaluation of restoration success in cut-over bogs of northern Germany; Manchester.
- GRAMOFLORE GmbH & Co. KG. (2016): Torfgewinnung im Ober- & Unterfeld. Stand 10.04.2016: <http://www.gramoflor.com/kernthemen/torf-und-moorschutz/ober-und-unterfeld-verfahren.html>.

- HÖLZEL, N., REBELE, F., ROSENTHAL, G. & EICHBERG, C. (2009): Ökologische Grundlagen und limitierende Faktoren der Renaturierung. – In: ZERBE, S. & WIEGLEB, G.: Renaturierung von Ökosystemen in Mitteleuropa: 23 - 53; Heidelberg (Spektrum Akademischer Verlag).
- HÖLZER, A. (2010): Die Torfmoose Südwestdeutschlands und der Nachbargebiete. – 247 S.; Jena (Weissdorn-Verlag).
- IVG (INDUSTRIEVERBAND GARTEN) (2015): Torfgewinnungsverfahren. Warum-Torf.info; Stand 13.04.2016: <http://www.warum-torf.info/torfgewinnung-in-deutschland/torfgewinnung-torfabbauverfahren>.
- KONVALINKOVÁ, P. & PRACH, K. (2014): Environmental factors determining spontaneous recovery of industrially mined peat bogs. – *Ecological Engineering* **69**: 38-45, 3 Abb., 2 Tab.; London.
- LEMMER, M. (2014): Torfmoose (Sphagnum) – Schlüsselarten für die Renaturierung von Hochmooren. – Unveröff. Bachelorarbeit. – 59 S.; Hannover (Leibniz Universität).
- LLUR (2012): Eine Vision für Moore in Deutschland – Potentiale und Ziele zum Moor- und Klimaschutz. – *Natur* **20**: 37 S.; Flintbek.
- LUDWIG, G. (2005): Exkursions-Bestimmungsschlüssel der Sphagnen Mitteleuropas. – 35 S.; Münster (Landwirtschaftsverlag).
- LÜTH, M. (2011): Bildatlas der Moose Deutschlands – Faszikel 1b - Sphagnaceae. - 36 S.; Freiburg.
- MILLER, N. G. (1993): Biology of Sphagnum. – *Advances in Bryology* **5**: 337 S.; Berlin (Cramer in der Gebr.-Borntraeger-Verlag.-Buchh.).
- MU (NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, ENERGIE UND KLIMASCHUTZ) (2016): Moorschutzprogramm. Stand 18.04.2016 http://www.umwelt.niedersachsen.de/themen/natur_landwirtschaft/fachprogramme/moorschutz/8207.html.
- POULIOT, R. (2007): Échantillonnage, conservation et préparation des échantillons de tourbe (sol) avant les analyses chimiques. – 5 S.; Québec (Université Laval).
- RICHARD, K.-H. (1990): Torfgewinnung und Torfverwertung. – In: GÖTTLICH, K.: Moor- und Torfkunde: 411 - 472; Stuttgart (Schweizerbart).
- ROCHFORT, L. (2000): Sphagnum – A keystone genus in habitat restoration. – *The Bryologist* **103/3**: 503 - 508, 1 Abb.; Fairfax.
- ROCHFORT, L., CAMPEAU, S. & BUGNON, J.-L. (2002): Does prolonged flooding prevent or enhance regeneration and growth of Sphagnum?. – *Aquatic Botany* **74**: 327 - 341; 3 Abb., 3 Tab.; (Elsevier).
- ROSINSKI, E. (2012): Renaturierungspotential von industriell abgetorften Hochmoorflächen in NW-Deutschland; Münster (Westfälische Wilhelms-Universität).

- RYDIN, H. (1985): Competition and niche separation in Sphagnum. – *Canadian Journal of Botany* **64**: 1817 - 1824; 4 Abb., 1 Tab.; (NRC Research Press).
- RYDIN, H. (1993): Interspecific competition between Sphagnum mosses on a raised bog. – *Oikos* **66**: 413 - 423; 4 Abb., 1 Tab.; Copenhagen (Wiley).
- RYDIN, H., GUNNARSSON, U. & SUNDBERG, S. (2006): The role of Sphagnum in peatland development and persistence. – In: Wieder, R. & Vitt, D.: *Boreal Peatland Ecosystems*: 47 - 65; Berlin.
- SCHMATZLER, E. (2015): Moornutzung und Moorschutz in Niedersachsen – Geschichtlicher Rückblick und zukünftige Entwicklung. – *Telma Beiheft* **5**: 19 - 38; 13 Abb., 4 Tab.; Hannover.
- SSYMAN, A. & SCHERFOSE, V. (2012): Sicherung von Mooren durch Schutzgebiete am Beispiel von Natura 2000 und Großschutzgebieten. – *Natur und Landschaft* **2**: 62 - 69; 3 Abb., 5 Tab.
- SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (2001): *Landschaftsökologische Moorkunde*. – 622 S.; Stuttgart (Schweizerbart).
- TIMMERMANN, T., JOOSTEN, H. & SUCCOW, M. (2009): Restaurierung von Mooren. – In: ZERBE, S. & WIEGLEB, G.: *Renaturierung von Ökosystemen in Mitteleuropa*: 55 - 93; Heidelberg (Spektrum Akademischer Verlag).
- WENDELBERGER, E. (1986): *Pflanzen der Feuchtgebiete: Gewässer, Moore, Auen*. – 222 S.; München (BLV).

Anschriften der Verfasserinnen:

M. Lemmer
Otto-Wels-Straße 11
30451 Hannover

M. Graf
Jobstweg 6
30149 Hannover

Manuskript eingegangen am 17. Mai 2016