

TELMA	Band 48	Seite 71 - 80	2 Abb., 1 Tab.	Hannover, November 2018
-------	---------	---------------	----------------	-------------------------

Vermehrung und Ansiedlung von Bulttorfmoosen in der Hochmoorrenaturierung – erste Ergebnisse eines Pilotprojekts im Landkreis Vechta (Niedersachsen)

Propagation and establishment of hummock peat mosses in bog restoration
– first results of a pilot study in Vechta, Lower Saxony

PETER RAABE, TILL KLEINEBECKER, KLAUS-HOLGER KNORR,
NORBERT HÖLZEL und GABRIELA GRAMANN

Zusammenfassung

Seit den 1980er Jahren werden in Nordwestdeutschland industriell abgetorfte Hochmoorflächen als Folgenutzung für die Renaturierung hergerichtet und wiedervernässt. Bei der Mehrzahl dieser Renaturierungsflächen wurde das Ziel einer Hochmoorregeneration jedoch noch nicht erreicht. Gründe dafür sind neben instabilen hydrologischen Bedingungen und teilweise unpassendem Nährstoffniveau vor allem der Mangel an hochmoortypischen Pflanzenarten, insbesondere an Bulte bildenden Torfmoosen, deren spezifische Eigenschaften essentiell für die Regeneration von Hochmooren und deren Ökosystemfunktionen sind. Hauptursache hierfür ist das heute meist vollständige Fehlen von Spenderpopulationen im Umfeld der Abbaufäche. Ein 2015 gestartetes Forschungsprojekt der Stiftung Lebensraum Moor, des Substratherstellers Gramoflor und des Institutes für Landschaftsökologie der WWU Münster zielt darauf ab, die Ausbreitungslimitierung von Bulttorfmoosen durch aktive Ausbringung auf Renaturierungsflächen zu überwinden. Erste Ergebnisse des von der Deutschen Bundesumweltstiftung DBU geförderten Vorhabens werden Ende 2018 in Form einer Handlungsempfehlung für die Vermehrung von seltenen regionalen Bulttorfmoosen publiziert.

Abstract

In northwestern Germany rewetting measures have been carried out since the 1980s to restore raised bogs which were strongly altered by cultivation and peat harvesting. Successful establishment of hummock peat mosses, which form the essential part of peat-forming vegetation, has rarely been observed, but is a prerequisite for the regeneration of bog-typical ecosystem functions. Most relevant constraints are unfavorable abiotic site conditions, but also dispersal limitation because of lacking viable source populations in the immediate surroundings must be considered as an important factor limiting the success of a

restoration project. Here, we report on first results of a research project of Stiftung Lebensraum Moor in cooperation with the company Gramoflor and the University of Münster which aims to develop techniques for the establishment of hummock peat mosses in rewetted cut-over bogs. General recommendations on the propagation of diaspores for providing of donor material in bog restoration will be published by the end of 2018.

1. Einleitung

Obwohl das Wissen zur Renaturierung von Hochmooren spätestens seit den 1990er Jahre kontinuierlich angestiegen ist (TIMMERMANN et al. 2009), steht in Nordwestdeutschland bei der Wiederherstellung abiotischer Standortbedingungen nach Torfabbau bislang die Einleitung und Aufrechterhaltung von Wiedervernässung im Vordergrund (NLWKN 2006). Vielerorts wird eine erfolgreiche Etablierung von Zielarten jedoch auch aufgrund von Diasporen- und Ausbreitungslimitierung erschwert (LAVOIE et al. 2003, HÖLZEL et al. 2009). So zeigt die Praxis, dass die alleinige Wiedervernässung nicht notwendigerweise die Wiederbesiedlung durch hochmoortypische Vegetation zur Folge hat, insbesondere wenn Quellpopulationen der potentiell torfbildenden Hochmoor-Torfmoos-Gesellschaften im direkten Umfeld der Flächen fehlen und über lange Distanzen und Zeiträume zu wandern müssen (NICK 1986, 2001). Eigene Voruntersuchungen bestätigten, dass bisherige Betrachtungszeiträume zu kurz sind, um eine spontane Wiederbesiedlung durch die ökologisch-funktional so bedeutsamen Bulttorfmoose zu beobachten (SIEG et al. 2010). In der Regel geht die Sukzession nach Wiedervernässung auch nach 30 Jahren kaum über ein initiales Stadium aus Wollgräsern (*Eriophorum vaginatum*, *E. angustifolium*) und flutenden Torfmoosen (*Sphagnum cuspidatum*, *S. fallax*) hinaus (ROSINSKI & TILLMANN 2011).

Die aktive Einbringung von Zielarten stellt hierbei eine vielversprechende Möglichkeit dar, die Regeneration von degradierten Hochmooren gezielt zu beschleunigen und wird beispielsweise in Kanada bereits seit geraumer Zeit in frühen Phasen der Renaturierung großflächig praktiziert (QUINTY & ROCHEFORT 2003). Die besondere Bedeutung von Bulttorfmoosen für die Rückgewinnung der Regulationsleistungen von Hochmooren wird dabei vor allem durch ihre Eigenschaft als „ecosystem engineer“ deutlich (VAN BREEMEN 1995). Eine erfolgreiche Etablierung dieser Arten kann daher ausschlaggebend für den weiteren Sukzessionsverlauf sein, wenn es gelingt die bekannten selbstverstärkenden Rückkopplungsmechanismen Wasserspeicherung und Versauerung zu aktivieren (WADDINGTON et al. 2015). Aufgrund des kaum noch vorhandenen Spendermaterials nach Torfabbau (Bunkerde) als auch aufgrund des Fehlens von größeren vitalen Spenderpopulationen im direkten Kontakt zu Renaturierungsflächen, ist in Mitteleuropa wenig über limitierende Faktoren und steuernde Mechanismen bei der Etablierung bekannt (SLIVA & PFADENHAUER 1999; ROBROEK et al. 2009). Erfolgreich erprobte Techniken aus anderen Ländern lassen sich wiederum nur bedingt auf die Gegebenheiten in Nordwestdeutschland übertragen (TUITTILA et al. 2003; POULIOT et al. 2011). Die etwa im Vergleich zu Kanada grundsätzlich anderen Bedingungen in Bezug auf Klima, Wasserhaushalt, Substrat

und Nährstoffeintrag sowie der maßgebliche Mangel an Spendermaterial machen die Entwicklung von spezifischen an die regionalen Standortverhältnisse angepassten Etablierungstechniken bei der Hochmoorrenaturierung notwendig (MONEY & WHEELER 1999).

Die Ideen zu den dargestellten Vorhaben wurde im Hinblick auf Realitätsnähe und spätere Umsetzbarkeit bewusst als Kooperation zwischen Renaturierungspraktikern (Stiftung Lebensraum Moor, Gramoflor GmbH & Co. KG) und Wissenschaft (Institut für Landschaftsökologie, WWU Münster) entwickelt. Ausgangspunkt ist die Motivation, durch gezielte Maßnahmen die Etablierung von Bulttorfmoos-Gesellschaften in wiedervernässten Mooren aktiv zu fördern und damit die Entwicklung industriell abgetorfte Hochmoorflächen zu lebenden, naturnahen Hochmooren zu beschleunigen. Vor dem Hintergrund der beschriebenen Rahmenbedingungen wird im Projekt vor allem die Überwindung des Diasporen Mangels mittels aktiver Vermehrung und anschließender Einbringung unter unterschiedlichen Wasserstands-, Substrat- und Vegetations-Bedingungen erprobt und wissenschaftlich begleitet. Darauf aufbauend sollen Konzepte und Handlungsempfehlungen zu Vermehrung und Etablierung entwickelt werden, um eine nachhaltig positive Entwicklung der Flächen im Sinne des Moor-, Klima- und Biodiversitätsschutzes zu ermöglichen, die über das durch rechtliche Vorgaben geforderte Maß hinausgehen und die Regeneration hochmoortypischer Lebensgemeinschaften und zentraler Ökosystemfunktionen einleiten.

Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitung des Projekts fokussieren zunächst auf die Vermehrung von Bulttorfmoosen, ergo die Produktion von Spendermaterial zur Ausbringung auf Renaturierungsflächen (Abb. 1). Ziel ist die Identifikation der wichtigsten Faktoren und Techniken (z.B. bezgl. Bewässerung) für die erfolgreiche Vermehrung von Bulttorfmoosen (Bulte bildende Torfmoose der Gattung *Sphagnum*; z.B. *S. magellanicum*, *S. papillosum*, *S. rubellum*) und ob es diesbezüglich artspezifische Unterschiede gibt.

2. Methoden und Ergebnisse

2.1 Torfmoosvermehrung

In einem Vorversuch wurde der Schwerpunkt zunächst auf die Vermehrung des aus einer kleinen lokalen Quellpopulation entnommenen Arteninventars gelegt, um ausreichende Mengen an Spendermaterial zu generieren. Auf zunächst 20 m² Gewächshaustischfläche wurden mit Weißtorf gefüllte Schalen mit Fragmenten von 4 Arten versehen. Die Ergebnisse dieser Testreihe bestehend aus zwei Generationen und zwei Berechnungsvarianten sind in Tabelle 1-I zusammengefasst. Infolge unterschiedlicher Ausbringungsmengen, Zerkleinerungsstufen und unterschiedlicher Wasserversorgung waren bei der mittleren Produktivität sowohl innerhalb als auch zwischen den Arten große Unterschiede festzustellen (Tab. 1-I).

Daran anschließend wurden in einem zweiten Vermehrungsexperiment 4 weitere Moosmischungs-Varianten bei konstant hohem Wasserstand getestet. Nach einer Wachstumsperiode von ebenfalls 18 Monaten waren durchschnittliche Biomasseerträge zwischen 479 und 616 g TM m⁻² zu verzeichnen, was im Mittel einer Verachtfachung der Ausbringungsmenge pro Jahr entspricht (Tab. 1-IIa). Während innerhalb der ersten 6 Monate annähernd 100 % Moosdeckung erreicht wurden, legte das Höhenwachstum im zweiten Jahr deutlich zu (Abb. 2). Zusätzliche Beregnung beschleunigte vor allem zu Beginn den Deckungsanstieg, was den Vorsprung beregneter Varianten beim Höhenwachstum erklärt. Trotz dieser frühen Unterschiede in Bezug auf Moosdeckung und -höhe infolge einer Zusatzberegnung unterschieden sich die Varianten mit Beregnung in Bezug auf die absolut gebildete Trockenmasse jedoch nur unwesentlich von denen ohne Beregnung bei stabiler Wasserversorgung von unten.



Abb. 1: Torfmoosvermehrung auf Bewässerungstischen und im Freiland zur Produktion von Spendermaterial für aktive Ausbringung auf Renaturierungsflächen. (Fotos © Peter Raabe)
Peat moss propagation on irrigation tables and in the field to produce donor material for bog restoration.

Tab. 1: Übersicht mittlerer Wachstumsraten von auf Bewässerungstischen vermehrten Torfmoosvarianten. Pap = *Sphagnum papillosum*; Mag = *S. magellanicum*; Rub = *S. rubellum*; G = Generation (F1 = aus intakten Soden entnommenes Spendermaterial; F2 = bereits einmal vegetativ vermehrtes Spendermaterial, z.T. gehäckelt); Z = Artenzusammensetzung (bei Mischung); V = Variantenanzahl (mit jeweils 3 Wiederholungen); TM-0 = Ausbringungsmenge (g TM m-2); D-14 = Moosdeckung in % nach 14 Monaten; H-14 = Mooshöhe in mm nach 14 M.; TM-18 = Biomasse in g TM m-2 nach 18 M.; HZ-20 = Höhenzuwachs in mm über 20 Wochen; TM-Z-20 = Trockenmassezuwachs in g TM m-2 über 20 W.; TM-Z = relativer Trockenmassezuwachs in % über 20 W. NS = Niederschlagssumme; AT = Anzahl Tage mit Tagesmitteltemperatur > 2°C; DT = Durchschnittstemperatur über den Zeitraum von AT.

Overview of average growth rates of peat mosses propagated on irrigation tables. Pap = *Sphagnum papillosum*; Mag = *S. magellanicum*; Rub = *S. rubellum*; G = Generation (F1 = donor material from intact moss sods; F2 = donor material which has already been vegetatively propagated, partly chopped); Z = species composition (mixtures); V = number of variants (with 3 repetitions at a time); TM-0 = output (g TM m-2); D-14 = moss cover in % after 14 months; H-14 = moss height in mm after 14 months; TM-18 = biomass in g TM m-2 after 18 months; HZ-20 = height growth in mm during 20 weeks, TM-Z-20 = dry matter growth in g TM m-2 during 20 weeks; TM-Z = relative dry matter growth in % during 20 weeks; NS = precipitation; AT = number of days with daily mean temperature >2°C; DT = average temperature over the period of AT.

I	Testvariante			Wachstumsparameter				
	Art	G/Z	Bewässerung	V	TM-0	D-14	H-14	TM-18
Vorversuch	Pap (p)	F1	-A: Anstau (instabil)	6	25–30	27–97	5–30	12–339
	Mag (m)	+		6	29–44	47–97	8–49	28–418
	Rub (r)	F2	-B: Anstau (inst.) plus Zusatzberegnung (ZB)	6	31–48	71–99	9–64	166–693
	Mix1	r/m/p		4	28–42	46–95	7–18	82–528
Zyklus I (09/13–03/2015): NS = 1022 mm (ZB: +300 mm); AT >2°C = 503 (90 %); DT = 10.3 °C								
IIa	Art	Z	Bewässerung	V	TM-0	D-14	H-14	TM-18
Moos- mischungen	Mix2	m/p	-C: Anstau (stabil)	2	44	>99	46–53	479–482
	Mix3	r/m/p		2	50	>99	48–50	521–549
	Mix4	p/r/m	-D: Anstau (stabil) plus ZB	2	46	>99	49–52	572–575
	Mix5	r		2	57	>99	48–52	602–616
Zyklus IIa (06/15–11/2016): NS = 1028 mm (ZB: +395 mm); AT >2°C = 494 (92 %); DT = 12.7 °C								
IIb	Art	Z	Bewässerung	V	HZ-20	TM-Z-20	TM-Z	
Nass-Trocken- Zyklen	Mix2	m/p	-C/-C+: stabiler Anstau, ohne/mit (+) ZB	6	6–36	233–286	50–62	
	Mix3	r/m/p	-1W/-1W+/-2W/-2W+:	6	8–33	194–301	36–57	
	Mix4	p/r/m	1- bzw. 2-wöchiger Anstau-Wechsel,	6	8–23	118–303	29–53	
	Mix5	r	ohne/mit (+) ZB	6	-5–25	5–216	1–36	
Zyklus IIb (06/–10/2017): NS = 344 mm (ZB: +140 mm); AT >2°C = 140 (100 %); DT = 16.2 °C								

Aufbauend auf diesen Beobachtungen wurden in einer zweiten Phase von Juni bis Oktober 2017 die Effekte von zwei Nass-Trocken-Zyklen in alternierenden Intervallen von einer bzw. zwei Wochen untersucht. Da sich die konstanten Bedingungen bis zu diesem Zeitpunkt als optimal für eine Vermehrung von Torfmoosmischungen herausstellten, sollte nun ihre Ansiedlungsfähigkeit unter instabilen Freilandbedingungen simuliert und untersucht werden. Die erst teilweise ausgewerteten Ergebnisse lassen bereits jetzt deutlich werden, dass artenreichere Moosmischungen im Gegensatz zu einer Mischung, die fast ausschließlich nur *S. rubellum* enthielt, auch bei häufig wechselnder Wasserversorgung weiterhin hohe Biomasse-Zuwachsraten aufweisen (bis zu 303 g TM m⁻², + 60 % in 20 Wochen, Tab. 1-IIb siehe oben), ohne signifikante Verschiebungen in der Artenzusammensetzung. *S. rubellum* besitzt demnach in Kombination mit *S. magellanicum* und *S. papillosum* ein weit größeres Potential, sich erfolgreich auf Renaturierungsflächen mit fluktuierendem Wasserstand zu etablieren, als in Monokultur. Für eine erfolgreiche Etablierung und Einnischung sensiblerer Arten erscheint die Vermehrung von Artenmischungen vielversprechend.

Welche Aussichten ergeben sich daraus für die Entwicklung von wiedervernässten Torfabauflächen zu lebenden Hochmooren? Hier bedarf es weiterer Untersuchungen, um den Vermehrungsansatz mit Moosmischungen zu optimieren, damit die Wiederansiedlung

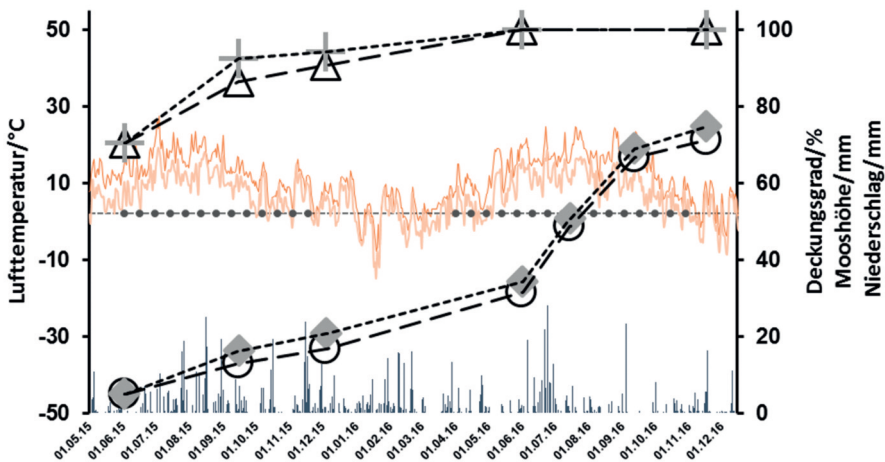


Abb. 2: Mittleres Wachstum der untersuchten Moosmischungen (Mix2–Mix5) mit (grau) und ohne (weiß) Zusatzberegnung. Unterer Verlauf = Mooshöhe; oberer Verlauf = Moosdeckung. Lufttemperatur: dunkel = Tagesmittelwert; hell = Tagestiefstwert. Niederschlagsbalken = Tagessumme; gepunktete Linie = Zeitraum mit aktivierter Zusatzberegnung (1 mm/m²/d). Average growth of investigated moss mixtures (Mix2–Mix5) with (grey) and without (white) additional sprinkling. Lower curve = moss height; upper curve = moss cover. Air temperature: dark = day average; bright = day minimum. Rainfall bar = day total; dotted line = period with additional sprinkling activated (1 mm/m²/d).

von Bulltorfmoosen nachhaltigen Erfolg haben kann. Aus diesen und anderen bisher in der Torfmoosvermehrung erzielten Ergebnissen werden Handlungsempfehlungen abgeleitet, die Ende 2018 erscheinen sollen.

2.2 Etablierungsexperimente im Freiland

Aus dem Artenpool der Torfmoosvermehrung wurden für die Erprobung von Etablierungsverfahren zwei Arten, die sich hinsichtlich Produktivität und ökologischer Potenz (*S. rubellum*, *S. papillosum*) unterscheiden, und eine Moosmischungsvariante ausgewählt und auf zehn in Sukzession befindlichen wiedervernässten ehemaligen Abbauflächen ausgebracht (Abb. 1). Die Flächen unterschieden sich hinsichtlich aktueller Vegetation, Wasserstandsdynamik, Nährstoffniveau, Abbautechnik, Alter und Vornutzung. Die vorhandene Pioniervegetation wurde auf kleiner Fläche beimpft und Ausbringungsform (Sode, lose Fragmente), Artenzusammensetzung (nur bei Sodenform) sowie Menge (nur bei Fragmenten) des Spendermaterials variiert. Insbesondere Effekte der hydrologischen Standortbedingungen auf den Etablierungserfolg wurden unter Beimpfung von Ammenpflanzen (z. B. *Eriophorum vaginatum*) und Torfmoos-Schwinggrasen im Vergleich zu weniger günstigen Ansiedlungspunkten getestet. Nach 18 Monaten konnten auf den untersuchten Flächen in 7 % - 69 % der in Sodenform ausgebrachten Fälle ein Etablierungserfolg (i. S. eines positiven Zuwachses) festgestellt werden. Die Ergebnisse variierten vor allem in Abhängigkeit von Standortbedingungen, der Moosvariante sowie der zugrunde gelegten Messmethode (gemessen wurde der Höhen-, Flächen- und Biomassezuwachs).

Diese Etablierungsexperimente verfolgen das Ziel, einen möglichst großen Bereich unterschiedlicher Ausgangsbedingungen abzudecken, um die für eine Ansiedlung von Bulltorfmoosen limitierenden Standortfaktoren zu identifizieren und um die Erfolgsaussichten aktiver Einbringungen unter gegenwärtigen Bedingungen besser einschätzen zu können. Im Zuge der über die Dauer der ersten zwei Projektjahre durchgeführten Maßnahmen mit begleitendem Monitoring liegen bereits grundlegende vegetationskundliche, hydrologische und biogeochemische Charakterisierungen der Flächen vor, die für die Einschätzungen der Etablierungschancen auf anderen Flächen mit vergleichbaren Sukzessionsstadien herangezogen werden können.

3. Ausblick

Die bislang auf kleinräumiger Skala gewonnenen Erkenntnisse bezüglich der Voraussetzungen und steuernden Mechanismen für eine erfolgreiche Vermehrung von Bulltorfmoosen unter kontrollierbaren Bedingungen und der anschließenden Etablierung auf geeigneten Empfängerflächen, bilden einen wichtigen Beitrag zur Optimierung der Renaturierungspraxis. Unter günstigen Bedingungen (stabile Wasserversorgung, geringe Nährstoffbelastung) sind innerhalb vergleichsweise kurzer Zeit stabile Erfolge bei Vermehrung und Etablierung festzustellen. Unsere vorläufigen Ergebnisse bestätigen aber

auch, wie stark die hydrologischen Verhältnisse eine Etablierung beeinflussen (RAABE et al. 2016). Darüber hinaus lassen sich sowohl die über längere Zeiträume ablaufenden Interaktionen mit der bereits etablierten Vegetation als auch zwischen den ausgebrachten Moosen noch nicht endgültig abschätzen (RAABE et al. 2018).

Nichtsdestotrotz bilden die erarbeiteten wissenschaftlichen und praktischen Grundlagen und Erfahrungen eine Ausgangsbasis, um den steigenden Ansprüchen an Qualität und Erfolg von Renaturierungsmaßnahmen zu genügen. Es wird daher in einem weiterführenden Projekt ab 2019 die Durchführung und Nachhaltigkeit der aktiven Einbringung von Bulttorfmoosen unter praxisnahen Bedingungen überprüft, auch um die Erreichbarkeit von Renaturierungserfolgen besser einschätzen zu können. Gegenstand ist dabei die Kombination von bislang auf kleiner räumlicher und zeitlicher Skala erfolgreich erprobter Etablierungstechniken mit weiterführenden Renaturierungsansätzen, wie der aktiven Gestaltung eines Mikroreliefs und die Prüfung optimaler Dimensionen der auszubringenden Moossoden sowie deren räumliche Anordnung in Wiedervernässungsflächen. Unter Nutzung vorhandener Infrastruktur (funktionierende Vermehrungsstationen, eingerichtete Versuchsflächen, existierende Vorinformationen) werden sowohl verschiedene Ausbringungsstrategien weiterentwickelt als auch eine Vermehrung unter Freilandbedingungen in praxisrelevantem größerem Maßstab angestrebt. Wenngleich die Erfüllung wichtiger Etablierungsvoraussetzungen (Flächeneignung, Diasporenverfügbarkeit) einen wesentlichen Erfolgsfaktor darstellt, so wird zuletzt auch die Umsetzbarkeit darüber entscheiden, ob eingeleitete Maßnahmen erfolgreich verlaufen und schließlich in die Praxis der Renaturierung übernommen werden.

Anhand der in beiden Projekten gewonnenen Erkenntnisse sollen im Bereich Moor- und Klimaschutz Wege zur nachhaltigen Regeneration und Erhaltung von Mooren als Kohlenstoffsenken (Klimawandel) und wertvollen Habitaten (Biodiversität) aufgezeigt und so ein relevanter Beitrag zu Moorschutzprogrammen geleistet werden.

4. Literaturverzeichnis

- HÖLZEL, N. mit Beiträgen von REBELE, F., ROSENTHAL, G. & EICHBERG, C. (2009): Ökologische Grundlagen und limitierende Faktoren der Renaturierung. – In: ZERBE, S. & G. WIEGLEB (Hrsg.): Renaturierung von Ökosystemen in Mitteleuropa: 23 - 53; Heidelberg (Spektrum Akademischer Verlag).
- LAVOIE, C., GROSVERNIER, P., GIRARD, M. & MARCOUX, K. (2003): Spontaneous revegetation of mined peatlands: An useful restoration tool? – *Wetlands Ecology and Management* **11**: 97-107.
- MONEY, R.P. & WHEELER, B.D. (1999): Some critical questions concerning the restorability of damaged raised bogs. – *Applied Vegetation Science* **2**: 107-116.
- NLWKN (2006): 25 Jahre Niedersächsisches Moorschutzprogramm – Eine Bilanz. – Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen **3**: 150-188.

- NICK, K.-J. (1986): Aussichten der Entwicklung von wiedervernässten Torfabbaulflächen. – *Natur und Landschaft* **61**: 48-50.
- NICK, K.-J. (2001): Ergebnisse und Erkenntnisse aus der Wiedervernässung des Leegmoores. – In: BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (Hrsg.): *Moorregeneration im Leegmoor/Emsland nach Schwarztorfabbau und Wiedervernässung*. – *Angew. Landschaftsökologie* **38**: 163 - 204; Bonn-Bad Godesberg.
- QUINTY, F. & ROCHEFORT, L. (2003): *Peatland Restoration Guide*, second edition. Canadian *Sphagnum* Peat Moss Association and New Brunswick Department of Natural Resources and Energy. Québec; Québec.
- POULIOT, R., ROCHEFORT, L., KAROFELD, E. & MERCIER, C. (2011): Initiation of *Sphagnum* moss hummocks in bogs and the presence of vascular plants: Is there a link? – *Acta Oecologica* **37**: 346-354.
- RAABE, P., BLODAU, C., HÖLZEL, N., KLEINEBECKER, T. & KNORR, K.-H. (2016): Bringing back the rare – biogeochemical constraints of peat moss establishment in restored cut-over bogs. European Geosciences Union General Assembly, 17-22 April, Vienna, Austria.
- RAABE, P., HÖLZEL, N., KLEINEBECKER, T. & KNORR, K.-H. (2018): To mix or not to mix – benefits of introducing diverse *Sphagnum* mixtures in bog restoration. European Geosciences Union General Assembly, 7-12 April, Vienna, Austria.
- ROBROEK, B.J.M., VAN RUIJVEN, J., SCHOUTEN, M.G.C., BREEUWER, A., CRUSHELL, P.H., BERENDSE, F. & LIMPENS J. (2009): *Sphagnum* re-introduction in degraded peatlands: The effects of aggregation, species identity and water table. – *Basic and Applied Ecology* **10**: 697-706.
- ROSINKSI, E. & TILLMANN, C. (2011): Evaluation der Hochmoorrenaturierung in Süd-Niedersachsen; Münster.
- SIEG, B., KLEINEBECKER, T. & HÖLZEL, N. (2010): Evaluation of large scale bog restoration in north-western Germany – Lessons from 30 years of practice. Proceedings 7th European Conference on Ecological Restoration. 23-27 August. Avignon, France.
- SLIVA, J. & PFADENHAUER, J. (1999): Restoration of Cut-Over Raised Bogs in Southern Germany: A Comparison of Methods. *Applied Vegetation Science* **2**: 137-148.
- TIMMERMANN, T., JOOSTEN, H. & SUCCOW, M. (2009): Restaurierung von Mooren. – In: ZERBE S. & G. WIEGLEB (Hrsg.): *Renaturierung von Ökosystemen in Mitteleuropa*: 55 - 93; Heidelberg (Spektrum).
- TUUTTILA, E.-S., VASANDER, H. & LAINE, J. (2003): Success of re-introduced *Sphagnum* in cut-away peatland. – *Boreal Environmental Research* **8**: 245-250.
- VAN BREEMEN, N. (1995): How *Sphagnum* bogs down other plants. – *Trends Ecol Evol* **10**: 270-275.
- WADDINGTON, J.M., MORRIS, P.J., KETTRIDGE, N., GRANATH, G., THOMPSON, D.K. & MOORE, P.A. (2015): Hydrological feedbacks in northern peatlands. *Ecology* **96**: 113-127.

Anschriften der Verfasser:

P. Raabe,
Prof. Dr. K.-H. Knorr,
Prof. Dr. N. Hölzel
Institut für Landschaftsökologie
Westfälische Wilhelms-Universität Münster (WWU)
Heisenbergstraße 2
D-48149 Münster
E-Mail: p.raabe@uni-muenster.de
E-Mail: kh.knorr@uni-muenster.de
E-Mail: nhoelzel@uni-muenster.de

Prof. Dr. T. Kleinebecker
Institut für Landschaftsökologie und Ressourcenmanagement
Justus-Liebig-Universität Gießen (JLU)
Heinrich-Buff-Ring 26-32,
D-35392 Gießen
E-Mail: till.kleinebecker@umwelt.uni-giessen.de

G. Gramann
Stiftung Lebensraum Moor
Tannenhof 16
D-49377 Vechta
E-Mail: info@stiftung-lebensraum-moor.de

Manuskript eingegangen am 1. Oktober 2018