

Entwicklung der Hochmoorregeneration auf industriell abgebauten Schwarztorfflächen im Verlauf von 35 Jahren

Development of raised bog regeneration on black peat after industrial peat cutting in the course of 35 years

Holger Brux, Joachim Blankenburg, Herbert Främb, Luise Giani, Oliver Giesecke, Stefanie Heinze, Mathias Herbst, Sven Jensen, David Matuschek, Dietrich Mossakowski, Solveig Nachtigall und Hans-Bert Schikora

Zusammenfassung

Im Rahmen einer Langzeituntersuchung zur Hochmoorrenaturierung wurden mit umfassenden Daten aus den Jahren von 1984 bis 2021 die Entwicklungen von Wasserhaushalt, Boden, Klima, Nährstoffdynamik, Flora, Vegetation und Fauna untersucht. Im Jahr 1984 wurden Hochmoorpflanzenarten mit Erfolg eingebracht. Bultbildende Torfmoose haben sich nur sehr kleinflächig vor allem in Heideflächen etabliert. Eine flächige Ausbreitung von Schlenkentorfmoosen, Entwicklung von Akrotelm und Streuauflage verringerten die Verdunstung der Fläche, so dass lange Trockenphasen wie 2018/2019 von der Moorvegetation gut überstanden wurden. Feuchteliebende Arthropoden der Moore wurden nachgewiesen, aber nur wenige Hochmoorspezialisten. Ein winterlicher Überstau von 10–30 cm für Schlenkenbereiche ist ausreichend. Die Böden wiesen größtenteils abnehmende Gehalte an pflanzenverfügbaren Nährstoffen auf. Unsere Ergebnisse zeigen, dass sich ein teilabgetorfes Hochmoor mit einer Restschicht aus stark zersetztem Hochmoortorf (Schwarztorf) wiedervernässen lässt und dass eine erste Akrotelmentwicklung stattfinden kann. Auch bei einem moderaten weiteren Temperaturanstieg dürften die klimatischen Bedingungen für die Hochmoorregeneration in Nordwestdeutschland ausreichen.

Langzeituntersuchung – Hochmoorrenaturierung – Wiedervernässung – Beimpfung – Torfmoos – Klimawandel

Abstract

As part of a long-term study on raised bog restoration, we used comprehensive data covering the period from 1984 to 2021 to investigate developments in water balance, soil, climate, nutrient dynamics, flora, vegetation and fauna. In 1984, raised bog plant species were introduced successfully. Hummock *Sphagnum* species established mainly in heath areas on a very small scale. The areal spread of hollow *Sphagnum* species, development of acrotelm and litter overlay reduced evaporation from the area, so that long dry periods such as 2018/19 were well survived by the bog vegetation. Several hygrophilic mire invertebrate species were recorded, but only few raised bog specialists. Winter inundation of about 10 to 30 cm for areas with hollow *Sphagnum* species is sufficient. The soils exhibited decreasing contents of plant-available nutrients. Our results show that a partially cutover raised bog with a residual layer of highly decomposed raised bog peat (black peat) can be rewetted and initial acrotelm development can occur. Even with a moderate further temperature increase, the climatic conditions should be sufficient for raised bog regeneration in northwest Germany.

Long-term study – Raised bog restoration – Rewetting – Inoculation – *Sphagnum* – Climate change

Manuskripteinreichung: 27.6.2022, Annahme: 9.12.2022

DOI: 10.19217/NuL2023-03-03

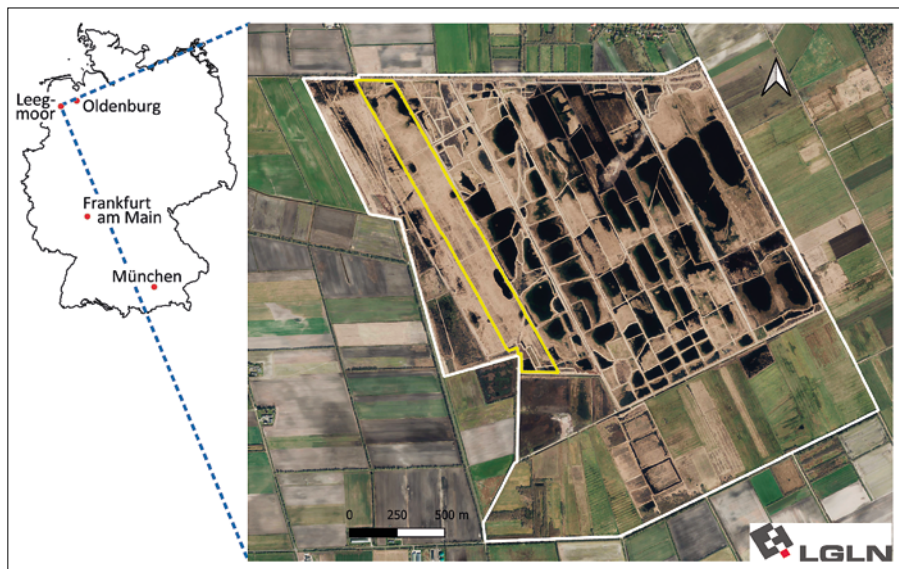
1 Einleitung

Nach über drei Jahrhunderten anthropogener Nutzungen sind von den meisten Hochmooren in Deutschland nur noch in unterschiedlichem Maße degradierte und separierte Reste vorhanden (Couwenberg, Joosten 2001). In Niedersachsen wurde 1981 das Niedersächsische Moorschutzprogramm (Teil I) von der Landesregierung beschlossen. Die Ziele beinhalten u. a. die Sicherung als Naturschutzgebiete (NSG) und die Wiedervernässung von Hochmoorflächen nach der Abtorfung. Mitte der 1980er-Jahre gab es noch keine Erfahrungen im Umgang mit teilabgetorften Flächen, bei denen nur stark zersetzte Torfe (Schwarztorfe) zurückgeblieben sind, sondern nur mit Weißtorffresten (Eggelsmann, Klose 1982). Im Rahmen des Erprobungs- und Entwicklungsvorhabens

(E + E-Vorhaben) „Wiedervernässung abgebauter Schwarztorfflächen im Leegmoor/Kreis Emsland“ wurde 1983 der erste großflächige Versuch begonnen, durch Vernässung und das Einbringen von Diasporen von Hochmoorarten die erwünschte Vegetationsentwicklung zu initiieren. Von 1984 bis 1996 wurden wissenschaftliche Begleituntersuchungen zu Boden, Wasser, Klima, Fauna, Flora und Vegetation durchgeführt (Nick et al. 1993, 2001) und später durch einzelne Untersuchungen ergänzt (Nick 2007; Bleisinger 2012; Köster 2016). Diese bisherigen Untersuchungen belegen die ersten Erfolge der Maßnahmen.

In der Renaturierungsökologie sind zur Erfolgskontrolle jedoch wirkliche Langzeitprojekte notwendig, die eine Untersuchungsdauer von mehreren Jahrzehnten umfassen (Rosenthal, Müller 2004). Zudem sind mit dem erkennbaren Klimawandel die klimarelevanten

ten Effekte der Hochmoorregeneration in den Fokus gerückt (Höper 2015; Tiemeyer et al. 2016). Die Nachuntersuchung von 2018 bis 2021 setzt hier an und blickt auf knapp vier Jahrzehnte Hochmoorrenaturierung. Über 35 Jahre nach Beginn der ersten Maßnahmen konnten Wiederholungsuntersuchungen auf der Untersuchungsfläche durchgeführt werden. Weiterverfolgt wurden gebietsbezogene Fragen zum Erfolg der Wiederherstellungsmaßnahmen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden nachfolgend jeweils den bisherigen Daten gegenübergestellt. Darüber hinaus werden auch umfassendere offene Fragen zu den Erfolgsaussichten der Hochmoorregeneration unter den heutigen Bedingungen beleuchtet, wobei auch der Klimawandel berücksichtigt wird.



2 Untersuchungsgebiet, Maßnahmen und Methoden

Das Leegmoor (Niedersachsen) umfasst einen Ausschnitt des Hochmoorkomplexes zwischen Papenburg und Oldenburg (Abb. 1). Es wurde 1983 als NSG mit einer Fläche von 450 ha ausgewiesen und ist Teil eines Fauna-Flora-Habitat (FFH)- und Vogelschutzgebiets der Europäischen Union. Erhaltungsziele sind u. a. die Wiedervernässung und Renaturierung der Abtorfungsflächen unter Wiederherstellung großflächiger, offener Hochmoorbereiche mit Bult-Schlenken-Komplexen (Lkr. Emsland 2009). Tab. A in Brux et al. (2023) zeigt die durchgeführten Maßnahmen und den weite-

Abb. 1: Übersichtskarte und Luftbild mit der Grenze des Naturschutzgebiets Leegmoor (weiße Umrandung) und der Projektfläche (gelbe Umrandung). Quelle der Luftbilder: Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen, LGLN.

Fig. 1: Overview map and aerial imagery of Leegmoor Nature Reserve area (white outline) and project area (yellow outline). Source of aerial imagery: State Office for Geoinformation and Land Surveying of Lower Saxony, LGLN.

ren zeitlichen Verlauf. Die wissenschaftlichen Nachuntersuchungen orientierten sich an den zuvor verwendeten Methoden (Tab. 1). Die Methoden und Ergebnisse werden ausführlich in den BfN-Schriften des Bundesamtes für Naturschutz veröffentlicht (Blankenburg et al. in Vorb.).

Tab. 1: Material und Methoden.

Table 1: Investigation methods.

Untersuchungsgegenstand	Material und Methoden (ausführliche Angaben in Blankenburg et al. in Vorb.)
Projekthistorie und Methoden ab 1984	Auswertung von Publikationen und umfangreichen Projektunterlagen und -berichten sowie von Fotos 1983–2005 (Archiv K.-J. Nick, Meppen) und weiteren Daten Dritter. Mündliche Mitteilung K.-J. Nick, Dr. E. Masch
Geländehöhen	1984: Nivellement. 2020: Befliegung mit Drohne, Luftbild und Höhenmodell im 2,5-cm-Raster
Wasserstände	Messung in 2-Zoll-Rohren, Filterstrecken im Torf bzw. Sand, 1984–1996 mit Brunnenpfeife, bis 1988 wöchentlich, dann monatlich, ab 2018 stündlich mit Datenlogger
Modellierung der Wasserstände	1985–1996 für einige Jahre mit SWAMP (Soil Water Modelling in Peat) und SWATRE (Simulation model of the water balance of a cropped soil providing different types of boundary conditions), 1985–2021 einfaches Speichermodell mit Excel®, Kalibrierung der Faktoren zu Speicher, Niederschlag und Verdunstung mit Solver® in Excel®
Überstaute Flächen	Sentinel-2-L2A-false-color-Daten von 2018, Kanal 1 (red), Werte < 50 als überstaute Flächen interpretiert
Moorsackungspegel	Im mineralischen Untergrund seit 1984 verankerte Eisenstange, Messung mit Zollstock
Freisetzung Treibhausgase	Berechnungen für 1984–2021 nach Couwenberg et al. (2008), Drösler et al. (2012), Höper (2012)*
Klimadaten (DWD-Messnetz ab 1961)	Interpolierte Daten (1 km × 1 km-Raster) für das Leegmoor, basierend auf dem DWD-Stationsmessnetz (https://www.dwd.de/DE/derdwd/messnetz/messnetz_node)
Meteorologische Messungen (lokal im Leegmoor ab März 2019)	Aufzeichnung von 15-min-Mittelwerten mit zwei Datenloggern – Windgeschwindigkeit und -richtung (2 m Höhe), relative Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur (1 m und 2 m Höhe), kurz- und langwellige Strahlungsbilanz (2 m Höhe), Bodentemperatur (5 cm und 20 cm Tiefe), Niederschlag (1 m Höhe), stomatäre Leitfähigkeit (stationär, mobil), Blattflächenindex (Methoden entsprechend Messstationen DWD – Deutscher Wetterdienst)
Bodenuntersuchungen 2019–2020	Bodenprobenahme mit Marschenlöffel an sieben Standorten, Analyse hinsichtlich Bodenwassergehalt, pH (H ₂ O und CaCl ₂), Gehalt an NH ₄ ⁺ -N und NO ₃ ⁻ -N des Bodens, Konzentration an PO ₄ ³⁻ -P des Bodenwassers (Angaben als Mediane), für Details zu Analysemethoden siehe Nachtigall, Giani (2022)
Biotoptypen	2020: Erfassung Naturschutzgebiet Leegmoor 1 : 5.000 nach niedersächsischer Standardmethode (von Drachenfels 2020) digital im Gelände auf Basis von Luftbild März 2020, Nachkontrollen 2021
Dauerquadrate (DQ)	2019: Vegetationsaufnahmen, Fotos der 77 lokalisierbaren DQ (Fläche 4–64 m ²), 2021 ergänzende Neuanlage und Aufnahme von 24 DQ (Bulttorfmoosflächen, Polder), Methoden seit 1984 einheitlich, Deckungsschätzung nach Braun-Blanquet (1964) in % und Erhebung weiterer abiotischer Daten
Erfolgskontrolle Ansaaten	Begehungen des Projektgebiets 2020 (Zórawski 2020) und 2021 anhand Karte der Aussaaten 1 : 2.000 (Landkreis Emsland 1986, siehe Nick et al. 1993), Erfassung Deckungsgrade (5-stufige Skala)
Laufkäfer, Kurzflügelkäfer und Webspinnen	Erfassung 2019–2021 über Bodenfallen im Projektgebiet und auf angrenzenden Vergleichsflächen mit PVC-Becher mit 9,5 cm Durchmesser, 4 % Formalin, unter transparentem Regendach

* Höper H. (2012), schriftliche Mitteilung, zitiert in Bleisinger (2012: 55)

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Lokalklima, klimatische Wasserbilanz und Wasserstände

Anhand langjähriger Klimadaten der Stationen Dörpen und Friesoythe des Deutschen Wetterdienstes (DWD) wurde für die Region um das Leegmoor die klimatische Wasserbilanz (KWB) als Differenz zwischen Niederschlag und potenzieller Verdunstung für die beiden Klimareferenzperioden 1961 – 1990 und 1991 – 2020 berechnet. Die leichte Zunahme der Niederschläge von der ersten zur zweiten Referenzperiode hat bislang mit der temperaturbedingten Zunahme der potenziellen Verdunstung Schritt gehalten, so dass die KWB nahezu unverändert geblieben ist und weiterhin deutlich im positiven Bereich liegt (Tab.2). Dies gilt gleichermaßen für das hydrologische Sommer- und Winterhalbjahr (Mai – Oktober bzw. November – April). Allerdings fällt auf, dass die KWB im Frühjahr (März – Mai) und Sommer (Juni – August) negativer und im Herbst und Winter positiver geworden ist, was v.a. auf geringere Niederschläge im Frühjahr, eine erhöhte potenzielle Evapotranspiration (ET_{pot}) im Frühjahr und Sommer sowie gestiegene Niederschläge im Herbst und Winter zurückzuführen ist (Tab.3). Die Tagesamplituden der lokalen 2-m-Lufttemperatur im Leegmoor waren etwas höher als an den nächstgelegenen DWD-Wetterstationen. Vor allem im Frühjahr war es am Tag oft um ein bis zwei Grad wärmer. Nachts kühlte die bodennahe Luft im Leegmoor generell etwas stärker ab. Darüber hinaus wurde kein eigenes Lokalklima im Leegmoor registriert.

Vom Spätsommer bis in den Winter entsprach die tatsächliche Verdunstung der potenziellen Verdunstung, während sie im Frühling und Frühsommer deutlich dahinter zurückblieb (Abb.2). Zu dieser Jahreszeit ist das Moor noch von abgestorbenem Pflanzmaterial bedeckt, das als Verdunstungsschutz wirkt. Zudem weist das dominierende Pfeifengras (*Molinia caerulea*) eine empfindliche Spaltöffnungsregulation auf. Auch Torfmoose können in Trockenperioden die Verdunstung stark reduzieren. Mit der Ausbreitung von Schlenkentangmoosen und einer Streuauflage verringerte sich die Verdunstung aus der Fläche. Verglichen mit stark verdunstenden Vegetationstypen wie z. B. Röhricht an Seen und Flüssen (ganzjährig überstaute Flächen verdunsten wesentlich mehr Wasser als mit Vegetation bedeckte) verbraucht die Hochmoorvegetation im Leegmoor relativ wenig Wasser. Diese Eigenschaft trägt zur Nachhaltigkeit der Wiedervernässungsmaßnahme bei, wie die hohe Pufferung der Wasserstände im Leegmoor zeigt: Auch bei den sehr hohen Niederschlägen im Sommer (98 mm am 13.6.2020) konnte das gesamte Wasser im Gebiet zurückgehalten werden (kein Abfluss am Überlauf im Mittelgraben gemessen).

Die Wiedervernässung des Leegmoors begann in den ersten Jahren auf den vegetationsfreien Flächen mit großflächigem Überstau, da die Wasserspeicherkapazität der Schwarztorfe gering ist. Zusammen mit dem Anheben der Wasserstände im Mittelgraben konnten die Wasserstände in den nun vegetationsbedeckten Flächen angehoben und die Wasserstandsschwankungen reduziert werden. Mit dem höheren Anstau im Mittelgraben ab 1996 ist ein Anstieg der Wasserstände im Moor um 0,13 m eingetreten (Tab.B in Brux et al. 2023). Das mittlere Gefälle der Wasserstände zwischen den Messstellen hat im nördlichen Teil (mit wurzelechtem Hochmoor) von 0,035 % auf 0,013 % und im südlichen Teil (von Niedermoorortofen unterlagert) von 0,062 % auf 0,032 % abgenommen. Die Wasserstände schwanken zwischen Winter und Sommer im Mittel um 0,37 m. Im

Tab.2: Mittlere Jahressummen der Komponenten der klimatischen Wasserbilanz (Grasreferenzverdunstung nach der FAO-Methode) im Gebiet des Leegmoors für die beiden letzten Klimareferenzperioden.

Table 2: Mean annual sums of the components of the climatic water balance (grass reference evaporation according to the FAO method) in the Leegmoor area for the last two climate reference periods.

Referenzperiode	1961 – 1990	1991 – 2020
Niederschlag	833 mm	883 mm
ET_{pot} (FAO)	567 mm	610 mm
KWB	266 mm	273 mm

ET_{pot} = potenzielle Evapotranspiration, FAO = Food and Agriculture Organization of the United Nations, KWB = klimatische Wasserbilanz

nördlichen Bereich (Messstellen MB8 – MB10; Tab.C in Brux et al. 2023) wurden Schwankungen kleiner 0,30 m gemessen, die sich hochmoortypischen Werten (Joosten 1993) nähern. Die Amplituden der anderen Messstellen erreichen noch Werte bis 0,58 m. Im sehr trockenen Jahr 2018 sanken die Wasserstände im Mittel um 0,55 m ab. Die tiefsten Wasserstände sind vom Überstau im Frühjahr und dem Vorhandensein von Torfmoosen abhängig (Abb.3).

Im gesamten NSG Leegmoor sind größere Flächen im Winter und Frühjahr überstaut. Luftbildauswertungen aus Sentinel-2-Daten (Sentinel 2022) erlauben eine zeitlich differenzierte Betrachtung der Überstausituation (Abb.A in Brux et al. 2023; Neisius 2023). Im trockenen Jahr 2018 nahm der Anteil der Überstauflächen von Mai bis September von 14,0 % auf 3,1 % ab (Tab.4, S. 118). Flächen, die in der sehr trockenen Phase im September 2018 noch einen Überstau zeigten, sind eindeutig zu hoch angestaut.

Ergänzende Ergebnisse und Graphiken sind in Brux et al. (2023) dargestellt.

3.2 Klimateffekte

Im Rahmen des Projekts erfolgten keine Messungen von Treibhausgasflüssen, es kann aber auf Untersuchungen im Leegmoor 25 Jahre nach Vernässungsbeginn zurückgegriffen werden (Abb.4, S.118, Höper 2015). Eine flächenhafte Bewertung erfolgte durch Bleisinger (2012). Aus im April/Mai 2012 gemessenen Wasserständen wurden Freisetzungsraten in Höhe von $6,3 \text{ t CO}_2\text{-Äq.} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ für das NSG Leegmoor bzw. von nur noch $1,84 \text{ t CO}_2\text{-Äq.} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ für die Projektfläche berechnet. Im aktuellen Projekt erfolgte eine Berechnung der Kohlendioxidfreisetzungsraten. Zwischen der ersten (1984 – 1996) und zweiten Projektphase (1997 – 2021) nahmen die Freisetzungsraten auf der Projektfläche von $4,2 - 5,8 \text{ t CO}_2\text{-Äq.} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$

Tab.3: Klimatische Wasserbilanz (KWB) und ihre Komponenten für verschiedene Jahreszeiten innerhalb der Klimareferenzperioden 1961 – 1990 (oben) und 1991 – 2020 (unten). Alle Zahlen sind Summen in mm.

Table 3: Climatic water balance (KWB) and its components for different seasons within the climate reference periods 1961 – 1990 (top) and 1991 – 2020 (bottom). All figures are totals in mm.

	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter	Hydrologisches Sommerhalbjahr	Hydrologisches Winterhalbjahr
1961 – 1990						
Monate	MAM	JJA	SON	DJF	Mai – Okt.	Nov. – Apr.
Niederschlag	183	244	212	193	443	389
ET_{pot}	170	269	90	37	431	137
KWB	13	-25	122	156	13	253
1991 – 2020						
Monate	MAM	JJA	SON	DJF	Mai – Okt.	Nov. – Apr.
Niederschlag	172	258	226	227	478	405
ET_{pot}	192	291	90	37	461	149
KWB	-20	-32	135	190	17	256

ET_{pot} = potenzielle Evapotranspiration, KWB = klimatische Wasserbilanz, MAM = März/April/Mai, JJA = Juni/ Juli/August, SON = September/Oktober/November, DJF = Dezember/Januar/Februar

auf $0,2 - 1,3 \text{ t CO}_2\text{-Äq.} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ab (Tab. 5, S. 118). Die Freisetzen von Methan und Lachgas blieben dabei unberücksichtigt. Die verbliebenen Torfe sind somit ausreichend durch die Wiedervernässung geschützt. Dies wird auch durch die Ergebnisse des seit 1984 bestehenden Moorsackungspegels bestätigt, dort wurden nach der Wiedervernässung im Zeitraum von 1990 bis 2020 keine Höhenverluste mehr gemessen.

3.3 Nährstoffdynamik

Die pH-Werte der Böden betragen durchschnittlich $3,4 (\pm 0,05 \text{ Standardabweichung} - \text{SD}; \text{pH} [\text{H}_2\text{O}])$ bzw. $2,6 (\pm 0,07 \text{ SD}; \text{pH} [\text{CaCl}_2])$. Sie unterscheiden sich nicht maßgeblich von der Erstuntersuchung mit pH (H_2O)-Werten von $3,2 - 3,9$ und pH (CaCl_2)-Werten von $2,3 - 3,0$ (Gebhardt, Knabke 1994). Währenddessen wurden deutliche Veränderungen in den Wasser- und Nährstoffgehalten festgestellt (Nachtigall, Giani 2022; Abb. G in Brux et al. 2023). So waren die Wassergehalte mit $83 \text{ Vol.}\% (\pm 5 \text{ Vol.}\% \text{ SD})$ im Unter- und $80 \text{ Vol.}\% (\pm 4 \text{ Vol.}\% \text{ SD})$ im Oberboden signifikant höher als von Gebhardt, Knabke (1994) festgestellt ($73 \text{ Vol.}\% \pm 14 \text{ Vol.}\% \text{ SD}$ bzw. $75 \text{ Vol.}\% \pm 12 \text{ Vol.}\% \text{ SD}$). Anfang der 1990er-Jahre betragen die PO_4^{3-} -Gehalte im Bodenwasser $0,14 - 0,18$ und heute $0,02 - 0,08 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Im Vergleichszeitraum wurden $0,19 - 0,14 \text{ kg NO}_3\text{-N} \cdot \text{ha}^{-1}$ festgestellt, in dieser Studie war im Mittel kein Nitratgehalt nachweisbar. Auch die NH_4^+ -Gehalte waren mit $2,4 \text{ kg NH}_4\text{-N} \cdot \text{ha}^{-1}$ im Oberboden signifikant geringer verglichen mit naturnahen Verhältnissen (Nachtigall, Giani 2022), aber auf hohem Niveau. Die heute vergleichsweise höheren NH_4^+ -Gehalte im Unterboden sind auf die veränderten Wasserverhältnisse und deren Einfluss auf die N-Dynamik zurückzuführen, die sich auch auf die festgestellte NO_3^- -Dynamik ausgewirkt hat.

Die unverändert geringen pH-Werte, die mit naturnahen Mooren vergleichbar sind (Bourbonniere 2009), belegen einen nach wie vor guten Aziditätsstatus für das Leegmoor. Die heute vergleichsweise höheren und mit anderen hydrologischen Daten übereinstimmenden Wassergehalte in den Böden zeigen die deutlich verbesserten Wasserverhältnisse. Verbesserungen sind auch bezüglich der Nährstoffsituation feststellbar; die Gehalte an PO_4^{3-} , NH_4^+ (im Oberboden) und NO_3^- sind heute geringer als 1990 – 1993. Es überwiegen Nährstoffentzüge gegenüber Nährstoffnachlieferungen, die sich aus Mineralisierung und erheblichen atmosphärischen Nährstoffeinträgen ergeben. Die verbesserten Nährstoffverhältnisse in den Böden sind im Wesentlichen auf eine Translokation in die Biomasse zurückzuführen, die im Untersuchungszeitraum erheblich zugenommen hat (Nachtigall, Giani 2022).

3.4 Fauna

Im vernässen Leegmoor hat sich eine Reihe nasse- und feuchteliebender Laufkäferarten (Carabidae) oligo- bis mesotropher Moore in stabilen Populationen angesiedelt, z. B. *Pterostichus rhaeticus* (Rhaetischer Grabläufer), *P. diligens* (Ried-Grabläufer), *Carabus clatratus* (Ufer-Laufkäfer). Diese Arten gehören zum typischen Inventar natürlicher Moore der Region. Spezifische Hochmoorarten, wie das in Niedersachsen vom Aussterben bedrohte (Assmann et al.

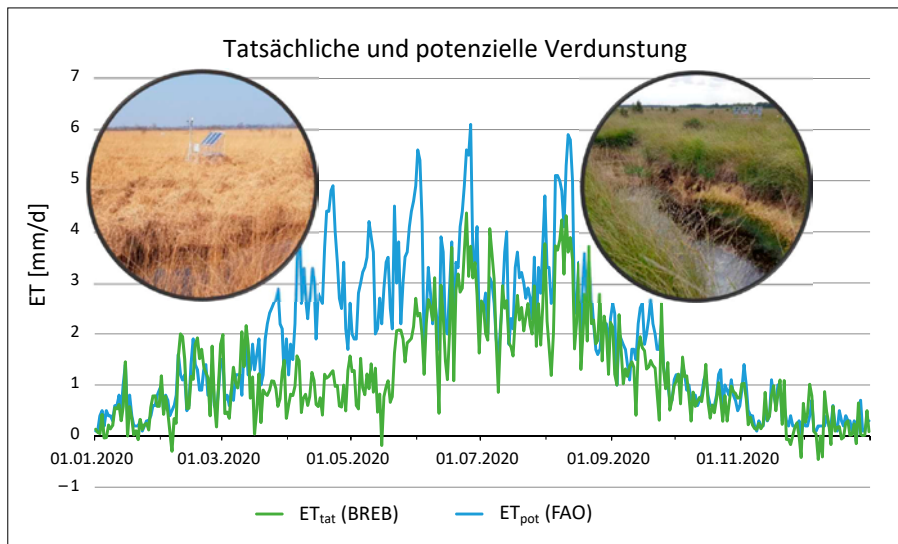


Abb. 2: Verlauf der täglichen Verdunstungsraten im Leegmoor während des Jahres 2020. Die tatsächliche Verdunstung (grüne Linie) wurde mit der Bowen-Verhältnis-Energiebilanz-Methode (BREB) bestimmt. Als potenzielle Verdunstung (blaue Linie) ist die so genannte FAO-Grasreferenz-Verdunstung dargestellt, die hier aus den Daten der lokalen Wetterstation berechnet wurde. Die Messungen erfolgten im Biotyp Besenheide-Hochmoor-Degenerationsstadium (MGB) mit Dominanz von *Molinia caerulea* (Pfeifengras, von Drachenfels 2020). ET_{pot} = potenzielle Evapotranspiration, ET_{tat} = tatsächliche Evapotranspiration, FAO = Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Fig. 2: History of daily evapotranspiration rates on Leegmoor during 2020. Actual evapotranspiration (green line) was determined using the Bowen ratio energy balance method (BREB) and potential evapotranspiration (blue line) is FAO grass reference evapotranspiration, which is shown here calculated from data from the local weather station. The measurements were carried out in the biotope broom heath-high bog degeneration stage with dominance of *Molinia caerulea* (purple moor-grass; von Drachenfels 2020). ET_{pot} = potential evapotranspiration, ET_{tat} = actual evapotranspiration, FAO = Food and Agriculture Organization of the United Nations.

2003) *Agonum ericeti* (Hochmoor-Glanzflachläufer), konnten im Projektgebiet bisher nicht nachgewiesen werden, jedoch auf einer südöstlich angrenzenden, naturnahen Moorfläche (Timpemoor). Die Vorkommen der etablierten hygrophilen Arten (Abb. 5, S. 119) konzentrieren sich auf nasse, besonnte Torfmoorsrasen (A), feuchte, bodenbeschattete Pfeifengrashochrasen (B, C), Feuchtheidgesellschaften (D) und wechselfeuchte Pfeifengras-Wollgras-Gesellschaften (E). Die Bedingungen zur Ansiedlung spezifischer Hochmoorarten sind im Leegmoor trotz insgesamt hoher Vernässungsgrade bisher nicht gegeben. Die für spezifische Hochmoorarten als Lebensraum bedeutsamen, von *Erica tetralix* dominierten Feuchtheidestadien

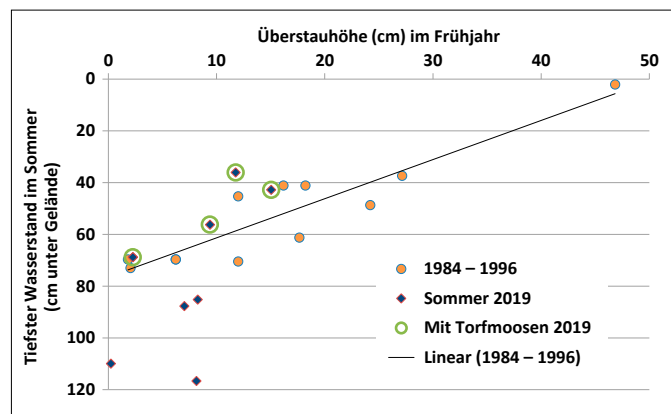


Abb. 3: Abhängigkeit der tiefsten Wasserstände im Sommer von der Überstauhöhe im Frühjahr.

Fig. 3: Dependence of lowest water levels in summer upon spring inundation height.

mit Torfmoosen sind nur an wenigen Stellen kleinflächig entwickelt. Fraglich ist, ob bzw. in welchen Zeiträumen derart ökologisch isolierte Moorhabitate überhaupt von flugunfähigen, ausbreitungsschwachen Arten wie *Agonum ericeti* erreicht werden können. Hier setzt das noch bis 2026 laufende Projekt InsMoor im NSG Totes Moor (Region Hannover) an, in dem in einem experimentellen Ansatz insektenfreundliche Habitatstrukturen auf stark degradierten Hochmoorstandorten geschaffen werden sollen (Kasten 1).

Die Artenzahl der Kurzflügelkäfer (Staphylinidae) nahm 1985 – 1989 zu und stabilisierte sich zunehmend; 2019 – 2021 wurden darüber hinaus nur wenige neue eurytope Arten festgestellt. Von 13 Arten der Moorspezialisten und -präferenten sind 10 gefährdet (Rote Liste Schleswig-Holstein, 2 Spezialisten mit Gefährdungskategorie 1, einer mit 0; Gürlich et al. 2011); ihre Arten- und Individuenzahlen stiegen insbesondere in den Projektflächen (Tab. D, E in Brux et al. 2023).

Die Zusammensetzung der epigäischen Webspinnenfauna (Araneae) weist mit 159 Arten aus 19 Familien, davon 33 Arten der Roten Liste Niedersachsen (Finch 2004), deutliche Parallelen zu der in wüchsigen, oligotrophen Mooren auf (Abb. I in Brux et al. 2023). Es sind auch Arten mit engerer Beziehung zu diesem Biotoptyp enthalten. Stenotope, an oligotrophe Moore gebundene Spinnen fehlen jedoch.

3.5 Etablierung der Hochmoorvegetation

Im Jahr 1984 erfolgten im Projektgebiet auf ca. 9 ha flächige Ansaaten von *Eriophorum vaginatum* (Scheidiges Wollgras), *E. angustifolium* (Schmalblättriges W.), *Erica tetralix* (Glocken-Heide), *Calluna vulgaris* (Besen-Heide), *Rhynchospora alba* (Weißes Schnabelried) und *R. fusca* (Braunes S.), jeweils mit Saatgut bzw. reifen Fruchtständen aus benachbarten Hochmooren. In den ersten Untersuchungsjahren entwickelte sich die Vegetation auf Ansaatflächen schneller in Richtung Zielarten als auf Flächen ohne Ansaaten (ca. 18 ha; Nick et al. 1993). Die Vegetationsdecke war nach 5 – 10 Jahren weitgehend geschlossen; hierzu hat in den ersten Jahren v.a. *E. vaginatum* beigetragen. Im Jahr 1996 waren viele ehemals große Bulte vergreist, auf ihnen wuchs *Molinia caerulea*. Gleichzeitig wurden vielfach Keim- und Jungpflanzen von *E. vaginatum* festgestellt. Nach der Nachuntersuchung war diese Art bis 2020 in der Hälfte des Projektgebiets vertreten. *E. vaginatum* bietet Schutzstellen für die Keimung und Etablierung von Torfmoosen, allerdings auch für unerwünschte Arten wie *Betula pubescens* (Moor-Birke), *M. caerulea* und neuerdings auch *Prunus serotina* (Spätblühende Traubenkirsche). Für 77 Dauerquadrate (DQ) liegen zwischen 1984 und 2021 Daten vor. Das Auftreten von Pflanzenartengruppen in den DQ zeigt Abb. 6, S. 120. *E. vaginatum* und *E. angustifolium* wurden 1984 in 32 % der DQ angepflanzt, 1988 waren sie in 88 % vertreten, 2019 in 100 %. Zwergsträucher (v.a. *Erica tetralix* und *C. vulgaris*) waren

Tab. 4.: Anteil der überstaunten Flächen im NSG Leegmoor und auf der Projektfläche.

Table 4: Percentage of flooded areas in the NSG Leegmoor and the project area.

Datum	NSG Leegmoor	Projektfläche
	Überstaute Fläche in %	
8.5.2018	14,0	3,7
2.7.2018	7,3	2,0
30.9.2018	3,1	1,3

NSG = Naturschutzgebiet

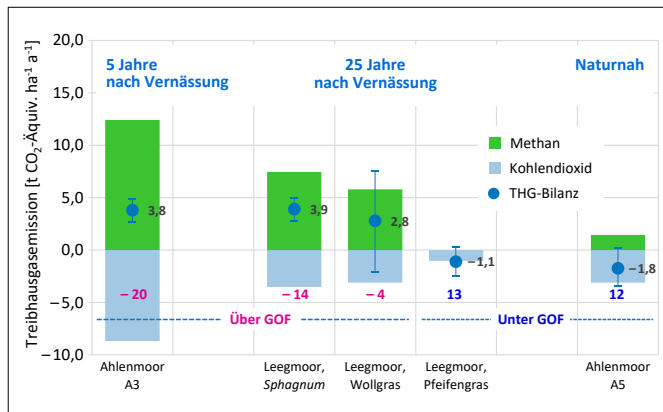


Abb. 4: Methan- und Kohlendioxidaustausch, Treibhausgasbilanz (Mittelwerte, Minima und Maxima von zwei Untersuchungs-jahren, Haubenmessungen) und Wasserstände von vernässten Abtorfungsflächen nach unterschiedlicher Vernässungsdauer; naturnahes Hochmoor als Referenzfläche (aus Höper 2015, verändert). GOF = Geländeoberfläche, THG = Treibhausgas.

Fig. 4: Methane and carbon dioxide exchange, greenhouse gas balance (GHG balance) (mean values, minima and maxima of 2 years of investigation, chamber measurements) and water levels of waterlogged peat cuttings after different waterlogging durations; near-natural raised bog as a reference area (from Höper 2015, modified). GOF = terrain surface, THG = greenhouse gas.

zunächst in 63 % der DQ vorhanden, ihr Anteil sank bis 2002 auf 23 % und stieg bis 2019 auf 38 %. *M. caerulea* war 1992 in 92 % aller DQ vertreten und 2019 in 100 %.

Gehölze waren 1994 nur in 3 % der DQ vertreten, nach dem ersten Höhepunkt 1996 (17 %) blieb ihr Anteil bis 2005 mit ca. 10 % stabil, um dann bis 2019 auf 82 % (v.a. *Betula pubescens*) zu steigen. Der gut erkennbare Rückgang der Gehölze nach 1988

Tab. 5: Berechnete Freisetzungen von Kohlendioxidäquivalenten nach verschiedenen Berechnungsansätzen für die Messstellen in den Perioden bis 1996 und seit 1997.

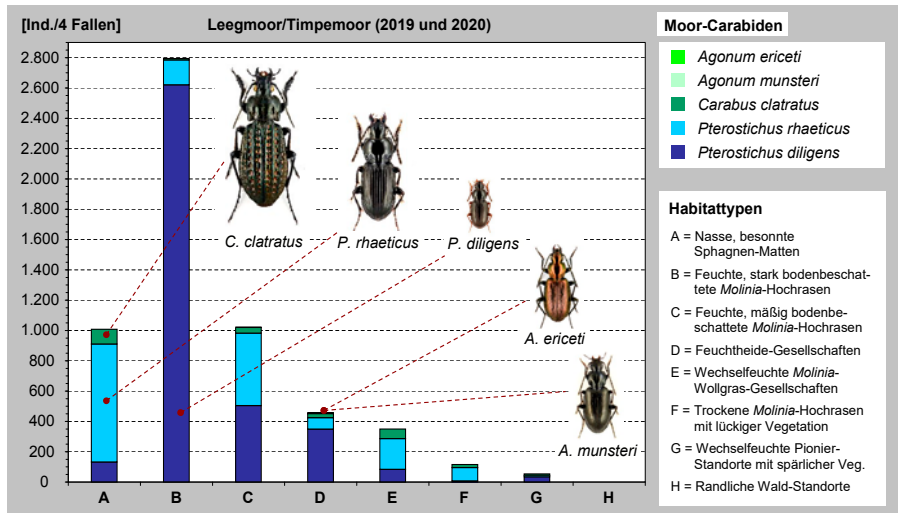
Table 5: Calculated releases of carbon dioxide equivalents according to different calculation approaches for the measuring points for the periods until 1996 and after 1997.

Berechneter Zeitraum	Verwendete Berechnungs-methode	Messstelle Leegmoor										Mittelwert
		MB2	MB5	MB6	MB7	MB8	MB9	MB10	MB11	MB12		
		t CO ₂ · ha ⁻¹ · a ⁻¹										
1984 – 1996	Nach Couwenberg et al. (2008)	9,2	1,0	0,0	13,0	0,0	2,0	1,0	18,2	5,7	5,6	
1997 – 2021		0,0	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,2	0,0	1,3	
1984 – 1996	Nach Höper (2012), zitiert in Bleisinger (2012)	6,4	0,0	0,0	11,2	0,0	0,0	0,0	18,2	1,8	4,2	
1997 – 2021		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	0,2	
1984 – 1996	Nach Drösler et al. (2012)	8,1	2,2	0,0	12,4	0,0	2,7	2,2	19,9	5,0	5,8	
1997 – 2021		1,2	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3	0,0	1,3	

Ohne Lachgas und ohne Methan, da der Überstau nicht berücksichtigt werden konnte. MB = Messbereich

Abb. 5: Verteilung der Individuenzahlen von Moor-Arten der Laufkäfer (Carabidae) auf Habitattypen im Untersuchungsgebiet. Die Linien verweisen auf die Vorkommensschwerpunkte der Arten. *Agonum ericeti* (Hochmoor-Glanzflächläufer) wurde nur im Timpemoor (außerhalb des Projektgebiets) nachgewiesen. Datenbasis: standardisierte Bodenfallenfänge der Untersuchungsjahre 2019 und 2020.

Fig. 5: Distribution of numbers of individuals of bog carabids among habitat types in the study area. The lines refer to the main occurrences of the species. *Agonum ericeti* was recorded only at Timpemoor (outside project area). Database: standardised pitfall trappings in 2019 and 2020.



Kasten 1: Projektsteckbrief „Insekten beleben Moore“ (InsMoore).

Box 1: "Insekten beleben Moore" (InsMoore; "Insects bring life to mires") project profile.

Ziel des Projekts „Insekten beleben Moore“ ist es, die Lebensbedingungen für Insekten auf stark degradierten Hochmoorstandorten erheblich und dauerhaft zu verbessern. Durch die Schaffung geeigneter Mikrohabitate (z. B. mit Oberflächenmodellierung, Abb. K1-1) und das gezielte Einbringen von Initialpflanzen aus lokalem Spendermaterial sollen ehemalige Abtorfungsflächen im Naturschutzgebiet Totes Moor bei Hannover beispielhaft entwickelt werden. Hier werden in sechs Jahren Projektlaufzeit (2020 – 2026) auf Flächen mit unterschiedlichen Standortbedingungen Maßnahmen zur Entwicklung insektenfreundlicher Habitatstrukturen in einem experimentellen Ansatz erprobt und die dort gewonnenen Erfahrungen großflächig umgesetzt. Auf diese Weise soll die Besiedlung durch typische Insektenarten der Hochmoore gefördert und deren Bestände sollen langfristig gestärkt werden.

Die Untere Naturschutzbehörde der Region Hannover ist für die Umsetzung der Projektmaßnahmen zuständig. Die Entwicklung der Maßnahmenflächen wird vom Institut für Umweltplanung der Leibniz Universität Hannover fortlaufend evaluiert. Das Institut untersucht die Bestandsentwicklung ausgewählter Zielarten verschiedener Insektengruppen (Käfer, Libellen [Abb. K1-2], Tagfalter, Heuschrecken, Ameisen) ebenso wie die Entwicklung der Vegetation sowie die abiotischen Bedingungen. Alle Arbeiten finden in enger Abstimmung

statt, damit die Zwischenergebnisse umgehend in die weitere Maßnahmenumsetzung einfließen können.

Gefördert wird das Projekt (FKZ 3520685A10/B10) im Bundesprogramm Biologische Vielfalt (BPPV) vom Bundesamt für Naturschutz (BfN) mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV).

Autorinnen:

Amanda Grobe, M. Sc.
Leibniz Universität Hannover
Institut für Umweltplanung
Herrenhäuser Straße 2
30419 Hannover
E-Mail: grobe@umwelt.uni-hannover.de

Lotta Zoch, M. Sc.
Leibniz Universität Hannover
Institut für Umweltplanung
Herrenhäuser Straße 2
30419 Hannover
E-Mail: zoch@umwelt.uni-hannover.de



Abb. K1-1: Bagger bei der Oberflächenmodellierung. (Foto: Lotta Zoch)

Fig. K1-1: Excavator during surface modelling.



Abb. K1-2: Hochmoor-Mosaikjungfer (*Aeshna subarctica*). (Foto: Lotta Zoch)

Fig. K1-2: Subarctic damer (*Aeshna subarctica*).

bzw. 1997 erklärt sich durch die 1989 und 1996 im Projektgebiet durchgeführten Entkesselungen. Schlenkentorfmoose wurden 1984 in viele DQ eingebracht und traten dort in 24% auf, ihr Anteil stieg kontinuierlich bis 2019 auf 97%. Aus der Gruppe der Bulttorfmoose wurden 1984 diverse Arten über Plaggen eingebracht (Abb. M in Brux et al. 2023) sowie *Sphagnum magellanicum* in sechs DQ angepflanzt (11,3% der DQ). Sie verschwanden zunächst weitgehend, um dann wieder bis 2019 auf 6,5% der DQ zuzunehmen. Weitere Bulttorfmoose (Eintragungspfad unbekannt) wurden v.a. im Bereich von Heideflächen festgestellt und 2021 in neuen DQ dokumentiert. Die Entwicklung der Bulttorfmoose verlief sehr langsam, es dominieren nach wie vor Schlenkentorfmoose – dies wurde auch von Lemmer, Graf (2016) für viele Renaturierungsflächen festgestellt. Die häufigste, fast überall im NSG Leegmoor etablierte Art ist *S. cuspidatum*, die auch auf Wasserflächen flottiert oder den Wasserkörper ausfüllt. Bei Trockenfallen solcher Flächen kann sich ein Torfmoosrasen ausbilden und die Etablierung weiterer Arten begünstigen. Ergänzende Ergebnisse und Graphiken sind in Brux et al. (2023) dargestellt.

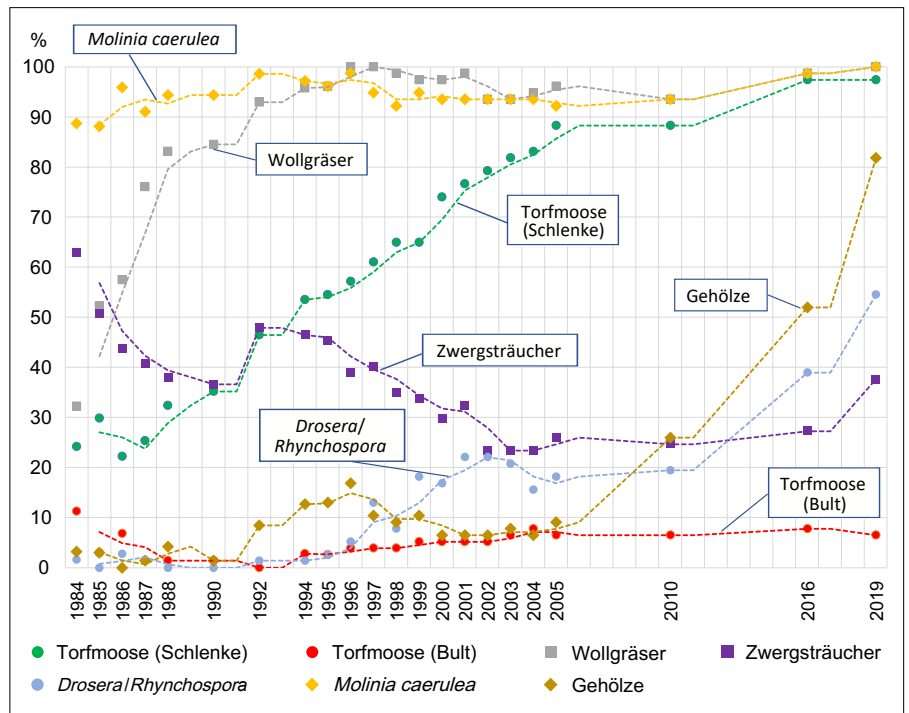


Abb. 6: Anteil der Dauerquadrate mit Arten ausgewählter Pflanzenartengruppen 1984 – 2019. Fig. 6: Share of permanent plots with selected plant species groups 1984 – 2019.

3.6 Torfbildung

Die besten Entwicklungen von Schlenkentorfmoosen und Torfen waren an Stellen zu beobachten, wo das Wasser in Zeiten des höchsten Überstaus ca. 10 – 30 cm über der Oberfläche stand und im Sommer durch die Verdunstung eine moderate Absenkung des Wasserstands erfolgte. Die trockenen Sommer 2018/2019 und 2022 zeigten, wie gut das System solche Perioden abpuffern kann. Am Ende der langen sommerlichen Trockenperiode waren die Torfmoose an der Oberfläche teilweise trocken, darunter zumindest feucht und lebend. Offenbar haben die geringen Niederschläge nicht zur tieferen Austrocknung der Torfe geführt.

In Schlenken wurden Profile untersucht, die Torfmoose, Akrotelm (periodisch aerobe Torfschicht) und den Beginn der Schwarztorfschicht umfassten. Hier fanden sich unter der lebenden Torfmoosvegetationsdecke schwach humifizierte, neu gebildete Weißtorfe mit ca. 2 – 10 cm Mächtigkeit, die heute auf der zu Beginn der Renaturierung 1984 vorhandenen Schwarztorffläche aufliegen (Abb. 7). Schwach humifizierte jüngere Weißtorfe und die lebende Torfmoosvegetationsdecke können Niederschläge ähnlich einem Schwamm aufnehmen (Joosten 1993). Damit steht ein entsprechender Wasservorrat für die Pflanzen zur Verfügung und stärkt die Resilienz gegenüber Trockenperioden. Dies stellt eine gute Voraussetzung für eine weitere Einbringung von Bulttorfmoosen dar, die 2021 im Rahmen des Projekts Hotspot 23 (BfN 2022) auf geeigneten Flächen erfolgte.

Solche Schlenkenmoostorfe finden wir in niedersächsischen Hochmooren als geringmächtige Schichten an der Moorbasis (z. B. Amt für Bodenforschung 1957), sie lassen erwarten, dass sich hier später Bulttorfmoose ansiedeln werden. Die Wassergehalte in dieser Schicht waren durchweg hoch. Offenbar entwickelt sich ein Akrotelm, das die Aktivität torfbildender aerobischer Mikroorganismen zulässt und das Wachstum der Torfmoose erlaubt. Damit ist davon auszugehen, dass die für das Wachstum von Torfmoosen erforderlichen akrotelmatischen Bedingungen (Eigner 2003) zumindest in einigen Bereichen gegeben sind.



Abb. 7: Bodenprofil mit schwach humifiziertem, neu gebildetem Weißtorf unter lebender Torfmoosvegetationsdecke auf der zu Beginn der Renaturierung 1984 vorhandenen Schwarztorffläche (Dauerquadrat 79, 12.9.2019). (Foto: Holger Brux)

Fig. 7: Soil profile with weakly humified, newly formed white peat under living peat moss vegetation cover on black peat present at the beginning of restoration in 1984 (permanent plot 79, 12 June 2019).

4 Fazit und Ausblick

Ziel des vor 40 Jahren begonnenen E + E-Vorhabens „Leegmoor“ war es, erstmals unter den ungünstigen Rahmenbedingungen eines teilabgetorften Moors mit einer Restschicht aus stark zersetztem Hochmoortorf (Schwarztorf) durch Vernässungsmaßnahmen und Ausbringen hochmoortypischer Pflanzen die Regeneration einzuleiten. Kernfrage der Nachuntersuchung war, ob das Entwicklungsziel der Hochmoorregeneration mit einer offenen Hochmoorfläche im Leegmoor beibehalten werden kann.

Das Einbringen von Diasporen hat die Wiederbesiedlung mit hochmoortypischen Arten beschleunigt. Diese Methode ist sinnvoll, wenn im Gebiet entsprechende Arten kaum vorhanden sind und mit einer Einwanderung über benachbarte Flächen nicht zu rechnen ist. Über Plaggen können auch wirbellose Tiere eingebracht werden, was für wenig mobile Arten entscheidend sein kann.

Ohne anfänglichen Überstau ist eine erfolgreiche Vernässung nicht möglich, wobei große offene Wasserflächen zu vermeiden sind. Mit Überstau von ca. 0,3 m im Winter und Frühjahr kann ausreichend Wasser in der Fläche bis in den Sommer sichergestellt werden. Höhere Wasserstände behindern die Ansiedlung von Torfmoosen. In Bereichen mit Schlenkentorfmoosen reichen Überstauhöhen von 0,1–0,2 m aus. Die Torfmoose können so im Winter aufschwimmen. In den Bereichen mit Torfmoosdecken treten deutlich geringere Schwankungen der Wasserstände auf. Bei einer Decke aus Torfmoosen von 0,1 m (neues Akrotelm) und mehr können auch trockene Sommer wie 2018/2019 oder 2022 gepuffert werden. Dauerhaft ganzjährig überstaute Flächen sind nicht für die Ansiedlung hochmoortypischer Vegetation geeignet.

Große Amplituden der Wasserstände gilt es zu dämpfen, da sie *Molinia caerulea* fördern. Seit 1961 gab es in der Region des Leegmoors nur zwei Jahre (1976, 2018) mit einer negativen KWB; eine Zunahme dieser Extreme durch den Klimawandel ist aber möglich. Für die Hochmoorregionen in Schleswig-Holstein und im Alpenvorland gilt Ähnliches; im östlichen Niedersachsen hat dagegen die Zahl der Jahre mit negativer KWB deutlich zugenommen. Für die Hochmoorregeneration ist entscheidend, dass die Flächen durch die Vegetation und zunehmendes Akrotelm eine ausreichende Resilienz bzw. Pufferkapazität entwickeln, um zukünftig häufiger zu erwartende Trockenphasen zu überleben (siehe auch Urban et al. 2014). Dies kann Jahrzehnte dauern!

Die Böden sind stabil sauer und weisen bei verstärkten Nässeverhältnissen abnehmende Gehalte pflanzenverfügbarer Nährstoffe auf. Weitere Ergebnisse der Nachuntersuchung im Leegmoor zeigen, dass und wie sich solche Flächen wiedervernässen und beleben lassen. Durch die bisherigen Vernässungen lässt sich der Torfkörper erhalten. Es findet eine Akkumulation von Kohlenstoff statt. Allerdings ist mit Methanfreisetzungen in überstauten Bereichen und mit einer Verschlechterung der Nährstoffsituation bei unverändert anhaltenden atmosphärischen Nährstoffeinträgen zu rechnen. Da Methanemissionen auch stark von der Bodentemperatur abhängen, beeinträchtigt ein Überstau im Winter die Treibhausgasbilanz deutlich weniger als ein Überstau im Sommer (Herbst et al. 2013).

Insgesamt sind die Ergebnisse der Nachuntersuchung, die auch in den „Handlungsempfehlungen zur Renaturierung von Hochmooren in Niedersachsen“ (Graf et al. 2022) berücksichtigt wurden, ermutigend. Auch bei moderatem weiterem Temperaturanstieg dürften die klimatischen Bedingungen für die Hochmoorregeneration in Nordwestdeutschland grundsätzlich ausreichen. Das Entwicklungsziel der Hochmoorregeneration mit einer offenen Hochmoorfläche kann beibehalten werden – es erfordert aber auch künftig ein Monitoring abiotischer und biotischer Parameter und ein zielgerichtetes Management.

5 Literatur

Amt für Bodenforschung (1957): Boden- und Moorkarte des Emslandes, Esterweger Dose. Übersicht der Bohrprofile, Beih.: Darstellung der Schichtfolgen. Amt für Bodenforschung, Hannover.

Assmann T., Dormann W. et al. (2003): Rote Liste der in Niedersachsen und Bremen gefährdeten Sandlaufkäfer und Laufkäfer (Coleoptera: Cicindelidae et Carabidae). Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen 23(2): 70–95.

BfN/Bundesamt für Naturschutz (2022): Vielfalt in Geest und Moor – Landschaft im Wandel der Zeiten. <https://biologischesvielfalt.bfn.de/bundesprogramm/projekte/projektbeschreibungen/hotspot-23.html> (aufgerufen am 26.3.2022).

Blankenburg J., Brux H. et al. (in Vorb.): Wissenschaftliche Nachuntersuchung des E + E-Vorhabens „Leegmoor“ (1984–1996) – Universität Bremen 1.12.2018–31.12.2021. Abschlussbericht (Förderkennzeichen: 3518892005).

Bleisinger S. (2012): Ermittlung und Darstellung von aktuellen Treibhausgasemissionen im Naturschutzgebiet „Leegmoor“ – Estimation and mapping of current greenhouse gas emissions in the nature protection area „Leegmoor“. Masterarbeit. Fakultät Forstwissenschaften und Waldökologie. Universität Göttingen. Göttingen: 80 S.

Bourbonniere R.A. (2009): Review of water chemistry research in natural and disturbed peatlands. Canadian Water Resources Journal 34: 393–414.

Braun-Blanquet J. (1964): Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. Springer Verlag, Wien: 865 S.

Brux H., Blankenburg J. et al. (2023): Entwicklung der Hochmoorregeneration auf industriell abgebauten Schwarztorfflächen im Verlauf von 35 Jahren – Zusatzmaterial. Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen. Göttingen: 28 S. DOI: 10.23689/figdeo-5707

Couwenberg J., Augustin J. et al. (2008): Entwicklung von Grundsätzen für eine Bewertung von Niedermooren hinsichtlich ihrer Klimarelevanz. Studie im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft und Naturschutz M-V. DUENE e. V. Greifswald: 33 S.

Couwenberg J., Joosten H. (2001): Das Beispiel Deutschland. In: Succow M., Joosten H. (Hrsg.), Landschaftsökologische Moorkunde. Schweizerbart. Stuttgart: 409–411.

Drachenfels O. von (2020): Kartierschlüssel für Biotoptypen in Niedersachsen unter besonderer Berücksichtigung der gesetzlich geschützten Biotope sowie der Lebensraumtypen von Anhang I der FFH-Richtlinie, Stand Februar 2020. Naturschutz und Landschaftspflege in Niedersachsen, Heft A/4. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz. Hannover: 331.

Drösler M., Augustin J. et al. (2012): Beitrag ausgewählter Schutzgebiete zum Klimaschutz und dessen monetäre Bewertung. Abschlussbericht des gleichnamigen F + E-Vorhabens (FKZ 3509 85 0500). BfN-Skripten 328: 163.

Eggelsmann R., Klose E. (1982): Regenerationsversuch auf industriell abgetorfem Hochmoor im Lichtenmoor – erste hydrologische Ergebnisse. TELMA 12: 189–205.

Eigner J. (2003): Möglichkeiten und Grenzen der Renaturierung von Hochmooren. Laufener Seminarbeitr. 1/03. Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege. Laufen/Salzach: 23–36.

Finch O.-D. (2004): Rote Liste der in Niedersachsen und Bremen gefährdeten Webspinnen (Araneae) mit Gesamtartenverzeichnis. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen 24(5): 1–20.

Gebhardt H., Knabke C. (1994): Erprobungs- und Entwicklungsvorhaben „Leegmoor“. Endbericht Teilprojekt Ökophysiologisch-bodenkundliche Untersuchungen. Manuskript. Carl von Ossietzky Universität Oldenburg. Oldenburg: 37 S.+ Anhang.

Graf M., Höper H., Hauck-Bramsiepe K. (Hrsg.) (2022): Handlungsempfehlungen zur Renaturierung von Hochmooren in Niedersachsen. GeoBerichte 45: 117 S.

Gürlich S., Suikat R., Ziegler W. (2011): Die Käfer Schleswig-Holsteins. Rote Liste Bd. 2. Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein. Flintbek: 126 S.

Herbst M., Friberg T. et al. (2013): Climate and site management as driving factors for the atmospheric greenhouse gas exchange of a restored wetland. *Biogeosciences* (Online) 10: 39 – 52.

Höper H. (2015): Treibhausgasemissionen aus Mooren und Möglichkeiten der Verringerung. *TELMA Beiheft* 5: 133 – 157.

Joosten H. (1993): Denken wie ein Hochmoor: Hydrologische Selbstregulation von Hochmooren und deren Bedeutung für Wiedervernässung und Restauration. *TELMA* 23: 95 – 115.

Köster H. (2016): Vegetationsentwicklung und Stickstoffeintrag im Leegmoor (Emsland). 33 Jahre nach der Wiedervernässung. Masterarbeit im Studiengang Landschaftswissenschaften. Leibniz Universität Hannover. Hannover: 52 S.

Lemmer M., Graf M. (2016): Wie erfolgreich verläuft die Renaturierung abgebauter Hochmoore? *Sphagnum*-Vorkommen auf 19 wiedervernässen Flächen in Niedersachsen. *TELMA* 46: 109 – 124.

Lkr. Emsland (2009): Verordnung über das Naturschutzgebiet „Leegmoor“ in der Gemeinde Surwold, Samtgemeinde Nordhümmeling, Lkr. Emsland. *Amtsblatt LK EL* 2009(30): 356 – 358 (vom 30.12.2009).

Nachtigall S., Giani L. (2022): Almost 40 years after raised bog restoration on black peat: How did nutrient levels in soil and water change? *Mires and Peat* 28(03): 17.

Neisius J. (2023): Welche Methode (Machine Learning vs Deep Learning) eignet sich am besten für die Klassifikation von Wasserflächen bei kleineren Moorgebieten am Beispiel des Leegmoors? Masterarbeit. Universität Wien. Wien: in Vorb.

Nick K.-J., Blankenburg J. et al. (1993): Beiträge zur Wiedervernässung abgebauter Schwarztorfflächen: Ergebnisse eines Erprobungs- und Entwicklungsvorhabens im Leegmoor, Lkr. Emsland. *Naturschutz und Landschaftspflege in Niedersachsen* 29: 127 S.

Nick K.-J., Löpmeier F.-J. et al. (2001): Moorregeneration im Leegmoor/Emsland nach Schwarztorffabbau und Wiedervernässung: Ergebnisse aus dem E + E-Vorhaben 80901001 des Bundesamtes für Naturschutz. *Angewandte Landschaftsökologie* 38: 1 – 204.

Nick K.-J. (2007): Das Leegmoor, ein seit 20 Jahren regenerierendes, ehemaliges Hochmoor. *Jahrbuch des Emsländischen Heimatbundes* 53: 241 – 260.

Rosenthal G., Müller J. (2004): Bedeutung von Langzeituntersuchungen für die Renaturierungsökologie. *Nachrichten der GfÖ* 2004(6): 18 – 22.

Sentinel (2022): Sentinel Hub EO Browser. <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/> (aufgerufen am 1.3.2022).

Tiemeyer B., Albiac Borrás E. et al. (2016): High emissions of greenhouse gases from grasslands on peat and other organic soils. *Global Change Biology* 22: 4.134 – 4.149. DOI: 10.1111/gcb.13303

Urban B., Schmidt S.R. et al. (2014): Klimawandel und Moorvegetation. In: Urban B., Becker J. et al. (Hrsg.): *Klimawandel in der Lüneburger Heide – Kulturlandschaften zukunftsfähig gestalten*. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten 6: 69 – 72.

Zórawski L. (2020): Flächenbezogene Erfolgskontrolle und Analyse der 1984 zu Renaturierungszwecken angesäten hochmoortypischen Pflanzen im Projektgebiet des Naturschutzgebietes Leegmoor (Lkr. Emsland). Bachelorarbeit. Carl von Ossietzky Universität Oldenburg. Oldenburg: 74 S.

Förderung

Das Projekt wird als Erprobungs- und Entwicklungsvorhaben (E + E-Vorhaben) „Wissenschaftliche Nachuntersuchung 2018 – 2021 des E + E-Vorhabens „Leegmoor“ (1984 – 1996) – Universität Bremen“ (Förderkennzeichen: 3518892005) durch das Bundesamt für Naturschutz (BfN) mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) gefördert.

Holger Brux
Korrespondierender Autor
Lerchenstraße 28
26123 Oldenburg
E-Mail: info@brux.bio



Studium der Biologie an der Technischen Hochschule Darmstadt und der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg. 1986 Mitbegründer des Planungsbüros IBL Umweltplanung und bis 2018 geschäftsführender Gesellschafter mit den Arbeitsschwerpunkten Renaturierungsökologie, Umwelt- und Fauna-Flora-Habitat-Verträglichkeitsuntersuchungen, Genehmigungsverfahren, Methodenentwicklung, Gewässerökologie. 1998 – 2012 Lehrbeauftragter an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg im Fach Landschaftsökologie. Ab 2019 freiberufliche Tätigkeit, v. a. Langzeituntersuchungen im Bereich Gewässervegetation und Hochmoorrenaturierung.

Prof. Dr. Joachim Blankenburg
Eichhörnchenweg 4
27777 Ganderkesee
E-Mail: joachim.blankenburg@t-online.de

Herbert Främbis
Hollerlander Weg 68
28355 Bremen
E-Mail: fraembs@nord-com.net

Prof. Dr. Luise Giani
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
Institut für Biologie und Umweltwissenschaften
26111 Oldenburg
E-Mail: luise.giani@uni-oldenburg.de

Oliver Giesecke
IBL Umweltplanung GmbH
Bahnhofstraße 14 a
26122 Oldenburg
E-Mail: braasch@ibl-umweltplanung.de

Stefanie Heinze
Bundesamt für Naturschutz
Fachgebiet II 2.3 – „Nationales Naturerbe, dynamische Systeme und Klimawandel“
Konstantinstraße 110
53179 Bonn
E-Mail: stefanie.heinze@bfn.de

Dr. Mathias Herbst
Deutscher Wetterdienst
Zentrum für Agrarmeteorologische Forschung
Braunschweig (ZAMF)
Bundesallee 33
38116 Braunschweig
E-Mail: zamf.braunschweig@dwd.de

Dr. Sven Jensen
Geologischer Dienst für Bremen
MARUM
Leobener Straße 8
28359 Bremen
E-Mail: sjensen@gdfb.de

David Matuschek
Thomaestraße 14
38118 Braunschweig
E-Mail: davidmatuschek@gmx.net

Prof. Dr. Dietrich Mossakowski
Seeweg 10
23942 Groß Schwansee
E-Mail: dmossa@uni-bremen.de

Solveig Nachtigall
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
Institut für Biologie und Umweltwissenschaften
26111 Oldenburg
E-Mail: solveig.nachtigall@uni-oldenburg.de

Dr. Hans-Bert Schikora
Am Vorwerk 10
27432 Bremervörde
E-Mail: h.b.schikora@oesoste-region.de

www.dnl-online.de

Die Literaturdatenbank des
Bundesamtes für Naturschutz

Bücher, Zeitschriften,
elektronische Publikationen und
Aufsätze zu allen Themen des
Naturschutzes



Anzeigen

**Tausche 1 €
gegen 1 m² Natur**

Mit dem Kauf wertvoller Naturflächen schafft die Loki Schmidt Stiftung wichtige Überlebensinseln für bedrohte Pflanzen und Tiere.

Inzwischen konnten mit Ihrer Hilfe schon über 2.000.000 m² Natur gerettet werden.

**Jeder Quadratmeter hilft.
Machen Sie mit!**

Unser Spendenkonto:
IBAN DE37 2005 0550 1280 2292 28
Stichwort: Überlebensinsel



www.loki-schmidt-stiftung.de