

NATUR UND LANDSCHAFT

Zeitschrift für Naturschutz und Landschaftspflege

98. Jahrgang 2023 Heft

Seiten

DOI:

Auswirkungen von Revitalisierungsmaßnahmen auf die Biodiversität von Mooren in der gemäßigten Klimazone – eine Metaanalyse

The effects of restoration on peatland biodiversity in the temperate climate zone – A meta-analysis

Marvin Beckert und Ana Carolina Rodríguez

Zusammenfassung

In diesem Beitrag geben wir einen Überblick über die Auswirkungen von Moorrevitalisierungsmaßnahmen auf die Biodiversität von Mooren in der gemäßigten Klimazone. Dazu haben wir anhand einer systematischen Literatursuche und Metaanalyse die Diversität, Abundanz und Anzahl der vorkommenden Arten allgemein und die Abundanz und Anzahl generalistischer und moortypischer Arten aus 62 Studien zu Moorschutzmaßnahmen mit entwässerten oder naturnahen Vergleichsflächen ausgewertet. Im Vergleich zu degradierten Flächen weisen revitalisierte Moore eine durchschnittlich 49 % höhere allgemeine Biodiversität, eine 124 % höhere Abundanz moortypischer Arten und eine 65 % höhere Anzahl moortypischer Arten auf. Die allgemeine Biodiversität ist in revitalisierten im Vergleich zu naturnahen Mooren durchschnittlich 11 % niedriger, die Abundanz moortypischer Arten ist 37 % und die Anzahl moortypischer Arten 31 % geringer. Die Ergebnisse zeigen, dass Moorrevitalisierungsmaßnahmen messbare positive Auswirkungen auf die Biodiversität haben und unterstreichen die Dringlichkeit, bestehende naturnahe Moore zu schützen.

Naturnahe Moore – revitalisierte Moore – Revitalisierung – Renaturierung – Metaanalyse – moortypische Biodiversität – Hochmoor – Niedermoor

Abstract

We provide an overview of the effects of restoration measures on peatland biodiversity in the temperate climate zone. We conducted a systematic literature review and meta-analysis and analysed data for general species diversity, abundance and richness as well as abundance and richness of generalist and characteristic peatland species from 62 publications about peatland restoration measures with drained or near-natural control sites. Average values were higher in restored peatlands compared to degraded sites for general diversity (49 %), abundance of characteristic peatland species (124 %) and richness of characteristic peatland species (65 %). General diversity was 11 %, abundance of characteristic peatland species was 37 % and richness of characteristic peatland species 31 % lower in restored compared to near-natural peatlands. The results show that peatland restoration measures have a significantly positive impact on biodiversity and highlight the importance of protecting pristine and near-natural peatlands.

Near-natural peatlands – Restored peatlands – Restoration – Meta-analysis – Peatland biodiversity – Bog – Fen

Manuskripteinreichung: 16.8.2022, Annahme: 12.12.2022

DOI: 10.19217/NuL2023-03-06

1 Einleitung

In Deutschland und vielen anderen Ländern der gemäßigten Klimazone ist ein Großteil der Moorböden degradiert (Tanneberger et al. 2021). Moorschutz im Klimawandel bedeutet dort, neben dem konsequenten Schutz der wenigen verbliebenen natürlichen und naturnahen Moore die großflächige Revitalisierung geschädigter Ökosysteme umzusetzen. Im Besonderen wird zunehmend das Potenzial des Moorschutzes als Maßnahme für den Klimaschutz erkannt (Leifeld, Menichetti 2018), Umsetzungsprojekte werden als naturbasierte Lösungen für den Klimawandel vorgeschlagen und umgesetzt (Shin et al. 2022; zur klimaschonenden Nutzung von Moorböden siehe auch Stüber et al. 2023, S. 132 ff., in dieser Ausgabe). Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung entsprechender Revitalisierungsmaßnahmen ist es, geeignete Flächen ausfindig zu machen (siehe hierzu Koppensteiner et al. 2023, S. 94 ff., und Gepp et al. 2023, S. 104 ff., in dieser Ausgabe) und die Auswirkungen auf Klima, Ökosystemleistungen und Biodiversität zu untersuchen, um Fehlentwicklungen entgegenwirken zu können.

Moore beherbergen durch die oft extremen Bedingungen teils hochspezialisierte Tier- und Pflanzenarten (Minayeva et al. 2017). Die Wiederherstellung einer moortypischen Biodiversität ist unerlässlich für

gesunde, torfbildende Ökosysteme (Littlewood et al. 2010). Deswegen ist es notwendig zu wissen, ob sich durch Wiederherstellungsmaßnahmen eine moortypische Biodiversität einstellt (Rowland et al. 2021). Systematische Literaturrecherchen und Metaanalysen können helfen, die Ergebnisse vieler Renaturierungsprojekte zusammenzufassen und zu erkennen, welche Umsetzungsmaßnahmen Wirkung zeigen und wie in Zukunft nachgebessert werden kann (Ladouceur, Shackelford 2021).

In diesem Beitrag betrachten wir die allgemeine Artenzahl, Abundanz und Diversität sowie die Artenzahl und Abundanz der moortypischen und generalistischen wirbellosen Tiere, Moose und Gefäßpflanzen in revitalisierten Mooren sowie in entwässerten und naturnahen Vergleichsflächen der gemäßigten Klimazone, um den Beitrag von Moorrevitalisierungsprojekten zur biologischen Vielfalt zu evaluieren. Wir untersuchen die Fragestellung, ob durch Revitalisierungsmaßnahmen die allgemeine und moortypische Biodiversität im Vergleich zu degradierten Mooren erhöht wird und ob ähnliche Werte wie in naturnahen Mooren erzielt werden können. Weiterhin untersuchen wir den Einfluss von Artengruppen, Art und Dauer der Maßnahmen, Moortyp und Vornutzung als mögliche Faktoren mit relevantem Einfluss auf den Revitalisierungserfolg und die Biodiversität der Moore.

2 Material und Methoden

2.1 Literatursuche und Datenextraktion



Die Datenbank Scopus wurde in englischer Sprache mit einschlägigen Begriffen wie „Biodiversität“, „Artenvielfalt“, „Moore“, „Wiedervernässung“ und „Renaturierung“ nach Veröffentlichungen zu Moorrevitalisierungsmaßnahmen durchsucht (für eine vollständige Auflistung der Suchbegriffe siehe Tab. A im Online-Zusatzmaterial unter https://online.natur-und-landschaft.de/zusatz/3_2023_A_Beckert). Zusätzlich wurden mit denselben Suchbegriffen die ersten zehn Seiten von Google Scholar durchsucht, um weitere und auch graue Literatur abzudecken. Um Vergleichbarkeit zu gewährleisten, aber dennoch einen großen geographischen Raum abzudecken, bezogen wir Studien zu Moorflächen zwischen den 40. und 65. nördlichen und südlichen Breitengraden ein. Ein Eignungskriterium für die Maßnahmen war eine hydrologische Verbesserung gegenüber dem Ausgangszustand; der Wasserstand musste also dem eines natürlichen Moors näherkommen. Zudem mussten Daten von Vergleichsflächen angegeben sein, von entwässerten und/oder naturnahen Flächen. Einbezogen wurden sowohl zeitliche Vergleiche (Daten vor Maßnahmenbeginn) als auch räumliche Vergleichsflächen (time-for-space substitution). Auch Ergebnisse zur aquatischen Biodiversität offener Wasserflächen, z. B. in verplombten Entwässerungsgräben oder in bei Revitalisierungsmaßnahmen angelegten Teichen, wurden nicht von der Analyse ausgeschlossen, vorausgesetzt, dass auch eine allgemeine hydrologische Verbesserung des Untersuchungsgebiets nachweisbar war. Denn auch diese Daten erlauben aufschlussreiche Vergleiche zwischen naturnahen, degradierten und revitalisierten Mooren.

Als moortypisch gelten in der Auswertung nur jene Arten, bei denen aus der jeweiligen Veröffentlichung hervorgeht, dass sie typisch für die untersuchten Moortypen sind. Die Arten mussten nicht moorspezifisch sein (für eine Erläuterung dieser Begriffe siehe [Luthardt et al. 2023](#), S. 125, in dieser Ausgabe). Zudem wurden jene Flächen als naturnah gewertet, die in den Veröffentlichungen in geeigneter Weise so beschrieben wurden. Zusätzlich wurden Informationen zur vorherigen Nutzung, zur Verwendung zusätzlicher Maßnahmen (Artenausbringung und Oberbodenabtrag),

zum Moortyp und zum Zeitpunkt des Beginns der Maßnahmen gesammelt. Informationen zu den Faktoren konnten bei allen geeigneten Datenquellen extrahiert werden. Allerdings variierte die Genauigkeit der Angaben. Wenn die Vornutzung oder der Moortyp unklar war, wurden die Daten der Kategorie „Sonstige“ zugeordnet.

Insgesamt wurden die Titel und/oder Zusammenfassungen von 1.723 Veröffentlichungen gesichtet und auf Eignung für eine quantitative Auswertung geprüft. Davon wurden 189 als Volltexte gelesen, 62 Veröffentlichungen waren für eine quantitative Auswertung geeignet (Tab. A im [Online-Zusatzmaterial](#)). Für die Auswertung wurden Durchschnittswerte, Angaben zur Varianz und zum Stichprobenumfang, zu Diversitätswerten (z. B. Shannon's Diversity Index), zu Abundanz oder Deckung und zur Zahl der Arten allgemein und der generalistischen und moortypischen Arten aus Text, Tabellen und Abbildungen (mit metaDigitise, [Pick et al. 2019](#)) extrahiert und aggregiert. Für die Berechnung fehlender Werte zur Standardabweichung verwendeten wir nach der Methode von [Nakagawa et al. \(2022\)](#) den gewichteten Durchschnitt der Variationskoeffizienten vorhandener Werte.

2.2 Effektgrößen und metaanalytische Modelle

Um den Unterschied der untersuchten Parameter zwischen revitalisierten und degradierten bzw. naturnahen Mooren zu untersuchen, berechneten wir als Effektgröße die log response ratio (lnRR; [Hedges et al. 1999](#)). Die lnRR wird in ökologischen Metaanalysen häufig verwendet und lässt sich zur einfacheren Interpretation in Prozentwerte umrechnen ([Lajeunesse 2011](#)). Wir erstellten Multi-levelmodelle mit zwei random effects (Untersuchungsfläche und Studie). Um den verschiedenen Abhängigkeiten in den Daten (z. B. die Untersuchung von Zeitreihen auf einer Fläche) gerecht zu werden, bildeten wir Varianz-Kovarianz-Matrizen. Wir erstellten zwei metaanalytische Gesamtmodelle, je für den Vergleich von revitalisierten und degradierten bzw. revitalisierten und naturnahen Flächen. Ein positiver lnRR-Wert bedeutet, dass die Werte der jeweiligen Parameter im revitalisierten Moor höher sind als in den Vergleichsflächen. Der Einfluss der einzelnen Effektgrößen wurde nach der Präzision (1/Standardfehler des Mittelwerts) der Daten

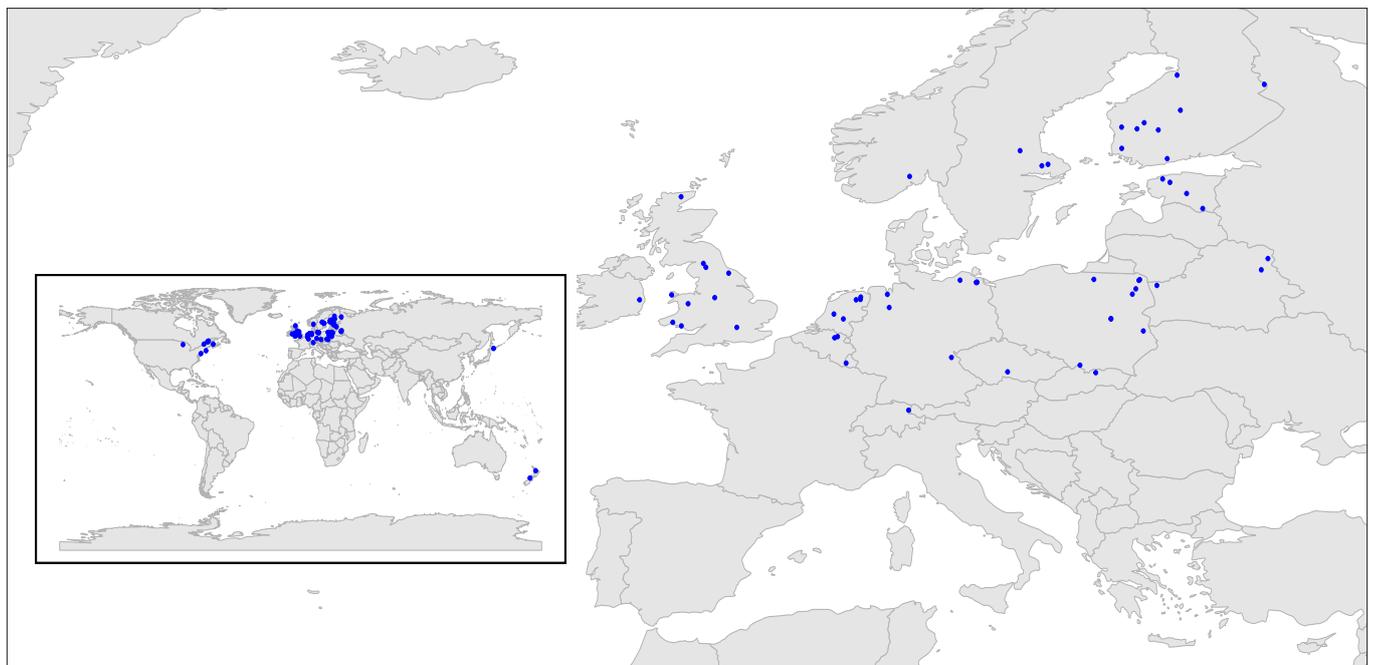


Abb. 1: Lage der Moorflächen der in der Metaanalyse untersuchten Veröffentlichungen (blaue Punkte). Wenn in Studien sehr viele Standorte untersucht wurden, ist für eine bessere Übersichtlichkeit eine reduzierte Anzahl an Punkten dargestellt.

Fig. 1: Locations of peatland sites included in the meta-analysis (blue dots). The number of sites displayed is reduced for publications examining a large number of sites.

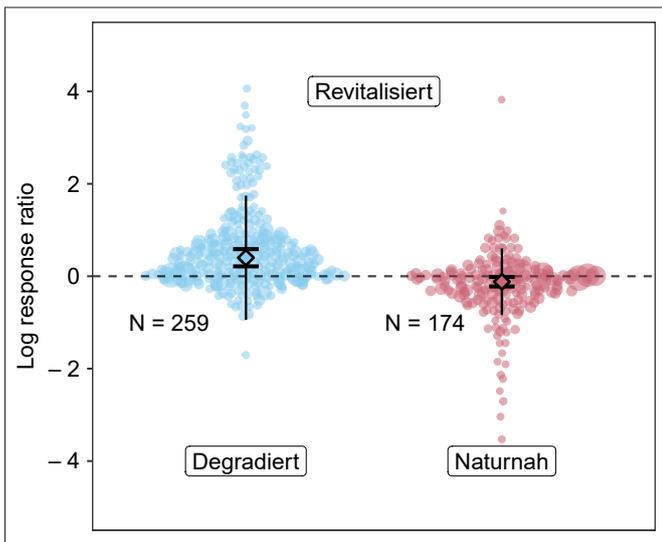


Abb. 2: Mit dem metaanalytischen Gesamtmodell ermittelte Biodiversitätsunterschiede (lnRR) zwischen revitalisierten und degradierten Mooren (links) sowie revitalisierten und naturnahen Mooren (rechts). Die umrandeten Rhomben stellen den Durchschnittswert dar, die fetten horizontalen Linien zeigen das 95 %-Konfidenzintervall und die dünnen vertikalen Linien das 95 %-Prognoseintervall. Die Punkte repräsentieren die einzelnen Effektgrößen, sind zur besseren Übersichtlichkeit horizontal gestreut und nach der Präzision (1/Standardfehler) skaliert. N ist die Anzahl der verwendeten Effektgrößen.

Fig. 2: Meta-analytic model results (lnRR) comparing restored and degraded (left) as well as restored and near-natural (right) peatland sites. The outlined diamond shapes represent the mean, the bold horizontal lines between whiskers the 95 % confidence interval and the thin vertical lines the 95 % prediction interval. The points represent the individual effect sizes, are horizontally distributed for better visibility and their size is scaled by the precision of that estimate (1/standard error). N represents the number of effect sizes.

gewichtet. Wenn das 95 %-Konfidenzintervall (KI) den Nullpunkt nicht überschreitet, gilt der Unterschied als statistisch signifikant. Die statistische Signifikanz wurde zusätzlich mit einem Wald-Test überprüft. Zudem berechneten wir 95 %-Prognoseintervalle, um abzuschätzen, wie groß die Variabilität der Ergebnisse war. Insgesamt berechneten wir 433 Effektgrößen (also einzelne Vergleichswerte zwischen revitalisierten und naturnahen oder degradierten Mooren).

Um die Ergebnisse genauer zu untersuchen, führten wir Meta-regressionen durch. Bei Meta-regressionen werden Parameter zum metaanalytischen Gesamtmodell hinzugefügt, um ihren Einfluss auf das Ergebnis zu untersuchen. Eine Meta-regression haben wir zum Unterschied zwischen der allgemeinen Abundanz und Artenzahl und der Zahl und Abundanz moortypischer und generalistischer Arten durchgeführt. In einer zweiten Meta-regression untersuchten wir den Einfluss der Artengruppe, der Dauer seit Beginn der Maßnahmen, des Einsatzes zusätzlicher Maßnahmen, des Moortyps und der vorherigen Landnutzung auf die Abundanz und Anzahl moortypischer Arten. Abundanz und Artenzahl wurden dabei nicht getrennt betrachtet.

Da statistisch signifikante Ergebnisse häufiger publiziert werden als nichtsignifikante, untersuchten wir das Publikationsbias (systematischer Fehler) mit einer modifizierten Egger-Regression (Nakagawa, Poulin 2012). Die metaanalytischen Modelle berechneten wir mit dem R-Paket metafor (Viechtbauer 2010). Die Abbildungen wurden mit den R-Paketen ggplot2 (Wickham 2016) und OrchaRd (Nakagawa et al. 2021) erstellt. Alle Analysen wurden mit R 4.20 durchgeführt (R Core Team 2022).

3 Ergebnisse

3.1 Charakterisierung der untersuchten Veröffentlichungen

Die 62 Studien stammen aus Untersuchungen von Moorflächen in 17 Ländern, hauptsächlich in Europa und Nordamerika (Abb. 1). Die Studien untersuchten die Revitalisierung von Hochmooren (48 %) und Niedermooren (36 %). Die verbleibenden 16 % der Studien untersuchten verschiedene Moortypen, Übergangsmoore oder waren nicht eindeutig zuzuordnen („Sonstige“). Vornutzungen waren Landwirtschaft (26 %), Forstwirtschaft (26 %) und Torfabbau (29 %). Bei 19 % war die vorherige Landnutzung gemischt, unklar oder anderweitig (z. B. Renaturierung einer Feuerschneise). 47 % der Studien untersuchten die Vegetation, 53 % die Fauna, 75 % davon wirbellose Tiere, 15 % Mikroben und 10 % Wirbeltiere. In 28 % der Veröffentlichungen wurden explizit moortypische Arten untersucht. Bei diesen waren wirbellose Tiere und Pflanzen vertreten. Die Dauer seit Beginn der Maßnahmen reicht von einem bis 54 Jahren mit einem Durchschnittswert von acht Jahren und einem Median von fünf Jahren. Zusätzliche Informationen zu den Veröffentlichungen sind in Tab. A im Online-Zusatzmaterial dargestellt. Wir haben kein Publikationsbias festgestellt (Egger-Regression: $p=0,1460$ für den Datensatz mit degradierten Mooren und $p=0,4553$ für den Datensatz mit naturnahen Mooren).

3.2 Biodiversitätsunterschiede zwischen revitalisierten und degradierten Mooren

Bei gemeinsamer Betrachtung aller ermittelten Parameter ist die Biodiversität in revitalisierten Mooren signifikant höher als in den degradierten Vergleichsflächen (49 %; Konfidenzintervall – KI [23 %; 79 %]; lnRR = 0,4; $p < 0,0001$, Abb. 2). Bei der allgemeinen Abundanz und Artenzahl und der Abundanz und Anzahl der generalistischen Arten sind keine signifikanten Unterschiede sichtbar (Abb. 3a, c, S. 144). Die Abundanz der moortypischen Arten ist in revitalisierten im Vergleich zu degradierten Mooren 124 % (KI [43 %; 249 %]; lnRR = 0,8; $p = 0,0005$) höher und die Anzahl der moortypischen Arten 65 % (KI [21 %; 125 %]; lnRR = 0,5; $p = 0,017$) höher.

Wenn die Maßnahmen weniger als fünf Jahre zurückliegen, ist im Schnitt noch kein signifikanter Unterschied in der Anzahl und Abundanz moortypischer Arten vorhanden. Sowohl bei Maßnahmenbeginn vor fünf bis zehn als auch bei Maßnahmenbeginn vor mehr als zehn Jahren ist eine signifikant höhere Anzahl und Abundanz moortypischer Arten erkennbar (Abb. 4a, S. 145). Mit Ausnahme der „sonstigen“ Landnutzung haben alle anderen betrachteten Parameter eine höhere Biodiversität in revitalisierten Mooren (positiver lnRR-Wert, Abb. 4a, S. 145). Beim Parameter „Maßnahmen“ sind die Biodiversitätswerte in revitalisierten Mooren sowohl mit als auch ohne zusätzlich verwendete Maßnahmen statistisch signifikant höher. Beim Moortyp sind die Werte für Hochmoore statistisch signifikant höher und bei der Vornutzung die Werte der Nutzung „Torfabbau“.

3.3 Biodiversitätsunterschiede zwischen revitalisierten und naturnahen Mooren

Bei gemeinsamer Betrachtung aller ermittelten Parameter ist die Biodiversität in naturnahen Mooren signifikant höher als in revitalisierten (– 11 %; KI [– 20 %; – 1,4 %]; lnRR = – 0,12; $p = 0,02$, Abb. 2). Bei der allgemeinen Abundanz und Artenzahl und der Abundanz und Anzahl der generalistischen Arten sind keine signifikanten Unterschiede sichtbar (Abb. 3b, d, S. 144). Abundanz (– 37 %; KI [– 52 %; – 19 %]; lnRR = – 0,47; $p = 0,0007$) und Anzahl (– 31 %; KI [– 47 %; – 9 %]; lnRR = – 0,37; $p = 0,008$) der moortypischen Arten sind signifikant geringer in revitalisierten im Vergleich zu

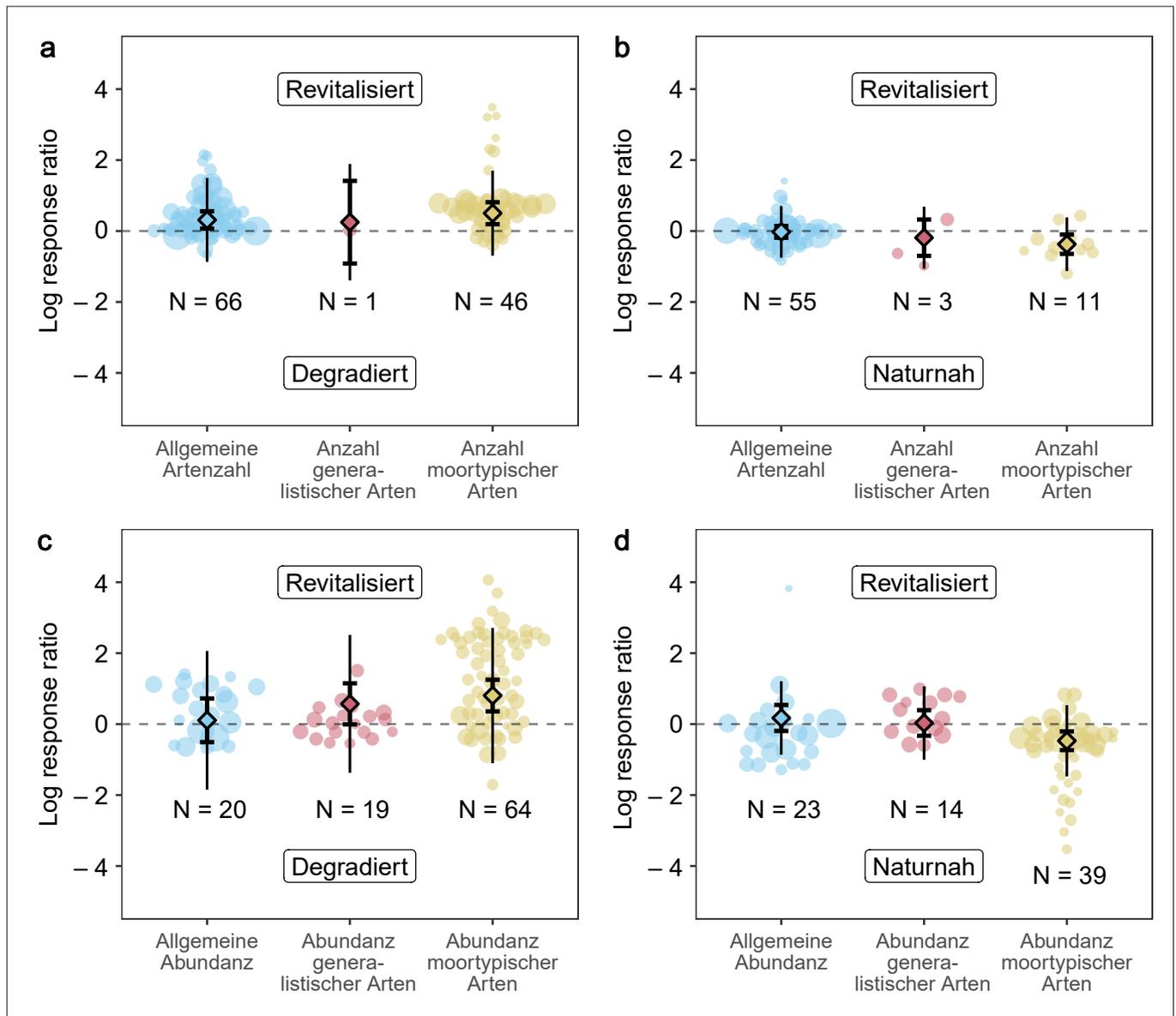


Abb. 3: In der Metaregression ermittelte Unterschiede (InRR) der allgemeinen Artenzahl und der Anzahl generalistischer und moortypischer Arten in (a) revitalisierten und degradierten Mooren und (b) revitalisierten und naturnahen Mooren sowie der allgemeinen Abundanz und Abundanz generalistischer und moortypischer Arten in (c) revitalisierten und degradierten Mooren und (d) revitalisierten und naturnahen Mooren. Die umrandeten Rhomben stellen den Durchschnittswert dar, die fetten horizontalen Linien zeigen das 95%-Konfidenzintervall und die dünnen vertikalen Linien das 95%-Prognoseintervall. Die Punkte repräsentieren die einzelnen Effektgrößen, sind zur besseren Übersichtlichkeit horizontal gestreut und nach der Präzision (1/Standardfehler) skaliert.

Fig. 3: Meta-regression results (InRR) comparing general species richness and richness of generalist and characteristic peatland species in (a) restored and degraded and (b) restored and near-natural peatland sites and general abundance and abundance of generalist and characteristic peatland species in (c) restored and degraded and (d) restored and near-natural peatlands. The outlined diamond shapes represent the mean, the bold horizontal lines between whiskers the 95 % confidence interval and the thin vertical lines the 95 % prediction interval. The points represent the individual effect sizes, are horizontally distributed for better visibility and their size is scaled by the precision of that estimate (1/standard error). N represents the number of effect sizes.

naturnahen Mooren. Signifikante Unterschiede in Anzahl und Abundanz moortypischer Arten sind sowohl bei Maßnahmen, die vor weniger als fünf Jahren begannen, als auch bei Maßnahmen, die vor fünf bis zehn Jahren begannen, vorhanden (Abb. 4b). Bei Maßnahmen, die vor mehr als zehn Jahren begannen, ist kein Unterschied feststellbar (Abb. 4b). Von den untersuchten Artengruppen haben nur Moose eine statistisch signifikant geringere Biodiversität in revitalisierten im Vergleich zu naturnahen Mooren. Beim Parameter „Maßnahmen“ sind die Werte sowohl mit als auch ohne zusätzliche Maßnahmen in revitalisierten Mooren signifikant geringer. Beim Moortyp sind die Werte der Hoch- und Niedermoore und

bei der Vornutzung die Werte für Forst, Torfabbau und sonstige Landnutzung in den revitalisierten Mooren signifikant geringer (Abb. 4b).

4 Diskussion

4.1 Limitationen

Wir haben uns bei dieser Metaanalyse auf relativ häufig gemessene und einfach aus der Literatur extrahierbare Indikatoren

beschränkt, v.a. die Artenzahl und Abundanz. Nur bei den metaanalytischen Gesamtmodellen sind auch Diversitätsindizes eingeflossen. Ein Indikator für einen erfolgreichen Renaturierungsprozess kann die Ansiedlung moortypischer Arten sein, aber die Zusammensetzung und das Ensemble komplexer Moorpflanzenfunktionstypen kann sich zwischen renaturierten und naturnahen Standorten nach Dekaden noch stark unterscheiden (Kreyling et al. 2021).

Die Daten, die sich aus der systematischen Literatursuche ergaben, sind in Methodik, Effektgrößen (siehe 95 %-Prognoseintervalle in Abb. 2, S. 143, Abb. 3) und Nomenklatur heterogen. Die zur Verfügung stehenden Daten sind meist auf die Untersuchungen der Vegetation und Fauna beschränkt. Für eine bessere Einschätzung sind jedoch auch Informationen zur Habitatstruktur und genetischen Diversität wichtig (Minayeva et al. 2017). Um den Erfolg der Maßnahmen besser einschätzen zu können, sollten zukünftige Metaanalysen auch die funktionale Diversität und Artenzusammensetzung einbeziehen, da nur so festgestellt werden kann, inwiefern revitalisierte Moore von naturnahen abweichen und ob sie die vielfältigen Ökosystemfunktionen naturnaher Moore leisten können (O'Brien et al. 2022). Zudem konnte in der zu Grunde liegenden Literatur nicht immer zwischen moorspezifischen und moortypischen Arten unterschieden werden, so dass sich unsere Analyse verallgemeinernd auf die moortypische Biodiversität bezieht. Hammerich et al. (2022) zeigen, dass es sinnvoll ist, moorspezifische Arten explizit zu betrachten.

Auch die Wasserstände, die Dauer der Entwässerung, Pflegemaßnahmen wie z. B. Entkusselung und die Stärke der Degradation der Moorböden haben wir nicht explizit betrachtet, auch weil diese Informationen oft nicht aus den Veröffentlichungen hervorgingen. Daten zur Biodiversität offener Wasserflächen haben wir nicht von der Analyse ausgeschlossen; für eine gesonderte Untersuchung reichte der diesbezügliche Datensatz allerdings nicht aus. Zudem haben wir nicht untersucht, wie viele der Arten als gefährdet eingestuft sind. Das Vorhandensein gefährdeter Arten und Biotoptypen auf entwässerten Flächen kann zu Konflikten zwischen dem Ziel einer Wiedervernässung und anderen Zielen des Naturschutzes führen (Szymank et al. 2015).

Die Daten erfolgreicher Moorrenaturierungsprojekte werden häufiger veröffentlicht als die Daten gescheiterter Projekte (Taylor et al. 2019). Auch wenn wir kein statistisch signifikantes Publikationsbias feststellen konnten, ist es doch wahrscheinlich, dass dies auch einen Einfluss auf die Ergebnisse hat.

Bei der systematischen Literatursuche haben wir a priori die gesamte gemäßigte Zone einbezogen. Die Veröffentlichungen, die für die statistische Auswertung geeignet waren, stammten jedoch mit großer Mehrheit aus Mittel- und Nordeuropa sowie Nordamerika. Andere geographische Regionen sind kaum abgedeckt. Wir

konnten keine Studien aus Südamerika auswerten und aus Asien ist nur eine Studie vertreten (Yamanaka et al. 2017). Dies kann zum Teil mit der geringeren Moorentwässerung in diesen Erdteilen erklärt werden, zeigt aber auch, dass englischsprachige bzw. international zugängliche Literatur aus diesen Regionen noch fehlt. Die Ergebnisse der statistischen Auswertung sind dementsprechend nicht geeignet, die Situation in diesen Regionen angemessen zu repräsentieren, geben aber einen Einblick in den aktuellen Stand der Forschung zu Moorrevitalisierungen in der gemäßigten Zone.

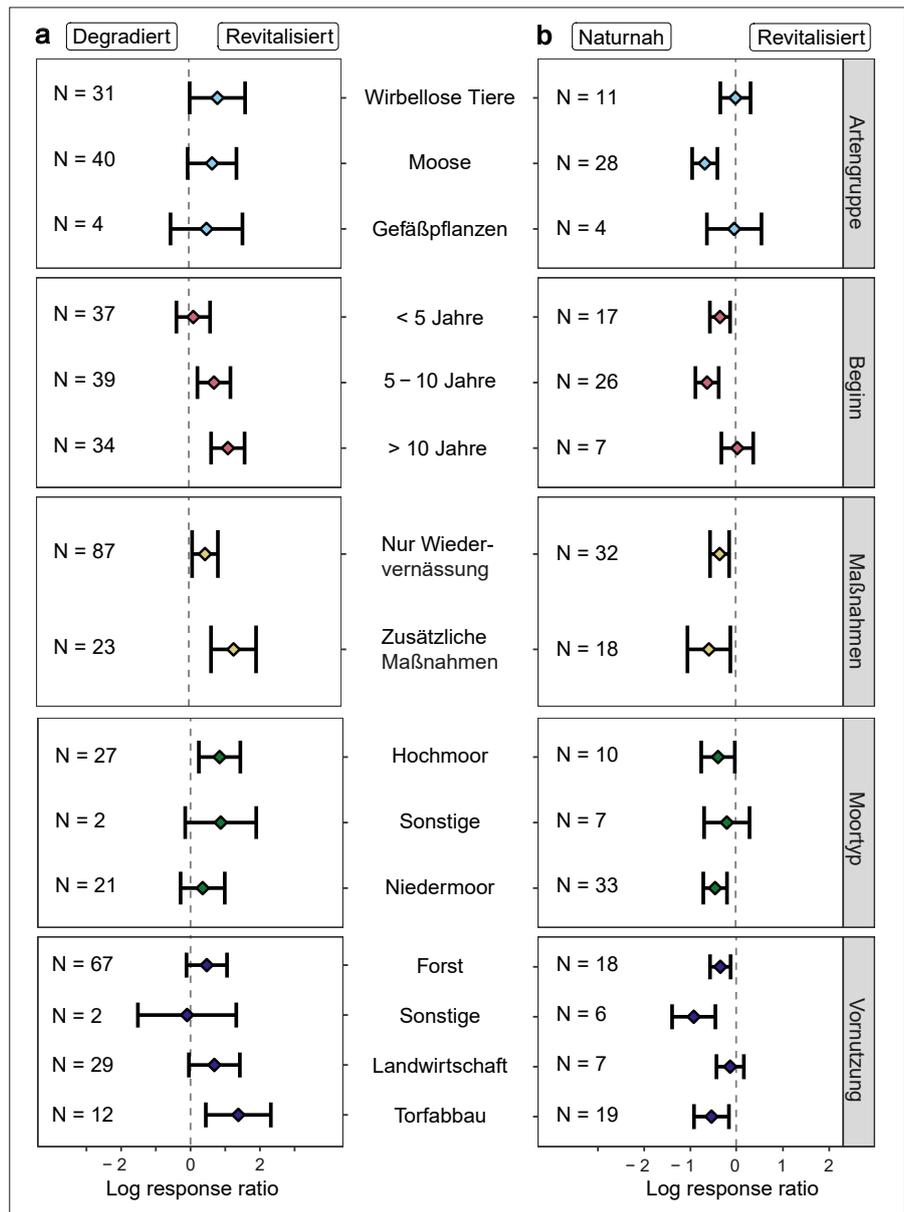


Abb. 4: Metaregressionsergebnisse (lnRR) der Unterschiede in Abundanz und Artenzahl (gemeinsam betrachtet) moortypischer Arten zwischen (a) revitalisierten und degradierten Mooren und (b) revitalisierten und naturnahen Mooren in Hinblick auf die Artengruppe, Dauer seit Beginn der Maßnahmen, zusätzliche Maßnahmen, den Moortyp und die Vornutzung. Die horizontalen Linien zwischen den beiden vertikalen Balken repräsentieren jeweils das 95 %-Konfidenzintervall. N ist die Anzahl der verwendeten Effektgrößen.

Fig. 4: Meta-regression results (lnRR) comparing the combined difference in abundance and richness of characteristic peatland species in (a) restored and degraded and (b) restored and near-natural peatland sites regarding taxon, time since restoration began, additional measures, peatland type and previous land use. The horizontal lines between vertical whiskers represent the respective 95 % confidence intervals. N represents the number of effect sizes.

4.2 Auswirkungen von Moorschutzmaßnahmen auf die Biodiversität

Die Ergebnisse des Gesamtmodells zeigen, dass in revitalisierten Mooren die Werte der untersuchten Biodiversitätsparameter im Vergleich zu entwässerten Flächen im Schnitt signifikant erhöht sind (Abb. 2, S. 143). Dieser Unterschied kann durch eine signifikante Erhöhung der Abundanz und Anzahl moortypischer Arten erklärt werden. Signifikante Unterschiede in der moortypischen Biodiversität im Vergleich zu naturnahen Mooren zeigen, dass Anzahl und Abundanz moortypischer Arten naturnaher Moore jedoch nicht erreicht werden (Abb. 3, S. 144). Auch Atkinson et al. (2022) berichten, dass Ökosystemrenaturierung generell die biologische Vielfalt erhöht, aber selbst nach langer Zeit nicht die Werte natürlicher Ökosysteme erreicht. Kreyling et al. (2021) zeigen, dass nicht nur die Biodiversität, sondern auch andere, z. B. hydrologische und biogeochemische Parameter nach Wiedervernässung nicht die Werte benachbarter, naturnaher Moorökosysteme erreichen und wir daher von der Bildung neuartiger Ökosysteme ausgehen müssen.

Für alle betrachteten Artengruppen mit Daten zur moortypischen Diversität (Moose, Gefäßpflanzen, wirbellose Tiere) ist infolge einer Moorrevitalisierung ein Anstieg der moortypischen Biodiversität erkennbar. Für Gefäßpflanzen sind aber nur wenige Datenpunkte vorhanden, was zu einer großen Unsicherheit der Ergebnisse führt (Abb. 4a, S. 145). Bei der Artengruppe der moortypischen Moose ist der Unterschied in Abundanz und Anzahl zwischen naturnahen und revitalisierten Flächen signifikant (Abb. 4b, S. 145). Dass der Unterschied zwischen revitalisierten und naturnahen Flächen bei der Artengruppe der Moose so groß ist, verdeutlicht die Herausforderungen, die Kohlenstoffsenkenfunktion degradierter Moore wiederherzustellen. Besonders bestimmte Torfmoosarten (Gattung *Sphagnum*) sind für die Torfakkumulation, v. a. in Hochmooren, essenziell (Joosten, Clark 2002). Die Entwicklung der für die Torfbildung wichtigen Bulttorfmoosarten verlief z. B. bei der Regeneration der Vegetation des Leegmoors (siehe Abb. 5a) sehr viel langsamer als die der Schlenkentangmoose (Brux et al. 2023, S. 114 ff. in dieser Ausgabe).

Hinsichtlich der Abundanz und Anzahl moortypischer wirbelloser Tiere ist kein signifikanter Unterschied zwischen revitalisierten Flächen und naturnahen Vergleichsflächen erkennbar. Dies suggeriert, dass sich moortypische Insekten oftmals auch in revitalisierten Mooren ansiedeln. So berichten Noreika et al. (2015) von einer raschen Wiederbesiedlung revitalisierter finnischer Moore durch

moortypische wirbellose Arten. Doch die Artenzusammensetzung der Fauna unterscheidet sich häufig erheblich zwischen revitalisierten und naturnahen Mooren (Görn, Fischer 2015). Hoffmann et al. (2018) berichten, dass, auch wenn bei Niedermoorvernässung moortypische Laufkäfer generalistische ersetzt, die Artenzusammensetzung deutlich von der naturnaher Moore abweicht und die Ansiedlung einiger hochspezialisierter und teils gefährdeter Arten auch nach 15 Jahren ausblieb. Auch die Untersuchungen im Leegmoor (Brux et al. 2023, S. 114 ff. in dieser Ausgabe) zeigten, dass sich nach über 30 Jahren Hochmoorrenaturierung nur wenige Hochmoorspezialisten angesiedelt haben. Bei vorheriger Nutzung als Torfabbauf Flächen sind die Unterschiede zwischen revitalisierten und degradierten bzw. naturnahen Flächen besonders deutlich sichtbar, was verdeutlicht, dass Wiedervernässungen ehemaliger Torfabbauf Flächen einen wertvollen Beitrag zur biologischen Vielfalt leisten, aber oftmals komplexe Maßnahmen zur Verbesserung der Lebensräume moorspezifischer Arten notwendig sind (siehe Grobe, Zoch in Kasten 1 in Brux et al. 2023, S. 114 ff. in dieser Ausgabe). Bei Wiedervernässungen von Hoch- wie auch von Niedermoores zeigt sich eine positive Entwicklung der moortypischen Biodiversität, aber bei den Hochmoorflächen ist diese deutlicher ausgeprägt (Abb. 4a, S. 145). Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass viele der Hochmoorrenaturierungen auf ehemaligen Torfabbauf Flächen und damit auf besonders intensiv genutzten Flächen mit hohem Änderungspotenzial erfolgen.

Die Ergebnisse zeigen, dass ein Anstieg der moortypischen Biodiversität gegenüber entwässerten Flächen meist erst viele Jahre nach Beginn der Maßnahmen erkennbar ist (Abb. 4, S. 145). Bei Revitalisierung von Hochmoorflächen in Mecklenburg-Vorpommern z. B. zeigten sich erste Erfolge frühestens nach fünf Jahren (Bönsel, Sonneck 2011). Für Maßnahmen, die vor mehr als zehn Jahren begannen, ist der Datensatz mit Vergleichswerten zu naturnahen Mooren sehr klein und dadurch wenig aussagekräftig (N = 7, Abb. 4b, S. 145). Um abschätzen zu können, ob sich Anzahl und Abundanz moortypischer Arten nach mehreren Dekaden weiter den naturnahen Moore annähern, ist weiteres Monitoring von revitalisierten Mooren und Vergleichsflächen also unerlässlich.

Die untersuchten Veröffentlichungen variierten sehr stark bezüglich der notwendigen Maßnahmen für einen positiven Biodiversitätseffekt. So stellten Yamanaka et al. (2017) fest, dass die bloße Nutzungsaufgabe landwirtschaftlicher Flächen zu einer Erhöhung der Abundanz charakteristischer Laufkäferarten führte, da durch mit der Zeit zerfallende Drainagerohre die hydrologischen Bedingungen für die Ansiedlung von Laufkäfern aus nahe gelegenen



Abb. 5: a) Regenerierende Hochmoorfläche im Leegmoor in Niedersachsen (siehe Brux et al. 2023 in dieser Ausgabe, S. 114 ff.), b) Versuchsaufbau zur Hochmoorrenaturierung durch Oberbodenabtrag und Torfmoosbeimpfung im E + E-Vorhaben OptiMoor (siehe Rosinski et al. 2021). (Fotos: a) Joachim Blankenburg, b) Stefanie Heinze)

Fig. 5: a) Regenerating bog in the Leegmoor in Lower Saxony (cf. Brux et al. 2023 in this issue, p. 114 ff.), b) experimental setup of the OptiMoor project for bog restoration with topsoil removal and *Sphagnum* inoculation (cf. Rosinski et al. 2021).

naturnahen Flächen ausreichend verbessert wurden. Bei den meisten Flächen ist allerdings aktiveres Moormanagement notwendig, um positive Effekte zu erzielen. Dazu gehören Maßnahmen wie das Verschließen von Entwässerungsgräben und die Errichtung hydrologischer Pufferzonen (siehe bspw. Bönsel, Sonneck 2011).

Der positive Trend der moortypischen Biodiversität war bei Vorhaben, bei denen moortypische Pflanzenarten ausgebracht wurden oder Oberbodenabtrag durchgeführt wurde, besonders ausgeprägt (Abb. 4, S. 145). Ein Oberbodenabtrag und die Ausbringung moortypischer Pflanzen können insbesondere bei der Hochmoorrenaturierung landwirtschaftlich vorgenuzter Standorte hilfreich sein, um die Diasporen der Grünlandvegetation zu entfernen und die nährstoffarmen, sauren Bedingungen für eine erfolgreiche Hochmoorentwicklung wiederherzustellen (siehe Abb. 5b; Rosinski et al. 2021).

5 Fazit und Empfehlungen

Dass Moorwiedervernässungen trotz des damit verbundenen erhöhten Methanausstoßes einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leisten, ist hinreichend belegt (Günther et al. 2020; Evans et al. 2021). Die vorliegende Metaanalyse unterstreicht, dass Revitalisierungsmaßnahmen auch einen messbaren positiven Effekt auf die biologische Vielfalt haben, aber die Werte naturnaher Ökosysteme nicht oder nur sehr langsam erreicht werden können. Somit wird auch für Schutz und Wiederherstellung der Biodiversität die von Günther et al. (2020) hervorgehobene Dringlichkeit von Moorschutz- und Wiederherstellungsmaßnahmen bekräftigt. Dass der positive Effekt erst nach einiger Zeit sichtbar wird, zeigt, dass ein Langzeitmonitoring essenziell ist, um eventuelle Fehlentwicklungen korrigieren und die Auswirkungen adäquat nachvollziehen zu können. Standardisierte Datenerhebungsverfahren könnten zukünftige Evidenzsynthesen erheblich verbessern (Reed et al. 2022). Wir empfehlen, Methoden wie den von Hammerich et al. (2022) entwickelten moorspezifischen Biodiversitätsindex konsequent zu verwenden (siehe hierzu auch Luthardt et al. 2023, S. 124 ff. in dieser Ausgabe).

6 Literatur

Atkinson J., Brudvig L.A. et al. (2022): Terrestrial ecosystem restoration increases biodiversity and reduces its variability, but not to reference levels: A global meta-analysis. *Ecology Letters* 25(7): 1.725–1.737. DOI: 10.1111/ele.14025

Bönsel A., Sonneck A.-G. (2011): Effects of a hydrological protection zone on the restoration of a raised bog: A case study from Northeast-Germany 1997–2008. *Wetlands Ecology and Management* 19(2): 183–194. DOI: 10.1007/s11273-011-9210-x

Brux H., Blankenburg J. et al. (2023): Entwicklung der Hochmoorregeneration auf industriell abgebauten Schwarztorfflächen im Verlauf von 35 Jahren. *Natur und Landschaft* 98(3): 114–123. DOI: 10.19217/NuL2023-03-03

Evans C., Peacock M. et al. (2021): Overriding water table control on managed peatland greenhouse gas emissions. *Nature* 593(7.860): 1–7. DOI: 10.1038/s41586-021-03523-1

Gepp N., Hofer B. et al. (2023): Moor- und Klimaschutz durch Moorentwicklung braucht eine solide Datenbasis – das Emsländische Moor-Informationssystem (EL-MIS). *Natur und Landschaft* 98(3): 104–113. DOI: 10.19217/NuL2023-03-02

Görn S., Fischer K. (2015): Measuring the efficiency of fen restoration on carabid beetles and vascular plants: A case study from north-eastern Germany. *Restoration Ecology* 23(4): 413–420. DOI: 10.1111/rec.12203

Günther A., Barthelmes A. et al. (2020): Prompt rewetting of drained peatlands reduces climate warming despite methane emissions. *Nature Communications* 11(644): s41467-020-15499-z. DOI: 10.1038/s41467-020-15499-z

Hammerich J., Damman C. et al. (2022): Assessing mire-specific biodiversity with an indicator based approach. *Mires and Peat* 28(32): 1–29. DOI: 10.19189/MaP.2021.SJ.StA.2205

Hedges L.V., Gurevitch J., Curtis P.S. (1999): The meta-analysis of response ratios in experimental ecology. *Ecology* 80(4): 1.150–1.156. DOI: 10.1890/0012-9658(1999)080[1150:TMAORR]2.0.CO;2

Hoffmann H., Kleeberg A. et al. (2018): Riverine fen restoration provides secondary habitat for endangered and stenotopic rove beetles (Coleoptera: Staphylinidae). *Insect Conservation and Diversity* 11(2): 194–203. DOI: 10.1111/icad.12247

Joosten H., Clarke D. (2002): Wise use of mires and peatlands: Background and principles including a framework for decision-making. International Peat Society, International Mire Conservation Group. Greifswald: 304 S.

Koppensteiner W., Wegmann J. et al. (2023): Ermittlung von Potenzialgebieten für Moorschutzmaßnahmen in Deutschland. *Natur und Landschaft* 98(3): 94–103. DOI: 10.19217/NuL2023-03-01

Kreyling J., Tanneberger F. et al. (2021): Rewetting does not return drained fen peatlands to their old selves. *Nature Communications* 12(1): s41467-021-25619-y. DOI: 10.1038/s41467-021-25619-y

Ladouceur E., Shackelford N. (2021): The power of data synthesis to shape the future of the restoration community and capacity. *Restoration Ecology* 29(1): 1–6. DOI: 10.1111/rec.13251

Lajeunesse M.J. (2011): On the meta-analysis of response ratios for studies with correlated and multi-group designs. *Ecology* 92(11): 2.049–2.055. DOI: 10.1890/11-0423.1

Leifeld J., Menichetti L. (2018): The underappreciated potential of peatlands in global climate change mitigation strategies. *Nature Communications* 9(1): 1.071. DOI: 10.1038/s41467-018-03406-6

Littlewood N., Anderson P. et al. (2010): Peatland Biodiversity. IUCN UK Peatland Programme. Newark: 42 S.

Luthardt V., Brauner O. et al. (2023): Resilienz naturnaher Moore im Klimawandel – Fallbeispiele aus dem Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin. *Natur und Landschaft* 98(3): 124–131. DOI: 10.19217/NuL2023-03-04

Minayeva T.Y., Bragg O.M., Sirin A.A. (2017): Towards ecosystem-based restoration of peatland biodiversity. *Mires and Peat* 19: 1–36. DOI: 10.19189/MaP.2013.OMB.150

Nakagawa S., Lagisz M. et al. (2021): The orchard plot: Cultivating a forest plot for use in ecology, evolution, and beyond. *Research Synthesis Methods* 12: 4–12. DOI: 10.1002/jrsm.1424

Nakagawa S., Noble D.W. et al. (2022): A robust and readily implementable method for the meta-analysis of response ratios with and without missing standard deviations. *Ecology Letters* 2022: 14144. DOI: 10.1111/ele.14144

Nakagawa S., Poulin R. (2012): Meta-analytic insights into evolutionary ecology: An introduction and synthesis. *Evolutionary Ecology* 26(5): 1.085–1.099. DOI: 10.1007/s10682-012-9593-z

Noreika N., Kotiaho J.S. et al. (2015): Rapid recovery of invertebrate communities after ecological restoration of boreal mires. *Restoration Ecology* 23(5): 566–579. DOI: 10.1111/rec.12237

O'Brien S.A., Dehling D.M., Tylianakis J.M. (2022): The recovery of functional diversity with restoration. *Ecology* 103(3): 3.618. DOI: 10.1002/ecy.3618

Pick J.L., Nakagawa S., Noble D.W. (2019): Reproducible, flexible and high throughput data extraction from primary literature: The metaDigitise R package. *Methods in Ecology and Evolution* 10(3): 426–431.

Reed M.S., Young D.M. et al. (2022): Peatland core domain sets: Building consensus on what should be measured in research and monitoring. *Mires and Peat* 28(26): 1–21. DOI: 10.19189/MaP.2021.OMB.StA.2340

R Core Team (2022): R: A language and environment for statistical computing. Wien. <https://www.r-project.org/> (aufgerufen am 22.4.2022).

Rosinski E., Bartel A. et al. (2021): Wiederherstellung von Hochmoorbiotopen nach intensiver Grünlandnutzung – drei Jahre Vegetationsentwicklung im Feldversuch OptiMoor. *Natur und Landschaft* 96(4): 192–201.

Rowland J.A., Bracey C. et al. (2021): Effectiveness of conservation interventions globally for degraded peatlands in cool-climate regions. *Biological Conservation* 263: 109327. DOI: 10.1016/j.biocon.2021.109327

Shin Y., Midgley G.F. et al. (2022): Actions to halt biodiversity loss generally benefit the climate. *Global Change Biology* 28(9): 2.846 – 2.874. DOI: 10.1111/gcb.16109

Szymank A., Ullrich K. et al. (2015): Handlungsleitfaden „Moorschutz und Natura 2000 für die Durchführung von Moorrevitalisierungsprojekten“. In: Vischer-Leopold M., Ellwanger G. et al. (Hrsg.): *Natura 2000 und Management in Moorengebieten*. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 140: 277 – 312.

Stüber M., Mäck U. et al. (2023): Praxistaugliche Lösungen für mehr Moor-Klimaschutz – gemeinsam mit Landnutzerinnen und Landnutzern. *Natur und Landschaft* 98(3): 132 – 140. DOI: 10.19217/NuL2023-03-05

Tanneberger F., Moen A. et al. (2021): Mires in Europe – regional diversity, condition and protection. *Diversity* 13(8): D13080381. DOI: 10.3390/D13080381

Taylor N.G., Grillas P. et al. (2019): A synthesis of evidence for the effects of interventions to conserve peatland vegetation: Overview and critical discussion. *Mires and Peat* 24: 1 – 21. DOI: 10.19189/MaP.2018.OMB.379

Viechtbauer W. (2010): Conducting meta-analyses in R with the metafor package. *Journal of Statistical Software* 36(3): 1 – 48. DOI: 10.18637/jss.v036.i03

Wickham H. (2016): *ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. Springer, New York: 213 S. DOI: 10.1007/978-0-387-98141-3

Yamanaka S., Akasaka T. et al. (2017): Influence of farmland abandonment on the species composition of wetland ground beetles in Kushiro, Japan. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 249: 31 – 37. DOI: 10.1016/j.agee.2017.07.027

Dank

Unser Dank gilt Dr. Karin Ullrich und zwei anonymen Gutachterinnen und Gutachtern, deren Anmerkungen das Manuskript maßgeblich verbessert haben.

Dr. Marvin Beckert
Korrespondierender Autor
Bundesamt für Naturschutz
Fachgebiet II 2.3 „Nationales Naturerbe, dynamische Systeme und Klimawandel“
Konstantinstraße 110
53179 Bonn
E-Mail: marvin.beckert@bfn.de



Studium der Umweltwissenschaften mit ökologischem Schwerpunkt in Aberdeen, Schottland. Im Anschluss einige Monate Forschungsassistentin in der Renaturierungsökologie in Perth, Australien. Promotion in Bodenkunde in Aberdeen und Sydney zum Thema „Kohlenstofffraktionen in organischen Böden in Schottland und Tasmanien“. Seit 2021 Tätigkeit im Themenfeld Moorschutz mit Schwerpunkt Revitalisierung und Klimaschutz im Fachgebiet II 2.3 „Nationales Naturerbe, dynamische Systeme und Klimawandel“ am Bundesamt für Naturschutz.

Dr. Ana Carolina Rodríguez
Fundación Centro de los Bosques Nativos FORECOS
Los Robles 510 interior
Isla Teja, Valdivia
CHILE
E-Mail: carolina.rodriguez@miresofchile.cl

Anzeigen

Global Nature Fund

Helpen Sie dabei, den Mangrovenwald zu retten!

Spende Sie jetzt, bevor es zu spät ist.
Spendenkonto: DE53 4306 0967 8040 4160 00
www.globalnature.org

Deutsche Umwelthilfe

Lebendige Flüsse für den Fischotter!

Wir machen uns für die Tierwelt von Flüssen und Auen stark. Bitte unterstützen Sie uns dabei! Geschenk-Urkunde zum selbst Drucken:

www.duh.de/spenden/geschenk

Deutsche Umwelthilfe e.V.
 07732 9995-0 | info@duh.de | www.duh.de

[Twitter](#) [Facebook](#) [Instagram](#) [LinkedIn](#) [TikTok](#) [umwelthilfe](#)

DZI Spenden-Siegel

© 2023 W. Kohlhammer, Stuttgart

Zusatzmaterial zu: Auswirkungen von Revitalisierungsmaßnahmen auf die Biodiversität von Mooren in der gemäßigten Klimazone – eine Metaanalyse

Supplement to:
The effects of restoration on peatland biodiversity
in the temperate climate zone – A meta-analysis

Marvin Beckert und Ana Carolina Rodríguez

Natur und Landschaft – 98. Jahrgang (2023) – Ausgabe 3: 141 – 148

Zusammenfassung

In diesem Beitrag geben wir einen Überblick über die Auswirkungen von Moorrevitalisierungsmaßnahmen auf die Biodiversität von Mooren in der gemäßigten Klimazone. Dazu haben wir anhand einer systematischen Literatursuche und Metaanalyse die Diversität, Abundanz und Anzahl der vorkommenden Arten allgemein und die Abundanz und Anzahl generalistischer und moortypischer Arten aus 62 Studien zu Moorschutzmaßnahmen mit entwässerten oder naturnahen Vergleichsflächen ausgewertet. Im Vergleich zu degradierten Flächen weisen revitalisierte Moore eine durchschnittlich 49 % höhere allgemeine Biodiversität, eine 124 % höhere Abundanz moortypischer Arten und eine 65 % höhere Anzahl moortypischer Arten auf. Die allgemeine Biodiversität ist in revitalisierten im Vergleich zu naturnahen Mooren durchschnittlich 11 % niedriger, die Abundanz moortypischer Arten ist 37 % und die Anzahl moortypischer Arten 31 % geringer. Die Ergebnisse zeigen, dass Moorrevitalisierungsmaßnahmen messbare positive Auswirkungen auf die Biodiversität haben und unterstreichen die Dringlichkeit, bestehende naturnahe Moore zu schützen.

Naturnahe Moore – revitalisierte Moore – Revitalisierung – Renaturierung – Metaanalyse – moortypische Biodiversität – Hochmoor – Niedermoor

Abstract

We provide an overview of the effects of restoration measures on peatland biodiversity in the temperate climate zone. We conducted a systematic literature review and meta-analysis and analysed data for general species diversity, abundance and richness as well as abundance and richness of generalist and characteristic peatland species from 62 publications about peatland restoration measures with drained or near-natural control sites. Average values were higher in restored peatlands compared to degraded sites for general diversity (49 %), abundance of characteristic peatland species (124 %) and richness of characteristic peatland species (65 %). General diversity was 11 %, abundance of characteristic peatland species was 37 % and richness of characteristic peatland species 31 % lower in restored compared to near-natural peatlands. The results show that peatland restoration measures have a significantly positive impact on biodiversity and highlight the importance of protecting pristine and near-natural peatlands.

Near-natural peatlands – Restored peatlands – Restoration – Meta-analysis – Peatland biodiversity – Bog – Fen

Manuskripteinreichung: 16.8.2022, Annahme: 12.12.2022

DOI: 10.19217/NuL2023-03-06

Tab. A: In der Analyse verwendete Datenquellen mit Informationen zu Herkunft, Moortyp und Vornutzung. Am Ende der Tabelle steht der für die Literaturrecherche verwendete Suchbegriff.

Table A: Data sources for the meta-analysis including information about origin, peat type and previous land use. Search string used in the literature search is shown at the bottom of the table.

Datenquelle	Herkunft	Moortyp	Vornutzung
Aggenbach C.J., Backx H. et al. (2013): Do high iron concentrations in rewetted rich fens hamper restoration? <i>Preslia</i> 85(3): 405–420.	NL/BE/PL	Niedermoor	Viele Gebiete mit unterschiedlicher Nutzung
Alsila T., Elo M. et al. (2021): Effects of habitat restoration on peatland bird communities. <i>Restoration Ecology</i> 29(1): 13304. DOI: 10.1111/rec.13304	FI	Verschiedene Gebiete, Hochmoor	Forst
Andras J.P., Rodriguez-Reillo W.G. et al. (2021): Rewilding the small stuff: The effect of ecological restoration on prokaryotic communities of peatland soils. <i>FEMS Microbiology Ecology</i> 96(10): FIAA144. DOI: 10.1093/FEMSEC/FIAA144	US	Hochmoor	Landwirtschaft
Basiliko N., Henry K. et al. (2013): Controls on bacterial and archaeal community structure and greenhouse gas production in natural, mined, and restored Canadian peatlands. <i>Frontiers in Microbiology</i> 4(7): 00215. DOI: 10.3389/fmicb.2013.00215	CA	Hochmoor/Niedermoor	Torfabbau
Bess J.A., Chimner R.A., Kangas L.C. (2014): Ditch restoration in a large Northern Michigan fen: Vegetation response and basic porewater chemistry. <i>Ecological Restoration</i> 32(3): 260–274. DOI: 10.3368/er.32.3.260	US	Niedermoor	Sonstige
Bobuřská L., Demková L. et al. (2020): Impact of peatland restoration on soil microbial activity and nematode communities. <i>Wetlands</i> 40(4): 865–875. DOI: 10.1007/s13157-019-01214-2	SK	Niedermoor	Sonstige (uneindeutig)
Brown L.E., Ramchunder S.J. et al. (2016): Macroinvertebrate community assembly in pools created during peatland restoration. <i>Science of the Total Environment</i> 569–570: 361–372. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.06.169	UK	Hochmoor	Verschiedene (Landwirtschaft, Forst, Jagd)
Carroll M.J., Dennis P. et al. (2011): Maintaining northern peatland ecosystems in a changing climate: Effects of soil moisture, drainage and drain blocking on craneflies. <i>Global Change Biology</i> 17(9): 2.991–3.001. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02416.x	UK	Hochmoor	Landwirtschaft
D'Astous A. (2012): Approches par communautés et par traits pour l'évaluation du succès de restauration d'une tourbière. Dissertation. Université Laval. Québec: 100 S.	CA	Hochmoor	Torfabbau
Daza Secco E., Haapalehto T. et al. (2016): Do testate amoebae communities recover in concordance with vegetation after restoration of drained peatlands? <i>Mires and Peat</i> 18(12): 1–14. DOI: 10.19189/MaP.2016.OMB.231	FI	Verschiedene	Forst
Drapeau Picard A.P., Mazerolle M.J. et al. (2021): Impact of pool design on spider and dytiscid recolonization patterns in a restored fen. <i>Restoration Ecology</i> 29(5): 13384. DOI: 10.1111/rec.13384	CA	Niedermoor	Torfabbau
Elo M., Penttinen J., Kotiaho J.S. (2015): The effect of peatland drainage and restoration on Odonata species richness and abundance. <i>BMC Ecology</i> 15(1): s12898-015-0042-z. DOI: 10.1186/s12898-015-0042-z	FI	Hochmoor	Forst
Emsens W.-J., van Diggelen R. et al. (2020): Recovery of fen peatland microbiomes and predicted functional profiles after rewetting. <i>The ISME Journal</i> 14(7): 1.701–1.712. DOI: 10.1038/s41396-020-0639-x	UK/NL/BE/DE/PL	Niedermoor	Viele Untersuchungsflächen, genaue Nutzung unklar
Fontaine N., Poulin M., Rochefort L. (2007): Plant diversity associated with pools in natural and restored peatlands. <i>Mires and Peat</i> 2(6): 1–17.	CA	Hochmoor	Torfabbau
Frei S., Holderegger R., Bergamini A. (2021): Thirty years later: How successful was the restoration of a raised bog in the swiss plateau? <i>Mires and Peat</i> 27: 2193. DOI: 10.19189/MaP.2021.SNPG.StA.2193	CH	Hochmoor	Torfabbau
González E., Henstra S.W. et al. (2014): Is rewetting enough to recover <i>Sphagnum</i> and associated peat-accumulating species in traditionally exploited bogs? <i>Wetlands Ecology and Management</i> 22(1): 49–62. DOI: 10.1007/s11273-013-9322-6	CA	Hochmoor	Torfabbau
Görn S., Fischer K. (2015): Measuring the efficiency of fen restoration on carabid beetles and vascular plants: A case study from north-eastern Germany. <i>Restoration Ecology</i> 23(4): 413–420. DOI: 10.1111/rec.12203	DE	Niedermoor	Landwirtschaft
Görn S., Schulze F., Fischer K. (2015): Effects of fen management on bird communities in north-eastern Germany. <i>Journal of Ornithology</i> 156(1): 287–296. DOI: 10.1007/s10336-014-1125-x	DE	Niedermoor	Landwirtschaft
Green S.M., Baird A.J. et al. (2017): An experimental study on the response of blanket bog vegetation and water tables to ditch blocking. <i>Wetlands Ecology and Management</i> 25(6): 703–716. DOI: 10.1007/s11273-017-9545-z	UK	Hochmoor	Landwirtschaft
Grégoire Taillefer A., Wheeler T.A. (2013): Animal colonization of restored peatlands: Inoculation of plant material as a source of insects. <i>Restoration Ecology</i> 21(1): 140–144. DOI: 10.1111/j.1526-100X.2012.00867.x	CA	Hochmoor	Torfabbau
Haapalehto T., Juutinen R. et al. (2017): Recovery of plant communities after ecological restoration of forestry-drained peatlands. <i>Ecology and Evolution</i> 7(19): 7.848–7.858. DOI: 10.1002/ece3.3243	FI	Niedermoor	Forst
Hannigan E., Mangan R., Kelly-Quinn M. (2011): Evaluation of the success of mountain blanket bog pool restoration in terms of aquatic macroinvertebrates. <i>Biology and Environment</i> 111(2): 1–11. DOI: 10.3318/BIOE.2011.111.08	IE	Hochmoor	Torfabbau
Hedberg P., Kotowski W. et al. (2012): Vegetation recovery after multiple-site experimental fen restorations. <i>Biological Conservation</i> 147(1): 60–67. DOI: 10.1016/j.biocon.2012.01.039	SE	Niedermoor	Forst
Hoffmann H., Kleeberg A. et al. (2018): Riverine fen restoration provides secondary habitat for endangered and stenotopicrove beetles (Coleoptera: Staphylinidae). <i>Insect Conservation and Diversity</i> 11(2): 194–203. DOI: 10.1111/icad.12247	DE	Niedermoor	Landwirtschaft
Johansen A. (2021): A snapshot of restored bogs in Southeastern Norway: Short term vegetation change after rewetting of ombrotrophic mires. Masterarbeit. Norwegian University of Life Sciences. Ås, Norwegen: 39 S.	NO	Hochmoor	Forst

Tab. A: Fortsetzung.

Table A: Continued.

Datenquelle	Herkunft	Moortyp	Vornutzung
Karofeld E., Kaasik A., Vellak K. (2020): Growth characteristics of three <i>Sphagnum</i> species in restored extracted peatland. <i>Restoration Ecology</i> 28(6): 1.574–1.583. DOI: 10.1111/rec.13245	EE	Hochmoor	Torfabbau
Klimkowska A., van der Elst D.J., Grootjans A.P. (2015): Understanding long-term effects of topsoil removal in peatlands: Overcoming thresholds for fen meadows restoration. <i>Applied Vegetation Science</i> 18(1): 110–120. DOI: 10.1111/avsc.12127	NL	Niedermoor	Landwirtschaft
Klimkowska A., Van Diggelen R. et al. (2010): Prospects for fen meadow restoration on severely degraded fens. <i>Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics</i> 12(3): 245–255. DOI: 10.1016/j.ppees.2010.02.004	PL	Niedermoor	Landwirtschaft
Kotowski W., Dzierza P. et al. (2013): Shrub removal facilitates recovery of wetland species in a rewetted fen. <i>Journal for Nature Conservation</i> 21(5): 294–308. DOI: 10.1016/j.jnc.2013.03.002	PL	Niedermoor	Landwirtschaft
Kreyling J., Tanneberger F. et al. (2021): Rewetting does not return drained fen peatlands to their old selves. <i>Nature Communications</i> 12(1): s41467-021-25619-y. DOI: 10.1038/s41467-021-25619-y	UK/DE/NL/PL/CZ/DK/BY/UA	Niedermoor	Viele Flächen, 80 % Landwirtschaft
Krieger A., Fartmann T., Poniatowski D. (2019): Restoration of raised bogs – land-use history determines the composition of dragonfly assemblages. <i>Biological Conservation</i> 237: 291–298. DOI: 10.1016/j.biocon.2019.06.032	DE	Hochmoor	Landwirtschaft/Torfabbau
Laggoun-Défarge F., Mitchell E. et al. (2008): Cut-over peatland regeneration assessment using organic matter and microbial indicators (bacteria and testate amoebae). <i>Journal of Applied Ecology</i> 45(2): 716–727. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2007.01436.x	CH	Hochmoor	Torfabbau
Laine A.M., Leppälä M. et al. (2011): Restoration of managed pine fens: Effect on hydrology and vegetation. <i>Applied Vegetation Science</i> 14(3): 340–349. DOI: 10.1111/j.1654-109X.2011.01123.x	FI	Niedermoor	Forst
Laine A.M., Tolvanen A. et al. (2016): Vegetation structure and photosynthesis respond rapidly to restoration in young coastal fens. <i>Ecology and Evolution</i> 6(19): 6.880–6.891. DOI: 10.1002/ece3.2348	FI	Niedermoor	Forst
Liu W., Fritz C. et al. (2021): Landscape-level vegetation conversion and biodiversity improvement after 33 years of restoration management in the Drentsche Aa brook valley. <i>Restoration Ecology</i> : 13601. DOI: 10.1111/rec.13601	NL	Verschiedene	Landwirtschaft
Maanaviija L., Aapala K. et al. (2014): Impact of drainage and hydrological restoration on vegetation structure in boreal spruce swamp forests. <i>Forest Ecology and Management</i> 330: 115–125. DOI: 10.1016/j.foreco.2014.07.004	FI	Sonstige	Forst
Mälson K., Sundberg S., Rydin H. (2010): Peat disturbance, mowing, and ditch blocking as tools in rich fen restoration. <i>Restoration Ecology</i> 18(2): 469–478. DOI: 10.1111/j.1526-100X.2009.00563.x	SE	Niedermoor	Forst
Mazerolle M.J., Poulin M. (2007): Persistence and colonisation as measures of success in bog restoration for aquatic invertebrates: A question of detection. <i>Freshwater Biology</i> 52(2): 383–385. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2006.01700.x	CA	Hochmoor	Torfabbau
Mieczan T., Tarkowska-Kukuryk M. (2017): Microbial communities as environmental indicators of ecological disturbance in restored carbonate fen – Results of 10 years of studies. <i>Microbial Ecology</i> 74(2): 384–401. DOI: 10.1007/s00248-017-0957-3	PL	Niedermoor	Unklar
Muster C., Krebs M., Joosten H. (2020): Seven years of spider community succession in a <i>Sphagnum</i> farm. <i>The Journal of Arachnology</i> 48(2): 0161-8202-48.2.119. DOI: 10.1636/0161-8202-48.2.119	DE	Hochmoor	Landwirtschaft
Noreika N., Kotiaho J.S. et al. (2015): Rapid recovery of invertebrate communities after ecological restoration of boreal mires. <i>Restoration Ecology</i> 23(5): 566–579. DOI: 10.1111/rec.12237	FI	Sonstige	Forst
Noreika N., Kotze D.J. et al. (2016): Specialist butterflies benefit most from the ecological restoration of mires. <i>Biological Conservation</i> 196: 103–114. DOI: 10.1016/j.biocon.2016.02.014	FI	Sonstige	Forst
Pawel N., Romualda B. et al. (2018): Restoration of hydro-ecological conditions in Carpathian forested mountain fens. <i>Wetlands Ecology and Management</i> 26(4): 537–546. DOI: 10.1007/s11273-017-9590-7	PL	Niedermoor	Forst
Poulin M., Andersen R., Rochefort L. (2013): A new approach for tracking vegetation change after restoration: A case study with peatlands. <i>Restoration Ecology</i> 21(3): 363–371. DOI: 10.1111/j.1526-100X.2012.00889.x	CA	Hochmoor	Torfabbau
Pouliot K., Rochefort L. et al. (2021): The burial under peat technique: An innovative method to restore <i>Sphagnum</i> peatlands impacted by mineral linear disturbances. <i>Frontiers in Earth Science</i> 9: 658470. DOI: 10.3389/feart.2021.658470	CA	Hochmoor	Sonstige
Pravia A. (2018): The response of arthropod assemblages to peatland restoration in formerly afforested blanket bog. Dissertation. University of Aberdeen. Aberdeen: 324 S.	UK	Hochmoor	Forst
Purre A.-H., Ilomets M. (2021): Vegetation composition and carbon dioxide fluxes on rewetted milled peatlands – Comparison with undisturbed bogs. <i>Wetlands</i> 41(8): s13157-021-01518-2. DOI: 10.1007/s13157-021-01518-2	EE	Hochmoor	Torfabbau
Ramchunder S.J., Brown L.E., Holden J. (2012): Catchment-scale peatland restoration benefits stream ecosystem biodiversity. <i>Journal of Applied Ecology</i> 49(1): 182–191. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2011.02075.x	UK	Hochmoor	Sonstige
Read H.J., Bealey C.E. (2021): The restoration of heathland and mire from secondary woodland: How realistic are target vegetation communities? <i>Journal for Nature Conservation</i> 62: 125943. DOI: 10.1016/j.jnc.2020.125943	UK	Hochmoor	Forst
Remm L., Sushko G. (2018): Dragonfly fauna in rewetted mires in Belarus: Diverse but different from natural sites. <i>Wetlands Ecology and Management</i> 26(6): 1.173–1.180. DOI: 10.1007/s11273-018-9625-8	BY	Hochmoor	Torfabbau

Tab. A: Fortsetzung.			
Table A: Continued.			
Datenquelle	Herkunft	Moortyp	Vornutzung
Rochefort L., LeBlanc M.-C. et al. (2016): Reintroduction of fen plant communities on a degraded minerotrophic peatland. <i>Botany</i> 94(11): 1.041 – 1.051. DOI: 10.1139/cjb-2016-0023	CA	Niedermoor	Torfabbau
Singh P., Ekrtová E. et al. (2021): Restoration of rare bryophytes in degraded rich fens: The effect of sod-and-moss removal. <i>Journal for Nature Conservation</i> 59: 125928. DOI: 10.1016/j.jnc.2020.125928	CZ	Niedermoor	Landwirtschaft
Soini P., Riutta T. et al. (2010): Comparison of vegetation and CO ₂ dynamics between a restored cut-away peatland and a pristine fen: Evaluation of the restoration success. <i>Restoration Ecology</i> 18(6): 894 – 903. DOI: 10.1111/j.1526-100X.2009.00520.x	FI	Hochmoor	Torfabbau
Strobl K., Moning C., Kollmann J. (2020): Positive trends in plant, dragonfly, and butterfly diversity of rewetted montane peatlands. <i>Restoration Ecology</i> 28(4): 796 – 806. DOI: 10.1111/rec.12957	DE	Sonstige	Forst
Suren A., Lambert P. et al. (2011): The impact of hydrological restoration on benthic aquatic invertebrate communities in a New Zealand wetland. <i>Restoration Ecology</i> 19(6): 747 – 757. DOI: 10.1111/j.1526-100X.2010.00723.x	NZ	Sonstige	Landwirtschaft
Swindles G.T., Green S.M. et al. (2016): Evaluating the use of dominant microbial consumers (testate amoebae) as indicators of blanket peatland restoration. <i>Ecological Indicators</i> 69: 318 – 330. DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.04.038	UK	Hochmoor	Sonstige
Van Dijk J., Stroetenga M. et al. (2007): The contribution of rewetting to vegetation restoration of degraded peat meadows. <i>Applied Vegetation Science</i> 10(3): 315 – 324. DOI: 10.1111/j.1654-109X.2007.tb00430.x	NL	Niedermoor	Landwirtschaft
Van Duinen G.A., Zhuge Y. et al. (2006): Effects of rewetting measures in Dutch raised bog remnants on assemblages of aquatic Rotifera and microcrustaceans. <i>Hydrobiologia</i> 565: 187 – 200. DOI: 10.1007/s10750-005-1913-7	NL	Hochmoor	Sonstige
Van Duinen G.-J.A., Brock A.M. et al. (2003): Do restoration measures rehabilitate fauna diversity in raised bogs? A comparative study on aquatic macroinvertebrates. <i>Wetlands Ecology and Management</i> 11(6): 447 – 459. DOI: 10.1023/B:WETL.0000007196.75248.a5	NL	Hochmoor	Sonstige
Watts C.H., Mason N.W. (2015): If we build – they mostly come: Partial functional recovery but persistent compositional differences in wetland beetle community restoration. <i>Restoration Ecology</i> 23(5): 555 – 565. DOI: 10.1111/rec.12227	NZ	Hochmoor	Torfabbau
Wentzell B.M., DeVito E.D., Shebitz D.J. (2021): Effects of restoration strategies on vegetation establishment in retired cranberry bogs. <i>Plant Ecology</i> 222(8): 897 – 913. DOI: 10.1007/s11258-021-01150-4	US	Sonstige	Landwirtschaft
Yamanaka S., Akasaka T. et al. (2017): Influence of farmland abandonment on the species composition of wetland ground beetles in Kushiro, Japan. <i>Agriculture, Ecosystems and Environment</i> 249: 31 – 37. DOI: 10.1016/j.agee.2017.07.027	JP	Niedermoor	Landwirtschaft
Suchbegriff (verwendet bei Scopus, 27.1.2022): (((biodivers* OR divers* OR "species richness" OR specialist* OR richness OR "indicator species" OR "community composition" OR composition OR abundance OR cover) AND (bog OR fen OR mire OR peat* OR peatland*) AND ("peatland restoration" OR restor* OR protect* OR rewet*) AND NOT (tropic**))			
BE = Belgien, BY = Belarus, CA = Kanada, CH = Schweiz, CZ = Tschechien, DE = Deutschland, DK = Dänemark, EE = Estland, FI = Finnland, IE = Irland, JP = Japan, NL = Niederlande, NO = Norwegen, NZ = Neuseeland, PL = Polen, SK = Slowakei, SE = Schweden, UA = Ukraine, UK = Vereinigtes Königreich, US = Vereinigte Staaten			

Dr. Marvin Beckert
Korrespondierender Autor
Bundesamt für Naturschutz
Fachgebiet II 2.3 „Nationales Naturerbe,
dynamische Systeme und Klimawandel“
Konstantinstraße 110
53179 Bonn
E-Mail: marvin.beckert@bfn.de



Studium der Umweltwissenschaften mit ökologischem Schwerpunkt in Aberdeen, Schottland. Im Anschluss einige Monate Forschungsassistent in der Renaturierungsökologie in Perth, Australien. Promotion in Bodenkunde in Aberdeen und Sydney zum Thema „Kohlenstofffraktionen in organischen Böden in Schottland und Tasmanien“. Seit 2021 Tätigkeit im Themenfeld Moorschutz mit Schwerpunkt Revitalisierung und Klimaschutz im Fachgebiet II 2.3 „Nationales Naturerbe, dynamische Systeme und Klimawandel“ am Bundesamt für Naturschutz.

Dr. Ana Carolina Rodríguez
Fundación Centro de los Bosques Nativos FORECOS
Los Robles 510 interior
Isla Teja, Valdivia
CHILE
E-Mail: carolina.rodriguez@miresofchile.cl