

Biodiversität und Ökosystemfunktionen von Mooren: Effizienzkontrolle der Moorrenaturierung

Johannes Kollmann und Katharina Strobl

Zusammenfassung

Intakte Moore sind Senken für Treibhausgase und bieten vielen Arten Lebensraum. Die meisten mitteleuropäischen Moore sind jedoch durch Entwässerung, Torfabbau sowie intensive Land- und Forstwirtschaft degradiert; dies führt zu sinkendem Wasserspiegel, Treibhausgasemissionen und Habitatfragmentierung. Der Klimawandel beschleunigt diese negativen Prozesse, die aber durch Renaturierung vermindert werden können. Im Rahmen einer Effizienzkontrolle untersuchten wir Torfqualität, Bodenwasser, Vegetation, Flora und Fauna in 14 Gebirgsmooren in NO-Bayern, die in den Jahren 1998–2015 renaturiert worden waren. Die Renaturierung führte zu höheren Wasserständen, geringerer Torfzersetzung und Zunahme der Zielarten; in einigen Mooren und in größerer Entfernung zu den angestauten Gräben war der Wasserstand aber nicht hoch genug. Libellen, einschließlich spezialisierter Moorarten, profitierten schnell von der Wiedervernässung. Die Tagfalteranzahl stieg ebenfalls an, allerdings wurden eher Generalisten gefördert. Vögel reagierten kaum auf die nur kleinflächige Renaturierung. Die Studie zeigt, dass die Maßnahmen überwiegend erfolgreich waren. Nur auf wenigen Flächen sanken die Wasserstände wegen undichter Dämme, und es siedelten sich Gehölze an. Durch Renaturierung weiterer Moore könnten der Landschaftsverbund verbessert und Restpopulationen gestärkt werden. Künftige Projekte sollten eine Effizienzkontrolle einplanen, damit Defizite der Renaturierung rechtzeitig erkannt werden.

Summary

Biodiversity and ecosystem functions of peatlands: Monitoring of restoration success

Intact peatlands are sinks for greenhouse gases and provide habitats for many species. However, most Central European peatlands have been degraded by drainage, peat extraction, and intensive agriculture and forestry. This leads to lower water tables, greenhouse gas emissions and habitat fragmentation. Climate change accelerates these trends that can be reduced through restoration. As part of a monitoring scheme, we examined peat quality, soil water level, vegetation change, flora and fauna in 14 montane peatlands in NE Bavaria that had been restored in the period 1998–2015. Restoration resulted in higher water tables, reduced peat decomposition and an increase in target species. However, the water table was too low in some sites, particularly when far from the blocked drainage ditches. Dragonflies, including specialized bog species, quickly benefitted from rewetting. The number of butterflies also increased, while generalists were encouraged; birds hardly responded to the small-scale restoration measures. The study shows that peatland restoration is largely successful in the study region. Only in a few areas the water table is still insufficient, resulting in woody encroachment. At these areas the dams have to be enhanced. By restoring further peatlands, the habitat network can be improved, and existing populations strengthened at the landscape scale. Future projects should include an effective monitoring plan from the very beginning, since this is the only way for adaptive restoration.

- ✉ Prof. Dr. Johannes Kollmann, Technische Universität München, Lehrstuhl für Renaturierungsökologie, Emil-Ramann-Straße 6, 85354 Freising; johannes.kollmann@tum.de
- ✉ Dr. Katharina Strobl, Regierung von Oberbayern, Sachgebiet 51 – Naturschutz, 80534 München

Einführung

Moore sind einzigartige Ökosysteme, deren Entwicklung im Wesentlichen durch die drei ökologischen Faktoren Wasser, Pflanzen und Torf gesteuert wird (Kollmann 2019). Zu den daraus resultierenden Ökosystemleistungen von Mooren gehören die Habitatfunktion für spezialisierte Arten, die Kohlenstoffspeicherung, die Reduzierung der Treibhausgasemission und eine Pufferung des Wasserhaushalts der Landschaft (Succow & Joosten 2012).

Moore waren in Deutschland relativ häufig, sind aber heute stark degradiert (Tanneberger et al. 2021). Die Herausforderung, nachhaltige Optionen für die Renaturierung von Mooren zu entwickeln und umzusetzen, ist daher groß. Die historischen Moorverluste sind beispielsweise im Fichtelgebirge in NO-Bayern deutlich (Strobl & Kollmann 2018). So hat von 1914 bis 2014 die Fläche der Deckenmoore, Quellmoore, Hangmoore, Sattlmoore und Hochmoore abgenommen und ihre Anzahl ist um 84 % zurückgegangen, während die mittlere Höhenlage gestiegen ist, weil die Moore der tieferen Lagen besonders negativ betroffen sind. Die Moore wurden entwässert mit dem Effekt, dass bis zu 3–4 m tiefe Gräben entstanden, und sie wurden meist mit Fichten aufgeforstet (Strobl et al. 2018a). Nach außen macht der Wald den Eindruck eines gewöhnlichen Fichtenforstes, aber im Waldboden befinden sich immer noch beträchtliche Torflagen. Ein Beispiel für ein durch Entwässerung und Aufforstung degradiertes und durch Forste, artenarmes Grünland und Wege fragmentiertes Moor ist das Gebiet „Spitzerberg Ost“, das im Hinblick auf Topographie, Hydrologie, Torfmächtigkeit und Vegetation kartiert worden ist (Abb. 1).

Durch die Entwässerung verändern sich die Biodiversität und Ökosystemprozesse und es kommt zu Zersetzungsprozessen (Succow & Joosten 2012). Diese führen z. B. zu steigenden Treibhausgasemissionen, zu grundlegenden Veränderungen der Standortbedingungen, d. h. der Torfstruktur, Wasserhaltekapazität etc., zu einer veränderten Artenzusammensetzung und zum Verlust spezialisierter, oft gefährdeter Arten. Insbesondere bezüglich der Torfqualität sind hier bereits irreversible Veränderungen abgelaufen und ursprünglich positive Rückkopplungen haben sich negativ entwickelt.

Das Ziel einer Moorrenaturierung durch Wiedervernässung dieser Moore ist es, die Zersetzungsprozesse zu stoppen, die Treibhausgasemissionen zu minimieren, den Standort zu verbessern und eine moortypische Biodiversität zu fördern. Dafür ist zunächst eine Bestandsaufnahme des degradierten Ökosystems nötig, auf deren Basis die Zielsetzung formuliert wird. Auch muss ein begleitendes Monitoring der Renaturierung stattfinden (Kollmann 2019).

Ein wichtiges Maß des Monitorings ist dabei die Zeit seit Renaturierung. Im Idealfall entwickeln sich alle Flächen nach Durchführung entsprechender Maßnahmen positiv in Richtung Zielzustand. Es könnte aber auch sein, dass sich nach einer anfänglichen Verbesserung Unterschiede zwischen den Flächen zeigen, die im weiteren Zeitverlauf deutlicher werden, oder dass sich sogar der Zustand aller Flächen nach anfänglicher Verbesserung verschlechtert und immer mehr vom Zielzustand abweicht (Suding 2011). Diese drei Szenarien wurden in den renaturierten Mooren des Fichtelgebirges untersucht (Strobl et al. 2018a). Auf ganz unterschiedlichen Flächen, d. h. von Fichtenforsten bis hin zu degradierten Mooren, die vor 20 Jahren renaturiert worden waren, wurde dabei im Sinne einer Erfolgskontrolle untersucht, wie sich Biodiversität und klimarelevante Ökosystemeigenschaften seit Beginn der Renaturierung entwickelt haben. Drei Fragen standen im Fokus unserer Untersuchungen: (1) Welche moortypischen Arten und Funktionen stellen sich ein? (2) Wie lange dauert dieser Prozess? (3) Was sind die steuernden Faktoren der Moorrenaturierung?

Untersuchungsmethodik

Das Untersuchungsgebiet im Fichtelgebirge und im südöstlich angrenzenden Steinwald umfasste 14 degradierte Übergangsmoore, Anmoore und Niedermoore, die vor 0–18 Jahren renaturiert worden waren. Als Referenz für den Zielzustand diente der nordwestliche Teil des Fichtelseemoores (Übersichtskarte der Untersuchungsgebiete: Strobl 2019). Überall wurde der Fichtenbestand weitgehend entfernt und die Entwässerungsgräben angestaut oder verfüllt. In den Gräben sowie in 2, 4, 7 und 11 m Abstand wurden Vegetationsaufnahmen vorgenommen, zudem erfolgten Messungen des Wasserstands sowie in einigen Mooren Phytometerexperimen-

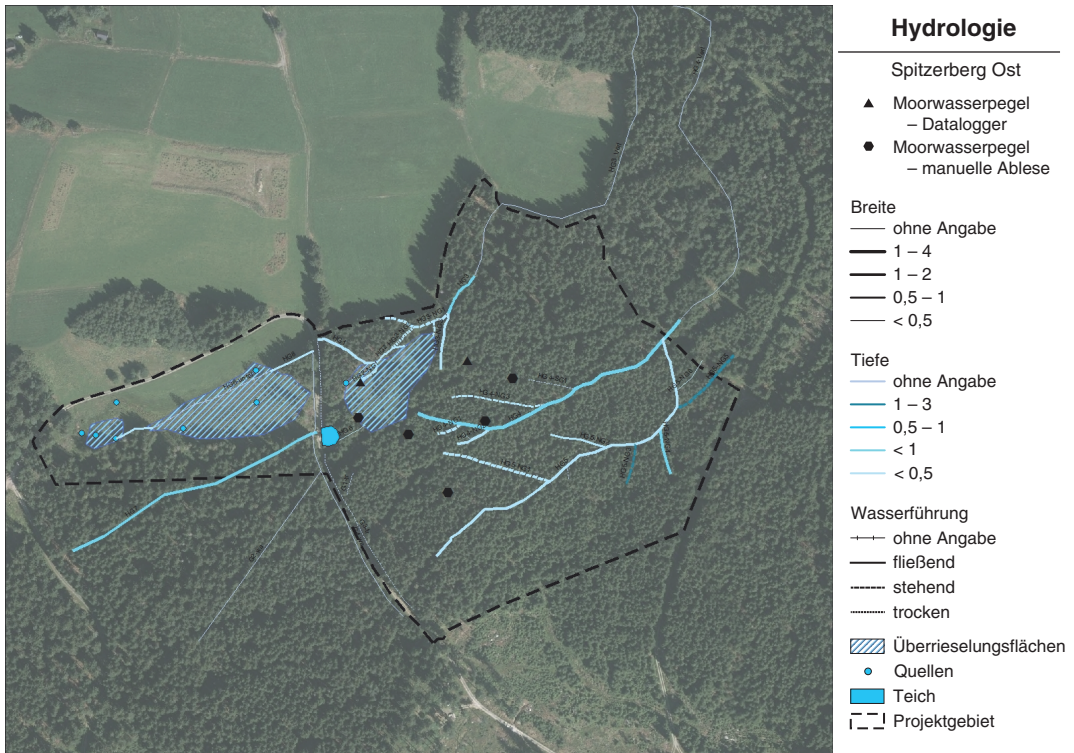


Abb. 1. Hydrologische Kartierung des zu renaturierenden Hangmoores „Spitzerberg Ost“ im Steinwald (NO-Bayern). – K. Strobl et al. (unveröff. Daten).

te (Strobl et al. 2018 b); insgesamt wurden 23 Vegetationstransecte angelegt (Strobl 2019).

Es erfolgten außerdem Querschnittsuntersuchungen zur Landschafts- und Vegetationsstruktur, zu Artenzahlen (Pflanzen, Libellen, Tagfalter, Vögel) und zur Artenzusammensetzung. Indikatoren für Treibhausgasemissionen waren ein hoher oder niedriger Wasserstand sowie das Auftreten von „Methan-Pflanzen“, d. h. von Pflanzen mit einem luftleitenden Gewebe (Aerenchym), das Sauerstoff, Methan und andere Spurengase zu bzw. aus dem anaeroben Bodenbereich leitet.

Die Erfassung der Libellen und Tagfalter erfolgte 2015 und 2016 in je drei Kartierdurchgängen; zur Methodik s. Strobl et al. (2019). Als moortypische Libellenarten wurden Torf-Mosaikjungfer (*Aeshna juncea*), Kleine Moosjungfer (*Leucorrhinia dubia*), Alpen-Smaragdlibelle (*Somatochlora alpestris*) und Speer-Azurjungfer (*Coenagrion hastulatum*) nachgewiesen. Zusätzlich lieferten die Aufnahme der Gewässerstruktur

als Indikator der Habitatqualität für Libellen sowie die Erfassung der Raupenfutterpflanzen der Tagfalter wichtige Informationen. Die Vögel wurden 2015 und 2016 in je vier Kartierdurchgängen erfasst, wobei keine hochmoortypischen Arten beobachtet wurden, sondern nur Moorrandarten wie Baumpieper (*Anthus trivialis*), Fitis (*Phylloscopus trochilus*) und Weidenmeise (*Poecile montanus*).

Entwicklung von Wasserstand, Torfqualität und „Aerenchym-Arten“

Die untersuchten Moore lassen sich, je nach Zeitpunkt der Renaturierung, entlang eines Gradienten von „degradiert“ (Fichtenforst) bis „intakt“ (nordwestlicher Teil des Fichtelseemoors als Referenzfläche) anordnen (Abb. 2). Das Projekt schließt also aus dem Nebeneinander unterschiedlich alter Renaturierungsflächen auf das Nacheinander der Ökosystementwicklung über rund 18 Jahre.



Abb. 2. Schematische Darstellung der Entwicklung renaturierter Gebirgsmoore im Fichtelgebirge und Steinwald. Das linke Foto „Hopfenwinkel“ zeigt einen dichten Fichtenforst auf drainiertem Moorstandort; in einer benachbarten Fläche wurden die Gehölze entfernt, die Gräben geschlossen und die Vegetationsentwicklung durch Einbringen von Torfmoosen gefördert. Die Fläche „Spitzerberg West“ ist fünf Jahre vor den Untersuchungen mit dieser Methodik behandelt worden, während dieser Eingriff bei der „Hahnenfalzlohe“ bereits 18 Jahre zurücklag – es haben sich (Sauer)gras- bzw. Zwergstrauchbestände entwickelt. Der intakte Teil des „Fichtelseemoors“ diente als Referenzfläche. – Fotos: K. Strobl.

Im degradierten Zustand war der Wasserstand in 4 bzw. 11 m Entfernung zu den Gräben auf rund 40 cm Tiefe abgesunken. Durch die Renaturierung konnte er zunächst auf ein günstiges Niveau angehoben werden, sackte aber einige Jahre nach den Maßnahmen wieder ab. Der Wasserstand von 0–20 cm unter Flur, der mit einer Minimierung der Treibhausgasemission verbunden ist, wurde bei Mooren, deren Renaturierung mehr als 9 Jahre zurücklag, in grabenfernen Teilen nicht erreicht.

Der Zersetzungsgrad der Torfe war in den Fichtenforsten erwartungsgemäß am höchsten und nahm auf den renaturierten Flächen ab. Die Phosphatkonzentration waren in den Fichtenforsten sehr variabel; nach Renaturierung wurden deutlich niedrigere Werte beobachtet, die allerdings 9–18 Jahre nach Renaturierung wieder anstiegen. Die Treibhausgasemissionen wurden nicht gemessen, stattdessen wurde die Häufigkeit von Arten mit Aerenchym (Binsen, *Juncus spec.*; Wollgras, *Eriophorum spec.*) als Indikator der Freisetzung von CO₂, CH₄ und N₂O erfasst. Deren Deckungsgrad war 2–4 Jahre nach Anheben des Wasserspiegels auf den entsprechenden Flächen im Vergleich zum Fichtenforst und zur intakten Referenzfläche deutlich erhöht, was auf starke CH₄-Emissionen

dieser Übergangsphase hinweist. Besonders die Flatter-Binse (*Juncus effusus*) wurde zwischenzeitlich sehr häufig, weil der Boden durch die Befahrung aufgerissen worden war und sie aus der Samenbank aufkommen konnte.

Entwicklung der Pflanzengesellschaften

Mit der Entwicklung der Pflanzengesellschaften der renaturierten Mooren waren die Faktoren Beschattung, Torfzersetzung, Wasserhaltekapazität, Wasserstand, Feuchte und Boden-pH signifikant korreliert (Strobl et al. 2019), wobei Gehölzaufkommen von untergeordneter Bedeutung waren, und daher hier nicht gesondert ausgewiesen werden. Nach einigen Jahren änderten sich die auf den Flächen vorkommenden typischen Arten (graue Pfeile in Abb. 3). Die degradierten Moore (Fichtenforste) waren gekennzeichnet durch Dreilappiges Peitschenmoos (*Bazzania trilobata*), Waldsauerklee (*Oxalis acetosella*), Welliges Sternmoos (*Plagiomnium undulatum*) und Sumpf-Torfmoos (*Sphagnum palustre*). Auf den relativ frisch renaturierten Mooren fanden wir unter anderem Schnabel-Segge (*Carex rostrata*) und Flatter-Binse (*Juncus effusus*) und auf den bereits seit längerer Zeit renaturierten

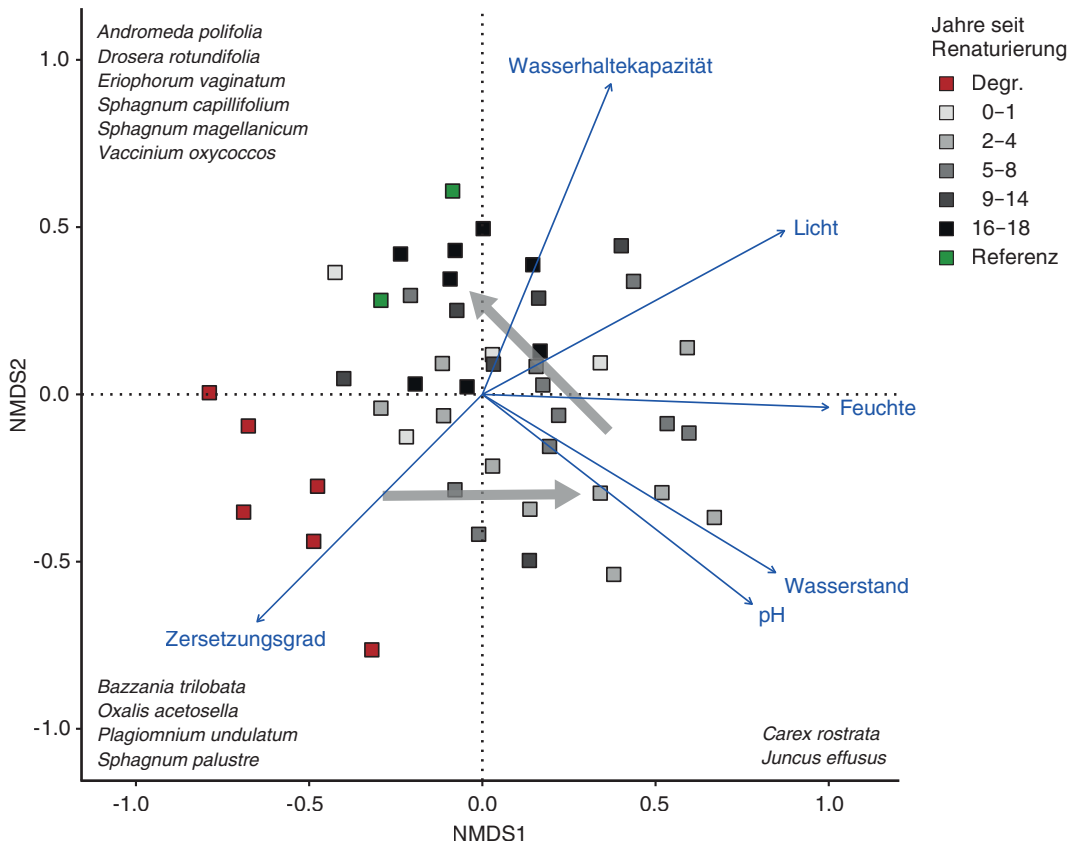


Abb. 3. Vegetationsentwicklung von 14 renaturierten Gebirgsmooren in NO-Bayern über 0–18 Jahre. Ergebnis einer Hauptkomponentenanalyse mit den bestimmenden Faktoren (blau), die mit der Zeit seit Renaturierung signifikant verknüpft waren, sowie Veränderung der Pflanzengesellschaften (graue Pfeile) und typisch auftretende Pflanzen auf degradierten, seit kurzem oder längerem renaturierten Flächen. – Strobl et al. (2019).

Flächen Rosmarinheide (*Andromeda polifolia*), Rundblättrigen Sonnentau (*Drosera rotundifolia*), Scheiden-Wollgras (*Eriophorum vaginatum*), die Torfmoose *Sphagnum capillifolium* und *S. magellanicum* und die Gewöhnliche Moosbeere (*Vaccinium oxycoccos*). Aus den Daten wurde ein Unähnlichkeitsfaktor der Vegetation im Vergleich zu degradierten bzw. intakten Mooren berechnet (s. Strobl et al. 2019). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich die Vegetation mit zunehmender Zeit seit der Renaturierung immer mehr dem Referenzzustand der intakten Moore annäherte.

Im Vergleich zum degradierten Zustand, d. h. dem Fichtenforst, stiegen der Deckungsgrad der Gefäßpflanzen und ihre durchschnittliche Höhe

in den ersten 5 Jahren nach Renaturierung auf ähnliche Werte wie in dem intakten Referenzmoor. Auch der Deckungsgrad der Moose nahm seit Renaturierung zu, lag jedoch 30–40% unter dem Wert des intakten Moores. Offener Torf trat vor allem in den ersten beiden Jahren nach den Maßnahmen auf (Strobl et al. 2019).

Die Renaturierungsmaßnahmen waren ein starker Eingriff in die Ökosysteme, und daher verschwanden zunächst einige Pflanzenarten (Abb. 4a). In der nächsten Phase kam es zu einer Artenzunahme, bedingt durch viele Störungszeiger. Schließlich pendelte sich die Artenzahl in einem Bereich ein, der für das Fichtelseemoor als intaktem Referenzzustand charakteristisch ist. Die Habitatspezialisten erreichten ein stabiles Plateau, das jedoch unter den Referenzwerten

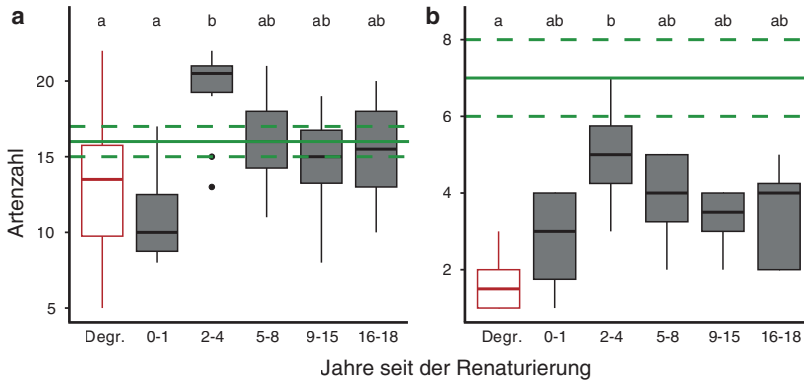


Abb. 4. Änderung der Häufigkeit **a:** aller Pflanzenarten und **b:** von Habitatspezialisten in degradierten (rot) und renaturierten Gebirgsmooren in NO-Bayern (0–1, ..., 16–18: Jahre seit dem Zeitpunkt der Renaturierung); grün: Referenzzustand (intaktes Moor). – Strobl et al. (2019).

lag (Abb. 4b), verursacht durch den zu tiefen Wasserstand und durch fehlenden Sameneintrag wegen zu großer Entfernung von intakten Mooren.

Unterteilt nach Artengruppen fanden wir einen hohen Deckungsgrad von (Sauer)gräsern vor allem auf Flächen, deren Renaturierung 2–15 Jahre zurücklag (vgl. Abb. 2). Ericaceen nehmen auf Flächen > 9 Jahre seit Renaturierung stark zu, während Torfmoose bereits früh nach der Renaturierung deutlich anstiegen, jedoch den Referenzzustand des intakten Moores nicht erreichten (Strobl et al. 2019).

Entwicklung der Diversität von Libellen und Tagfaltern

Auch bei den Artenzahlen der Libellen ergaben sich starke Schwankungen (Abb. 5a,b). Insgesamt stiegen die Artenzahlen in den ersten Jahren nach Renaturierung deutlich an im Vergleich zu degradierten Mooren, d.h., die Libellen profitierten sehr schnell von den neu geschaffenen Gewässern. Die Artenzahlen der Tagfalter waren vergleichsweise gering (Abb. 5c) und es wurden keine moortypischen Arten wie Hochmoorgelbling (*Colias palaeno*), Hochmoor-Perlmutterfalter (*Boloria aquilonaris*) und Hochmoorbläuling (*Plebejus optilete*) gefunden (Strobl et al. 2019). Hier ist jedoch zu beachten, dass die Raupenfutterpflanzen der Tagfalter in den renaturierten Mooren meist selten und von geringer Qualität waren.

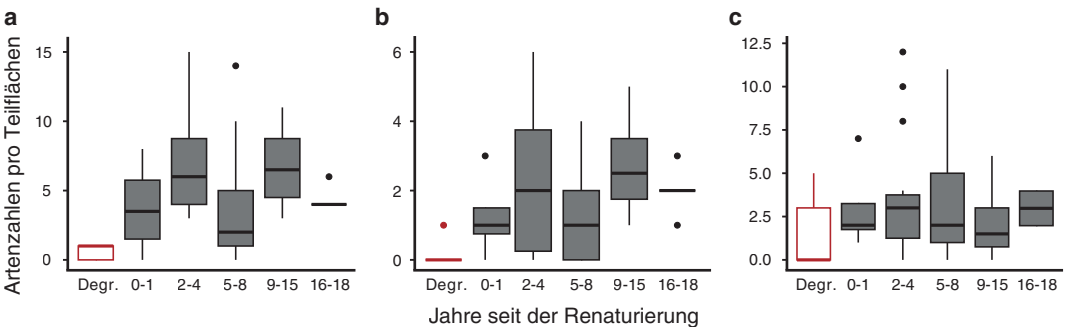


Abb. 5. Diversität von Libellen und Tagfalter in degradierten und renaturierten Gebirgsmooren in NO-Bayern; Artenzahlen pro Teilfläche von **a,** Libellen, **b,** moortypischen Libellen und **c,** Tagfalter auf degradierten Flächen und auf renaturierten Flächen (0–1, ... 16–18 Jahre seit dem Zeitpunkt der Renaturierung). – Strobl et al. (2019).



Abb. 6. Schematische Darstellung von Entwicklungsrichtung (Pfeile) renaturierter Gebirgsmoore in NO-Bayern. Zustand im Vergleich zu degradierten bzw. intakten Mooren (+, =, -) und Indikatoren in Bezug auf Vegetation, Klimarelevanz und Torfakkumulation.

Moorbiodiversität und Renaturierungserfolg im Fichtelgebirge – Synthese und Handlungsempfehlungen

Wie entwickeln sich pflanzliche Biodiversität und klimarelevante Ökosystemeigenschaften mit der Zeit seit Beginn der Moorrenaturierung? – In Abb. 6 sind die Entwicklungsrichtung im Vergleich zu degradierten und intakten Mooren sowie die entsprechenden Indikatoren zusammengefasst. Während sich die Gefäßpflanzen im Hinblick auf die Vegetationsstruktur 18 Jahre nach Renaturierung derjenigen intakter Moore annäherten, lagen Moose noch weit von diesem Zustand entfernt und sind anscheinend besonders empfindliche Indikatoren für den Erfolg der Renaturierung. Die Gesamtartenzahl verhielt sich ähnlich wie die Vegetationsstruktur bei den Gefäßpflanzen, während bei der Artenzusammensetzung die Deckung der Torfmoose und die weiterer Habitatspezialisten noch zu gering war. Auch auf alle Pflanzenarten bezogen gab es Defizite verglichen mit intakten Mooren. In Bezug auf die Klimarelevanz war die Renaturierung der Gebirgsmoore sicher positiv, aber der Wasserstand entspricht nicht dem gewünschten Zielzustand. Die Torfakkumulation stieg zwar an und die Qualität verbesserte sich, aber auch hier gibt es noch Verbesserungsbedarf.

Atkinson et al. (2022) sind in einer weltweiten Übersicht der Frage nachgegangen, inwieweit Renaturierung erfolgreich ist. Für ganz unterschied-

liche terrestrische Ökosysteme, unter denen sich auch Moorökosysteme befinden, konnten sie feststellen, dass die mittlere Biodiversität nach Renaturierung meist höher als in degradierten, aber niedriger als in intakten Ökosystemen ist. Dies entspricht im Wesentlichen dem, was wir lokal in den Gebirgsmooren in NO-Bayern gefunden haben.

Welche Handlungsempfehlungen folgen aus diesen Befunden? – Zunächst einmal muss trotz aller Renaturierungserfolge der Schutz intakter Moore oberste Priorität haben (Kollmann 2019). Sind Moore nicht mehr intakt, gibt es jedoch eine Reihe von Maßnahmen zur Stärkung der moortypischen Biodiversität und Ökosystemfunktionen:

- Oft ist zu wenig Wasser vorhanden – hier besteht die Möglichkeit, Dämme zu verbessern und Bäume zu entfernen bzw. die Fläche zu entbuschen.
- Ist der Zersetzungsgrad zu hoch, kann die obere Bodenschicht abgetragen werden (vgl. Knorr 2024 in diesem Band).
- Sind nicht alle Arten vorhanden, kann ggf. der Standort verbessert werden. Vielfach sind die renaturierten Moorflächen aber isoliert; dem kann eine Verbesserung der Konnektivität entgegenwirken. Auch kommt eine Wiederansiedlung von Pflanzen und Tieren infrage, die weiter zu diskutieren ist.

Danksagung

Die Untersuchungen, die die Grundlage für die vorliegende Arbeit bilden, waren Teil des vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz finanzierten Projekts ‚Effizienzkontrolle von Moorrenaturierung in Bezug auf den Klimawandel‘ (TKP01K-PB-66614). Darüber hinaus danken wir zahlreichen Kollegen und Studierenden, für die Unterstützung im Feld und Labor; insbesondere danken wir Prof. Dr. Christoph Moning, Stefan Reuter und Maximilian Trautner für die Erhebung der Tagfalter- und Libellendaten sowie Dr. Jan Sliva für die Unterstützung bei der Konzeption des Gesamtprojekts.

Literatur

- Atkinson, J., L. A. Brudvig, M. Mallen-Cooper, S. Nakagawa, A. T. Moles & S. P. Bonser. 2022. Terrestrial ecosystem restoration increases biodiversity and reduces its variability, but not to reference levels: A global meta-analysis. – *Ecology Letters*, 25 (7): 1725–1737. <https://doi.org/10.1111/ele.14025>
- Kollmann, J. 2019. Grundwasser- und Regenwasser-moore. – In: Kollmann, J., A. Kirmer, N. Hölzel, S. Tischew & K. Kiehl (Hrsg.): *Renaturierungsökologie*. Springer Spektrum Verlag, Berlin: 171–192.
- Knorr, K.-H. 2024. Wasser- und Stoffhaushalt in Mooren – Bedeutung für Treibhausgasflüsse und Gewässerqualität. – In: Bayer. Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): *Moore: Ökosystemfunktionen, Biodiversität und Renaturierung*. Pfeil, München: 27–42.
- Strobl, K. 2019. Evaluating restoration success of rewetted peatlands: Recovery potential, temporal dynamics and comparison of monitoring approaches. – Dissertation TU München, Lehrstuhl für Renaturierungsökologie. <https://mediatum.ub.tum.de/1484578> [abgerufen am 23.05.2023]
- Strobl, K. & J. Kollmann. 2018. Inseln im Gebirge: Renaturierung fragmentierter und degradierter Mittelgebirgsmoore. – *Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft*, 30: 122–132.
- Strobl, K., C. Moning & J. Kollmann. 2018a. Effizienzkontrolle von Moorrenaturierung in Bezug auf den Klimawandel. – Abschlussbericht des StMUV-Projektes TKP01KPB-66616.69314. Freising.
- Strobl, K., C. Schmidt & J. Kollmann. 2018b. Selecting plant species and traits for phytometer experiments. The case of peatland restoration. – *Ecological Indicators*, 88: 263–273. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.018>
- Strobl, K., C. Moning & J. Kollmann. 2019. Positive trends in plant, dragonfly, and butterfly diversity of rewetted montane peatlands. – *Restoration Ecology*, 28(4): 796–806. <https://doi.org/10.1111/rec.12957>
- Succow, M. & H. Joosten. 2012. *Landschaftsökologische Moorkunde*. – Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Suding, K. N. 2011. Toward an era of restoration in ecology. Successes, failures, and opportunities ahead. – *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 42(1): 465–487. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102710-145115>
- Tanneberger, F., L. Appulo, S. Ewert, S. Lakner, N. Ó. Brolcháin, J. Peters & W. Wichtmann. 2021. The power of nature-based solutions: How peatlands can help us to achieve key EU sustainability objectives. – *Advanced Sustainable Systems*, 5(1):2000146. <https://doi.org/10.1002/adsu.202000146>

Diskussion

G. Gebauer: Sie haben intakte Moore als Referenzsystem verwendet. Gibt es denn bei uns überhaupt noch ein intaktes Moor? Wir haben flächendeckend eine atmosphärische Stickstoffdeposition und ich zweifle daran, dass scheinbar intakte Moore davon nicht betroffen wären.

J. Kollmann: Tatsächlich erforschen wir mit den Mooren Objekte, die es eigentlich nicht mehr gibt. Wie in vielen anderen ökologischen Systemen in Mitteleuropa hat der Mensch sehr stark eingegriffen, so auch bei Flüssen. Wir wissen eigentlich nicht mehr genau, wie der Urzustand war. Trotzdem ist es in der Renaturierungsökologie unbedingt beste Praxis, dass man sich eine negative und eine positive Referenz sucht, damit man sein Tun einordnen kann. Auch das Fichtelseemoor ist sehr stark angetastet, aber es war das beste Moor in der Gegend für diesen positiven Referenzzustand. Sie werden uns sicher nachsehen, dass wir nicht in Polen oder Belarus Vergleichsmoore genommen haben, da diese biogeografisch nicht passen. Daher müssen wir den Kompromiss machen, das zu wählen, was in der Region noch am besten ist, wohl wissend, dass auch da Nährstoffeinträge stattfinden und dass auch dort Entwässerungen noch immer aktiv sind. Wir würden es auch jederzeit wieder so machen, diese beiden Eckpunkte, die Fichtenforste und das Fichtelseemoor, zu wählen. Aber Ihr Einwand ist völlig berechtigt.

A. Kapfer: Können Sie abschätzen, welche der Faktoren, die zu dieser Entwicklung geführt haben, prioritär sind? Der Wasserhaushalt in Mooren ist entscheidend. Sie haben zwar eine Entwicklung beschrieben, die insgesamt positiv ist, aber soweit ich das interpretiere, geht sie eigentlich nicht sonderlich gut weiter z.B. im Hinblick auf den Wasserstand. Woran liegt das? Es genügt nicht, einfach zu sagen, wir haben so und so viel Hektar wiedervernässt, weil wir wissen, dass die Wiedervernässung ganz unterschiedlich effizient erreicht bzw. eben nicht erreicht wird. Wir haben dabei leider auch sehr viele Misserfolge. Das andere ist der landschaftliche Einfluss. Moore, selbst Regenmoore, sind für sich nicht autonom, sondern hängen extrem

auch von der Landschaft ab. Im Liegenden vieler süddeutscher Regenmoore haben wir Niedermoore, also nicht wurzelechte Moore mit einer sehr engen Verbindung mit der Landschaft. Wenn der Wasserhaushalt in der Landschaft nicht mehr stimmt, dann werden auch die Moore davon beeinflusst. Und das dritte ist das Klima. Wie bewerten Sie das in Ihrer Entwicklung? Wir haben in den letzten 30 Jahren relativ viele Moore wiedervernässt, aber aus meiner ingenieurtechnischen Sicht relativ holprig.

J. Kollmann: Vielen Dank für diesen guten und kritischen Einwurf. Natürlich hängen alle diese Dinge in einem Netzwerk zusammen. Wenn ich eine Wunschliste hätte, würde ich aber sagen, Wasser ist die erste Priorität. Das lässt sich nach Augenschein und auch nach Messung bestätigen in den von uns untersuchten Mooren im Fichtelgebirge, die überwiegend Hang- und Sattelmoores sind. Die Dämme funktionieren in den ersten Jahren, aber dann gibt es meist Probleme, das Holz zerfällt, das Wasser sucht sich einen Weg oder schwappt über und es kommt zu Erosion. Deshalb sehen wir z.B. diesen Anstieg bei den Libellen in den ersten Jahren, aber dann kommen Undichtigkeiten und das System geht wieder in einen etwas schlechteren Zustand zurück. Zumindest in unserem Bereich ist daher nach 3 bis 5 Jahren das Optimum des anfänglichen Renaturierungserfolgs überschritten. Man kann die Bauwerke verbessern – das haben wir z.B. im Nationalpark Bayerischer Wald mit Herrn Sliva einmal gründlich angeschaut – und dabei ist noch viel zu holen: Welche Art von Holz baut man ein? Wie ist das Holz abgedeckt? Wie sind die Spundwände gegründet? Dazu kommt der forstliche Aspekt. Es gibt natürlich auch eine massive Gehölzverjüngung z.B. von Fichten, die entwässernd wirken und Sauerstoff in die tieferen Lagen hineinbringen.

Daher würde ich sagen: Erst einmal dafür sorgen, dass das Wasser tatsächlich über 10, 20, 50, 100 Jahre stabil bleibt, vor allem unter den Verhältnissen des Klimawandels, und dann an zweiter Stelle, dass es zu keiner sehr starken Verjüngung der Gehölze kommt – und das ist vielleicht noch schwieriger zu bewältigen als das

Wasser. Nährstoffe sehe ich dagegen nach dem, was wir im Fichtelgebirge gesehen haben, nicht so kritisch. Wichtig sind aber noch die Pflanzen, die wir als Zielarten wollen und die entweder da sind oder nicht. Da habe ich ja schon angedeutet, dass ich meine, dass man darüber nachdenken sollte, Wollgras, Sonnentau oder andere Zielarten gezielt einzubringen. Aber das wird natürlich sehr kontrovers diskutiert.

M. Matern: Hatten Sie auch mit Mücken zu tun? Viele von ihnen übertragen ja Krankheiten.

J. Kollmann: Ich kann gestehen, dass sie da waren und manchen Studierenden harte Nächte beschert haben. Uns wurden keine Krankheiten übertragen und ich glaube, dass die Mücken weder für die Forschung noch für die Renaturierung ein entscheidender Faktor sind. Freuen wir uns, dass Mücken da sind.

I. Kögel-Knabner: In den Folien kam bezüglich der Stoffflüsse das N_2O nur am Rande vor. Herr Gebauer hat den Stickstoff bereits angesprochen, der durch Düngung, sonstige landwirtschaftliche Nutzung oder atmosphärisch in das System gelangt. Ich stimme vollkommen zu, dass man erst einmal versuchen muss, die Quelle abzuschalten. Aber bei der Frage, was mit dem abgetragenen stickstoffreichen Oberboden geschehen soll und wie man ihn ggf. nutzen kann, muss man auch die Lachgasemissionen in die Bilanz einrechnen. Eine reine Bilanzierung des Kohlenstoffs reicht da nicht aus. Beim Verklappen des Oberbodens in Gräben kommt es möglicherweise zu einer massiven N_2O -Produktion. Vielleicht ist es sogar nicht schlecht, das Oberbodenmaterial auf den Acker auszubringen, weil der Stickstoff dann nicht freigesetzt wird. Dann wird zwar etwas CO_2 freigesetzt, da das Material aerob weitergenutzt wird, aber letztlich ist beides gemeinsam, CO_2 und N_2O , zu bedenken.

J. Kollmann: Ich lasse das hier unkommentiert stehen. Sie wissen ja, dass ich kein „Spurengasmesser“ bin, und wir haben in diesen Untersuchungen auch keine Spurengase gemessen. Als Rahmenbedingungen und sozusagen als Motivation für die Renaturierung sind sie aber natürlich wichtig, daher hatte ich die Spurengase auf einigen Folien erwähnt. Matthias Drösler wird am Nachmittag sicher mehr dazu sagen.¹

V. Feichtinger: Ich arbeite an der Regierung von Oberbayern und durfte im Rahmen der Deutschen Gesellschaft für Moor- und Torfkunde in Norddeutschland einen Gartenbaubetrieb besichtigen, der sich mit der Kultur von Torfmoosen beschäftigt. Es zeigte sich, dass für diese Torfmooskultur der Wasserstand *das* entscheidende Kriterium ist. Zum anderen kann ich mich noch sehr gut an die wunderschöne Veranstaltung im Steinwald erinnern, wo wir auch der Frage nachgingen, warum sich Moore bewalden oder warum der Renaturierungserfolg durch Gehölzaufwuchs gefährdet ist. Auch da war der Wasserstand das entscheidende Kriterium. Ich selber komme aus Oberbayern, wo wir oft das Problem haben, dass aufgegebene Streuwiesen mit Moosen zuwachsen, durchaus auch mit torfbildenden Sphagnen. Das sind meistens Streuwiesen, die so nass sind, dass die Bewirtschaftung mit den Geräten, die man traditionell hatte, aufgegeben wurde. Insofern hat sich bei mir sehr stark, auch aus eigener Anschauung, die Erkenntnis durchgesetzt, dass für ein Gelingen von Renaturierung der Wasserstand das entscheidende Element ist. Jetzt haben Sie nach Herrn Knorr ebenfalls auf den Oberbodenabtrag hingewiesen.² Welche Priorität würden Sie diesem Kriterium einräumen bzw. wann würden Sie einen Bodenabtrag tatsächlich empfehlen?

J. Kollmann: Ich hatte bereits gesagt, dass auf meiner „Wunschliste“ das Wasser an erster Stelle steht. Oberbodenabtrag haben wir nur in einem bescheidenen Umfang in den Mooren im Fichtelgebirge durchgeführt. Ich finde das schon einen wichtigen Punkt, aber dazu muss man natürlich erst einmal wissen, wie nährstoffreich die Torfe sind. Dann kann der Abtrag durchaus auf Platz 2 oder 3 der Liste kommen.

1 Vgl. Drösler, M. 2024. Klimaschutz durch Moorschutz – Hintergrund und Handlungsmöglichkeiten. – In: Bayer. Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): Moore: Ökosystemfunktionen, Biodiversität und Renaturierung. Pfeil, München: 109–116.

2 Vgl. Knorr, K.-H. 2024. Wasser- und Stoffhaushalt in Mooren – Bedeutung für Treibhausgasflüsse und Gewässerqualität. – In: Bayer. Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): Moore: Ökosystemfunktionen, Biodiversität und Renaturierung. Pfeil, München: 27–42.