

TELMA	Band 48	Seite 13 - 48	11 Abb., 3 Tab.	Hannover, November 2018
-------	---------	---------------	-----------------	-------------------------

# Die Hochmoorwälder des süddeutschen Voralpen- gebietes: Moorökologische Bedeutung und zukünftige Entwicklung im Klimawandel

Raised bog forests in the South German prealpine bog region, ecological  
importance and development in global change scenarios

GISELHER KAULE, ANDREA CARMINATI, BERND HUWE,  
ROBIN KAULE, STEFAN MÜLLER-KROEHLING und  
HANS-GEORG SCHWARZ-v. RAUMER

## Zusammenfassung

Hochmoorwälder nehmen über 50 % der verbliebenen Hochmoorfläche im Voralpengebiet ein. 559 Flächen in 391 Mooren werden zunächst hinsichtlich der Vorkommen der Waldtypen im Niederschlagsgradienten (1730 - 815 mm/a) ausgewertet. Es werden 13 verschiedene Moorwaldtypen auf Grund ihrer Vegetationszusammensetzung und -struktur unterschieden. Den verschiedenen Moorwaldtypen werden spezifische Tierarten (vor allem Wirbellose) zugeordnet, um ihre ökologische Bedeutung hervorzuheben. Es wird gezeigt, dass Hochmoorbewohner v. a. die lichten Moorwälder besiedeln. Sie sind im Klimawandel ein wichtiges Refugialhabitat. Die faunistische Betrachtung dokumentiert die Bedeutung der Vielfalt der Moorwaldtypen zur Sicherung der Artenvielfalt in Hochmooren.

Der Beitrag der Moorwälder zum Wasserhaushalt der Moore wird durch eine vertiefende Untersuchung in der Versuchsfläche Feßlerfilz betrachtet. Hier wurde ein Transsekt durch Kammerbohrer beprobt und ein Profil der Torf-Zersetzungsgrade (nach VON POST 1924) gezeichnet. Außerdem wurden ausgewählten Moorwaldtypen Profile des Zersetzungsgrades zugeordnet. Es zeigt sich, dass die Moorwälder in einer Hochmoorzonation den Abfluss aus der Moorweite stark verzögern.

Die Auswertung der Untersuchungsflächen in zwei Klimawandel-Szenarien zeigt, dass nur wenige Hochmoore am Alpenrand in einer für das Hochmoorwachstum sicheren Niederschlagszone verbleiben, hier müssen Schutz und Entwicklung einen Schwerpunkt setzen. Im trockenen Gürtel sollten verstärkt Heidewälder und Heidesäume beachtet werden. Im gesamten Niederschlagsgradienten müssen oligotrophe Torfstichbecken für den Erhalt sekundärer nasser Hochmoorlebensräume vor Nährstoffeintrag geschützt werden.

## Abstract

Raised bog forests cover more than 50% of the not cultivated bog area of the prealpine bog region. 568 sites in 391 bogs are allocated to 13 raised bog forest types (defined by vegetation composition and structure) and differentiated in the precipitation gradient from 1730 to 815 mm/a. Animals (mainly invertebrates) were allocated to the different bog forest types. An exemplary table shows the great importance of a broad variety of forest types to maintain biodiversity of, unfortunately not well explored, animal groups.

The hydrological importance of raised bog border forests is highlighted by the stabilisation of the akrotelm of the open raised bog plain, this is quantified by the development of the Feßlerfilz test site between 1969 and 2015. To get a better understanding of the water retention in bog forests, the decomposition degrees after VON POST (1924) are allocated with the hydraulic connectivity measured in undisturbed peat cores in the laboratory.

The simulation of the development of the site in two scenarios of global climate change indicates that in a dry scenario only very few raised bogs directly at the alpine fringe remain stable. In the dry belt, heather forests should get in the focus. In the whole gradient oligotrophic basins of former peat cuts are sanctuaries for wet raised bog communities and their allocated species. The control of nutrient input is essential for their maintenance.

## 1. Einleitung

Hochmoore werden geographisch nach ihrer Morphologie und den Eigenschaften der Moorweite (Kermis, unregelmäßige Schlenken etc.) klassifiziert, der Randwald bildet die natürliche Übergangszone, ist aber kein gängiges Klassifizierungsmerkmal. Entwässerung, Torfabbau, Moornutzung und natürliche Sukzession nach Nutzungsaufgabe haben hier allerdings Lebensräume geschaffen, die kaum mehr als kleinräumige Ökotope angesprochen werden können. Sie unterliegen einer eigenen Systematik und sind gleichzeitig in ihrer funktionalen Bedeutung für die Moorkomplexe oft unterschätzt. Von den 559 untersuchten Mooren weisen nur 158 die klassische Zonierung der Hochmoore auf. 319 stellen kleinere Restflächen in Torfstichgebieten dar, der Rest sind flächige Filze. Die überwiegend bewaldeten Flächen und Komplexe, die den Hauptanteil der voralpinen Moore darstellen, sind Schwerpunkt dieser Untersuchung.

Eine systematische Darstellung der dynamischen Entwicklung der Hochmoorwälder im süddeutschen Alpenvorland liegt bislang nicht vor und wird durch die Wiederholungskartierungen von KAULE in Bayern (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2015) und Baden-Württemberg (KAULE et al. 2015) nun möglich. Aufbauend auf diesen Erhebungen, zwei Folgeuntersuchungen und daraus gezogenen Schlüssen hinsichtlich der Entwicklungspfade der vergangenen 40 Jahre arbeitet der hier vorliegende Beitrag die Gliederung der Hochmoor-Moorwälder zunächst systematisch auf. Im zweiten Schritt wird eine Annäherung an die möglichen Entwicklungspfade im Klimawandel über Szenarien entwickelt. Aus den Betrachtungen der Szenarien werden unter anderem die „Überlebenschancen“ dieser auch faunistisch wertvollen Lebensraumtypen sichtbar. Dabei werden die funktio-

nen Beziehungen im Wasserhaushalt zwischen Moorrandwald und Moorweite berücksichtigt und mit einem am Feßlerfilz (ehemalige Moorversuchsstation Bernau) entwickelten konzeptionellen Erklärungsmodell aufgearbeitet.

Die Ergebnisse sollen zu einer Weiterentwicklung der Ziele einer an den im Klimawandel sich verändernden Niederschlagsgradienten angepassten Moorrekultivierung beitragen, aber auch vertiefende Forschung anregen.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Wiederholungskartierungen als Grundlage

Die Bestandsaufnahme süddeutscher Hochmoore aus den Jahren 1969 bis 1972 (KAULE 1974) wurde von Kaule 2012-2014 in Bayern und 2015 in Baden-Württemberg erneut durchgeführt (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2015 und KAULE et al. 2015). Datengrundlage sind im gesamten Voralpengebiet 391 Moore mit ca. 2900 dokumentierten Flächen. Im Südbayerischen Alpenvorland werden 1500 ha offene und 4500 ha bewaldete Hochmoorflächen dokumentiert, in Baden-Württemberg ist der Waldanteil etwas geringer. Degradierung und Klimawandel haben die Wuchsbedingungen in den Mooren zum Teil irreversibel verändert und werden sie zukünftig noch weiter verändern. Eines der wichtigsten Ergebnisse der Dokumentation ist die Entwicklung durch Vorentwässerung mit Schlitzgräben degradiert Hochmoorflächen. Die Sukzession dieser sekundären Heiden verlief im Niederschlagsgradienten in den dokumentierten 45 Jahren unterschiedlich: unter 1100 mm Jahresniederschlag konnte keine Regeneration beobachtet werden, hier degradierten sogar Wachstumskomplexe. Zwischen 1100 mm und 1300 mm war die Entwicklung heterogen und über 1300 mm entwickelten sich die Heiden zu Wachstumskomplexen. Auch 54 % der Fichtenforste entwickelten sich zu Moorwäldern, überwiegend mit Beersträuchern. Hochmoortorfmoose wurden in dieser Übersicht erst bei Jahresniederschlägen über 1200 mm nachgewiesen.

Zwei Moorwaldtypen waren zur Zeit der Erstaufnahme noch nicht präsent. Die Fichtenforste, die jetzt teilweise zusammenbrechen und in deren Lücken sich *Sphagnum quinquefarium*-Fichtenmoorwälder entwickeln konnten, waren vor 1970 noch Jungwuchs bzw. Fichtenschonungen. Von der Birke dominierte Moorwälder gab es zum Zeitpunkt der Erstaufnahme in Niedermooren, aber nicht in Hochmooren, in denen sie als Begleitart jedoch in allen Waldtypen vorkam (siehe Tab. 1). Viele Hochmoore befanden sich damals noch großflächig in Abtorfung. In Torfstichen und Torfabbaugeländen ist die Birke jetzt häufig. Es muss jedoch auch beachtet werden, dass die Birke bereits vor 150 Jahren durch Kultivierungsversuche im Hochmoor gefördert wurde (HOFMANN 1907). Mit der Dokumentation in der Wiederholungskartierung und der FFH-Kartierung (LFU & LWF 2018) kann ihre Entwicklung in einer zweiten Wiederholungskartierung, die in ca. 25 Jahren stattfinden sollte, auch quantitativ nachvollzogen werden.

## 2.2 Datengrundlage

Die Vegetationsklassifizierung von KAULE (1974) und BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2015) wurde übernommen, da nur dadurch die Dynamik der Vegetation dokumentiert und in die Zukunft interpoliert werden kann. Über die Arbeiten von LEININGEN-WESTERBURG (1907) und HOFMANN (1907) lässt sich die Vegetationsentwicklung auch noch ab 1800 nachvollziehen. Die dominanten Arten, die die Untersuchungsflächen kennzeichnen, sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Den auf dem Luftbild abgegrenzten Einheiten wurde der dort dominant vertretene Vegetationstyp zugeordnet. Die darauf aufbauende Analyse und Beurteilung der Grenzstrukturen wertet zusätzlich zu den Luftbildern Begehungsprotokolle und eine Fotodokumentation aus und bringt diese mit sukzessionsökologischer Expertise in Zusammenhang.

Für die weiteren Auswertungen wurde eine Basistabelle erstellt. Jede der 559 Untersuchungsflächen hat eine eigene Identifikationsnummer, dieser wird der Moorname, der Moorwaldtyp, die Lage (Hochmoorzonation, Torfstichbecken, Restfläche, Rand zum Torfstichbecken etc.), Jahres- und Sommerniederschlag, Niederschlag im Feucht- und Trockenszenario und die Koordinaten zugeordnet. Aus dieser Tabelle können Kombinationen ermittelt und die Daten für Diagramme abgerufen werden.

## 2.3 Informationen zur Fauna

Erhebungen in offenen und bewaldeten Mooren verschiedener Ausprägung in ganz Bayern haben die Bedeutung bestimmter Vegetationstypen für die Laufkäfer dokumentiert, ergänzt durch eine umfangreiche Literaturanalyse (MÜLLER-KROEHLING 2015). Für den „Bayerischen Moorartenkorb“ wurden durch Literaturlauswertung und Expertenbefragung jene Arten aus allen Artengruppen der Fauna, Flora und Mykoflora identifiziert, die ihren natürlichen Verbreitungsschwerpunkt in Bayern (mind. 50 % der Vorkommen) in Mooren haben (MÜLLER-KROEHLING 2018). In diesem Zusammenhang wurden auch zahlreiche Arbeiten zur Bindung der Arten an bestimmte Lebensräume in Mooren ausgewertet. Hier erfolgt eine exemplarische Darstellung ausgewählter Arten, um die Vielfalt der Beziehungen der Arten zu den Lebensräumen und somit die Komplexität des Themas aufzuzeigen. Eine besondere Berücksichtigung finden dabei speziell auch die aus Naturschutzsicht traditionell eher kritisch betrachteten, von Gehölzen geprägten Moorlebensräume, wie Moorwald und Moorrandwald. Die Auswahl dieser Arten erfolgte auf Basis von Literaturangaben speziell zu Moor(rand)wäldern und in Zusammenarbeit mit Experten der Artengruppen (vgl. Danksagung).



## 2.4 Moor- und torfhydrologische Untersuchungen

Die Versuchsfläche Feßlerfilz, in dem eine moorhydrologische Studie durchgeführt wurde, gehört zu den Südlichen Chiemseemooren und ist seit 1950 Objekt intensiver Untersuchungen zur Hydrologie der Moore (SCHMEIDL et al. 1970). Außerdem wurde die Vegetation des Feßlerfilzes seit Anfang des 19. Jahrhunderts dokumentiert (LEININGEN-WESTERBURG 1907, SCHMEIDL et al. 1970, FRANKL 1996, KAULE et al. 2017). Um die Bedeutung der weniger durchlässigen Torfe im Randwald für den Abfluss (JOOSTEN 1993) im Modell zu quantifizieren, wurde der nördliche Teil des Feßlerfilzes mit dem Kammerbohrer beprobt und ein Profil der Torfzersetzungsggrade von der Moorweite zum Graben hin erstellt. Die Werte wurden nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE 2005) definiert. Diese fasst die klassischen 10 Zersetzungsggrade (H1- H10) nach VON POST (1924) in 5 Stufen (z1 - z5) zusammen. Es wurden außerdem mit einer eigens entwickelten Vorrichtung Bohrkern entnommen und deren gesättigte hydraulische Leitfähigkeiten im Labor mittels falling head Permeameter bestimmt. Die Zersetzungsggrade lassen sich mit den Leitfähigkeiten korrelieren (siehe auch: SARASTO 1963, WEBER et al. 2017, MALMSTRÖM 1925, RYCROFT et al. 1975, ROSSKOPF et al. 2016). Dadurch können den Vegetationseinheiten typische Profile des Zersetzungsggrades zugeordnet werden (siehe Abb. 3).

## 2.5 Szenarien zum Klimawandel

Die Betrachtung der Entwicklung der Moore im deutschen Voralpengebiet unter zukünftigen Bedingungen basiert auf Daten des Deutschen Klimaatlas, die freundlicherweise vom Deutschen Wetterdienst (DWD) bereitgestellt wurden (DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD) 2018a). Die prozentuale Veränderung des durchschnittlichen Jahresniederschlags wurde dem Istzustand aufgerechnet. Dabei wurde als Istzustand der durchschnittliche Niederschlag aus der REGNIE-Rechnung (DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD) 2018b) angenommen. Der Deutsche Klimaatlas nutzt insgesamt 21 Modellrechnungen für eine Ensemblebetrachtung. Im vorliegenden Fall wurde für die ferne Zukunft (2031 - 2060) die 50 %- bzw. die 85 % Perzentilklassengrenze für ein Trocken- bzw. ein Feuchtszenario verwendet. Die prozentuale Veränderung im Trockenszenario entspricht dann der Niederschlagsabnahme, die in 50 % der Rechnungen (bis zu 3 Modelle) mindestens angenommen wird. Die prozentuale Veränderung im Feuchtszenario entspricht der Niederschlagszunahme, die in 85 % der Rechnungen mindestens angenommen wird.

Für die im Deutschen Klimaatlas verarbeiteten Modellrechnungen wurde das mittlere Emissionsszenario SRES A1B veranschlagt. Die Zuordnung eines Niederschlagswerts im Istzustand bzw. einer Veränderung im Szenario zu einem betrachteten Moorflächenmittelpunkt wurde über eine Nächstnachbarinterpolation vorgenommen.

Die so angenommenen Veränderungen des Jahres- bzw. Sommerniederschlags wurden den Moorstruktureinheiten zugeordnet, und anschließend wurde für die Niederschlagsklassen eine Auszählung der Klassenzugehörigkeit durchgeführt. Zwischen Ist- und Szenariozustand kann dann die Veränderung von Vorkommenshäufigkeiten in Niederschlagsklassen bzw. in Stabilitätsbereichen dargestellt werden.

### 3. Ergebnisse

Das Kapitel 3.1 Moorkomplexe und ihre Grenzstrukturen dokumentiert die Moorkomplexe als Grundlage für die Szenariobildung. Es basiert auf den Datenbanken der Wiederholungskartierung von Kaule (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2015, KAULE et al. 2015). Die Kapitel 3.2 Repräsentative Tierarten der Moorwälder und 3.3 Wasserhaushalt von Moorwäldern am Beispiel Feßlerfilz stammen aus laufenden bzw. noch nicht veröffentlichten Forschungsvorhaben. Ihre Ergebnisse müssen also separat diskutiert und kritisch hinsichtlich Verallgemeinerbarkeit gewürdigt werden bevor sie in Kapitel 3.4 Entwicklungsprognosen zum Klimawandel in Szenarien integriert und ausgewertet werden. In der aktuellen und auch hier geführten Diskussion zur Anpassung an den Klimawandel sind Kapitel 3.2 und 3.3 jedoch ein unverzichtbarer Beitrag.

#### 3.1 Moorkomplexe und ihre Grenzstrukturen

Waldgrenzen mit reich strukturierten Übergängen sind in der Regel ökologisch besonders wertvoll. Von 237 Mooren und Mooregebieten haben jedoch nur 30 naturnahe Hochmoor-Außengrenzen mit fließenden Übergängen zu Streuwiesen, Sümpfen und anderen Niedermoorgesellschaften. Von diesen 30 Mooren liegen 3 in großen Hochmoorlandschaften, 2 in Toteislandschaften mit Einzelmooren, und 25 sind Einzelmoore und Moorkomplexe. Alle anderen Moore grenzen außen an Intensivwiesen, Fichtenforste oder Infrastruktur. Hier wird eine Strukturdiversität nur durch die innere Differenzierung gebildet (Beispiele für die äußeren und inneren Grenzen siehe Abb. 1).

Die Tabelle 2 zeigt eine Übersicht der Einbindung der Waldtypen von Tabelle 1 in die untersuchten Moore. Die Latschen- und Spirkenfilze sind zum größten Teil noch in eine natürliche Hochmoorzonation als Randwald eingebunden (Abb. 1 links oben). Nur wenige und kleinere Moore sind noch vollständig erhalten, von den großen Mooren sind fast immer nur Teilflächen übrig geblieben. Geschlossene flächige Filze kommen in der trockeneren nördlichen Zone der Moorregion vor. Der Kiefern-Fichten-*Sphagnum*-Hochmoorwald ist ebenfalls Bestandteil der natürlichen Hochmoorzonation, kommt aber meist nur als schmaler Saum vor und wurde dann nicht gesondert erfasst. Das Gleiche gilt für den Fichten-Kiefern-*Vaccinium*-Hochmoorwald, der allerdings am Nordrand der Moorregion einige großflächige Ausbildungen hat.



Abb. 1: Ausbildung innerer und äußerer Grenzen. Oben links: Weiche Außengrenze vom Hochmoor zu einer Streuwiesenbrache (Rotfilz 1120 mm/a). Oben rechts: Scharfe äußere Grenze durch einen Randgraben und Intensivwiese (Bruckmoos 1450 mm/a). Unten links: Weiche innere Grenze im Hochmoor vom Lagg über den Randwald zur Moorweite (Ebenwaldmoore 1450 mm/a). Unten rechts: Scharfe innere Grenze zwischen einer Stichwand mit Heide-Moorwald und Schwingrasen in einem Torfstichgebiet (Haspelmoor 920 mm/a).

Structure of inner and outer borders in a raised bog area. Top left: smooth gradient between the raised bog and the surrounding extensive meadows, typical for the traditional cultural landscape of this region. Top right: sharp border between the raised bog and the intensive meadow. Nowadays nearly all outer borders are sharp. Bottom left: smooth border in a natural raised bog between the open raised bog plain and the slope forest. Bottom right: sharp border between a bog heath and the squeezing bog in a peat cut basin.

Der *Sphagnum quinquefarium*-Fichten-Hochmoorwald (Abb. 2 rechts oben) ist ein ausschließlich sekundärer Fichtenwaldtyp, der im Inneren zusammenbrechender Fichtenforste entstand, dominant sind *Sphagnum quinquefarium* und *Thuidium tamariscinum*. Die Wälder sind licht und die Fichten krüppelig, so dass der Eindruck einer kleinen Hochmoorweite entstehen kann. Da die Torfmoose oft mindestens 50 % des Bodens bedecken wurden Profile dokumentiert, die den deutlichen Unterschied zu Beständen mit Hochmoortorfmoosen zeigen (Abb. 3).

Die Waldkiefern-Heide-Hochmoorwälder kommen ausschließlich sekundär in vorentwässerten Hochmooren und auf Restflächen vor. Sie bilden mit Schwingrasen oft zusammenhängende sekundäre lichte Moorkomplexe mit sehr unterschiedlichen Feuchte- und Belichtungsstufen und damit auch sehr starken Temperaturgradienten (siehe Abb. 2

Tab. 2: Die untersuchten Moorwaldtypen und ihre Einbettung in die Moorkomplexe (Grenzausbildung). Die Kurzform „natürliche Grenzen“ bedeutet, dass die Stichprobe in eine natürliche Hochmoorzonation eingebunden ist.

The investigated raised bog forests and their embedding in the bog. The short form “natürliche Grenzen” means “full embedding in the natural raised bog zonation” (see Abb. 1 bottom left).

Waldtyp	Einbettung in das Moor			
	Stichprobenzahl	Natürliche Grenzen	Flächige Filze	Restflächen / Torfstiche
Latschen- und Spirken-Hochmoorfilz	155	100	27	28
Kiefern-Fichten-Sphagnum-Hochmoorwald	26	10	7	9
Waldkiefern-Pseudohochmoor-Moorwald	46	14	3	29
Spirken-Vaccinium-Hochmoorfilz	23	7	8	8
Fichten-Kiefern-Vaccinium-Hochmoorwald	68	10	13	45
Sph. quinquefarium-Fichten-Hochmoorwald	9			9
Waldkiefern-Heide-Hochmoorwald	41		1	43
Spirken-Übergangsmoor-Moorwald			7	
Spirken-Molinia-Moorwald	32		21	11
Birkenvorwald und Birkenbruchwald	18	4		14
Fichten-Erlen-Bruchwald	41	15	8	18

unten). Ursprünglich kommen die Waldkiefern-Schwingrasen als Saum in der Zonation von Kolken und Kesselmooren vor.

Die minerotrophen Spirkenfilze mit kalkoligotrophen Arten wie *Drepanocladus revolvens* und *Carex chordorrhiza* (Spirken-Übergangsmoor-Moorwald) haben ihren geographischen Schwerpunkt im Allgäu. In den Stichproben konnten nur noch 7 Flächen nachgewiesen werden. Diese Moorwälder stocken in flachen natürlichen Senken. Sie werden entweder zunehmend von Hochmoortorfmoosen kolonisiert, werden also oligotropher, oder aber, und das trifft für die meisten zu, sie eutrophierten und entwickelten sich zu *Molinia*-Spirkenfilzen. Seit der Dokumentation von WAGNER (2000) sind kalkoligotrophe Arten stark zurückgegangen (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2015). Der Spirken-*Molinia*-Moorwald kommt überwiegend flächig vor und ist wohl oft ein Degradationsstadium oder eine beweidete Ausprägung des Spirken-Übergangsmoor-Moorwaldes. So konnten im Kemptener Wald 1970 dokumentierte Flächen mit den Braunmoosen der *Scorpidium*-Gruppe nicht mehr gefunden werden. In der „Teufelsküche“ war *Carex chordorrhiza* noch spärlich präsent. Weitere Vorkommen liegen im Lagg und in Sohlen von Torfstichbecken.



Abb. 2: Beispiele für sekundäre Moorwälder mit hohem Naturschutzwert. Oben links: Beerstrauch-Hochmoorwald (Wielenbachfilz Peissenberg 1204 mm/a). Oben rechts: *Sphagnum quinquefarium*-Fichten-Hochmoorwald (Freimoos in den Nördlichen Chiemseemooren (1250 mm/a). Unten links: Waldkiefern-Heide-Hochmoorwald nördlich Lauter, dies ist der größte zusammenhängende sekundäre Waldkiefern-Moorkomplex des Voralpengebietes. Unten rechts: Sekundärer Schwingrasen mit Waldkiefern-Pseudohochmoor-Moorwald, (beide nördlich Lauter 1388 mm/a).

Secondary raised bog forests with high nature conservation value. Top left: *Vaccinium*-bog forest with dominant *Vaccinium uliginosum*. Top right: *Sphagnum quinquefarium*-spruce bog forest, dominant Sphagna and mosses of mountain forests. The different structure of these two examples for invertebrates is obvious. bottom left: Waldkiefern-Heide-Hochmoorwald, the transparent canopy of Scots pine ensures high solar radiation at the ground, important for specialised invertebrates.

Der Birken-Vorwald kommt im Voralpinen Hügelland überwiegend als Sukzessionsstadium in Torfstichsohlen und als Folgestadium ehemals gemähter oder beweideter Randbereiche vor. Dort wurde er nicht repräsentativ erfasst, da die Sukzession von Niedermoorwiesen hier nicht weiter thematisiert wird. Selten gibt es auch in diesem Naturraum alte birkendominierte Bruchwälder im Randlagg der Moore. In den Voralpen- und Alpenmooren ist dies häufiger der Fall und in der Rhön stocken im Schwarzen Moor ein Karpatenbirken-Randlagg und ein Birken-Randgehänge, das Rote Moor regeneriert mit einem Birkenwald (KAULE 1974, LFU & LWF 2018).

Der Fichten-Erlen-Bruchwald bildet den natürlichen Rand der voralpinen Hochmoore, rezent kommt er dort nur noch selten vor, da die Hochmoore vom Rand her kultiviert wurden. Umso wichtiger sind die Sekundärbestände, die sich in Torfstichsohlen entwickelten. Dieser Vegetationstyp ist in Torfstichkomplexen ein wichtiger Sekundärlebensraum u. a. für Niedermoortorfmoose (HÖLZER 2010).

Fichtenforste auf Hochmoortorf kommen überwiegend auf Restflächen in Torfstichkomplexen vor, seltener sind größere Hochmoorflächen durch Entwässerungsgräben zu flächigen Forsten umgewandelt worden, in denen an lichten Stellen Waldmoose, in erster Linie *Leucobryum glaucum* und *Hypnum cupressiforme* sowie Beersträucher vorkommen.

### 3.2 Repräsentative Tierarten der Moorwälder

Moorbewohner sind in ihren Ansprüchen an das Moor eine überaus heterogene Gruppe. Es würde eine grobe Vereinfachung darstellen, die von den verschiedenen Arten benötigten Kleinstrukturen und Habitats auf bunte Torfmoosrasen oder Moorweiten zu reduzieren. Viele der Moorarten haben neben ihren ganz bestimmten Habitatrequisiten und Lebensstätten bestimmte Präferenzen und Toleranzen für Feuchtigkeit, Trophie und das Mikroklima. Nicht wenige Arten besiedeln Komplexhabitats. Für viele Arten ist das Phänomen der „regionalen Stenökie“ kennzeichnend, so dass es problematisch wäre ihre Ansprüche über verschiedene Regionen, Naturräume oder gar Biome hinweg in Schemata pressen zu wollen. Eine allgemeingültige, möglichst tabellarische Kategorisierung der Arten nach Anspruchstypen, wonach also bestimmte Arten in bestimmten Moortypen vorkommen, erschiene oberflächlich betrachtet möglich. Sie entspricht menschlicher Neigung nach Ordnungssinn und Kategorisierung und wäre auch für Planer verlockend einfach. Dennoch sollten wir dieser Versuchung widerstehen und eine solche Tabelle so anlegen, dass die Gefahr einer übersimplifizierenden, schubladenhaften Anwendung nicht gegeben ist.

Vor allem müssten wir für viele Arten auch sehr viele Fragezeichen in eine solche Tabelle einfügen. Für viele Artengruppen wissen wir heute noch gar nicht genau, was einige ihrer Vertreter an den Lebensraum Moor bindet. Es ist aber bereits ein erster wichtiger Schritt wenigstens zu wissen, welche Arten in unseren Gefilden denn primär Moorarten, d.h. in ihrem Vorkommen auf Moore angewiesen sind. Dies leistet beispielsweise der Moorartenkorb (MÜLLER-KROEHLING 2016, 2018a). Diese Arten können dann bei Planungen und Bewertungen in Mooren gezielt oder zumindest verstärkt berücksichtigt werden.

Die Tabelle 3 gibt einen Überblick mit ausgewählten, repräsentativen Tierarten aus relativ gut erforschten Artengruppen. Sie soll aufzeigen wie unterschiedlich die Habitatansprüche und Mikrohabitats in Mooren ausgeprägt sein können, und dass dabei auch Moorwald und Übergänge zu diesen eine substantielle Rolle für den Artenschutz spielen. Die Ansprüche der Arten an die speziellen Lebensräume in Mooren können regional deutliche Unterschiede aufweisen und beanspruchen keinen Anspruch auf Allgemeingültigkeit. Die Ta-

Tab. 3: Ausgewählte repräsentative Tierarten der Moorwälder und Kleinlebensräume.  
 Selected and representative animal species (mainly invertebrates) of bog forests and their microhabitats

Torfmoosbulte Käfer: <i>Agonum ericeti</i> , <i>Agonum munsteri</i>
Torfmooschlenken Käfer: <i>Bembidion humerale</i> , <i>Agonum hypocrita</i> (v.a. Übergangsmoore) Libellen: <i>Somatochlora arctica</i>
„Spirkenlöcher“ (Kleinstgewässer in den Kolken umgefallener Spirken-Wurzelteller.) Käfer: <i>Ilybius wasastjernae</i>
Rohtorf an Ufern: Käfer: <i>Elaphropus walkerianus</i> , <i>Bembidion humerale</i>
Torfheiden, häufig mit einzelnen Waldkiefern Käfer: <i>Bradycellus ruficollis</i> , <i>Cicindela campestris</i> , <i>Cymindis vaporariorum</i> Schmetterlinge: <i>Pachynemina hippocastanaria</i> , <i>Lycophotia molothina</i> , <i>Anarta myrtilli</i>
Torfmoos-Rauschbeer-Moorwald mit Rauschbeeren und Moosbeeren, v.a. Spirkenfilze Käfer: <i>Carabus menetriesi</i> Schmetterlinge: <i>Colias palaeno</i> , <i>Boloria aquilonaris</i>
Moor-, Zwerg- und Strauchbirkenbestände in Hochmooren Käfer: <i>Epaphius rivularis</i> , <i>Boreaphilus henningianus</i> , <i>Dicercia furcata</i> , <i>Amara makolskii</i> , <i>Altica aenescens</i> , <i>Oenopia impustulata</i> , <i>Cryptocephalus decemmaculatus</i> , <i>Chrysomela lapponica</i> , <i>Orchestes calceatus</i> , <i>Orchestes jota</i> Schmetterlinge: <i>Epirrita autumnata</i> , <i>Phyllenorycter anderidae</i> , <i>Ancylis tineana forsterana</i> Zikaden: <i>Cixius similis</i> , <i>Zygina rosea</i> Schildläuse: <i>Spilococcus nanae</i> Vögel: <i>Lyrurus tetrix</i>
Minerotroph beeinflusster Moorrandwald mit Moorbirken am Randlagg Käfer: <i>Epaphius rivularis</i> , <i>Boreaphilus henningianus</i> , <i>Ampedus pomonae</i> Schmetterlinge: <i>Hypenodes humidalis</i> , <i>Aethalura punctulata</i> Vögel: <i>Lyrurus tetrix</i>
Moorbirken-Vorwaldgebüsch und -durchdringungen an Moorrändern und auf Niedermooren Säugetiere: <i>Sicista betulina</i> Vögel: <i>Lyrurus tetrix</i>
Waldkiefernfilz Käfer: <i>Carabus arvensis</i> Schmetterlinge: <i>Eupithecia nanata</i> , <i>Xestia castanea</i> , <i>Nola aerugula</i>
Latschenfilz Käfer: <i>Coccinella hieroglyphica</i> , <i>Cymindis vaporariorum</i>
Fichten-Krüppelfilz der Hochlagen und „Sterbelöcher“ im Fichten-Hochlagenwald Käfer: <i>Patrobis assimilis</i> , <i>Ampedus tristis</i> , <i>Magdalis nitida</i> Schildläuse: <i>Arctorthezia cataphracta</i>
Schattiger, von Fichten-geprägter Randwald Käfer: <i>Trechus alpicola</i> , <i>Trechus splendens</i> Schmetterlinge: <i>Lampropteryx otregiata</i> , <i>Eupithecia conterminata</i> , <i>Xestia sincera</i> , <i>Venusia cambric</i>
Stufiger Moor-Randwald-Übergang, windgeschützte Bereiche Schmetterlinge: <i>Eugraphe sigma</i> , <i>Phalacropterix graslinella</i>

belle ist notwendig um aufzuzeigen, dass nur die Vielfalt an Moorwaldtypen ein breites Artenspektrum sichert und im Zuge der Differenzierung des Niederschlagsgradienten noch an Bedeutung für den Erhalt von Arten in Mooren gewinnt.

Damit Arten ihre Lebensbedingungen in Mooren finden können, müssen die Lebensbedingungen aller Lebensstadien in Bezug auf die Biotopausstattung realisiert sein und dies in hinreichender Größe und Vernetzung mit bestehenden Vorkommen. Bei ausbreitungsschwachen Arten – zu denen besonders viele Hochmoorbewohner zählen – ist auch die Habitattradition wichtig, denn eben solche Arten können nicht kurzfristig ein neues Habitat besiedeln, wenn ihr „traditionelles“ verloren geht. Bei sehr vielen Moorbewohnern spielt neben der Hydrologie, der Trophie und dem Vorkommen bestimmter Strukturen wie zum Beispiel Bulte oder Schlenken auch das moortypische Mikroklima eine entscheidende Rolle.

Viele Hochmoorbewohner können lichte Moorwälder besiedeln, sofern in diesen hochmoortypische Bult-Schlenken-Torfmoos-Vegetation erhalten ist (MÜLLER-KROEHLING 2015). Viele der Hochmoor-Arten sind in kühleren Höhenlagen besonders stark an weitgehend offene Moore gebunden, besiedeln in wärmeren Zonen aber auch oder sogar bevorzugt lichte Moorwälder. So besiedelt der Hochmoorlaufkäfer (*Carabus menetriesi pacholei*) im Bayerischen Wald in den tieferen Lagen Spirkenfilze und in hoch gelegenen Quellmooren vor allem offene Moorstadien (MÜLLER-KROEHLING 2006, MÜLLER-KROEHLING et al. 2013). Der Hochmoor-Ahlenläufer (*Bembidion humerale*) ist in den kühlen Lagen der Steinwald-Moore eine sehr lichtliebende Art (DIECKOW et al. 2018), kommt aber in den Hochmooren am Nordrand des voralpinen Moorgürtels auch in kleinen Schlenken der Lichtungen in Spirkenfilzen vor. Der Hochmoor-Glanzflachläufer (*Agonum ericeti*) benötigt in den höher gelegenen Mooren Ostbayerns offene Hoch- und Übergangsmoore, kommt in den Allgäuer Mooren aber in zum Teil sehr individuenstarken Populationen auch in Spirkenfilzen vor.

Intakter und nicht zu dichter Moorwald kann also in einem Klimagradienten an dessen wärmeren Ende oftmals eine wichtige Habitatfunktion auch für heute als „Offenlandbewohner“ betrachtete Arten erfüllen. Daraus folgt, dass in einem wärmer werdenden Klima Gehölzbestände die Funktion von Refugialhabitaten auch für lichtliebende Hochmoorbewohner zunehmend werden einnehmen können. Auf die Bedeutung der positiven Wirkung von Ammengehölzen weist BACHMAIER (1965) und auf die eines Randwald-Windschutzes auch für heliophile Moorbewohner HEINECKE et al. (2011) hin.

### 3.3 Der Wasserhaushalt von Moorwäldern am Beispiel Feßlerfilz

#### 3.3.1 Zersetzungsgrade in den obersten Torfhorizonten von Vegetationseinheiten und ihr Wasserspeicher

In der intakten Hochmoorzonation lassen sich bestimmte Abfolgen der Zersetzungsgrade im Profil mit den Vegetationseinheiten korrelieren. Die Mächtigkeiten einzelner Zersetzungsgrade (Kartieranleitung der BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE, 2005) können im Profil schwanken, aber jede Vegetationseinheit hat eine typische Abfolge. Insbesondere die Akrotelm-Katotelm-Grenze mit einer Auflage schwach zersetzter Torfe (z1- z2) bildet im Sphagnetum ein ausgeprägtes Mikrorelief (siehe Abb. 6). An den Übergängen der Vegetationseinheiten gehen auch die Profile fließend ineinander über. Dies stellt sich in den bewaldeten Einheiten, die nicht in eine natürliche Zonation eingebunden sind anders dar. Hier ist die Nutzungsgeschichte ein entscheidender Faktor: Zeitpunkt der Entwässerung, Abschälung oder Abtorfung der obersten Schicht, aktive Aufforstung und natürliche Sukzession auf Restflächen.



Abb. 3: Profilschema von Fichten und Kiefern dominierten Moorwäldern, generalisiert aus über 50 Kammerbohrerprofilen und 30 Bohrzylindern mit Laborauswertung. I: Randwald der Moorweite; II: Fichten-Kiefern-*Sphagnum*-Hochmoorwald; III: Fichten-Kiefern-*Vaccinium*-Hochmoorwald; IV: *Sphagnum quinquefarium*-Fichten-Hochmoorwald; V: Waldkiefern-Heide-Hochmoorwald; VI: Fichtenforst auf Hochmoortorf. Zersetzungsgrade in den Torfprofilen: rot z1; gelb z2; dunkelbraun z3; dunkelgrau z4; schraffiert Trockentorf. Generalised peat profiles of the spruce and red pine dominated raised bog forest. Humidification grades red z1; yellow z2; brown z3; dark brown z4; hatched dry peat. A significant akrotelm is only present in vegetation types with raised bog *Sphagna* and precipitation more than 1200 mm/a.

Bestände, die sekundär auf abgetorften oder drainierten Hochmoorflächen aufgewachsen sind, zeigen direkt unter der Mooschicht stark zersetzte Horizonte, unter denen weniger zersetzte liegen. Ihnen kann man kein vegetationstypisches Profil zuordnen. Diese Entwicklung geschieht allerdings nur bei entsprechend hohen Jahresniederschlägen. Sind diese zu niedrig, trocknen die oberflächennahen Torfe aus. Es zeigte sich, dass aus trockenen Moorwäldern entnommene Proben auch nach 3 Wochen Lagerung in Wasser noch nicht gesättigt waren und damit bei Starkregen kein Wasser aufnehmen können. Eine Verknüpfung von Zersetzungsgrad zu hydraulischer Durchlässigkeit wird durch den Makroporenfluss in Wurzellächern, Trockenrissen etc. verwischt.

**Hochmoor-Randwald:** Die Abfolge von krüppeligen Kiefern zum Fichten-Kiefern-*Sphagnum*-Hochmoorwald kann definitionsgemäß nur am Rand wachsender Hochmoore vorkommen, da der Akrotelm hier auskeilt. Gegenüber der folgenden Ausbildung sind Hochmoorarten deutlicher vertreten. Im Übergangsbereich gibt es noch einen geringen Wasserspeicher im auskeilenden Akrotelm (z1-z2 Horizont), im Übrigen ist die Wasserrückhaltung von der Mächtigkeit der Mooschicht abhängig.

**Fichten-Kiefern-*Sphagnum*-Hochmoorwald** auf Restflächen: Hochmoorphanerogamen kommen vor, aber es gibt keinen Akrotelm und keinen z1-Horizont, Beersträucher und Laubmoose der Rohhumus- und Moorwälder sind stet, jedoch dominieren noch die Hochmoortorfmoose (incl. *Sph. recurvum* coll.). Viele Bestände entstanden sekundär auf Torfrippen oder Restflächen bei Niederschlägen über 1300 mm. Hier findet, wenn auch im Vergleich zum Wachstumskomplex deutlich geringer, ein Moorwachstum statt. Aufgrund der vorangegangenen Nutzung ist meist der Muldenspeicher deutlich höher als der Speicher in der Mooschicht und im z2 Horizont (siehe Abb. 4).



Abb. 4: Muldenspeicher im Fichten-Kiefern-*Sphagnum*-Hochmoorwald während eines Starkregens mit Hagel in den Bodenmössern (Oberallgäu).

Storage of surface water in a *Sphagnum*-spruce forest during a heavy hailstorm (through storage).

**Fichten-Kiefern-*Vaccinium*-Hochmoorwald:** Die Beersträucher sind dominant, Laubmoose der Rohhumus- und Moorwälder sind oft flächendeckend vorhanden, kleine flache *Sphagnum magellanicum*-Decken und einzelne *Sph. nemoreum*-Bulte kommen noch vor. In unseren Stichproben ist *Sphagnum girgensohnii* häufig. Die Wasserrückhaltung ist von der Mooschicht und dem meist sehr geringmächtigen z2-Horizont und ebenfalls dem Muldenspeicher abhängig.

***Sphagnum quinquefarium*-Fichten-Hochmoorwald:** In diesen Beständen kommen Moose der Rohhumus-Wälder vor (Foto in Abb. 2 und Abb. 5). Da die Wald-Torfmoose hier mindestens 50% des Bodens bedecken, wurden 3 Bodenprofile dokumentiert um den Unterschied im Profilaufbau zu den Wäldern mit Hochmoortorfmoosen abzusichern. Unsere Stichproben dieser Variante liegen alle im mittleren bis trockenen Gürtel.

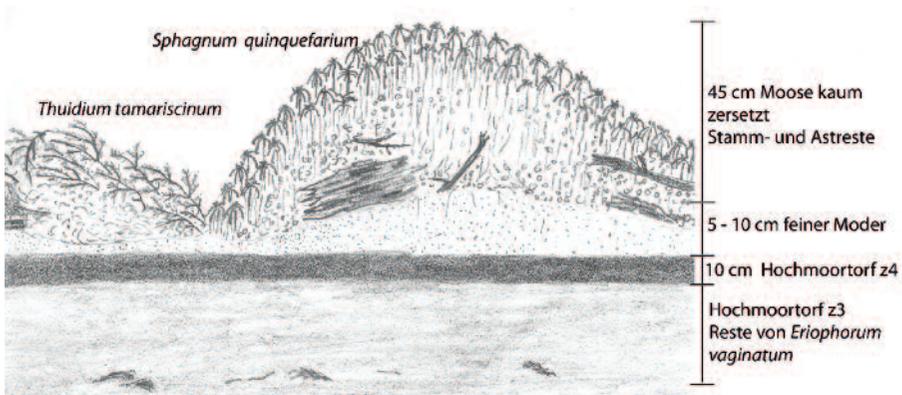


Abb. 5: Halbschematisches Bodenprofil in einem *Sphagnum quinquefarium*-Fichten-Hochmoorwald, zusammengesetzt aus mehreren Bohrungen.

Semi-schematic peat profile composed from several core samples. The explanation from top to bottom: 45 cm slightly decomposed mosses with wood remains; 5-15 cm fine moder; 10 cm heavy decomposed raised bog peat z4; raised bog peat z3. The profile indicates that the mosses grow on a layer caused by a former cultivation.

Kennzeichnend ist die mächtige Auflage lebender und abgestorbener Moose, durchsetzt mit Holzresten, dann folgt eine unterschiedlich dicke Schicht von feinem rötlichbraunem Moder. Dieser lagert mit sehr scharfer Grenze auf einer flachen, stark zersetzten Schicht aus schwer durchlässigem Hochmoortorf. Darunter folgt weniger stark zersetzter Hochmoortorf, gelegentlich mit Großresten. Gut erkennbar ist oft *Eriophorum vaginatum*. Die Wasserrückhaltung ist von der Mächtigkeit der Moos- und Moderschicht abhängig.

**Waldkiefern-Heide-Hochmoorwald:** Die Wälder, in denen die Waldkiefer gegenüber der Fichte dominiert stellen ein Sukzessionsstadium von Hochmoorheiden vorentwässerter, aber nicht abgetorfter Moore dar. Kennzeichnend ist eine zwischen 3 und 30 cm dicke

gering zersetzte Schicht, dann folgen stark zersetzte Schichten (z3 und z4) in unterschiedlicher Reihenfolge. Das Profil ist also deutlich von der Nutzungsgeschichte abhängig. Die Vegetation hat eine Spanne zwischen der *Vaccinium*-Variante und Waldkiefern-Heide-Hochmoorwäldern. Da die z2-Schichten nur sehr geringmächtig sind, ist die Wasserspeicherung von der Mooschicht und dem Muldenspeicher im Mikroprofil abhängig.

**Fichtenforst auf Hochmoortorf:** Hier muss deutlich unterschieden werden zwischen Aufforstungen auf Moorflächen, in denen die Aufforstung nach Abtorfung der gut nutzbaren Hochmoortorfe stattfand und solchen mit einer Entwicklung auf entwässertem Hochmoor mit gestörtem, aber weitgehend vollständigem Profil. Die sehr vom Niederschlag abhängige Entwicklung wurde in Kapitel 2.1 bereits beschrieben. Die Profile präzisieren dies: Der Trockentorf (TT) ist so strukturiert, dass weder mit dem Kammerbohrer noch mit dem Entnahmegerät für Bohrkerne Proben entnommen werden konnten, die Profile wurden daher gegraben. Der Torf ist hydrophob, so dass hier kein Speichervolumen verfügbar ist. Die Versickerung und die Speicherung im Profil erfolgt über Makroporen. Messdaten hierzu liegen nicht vor.

### 3.3.2 Zersetzungsgrade und hydraulische Durchlässigkeit: der Randwald als „Dichterring“

Die Zersetzungsgrade korrelieren mit der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit. Generell sinkt die Leitfähigkeit mit zunehmendem Zersetzungsgrad, d.h. sie ist unter den Moorwäldern um mehrere Größenordnungen niedriger. Während im z1-Horizont der Moorweite der Lateralfloss über 15 m am Tag betragen kann, liegt er im Randwald mit z2 / z3 deutlich unter einem Meter am Tag. Nach unten hin nimmt der Zersetzungsgrad in der Regel zu, so dass gerade bei sinkendem Wasserstand der Lateralfloss erheblich abnimmt. Berechnungen in einem 1D-Modell mit horizontalen Abflusslinien haben ergeben, dass, verglichen mit einem Wasserstand von minus 5 cm, der Abfluss bei minus 30 cm Wasserstand nur noch ein Siebtel so groß ist. Der Abfluss wird vor allem durch die flach anstehenden stark zersetzten Torfe des Randwaldes reduziert (siehe Abb. 6, Rand zum Graben).

### 3.3.3 Vegetationentwicklung und Wasserspeicher im Feßlerfilz

Die 2015 durchgeführte großmaßstäbliche Wiederholungskartierung zeigte, dass sich im Feßlerfilz („Unberührtes Hochmoor“ nach SCHMEIDL et al. 1970) bei 1450 mm Jahresniederschlag von 1962 bis 2015 ein Randwald entwickelte (KAULE et al. 2017). Dies ging mit einer deutlichen Vernässung der Moorweite einher. Die Fläche mit offenem Hochmoor ist zwar etwas zurückgegangen, aber nicht als regressive Sukzession zu Degradationsstadien, sondern zu Gunsten der Entwicklung einer natürlichen Hochmoorzonierung. Es bildete sich eine Randzone mit Zwerggehölzen (*Vaccinium uliginosum*, *V. myrtillus*, *Calluna vulgaris*) und niedrigen Kiefern. In 40 Jahren hat sich also eine hochmoortypische Randzonierung entwickelt (siehe Luftbildvergleich in Abb. 7).

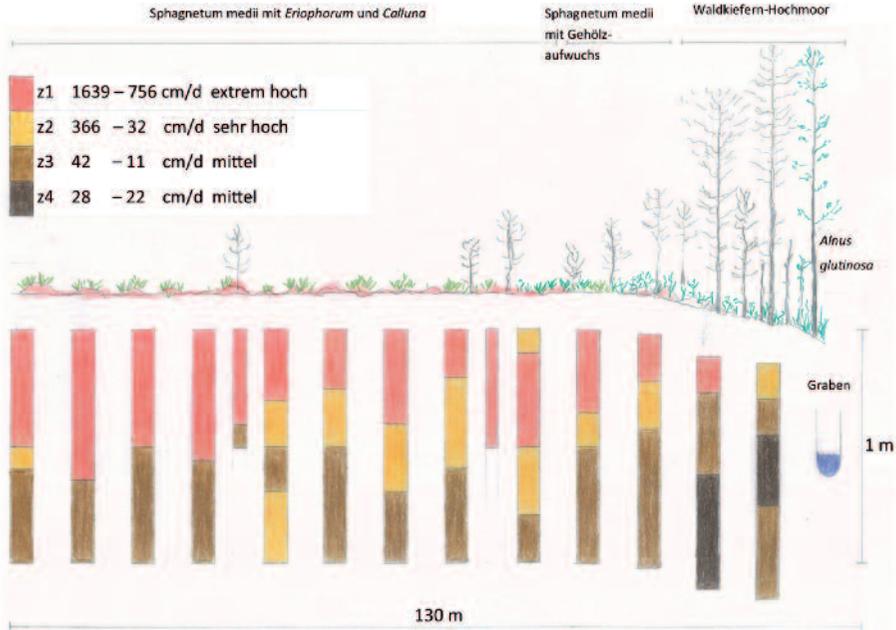


Abb. 6: Profilschnitt durch die nördliche Moorweite der Versuchsfläche Feßlerfilz. Die Zersetzungsgrade wurden mittels Quetschproben im Gelände ermittelt, die hydraulische Leitfähigkeit wurde im Labor gemessen und den Zersetzungsgraden zugeordnet.

Profile with peat cores of the northern raised bog plain of the Feßlerfilz investigation area. The humification grades were determined by squeeze tests on site, the hydraulic connectivity was measured in the laboratory. The measured hydraulic connectivities were assigned to the corresponding humification grades. The profile shows a micro relief in the akrotelm-katotelm border which is slowing down the lateral flow. The highly degraded peat of the border forest protects the bog water table in the akrotelm.

Mit der Vegetationsentwicklung auf Daueruntersuchungsflächen von 3 m x 5 m (SCHMEIDL 1977) im nordöstlichen Moorteil lässt sich auch nachweisen, dass in der Mikrostruktur der Moossynusien in dem Zeitraum 1957 – 1977 ein deutlicher struktureller und floristischer Wandel stattfand, während sich in den folgenden 40 Jahren die Vegetation zu einem stabileren Dauerstadium entwickelt hat (siehe auch FRANKL 1996). Um 1960 waren noch signifikant *Sphagnum cuspidatum*-Schlenken präsent. Die Vegetation, in der sie eingebettet waren entsprach dem Hochmoor-Stillstandskomplex, den KAULE (1973) als typisch für schwach gestörte Hochmoorweiten beschrieben hat. Im Jahr 1977 dokumentiert SCHMEIDL (1977) bereits einen starken Rückgang der Schlenken durch Kolonisierung mit Bultarten. Im Jahr 2015 war *Sph. cuspidatum* auf der Fläche erloschen und die Vegetation war in der Hochmoorweite ein schlenkenfreier Wachstumskomplex, der für die bayerischen Hochmoore des Voralpengebietes typisch ist (KAULE 1974 und BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2015). Dieser ist deutlich nasser als der Stillstandskomplex, in dem die Schlenken zeitweilig austrocknen und die Bulte keinen Akrotelm haben.

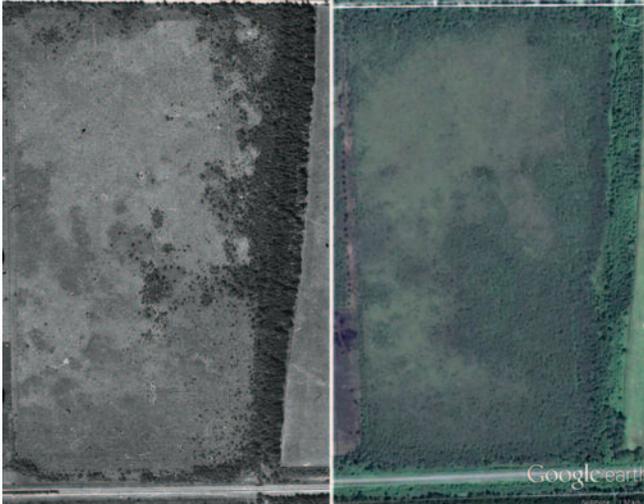


Abb. 7: Der Luftbildvergleich (1970 und 2009) vom Nordteil der Versuchsfläche zeigt eine deutliche Entwicklung des nördlichen Randwaldes.

Comparison of aerial photographs (1970 und 2009) of the northern investigation area in the southern bogs of lake Chiemsee. The comparison shows the development of the border forest in 40 years. This forest stabilises the akrotelm of the central growing complex. Copyright left © Geodatenbasis Bayerische Vermessungsverwaltung; right; © Google © 2018 DigitalGlobe © 2018 Google © 2009 GeoBasis DE/BKG; 47°48'59 60''N; 12°24'41 16'' O.

Wertet man alte und aktuelle Vegetationskarten aus, so lassen sich auch Aussagen zur Veränderung der Wasserrückhaltung ableiten. Dies wird am Beispiel des Feßlerfilzes gezeigt (Luftbildvergleich siehe Abb. 7, Karten siehe KAULE et al. 2017). Dazu wurden den Vegetationseinheiten aus SCHMEIDL et al. (1970) Mächtigkeiten der unzersetzten Torfauflage zugeordnet. Diese wurden entweder von den aktuellen Vegetationseinheiten übernommen oder aus der Vegetationszusammensetzung abgeleitet (z.B. haben Flächen mit *Zygogonium*-Überzügen, wenn überhaupt, nur sehr geringe z1-Auflagen in Form von Bul-ten). Den Vegetationseinheiten der Vegetationskarte aus KAULE et al. (2017) wurden mittlere Mächtigkeiten der z1 und z2-Auflagen aus Bohrstockeinschlägen zugeordnet.

Es zeigte sich, dass sich auf der Moorweite mächtige Torfauflagen mit dem Zersetzungsgrad z1 und z2 entwickelt haben. Der Randwald dagegen hat ein Profil aus mittel und stark zersetzten Torfen. Die Auswertung zeigt auch, dass das Moor nun im Akrotelm 4000 m<sup>3</sup> mehr Wasser aufnehmen kann als 1962, was einer Niederschlagsmenge von 20 mm entspricht.

Die Versuchsfläche im Feßlerfilz ist ein einmaliger Glücksfall. Um zu überprüfen ob eine ähnliche Entwicklung auch in anderen Mooren stattfand, wurden im Chiemgau die gleichen Untersuchungen mit Profiltranssekten in weiteren Flächen durchgeführt. Zwei Flächen liegen südlich vom Feßlerfilz in den südöstlichen Kendlmühlfilzen, diese waren durch Schlitzgräben mit geringen Abständen (ca. 10 m) zwischen Sammlern für einen großflächigen Abbau vorbereitet, bevor die Entwicklung gestoppt wurde. Den höchsten Niederschlag hat die Referenzfläche in den Egerndacher Filzen (1530 mm/a bzw. 590 mm im Sommer). Die Ausgangssituation war hier ähnlich, jedoch liegen dort immer auch kleine und flache private Torfstiche zwischen den Gräben. In diesen Mooren konnte die Entwicklung eines Akrotelms im Schutze der Randgehölze beobachtet werden, obwohl durch die Schlitzgräben die Sukzession beeinträchtigt wurde. Eine weitere Referenzfläche liegt in den nördlichen Chiemseemooren im Lienzinger Filz mit deutlich geringerem Niederschlag (1267 mm/a bzw. 457 mm im Sommer). Hier konnte eine größere nur durch randliche Torfstichbecken beeinflusste Fläche gefunden werden, in der sich zum Latschenrand hin ein ganz flacher z1-Horizont entwickelte. Im Freimoos bei Halfing waren zwischen 1970 und 2017 die Niederschläge bereits so gering, dass von KAULE (1974) dokumentierte Wachstumskomplexe degradierten. Jetzt liegen trockene Bulte zwischen Heide direkt auf dem stark zersetzten Torf.

### 3.4 Entwicklungsprognosen zum Klimawandel in Szenarien

#### 3.4.1 Schwellenwerte zur Moorwaldentwicklung

In der Wiederholungskartierung von KAULE 1970 - 2015 (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2015) wurde die Sukzession von Vegetationseinheiten der Übergangs- und Hochmoore in einem Zeitraum von 45 Jahren und in Abhängigkeit vom Jahresniederschlag bzw. Sommerniederschlag dokumentiert und analysiert. Übernimmt man die dort festgestellte Grenze von 450 mm Sommerniederschlag als Schwellenwert für die mittelfristige Stabilität von Wachstumskomplexen und 500 mm als Schwellenwert für die Kolonisierung von Heiden und Hochmoorheidewäldern mit Torfmoosen, so lässt sich ableiten, dass in Zonen, in denen die Niederschläge unter 450 mm im Sommer sinken, die Bewaldung von Wachstumskomplexen zunimmt. Die Schwellenwerte zu Stabilität und Dynamik von Moorheiden (1970 - 2015) wurden aus dem BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2015) übernommen.

#### 3.4.2 Szenarien

Die maximale (durchschnittliche) Veränderung des Sommerniederschlags an den 559 Moorflächenmittelpunkten beträgt im Trockenszenario -5,38 % (-3,21 %), im Feuchtszenario +10,29 % (+6,79 %).

Die wichtigsten Ergebnisse werden in Abbildung 8, der Übersicht halber in drei Stabilitätsbereichen dargestellt. Grün: Bei über 450 mm Sommerniederschlag ist hier der stabile Bereich für das Wachstum von Hochmoortorfmoosen. Rosa: Hier liegt der Übergangsbereich, in dem Hochmoorweiten mit gut ausgebildetem Akrotelm noch stabil sind, sich aber kaum neu entwickeln werden. Rot: Hochmoorwachstum findet nicht statt, Wachstumskomplexe verheiden.

Die ausgewählten „Extremszenarien“ unterscheiden sich um maximal 5 % vom Referenzszenario, trotzdem ergeben sich deutliche Verschiebungen der Moorkommen in den Niederschlagsklassen. Betrachtet man als Übersicht zunächst alle Moorwald-Vorkommen (Abb. 8, linke Spalte) so wird deutlich, dass durch die Zunahme der Sommerniederschläge im Feuchtszenario viele Moorwaldflächen in die für das Moorkwachstum stabilen Niederschlagszonen über 500 mm Sommerniederschlag gelangen. Im Trockenszenario verbleiben 318 in der Zone über 500 mm Sommerniederschlag, viele kommen also in den Bereich zwischen 350 und 450 mm Sommerniederschlag.

Die Spalte „Hochmoorzonation“ in Abbildung 8 zeigt die Szenarien für die Moorwälder, die sich in einer intakten Hochmoorzonation befinden. Von ihnen sind 124 von 158 aktuell im stabilen Bereich des Moorkwachstums, im feuchten Szenario werden es sogar 136. Im trockenen Szenario verbleiben 113 Flächen im stabilen Niederschlagsbereich. Auf die Moorwälder dieser Kategorie muss besonders geachtet werden, da nur sie den Typus des voralpinen Bergkiefern-Hochmoores sichern. Die 43 Moorwälder im Übergangsbereich zwischen 450 -500 mm Sommerniederschlag müssen sehr sorgfältig im Hinblick auf die Entwicklung eines Akrotelms, der sich durch einen Randwald stabilisiert beobachtet werden. Dieser darf nicht durch Rodung beeinträchtigt werden.

Die Spalte „Torfstichkomplexe“ umfasst ein sehr breites Spektrum an Lebensräumen: Torfstichsohlen mit Schwingrasen, aber auch solche mit Birkenvorwald, Seggenrieden, lichten *Molinia*-Filzen, *Molinia*-Seggenbeständen mit Weiden und Niedermoortorfmoosen oder lichten Bruchwäldern. Auf den stehengebliebenen Rippen sind alle Moorkwaldtypen, die auch flächig vorkommen kleinflächig möglich, besonders aber Heidewälder oder Heidesäume. Auffällig ist, dass im Status quo und im Feuchtszenario die meisten erfassten Torfstichkomplexe noch im günstigen Niederschlagsbereich liegen. Im trockenen Szenario kommen jedoch fast alle Komplexe in den für Hochmoorkwachstum kritischen Bereich bzw. in den Bereich, in dem kaum eine natürliche Regeneration stattfinden wird. Da in den Komplexen die Rippen schmal und kleinflächig sind, werden hier die trockenen Moorkwaldtypen zunehmen. Dies sollte nicht nur negativ gesehen werden.

Die Spalte „Schwingrasenzonation“ zeigt alle Schwingrasenzonierungen, also Moorkwald, Bergkiefernsaum, *Sphagnum*-Schwingrasen und meist offenes Wasser (Moorage) sowie natürliche und sekundäre Waldkiefern-Pseudohochmoore. Die Ergebnisse von Kapitel 3.1 zeigen, dass der überwiegende Teil in Torfstichbecken vorkommt. Nur 13 sind

Kolke mit Schwingrasen, die in Latschen- und Spirkenhochmooren vorkommen. Im trockenen Szenario verschieben sich von bisher 15 Schwingrasen weitere 8 zusätzlich in den kritischen Bereich, in diesem wird permanent durch diffuse Einträge die Eutrophierung zunehmen, der laterale Wasserzufluss wird beschleunigt, da der Moorwasserspiegel absinkt. In der Schwarzen Gumpe (KAULE & PFADENHAUER 1973) fluktuiert der Wasserstand um 45 cm. In allen Säumen von Schwingrasen zum offenen Moorage, für die alte Daten vorliegen (Originalaufzeichnungen zu KAULE 1974), sind die oligotrophen Übergangsmoorarten (*Carex limosa*-Gruppe) durch *Molinia* und *Carex elata* vollständig oder weitgehend verdrängt. In den untersuchten Mooren hat sich auch der offene Schwingrasenbereich zugunsten des Randwaldes verringert. Dies lässt sich z. B. durch die Auswertung der Kartierung von 1973 in der Schwarzen Gumpe eindeutig, auch quantitativ, nachweisen.

Da die Bewaldung und Verschattung generell zunehmen wird, werden verheidete Bergkiefern- und Waldkiefernmoore und ihre Heidesäume im Zuge des Klimawandels eine zunehmende Bedeutung für die Erhaltung lichter Übergänge erhalten. Geht man davon aus, dass der Alpenstau direkt am Fuß des Gebirges für höhere und häufigere Niederschläge sorgt, so gewinnen die Torfstiche und Heiden im Vorland umgekehrt für trocken-warme Habitate der Moore an Gewicht.

Besonders interessant ist die Lage der 43 Waldkiefern-Heide-Hochmoorwälder im Klimagradienten (Abb. 8, rechte Spalte). Sie bilden nicht nur lichte Säume sondern auch savannenartige Bestände. Sie repräsentieren also die sonst überall sehr stark zurückgegangenen halboffenen Landschaftskomplexe. Während im feuchten Szenario nur 3 der Bestände einen trockenen Heideunterwuchs behalten, verbleiben im trockenen Szenario 19 in der Zone mit weniger als 450 mm Sommerniederschlag, in der Torfmooskolonisation unwahrscheinlich ist.

Spirken- und Latschen-Hochmoorfilze, die nicht als Randwälder in eine Hochmoorzonation eingebunden sind, müssen sehr differenziert betrachtet werden. Sie kommen einerseits auf z.T. schon vor 100 Jahren vorentwässerten Hochmooren vor (Beispiel der „Haken“, ein Filz in den Südlichen Chiemseemooren), andererseits auf vergleichsweise jungen Hochmoorentwicklungen knapp über dem Grundwasser (Moor im Schweikartswald südl. Unterthingau). Im Kemptener Wald haben die Moore generell meist relativ geringe Torfmächtigkeiten und ein bewegtes Relief (PAUL & RUOFF 1932), so dass im gleichen Moor Flächen mit deutlich minerotropen *Molinia*-Filzen und solche mit Pseudohochmoor-Filzen nebeneinander vorkommen. In letzteren zeigen nur wenige *Eriophorum angustifolium*-Pflanzen an, dass sie kaum über den Grundwasserspiegel hinaus gewachsen sind. Dies gilt auch für das Murner Filz im Chiemgau und das Pfrunger Ried. In den geringmächtigen Hochmooren dürfte daher durch die zusätzliche Wasserversorgung der Status quo noch länger erhalten bleiben, sofern das Zusatzwasser nährstoffarm ist und zurückgehalten werden kann. Ihr Vorkommensschwerpunkt liegt jetzt bei 500 mm Som-

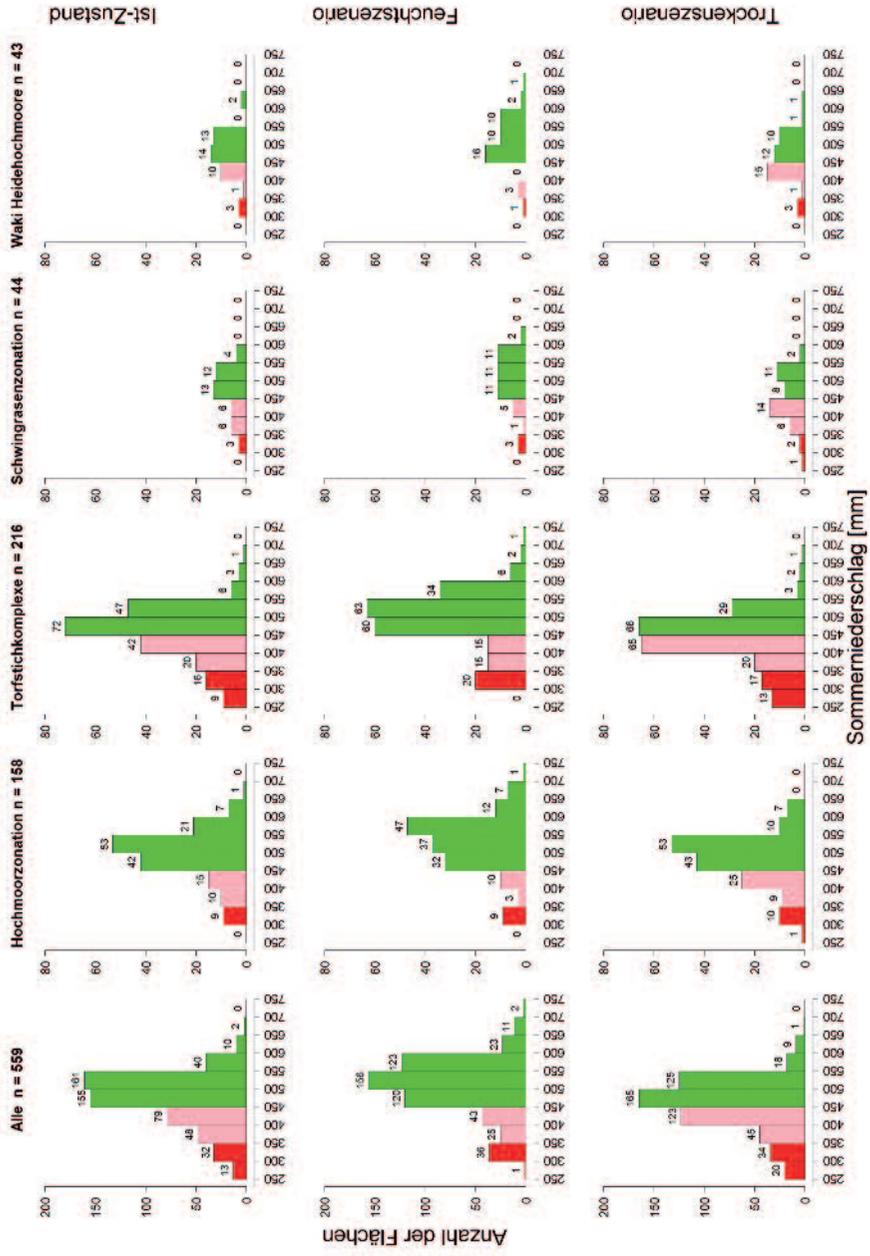


Abb. 8: Vorkommen von Moorzwäldern, derzeitige Verbreitung und Verschiebung der Vorkommen in zwei Klimawandelszenarien (Erläuterung siehe Text).

Distribution of bog forests in scenarios. Green: optimal for growing raised bogs; pink: critical precipitation zone, development depends on local ecological conditions; red: increasing development of dry raised bog forests.

merniederschlag, verschiebt sich aber im trockenen Szenario fast vollständig in den Bereich unter 400 mm. Die Moore, die keine grundwassernahe Oberfläche haben, dürften bei weniger als 400 mm Sommerniederschlag ihre lichten Moorweiten verlieren und einheitlich zuwachsen. Hier wird auch die Fichtenverjüngung langsam zu einem Rückgang der Bergkiefern führen.

Birken-Vorwälder wurden im gesamten Niederschlagsgradienten gleichmäßig erfasst. Dies ist auch zu erwarten, da sie neben Niederschlagswasser auch vom Grund- und Oberflächenwasser abhängen. Von Moorbirken dominierte Moorwaldtypen können bei bestimmten Standortsbedingungen als stabile „Klimaxgesellschaft“ Birken-Moor- oder Birken-Bruchwälder (HIBSCH-JETTER 1997) bilden. In 6 Mooren konnten alte Birkenbestände im Lagg bzw. in Torfstichen auch im Voralpengebiet nachgewiesen werden. Inwieweit und wo sie durch den Klimawandel beeinflusst werden bleibt abzuwarten.

Für Fichtenforste und Fichten-Kiefern-Moorwälder liegt nur eine geringe Stichprobenzahl vor (8 und 10 Flächen). Die geringe Zahl hat in der positiven Entwicklung seit 1970 ihre Hauptursache. Nach diesem Zeitpunkt wurden Hochmoore nicht mehr großflächig aufgeforstet. Sie haben sich seither zu über 50 % zu Fichten-Kiefern-*Vaccinium*-Hochmoorwäldern entwickelt. Die schon damals mit Beersträuchern bewachsenen Flächen entwickelten sich in den Zonen mit Sommerniederschlägen über 450 mm zu *Sphagnum*-Kiefern-Fichten-Hochmoorwäldern. Die Dokumentation über die Sukzession in über 45 Jahren (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2015) erlaubt eine sichere Prognose in den zu erwartenden Niederschlagszonen der Szenarien. Nur im feuchten Szenario besteht für wenige Flächen im höheren Niederschlagsbereich eine hinreichende Wahrscheinlichkeit einer flächigen Kolonisierung mit Hochmoortorfmoosen. Sie werden sich, wenn die Bestände lichter werden, zu Fichten-Kiefern-*Vaccinium*-Hochmoorwäldern entwickeln. Für die bestehenden Wälder dieses Typs gibt es nur im feuchten Szenario eine hohe Wahrscheinlichkeit der Weiterentwicklung zu Fichten-Kiefern-*Sphagnum*-Hochmoorwäldern. Das bedeutet, dass die in den vergangenen 50 Jahren so positive eigendynamische Entwicklung sich durch den Klimawandel nur in der niederschlagsreichen Alpenrandzone fortsetzen kann. Mit der Dokumentation des *Sphagnum quinquefarium*-Fichten-Hochmoorwaldes wurde jedoch gezeigt, dass es auch in von Fichten dominierten Moorwäldern eine Entwicklung zu lichten Waldtypen ohne Hochmoortorfmoose in einem breiten Niederschlagsgradienten (290 - 460 mm Sommerniederschlag) geben kann.

Flächige Moorwälder bieten eine Chance für viele Tierarten. Es gibt natürliche Altersstadien, die Urwaldreste darstellen wie sie in Mitteleuropa praktisch nicht mehr vorkommen. Aufgrund fehlender forstlicher Nutzungsinteressen und -möglichkeiten, der geringen Baumdimensionen, niedriger Holzvorräte und der schlechten Erschließung bzw. fehlenden Bringbarkeit des Holzes wurden gerade intakte Krüppelmoorwälder in der Vergangenheit oft nicht forstlich genutzt. Eingriffe in den Gehölzkörper erfolgten nur durch Schwendungen und erzeugten vielfach Flächen, die heute irrtümlich für „offene Hoch-

moorweiten“ gehalten werden und deren anthropogene Entstehung im Luftbild anhand der scharfen Nutzungsgrenzen, die meist an Besitzgrenzen verlaufen, erkannt werden kann. Dort, wo solche Eingriffe zum Zwecke der Gewinnung von Weide- oder Einstreuflächen nicht flächig ausfielen, haben sich daher stellenweise echte Urwälder erhalten. In Kombination mit dem extremen Standortseigenklima intakter Moore, das das Überdauern von Kaltzeitrelikten und boreoalpin verbreiteten Arten ermöglicht hat, können in Spirkenfilzen extrem spezialisierte Kaltzeitrelikte und zugleich echte Urwaldrelikte (REITTER 1908) gefunden werden (vgl. SCHMIDL 2014). Neben einer Bindung an Habitatrequisiten der Urwälder müssen diese auch zugleich eine echte Habitattradition aufweisen, um „Urwaldrelikte“ im engeren Sinne zu sein.

Die dargelegten zu erwartenden Veränderungen im Klimawandel machen lediglich eine Aussage darüber, wie sich eine „mittlere Entwicklung“ darstellt. Sie erscheint für die voralpinen Moore nicht sehr dramatisch. Es wäre aus zwei Gründen jedoch fatal davon auszugehen, dass sich für die Moore wenig ändert:

(1) Es ist wahrscheinlicher, dass sich zunächst, wie in der vergangenen Dekade, extrem trockene und feuchtkühle Sommer abwechseln. Wie die Analyse der tagesgenauen Wetterdaten der Moorversuchsstation Bernau in der Periode von 1958 bis 1972 in den Südlichen Chiemseemooren zeigt, gab es auch in der Vergangenheit extreme Trockenperioden (1959), allerdings in 15 Jahren nur eine und diese gegen Ende der Vegetationsperiode (KAULE et al. 2017). Die Versicherungswirtschaft, die die besten Zeitreihen zu Extremereignissen hat, geht bei ihren Kalkulationen von einer Zunahme der Extreme aus (siehe auch DEUTSCHER BUNDESTAG 2015: 32). Ein Anzeichen für die unmittelbare Häufung extremer Jahre kann schließlich auch aus der globalen Temperaturstatistik angeführt werden. Global waren 2014 bis 2017 die wärmsten Jahre seit Beginn meteorologischer Aufzeichnungen im späten 19. Jahrhundert gewesen. Das drittwärmste seit Messbeginn war demnach das Jahr 2017. Es sei jedoch das wärmste Jahr gewesen, das nicht vom Klimaphänomen El Niño beeinflusst wurde (NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION: NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION (NOAA) 2018).

Es ist also, vor allem um größtmögliche Vorsorge treffen zu können davon auszugehen, dass mehrere trockenheiße Jahre in Folge auftreten werden und dann Rückkoppelungen stattfinden, die die negativen Folgen irreversibel verstärken. In der Ökologie, insbesondere der Moorökologie, sind nicht nur Durchschnittswerte, sondern vor allem die Extreme oft der Schlüsselfaktor (bottleneck, Kippelemente). Trockenperioden hemmen das Torfmooswachstum und verschieben die Konkurrenzverhältnisse, so dass sich z. B. Birken und/oder *Molinia* etablieren. In Übergangsmooren wird das Eindringen von eutrophiertem Wasser begünstigt, da das Niederschlagswasser bei zu geringem Nachschub verdunstet.

(2) Aufgrund der Analyse von Trocken- und Wärmeperioden in Torfprofilen kommen PAUL & RUOFF (1927) zu dem Schluss, dass sich durch die Stauwirkung am Alpenrand die

Erwärmungen im Mittel weniger stark auswirkten als in Norddeutschland. Dies spricht dafür, Trockenperioden und Starkregenereignisse stärker in das Blickfeld zu rücken.

Es gibt jedoch keine Prognosen (Szenarien) für Extremperioden, die tagesgenau aufgelöst und in der regionalen Maßstabebene differenziert sind. In Ermangelung dessen gingen wir bei der Interpretation der Szenarien davon aus, dass Trockenperioden und Regenereignisse hinreichend mit den Niederschlagsdaten der regionalen Szenarien korrelieren. Dies ist jedoch nur bedingt der Fall.

In den Originaldaten von SCHMEIDL et al. (1970) werden tagesgenaue Niederschlagsdaten für das Feßlerfilz in den Jahren 1959 bis 1968 dokumentiert (Archiv in der LWF Bayern). Bei hohen Sommerniederschlägen gab es geringe Schwankungen (1960, 1964, 1965, 1966). Im durchschnittlichen Sommerhalbjahr 1961 waren die Schwankungen ebenfalls gering. Bei niedrigen Niederschlägen im Sommerhalbjahr (unter 800 mm) traten dagegen sehr unterschiedliche Verläufe auf: es gab lange Trockenperioden im Herbst 1959 (Abb. 9) sowie im Frühjahr und Sommer 1963 und 1969. Geringe Ausschläge hatten die niederschlagsreichen Jahre 1962 und 1964. Selbst bei geringem Sommerniederschlag müssen nicht unbedingt kritische Perioden im Wasserstand vorkommen.

Vergleicht man die Jahre 1959 und 1962, so zeigt sich trotz ähnlicher Niederschlagssummen im Sommerhalbjahr (787 mm und 755 mm) ein Unterschied in der Dynamik der Wasserstände. Im Jahr 1962 gab es keinen Tag, an dem ein Wasserstand mit weniger als 20 cm unter Geländeoberkante vorkam. Im Jahr 1959 gab es 34 solche Tage und vier Perioden, in denen der Wasserstand länger als drei Tage niedriger als 20 cm blieb. Es zeigt sich also, dass die Niederschlagssummen für die Moorentwicklung nicht unbedingt aussagekräftig sind. Gerade bei den eher trockenen Jahren kann eine gleichmäßige Verteilung ein Niederschlagsdefizit aufwiegen. Trotzdem nimmt bei geringeren Niederschlägen die Wahrscheinlichkeit von kritischen Trockenperioden zu, die dann auch gebündelt auftreten können.

### 3.5 Bedeutung der Ergebnisse für Schutz und Renaturierung

#### 3.5.1 Moorweiten mit Randwäldern und Wachstumskomplexen

Ungestörte Hochmoorweiten mit intakten Profilen und natürlicher Zonation zu den Randwäldern und zum Lagg hin gehörten in Süddeutschland schon vor 50 Jahren zu den Ökosystemen mit dem höchsten Naturschutzwert (KAULE 1974). Im süddeutschen Vor-alpenland wurden in der Erstaufnahme 158 Latschen- und Spirken-Hochmoorweiten erfasst. Im Jahr 2015 lagen davon 9 im sehr kritischen Bereich unter 350 mm, 25 im kritischen Bereich zwischen 400 und 450 mm Sommerniederschlag, darunter so wichtige wie der Wurzacher Riedkomplex. 34 liegen im Übergangsbereich zwischen 450 und 500 mm. Nur 70 verbleiben in der Zone über 500 mm Sommerniederschlag und haben eine sichere Chance stabil zu bleiben.

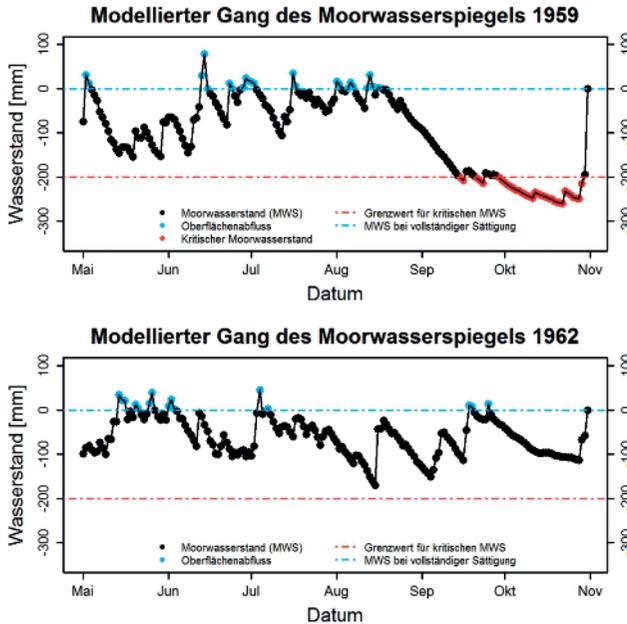


Abb. 9: Modellierter Schwankungen des Wasserstandes in zwei Jahren mit der (fast) gleichen Niederschlagssumme. Ergebnisse für das Sommerhalbjahr 1959 und 1962, beide Jahre haben einen ähnlichen Jahres- (1260 mm und 1256mm) und Sommerniederschlag (787 mm und 755 mm). Die Niederschlagsereignisse sind aber sehr unterschiedlich verteilt. Bei gleichmäßiger Verteilung sinkt der Wasserstand 1962 nicht unter den kritischen Wasserstand.

Modeled water table in the akrotelm during the summer half-year of two years with nearly the same precipitation sum (787 mm and 755 mm summer precipitation), but significant different distribution. In the year with evenly distributed rain the water table remains above the critical level. The sum values used in figure 10-12 are only approximated values since predictions of frequency and length of future dry periods are impossible.

Allerdings konnte KAULE (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2015) nachweisen, dass aufgrund der Resilienz intakter Ökosysteme, also ihrer Fähigkeit Störungen auszugleichen, bestehende Moorweiten auch bei niedrigeren Niederschlägen in dem Untersuchungszeitraum von 45 Jahren stabil blieben. Dies kann an lokaler Gewittertätigkeit liegen und wir wissen nicht, wie sich diese am Alpenrand entwickeln wird. Bei einer Tendenz zu mehr Starkregen am Alpenrand würden die kritischen Trockenperioden deutlich geringer.

Bei den Moorweiten sollte auf den ungestörten Erhalt und die Entwicklung intakter Randwälder geachtet werden, auch wenn diese Entwicklung teilweise auf Kosten der Moorweite geht. Entscheidend ist ein möglichst mächtiger Akrotelm. Noch aktive Schlitzgräben sollten, wo es ohne erhebliche Eingriffe möglich ist, geschlossen werden. Sammler sollten nur zurückgestaut werden, wenn sie kein Mischwasser aus der Umgebung enthalten.

### 3.5.2 Schwingrasen

Der größte Teil der Stichproben kommt als Sekundärentwicklung in Torfstichbecken vor. Nur 4 von 37 erfassten Schwingrasen liegen nicht im kritischen Bereich unter 500 mm Sommerniederschlag (siehe Abb. 10). Hier kann durch Einstau eine Eutrophierung erfolgen. HÖLZER (2015) dokumentiert Negativbeispiele für Rückstau mit eutrophem Wasser aus SW-Deutschland. Das Einzugsgebiet des potentiellen „Rückstaugewässers“ muss sehr sorgfältig sowohl bei Hochwasser als auch bei Niedrigwasser erfasst werden. Wie der extreme Rückgang von Schwingrasen in der Vergangenheit zeigt, kann eine positive Entwicklung nur durch koordinierte Maßnahmen im Einzugsgebiet erfolgen. Das bedeutet eine Gesamtbetrachtung in Torfstichkomplexen und ihrem Umfeld.

### 3.5.3 Torfstichkomplexe

In BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2015: 94 ff) wurde aufgezeigt wie ein Moorgebiet mit Torfstichkomplexen als Ganzes entwickelt werden kann und muss. Dies ist meist mit sehr großem Aufwand verbunden, da die Besitzverhältnisse gerade in den kleinstrukturierten Gebieten sehr kompliziert sind. Allerdings lohnt sich der Aufwand, da hier noch viel erreicht werden kann. Diese Gebiete beherbergen zwar meist keine sehr seltenen Arten, aber die größte Artenvielfalt auf kleinem Raum. Dies liegt an den sehr unterschiedlichen Bedingungen: Sie haben Gradienten von sehr trocken bis sehr nass (Heidesäume bis Schwingrasen), von sehr licht bis dunkel (Heidewälder bis Bruchwälder und alte Fichtenbestände) und von Wachstumskomplexen bis zu Großseggenrieden. Alle Einzelelemente sind in gesonderten Absätzen behandelt und das dort Gesagte gilt auch hier. Der wichtigste Schlüssel zum Erfolg ist die Wasserqualität aus dem Einzugsgebiet, die es zu verbessern gilt. Im trockenen nördlichen Gürtel sollte nicht versucht werden Heiden zu vernässen.

### 3.5.4 Heidemoorwälder und Heidesäume

Aus gutem Grund war in den vergangenen 40 Jahren der Moorrenaturierung im Voralpengebiet die Vernässung verheideter Moore ein Schwerpunkt, der auch beachtliche Erfolge zeigte. Jetzt gilt es zu überprüfen, wo große verheidete Moorweiten nicht mehr oder nicht vollständig mit Wachstumskomplexen regenerieren können. Lichte Heidewälder könnten für viele Moore eine Alternative sein. Heidesäume sind in Zukunft in Torfstichkomplexen besonders wichtig. Bei Niederschlägen unter 1200 mm/a werden die Heidesäume mittelfristig stabil bleiben, bei über 1300 mm/a regenerieren sie mit Wachstumskomplexen. In der Zone dazwischen werden sie je nach Ausgangsbedingung unterschiedlich verbuschen. Insbesondere auch aus zoologischer Sicht ist eine Bandbreite unterschiedlicher Moorwaldtypen positiv zu bewerten.

### 3.5.5 Flächige Filze und Moorwälder

Die flächigen Filze sollten in ihrer natürlichen Entwicklung nicht oder nur in gut begründeten Ausnahmen durch Eingriffe gestört werden. Die noch existierenden Fichtenforste in Torfstichkomplexen können hingegen durch vorsichtigen Rückstau (nicht durch Flutung und schon gar nicht mit eutrophem Bachwasser!) vernässt werden. Die langfristige Entwicklung in einem Zeitraum von 50 bis 100 Jahren zeigen Beispiele aus der Vergangenheit (Dettenhofer Filz, Naturwaldgebiet Brunnenholzried siehe Abb. 10). Der hohe Anteil an stehendem und liegendem Totholz und die durch zusammenbrechende Bäume entstehenden Lichtungen bilden vielfältige Lebensräume. Die Torfmoose bodensaurer Wälder können sich ausbreiten.

Folgen wir der vorausschauenden Forderung von Graf zu Westernburg-Leiningen, der in seiner Habilitation an der Forstfakultät München (LEININGEN-WESTERBURG 1907) schrieb: „Das Ende aber solcher Versuche, den Erfolg oder Misserfolg werden wir zwar nicht erleben. Versuche aber, welche Jahrhunderte dauern, können nicht zeitig genug begonnen werden“. Die Ergebnisse der Untersuchungen an den Feßlerfilzen zeigen die hohe Bedeutung des Randwaldes mit stärker zersetzten Torfen, die die Moorweite abdichten.



Die *Sphagnum quinquefarium*-Fichten-Hochmoorwälder belegen, dass im trockenen Niederschlagsgürtel sehr lichte Waldstrukturen entstehen können, in denen die Fichte dominiert. Mit diesem Ziel sollten Forste und *Vaccinium*-Hochmoorwälder im Sommer-Niederschlagsbereich auch unter 500 mm vorsichtig und nur innen aufgelichtet und die Entwicklung der Moorweite bei Erhaltung eines Randwaldes dokumentiert werden.

Abb. 10: Alter Fichtenmoorwald mit stehendem und liegendem Totholz und Lichtungen durch zusammenbrechende Bäume. Dettenhofer Filz (1071 mm).

Old spruce bog forest with standing and laying deadwood, clearings by collapsed trees. This forest is a good example for a biodiversity rich secondary jungle in a precipitation zone in which growing raised bogs will disappear.

### 3.5.6 Birkenanflug und Birkenwälder

Moor-, Strauch- und Zwergbirken gehören als sehr wichtige Träger der Biodiversität zu intakten Mooren (BACHMAIER 1965, SPRICK et al. 2013, vgl. auch MÜLLER-KROEHLING 2015, MÜLLER-KROEHLING 2018b). Während Strauch- und Zwergbirken einen hohen Naturschutzwert haben, unterliegen die baumförmigen Birken in der Naturschutzpraxis oftmals einer weitgehend negativen Wahrnehmung. Die selbstverständliche Zugehörigkeit der Moorbirke zum Randwald, zum Bruchwald und in der Sukzession von Torfstichbecken und Brachen wurde dokumentiert, auch wenn sie selten als eigener Waldtyp vorkommt. Vor allem in durch Schlitzgräben entwässerten Hochmoorkörpern gilt sie als Störungszeiger und Problempflanze und somit weitgehend oder generell als Fremdkörper. Im Hinblick auf Renaturierungsmaßnahmen ist jedoch eine differenzierte Sicht erforderlich.

Hochgradig seltene Moorbewohner unter den Wirbellosen kommen speziell in von Birken geprägten Lebensräumen vor, auch wenn sie überwiegend entweder Artengruppen angehören, die selten bearbeitet werden, wie die Blatt- und Rüsselkäfer, Zikaden, Kleinschmetterlinge oder Milben, oder aber von stärker wahrgenommenen Artengruppen wie den Vögeln und Säugetieren angehören (und sogar wie Birkhuhn und Waldbirkenmaus die Birke im Namen tragen), aber in gängigen Vorstellungen mit den falschen Zielhabitaten wie offenen Moorweiten in Verbindung gebracht werden.



Abb. 11: Freistehende Birken im Vorfeld des birkendominierten Randwaldes im Schwarzseefilz (Murnauer Moos). Auf dem Luftbild ist erkennbar, dass die Birken in Reihen an alten Schlitzgräben wachsen.

Free standing bog birch (*Betula pubescens*) growing in the forefront of the birch-dominated slope forest of the Schwarzseefilz (Murnauer Moos). These trees are habitats of highly specialized invertebrates. As can be seen in aerial photographs, the trees grow in line on old drainage slots.

Beispielsweise kommt auch eine ganze Reihe von Pilzen besonders an Birken in Hochmooren vor, so *Krombholziella holopus* und *K. variicolor* sowie *Russula betularum* und *R. sphagnicola*, neben diversen weiteren moorholden Arten.

Die von BACHMAIER (1965) exemplarisch entschlüsselte intrinsische Artenvielfalt speziell an der Zwergbirke, aber auch an den moortypischen Birken allgemein, zeigt, welche lange Koevolution Birken mit Mooren haben, und dass sie ein unverzichtbarer Bestandteil der Moorbiozönose sind. Da hierfür oftmals je nach Art nur bestimmte kleinklimatische Situationen in Verbindung mit bestimmten Habitatstrukturen für eine konkrete Art geeignet sind – so ist der Prachtkäfer *Dicerca furcata* nur auf ausreichend starke, relativ frei stehende Birkenstämme in Hochmooren beschränkt –, sollte sich auch das Belassen von Birken in einem ausreichend breiten, von Toleranz getragenen Rahmen erfolgen. Hinzu kommt, dass Birken empfindlich auf Vernässung und das starke Aufwachsen von Torfmoosen reagieren und unter anderem durch die Konkurrenzunterlegenheit in der Aneignung von Phosphor einem Torfmoosaufwuchs unterliegen (WAGNER 1994). Der einzig nachhaltige und sinnvolle Weg zur Regulierung eines Birkenaufwuchses ist daher die Steuerung des Wasserhaushalts, die das Birkenwachstum steuert und nicht umgekehrt (WAGNER 2006, BRETSCHNEIDER 2012, MÜLLER-KROEHLING 2018b).

Die unterschiedlichen Bedingungen und Vorkommen in den aktuellen und prognostizierten Niederschlagszonen können aus BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2015: 46-48) abgeleitet werden. In Torfstichbecken ist der Birkenaufwuchs nicht signifikant niederschlagsabhängig; der Gehölzaufwuchs wird vorwiegend vom Nährstoffeintrag gesteuert. Torfrücken mit Heiden bewalden im sehr trockenen Bereich kaum. In der Zone, die auch in Zukunft über 1300 mm Jahresniederschlag erhält, ist die Steuerung über Vernässung bei günstigen Voraussetzungen möglich. Dazwischen sollten auch Moore mit einem Birkenstadium toleriert werden. Wie Beispiele zeigen (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2015: 47) können wohlgemeinte Schwendungsaktionen den Birkenaufwuchs eher fördern (vgl. auch BRETSCHNEIDER 2012, WAGNER 2006).

#### 4. Diskussion und Ausblick

Mit Mooren werden gemeinhin naturschutzfachlich wie auch in der Landschaftswahrnehmung außerordentlich attraktive Biotope assoziiert. Die Sensation der Hochmoorweite, aber auch Heidestadien waren schon immer im besonderen Augenmerk von Naturforschern und als besondere Naturerfahrungsräume ausgewiesen. Die hier vorliegende Abhandlung möchte das Schattendasein der Hochmoorwälder beenden und zugleich anschlussfähige Forschung für die gesamte Hochmoorzonation initiieren, begründet unter anderem über die dargestellten Szenarien des Klimawandels.

Ein Arbeitsprogramm für die Habitatanalyse kann sich dabei an erprobte und bewährte methodische Schritte halten. Zu den Habitatansprüchen der meisten Moorarten besteht aber erheblicher Forschungsbedarf. Für viele Arten wissen wir nicht oder nicht genau genug, was sie an Moore bindet, wie sie verbreitet sind und wie stark das Maß ihrer Gefährdung ist. Auch über die Ausbreitungs- und Wiederbesiedlungsfähigkeit ist zu wenig bekannt. Diese Kenntnisdefizite gelten ganz besonders für die weniger oft bearbeiteten Artengruppen. Zwar kann der Schutz aller Arten unter der Annahme, dass intakte Moore und vielfältige Moorwälder gut für die Biodiversität der moorspezifischen Arten sind, gewährleistet werden, doch ist dies als planerische Grundlage und für strategische Entscheidungen unbefriedigend.

Die hydraulische und hydrologische Analyse konnte am für diesen Zweck vorzüglich geeigneten Feßlerfilz bearbeitet werden, die Übertragung der Ergebnisse in andere morphologische, klimatische und wasserhaushaltliche Standortmuster steht noch aus. Die Aussagen zur Moor- und Torfhydrologie in dieser Arbeit basieren im Wesentlichen auf Untersuchungen im Chiemgau und dort in einer für Hochmoore günstigen Niederschlagszone. Vergleichbare Untersuchungen müssen in anderen Naturräumen durchgeführt werden, um eine sichere Verallgemeinerung zu ermöglichen.

Die Erwärmung durch den Klimawandel wird fortschreiten, wir wissen aber nicht wie schnell und wie regional differenziert sie sich am Alpenrand auswirkt. Als Anpassungsstrategie sollte toleriert werden, dass Moore sich unterschiedlich entwickeln. Um hier den Unsicherheitsfaktor zu verringern ist ein breit angelegtes Monitoringprogramm erforderlich (u.a. mit detaillierten Niederschlagsganglinien im Niederschlagsgradienten). Auch sind Restituierung und Renaturierung über die Würdigung der faunistischen und hydraulischen Funktion der Moorwälder zu überdenken, wobei auch hierfür die Schließung von Kenntnislücken erforderlich ist.

Die auf das Extremjahr 2018 folgenden Jahre werden sehr schnell zeigen, ob dies ein stabiler Trend ist oder ob es sich um Singularitäten handelt, die es immer gab. Da Moore aber schon immer ein besonderes Eigenklima hatten (SCHMEIDL et al 1970) sollten neben der Fortführung der Station im Feßlerfilz, das mit seiner langen Tradition die Referenzstation bleiben muss, im Niederschlagsgradienten weitere Stationen aufgestellt werden. Deren Auswertung würde eine Kalibrierung des Niederschlagsgradienten für die Moorentwicklung erlauben.

## 5. Danksagung

Herrn Werner Wolf (Bindlach) wird für seine Hinweise zu Schmetterlingsvorkommen in Mooren, Dr. Peter Sprick (Hannover) zu Blatt- und Rüsselkäfern und Markus Blaschke den Pilzen in Moorwäldern gedankt.

Herr Ulrich Sorg hat über 4 Jahre die Geländeuntersuchungen in Oberbayern und ihre Auswertung unterstützt. Herr Andreas Kolb betreute die Klima-Messstation im Feßlerfilz, Frau Brigitte Kaule hat wiederholt sorgfältig Korrektur gelesen und unverständliche Sätze verbessert. Ihnen gebührt besonderer Dank

## 6. Literaturverzeichnis

- BACHMAIER, F. (1965): Untersuchungen über die Insekten- und Milbenfauna der Zwergbirke (*Betula nana* L.) in süddeutschen und österreichischen Mooren, unter besonderer Berücksichtigung der phytophagen Arten und ihrer Parasiten. (Beitrag zur Kenntnis der Fauna einer glazialen Reliktpflanze).
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (HG.) (2015): Die Entwicklung der Übergangs- und Hochmoore im südbayerischen Voralpengebiet im Zeitraum 1969 bis 2013 unter Berücksichtigung von Nutzungs- und Klimagradienten. – UmweltSpezial; Augsburg.
- BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE, HRSG. (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung: 103 Tabellen, 31 Listen., 5. verb. und erw. Aufl.; Stuttgart (Schweizerbart).
- BRETSCHNEIDER, A. (2012): Die Bedeutung von Birken im Hochmoor. – Telma **42**: 137-146; Hannover.
- DEUTSCHER BUNDESTAG (HG.) (2015): Extreme Wetter- und Naturereignisse in Deutschland in den vergangenen 20 Jahren. Deutscher Bundestag. Online verfügbar unter <https://www.bundestag.de/blob/436350/4c519b35f2d56af15024502fcd1290fc/wd-8-049-16-pdf-data.pdf>, zuletzt geprüft am 07.08.2018.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD) (HG.) (2018a): Deutscher Wetterdienst (DWD). Online verfügbar unter [https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas\\_node.html](https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html), zuletzt geprüft am 07.08.2018.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD) (HG.) (2018b): REGNIE – Verfahrensbeschreibung und Nutzeranleitung. Deutscher Wetterdienst (DWD). Online verfügbar unter <https://www.dwd.de/DE/leistungen/regnie/regnie.html>, zuletzt geprüft am 07.08.2018.
- DIECKOW, C., STROBL, K., KOLLMANN, J. & MÜLLER-KROEHLING, S. (2018): Mobile bog carabid responds rapidly to peatland restoration. - (in Vorbereitung).
- FRANKL, R. (1996): Zur Vegetationsentwicklung in den Rottauer Filzen (südliche Chiemseemoore) im Zeitraum von 1957 bis 1992. Geobotanisch-standortkundliche Untersuchungen zur Vegetationsdynamik in einem naturnahen Hochmoorkomplex des bayerischen Alpenvorlandes. – Zugl.: Bayreuth, Univ., Diss., 1996 Bd. 37.
- HEINECKE, C., KASTNER, F. & FREESE, E. (2011): Die Großschmetterlinge (Makrolepidoptera) der Moore Oldenburgs (Deutschland, Niedersachsen). Vorbereitung einer Langzeitstudie und erste Ergebnisse. – Drosera: naturkundliche Mitteilungen aus Nordwestdeutschland (**1/2**): 81 - 97.
- HOFMANN, E. (1907): Moore in der Umgebung von Rosenheim. – Das Bayerische Inn-Oberland, Organ des historischen Vereins Rosenheim.

- HÖLZER, A. (2010): Die Torfmoose Südwestdeutschlands und der Nachbargebiete. – 247 S.; Jena (Weißdorn-Verlag).
- HÖLZER, A. (2015): Moor-Renaturierung. Eine kritische Diskussion der Entwicklung in SW-Deutschland. – Standort Wald: Wald, Ökologie, Natur, Kultur; Mitteilungen des Vereins für Forstliche Standortkunde und Forstpflanzenzüchtung **49**: 101 - 117.
- JOOSTEN, H. (1993): Denken wie ein Hochmoor: hydrologische Selbstregulation von Hochmooren und deren Bedeutung für Wiedervernässung und Restauration. – *Telma* **23**: 95 - 115.; Hannover.
- KAULE, G. (1973): Die Seen und Moore zwischen Inn und Chiemsee. – *Naturschutz und Landschaftspflege* **3**; München.
- KAULE, G. (1974): Die Übergangs- und Hochmoore Süddeutschlands und der Vogesen - Landschaftsökologische Untersuchungen mit besonderer Berücksichtigung der Ziele der Raumordnung und des Naturschutzes. – *Dissertationes Botanicae* **27**; Lehre (J Cramer).
- KAULE, G. & PFADENHAUER, J. (1973): Vegetation und Ökologie eines Hochmoorrandbereiches im Naturschutzgebiet Eggstätt-Hemhofer Seenplatte. – *Berichte der Bayer. Botanischen Gesellschaft* **44**: 201 - 210.
- KAULE, G., SCHWARZ-V. RAUMER, H.-G. & KAULE, R. (2015): Wiederholungskartierung der Moore im Baden-Württembergischen Alpenvorland. Abschlussbericht im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg. – LUBW; Az. 4500343832/24. Unveröffentlicht.
- KAULE, R., KAULE, G. & HUWE, B. (2017): Langzeituntersuchungen in den Südlichen Chiemseemooren. – *Telma* **47**: 75 - 91; Hannover.
- LEININGEN-WESTERBURG, W. GRAF ZU (1907): Die Waldvegetation praealpiner bayerischer Moore, insbesondere der südlichen Chiemseemoore; München (Ungeheuer & Ulmer, Ludwigsburg).
- MALMSTRÖM, C. (1925): Några riktlinjer för torrläggning av norrländska torvmarker 4.
- MÜLLER-KROEHLING, S. (2006): Verbreitung und Lebensraumsprüche der prioritären FFH-Anhang II-Art Hochmoorlaufkäfer (*Carabus menetriesi pacholei*) in Ostbayern. – *Angewandte Carabidologie (Suppl. IV)*: 65 - 85.
- MÜLLER-KROEHLING, S. (2015): Laufkäfer als charakteristische Arten in Bayerns Wäldern – eine methodenkritische Auseinandersetzung mit Definition und Verfahren zur Herleitung charakteristischer Arten und zur Frage von Artengemeinschaften, unter besonderer Berücksichtigung der nach §30 BNatSchG geschützten Waldgesellschaften und der Wald -Lebensraumtypen des Anhangs I der FFH - Richtlinie und vergleichenden Einbeziehung natürlicherweise waldfreier Sonderstandorte im Wald. – Dissertation TU München, angenommen am 19.06.2015.
- MÜLLER-KROEHLING, S. (2016): Bayerischer Moorartenkorb. – Unveröff. Projektbericht zum Teilprojekt Biodiversität des Projektes ST316.
- MÜLLER-KROEHLING, S. (2018a): Der bayerische Moorartenkorb: ein neues Instrument für Bewertungen und Prioritätensetzungen in Mooren. – *Mitt. DGAAE* **21** (im Druck).

- MÜLLER-KROEHLING, S. (2018b): In Dubio pro Betula! Plädoyer für mehr Toleranz gegenüber der Moorbirke in Mooren. – In: ANLiegen Natur (im Druck).
- MÜLLER-KROEHLING, S., ENGELHARDT, K. & KÖLLING, C. (2013): Zukunftsaussichten des Hochmoorlaufkäfers (*Carabus menetriesi*) im Klimawandel. – In: Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz **13**: 73 - 85.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION: NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION (NOAA) (HG.) (2018): State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2017. National Oceanic and Atmospheric Administration: National Centers for Environmental Information (NOAA). – Online verfügbar unter <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201713>, zuletzt geprüft am 07.08.2018.
- PAUL, H. & RUOFF, S. (1927): Pollenstatistische und stratigraphische Mooruntersuchungen im südlichen Bayern. 1. Teil. Moore im außeralpiner Gebiet der diluvialen Salzach-, Chiemsee- und Inngletscher. – In: Ber. Bayer. Bot. **19**.
- PAUL, H. & RUOFF, S. (1932): Moore in den Gebieten der Isar-, Allgäu- und Rheinvorlandgletscher; (aus den Arbeiten des Botanischen Laboratoriums der Landesanstalt für Moorbirtschaft). – In: Bericht der Bayer. Botanischen Gesellschaft in München. **20** ; 2. Teil.
- POST, L. VON (1924): Das genetische System der organogenen Bildungen Schwedens. – In: Comité international de Pédologie, IVème commission pour l'Europe **22**: 287 - 304.
- REITTER, E. (1908): Fauna Germanica, Die Käfer des Deutschen Reiches Bd. **1 & 2**; Stuttgart.
- ROSSKOPF, N., EDM, F. & ZEITZ, J. (2016): Hydraulische Eigenschaften unterschiedlicher Sphagnum-Torfe. – Telma **46**: 61 - 82; Hannover.
- RYCROFT, D. W., WILLIAMS, D. J. A. & INGRAM, H. A. P. (1975): The Transmission of Water Through Peat. I. Review. – In: The Journal of Ecology **63** (2), 535 S. DOI: 10.2307/2258734.
- SARASTO, J. (1963): Tutkimuksia rahka- ja saraturpeiden vedenläpäisev. Summary: Studies of the permeability of sphagnum- and sedge-peat. – Suo No. **3**.
- SCHMEIDL, H. (1977): Veränderung der Vegetation auf Dauerflächen eines präalpinen Hochmoores (vorläufige Mitteilung). – Telma **7**; Hannover.
- SCHMEIDL, H., SCHUCH, M. & WANKE, R. (1970): Wasserhaushalt und Klima einer kultivierten und unberührten Hochmoorfläche am Alpenrand. Bisherige Ergebnisse von 10 Beobachtungsjahren. – Schriftenreihe des Kuratoriums für Kulturbauwesen **19**.
- SCHMIDL, J. (HG.) (2014): Xylobionte Käfer in Mooren des Alpenvorlandes. – Unveröff. Gutachten Bürobüros, Büro für faunistisch-ökologische Studien (Nürnberg) im Auftr. LfU, 40 S.
- SPRICK, P., SCHMIDT, L. & GÄRTNER, E. (2013): Bemerkenswerte Kurzflügelkäfer (Staphylinidae), phytophage (Chrysomelidae, Curculionoidea) und diverse Käfer aus der Hannoverschen Moorgeest – 1. Beitrag zur Käferfauna (Coleoptera). – In: Telma **43**: 123 -162; Hannover.
- WAGNER, A. (2000): Minerotrophe Bergkiefernmoore im süddeutschen Alpenvorland – die *Carex-lasiocarpa*-*Pinus-rotundata*-Gesellschaft. – Dissertation TU-München.

- WAGNER, C. (1994): Zur Ökologie der Moorbirke *Betula pubescens* EHRH. in Hochmooren Schleswig-Holsteins unter besonderer Berücksichtigung von Regenerationsprozessen in Torfstichen. – Zugl.: Kiel, Univ., Diss., 1992, 47.
- WAGNER, C. (2006): „Grenzen des Entkusselns“ oder: Zum Einfluss der Moorbirke (*Betula pubescens*) auf Regenerationsprozesse in Hochmooren. – In: Arch. Natursch. Landschaftsforsch. **45(2)**: 71 - 85.
- WEBER, T. K. D., IDEN, S. C. & DURNER, W. (2017): Unsaturated hydraulic properties of Sphagnum moss and peat reveal trimodal pore-size distributions. – Water Resour. Res. **53 (1)**: 415 - 434. DOI: 10.1002/2016WR019707.

Anschriften der Verfasser:

Prof. Dr. G. Kaule  
Dr. H.G. Schwarz von Raumer  
Universität Stuttgart  
Keplerstraße 7  
D-70174 Stuttgart  
E-Mail: gk@ilpoe.uni-Stuttgart.de  
E-mail: svr@ilpoe.uni-Stuttgart.de

Prof. Dr. B. Huwe  
Prof. Dr. A. Carminati  
R. Kaule  
Universität Bayreuth  
Universitätsstrasse 30  
D-70569 Stuttgart  
E-Mail: Bernd.Huwe@uni-bayreuth.de  
E-Mail: Andrea.Carminati@uni-bayreuth.de  
E-Mail: Robin1.Kaule@uni-bayreuth.de

Dr. S. Müller-Kroehling  
Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1  
D-85354 Freising  
E-Mail: Stefan.Mueller-Kroehling@lwf.bayern.de

Manuskript eingegangen am 5. September 2018