

ISSN 0340-4927

# TELMA

Berichte der  
Deutschen Gesellschaft für Moor- und Torfkunde



2022

T E L M A	Band 52	Seite 1 - 280	Hannover, November 2022
-----------	---------	---------------	-------------------------

# Deutsche Gesellschaft für Moor- und Torfkunde (DGMT) e.V.

Stilleweg 2, 30655 Hannover (Alfred-Bentz-Haus)

www.dgmtv.de

IBAN: DE90 2501 0030 0303 2003 01, BIC: PBNKDEFF

## VORSTAND

1. Vorsitzender: ANDREAS BAUEROCHSE, Stilleweg 2, 30655 Hannover  
2. Vorsitzender: JUTTA ZEITZ, Albrecht-Thaer-Weg 2, 14195 Berlin  
1. Schriftführer: HORST WEISSER, Rosengarten 1, 88410 Bad Wurzach  
2. Schriftführer: ANDREAS LECHNER, Seminarstraße 19b, 49074 Osnabrück  
Schatzmeister: ANN CHRISTIN SIEBER, Stilleweg 2, 30655 Hannover  
Schriftleitung: SABINE JORDAN, Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU), Box 7014,  
der TELMA: S-75007 Uppsala, VOLKER SCHWEIKLE, Ebertstraße 12A, 69190 Walldorf

## Sektions-Vorsitzende

- Sektion I: Geowissenschaften  
STEFAN FRANK, Thünen-Institut für Agrarclimaschutz, Bundesallee 50,  
38116 Braunschweig,  
NIKO ROßKOPF, Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe  
Brandenburg, Inselstraße 26, 03046 Cottbus
- Sektion II: Torf-Gewinnung und -Verwertung  
SILKE KUMAR, Moorgutsstraße 1, 26683 Saterland
- Sektion III: Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Gartenbau  
JÜRGEN MÜLLER, Justus-von-Liebig-Weg 6, 18059 Rostock
- Sektion IV: Chemie, Physik und Biologie  
LYDIA RÖSEL, Albrecht-Thaer-Weg 2, 14195 Berlin,  
DOMINIK ZAK, Aarhus University, Vejløvej 25, DK-8600 Silkeborg
- Sektion V: Naturschutz und Raumordnung  
MICHAEL TREPEL, Kleiner Kuhberg 18-20, 24103 Kiel
- Sektion VI: Medizin und Balneologie – nicht besetzt
- Sektion VII: Landeskunde und Umweltbildung  
MICHAEL HAVERKAMP und JANNA GERKENS  
Emsland Moormuseum, Geestmoor 6, 49744 Geeste

## Beirat

- |                              |                               |                       |
|------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| GERFRIED CASPERS, Uetze      | MICHAEL EMMEL, Hannover       | JOSEF GRAMANN, Vechta |
| BERND HOFER, Altenberge      | GERD LANGE, Hannover          |                       |
| ECKHARD SCHMATZLER, Hannover | DIANA WEIGERSTORFER, Freiburg |                       |

## Editorial Board der TELMA

- |                    |                    |                     |
|--------------------|--------------------|---------------------|
| ANDREAS BAUEROCHSE | ANDRÉ-MICHAEL BEER | JOACHIM BLANKENBURG |
| ARTHUR BRANDE      | JÖRG GELBRECHT     | JÜRGEN GÜNTHER      |
| MICHAEL HAVERKAMP  | ADAM HÖLZER        | HEINRICH HÖPER      |
| HAGEN KNAFLA       | GERD LANGE         | VERA LUTHARDT       |
| AXEL PRECKER       | MICHAEL TREPEL     | JUTTA ZEITZ         |

Stand 28. November 2022

Schriftwechsel, der sich auf die TELMA bezieht, an SABINE JORDAN, E-Mail: jordan@dgmtv.de

TELMA	Band 52	Seite 63 - 90	8 Abb., 2 Tab.	Hannover, November 2022
-------	---------	---------------	----------------	-------------------------

# Das Schwarze Moor in der Rhön – Vergangenheit und Zukunft, Zustand und Handlungsbedarf für Deutschlands einziges Kermi-Hochmoor

The Schwarze Moor in the Rhön – past, presence and future of Germany's only Kermi Bog

GISELHER KAULE

Schlüsselwörter: Hochmoorwachstum, Zwergstrauch Konkurrenz, Niederschlagsentwicklung, Mykorrhiza, Szenario 2050

Keywords: bog grows, dwarf shrub competition, precipitation development, Mycorrhiza, Scenario 2050

## Zusammenfassung

Das Schwarze Moor in der Rhön ist das einzige Kermihochmoor in Mitteleuropa. Die Kälteperiode im Mittelalter, nutzungsbedingte Entwaldung der Umgebung und extensive Beweidung des Hochplateaus und ein Bach an seiner Südgrenze, der die Ausbreitung des Moores stoppte, bedingten sein Höhenwachstum, das wiederum an den Flanken die Bildung von Kermistrukturen förderte. Das Moor liegt an der klimatischen Niederschlags-Grenze des Hochmoorwachstums.

Bis um 1900 war das Moor weitgehend gehölzfrei, seither befindet es sich in einem Prozess zunehmender Kolonisierung mit Karpatenbirke und Waldkiefer. Seit 1924 werden von verschiedenen Autoren in unterschiedlichen Zeiten Ursachen diskutiert: Klimaschwankungen, globale Erwärmung mit verringerten Niederschlägen, Nährstoffeintrag, Wiederbewaldung des Randgehänges und nicht zuletzt Trockenlegung des Umfeldes und Ableitung der natürlichen Einspeisung in den Randlag. Die Kombination der Einflüsse wirkt sich in den verschiedenen Teilräumen (Hydrotopen) unterschiedlich aus. Dies wird auf Grundlage der Vegetationskarte von GIES (1972) differenziert dargestellt.

In der politisch aufgeheizten Diskussion um Gehölzentnahme zur „Rettung“ der offenen, wachsenden Moorweite wird übersehen, dass die Gehölze nur das auffälligste Ergebnis zunehmender Austrocknung des Moores sind, nicht die Ursache. Für Torfmooswachstum ist ein permanent hoher Wasserstand zwingend, die Torfmoose können nur dann die Zwergsträucher unterdrücken. Die Heide, Krähenbeere und Moorbeere sind Mykorrhizaträger und ihre Symbiosepilze können im sauerstoffarmen Moorwasser nicht existieren. Noch reichen die Niederschläge aus, um bestehende Wachstumskomplexe zu erhalten, keinesfalls aber für eine Neuentwicklung. Einspeisung von Umgebungswasser in das Moorinnere muss aber in einem natürlichen Hochmoor ausgeschlossen bleiben.

Zusammengefasst ergibt sich in einem Szenario nach erfolgter Renaturierung für 2050 folgende Flächenverteilung:

50 % dichter Lagg- und Moorwald im breiten Randbereich (Nieder- und Übergangsmoor).

50 % Hochmoor (mittleres und oberes Randgehänge und Moorweite), davon:

43 % lichte Kiefern-Birken-Hochmoorheide

20 % Heide mit nur einzeln stehenden Bäumen

20 % Kermi-Komplex mit Baumstreifen

17 % stabile offene Moorweite mit *Sphagnum*-Wachstumskomplex.

Für den Schutz des Schwarzen Moores ist die Wiederherstellung eines nassen Randlaggs prioritär, in der Moorweite sollte die natürliche Entwicklung nicht gestört werden. Der Moorpfad zur Besucherlenkung verläuft überwiegend am Rand der Moorfläche, die offen bis halboffen bleibt.

## Abstract

The Schwarze Moor in the Rhön mountains is the only Kermi bog in Central Europe. The Kermi structures were created by low temperatures during the Middle Ages, deforestation, extensive pasturing of the high plateau and a stream at its southern border, which stopped its horizontal expansion. The lateral growth barrier led to a higher rate of peat accumulation in the center and, thus, to an unusually steep slope along the bog boarder. The bog lies in the climatic border zone for raised bogs, so that without addition of water input from the surroundings the formation of a raised bog is only barely possible.

Up until 1900, the bog was mainly open and since then trees, Carpathian Birch and Scots pine have increasingly colonized the site. Since 1924, different authors from different periods have discussed the causes: changes in climate, global warming with decreasing precipitation, nutrient input, reforestation of the peripheral slope and finally the drainage of the surrounding area and the deflection of the natural input from the lagg zone. The combination of these causes affected the different areas (hydrotopes) differently. These differences are shown in the vegetation map from GIES (1972).

In the heated discussion about harvesting wood to "save" the open bog, it is often overlooked that the trees are a result of the increasing dryness not the reason for it. A permanent high water table is necessary for peat moss growth, allowing the peat mosses to compete with the dwarf shrubs. The heath, crowberries and cranberries carry mycorrhiza and their symbiosis fungi cannot live in the anoxic conditions of saturated peat soils. The precipitation is still sufficient to preserve existing vegetation complexes, but not enough to allow for new development. Input from the surrounding water into the bog is not an option in a near-natural bog.

A scenario "2050" was developed after a restoration and foresees the following distribution of vegetation communities:

50 % birch forest in the lagg and mixed pine and birch forests of the lower border fringe slope (fen and transitional bogs).

50 % bog (middle and upper marginal slope of an upland moor) with the following area distribution:

- 43 % heath-savanna,
- 20 % heath with single trees
- 20 % Kermi complex trees and dwarf shrubs dominate the linear peat hummocks
- 17 % *Sphagnum* complexes.

## 1. Einleitung, Zielsetzung

Das Material zu dieser Arbeit wurde ursprünglich als fachliche Grundlage für ein Gutachten erstellt (SUCCOW und KAULE im Auftrag des RP Unterfranken).

Das Schwarze Moor ist das einzige deutlich ausgeprägte Kermihochmoor in Mitteleuropa. Anders als die meisten Kermihochmoore in ihrem nord- und osteuropäischen Hauptverbreitungsgebiet, die in Mulden an Unterhängen entstanden sind (EUROLA 1962; JESCHKE ET AL. 2001), liegt das Schwarze Moor in einer Mulde am Oberhang, in einer Wasserscheide. Es ist jedoch wie die meisten Kermimoore ein exzentrisches Hochmoor, das aus Hangmooren hervorgegangen ist, und sich durch starkes Torfwachstum in mehreren Teilen schwach kuppelförmig aufwölbte (Schildhochmoor). Es wird zwar weitestgehend durch Regenwasser gespeist, aber Schildhochmoore werden in ihrem Wasserhaushalt wesentlich durch das Zulaufwasser aus großen Teilen des oberirdischen Einzugsgebietes stabilisiert (SUCCOW 2022). Das Schwarze Moor hat jedoch nur ein sehr kleines Einzugsgebiet, das etwa dreimal so groß ist wie es selbst. Dies macht es besonders empfindlich gegenüber hydrologischen Veränderungen.

Die Moorbildung mit Niedermoortorfen begann im Schwarzen Moor bald nach dem Ende der Eiszeit, das Wachstum mit Hochmoortorf und damit die Aufwölbung erst vor ca. 2000 Jahren, analog zum Roten Moor (OVERBECK in JENRICH & KIEFER 2012). Die Entstehung der Kermis leiten SUCCOW und JESCHKE (2022) aus den speziellen Bedingungen der Hochrhön ab, in der als einzigem Mittelgebirge großflächig Hutungen erhalten blieben. Ein weiterer wichtiger Aspekt für die spezielle Ausprägung dieses Moores dürfte die sogenannte Kleine Eiszeit sein, eine über mehrere Jahrhunderte währende, von deutlicher Abkühlung geprägte Klimaschwankung, die im Mittelalter ihren Höhepunkt hatte und im 18. Jahrhundert ausklang. Diese Phase war durch härtere, schneereiche Winter und geringere Niederschläge in der Vegetationsperiode gekennzeichnet, was auf dem Rhönplateau vielfach zur Aufgabe des Ackerbaus führte. Es ist davon auszugehen, dass diese Rahmenbedingungen zum Entstehen von Kermistrukturen auf einem großflächig exzentrisch wachsenden Moorstandort beitrugen. Für OVERBECK (1975) ist starker winterlicher Bodenfrost ebenfalls eine Voraussetzung für das Entstehen von Torfwülsten mit ihren Bult-Schlenken-Strukturen. Einen wesentlichen Beitrag für die Entstehung der Kermistrukturen hatte in diesem Einzelfall auch der Eisbach geleistet, der die Ausbreitung des Moores stoppte. Dies führte zu dem ungewöhnlich steilen Randhängewachstum im Südteil (bis 25 %; HUECK 1924). Das Schwarze Moor dürfte also mit der speziellen spätmittelalterlichen Nutzungsgeschichte unter den genannten Klimabedingungen der Rhön und seiner speziellen Lage seine eigenwillige Entwicklung genommen haben. Hochmoore mit ihren Lebensraumtypen sind als Lebensraum gesetzlich geschützt. Bei allen geschützten Lebensraumtypen, bei denen eine Entwicklung laufend und deutlich verfolgt werden kann, z. Bsp. in einem Natura 2000 Gebiet, ist die Diskussion über ihren „günstigen Erhaltungszustand“ wichtig. Sie sollte aber nicht emotional geführt werden, sondern eine solide Datenbasis haben. Bei manchen Diskussionsbeiträgen zum Schwarzen Moor in der Rhön fehlte die fachliche Grundlage. Dies ist sehr verwunderlich, denn

gerade in diesem Moor wurden seit 100 Jahren wissenschaftliche Grundlagen über den Wasserhaushalt der Hochmoorweite und der Hochmoorpflanzen erarbeitet, die Bedeutung über die Rhönmoore hinaus gehabt haben, und die für die Zustandsbeschreibung und die Entwicklungsprognose des Schwarzen Moores unverzichtbar sind.

Vorrangiges Ziel dieser Arbeit ist es, den seit 1920 beobachteten Entwicklungsprozess besser zu verstehen und über die Wachstumsbedingungen für die Sphagnen und die konkurrierenden Mykorrhizaträger, also die Hochmoor-Ericaceen, die Waldkiefer und die Moorbirke abzuleiten (Wenn in der Folge von Kiefer und Birke die Rede ist, so sind damit die Waldkiefer und die Moor- bzw. Karpatenbirke gemeint.).

## 2. Daten und Informationen zum historischen und heutigen Zustand

### 2.1 Gehölzentwicklung mit einem kurzen Abriss der Forschung im Schwarzen Moor

#### **Informationen zu Gehölzvorkommen aus Torfprofilen**

KEILHACK & RUDOLPH (1929) beschreiben die verschiedenen natürlichen Entwicklungsphasen des Schwarzen Moores auf Basis ihrer Pollenprofile und Moorbohrungen mit Makroresten, und stellten darin immer wieder die Ansiedlung von Bäumen in trockenere Klimaphasen fest. OVERBECK (1928) stellt in seinen Profilen in verschiedenen Schichten regelmäßig „Waldtorf“ dar.

Dieser wechselnde Grad des Vorkommens von Bäumen war nicht nur vom Stand der Moorentwicklung aus einem ursprünglichen Versumpfungsmoor heraus abhängig, sondern auch von der Klimatönung der vegetationsgeschichtlichen Epochen: In kontinentaler getönten Epochen können sich die Kiefern auf Hochmooren stärker etablieren, da sie auf sommerliche, oberflächliche Austrocknungsphasen angewiesen sind (HEINKEN 2008), die für kontinentales Klima typisch sind.

Für das ursprünglich sehr ähnlich aufgebaute und ähnlich große Rote Moor beschreibt OVERBECK (1928, S. 182) den Befund seiner Bohrungen diesbezüglich wie folgt: „In den trocken und warm getönten subborealen Abschnitt fallen die Waldhorizonte hinein, bzw. ein ziemlich verwitterter Eriophorumtorf mit reichlich eingestreuten Holzresten. Da die Waldreste in allen untersuchten Profilen wiederkehren, und zudem auch die Sohle des großen Torfstichs im südlichen Teil des Moores weiterhin eine Stubbenlage erkennen lässt, wird man während der subborealen Phase wohl eine fast völlige Bewaldung der Moorfläche annehmen dürfen.“ Er hält es für möglich, dass „die zugeordneten Waldhorizonte auf das Konto der klimatischen Trockenheit dieser Phase zu setzen sind“ (ebenda, S. 183). Entsprechend argumentierte auch GIES (1972, S. 53.), der darauf hinweist, dass Baumbewuchs auch in völlig unbeeinflussten Teilen auftritt. Er schlussfolgert, dass „mit einiger Wahrscheinlichkeit daher diese Vegetationsänderungen einer natürlichen xeroklinen Phase des Moores entsprechen (OVERBECK 1962).“ Er verweist darauf, dass auch völlig unbeeinflusste Moore in Osteuropa einen solchen Phasenwechsel stärker baumbestandener und ganz offener Phasen durchlaufen (STEFFEN 1931).

### **Beschreibung des Moores unter besonderer Berücksichtigung von Gehölzen**

Im Jahr 827 wurde das „Swarzesmoore“ schriftlich zum ersten Mal erwähnt, als Ort eines Gerichtstages (JENRICH und KIEFER 2012). GROSSE-BRAUCKMANN (1996) belegt über pollenanalytische Untersuchungen, dass um das Moor herum bereits seit der Bronzezeit immer wieder Landwirtschaft mit unterschiedlicher Intensität betrieben wurde. Die wissenschaftliche Forschung im und über das Schwarze Moor beginnt 1924. Im Folgenden folgt eine Auswahl von Literaturstellen, die im Hinblick auf die in den vergangenen 100 Jahren abgelaufene Entwicklung räumlich interpretiert werden können.

**REIMERS 1924:** Seite 31: der Innenteil des Moores ist größtenteils Hochmoor. Das Birkenübergangsmoor beschränkt sich auf einen schmalen Randsaum.

S.36 ff.: Der N- und NW-Teil ist dagegen arm an Schlenken. Als Baumwuchs gibt es nur vereinzelt Waldkiefern, ½ m hoch, selten höher.

Das Verbindungsstück zwischen den beiden Teichen am Westrand wird von lichten Baumgruppen (*Betula pubescens*, *Pinus sylvestris* mit *Vaccinium uliginosum* und *Vacc. myrtillus*-Unterwuchs) begleitet.

An der Südspitze gab es Entwässerungsgräben. Wahrscheinlich trug das Randgehänge hier den gleichen Birkenwald mit reichlich *Vaccinium*-Unterwuchs, der sich an analogen Stellen des Roten Moores noch jetzt findet. Die Zwergstrauchheiden sind Ersatzgesellschaften des Randwaldes.

**HUECK 1925:** Das Foto auf Seite 537 zeigt hohe Kiefern und Birken am Teich, die auch von Reimers beschrieben wurden. Auf der Hochfläche werden nur kleine Kiefern und Birken beschrieben. Der Eisgraben hat die weitere horizontale Ausbreitung des Moores verhindert und so durch Höhenwachstum seine Steilheit bedingt.

**Overbeck 1928:** Der für die Rhönmoore so charakteristische Birkenrandwald fehlt auch im Schwarzen Moor nicht. Der Südabfall zum Eisgraben wird durch alte Stichgräben gestört.

**FIRBAS 1931:** Hier findet sich die Notiz „die Hochflächen beider Moore“ (des Schwarzen und des Roten Moores) „sind waldlos und nur ganz spärlich von kaum 1-2 m hohen Krüppelkiefern bestanden“.

**OVERBECK 1962:** Das Vordringen von *Calluna*, Kiefer und Birke sowie Vaccinien auf der Hochfläche ist vermutlich durch eine natürliche xerokline Phase bedingt.

**GIES 1972:** Von GIES liegen eine Vegetationskarte und zahlreiche Vegetationsaufnahmen vor, mit deren Hilfe die Vegetationsentwicklung jetzt präziser dokumentiert werden kann (siehe Folgekapitel). Eine Auswahl der Fotos ab Seite 176 zeigen Gehölze: Abb. 2 und 3 Birken- und Kiefernwald am südlichen Randgehänge, Abb. 5, 7, 8 Kiefern im Bereich der Flarken und auf der Hochfläche, Abb. 10 Strang mit Kiefern, Abb. 14 Birken und Kiefern am östlichen Randgehänge, Abb. 15 Kiefern am Rand der Hochfläche.

**BOHN 1981 mit Ergänzungen 1996:** Der Randlagg mit *Carex rostrata* wird 1981 noch bestätigt. Die Ergänzungen beziehen sich auf die Zerstörungen durch Erholungssuchende zwischen 1960 bis 1975. In der Auflage von 1996, Seite 352 ein Foto von der Hochfläche (ca. 1980) „weitgestreut krüppelwüchsige Kiefern“.

**SCHUA 1985** berichtet über erfolgreiches Zuwachsen der durch wilden Freizeitverkehr

gestörten Bereiche mit *Eriophorum vaginatum* und Sphagnen, ausgehend von den Schwingrasen. Vor 35 Jahren erhob er bereits die Forderung, die Entwässerungsmaßnahmen und Grabenumleitungen rückgängig zu machen.

**GAUHL 1991** untersucht den Verlauf der Entwicklung des Schwarzen Moores seit Ende der Eiszeit. Als Ursache der Gehölzzunahme nimmt er natürliche Klimazyklen an.

**GROSSE-BRAUCKMANN 1996** stellt erstmals als mögliche Ursache Luftverschmutzung in den Vordergrund.

**MÜLLER-KROEHLING 2010** dokumentiert in der Nähe des Steges eine ca. zwanzigjährige Spirke.

**SCHULZ und BECKER 2010** haben in einem Gutachten (n. p.) den Verlauf der Luftverschmutzung und Gehölzentwicklung positiv korreliert (siehe Kap. 2.5).

Die Literaturanalyse zeigt, dass bereits vor 1924 Birken und Kiefern vorkamen, im unteren Randgehänge, besonders an der Westseite dicht und groß, zwischen den Flarken und auf der Hochfläche spärlich. Um 1972 waren auch auf der Hochfläche größere Exemplare und einzelne Gruppen vorhanden. Hypothesen zu den Ursachen gibt es bereits seit 1924.

## 2.2 Gehölzentwicklung über Auswertung von Satellitendaten und digitalem Höhenmodell (DHM)

Das Hochmoor wurde in ein Raster von 50 m x 50 m aufgeteilt und mit einer Zufallsauswahl 50 Quadrate ausgewählt, die auf Einzelbauebene ausgewertet wurden. In dem Zeitraum von 1945 bis 2020 nahmen die im Satellitenbild erkennbaren Gehölze von 49 auf 625 Stück zu. Die Zunahme ist jedoch räumlich sehr deutlich differenziert: Im Randbereich zum Lagg, im unteren Randgehänge und in der ehemaligen Brandfläche im Nordosten liegt sie bei 15 bis über 20 Prozent. Auf der Hochfläche und im Flarkenbereich, sowie den nassen Abflusszonen liegt sie zwischen 0 und 10 Prozent. Unsere vorläufigen Daten zeigen, dass die Zunahme nach 1984 schneller erfolgte: In den 39 Jahren zwischen 1945 und 1984 waren es 202, in den 35 Jahren zwischen 1985 und 2019 aber 423. Auffällig ist der „Hotspot“ im zentralen Bereich der Hochfläche. Diese Gehölzgruppe war 1945 schon erkennbar und 1970 deutlich ausgeprägt. Die Zunahme erfolgte in den sehr nassen Bereichen kaum und außerhalb von diesem einen räumlichen Muster, das die Topografie widerspiegelt. Im DHM (Höhenpolygone mit 25 cm Äquidistanz) kann dieses Muster interpretiert werden: Im südwestlichen Randgebiet folgt zum Moorinneren eine Höhengschwelle („inneres Randgehänge“), die deutlich dichter bewaldet ist als das schwach geneigte Randgehänge zur Flarkenzone. Deutlich sind die Baumstreifen an den zwei Rüllen zu erkennen, die von der Flarkenzone nach Süden verlaufen. Am Rande von Rüllen sind die Bedingungen für Gehölze besser, da der Wasserstand dort tiefer ist und eine Sauerstoffanreicherung im Wasser stattfindet (OVERBECK 1975). Auffällig ist die höhenlinienparallele Kiefernordnung besonders in der nordwestlichen Abflusszone der Hochfläche. Im DHM sind Ansätze für Stränge und Flarken gut zu erkennen. Auf den Strängen wachsen die älteren Kiefern.



### 2.3 Moorwasserstände

Historische Aufnahmen zu Moorwasserständen sind nicht vorhanden und wurden vermutlich auch nie durchgeführt. Aus den historischen Beschreibungen und den damaligen Aufnahmen der Vegetation können begründete Vermutungen über die ungefähren Wasserstände abgeleitet werden.

An 60 Punkten wurde am 19. und 20. 10. 2020 der Moorwasserstand gemessen. Es wurde ein möglichst kleines Loch geöffnet, und so lange gewartet, bis der Wasserspiegel nicht mehr merklich stieg, und dann der Abstand von den Torfmoosköpfchen bzw. der Oberkante Torf zum Wasserspiegel gemessen. Die Schlenken waren alle mit Wasser gefüllt. Der Wasserstand wurde hier mit „anstehend“ dokumentiert. Die Auswertung erfolgte in 4 Klassen: I 0 cm (anstehend), II bis -15 cm, III -16 bis -30 cm und IV unter -30 cm. Den Messpunkten wurden die Vegetation um die Messstelle (1/4 m<sup>2</sup>), der Vegetationskomplex und die topographische Lage im Moor zugeordnet. Diese Daten werden in Tabelle 1 zusammengefasst. Die 4 Tage vor der Messkampagne brachten zusammen 16 mm Niederschlag. Das Moor war am Stichtag feucht bis nass und die Torfmoose wassergesättigt. Anfang Oktober gab es eine Periode mit höheren Niederschlägen: In den 17 Tagen bis zum ersten Messtag zusammen 55 mm. Geht man entsprechend der Jahreszeit von max. 2 mm Verdunstung am Tag aus, so können wir annehmen, dass die Messung zu einem Zeitpunkt mit (im Vergleich zum Jahresgang) relativ hohem Wasserstand stattfand.

Die folgende Tabelle zeigt Wasserstände in verschiedenen Beständen, Vegetationseinheiten und topographischen Lagen im Schwarzen Moor am 19. und 20. Oktober 2020. Das Randgehänge mit den Heiden hat zum Entnahmezeitpunkt fast durchwegs einen Wasserstand unter -20 cm, obwohl die Torfmoose wassergesättigt waren.

Tab. 1: Wasserstände in verschiedenen Vegetationsbeständen (19/20.10.2020). Tabelle 1 ist keineswegs repräsentativ für den Jahresgang. Relativ sind die Daten jedoch für die Vegetationseinheiten auswertbar. n = Anzahl Messungen.

Water tables in the major vegetation types in the bog (19/20.10.2020). The table is not representative for the annual cycle but shows the relation between the types. n = amount of samplings.

Topografische Lage im Moor	Bestand im Umfeld / Vegetationskomplex	Vegetation am Messpunkt	Wasserstand (cm)	n
Hochfläche (Flarckenkomplex)	Wachstumskomplex Flarcken, Stillstandskomplex	Offene und <i>Sphagnum</i> -Schlenken	0	35
Oberes Randgehänge	Stillstandskomplex	<i>Empetrum nigr.</i>	-15	6
Randgehänge	3 Stillstandskomplexe 12 Zwergstrauchheiden	3 <i>Sphagnum</i> -Bulte 12 Heiden	-20 bis -35	16
Lagg (unteres Randgehänge)	Birken-Kiefernwald	Litter; Heide	-40 und tiefer	2

## 2.4 Zeitreihenanalyse der Niederschlags- und Temperaturentwicklung und von Trockenperioden

Von der Wasserkuppe in der Rhön liegen kontinuierlich Daten der letzten 70 Jahren vor. Die Daten der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) umfassen die letzten 30 Jahre (Abb. 1 und 2).

Der mittlere Jahresniederschlag in der *Sphagnum*-Vegetationsperiode März bis Oktober ist nur geringfügig zurückgegangen, die Temperaturen und die damit einhergehende Verdunstung stiegen jedoch seit 1980 erheblich an. In dem Diagramm der Temperaturentwicklung sind die Daten der Waldklimastationen Birks und BBR mit eingepflegt. Sie liegen näher als die Wasserkuppe am Schwarzen Moor, sind aber auch tiefer und im Wald gelegen. Die Temperaturen sind deutlich höher als die der Wasserkuppe, der Verlauf war aber in den 30 Jahren identisch. Für diese Analyse ist der Trend entscheidend und dieser ist damit gut belegt.

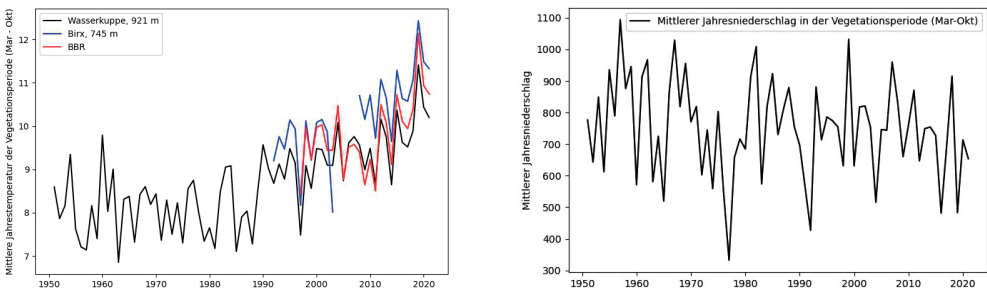


Abb. 1: Mittlere Jahrestemperatur (°C; links) und mittlerer Jahresniederschlag (mm; rechts) während den Vegetationsperioden 1950 bis 2020.  
Temperature (°C; left) and precipitation (mm; right) development from 1950 to 2020.

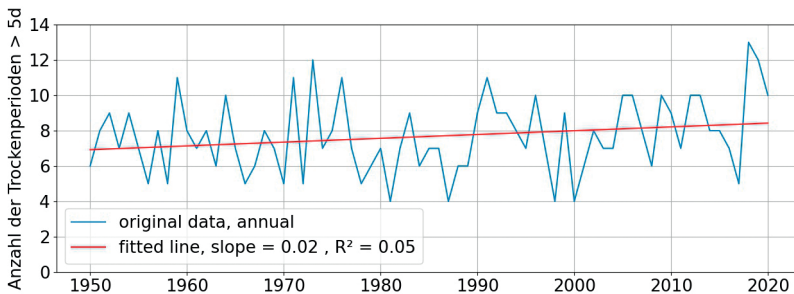


Abb. 2: Entwicklung von Trockenperioden 1950-2020 aus Daten der Klimastation Wasserkuppe: Im Zeitraum von 70 Jahren ist die Zahl der Trockenperioden von über 5 Tagen in der Vegetationsperiode von 7 auf über 8 gestiegen. Auch hier ist der Trend eindeutig, umso mehr, wenn man berücksichtigt, daß die Ausschläge, also die Extremwerte, deutlich stiegen.  
Development of dry periods longer than 5 days since 1950 to 2020. The increasing frequency of dry periods is significant. Obvious is also the increase of the extremes.

## 2.5 Menschliche Einflüsse und Eingriffe

### *Agrarnutzung und jüngste Extensivierung der Umgebung*

Seit der Bronzezeit sind mehrere „Wellen“ landwirtschaftlicher Nutzung in der Umgebung nachgewiesen (OVERBECK 1928). Direkt am Rand des Moores lag ein Gehöft. Weidetiere wurden sicher nicht vom Moor ferngehalten. Abholzungen und Brennholznutzung verliefen synchron. Aufgrund der wirtschaftlichen Entwicklung in der Nachkriegszeit fielen weite Teile der Westdeutschen Rhön brach, in der DDR wurde intensiviert. Mit der Etablierung des Biosphärenreservates wurde in Bayern die extensive Nutzung gefördert, es entwickelten sich Feuchtwiesen.

### *Ursprünglichkeit der Gehölzvorkommen im Moor*

Aktive Aufforstungen oder Baumpflanzungen haben in der Hochmoorweite nicht stattgefunden. Allerdings wurde auf Moorstandorten am Ostrand des Moores Fichtenforst gepflanzt, von denen Teilflächen im Naturwaldreservat liegen.

Bäume sind natürlicher Bestandteil der Vegetation der süddeutschen Hochmoore. Die **Moorbirke** in ihrer Unterart Karpatenbirke (*Betula pubescens carpatica*) ist eine für die Waldvegetation der Rhön äußerst bedeutsame, relikitär verbreitete Art (LOHMEYER & BOHN 1972). Neben den Mooren kommt sie auch auf Kaltluft-Blockhalden und bestimmten Auwaldtypen der Rhön vor. Die Karpatenbirke gilt als möglicherweise hybridogen aus Moor- und Strauchbirke (*Betula humilis*) entstanden (HIBSCH-JETTER 1994) und ist wie letztere eine relikitär verbreitete Art. Es ist absolut unstrittig, dass sie ein bodenständiges Element der Rhönmoore ist; in den Pollenprofilen ist sie durchgehend und in erheblichen Anteilen vorhanden.

Die **Waldkiefer** (*Pinus sylvestris*) tritt auf der Hochfläche in ihrer seltenen, relikitär verbreiteten Hochmoor-Form (var. *turfosa* Woerlein) auf (OVERBECK 1928, GIES 1972). Es ist pollenanalytisch belegt, dass sie der ursprünglichen Flora der Rhön und der Rhönmoore angehört (OVERBECK 1928, vgl. zu einer Diskussion für die weitere Region auch STALLING 1983). In sehr frühen Vegetationsepochen war sie in der gesamten Region extrem verbreitet (OVERBECK 1928). Er weist seit Ende der Eiszeit bis in die Gegenwart über Pollenprofile mehrere Kiefernmaxima nach, in jüngster Zeit wieder ein deutliches (vgl. zu einer Diskussion für die weitere Region auch STALLING 1983).

GROSSE-BRAUCKMANN (1996) kommt über das Fehlen von Großresten in seinen Aufnahmen zu dem Schluss, dass die heute vorhandenen Waldkiefern-Abkömmlinge von im 19. Jahrhundert forstlich ausgebrachten Waldkiefern sein müssen. Dies widerspricht den Ergebnissen von OVERBECK (1928) der im Roten Moor an Torfstichwänden arbeiten konnte. GROSSE-BRAUCKMANN (1996) konnte im Schwarzen Moor nur Bohrproben ziehen, in denen sehr vereinzelt vorkommende Kiefern im Profil nur sehr vom Zufall abhängig „getroffen“ wurden. Nach derzeitiger Datenlage ist ihr Vorkommen ursprünglich.

Ferner kam neben der Waldkiefer auch die **Bergkiefer** (*Pinus mugo* agg.) in Pollenprofilen vor (OVERBECK 1928), allerdings nur in der Tundrazzeit. In den nachfolgend wärmeren Perioden wurde sie von der Waldkiefer abgelöst. Heute tritt sie in Einzelexemplaren auf.

Vor 120 Jahren wurde die Bergkiefer (*Pinus mugo* agg.) in der Hochrhön, wohl in verschiedenen ihrer Formen angepflanzt, wenn auch nicht im Kontext der Moorkultivierung. Ferner hat sie mit hoher Wahrscheinlichkeit auch Vorkommen als Garten- und Friedhofsgehölz in den Ortschaften, wie vielerorts. Sie hat sich vereinzelt in das Moor in einer aufrechten Form versamt (MÜLLER-KROEHLING 2010). 2021 wurde bei unseren Kartierarbeiten ein mehrstämmiges Exemplar (GPS-Koordinaten, die in den Eigenschaften digitaler Fotos gespeichert sind: N 50d 30m 40.11s; E 10d 4m 1.42s) und eine Bergkiefer in Latschenform (N 50d 30m 40.50s; E 10d 4m 6.23s) gefunden. Die GPS-Koordinaten sind erforderlich, um bei weiteren Funden Doppelnennungen zu vermeiden.

KEILHACK & RUDOLPH (1929, S. 91) erwähnen am Rand des Schwarzen Moores neben Moorbirken und Waldkiefern auch „vereinzelt alte stark kümmernde Fichten (*Picea excelsa*)“, (d.h. *Picea abies*). In Pollenprofilen wurde sie in frühen Perioden nachgewiesen, ist dann aber erloschen (OVERBECK 1928). Ab 1936 wurde die Fichte forstlich in größerem Stil etabliert, Mitte der 70er Jahre wurden die Aufforstungen beendet.

Die Karpatenbirke ist in den Rhönmooren sicher autochthon, die Moor-Waldkiefer vermutlich, hier besteht jedoch noch Klärungsbedarf. Fichte und Bergkiefer sind im Laufe der Vegetationsgeschichte ausgestorben und gelangten erst neuzeitlich wieder in das Moor.

### ***Anthropogene Störungsfaktoren***

#### ***Nitrateintrag***

GROSSE-BRAUCKMANN (1996) gibt zu bedenken, dass ab 1970, aufgrund der allgemeinen Luftverschmutzung, vermutlich verstärkt Stickstoffeintrag stattgefunden hat. SCHULZ und BECKER haben 2010 in einem Gutachten (n. p.) die Etablierung von Gehölzen, deren Zuwachs und den Nährstoffeintrag über den Luftpfad korreliert. Sie haben eine deutliche Korrelation konstatiert, in Form von signifikant mehr Gehölz-Jungwuchs in einem Zeitraum besonders hoher Belastung. Der Gehölzuwachs, aber auch der Rückgang der Etablierung von Birken und Kiefern zeigen nach ihrer Interpretation einen deutlichen zeitlichen und damit wohl auch kausalen Zusammenhang. Nitrateintrag ist somit eine der Ursachen eines verstärkten Wachstums etablierter Bäume in diesem Zeitraum, für die Etablierung gibt es eine Weitere, die Trittsstörungen.

#### ***Trittbelastung durch „Erholungssuchende“***

1971 schreibt die Mainpost unter der Überschrift „ist das Schwarze Moor noch zu retten“ in JENRICH UND KIEFER (2012): „Es ist schockierend festzustellen, dass die größten und schönsten Mooraugen buchstäblich in den Boden gestampft werden, Schulklassen und Reisegesellschaften laufen kreuz und quer durch das Moor ...“

KAULE (1974) dokumentiert ebenfalls eine starke Trittbelastung sowie Suhlen, besonders an den Mooraugen.

1972 wurde mit dem Bau eines Bohlenweges begonnen, 1973 wurde er als Rundweg um die obere Hochfläche fertiggestellt. Er erfüllte aber zunächst die Erwartungen nicht, einerseits durch Unverständnis der Leute andererseits durch mangelnde Kontrollmöglichkeiten.

1983 wurde der Rundweg ohne die Hochflächenumrundung erneuert und damit erheblich verkürzt. Aufklärung, Einsicht und Kontrollen zeigten Wirkung.

SCHUA (1985) dokumentiert zu diesem Zeitpunkt eine beginnende Regeneration ausgehend von den Schwingrasen, GROSSE-BRAUCKMANN (1996) beschreibt noch immer starke Trittschäden, vorwiegend in der Fläche.

Geht man für den Zeitraum 1970-1990 von einer signifikanten Präsenz offener Störstellen durch Tritt aus, so wurde die zunehmende Gehölzeta-blierung in diesem Zeitraum durch die dadurch entstandenen Keimungs- und Etablierungsnischen begünstigt. Die in diesem Zeitraum gekeimten Bäume haben jetzt eine im Satellitenbild erkennbare Größe. Die Maxima an Störstellen und Immissionen fallen zeitlich zusammen, so dass beide mögliche Einflussgrößen nicht zu trennen sind.

### ***Moorbrand***

1947 brannte es im Schwarzen Moor mehrere Wochen (Mainpost 13.10.1989). Die Brandfläche in der NE-Ecke war 1972 von dem Störstellenzeiger *Polytrichum strictum* bewachsen und trägt jetzt trockenen Zwergstrauch-Kiefern-Birkenwald.

## 2.6 Vegetationsentwicklung seit 1972 (GIES)

Die älteren Vegetationsbeschreibungen und Artenlisten waren, wenn überhaupt, nur punktuell lokalisierbar. Erst GIES (1972) erstellte eine Vegetationskarte und seine Aufnahmen sind über Messpunkte verortet. Mit diesen Daten kann die Sukzession der vergangenen 50 Jahre sehr gut dokumentiert werden kann.

### **Caricetum rostratae und Lycopodio-Betuletum pubescentis, Ausb. von *Carex rostrata***

Die offene Moorgesellschaft und die Birkenwaldausbildung mit *Carex rostrata* werden von GIES (1972) im gesamten Lagg dokumentiert, diese Gesellschaften bzw. Ausbildungen sind erloschen, der Laggbereich ist ausgetrocknet. Vereinzelt kommen *Carex rostrata* und *Comarum palustre* noch vor, besonders im Graben am Nordrand.

### **Sphagnetum tenelli**

*Sphagnum tenellum* kam in den Aufnahmen von GIES (1972) im Gesellschaftskomplex mit *Sphagnum magellanicum* in einem breiten Bereich um die Hochfläche vor. Der Gesellschaftskomplex wurde im Westen in mehreren repräsentativen Schnitten begangen, *Sphagnum tenellum* kommt rezent nur noch vereinzelt vor. Am Rand zum Lagg ist der Birken-Kiefern-Randwald deutlich breiter geworden (siehe Abschnitt 6.1). Hier ist deutlich zu erkennen, dass dies vor allem im stärker geneigten Streifen der Fall ist. Im anschließenden Bereich zur Moorhochfläche dominieren jetzt *Sph. magellanicum*- und *Sph. rubellum*-Polster und -Bulte, außerdem gibt es einzelne hohe *Sph. fuscum*-Bulte. Dazwischen wachsen größere Streifen mit *Empetrum nigrum* und *Vacc. uliginosum*, in diesen treten ältere Kiefern und Gruppen mit Kiefern- und Birkenjungwuchs auf. Die

Tab. 2: Entwicklung zwischen 1972 und 2021 und ein Szenario für 2050, aufgeschlüsselt in Hydrotöpfe.

Development between 1972 and 2021 and scenario 2050, differentiated in hydrotopes.

Bei Nichtnachweis bedenken, dass aufgrund der Moorschonung die Flächen nicht engmaschig begangen wurden. Verdunstung findet selbstverständlich in allen Vegetationseinheiten und Hydrotopen statt. Sie wird in Spalte 1 nur genannt, wenn sie die Hauptursache für die Sukzession ist.

Nummer Hydrotop „Driving force der Entwicklung“	1972 (GIES)	2021	Szenario 2050
<b>1</b> Zentrale Hochfläche  Die Verdunstung der Sphagnen bei zunehmender Trockenheit steigt, die Konkurrenz der Zwergsträucher nimmt zu. (Abb. 5)	Hochmoorstufenkomplex mit Zwergstrauch-Patches, einzelne Kiefern und Birken, offene und sehr nasse Schlenken mit <i>Sph. cuspidatum</i>	Hochmoorstufenkomplex mit Zwergstrauch-Patches, Heide und Beersträucher, Verdichtung von Kiefern, Birken und <i>Vacc. uliginosum</i> am Rand, Bäume im Zentrum auch absterbend, in Schlenken Zunahme von <i>Sph. mag.</i> , flache Heide auch in den Schwingrasen	Verkleinerung der offenen Moorweite durch randliche Baum- und Zwergstrauchzunahme. Dadurch möglicherweise Stabilisierung der offenen Moorfläche (vergl.: KAULE et al. 2018)
<b>2</b> Östliche Hochfläche  Schwacher Oberflächenabfluss Verdunstung der Sphagnen bei zunehmender Trockenheit	Mischkomplex mit <i>Sph. tenellum</i> und <i>Sph. mag.</i> , mit Zwergstrauch-Patches, in Bulten <i>Cladonia</i> , Schlenken mit <i>Sph. tenellum</i> , <i>Sph. cuspidatum</i> und <i>Drepanocladus</i> , einzelne Bäume	<i>Sph. tenellum</i> sehr selten, <i>Sph. cuspidatum</i> , <i>Drepanocladus</i> nicht mehr nachgewiesen, Bulte mit roten Sphagnen, einzelne junge Kiefern vorkommend, alte Bäume sterben teilweise ab	Stillstandskomplex, Zwergstrauch-Patches, lichter Baumbestand, Schlenken gehen weiter zurück
<b>3</b> Nördliches, oberes flaches Randgehänge und östliches Zwischenrandgehänge  Verdunstung, Oberflächenabfluss	Hochmoorstufenkomplex mit Zwergstrauch Patches, einzelnen Kiefern und Birken, Schlenken kleiner als in 1, in der Signatur nicht ausgewiesen	Hochmoorheide mit <i>Cladonia</i> und <i>Empetrum</i> , einzelne nackte Schlenken, einzelne junge Kiefern, alte Bäume sterben teilweise ab, vereinzelt Birken	Hochmoorheide licht bestockt, am Nordrand Übergang in den Birken-Kiefern-Randwald
<b>4</b> Nordwestliches oberes Randgehänge mit kernartiger Bult-Schlenkenstruktur (Abb. 3)  Oberflächenabfluss	Hochmoorstufenkomplex mit Zwergstrauch-Patches, einzelnen Kiefern und Birken, Schlenken klein, in der Signatur bei GIES (1972) nicht ausgewiesen	Hochmoorheide mit hohem Zwergstrauchanteil, auch <i>Vacc. uliginosum</i> , einzelne nackte Schlenken, Bäume einzeln und in Gruppen	Hochmoorheide dichter bestockt als in 3, am Nordrand deutliche Zunahme der Gehölze im Übergang zu dem unteren Birken-Kiefern-Randwald
<b>5</b> Südliche große Abdachung der Hochfläche  Oberflächenabfluss, Verdunstung	Hochmoorstufenkomplex mit Zwergstrauch-Patches, einzelne große Schlenken, die Luftbilder von GIES (1972) zeigen bereits zahlreiche Bäume	Stark verheideter Wachstumskomplex, große Schlenken stabil, Kiefern in Gruppen, einzelne große abgestorben, einzelne junge Bäume vorhanden	Heide mit <i>Empetrum</i> , einzelne Bulte, Schlenken zurückgegangen, schwache Baumzunahme differenziert in den „Strängen“?
<b>6</b> Östliches oberes Randgehänge, das Moor läuft nach NE sehr flach in den Sattel aus Regeneration nach Störungen	<i>Polytrichum strictum</i> Mischkomplex mit <i>Sph. tenellum</i> & <i>Sph. mag.</i> mit Zwergsträuchern, Abgrenzung GIES (1972) im Satellitenbild ungenau	Stillstandskomplex stark verheidet, einzelne Kiefern und Kieferngruppen	Zwergstrauch-Moorwald, langsamer Übergang in den Randwald

Nummer Hydrotop „Driving force der Entwicklung“	1972 (GIES)	2021	Szenario 2050
7 Östlicher Kolk mit Umgriff und Abflusszone  Regeneration nach Zerstörung, Oberflächenzufluss	Dominanzkomplex Sphagnetum magellanicum, zertrampelt und als Suhlen genutzt, 1975 der am stärksten gestörte Bereich	Stark verheidet, <i>Sphagnen</i> spärlich, einzelne Bäume, Kiefern- und Birkenjungwuchs. Die ehemals extreme Störung wirkt noch nach, daher die vielen Birken	Evtl. natürliche Wiedervernässung im Umfeld des Kolkes, Schwingrasen weitgehend stabil, Randzone Gehölzzunahme
8 Kermibereich  Oberflächenabfluss (Abb. 8)	Hochmoorstufenkomplex, auf den Strängen dominant Sphagnetum fuscum. Flarken mit <i>Drepanocladus fluitans</i> und <i>Sph. cuspidatum</i> . Bäume teilweise bereits dicht	Stränge <i>Sph. fuscum</i> stark zurückgegangen, deutliche Zunahme der Zwergsträucher, Kiefern in Teilbereichen dichter, aber wenig junge, keine Keimlinge. In den Flarken ist <i>Drepanocladus</i> stark zurückgegangen, einige trocken in Extrem Sommern aus	Bei der extremen Neigung dürfte eine weitere Austrocknung erfolgen, was insbesondere die Flarken betrifft. Beersträucher und Heide werden zunehmen, Schlenkensphagnen stark zurückgehen
9 Westliche Kolke  HUECK (1925): Die Ufer sind sehr steil nur am nördlichen Kolk; ein <i>Carex limosa</i> - <i>Sph. cuspidatum</i> -Bestand mit <i>Scheuchzeria palustris</i> .	Stufenkomplex mit <i>Sph. magellanicum</i> Gies 1972 erwähnt Scheuchzeria nicht (mehr)	Die Verlandung ist deutlich fortgeschritten, <i>Sph. cuspidatum</i> -Watten Der die Kolke umgebende Stufenkomplex ist verheidet, der Gehölzbestand zwischen den Kolken ist jetzt ein dichtes Wäldchen	Die Kolke werden weiter verlanden Da die Umgebung stark geneigt ist, werden Zwergsträucher, Birke und Kiefer zunehmen
10 Oberes Randgehänge östlich der Kermizone  Regeneration nach Störung	Mischkomplex mit <i>Sph. tenellum</i> und <i>Sph. mag.</i>	Stillstandskomplex stark verheidet, einzelstehende Kiefern, Kieferngruppen, <i>Sph. tenellum</i> erloschen oder selten	Zwergstrauch-Moorwald, langsamer Übergang in den Randwald
11 Östliche Vernässungssenke  Regeneration nach Rückstau	Entwässerte ehemalige Nasszone	Wachstumskomplex, Heide, Schwingrasen	Da von Norden Moorwasser zufließt, könnte der Schwingrasen stabil bleiben
12 Südöstliche Abflusszone  Renaturierungsfläche	Stillstandskomplex mit <i>Cladonia alpestris</i>	Dämme mit Zwergsträuchern, Birken und Kiefern, dazwischen nasse Heide (PLANUNGSBÜRO SIUDA 2001)	Dämme zunehmend Gehölze, dazwischen Torfmooskolonisierung
13 Südliches oberes Randgehänge  Oberflächenabfluss, zunehmende Trockenheit und längere Trockenperioden	Nordteil: Wachstumskomplex Südteil: Stark verheideter Dominanzkomplex Sphagnetum fuscum Im Schrägluftbild große Kiefern	Dichte Zwergstrauchheide, einzelne Schlenken, einzelne große Kiefern und Birken An den Rüllen dichter Galeriewald	Dichte Zwergstrauchheide Dank der dichten Heide Baumverjüngung wohl nur spärlich
14 „Inneres Randgehänge“ zur südwestlichen Schwingrasenzone  Oberflächenabfluss	Stark verheideter Dominanzkomplex des Sphagnetum fuscum, im Schrägluftbild große Kiefern	Dichte Zwergstrauchheide mit größeren Kieferngruppen	Zwergstrauchheide mit Kieferschirm

Nummer Hydrotop „Driving force der Entwicklung“	1972 (GIES)	2021	Szenario 2050
15 Südwestliche Schwingrasenzone  Weiterhin Oberflächenzufluss <i>Scheuchzeria palustris</i> (FIRBAS 1931, REIMERS1924)	Mischkomplex mit <i>Sph. tenellum</i> und <i>Sph. magellanicum</i> , stark verheideter Dominanzkomplex Sphagnetum fuscii, in der Nordspitze Schlenke mit Sphagnetum magellanicum <i>Scheuchzeria palustris</i> erloschen	Große Schlenke verlandet, deutliche Zunahme der Heide, <i>Scheuchzeria palustris</i> bei Kurzbegehung nicht nachgewiesen	Hochmoorheide mit einzelnen <i>Sph. magellanicum</i> -Bulten
16 Baggerweg  Regeneration nach Renaturierung	Stark verheideter Dominanzkomplex des Sphagnetum fuscii	Rückstauvernässung <i>Rhynchospora alba</i> wurde durch den Bagger aus Oberbayern eingeschleppt. Schlenken und größere, flache Becken mit Sphagnum-Watten entstanden	Schmaler nasserer Streifen in der Zwergstrauchheide mit Kieferschirm, Sphagnumschlenken
17 Westliches unteres Randgehänge  Schwacher Oberflächenabfluss	Randzone mit <i>Polytrichum strictum</i> , Mischkomplex mit <i>Sph. tenellum</i> und <i>Sph. magellanicum</i>	Zwergstrauch-Kiefern-Birken Randwald	Zwergstrauch-Kiefern-Birken Randwald. Weiteres Vordringen nach Osten
18 Östliches unteres Randgehänge  natürliche Regeneration nach Randzonenvernässung	Randzone mit <i>Polytrichum strictum</i> . Mischkomplex mit <i>Sph. tenellum</i> und <i>Sph. mag.</i>	Zwergstrauch-Kiefern-Birken Randwald	Zwergstrauch-Kiefern-Birken Randwald. Weiteres Vordringen nach Westen, abhängig von Wiedervernässung des Lagg
19 Brandfläche und östlicher Entwässerungsbereich  Natürliche Regeneration nach Randzonenvernässung	Brandfläche mit <i>Polytrichum strictum</i> , Lycopodio-Betuletum mit <i>Carex rostrata</i>	Zwergstrauch-Kiefern-Birken Randwald, Lycopodio-Betuletum, Birken-Jungwald Genauere Kartierung erforderlich	Zwergstrauch-Kiefern-Birken- Randwald, Lycopodio-Betuletum; Entwicklung abhängig von hydrologischen Maßnahmen
20 Nordwestlicher Randlagg  Hydrologische Sanierung	<i>Molinia</i> -Bestand Lycopodio-Betuletum mit <i>Carex rostrata</i> und <i>Molinia</i> -Reinbestand	Trockenes Lycopodio-Betuletum und <i>Molinia</i> -Reinbestand Genauere Kartierung erforderlich	Lycopodio-Betuletum; Entwicklung abhängig von hydrologischen Maßnahmen
21 Südwestlicher Lagg (Abb. 6)	Lycopodio-Betuletum, Westrand mit <i>Carex rostrata</i> und offenes Caricetum rostratae	Lycopodio-Betuletum, <i>Cx. rostrata</i> dominant erloschen	Lycopodio-Betuletum, Wiedervernässung; abhängig von Maßnahmen im Einzugsgebiet
22 Südlicher Lagg  Hydrologische Sanierung	Caricetum rostratae, Niedermoorstufenkomplex	Lycopodio-Betuletum <i>Cx. rostrata</i> dominant erloschen, <i>Vaccinium uliginosum</i> -Herden, Nasswiesen	Lycopodio-Betuletum, Wiedervernässung; abhängig von Maßnahmen im Einzugsgebiet
23 Östlicher Lagg  Hydrologische Sanierung	Caricetum rostratae, Niedermoorstufenkomplex, Lycopodio-Betuletum-Saum	Trockener Lycopodio-Betuletum-Saum Nasswiesenbrache	Lycopodio-Betuletum, Wiedervernässung; abhängig von Maßnahmen im Einzugsgebiet
24 Südliches unteres sehr steiles Randgehänge, gestört durch Abbauvorbereitung vor 1920  Natürliche Sukzession	Streifen mit Fichtenaufforstung, Stillstandskomplex mit <i>Cladonia alpestris</i> , <i>Vaccinium uliginosum</i> -Randgehänge	Birken-Zwergstrauch-Moorwald, Reinbestände von <i>Vaccinium uliginosum</i>  Fichten nur noch vereinzelt	Birken-Zwergstrauch-Moorwald <i>Vaccinium uliginosum</i> -Reinbestände vermutlich lange stabil



Birke ist vereinzelt auch in größeren Exemplaren vorhanden. Auffällig ist, dass sich in der nordwestlichen Abflusszone eine Struktur aus Strängen mit Zwergsträuchern und Kiefern und dazwischen Schlenkenkomplexen entwickelt hat (Abb. 3).



Abb. 3: Abflusszone von der Hochfläche nach Westen. Abbildung 3 (links) zeigt höhenlinienparallele Schlenkenreihen, Abb. 3 (rechts) zeigt die Kermistruktur im digitalen Geländemodell (DHM). Surface flow-off zone from the bog plateau in the western direction. Left shows hollows parallel to the contour lines. Right the structure of kermis in the digital contour model.

### **Sphagnetum fusci, inkl. stark verheidetem Komplex**

*Sph. fuscum* ist dem Augenschein nach seltener geworden. Insbesondere kann man das in dem 1972 von GIES als „*Sphagnetum fusci*, stark verheideter Komplex“ abgegrenzten Bereich im südlichen Randgehänge nachweisen. Dieser Bereich hat sich differenziert entwickelt.

Zwischen Baggerweg und Randlagg verlief die Entwicklung räumlich sehr unterschiedlich. Das war zu erwarten, da der Bereich vor 1970 stark gestört und für den Abbau vorbereitet war und dann rezent erfolgreich die Renaturierung eingeleitet wurde (SIUDA & MÜGGENBURG 2000). Die Fichtenstreifen sind nicht mehr erkennbar, dort wurden Rückstaubauwerke eingebracht. In den verheideten Komplexen sind die Sphagnen verschwunden. In Rückstaubecken ist *Sph. recurvum* eingewandert, Moorbirke und Kiefer haben zugenommen, in Lichtungen sind die Zwergstrauchheiden stabil geblieben.

Oberhalb des „Baggerweges“, der zur Renaturierung angelegt wurde, haben die Zwergsträucher deutlich zugenommen, dort entwickelte sich bis 2021 eine dichte Heide mit Kiefern. Rote Hochmoorsphagnen, die 1970 in dieser Pflanzengesellschaft nicht erwähnt wurden, sind jetzt genauso vereinzelt vertreten wie *Sph. fuscum*, das hier 1970 die vorherrschende *Sphagnum*-Art war.



Abb. 4: Dichte Hochmoorheide mit einzelnen Kiefern zwischen der Kermizone und dem „Baggerweg“. GIES (1972) kartierte dort einen stark verheideten Dominanzkomplex mit *Sph. fuscum*. Dense dwarf shrub heath at the southern slope. GIES (1972) documented a *Sphagnum fuscum* heath complex 50 years ago.



Abb. 5: Schlenkenkomplex in der nördlichen Hochfläche 1972 und 2021 (Fotos W. Braun und A. Ringler). Die Schlenke ist stabil geblieben. *Calluna vulgaris* hat zugenommen, Bäume haben sich im zentralen Bereich nicht neu etablieren können. Hollow complex in the northern bog plain 1972 und 2021 (credit W. Braun and A. Ringler). The hollow shape is stable. *Calluna vulgaris* was increasing. In the central part new trees could not establish. This complex will remain stable over the next 3 decades, the border forest will increase.



Abb. 6: Westlicher Randlagg mit Karpaten-Birken-Wald. 1972 wuchs hier noch ein sehr nasser *Carex rostrata*-Randlagg-Birkenwald. Jetzt ist der Lagg trocken, seine Wiedervernässung ist für die Moorregeneration eine der wichtigsten Voraussetzungen.

Western Lagg forest with *Betula carpatica*. In 1972, *Carex rostrata*-*Betula* forest was growing in the lag. Since 1980, it dried out caused by road construction and agricultural drainage. The regeneration of the water balance has priority.

Die zwergstrauchreichen Gesellschaften auf Hochmoortorf sind im Schwarzen Moor ein Schlüssel für das Verständnis der Entwicklung der Vergangenheit und der Zukunft, sie werden in dem Abschnitt 3.4 ausführlich im Zusammenhang mit den Wachstumsbedingungen der Hochmoorsphagnen diskutiert.

### Randzone mit *Polytrichum strictum*

Die Randzone mit *Polytrichum strictum* bildete 1972 einen schmalen Saum zwischen Lagg und Randgehänge, nur im Nordosten war die Gesellschaft flächig ausgebildet. Ein dominanter *Polytrichum strictum*-Bestand ist immer ein Störungs- oder Austrocknungszeiger. Der schmale Saum, den GIES (1972) kartierte ist in den Sukzessionsbereich des Waldrandes übergegangen, die Fläche am NE-Rand (ehemals Brandfläche) entwickelte sich zu einem Heide-Kiefernwald. Dies entspricht der Entwicklung von Brandflächen in anderen Mooren (SCHMEIDL et al. 1970, KAULE et al. 2017).



Abb. 7: Schlenke in der Kermizone im Sommer 1980 und 2021 (Foto A. Ringler). Das Trockenfallen begünstigt nicht nur die Zwergstrauch- und Gehölzsukzession, es ist auch ein Risiko für die Randabdichtung.

Hollow (flark) in the kermi zone, summer 1980 and 2021. The dry stage not only promotes succession of dwarf shrubs and trees, it is also a risk for the sealing of the hollow wall (credit A. Ringler).

### 3. Diskussion

Das Moor steht jetzt im Trockenem, der Lagg mit dominantem *Carex rostrata* war 1972 noch sehr nass, am Südende über Strecken kaum betretbar. Die Austrocknung ist nicht allein auf den Rückgang der Niederschläge zurückzuführen. Straßen-, Wege- und Parkplatzbau mit Grabenumleitungen und landwirtschaftliche Intensivierung kamen hinzu und führten zur Verringerung der Zuflüsse in den Lagg. Die Sanierung dieser Beeinträchtigungen wurde nach SCHUA (1985) bereits in der Schutzplanung gefordert. Er for-

derte auch erneut eine Wiederherstellung der zusätzlichen Wassereinspeisung in den Lagg aus dem Einzugsgebiet.

Die Sukzession der Brandfläche und die Zunahme von Birken und Kiefern in den Heiden, soweit sie Ersatzgesellschaften waren oder noch sind, wird durch ihre Entstehungsgeschichte erklärt. Die Keimung von Kiefer und Birke in den dichten Zwergstrauchbeständen mit Streuauflage ist gehemmt, sie werden sich nur langsam zu den Schlussstadien der Hochmoor-Zwergstrauch-Wälder entwickeln. Für die Gesellschaften in diesen Hydrotopen besteht weitgehend Konsens, dass in ihre Weiterentwicklung nicht eingegriffen wird.

Für das weitere Management des Schwarzen Moores geht es um die Beurteilung des Aufwuchses von Birken und Kiefern in Flächen (Moor-Hydrotopen), die vor 50 Jahren noch wachsende Torfmoosrasen trugen und um solche, die auch heute noch von Sphagnen des Wachstumskomplexes dominiert werden. Diskussionen gibt es nur um den ombrotrophen Teil, der sich natürlich entwickelt hat, nicht um die Sanierung des Lagg.

### 3.1 Zusammenfassung der Ausgangsbedingungen

Fassen wir die Voraussetzungen und die Basisdaten zusammen:

- Das Moor liegt in der klimatischen Grenzzone des Hochmoorwachstums.
- Die Temperaturen in der Vegetationsperiode steigen, damit auch die Verdunstung.
- Regenfreie Perioden werden länger, Torfmoospolster trocknen häufiger aus.
- Immissionsmaxima düngend wirkender Luftschadstoffe und starke Störstellen durch Tritt fielen zeitlich fast zusammen.
- Torfmoosrasen sind ein hocheffizientes Kapillarsystem, ihr Hub ist aber auf 20 cm begrenzt.
- Die Sphagnumarten sind von ihren Wasserstandspräferenzen unterschiedlich eingemischt (HÖLZER 2010).
- Nach 4 regenfreien Tagen trocknen auch die Bultarten aus (KAULE et al. 2017).
- Mit zunehmender Trockenheit sinkt auch die Assimilationsleistung der Sphagnen, konkurrierende Arten werden begünstigt (ROBROECK et al. 2009).
- Sowohl die im Hochmoor wachsenden Baumarten als auch die Zwerggehölze sind obligate Mykorrhizaträger, ihre Symbiosepilze benötigen Sauerstoff, können also nur im Akrotelm existieren, sobald dieser zum Randgehänge hin trockener wird (BURGEFF 1952 und 1956).
- Das Schwarze Moor hat eine extreme Topografie, die Südflanke ist übersteilt, da der Eisbach die Horizontalausbreitung stoppte, das natürliche Höhenwachstum des Moores wird hier durch den Oberflächenabfluss begrenzt.
- Die Hydrotopen mit ihren Vegetationseinheiten nach GIES (1972), müssen wie folgt unterschieden werden:
  - o Hochfläche mit Torfmooswachstum
  - o Abflusszonen nach SW und SE, letztere zur Renaturierungsfläche
  - o Kermizone am südlichen Moorabfall

- Südabdachung mit Sphagnen, *Eriophorum vaginatum* und dominant mit Zwergsträuchern
- Abdachung um die Hochfläche mit Anklängen von Kermi- und Rimpistrukturen

### 3.2 Wachstumsbedingungen für Sphagnen, die konkurrierenden Hochmoor-Ericaceen, die Waldkiefer und die Moorbirke

Torfmoosköpfchen müssen, damit sie assimilieren können feucht sein und sie haben keine Regulierungsmöglichkeit durch Stomata wie Gefäßpflanzen. JOOSTEN (1993) zeigt in einem Rechenmodell, dass für die Sicherung feuchter Moosköpfchen ein minimaler Jahresniederschlag ausreichen würde, falls dieser völlig gleichmäßig fällt. Dies ist aber selbst im atlantischen NW-Deutschland, nicht einmal im hyperatlantischen Westirland gegeben. SCHMEIDL, H. (1973, S. 147 ff) wertete eine fünfjährige Messkampagne in der Hochmoor-Versuchsfläche der südlichen Chiemseemoore im Hinblick auf Verdunstung aus: Die *Sphagnum magellanicum* und *Sph. rubellum*-Decken verdunsteten im Sommer im Mittel 3 mm/Tag, an heißen Sonnentagen bis 10 mm, im Vergleich verdunstet eine offene Wasserfläche (z.B. eine wassergefüllte Schlenke) fast ein Viertel weniger. Bei guter Wasserversorgung verdunsteten die mit *Calluna* und anderen Ericaceen bewachsenen Flächen 10 % weniger als ein Sphagnumrasen. Erklärt wird dies auch durch die xeromorphen Merkmale der meisten Hochmoorpflanzen, die im Gegensatz zu Sphagnen die Transpiration steuern können (FIRBAS 1931). Im Hinblick auf die Verdunstung kam FIRBAS (1931) zu der gleichen Reihenfolge. Zur Verdunstung verschiedener Moor-Pflanzenbestände siehe auch EDMOND, F. in SUCCOW & JOOSTEN (2001, S. 212, Tab 5-15). Für licht mit Kiefern bestandene Moorheiden gibt EDMOND deutlich geringere Werte als für mit *Sphagnum* bewachsene Flächen an.

Die Wasserstands Präferenzen der Hochmoorsphagnen werden bei HÖLZER (2010) zusammengestellt, die Arten des Wachstumskomplexes haben ihr Optimum bei 0 bis -10 cm Wasserstand, bei permanent unter 15-20 cm kommen sie kaum mehr dominant vor. Nach Untersuchungen von KAULE et al. (2017) trocknen sie in einer niederschlagsfreien Periode von mehr als 4 Tagen aus, so dass sie die Assimilierung einstellen müssen, der Wasserstand liegt dann unter -20 cm.

ROBROEK et al. (2009) untersuchten die Wechselwirkungen von Wasserstand, Regen und der Netto- CO<sub>2</sub>-Assimilation von drei häufigen Hochmoorsphagnen (*Sphagnum cuspidatum*, *S. magellanicum* und *S. rubellum*). Mit sinkendem Wasserstand sinkt die CO<sub>2</sub>-Assimilation. Sie kommen auch zu dem Schluss, dass Trockenperioden einen erheblichen Einfluss haben werden. „Moreover, this study shows that precipitation is at least equally important as water table drawdown and should be taken into account in predictions about the fate of peatlands with respect to climate change“.

*Calluna vulgaris* und die anderen Ericaceen der Hochmoore (bzw. der Hochmoorränder) aber auch die Kiefer und die Birke sind Mykorrhizaträger. Ihre Symbiosepilze können unter sauerstofffreien Bedingungen nicht gedeihen, dies ist im anaeroben Katotelm der Fall (BURGEFF (1952) und (1956)). Die Vertorfung der Sphagnen und damit die Sauer-

stoffzehrung beginnt bei -20 bis -30 cm, die Ericaceen und der Baumjungwuchs können dann nicht tiefer wurzeln: OVERBECK (1975, S. 62 & 63), GÖTTLICH (Hrsg., 1980, S. 133-134) belegen mit der Auswertung einer Vielzahl von Profilen das Vorkommen von Wurzelsymbionten ausschließlich in der wenigstens zeitweilig durchlüfteten Zone (Akrotelm).

Dies stützt mit Messdaten die Auswertung von über 100 Einzelmooren im Voralpengebiet (KAULE et al. in LfU 2015), dass durch die Resilienz der Hochmoorgesellschaften diese bei 1200 mm Jahresniederschlag stabil blieben, Heiden aber nur bei deutlich mehr Niederschlag ohne Rückstau regenerierten. SCHMEIDL et al. (1970) dokumentieren für den Wachstumskomplex der nördlichen Hochfläche des Fesslerfilzes (1400 mm N): „In ihre Randpartien können zwar hier und da einzelne Krüppelkiefern und Birken eindringen, die aber durch Vernässung nach einigen Jahren zugrunde gehen.“ Diese Aussage betrifft wüchsige *Sphagnum*-Komplexe mit permanent hohem Wasserstand (siehe auch KAULE et al. 2018).

Für das Schwarze Moor mit deutlich geringerem Niederschlag und zunehmenden Trockenperioden bedeutet das: In den Zwergstrauch-, *Calluna*- und *Empetrum*-Beständen kann sich kein Akrotelm mit permanentem Wasserstand von weniger als 20 cm unter der Mooroberfläche bilden in dem Hochmoorsphagnen konkurrenzstark sind. Was die Kiefer betrifft, ist das Torfmooswachstum in der zentralen Hochfläche, der Kermizone und den sehr nassen Abflusszonen mindestens in Teilbereichen noch kräftig genug um Keimlinge und Jungpflanzen zu „ertränken“. Ihre Zunahme ist also nicht so deutlich wie im Randwald. Ein deutliches Zeichen für den „Klimawandel“ ist aber bereits die Einwanderung von *Calluna vulgaris* in die *Sphagnum magellanicum*-Flächen. In der Kermizone ist die Austrocknung ein ebenso signifikantes Zeichen, dass sich die Auswirkungen des Klimawandels nicht aufhalten lassen.

Verschieben sich die trockenen Perioden zum Frühjahr, so werden die Konkurrenzbedingungen für Torfmoose deutlich schlechter, insbesondere wenn mehrere Jahre mit trockenem Frühjahr in Folge auftreten. Die Bedingungen für die Zwerggehölze und die Kiefer werden besser. Verstärkend kommt hinzu, dass die Extreme voraussichtlich häufiger werden, Extremniederschlag aber auch längere Trocken- und Hitzeperioden. Die meisten Klima-Vorhersagemodelle sprechen für dieses Szenario.

#### 4. Entwicklungsszenario im Klimawandel

Prognosen sind für ihre Autoren gefährlich, da sich die Entwicklung oft nicht nach unseren Vorstellungen richtet. Trotzdem sind Szenarien für das Moor in mehrfacher Hinsicht wichtig:

1. In einer Zeit mit deutlichem Klimawandel kann sich die Definition des guten Erhaltungszustandes und der Ziele nicht nur nach dem aktuellen Zustand richten, die dynamische Entwicklung muss mit einbezogen werden. Die Natur passt sich nicht an Richtlinien an, diese müssen, wenn nötig, angepasst werden.

2. Eine Überlagerung vom Luftbild und DHM 25, zeigt nicht nur die 8 m Höhenunterschiede zwischen dem nördlichen und südlichen Lagg, sondern auch die für ein Hochmoor enormen Höhenunterschiede im Moor selbst und sein bewegtes Relief. Dementsprechend wird die Entwicklung räumlich stark differenziert erfolgen. Die Hydrotope in Abbildung 8 und Tabelle 2 tragen dem Rechnung.
3. Wenn in einem Szenario die Rahmenbedingungen und die Parameter exakt definiert werden, können im Falle einer abweichenden Entwicklung Fehler und Lücken in dem Modellrahmen identifiziert werden, wir lernen durch unsere Fehler das Moor besser zu verstehen.
4. Die Erderwärmung geht weiter, Trockenperioden werden häufiger und länger. Die Konkurrenzbedingungen verschieben sich zu Gunsten der Gehölze.
5. Unter einer geschlossenen Zwergstrauchschicht mit einem durchschnittlichen Wasserstand von unter 20 cm kann sich kein Akrotelm mit Wachstumsbedingungen für *Sph. magellanicum* und *Sph. rubellum* ausbilden.

Die folgenden Prognosen der Vegetationsentwicklungen in Tabelle 2 beziehen sich auf das Jahr 2050 und auf die in Abbildung 8 abgegrenzten Hydrotope. Diese wurden aus der Topografie (Neigung, Muldenlage oder Wölbung) und dem unterlagerten Luftbild abgeleitet. Bei der Überlagerung der Karte von GIES (1972) ist zu berücksichtigen, dass die Projektionen völlig unterschiedlich sind. Im GIS liegen zwar um das Moor herum stabile Referenzpunkte vor, nicht aber im Moor. Selbst die Kolke und ihre Schwinggrasen haben sich in den 50 Jahren, die zwischen beiden Unterlagen liegen, verändert.

Die Entwicklung des Lags hängt von der Möglichkeit die Wasserführung zu verbessern ab. Eine Prognose ist jetzt nicht sinnvoll. Eine deutliche Verbesserung des Wasserhaushaltes der Umgebung könnte auch das Moorinnere positiv beeinflussen, da bereits Tau für Hochmoorsphagnen förderlich ist.

Das untere Randgehänge befindet sich in einem deutlichen, aber noch nicht abgeschlossenen Prozess der Wiederbewaldung mit Birke und Kiefer. Das Vorrücken des Waldes ist an der Zunahme der Bäume in den randnahen Bereichen selbst in Satellitenfotos deutlich zu erkennen, hier ist der Prozess der natürlichen Regeneration noch nicht abgeschlossen. In den oberen Randgehängen und den Zwischenrandgehängen, die dem Moor eine so deutliche Reliefstruktur verleihen, dominieren jetzt Zwergstäucher, Kiefer und Birke werden zunehmen. Die westliche und südliche schwach geneigte Abdachung von der Hochfläche wurde bei GIES (1972) als Hochfläche mit Wachstumskomplex kartiert, große Kiefern waren schon vorhanden (Bildunterschrift 7: „*Pinus sylvestris* kommt auf der Hochfläche häufig vor“). Wie subjektiv die Begriffe zu den Einschätzungen sind, belegt die Aussage von HOHENSTATTER (1973) Seite 139: „...die Hochfläche ist jetzt sehr locker mit Kiefern bestockt“ (dort versehentlich als *Pinus montana* bezeichnet). Aus beiden Aussagen lässt sich keine Quantifizierung ableiten, exakte Zählquadrate sind erforderlich. Wie sich diese Fläche entwickelt, wird das Bild des Moores in 50 Jahren entscheidend prägen.



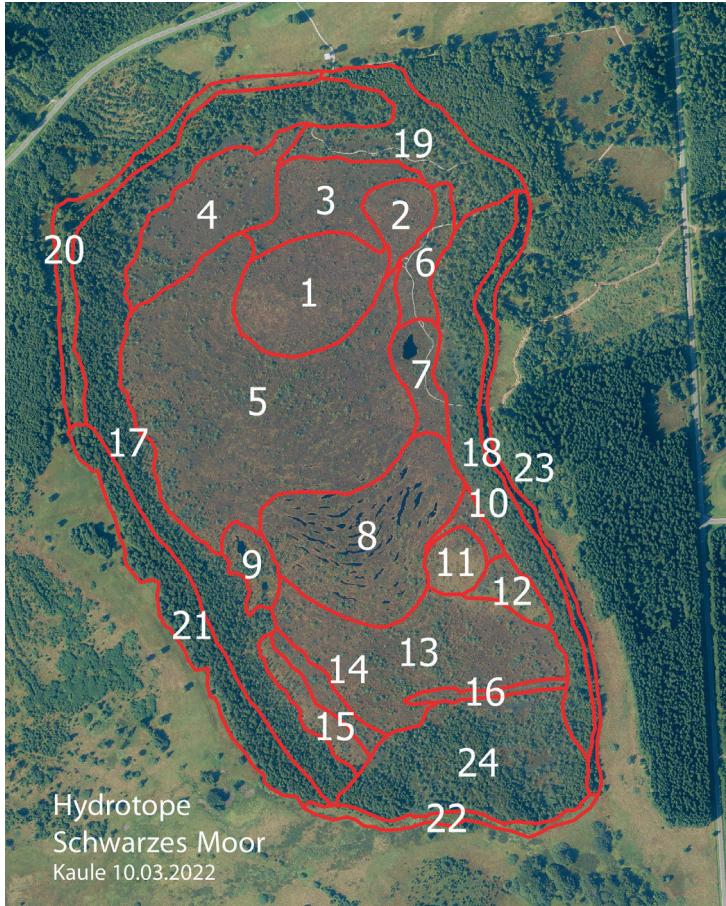


Abb. 8: Hydrotope im Schwarzen Moor/Rhön (hydrologisch-geomorphologische Einheiten); vgl. Tabelle 2 für Erläuterungen.

Hydrotopes in Schwarzes Moor/Rhön (hydrological-geomorphological units), description and analysis see table 2.

Die Kermiszone ist aus mitteleuropäischer Sicht der interessanteste Teil des Moores. Ringler (mündlich) vermutet, dass die Abdichtung der Kermis durchlässiger wird. Wassergesättigt haben die Torfe der Randabdichtung der Schlenken eine Wasserdurchlässigkeit von 10-40 cm pro Tag. Ausgetrocknet können Risse entstehen, die einen schnelleren Wasserabfluss zulassen (diese Arbeitshypothese gilt es zu überprüfen). Da zwischen den Strängen und den Schlenken Höhenunterschiede bis 50 cm vorkommen, ist bei längeren Trockenperioden die Zunahme von *Vaccinium uliginosum* plausibel.

Die nassen flachen Abflusszonen bleiben von der Temperatur und Niederschlagsentwicklung und deren veränderter Periodizität nicht unbeeinflusst. Die Zwergstrauch- und Gehölzentwicklung wird dort jedoch deutlich langsamer verlaufen. Sehr deutlich ist dort bereits überall die Zunahme von *Calluna vulgaris*.

Unsicherheiten in dem Szenario sind die Klimaentwicklung, der Erfolg der Randlaggsanierung und der Etablierungserfolg der Bäume in dichten Zwergstrauchheiden. Die Heiden, wie sie im Foto von Abbildung 4 dokumentiert sind, könnten auch noch einige Jahrzehnte sehr licht bleiben. Unsicher ist auch die Stabilität der Kermis, sie trocknen im Sommer zunehmend aus, eine Abdichtung ist jedoch nur über permanent nassen Torf gewährleistet, sonst entstehen Risse (Fotos in Abb. 7).

Zusammengefasst ergibt sich folgende Flächenverteilung:

50 % dichter Lagg- und Moorwald im breiten Randbereich (Nieder- und Übergangsmoor).

50 % Hochmoor (mittleres und oberes Randgehänge und Moorweite), davon:

43 % lichte Kiefern-Birken-Hochmoorheide

20 % Heide mit nur einzelnen Bäumen

20 % Kermi-Komplex mit Baumstreifen

17 % Stabile offene Moorweite mit *Sphagnum*-Wachstumskomplex.

Das Szenario aufgrund unserer Datengrundlage besagt: über 50 % des Moores (ohne Lagg und Randwald) bleiben mindestens bis 2050 offen oder halboffen. Die halboffenen Flächen sind vorwiegend mit einem dichten Heide- und Beerstrauchbewuchs bedeckt, der zeigt, dass der Moorwasserstand durchschnittlich deutlich unter 20 cm liegt, die Entwicklung eines Akrotelms mit Torfmoosen kann also nicht erfolgen. Die Forderung den Gehölzaufwuchs zur Wiederherstellung von Moorwachstum zu entfernen, verkennt die Bedeutung des Zwergstrauchbewuchses, der eine Folge des Klimawandels ist. Die Diskussion zum Entkusseln und die Empfehlungen in der Fachliteratur beziehen sich auf Moorwiesen und Renaturierung von Torfstichen, nicht auf morphologisch intakte Hochmoorflächen (WAGNER 1994 und 2006; GRÜTTNER und WARNKE-GRÜTTNER 2002). Hier sind selbstverständlich Initialpflege und Erhaltungspflege erforderlich, es geht in diesen Fällen nicht um das „Ob“, sondern um das „Wie“.

In der Moorweite des Schwarzen Moores sollte die natürliche Stabilisierung der Wachstumskomplexe durch einen Zwergstrauchsaum und lichten Baumbewuchs ermöglicht werden, dafür gibt es positive Beispiele (KAULE et al. 2017). Der Klimawandel ist durch Eingriffe nicht aufzuhalten.

## 5. Danksagung

Ich danke der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft für die Überlassung von Daten der Bayerischen Waldklimastationen und für die Weitergabe der Wetterdaten der Wasserkuppe. Herrn Prof. Dr. M. Succow danke ich für die Durchsicht des Manuskriptes und zahlreiche wertvolle Anregungen.

## 6. Literaturverzeichnis

- BOHN, U. (1981) (1996 2. Erweiterte Auflage): Vegetationskarte der Bundesrepublik Deutschland 1: 200 000 – Potentielle natürliche Vegetation – Blatt CC5518 Fulda. – Schriftenreihe für Vegetationskunde, Heft **15** Bonn (Bad Godesberg).
- BURGEFF, H. (1952): Mikrobiologie des Hochmoores unter besonderer Berücksichtigung der Erikazeen-Pilz-Symbiose. – Fischer (Stuttgart).
- BURGEFF, H. (1956): Mikrobiologie des Hochmoores unter besonderer Berücksichtigung der Erikazeen-Pilzsymbiose. – Ber. Deutsch. Bot. Ges. **69**: 257-262.
- EDOM, F. (2001): Moorlandschaften aus hydrologischer Sicht (Chorische Betrachtung). In: Succow, M. & Joosten, H. (Hrsg.) – Landschaftsökologische Moorkunde: 185-228.: Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Stuttgart).
- EUROLA, S. (1962): Über die regionale Einteilung der Südfinnischen Moore. – VANAMO Tom. **33**. N:o 2. Helsinki.
- FIRBAS, F. (1931): Untersuchungen über den Wasserhaushalt der Hochmoorpflanzen. – Jahrb. F. wiss. Botanik **74**, H. 4/5.
- GÖTTLICH, KH. (1980): Moor- und Torfkunde (Stuttgart).
- GAUHL, F. (1991): Untersuchungen zur Entwicklung des Schwarzen Moores in der Rhön: Verlauf und Ursachen der Vermoorung. – Flora **185**: 1-16, Jena.
- GIES, Th. (1972): Vegetation und Ökologie des Schwarzen Moores (Rhön). – Dissertationes Botanicae Bd. **20** Lehre.
- GROSSE-BRAUCKMANN (1996): Moore der Rhön als Beispiele für Entstehung, Entwicklung und Ausbildungsformen von Mooren und ihre Probleme heute. – Beitr. zur Naturk. In Osthessen **32**: 73-99, Fulda.
- GRÜTTNER A. & WARNKE-GRÜTTNER, R. (2002): Wann und wie oft entbuschen. – Naturschutz und Landschaftsplanung **34** (12).
- HEINKEN, T. (2008): Die natürlichen Kiefernstandorte Deutschlands und ihre Gefährdung. – Beitr. Nordwestdtsh. Forstl. Versuchsanstalt (NW-FVA) 2: 19-41.
- HIBSCH-JETTER, C. (1994): Birken in den Alpen. Taxonomisch-ökologische Untersuchungen an *Betula pubescens* EHRH. und *Betula pendula* ROTH (Contr. Biologiae Arborum, Bd. **6**). – Landsberg am Lech, 166 S. + Anh.
- HOHENSTATTER, E. (1973): Stratigraphische Untersuchungen der Bayerischen Rhönmoore. – TELMA **3**: 51-136; Hannover.
- HÖLZER, A. (2010): Die Torfmoose Südwestdeutschlands und der Nachbargebiete. – Weissdorn-Verlag (Jena).

- HUECK, K. (1924): Die Vegetation der Moore auf der Hohen Rhön – Der Naturforscher **1**: 531-533; Berlin.
- JENRICH, J. & KIEFER, W. (2012): Das Rote Moor – Ein Juwel in der Hochrhön. – Parzellers Verlag (Fulda).
- JESCHKE, L., KNAPP, H-D. & SUCCOW, M. (2001): Moorregionen Europas, in: SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (Hrsg.): Landschaftsökologische Moorkunde. S. 258-261. – Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Stuttgart).
- 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. (1974): Die Übergangs- und Hochmoore Süddeutschlands und der Vogesen: landschaftsökologische Untersuchungen mit besonderer Berücksichtigung der Ziele der Raumordnung und des Naturschutzes. – Dissertationes et Habilitationes Botanicae **27** Lehre.
- KAULE, R., KAULE, G. & HUWE, B. (2017): Langzeituntersuchungen in den Südlichen Chiemseemooren. – TELMA **47**: 75-91; Hannover.
- KAULE, G., CARMINATI, A., HUWE, B., KAULE, R., MÜLLER-KROELING, S. & SCHWARZ-V. RAUMER, H-G. (2018): Die Hochmoorwälder des süddeutschen Voralpengebietes: Moorökologische Bedeutung und zukünftige Entwicklung im Klimawandel. – TELMA **49**: 12-48; Hannover.
- KEILHACK, K. & RUDOLPH, K. (1929): Naturgeschichte des Roten und Schwarzen Moores in der Rhön und Gutachten über die Beschaffenheit der Moorklager des Roten Meeres. – Veröff. d. Zentralstelle f. Balneologie (N.F.) **9**: 65-92.
- LfU, Hrsg. (2015): Die Entwicklung der Übergangs- und Hochmoore im südbayerischen Voralpengebiet im Zeitraum 1969 bis 2013 unter Berücksichtigung von Nutzungs- und Klimagradien. – UmweltSpezial (Augsburg).
- LOHMEYER, W. & BOHN, U. (1972): Karpatenbirkenwälder als kennzeichnende Gehölzgesellschaften der Hohen Rhön und ihre Schutzwürdigkeit. – Natur und Landschaft **47(7)**: 196-200.
- MÜLLER-KROEHLING, S. (2010): Eine Spirke (*Pinus rotundata* LINK) im Schwarzen Moor der Rhön (Landkreis-Rhön-Grabfeld) und die Frage ihrer Herkunft. – Abh. Naturwss. Ver. Würzburg Bd. **47/48**: 161-166.
- OVERBECK, F. (1928): Studien zur postglazialen Waldgeschichte der Rhön. – Zeitschrift für Botanik **20**, 154-206.
- OVERBECK (1962): Einige Hinweise zu den Exkursionen im nordwestdeutschen Flachland und in der Rhön. V. Internat. Symposium der Quartärbotaniker in Kiel und Göttingen (Als Manuskript vervielfältigt), Uni. Kiel.
- OVERBECK, F. (1975): Botanisch-Geologische Moorkunde. – Wacholtz (Neumünster).
- SIUDA & MÜGGENBURG (2000): Renaturierungsplanung Schwarzes Moor. – Unveröff. Gutachten im Auftr. Biosphärenreservat Rhön.

- PLANUNGSBÜRO SIUDA (2001): Umsetzung der Renaturierungsplanung für das „Schwarze Moor“ – Nordteil, Landkreis Rhön-Grabfeld. – Unveröff. Gutachten im Auftr. Lkr. Rhön-Grabfeld, 6 S. + Anl.
- REIMERS, H. (1924): Die Vegetation der Rhönmoore. – Beitr. Syst. Pflanzengeografie **1**: 21-55 + Tafeln.
- ROBROEK, B. J. M., SCHOUTEN, M. G. C., LIMPENS, J., BERENDSE, F. & POORTER, H. (2009): Interactive effects of water table and precipitation on net CO<sub>2</sub> assimilation of three co-occurring Sphagnum mosses differing in distribution above the water table. – *Global Change Biology*, Volume **15**, Issue **3**: 680-691.
- 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**.
- SCHMEIDL, H. (1973): Ein Beitrag zur Verdunstung eines unberührten Hochmoores im Voralpenraum – TELMA **3**, 147-161; Hannover.
- SCHUA, L.F. (1985): Das Schwarze Moor. Die Inanspruchnahme des Naturschutzgebietes durch Freizeit und Erholung im Naturpark Bayerische Rhön und der Erfolg von Schutzmaßnahmen. – *Naturschutz und Naturparke* **116**, 49-45.
- SCHULZ, K. & BECKER, T. (2010): Bauminvasionen im Großen und Schwarzen Moor in der Rhön. – Unveröff. Gutachten der Universitäten Marburg und Göttingen, 34 S.
- STALLING, H. (1983): Untersuchungen zur nacheiszeitlichen Vegetationsgeschichte des Meißners (Nordhessen). – *Flora* **174**: 357-376.
- STEFFEN, F. (1931): Vegetationskunde von Ostpreußen. *Pflanzensoziologie I*. Jena.
- SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (2001): Landschaftsökologische Moorkunde. – Schweizerbart (Stuttgart).
- SUCCOW, M. & JESCHKE, L. (2022): Deutschlands Moore. Ihr Schicksal in unserer Kulturlandschaft: Natur und Text. – Rangsdorf.
- WAGNER, C. (1994): Zur Ökologie der Moorbirke *Betula pubescens* EHRH. in Hochmooren Schleswig-Holsteins unter besonderer Berücksichtigung von Regenerationsprozessen in Torfstichen. – Mitt. Arbeitsgemeinschaft Geobotanik in Schleswig-Holstein und Hamburg **47**, 182 S.
- WAGNER, C. (2006): „Grenzen des Entkusselns“ oder: Zum Einfluss der Moorbirke (*Betula pubescens*) auf Regenerationsprozesse in Hochmooren. – *Arch. Natursch. Landschaftsforsch.* **45(2)**: 71-85.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Giselher Kaule  
Keplerstraße 11  
D-70599 Stuttgart

Manuskript eingegangen am 30. Juni 2022

Persönliche Mitglieder zahlen einen Jahresbeitrag von 40,- Euro, korporative einen von 150,- Euro, Studenten und Auszubildende auf Antrag 10,- Euro. Der Jahresbeitrag ist bis zum 1. März des betreffenden Jahres auf das DGMT-Postbankkonto IBAN: DE90 2501 0030 0303 2003 01, BIC: PBNKDEFF zu überweisen.

Mitglieder erhalten die alljährlich herausgegebenen Bände der TELMA sowie die Beihefte zur TELMA gegen ihren Mitgliedsbeitrag.

Anträge auf Mitgliedschaft richten Sie bitte per E-Mail an [info@dgmtev.de](mailto:info@dgmtev.de).