

Zum Verständnis der Ökohydrologie von Hochmooren

G. M. STEINER

Abstract: This article tries to explain how bogs hydrologically function on the basis of INGRAM'S (1982) hypothesis on the groundwater mound. It wants to show up the outstanding regulation mechanisms nature has developed to produce and maintain ecosystems that are able to stabilise a waterbody meters above any land surface, and how bogs react on climate change and disturbance by man.

Key words: Eco-hydrology of bogs, groundwater mound hypothesis, effects of bog disturbance.

Zur Einführung

Ein intaktes Hochmoor ist ein uhrglasförmig aufgewölbter Torfkörper, dessen Oberfläche von einer spezifisch angepassten Vegetation bewachsen ist. Die abgestorbenen Reste dieser Vegetation, die von verschiedenen Arten der Gattung *Sphagnum* (Torfmoos) dominiert wird, bauen den Torfkörper auf. Hochmoore liegen als isolierte, eigenständige Ökosysteme „wie ein Wassertropfen“ in der sie umgebenden Landschaft und sind dort meistens die letzten Reste ursprünglicher Natur.

Da die Oberfläche der Hochmoore durch den bis zu 15 m mächtigen Torfkörper vom Mineralboden und dessen Grundwasserregime vollständig isoliert ist, ist die Vegetation an Bedingungen adaptiert, die ausschließlich vom Niederschlag bestimmt werden. Die gesamte Nährstoffversorgung erfolgt durch Regen, Schnee und andere atmosphärische Einträge, das Substrat für die höheren Pflanzen bilden Torf oder lebende Torfmoose.

Oberflächenstrukturen

Die Torfmoosarten, die die Basis allen weiteren Lebens auf den Hochmooren bilden, nischen sich in unterschiedlichen Abständen zum mooreigenen Grundwasserspiegel ein und sind auf diese Weise für die ver-



Abb. 1: „Ein Wassertropfen auf einer Glasplatte...“



Abb. 2: ... ist wie ein Moor in der Landschaft“

schiedenen Oberflächenstrukturen der Hochmoore verantwortlich. SJÖRS (1948), LINDSAY et al. (1988) und STEINER (1992) beschrieben diese Strukturelemente oder Mikroformen jeweils für den borealen, atlantischen und subkontinentalen Klimabereich Europas. Im wesentlichen gelten für alle Klimabereiche gemeinsam sechs Mikroformen, vier davon liegen oberhalb des Grundwasserspiegels und werden daher als terrestrisch (T) bezeichnet, vier aquatische (A) liegen unterhalb (Abb. 3).

Torfhügel (T4) sind hohe, zumeist mit Flechten (*Cladonia* spp.) und Waldmoosen (*Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens* und *Dicranum scoparium*) bedeckte, oft von Föhren (*Pinus sylvestris*) oder Fichten (*Picea abies*) bestandene Strukturen der Mooroberfläche, die durch - häufig weidebedingte - Erosionen entstanden sind (Abb. 4).

Abb. 3: Schematische Darstellung der häufigsten Strukturelemente von Hochmooren.

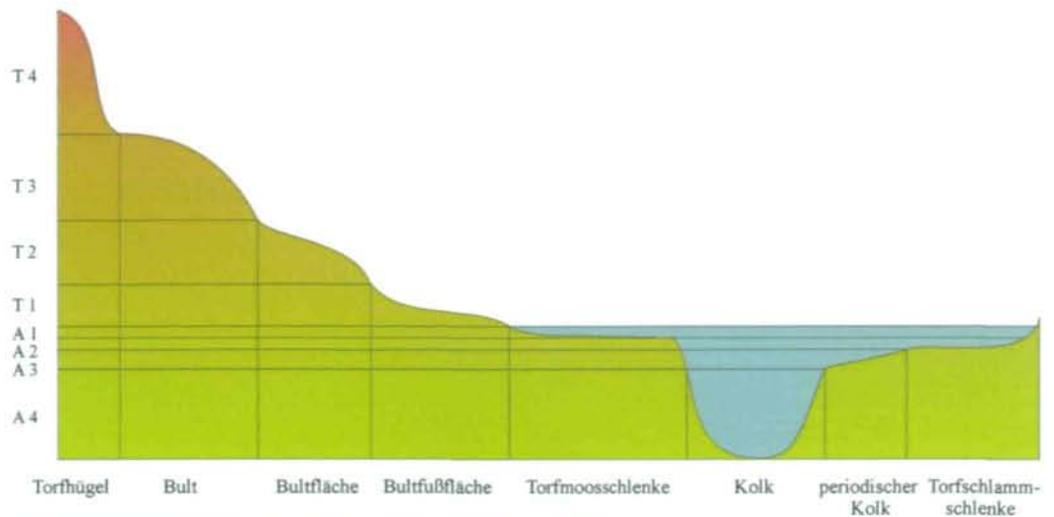


Abb. 4: Torfmooshügel (Granitzlmoos/Sauerfelder Wald/Salzburg).



Bulte (T3) sind 100 - 30 cm vom Grundwasserspiegel entfernte Hügel, die von den Torfmoosen *Sphagnum fuscum* und *Sphagnum capillifolium* gebildet werden. Unter unseren Klimaverhältnissen sind sie die höchsten Erhebungen der Mooroberfläche und häufig von Zwergsträuchern wie Preiselbeere (*Vaccinium vitis-idaea*), Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*) und Rauschbeere (*Vaccinium uliginosum*), Latschen (*Pinus mugo*), Rentierflechten (*Cladonia arbuscula*, *Cladonia rangiferina*) und verschiedenen Waldmoosen (*Pleurozium schreberi*, *Dicranum scoparium*, *Hylocomium splendens*) bewachsen (Abb. 5).

Bultflächen (T2) sind 30 - 10 cm vom Wasserspiegel entfernt, das dominierende Torfmoos ist *Sphagnum magellanicum*. Bultflächen bilden in den schwach oder unstrukturierten Hochmooren des östlichen Österreich die eigentliche Mooroberfläche, sie sind mit Latschen (*Pinus mugo*) und Zwergsträuchern wie Preiselbeere (*Vaccinium vitis-idaea*), Rauschbeere (*Vaccinium uliginosum*), Besenheide (*Calluna vulgaris*) und Rosmarinheide (*Andromeda polifolia*) bewachsen (Abb. 6).

Bultfußflächen (T1) reichen bis 10 cm über den Wasserspiegel und werden von *Sphagnum papillosum*, *Sphagnum magellanicum* und *Sphagnum angustifolium* aufgebaut. Das Scheidige Wollgras (*Eriophorum vaginatum*), Zwergsträucher wie Moosbeere (*Vac-*

Abb. 5: Bulte (Moor im Melachtal/ Stubaier Alpen/Tirol).



Abb. 6: Bultfläche (Pürgschachenmoos/Ennstal/Steiermark).



Abb. 7: Bultfußfläche (Siebenmöser/Gerlospass/Salzburg).



Abb. 8: Torfmooschlenke (Rotmoos/Weichselboden/Steiermark).



Abb. 9: Torfschlammchlenke (Rotmoos/Weichselboden/Steiermark).

cinium oxycoccus), Rauschbeere (*Vaccinium uliginosum*), Besenheide (*Calluna vulgaris*) und Rosmarinheide (*Andromeda polifolia*) und verschiedene Seggenarten wie Wenigblütige Segge (*Carex pauciflora*) und Wiesensegge (*Carex nigra*) bilden die Vegetation der höheren Pflanzen (Abb. 7).

Torfmooschlenken (A1) liegen 0 - 10 cm unter dem Grundwasserspiegel. Die wichtigsten Torfmoosarten sind hier *Sphagnum angustifolium*, *Sphagnum cuspidatum* und *Sphagnum tenellum*. An höheren Pflanzen treten hier vor allem Sauergräser wie Schlammsegge (*Carex limosa*), Blumenbinse (*Scheuchzeria palustris*), Schnabelsegge (*Carex rostrata*), Weißes Schnabelried (*Rhynchospora alba*) und Sontentauarten (*Drosera rotundifolia* und *Drosera anglica*) auf (Abb. 8).

Torfschlammchlenken (A2) liegen 10 - 20 cm tief und haben nur selten einen schütterten Torfmoosbewuchs (*Sphagnum compactum*, *Sphagnum tenellum*). Sonst treten dieselben Sauergräser wie in den Torfmooschlenken auf (Abb. 9).

Periodische Kolke (A3) sind 20 bis 50 cm tiefe Moorteiche, die im Sommer zu meist austrocknen und dann den Torfschlammchlenken ähnlich sehen. Wegen der langen Überstauung im Frühjahr entwickelt sich kein Torfmoosbewuchs, lediglich einige flutende Torfmoose wie *Sphagnum cuspidatum* liegen dann auf der nackten Torffläche (Abb. 10).

Kolke (A4) sind mehr als 50 cm tiefe, permanent mit Wasser gefüllte Moorteiche, die lediglich von flutenden Formen der

Torfmoosarten *Sphagnum cuspidatum* und *Sphagnum angustifolium* bewachsen werden (Abb. 11).

Alle aquatischen Strukturen sind an feuchtere Klimaverhältnisse gebunden und daher nur in den humideren Bereichen Österreichs häufig anzutreffen. Bei Entwässerungsmaßnahmen oder zunehmender Trockenheit verschwinden diese sensiblen Strukturen zuerst.

Die Strukturelemente variieren nicht nur nach den großklimatischen Bedingungen, sondern auch in den verschiedenen Moorbereichen. Während auf der zentralen Moorweite alle Strukturen vertreten sind, spielen im Randgehänge lediglich terrestrische Mikroformen eine Rolle. Bedingt durch das stärkere Gefälle in diesem Bereich, treten im Randgehänge auch Erosionsformen, die Rüllen, auf. Hier sind auch häufig bodenständige Fichten und Birken anzutreffen. In den meisten Fällen ist ein Hochmoor noch von einem Lagg (Randsumpf) umgeben, der zum umliegenden Mineralbodenwasserregime vermittelt und daher eine Mischwasserversorgung besitzt. Die Vegetation dieser Lags ist aus diesem Grund auch mit Arten angereichert, die für Niedermoore und Sümpfe charakteristisch sind.

Die einzelnen Torfmoosarten prägen die Standortsbedingungen derart, dass nur die oben besprochene, spezifisch angepasste Artengarnitur zu gedeihen vermag. Treten andere Arten auf, ist nahezu immer eine Störung im Wasserregime die Ursache. Dies dokumentiert auch sehr gut, wie eng in einem Hochmoor ein ungestörtes Wasserregime und eine intakte Vegetationsdecke miteinander verknüpft sind.

Struktur und Funktion des Torfkörpers

Ein ungestörtes Hochmoor ist aus zwei Schichten aufgebaut (ROMANOV 1968, INGRAM 1978, IVANOV 1981). Die obere, lebende Schichte ist etwa 50 bis 100 cm mächtig und wird als Acrotelm (Spitzenorf) bezeichnet. Darunter bildet das Catotelm (Basistorf) die eigentliche Masse, die die jeweilige Form des Moores prägt. Das Catotelm kann über 10 m mächtig sein und

besteht aus abgestorbenem Pflanzenmaterial - dem Torf - und Wasser (Abb. 12).

Das Acrotelm baut sich zum überwiegenden Teil aus dichtstehenden, lebenden Torfmoospflänzchen auf. Durch das Wachstum der Torfmoose wird ständig neue Biomasse produziert, das Moor wächst kontinuierlich. Die älteren Torfmoosteile sterben langsam ab, werden zersetzt und bilden neuen Torf. Dadurch gerät die Biomasse aber auch unter den Moorwasserspiegel und der Zersetzungsprozess kommt wegen des Mangels an Sauerstoff zum Erliegen. Da aber die Nachlieferung von oben weitergeht, kann sich auf diese Weise Torf akkumulieren. Neben dem Torfmoos bilden Rhizome und Wurzeln höherer Pflanzen das Acrotelm und geben ihm eine Festigkeit, die es erlaubt, auf Mooren zu gehen. Das Catotelm hingegen besteht hauptsächlich aus Wasser (bis zu 94 %) - es enthält somit weniger Feststoffe als Milch (EGGELSMANN 1988)!

Das Acrotelm kommuniziert mit der Außenwelt, es tauscht mit ihr Material und Energie aus. Die ablaufenden Prozesse werden wie im Mineralboden durch aerobe Mikroorganismen durchgeführt, ein vollständiger Abbau der Biomasse zu Kohlendioxid und Wasser wird jedoch durch den Sauerstoffmangel in größerer Tiefe verhindert. Es bildet sich Torf, der elementaren Kohlenstoff in größeren Mengen enthält und aus diesem Grund braun gefärbt ist und als Brennstoff dienen kann.

Der Moorwasserspiegel befindet sich immer im Acrotelm, dessen lockere Struktur einen Austausch von Wasser und Luft ermöglicht. Die Lage des Wasserspiegels und damit auch der Wassergehalt des Acrotelms können aber in Abhängigkeit vom Klima stark variieren, was auch eine variierende Einflusstiefe der Luft zur Folge hat.

Die Grenze zwischen Acro- und Catotelm ist der Bereich, über dem sich die Wasserverhältnisse und Abbauprozesse rasch ändern und unter dem die Verhältnisse weitgehend stabil bleiben. Dieser Grenzhorizont kann also gefunden werden, indem man die Wasserspiegelschwankungen über mehrere Jahre hinweg registriert, wobei der tiefste Wert dann den Grenzhorizont markiert (BRAGG 1982).

Das Catotelm ist der eigentliche Moorkörper und seine physikalischen Eigenschaften sind im Vergleich zum Acrotelm uniform und stabil. Es ist immer wassergesättigt und die Sauerstoffkonzentration ist unerheblich. Manchmal reichen die Wurzeln höherer Pflanzen ins Catotelm hinunter und führen zu schwachen Änderungen der Bedingungen. Selbst Mikroorganismen sind nur sehr wenige vorhanden, ein anaerober Abbau des Torfmaterials kann daher nur sehr langsam erfolgen.

Die Durchlässigkeit des Catotelms ist um einige Größenordnungen geringer als die des Acrotelms und innerhalb des Torfkörpers treten auch kaum tiefenbedingte Unterschiede auf (ROMANOV 1968, INGRAM 1978, IVANOV 1981, BRAGG 1982). Daher laufen alle Prozesse im Catotelm sehr träge ab und seine physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften ändern sich räumlich und zeitlich nur sehr wenig. Trotzdem spielt das Catotelm eine wesentliche Rolle in der Ökologie der Hochmoore.

Die Grundwasserkuppel

Mit ihrem Wassergehalt, der über dem der Milch liegt, kann man nach INGRAM (1992) die Hochmoore als eine sehr spezifische Art von See bezeichnen, ein See allerdings, der sich aus seinem Becken uhrglasförmig hinauswölbt.

Eine Grundlage für unser heutiges Verständnis von Funktion und Management dieser Ökosysteme wurde von INGRAM (1982) mit der „groundwater mound theory“ (Grundwasserkuppel Theorie) entwickelt. Diese Theorie besagt, dass ein intaktes Hochmoor als hydraulische und damit ökologische Einheit funktioniert und dass seine äußere Form dadurch bestimmt wird, wie Wasser und Vegetation miteinander agieren. Mehr noch, die Wuchsbedingungen für die Pflanzengesellschaften sind nur dann gegeben, wenn die Form des Moores mit der Theorie übereinstimmt. Diese Zusammenhänge sind von eminenter Bedeutung für den Schutz ungestörter und das Management beeinträchtigter Hochmoore.

Eine Grundwasserkuppel kann in jeder Art von Boden auftreten, die Theorie ist ein fundamentales Werkzeug der Bodenphysik

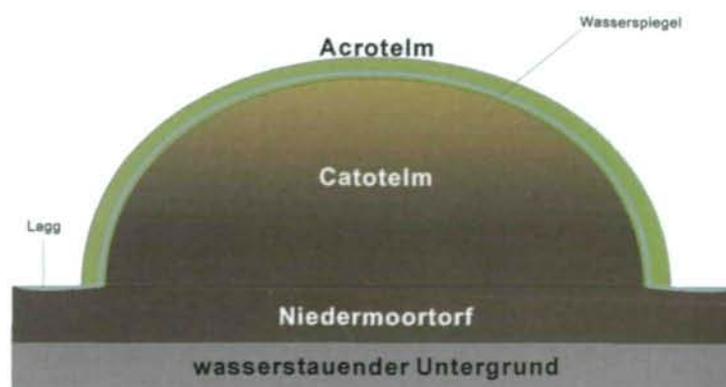


Abb. 10: Periodischer Kolk (Rotmoos/Weichselboden/Steiermark).



Abb. 11: Kolk (Siebenmöser/Gerlospass/Salzburg).

Der zweischichtige Aufbau eines Hochmoores



(CHILDS 1969). Das Konzept lässt sich am besten an einem Bodenstück zwischen zwei Drainagegräben, die bis zum wasserundurchlässigen Untergrund reichen, demonstrieren (Abb. 13).

Abb. 12: Der zweischichtige Aufbau von Hochmooren.

Abb. 13:
Entstehung
einer
Grundwasser-
kuppel
zwischen
Drainage-
gräben; nach
INGRAM
(1992).

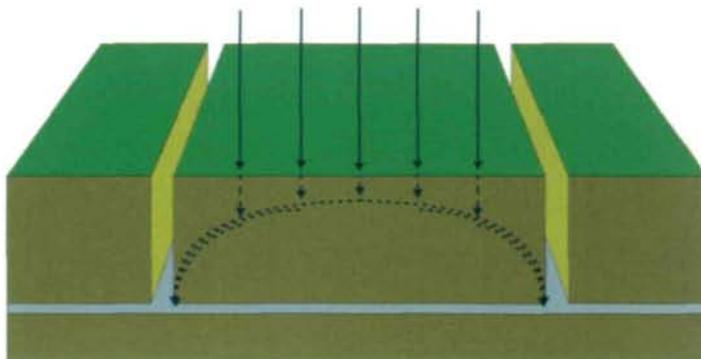


Abb. 14:
Grundwasser-
kuppel zwischen
Drainagegräben;
nach INGRAM
(1992).

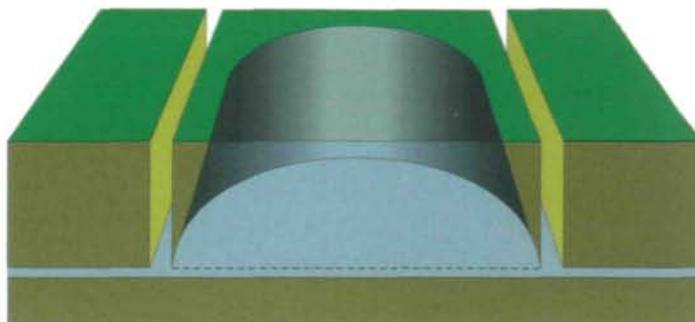
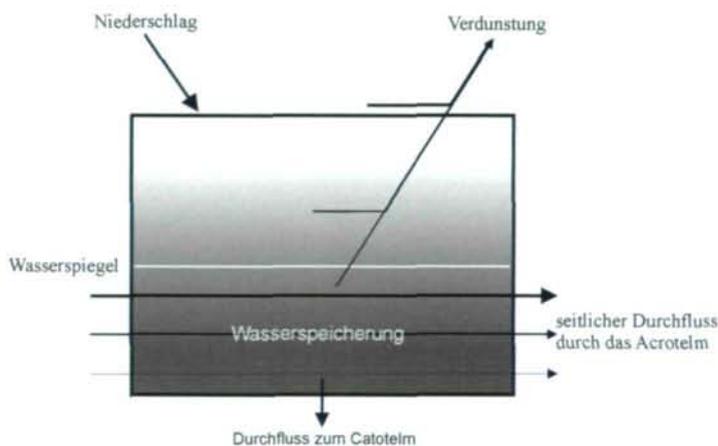


Abb. 15: Schematische Darstellung der Wasserbalance in einem Abschnitt des Acrotelms; P = Niederschlag; E = Evapotranspiration; U_{acr} = Acrotelmversickerung; U_{cat} = Catotelmversickerung; W = Wasserspeicherung. (Kursive Symbole bezeichnen Flux-Parameter.)



Fällt Regen gleichmäßig auf den Boden, sickert das Wasser vertikal zum Grundwasserspiegel und seitwärts zum nähergelegenen Graben. Der einzige Weg, den das Wasser nehmen kann, ist durch die Porensysteme des Bodens. Die Art und Weise wie das Wasser durch diese Porenräume sickert, hängt von der Struktur des Bodens ab und wird als dessen hydraulische Leitfähigkeit bezeichnet.

Wenn die Regenmenge die versickernde Wassermenge übertrifft, staut sich das Wasser im Boden auf und der Grundwasserspiegel wird steiler. Auf diese Weise wird das durch die Schwerkraft bedingte Versickern verstärkt. Sind Regenmenge (Eintrag) und versickerte Menge (Austrag) gleich, kommt

das System zu einem Gleichgewichtszustand, in dem der Grundwasserspiegel eine gewölbte Form aufweist und sich durch eine mathematische Beziehung als Halbellipsoid darstellen lässt (Abb. 14). Diese Beziehung zeigt Formel 1 später im Text.

Das Catotelm eines Hochmoores hat ebenfalls einen derartig gewölbten Grundwasserspiegel, den Gleichgewichtszustand zwischen dem Regen und der verzögerten Versickerung des Wassers durch den Torf. Das führte zur Idee, dass unter konstanten klimatischen Bedingungen das Catotelm so weit wachsen kann, bis dieser vom Klima bestimmte Gleichgewichtszustand zwischen Regeneintrag und Wasserabgabe erreicht ist. Dieser Zustand hat wiederum die Form einer Kuppel, allerdings wölbt sie sich über den umliegenden Boden.

Nun ist aber das Wetter ein ziemlich unsicherer Niederschlagslieferant; wie kann dann der regelmäßige Wassereintrag, der zur Erhaltung des Catotelms notwendig ist, gewährleistet werden? Die Erklärung liegt auf der Hand, wenn man sich daran erinnert, dass das eindringende Regenwasser ja zuerst das Acrotelm zu passieren hat, und das Acrotelm kann Wasser speichern. Die Dynamik dieser Wasserspeicherung ist in Abb. 15 dargestellt.

Regen fällt auf die Mooroberfläche und trifft zuerst auf die Pflanzendecke. Ein Teil des Wassers verdunstet, ohne die Mooroberfläche zu erreichen (Interzeption). Das ins Acrotelm eindringende Wasser muss zuerst einen ungesättigten Acrotelmbereich passieren, von dem es ebenfalls verdunstet (Evaporation) oder von Pflanzenwurzeln aufgenommen und über die Blätter abgegeben werden kann (Transpiration). Der Rest des eindringenden Wassers erreicht den Grundwasserspiegel und führt so zu dessen Anhebung. Auch von hier aus kann Wasser durch Evapotranspiration verloren gehen, es kann aber auch seitwärts, zum Moorrand hin, versickern oder ins Catotelm eindringen.

Das Acrotelm hat nun Eigenschaften, die es ermöglichen, diese verschiedenen Wasserbewegungen und einen konstanten Wasserspiegel zu kontrollieren, um die Menge des gespeicherten Wassers zu erhalten: Das Porenvolumen des Acrotelms nimmt

mit zunehmender Tiefe ab. Daher bewirkt dieselbe Wassermenge bei tief liegendem Grundwasserspiegel eine wesentlich größere Änderung als bei hohem Grundwasser (Abb. 16). Darüberhinaus ist die hydraulische Leitfähigkeit des lebenden oder jüngst abgestorbenen Torfmooses etwa 10 000 mal höher als die des wesentlich dichteren toten Materials an der Basis des Acrotelms (ROMANOV 1968, BRAGG 1982). Auf diesem Weg wird der Anstieg des Wasserspiegels bei starkem Regen durch verstärkte seitliche Drainage limitiert.

Dieser Effekt verhindert auch ein unkontrolliertes Abfließen des Überschusswassers auf der Mooroberfläche und damit auch die Erosion. Auf der anderen Seite verhindert in trockenen Perioden die höhere Dichte der tieferen Acrotelmschichten eben diese seitliche Drainage (INGRAM & BRAGG 1984) und somit einen zu großen Wasserverlust. Dazu kommt noch, dass die kapillaren Wassersäulen in der ungesättigten Acrotelmzone bei Trockenheit abreißen, womit ein Verlust von Wasser durch Evapotranspiration aus tieferen Schichten verhindert wird. Ein entsprechendes Phänomen kann auch in Sandböden beobachtet werden. Auf diese Weise bildet das Acrotelm eine aktive und variable Barriere gegen zu hohen Wasserverlust durch Evapotranspiration (INGRAM 1983). Diese Barriere kann allerdings durch tiefreichende Pflanzenwurzeln überbrückt werden, was bei gestörter Hydrologie zu einer Verstärkung der Austrocknung führen kann.

Der dauernde, wenn auch sehr langsame Wasserverlust durch das Catotelm in den Untergrund verursacht ein ständiges Bedürfnis für Wassernachlieferung, die vom Acrotelm auf die eben beschriebene Weise gewährleistet wird. Zugleich wirkt das Acrotelm auch als Klimafilter, indem es positive und negative Spitzen ausgleicht und genau die Menge an Wasser nachliefert, die das Catotelm benötigt.

Aber nicht nur auf kurze Klimaschwankungen kann das Hochmoor reagieren. Es enthält Mechanismen, um auf mittelfristige Änderungen in der Wasserversorgung reagieren zu können. Wird die Netto-Wasserversorgung mittelfristig (über Jahrzehnte hinweg) reduziert, kann der Wasserspiegel ins Catotelm verlagert werden. Der Teil des



Catotelms, der nun wieder Kontakt mit der Außenluft hat und nicht mehr wassergesättigt ist, wird einfach wieder ins Acrotelm einbezogen, das auf diese Weise eine höhere Mächtigkeit erhält. Die nun einsetzenden aeroben Abbauvorgänge führen mit der Zeit wieder zu einer normalen Acrotelmdicke, allerdings auf einer kleineren Grundwasserkuppel, die mit den geänderten Klimabedingungen im Gleichgewicht steht. Sollte das Wasserangebot steigen, steigt auch der interne Wasserspiegel und ein Teil des Acrotelms wird als weniger humifizierte Schicht in das Catotelm integriert. Auf diese Weise wird eine Anhebung der Grundwasserkuppel bewirkt. Diese Regelmechanismen zeigen, wie die Form der Mooroberfläche von der Grundwasserkuppel gesteuert wird.

Die Wasserverhältnisse lassen sich in einer Gleichung ausdrücken (Formel 1), die die quantitativen Beziehungen zwischen den verschiedenen Arten der Feuchtigkeit im Acrotelm über einen gewählten Zeitraum hinweg zum Ausdruck bringt (siehe auch Abb. 17):

$$P - E - U_{acr} - G - \Delta W = U_{cat}$$

Formel 1: P = Niederschlag, E = Evapotranspiration + Interzeption, U_{acr} = seitliche Drainage, G = Wasserverlust an der Moorbasis, ΔW = Anstieg der Wasserspeicherung, U_{cat} = Wassernachlieferung in das Catotelm.

Abb. 16: Auswirkung des Porenvolumens: In Trockenphasen, bei tiefem Wasserstand bewirkt selbst der Tau eine deutliche Anhebung des Grundwasserspiegels.

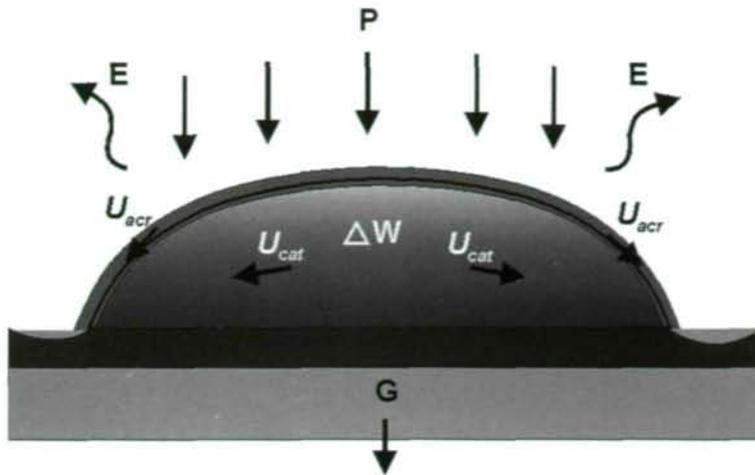


Abb. 17: Wasserbilanz eines Hochmoores.

Die Gleichung summiert die Vorgänge, die bei einer kontinuierlichen Wasserversorgung des Catotelms durch das Acrotelm und das Klima eine Rolle spielen. Die Theorie sagt uns, dass es für jedes U_{cat} eine bestimmte Grundwasserkuppel gibt. Die Per-

meabilität (Durchlässigkeit) des Catotelms, Umrissform und Größe des Moores und die Filterprozesse im Acrotelm wirken dann dergestalt, dass die Mooroberfläche immer etwa 50 - 100 cm über dem Grundwasserspiegel zu liegen kommt. Auf diese Weise erklärt die Grundwasserkuppel Theorie nicht nur das Rätsel des Wassertropfens in der Landschaft, sondern sie bietet auch eine Grundlage für die Kalkulation von Modellen für die physische Form realer Hochmoorökosysteme.

Neben seiner Größe bestimmt auch die Umrissform des Moores die potentielle Höhe der Grundwasserkuppel. So ist z.B. die Kuppel eines streifenförmigen Sattelhochmoores bei gleicher Querschnittsgröße höher als die eines runden Hochmoores, da der Wasserverlust G im Fall des streifenförmigen Moores im Wesentlichen nur über die seitlichen Moorränder erfolgt, während bei einer runden Form das Wasser nach allen Richtungen abfließen kann (Abb. 18). Das erklärt auch die Tatsache, dass Sattelhochmoore stabil sind, obwohl sie an den beiden schmalen Enden keine Grundwasserbasis haben. Der Wasserverlust ist hier so gering, dass das Fehlen der Grundwasserbasis damit aufgewogen wird.

Im Jahr 1932 publizierte GRANLUND einen Artikel über die Geologie von Hochmooren, in dem er sich mit dem Zusammenhang von Moorhöhe und jährlichem Niederschlag auseinandersetzte. Mit den Daten seiner Untersuchung konnte er diese Relation in einer Graphik darstellen (Abb. 19).

Grundwasserkuppel in Abhängigkeit von der Form der Grundfläche

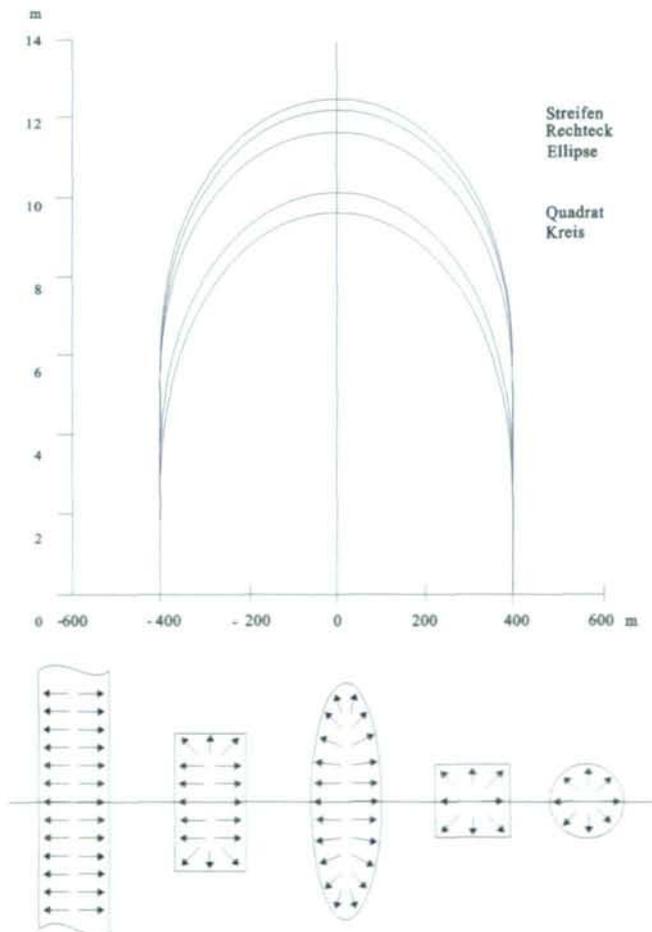


Abb. 18: Grundwasserkuppeln in Abhängigkeit von der Form des Moores.

Die Grenzen des Hochmoorwachstums

Die Theorie definiert bei gleichbleibenden Umweltbedingungen die klima- und größenspezifische Grundwasserkuppel als hydrologische Grenze des Hochmoorwachstums. Aber nicht jedes Moor hat diese Grenze auch tatsächlich erreicht. Es kann sein, dass es sich noch im Wachstum befindet oder dass es die biologische Grenze erreicht hat (Abb. 20 und 21).

Diese biologische Grenze (CLYMO 1978) wird durch die Wachstums- und Abbauvorgänge im Moor bestimmt: Bei gleichblei-

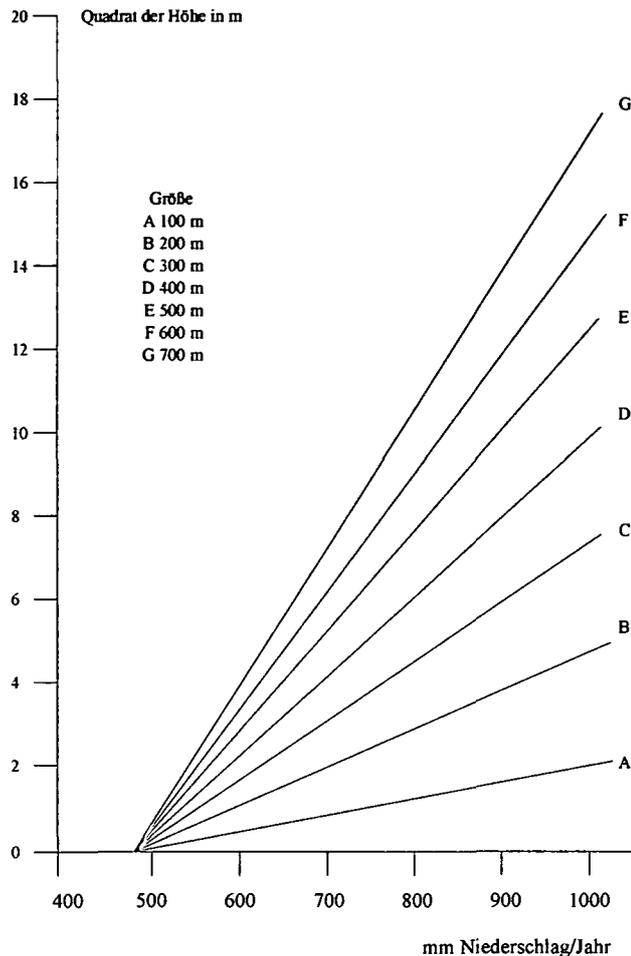


Abb. 19: Verhältnis der Höhe eines Hochmoores zum jährlichen Niederschlag und der Moorgröße. Daten von GRANLUND (1932); nach WICKMAN (1951).

benden Bedingungen verliert das Catotelm durch anaerobe Abbauvorgänge zwar langsam aber stetig an Substanz, die durch die fortschreitende Torfakkumulation vom Acrotelm aus kompensiert werden muss. In der Wachstumsphase der Moorentwicklung überwiegt diese Torfakkumulation den Substanzverlust, das Moor wächst, indem das Catotelm immer mächtiger wird. Deswegen verliert das Catotelm aber auch immer mehr Substanz. Die biologische Grenze ist dann erreicht, wenn Nachlieferung und Catotelmabbau im Gleichgewicht stehen und daher kein zusätzlicher Torf mehr akkumuliert werden kann. Bei entsprechenden Umweltbedingungen kann nun diese biologische Wachstumsgrenze auch unterhalb der hydrologischen Grenze liegen, sodass diese gar nicht erreicht werden kann.

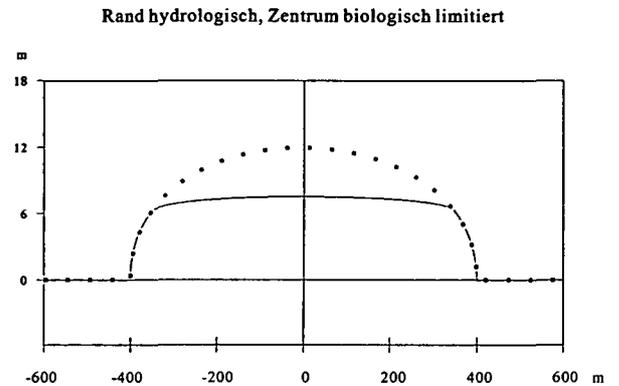
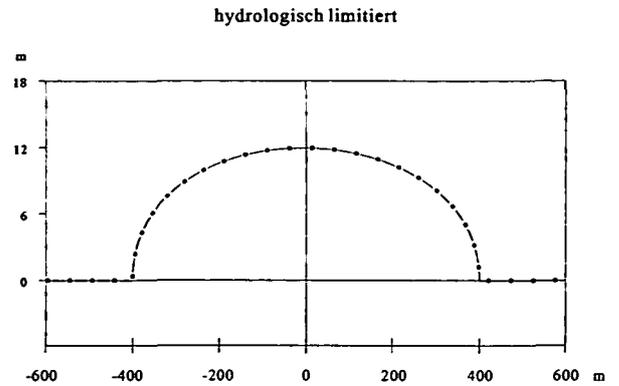


Abb. 20: Beispiele für ein hydrologisch limitiertes und ein randlich hydrologisch im Zentrum aber biologisch limitiertes Hochmoor.

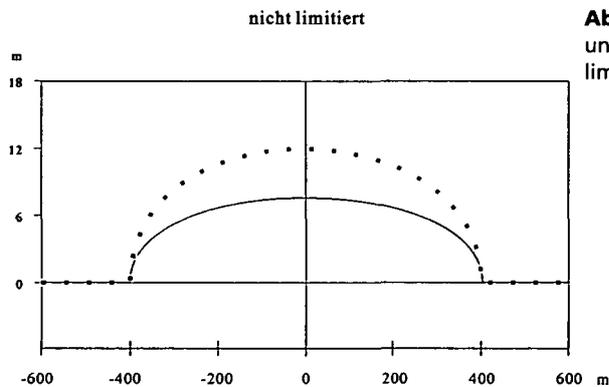


Abb. 21: Beispiele für ein unlimitiertes und ein biologisch limitiertes Hochmoor

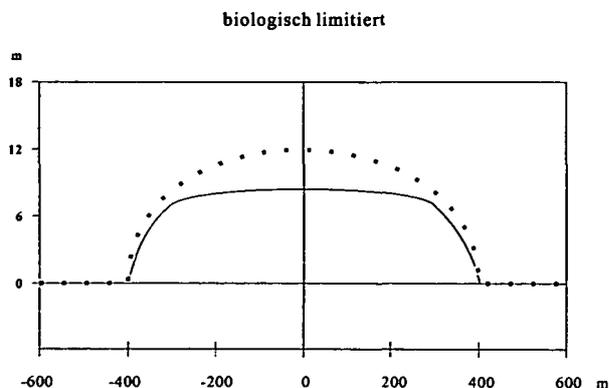


Abb. 22: Schematische Darstellung der Folgen einer Drainage der Moorweite.

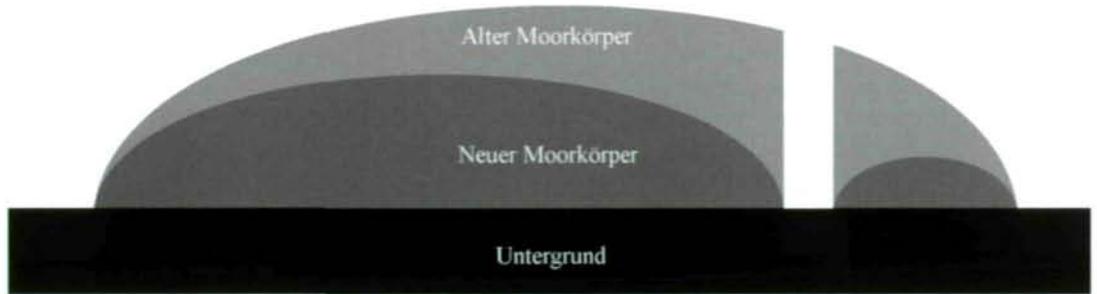
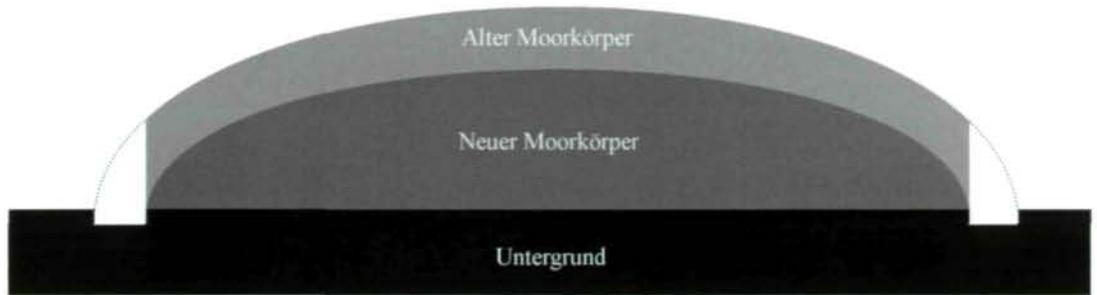


Abb. 23: Schematische Darstellung der Folgen einer randlichen Drainage.



Die Auswirkung von Störungen

Die Physik, aber auch unsere Intuition sagen uns, dass eine Kuppel aus Wasser eigentlich instabil sein muss. Trotzdem, auf sich selbst gestellt, ist ein Hochmoorökosystem eigentlich robust, mit eingebauten Mechanismen, die ihm ein Überleben ermöglichen und auch Reaktionen auf Wetter- und Klimaveränderungen erlauben. Vom Menschen verursachte Veränderungen erfolgen allerdings wesentlich plötzlich als natürliche und führen daher zur Störung des sensiblen Systems. Welches sind nun die Störungen, die sich auf die Grundwasserkuppel auswirken?

Primäre Effekte

Beweidung: Auch unter natürlichen Bedingungen dienen die Moore als Weidegebiete verschiedener wildlebender Tiere (COULSON 1992), der Einfluss des Menschen aber führt zu einer derartigen Intensivierung - sei es durch die Anzahl oder durch die Art der Weidetiere - dass dies Konsequenzen für die Ökohydrologie hat. Der stärkste Einfluss geht dabei von Schafen und Rindern aus, einerseits durch die Beweidungsdichte, andererseits durch den Wechsel der Weideflächen bei Koppelhaltung. Beweidung hat die Umverteilung von Biomasse zur Folge, aber auch eine Verdichtung des Acrotelms durch den Betritt. Die über große Flächen entnommene Biomasse wird

in Form von Exkrementen an wenigen Stellen konzentriert. Beides, Betritt und Nährstoffumverteilung, führt zu einer Veränderung der Vegetation und damit zu geänderten Wasseransprüchen mit den entsprechenden Konsequenzen für Hydrologie und Produktion: Die Verdichtung führt direkt zu einem anderen Verhalten der AcrotelmfILTER, die Änderungen in der Stoffbilanz zu veränderten Abbauprozessen und damit indirekt zu einem ähnlichen Ergebnis. Insgesamt führt das zu Störungen im sensiblen System der Catotelmversorgung und damit zu einer Störung des Gleichgewichtes.

Entwässerungsgräben auf der Moorweite: Der gewünschte Kurzeffekt einer Moordrainage ist, den Abfluss des Wassers aus dem Acrotelm und, wenn mitbetroffen, aus dem Catotelm zum Moorrand hin zu beschleunigen. Die Folge ist, dass für die Versorgung des Catotelms kaum noch Regenwasser zur Verfügung steht, der Grundwasserspiegel - und damit auch die Mooroberfläche - wird wie bei mittelfristigen Klimaveränderungen auf ein niedrigeres Niveau abgesenkt (Abb. 22). Sind die Drainagen konturparallel angelegt, entziehen sie auch der tiefergelegenen Vegetation der Randbereiche Wasser. Alte Drainagen können sich wieder mit Torfmoos auffüllen, sodass es aussieht als wäre die Wunde verheilt. Allerdings braucht es unverhältnismäßig länger, die hydrologischen Bedingungen wiederherzustellen, als einen Graben mit lockerem

Torfmoos auszufüllen. Es gibt aber auch Gräben, die sich mit zunehmendem Alter eintiefen; dies hängt einerseits von ihrem Gefälle und damit von der Geschwindigkeit der Wasserbewegung ab, andererseits von oxidativen Abbauprozessen, bedingt durch das bewegte Wasser. Auch das periodische Säubern von Gräben ist weit verbreitet. Insgesamt führt all dies zu einer weiteren Absenkung der Grundwasserkuppel bis das Grundwasserregime des Mineralbodens erreicht ist.

Randliche Entwässerung: Da Hochmoore meist in Gegenden auftreten, die durch einen Wasserüberschuss ausgezeichnet sind, wird oftmals das Umland entwässert, um die Bedingungen für die Landwirtschaft zu verbessern. Randliche Drainagen haben aber entschieden einen negativen Einfluss auf die Grundwasserkuppel: Ihre Basis wird abgesenkt und damit auch das Gleichgewicht verschoben. Die Mooroberfläche fällt langsam trocken, der Effekt gleicht einer mittelfristigen Klimaänderung. Stärker wird diese Absenkung der Grundwasserkuppel, wenn die Drainagen im Randsumpf oder sogar im Moorrandbereich liegen (Abb. 23). Neben der Absenkung und Verkleinerung der Basis bewirken die randlichen Drainagen auch einen vermehrten Wasserverlust des Catotelms und damit eine Verstärkung der Austrocknung.

Aufforstung: Die Aufforstung von Hochmooren wirkt sich in vielerlei Hinsicht negativ auf die Ökohydrologie aus. Neben der nötigen Drainage führt der Einsatz von schweren Maschinen zur Acrotelmverdichtung und die Verwendung von Düngemitteln zu einer Änderung des Nährstoffhaushaltes mit all seinen Folgen. Hinzu kommt noch, dass tieferreichende Wurzeln die Austrocknungsbarriere im wasserungesättigten Acrotelm überbrücken und so einen Wasserentzug für das Catotelm bewirken. Selbst wenn Aufforstungen wenig direkte Einwirkungen auf das Catotelm zu haben scheinen, sind es neben den besprochenen Effekten auch die Langzeitwirkungen, die als Störfaktoren zur Wirkung kommen.

Torfabbau: Diese Nutzung von Hochmooren schädigt das Ökosystem am offensichtlichsten. Für den industriellen Torfabbau muss zuerst drainagiert und dann das

Acrotelm entfernt werden. Danach wird das Catotelm abgebaut. Alle bisher besprochenen Schädigungen wie Grundwasserabsenkung, Verdichtung, Erosion und oxidative Abbauvorgänge kommen hier zum Tragen. Traditioneller, ländlicher Torfstich, der ja nur kleinflächig und langsam betrieben wird, kann hingegen viel geringere Schäden verursachen und die Chancen für eine Regenerierung offen lassen.

Sekundäre Effekte

Die hydraulische Theorie impliziert, dass, wenn wir die Balance einer Grundwasserkuppel ändern, sich ihre Form so lange verändern wird, bis ein neuer Gleichgewichtszustand entsteht. Während dieser Vorgang in Mineralböden die einzige Folge eines Eingriffs sein kann, ist die Situation in Hochmooren durch die enge Beziehung von stabilisierenden Prozessen und der Grundwasserkuppel wesentlich komplizierter und wird noch verstärkt durch die organische Natur des Torfes.

Die meisten primären Effekte bewirken eine Wasserabsenkung im Acrotelm. Torf hat nun die Eigenschaft, bei Austrocknung zu schrumpfen. Das geschieht durch eine Reduktion des Porenvolumens und die Umlagerung der Partikel und verstärkt sich mit zunehmender Humifikation des Torfes. Wenn Torf austrocknet, kann er durch Wiedervernässung nicht mehr regeneriert werden (HOBBS 1986), vielmehr führen die geänderten Verhältnisse dazu, dass Spaltenräume entstehen, die ein Eindringen von Wasser in tiefere Bereiche - und damit aerobe Abbauprozesse - ermöglichen.

Ist der Torf einmal dichter gepackt, sei es durch Schrumpfung oder durch Abbauvorgänge, liegen die festen Partikel enger beisammen und die hydraulische Leitfähigkeit ist hinabgesetzt. Dieser Effekt sollte nun das Versickern des Wassers nach den Moorrändern hin verzögern oder verhindern und so zu einer Vernässung des Zentrums führen. Ein derartiger Vorgang wurde von SCHNEEBELI (1989) bei der „spontanen Regeneration“ eines gestörten Hochmoores beobachtet; der zeitliche Aspekt eines derartigen Vorganges liegt allerdings im Bereich von Jahrzehnten bis Jahrhunderten. HOBBS (1986) vermutet,

dass dieser Effekt durch die Kompression des wassergesättigten Torfes im Catotelm noch verstärkt wird: Durch das Austrocknen verliert der Oberflächentorf den Auftrieb, den er im wassergesättigten Zustand hat, und übt daher Druck auf die tieferliegenden Torfschichten aus. Die Anwesenheit von Bäumen verstärkt diesen Vorgang, sodass Drainage und Baumwuchs die Wasserleitfähigkeit im gesamten Torfprofil reduzieren und so die Grundwasserkuppel beeinflussen. Das Resultat ist ein Anstieg des Wasserspiegels bei gleichzeitigem Schrumpfen der oberflächennahen Schichten. Daher sind auch die Prognosen für eine zweite Baumgeneration bei Hochmooraufforstungen negativ (SCHNEEBELI 1989).

Die Reaktionen des Hochmoorökosystems auf die verschiedenen Beeinträchtigungen können oft erst mit großer zeitlicher Verzögerung wahrgenommen werden. Olivia BRAGG (pers. Mitteilung) errechnete für ein 1 km langes Moor in Schottland eine Verweildauer des Grundwassers von 250 Jahren! Diese Berechnung bietet auch eine Skala für die Reaktionszeit des Hochmoores bei mittelfristigen Klimaänderungen. Gleiches gilt auch für viele menschliche Eingriffe. Häufig ist ein Leben zu kurz, um die Auswirkung solcher Eingriffe noch zu erleben. Diese Zeitskala eröffnet uns aber auch die große Chance, rechtzeitig solche Veränderungen zu reparieren oder zu entfernen, noch bevor ein unumkehrbarer Endzustand erreicht ist.

Die Natur warnt uns vor

Häufig kann man Birken auf unseren Mooren beobachten, und diese Moorbirke (*Betula pubescens*) wird allgemein zu den typischen Moorpflanzen gezählt. Doch sie ist gar keine „echte“ Moorpflanze, vielmehr ist sie ein wichtiger Indikator für gestörte Moore (und daher auch häufig anzutreffen). Birken können nur gedeihen, wenn der Moorwasserspiegel über eine längere Zeit hinweg tief genug ist, um für das Wurzelsystem eine Sauerstoffzufuhr zu ermöglichen. Ist dieser Umstand gegeben, bedeutet das aber zugleich, dass der Wasserstand für das Moor zu niedrig ist. Ähnliches gilt für das Pfeifengras (*Molinia caerulea*). Breitet sich eine dieser Arten in einem Hochmoor plötzlich aus, ist

das ein Hinweis darauf, dass die Hydrologie gestört ist, und oft ist das bei Mooren der Fall, bei denen vor einigen Jahrzehnten eine Randentwässerung stattgefunden hat. Ein gutes Beispiel dafür ist das Ramsar-Gebiet Pürgschachenmoos im Ennstal. Randdrainagen, die in den 50er Jahren angelegt wurden, zeigten ihre Auswirkung erst nach einem halben Jahrhundert: In den 90er Jahren setzte verhältnismäßig rasch eine auffällige Vermehrung der Birken ein und die daraufhin durchgeführten hydrologischen Untersuchungen zeigten deutlich, dass unter den gegebenen Bedingungen der Moorwasserspiegel die Oberfläche gar nicht mehr erreichen kann (BRAGG et al. 1993, BRAGG & STEINER 1995, GINZLER 1996, 1997).

Zusammenfassung

Dieser Artikel versucht, die hydrologische Funktionsweise von Hochmooren auf der Basis der Grundwasserkuppelhypothese von INGRAM (1982) zu erklären. Er möchte zeigen, welche ausgeklügelten Mechanismen die Natur entwickelt hat, um Ökosysteme zu ermöglichen und zu erhalten, die einen Wasserkörper Meter über der Landoberfläche stabil zu halten, und wie Hochmoore auf Klimawandel und Störungen durch den Menschen reagieren.

Literatur

- BRAGG O.M. (1982): The Acrotelm of Dun Moss - Plants, Water and Their Relationships. — Ph.D. Thesis, University of Dundee.
- BRAGG O.M., MOLDASCHL E., REITER K. & G.M. STEINER (1993): Expertise zum Schutz und Management des Pürgschachenmooses und seiner näheren Umgebung im steirischen Ennstal, Gemeinde Ardnig, Bezirk Liezen. — Im Auftrag des WWF, des Bundesmin. f. Umwelt, Jugend und Familie und des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung, Wien: 1-103.
- BRAGG O.M. & G.M. STEINER (1995): Applying groundwater mound theory to bog management on Puergschachenmoos in Austria. — *Gunneria* **70**, Trondheim: 83-96.
- CHILDS E.C. (1969): An Introduction to the Physical Basis of Soil Water Phenomena. — John Wiley & Sons Ltd., London: 1-493.
- CLYMO R.S. (1978): A Model of Peat Bog Growth. — In: HEAL O.W. & D.F. PERKINS (Eds), *Production Ecology of British Moors and Montane Grasslands*. Springer Verlag, Berlin: 187-223.

- COULSON J.C. (1992): Animal Communities of Peatlands and the Impact of Man. — In: BRAGG O.M., HULME P.D., INGRAM H.P.A. & R.A. ROBERTSON (Eds), Peatland Ecosystems and Man: An Impact Assessment. Department of Biological Sciences, University of Dundee.
- EGGELSMANN R.R.F. (1988): Rewetting for Protection and Renaturation/Regeneration of Peatland After or Without Peat Winning. — Proceedings of the VIII. International Peat Congress, Leningrad, I.P.S.
- GINZLER Ch. (1996): Die hydrologischen Verhältnisse des Pürgschachenmooses im Ennstal, Steiermark. — Diplomarbeit, Univ. Wien: 1-59.
- GINZLER Ch. (1997): A hydrological approach to bog management. — In: PARKYN L., STONEMAN R.E. & H.A.P. INGRAM (Eds), Conserving Peatlands. CAB International, Oxon, U.K: 280-286.
- HOBBS N.B. (1986): Mire Morphology and the Properties and Behaviour of Some British and Foreign Peats. — Quaterly Journal of Engineering, Geology, London **19**: 7-80.
- INGRAM H.P.A. (1978): Soil Layers in Mires: Function and Terminology. — Journal of Soil Sciences **29**: 224-227.
- INGRAM H.P.A. (1982): Size and Shape in Raised Mire Ecosystems: A Geophysical Model. — Nature **297**, No. 5864: 300-303.
- INGRAM H.P.A. (1983): Hydrology. — In: GORE A.J.P. (Ed.), Mires: Swamps, Bog, Fen and Moor; Ecosystems of the World. **4A**. Elsevier, Amsterdam: 67-158.
- INGRAM H.P.A. (1992): Introduction to the Ecohydrology of Mires in the Context of Cultural Perturbation. — In: BRAGG O.M., HULME P.D., INGRAM H.P.A. & R.A. ROBERTSON (Eds), Peatland Ecosystems and Man: An Impact Assessment. Department of Biological Sciences, University of Dundee: 67-93.
- INGRAM H.P.A. & O.M. BRAGG (1984): The Diplotelmic Mire: Some Hydrological Consequences Reviewed. — Proceedings of the VII. International Peat Congress, Dundee, I.P.S. **1**: 220-234.
- IVANOV K.E. (1981): Water Movement in Mirelands. — THOMSON A. & H.P.A. INGRAM (Transl.), Academic Press, London: 1-276.
- LINDSAY R.A., CHARMAN D.J., EVERINGHAM F., O'REILLY R.M., PALMER M.A., ROWELL T.A. & P.H. OSWALD (1988): The Flow Country. The Peatlands of Caithness and Sutherland. — In: RATCLIFFE D.A. & P.H. OSWALD (Eds), Nature Conservancy Council, Peterborough: 1-174.
- ROMANOV V.V. (1968): Hydrophysics of Bogs. — Israel Programme for Scientific Translations, Jerusalem: 1-299.
- SCHNEEBELI M. (1989): Zusammenhänge zwischen Moorwachstum und hydraulischer Durchlässigkeit und ihre Anwendung auf den Regenerationsprozess. — Telma **2**: 257-264.
- SJÖRS H. (1948): Myrvegetation i Bergslagen. — Acta Phytogeographica Suecica, Uppsala **21**: 1-299.
- STEINER G.M. (1992): Österreichischer Moorschutzzkatalog. — Grüne Reihe des Bundesministeriums für Umwelt, Jugend und Familie Band **1**, Styria Medien Service, Graz: 1-509.

Anschrift des Verfassers:

Ao.Univ.Prof.Dr.Gert Michael STEINER
Department für Naturschutzbiologie,
Vegetations- und Landschaftsökologie,
Fakultät für Lebenswissenschaften
der Universität Wien
Althanstraße 14, 1090 Wien, Austria
E-Mail: gert.michael.steiner@univie.ac.at

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Stapfia](#)

Jahr/Year: 2005

Band/Volume: [0085](#)

Autor(en)/Author(s): Steiner Gert Michael

Artikel/Article: [Zum Verständnis der Ökohydrologie von Hochmooren / Towards an understanding of the ecohydrology of raised bogs 27-39](#)