

TELMA	Band 23	Seite 95 – 115		Hannover, November 1993
-------	---------	----------------	--	-------------------------

DENKEN WIE EIN HOCHMOOR: Hydrologische Selbstregulation von Hochmooren und deren Bedeutung für Wiedervernässung und Restauration *)

THINKING LIKE A BOG:
Hydrological selfregulation of raised bogs
and its importance for rewetting and restoration

HANS JOOSTEN **)

ZUSAMMENFASSUNG

Um einen Torfkörper zu erhalten, braucht ein Hochmoor nur eine sehr geringe Wasserzufuhr. Diese muß aber absolut konstant über das Jahr verteilt sein, weil in jedem Moment, in dem der Körper nicht wassergesättigt ist, der Torf oxidieren wird. Das "Mittel", um diese konstante Zufuhr zu garantieren, das Akrotelm, muß sich dauernd erneuern, um die notwendige große Speicherkapazität und den vertikalen Durchlässigkeitsgradienten zu erhalten. Die akrotelmbildenden Pflanzenarten müssen einen "kritischen Kompromiß" zwischen einer ziemlich langsamen und einer ziemlich schnellen Humifikation sowie zwischen einer möglichst beschränkten Durchlässigkeit und einer möglichst großen Speicherkapazität gestalten. Auf der nördlichen Halbkugel verfügen nur einige Sphagnumarten über solche Kombinationen von entgegengesetzten Eigenschaften. Weil diese Sphagnumarten keine Wurzeln und wenig Kapillarität besitzen und weder längere Austrocknung noch längere Überstauung ertragen, wachsen sie nur in einem sehr beschränkten Wasserstandsbereich. Die hydrologische Selbstregulation eines lebenden Hochmoores ist sowohl auf die Erfordernisse der Hochmoorvegetation als auch auf die des Torfkörpers abgestimmt. Dazu verfügt das Hochmoor über mehrere negative Rückkoppelungsmechanismen: Änderung von Albedo, Akrotelm, Mooratmung, intraspezifische morphologische Änderungen, Änderungen in den Mikrovegetationsmustern und Änderungen in den Makrovegetationsmustern. Eine lebende torfbildende Vegetation ist eine Voraussetzung, um ein Hochmoor langfristig stabil zu erhalten.

*) Vortrag gehalten auf der Arbeitstagung der Sektionen II und V der DGMT am 26.05.93 in Gnarrenburg

**) Anschrift des Verfassers: Hans Joosten, Laboratorium voor Palaeobotanie en Palynologie, Heidelberglaan 2, NL-3584 CS Utrecht

Es gibt aber einige Selbstregulationsmechanismen, die ein anthropogen geschädigtes (totes) Hochmoor unter Umständen ins Leben zurückrufen können. Wenn ein Hochmoor zu weit geschädigt ist, sind natürliche Prozesse dazu nicht mehr imstande, und es sind erhebliche anthropogene Gestaltungs-Aktivitäten nötig. Diese müssen die hydrologischen Bedingungen für Hochmoorsphagnen wieder herstellen. Von den Selbstregulationsmechanismen können dabei nur Akrotelm und Mooratmung einigermaßen simuliert werden.

SUMMARY

Only a very small water supply is needed to maintain a bog's peat deposit. This supply must be distributed constantly over the year, because peat will oxidize when the peat body is not completely saturated with water. The "device" to guarantee this constant supply must renew itself continuously to maintain a large storage coefficient and a specific vertical gradient in permeability. The plants to built up an acrotelm must realize a "critical compromise" between a rather slow and a rather fast humification, and between a lowest possible permeability and a largest possible storage coefficient. In the northern hemisphere only some species of Sphagnum have the right combination of these opposing properties. These Sphagnum species have no roots and have only a limited capillarity. They do not tolerate a long-lasting desiccation nor a long-lasting inundation. Therefore they only thrive in an environment with limited waterlevel fluctuations.

The selfregulation of a raised bog aims both at the requirements of the bog vegetation and that of the peat body. To this end, a raised bog has several negativ feedback mechanisms: change in albedo, acrotelm, mooratmung, intraspecific morphologic changes, changes in vegetational micro- and macropatterns.

A living bog vegetation is a prerequisite to maintain a raised bog on the long run. Some selfregulation mechanisms, however, may resuscitate a damaged (dead) raised bog. In case of large injuries, natural processes may be incapable to regenerate the bog, and substantial anthropogenic measures are necessary. These measures have to reinstall conditions that satisfy the hydrological demands of bog Sphagna. The only selfregulation mechanisms that can be simulated to some extent by Man are acrotelm and mooratmung.

"Eine starre Struktur kann man im allgemeinen auseinandernehmen und wieder zusammensetzen. Man kann sie meistens auf Kombinationen aus wenigen Normbauteilen zurückführen. ... In einem echten System folgen aber nicht alle makroskopischen Eigenschaften aus Komponenteneigenschaften und ihren Kombinationen. Sie ergeben sich oft nicht aus statischen Strukturen sondern aus den dynamischen Wechselwirkungen, die innerhalb des Systems ebenso wie zwischen dem System und seiner Umwelt spielen. Ein Organismus ist nicht durch die Summe der Eigenschaften seiner Zellen definiert. In chemischen Reaktionssystemen können bestimmte Moleküle, die selbst gar nicht in die Reaktion eingehen, unter bestimmten Voraussetzungen katalytische Wirkung ausüben und damit das gesamte dynamische System auf entscheidende Weise beeinflussen. Ein Mensch, der sich - vielleicht nur einmal in seinem ganzen Leben - verliebt, verändert das Leben der Gemeinschaft, der er angehört. Damit ist aber schon angedeutet, daß eine systemhafte Betrachtungsweise auch zwingend zu einer dynamischen Perspektive führt, denn es sind ja in der Regel die Wechselwirkungen, durch die ein System als solches beobachtbar und definierbar wird."

Erich Jantsch 1992, S. 55.

1. Einführung

Von einem kybernetischen Gesichtspunkt aus gibt es zwischen Elementen drei Typen von "Beziehungen": Erstens die positive Rückkoppelung, wobei der Erfolg einer Aktion zu einer Verstärkung dieser Aktion führt. Positive Rückkoppelungen können nicht unausgesetzt existieren, weil sie zur Explosion führen. Positive Feedback-Mechanismen sind aber in der Natur durchaus wichtig in bezug auf die Destabilisierung bestehender und die Entwicklung neuer Formen. Sich neu ansiedelnde *Sphagnum*-Pflanzen zum Beispiel versauern und vergiften die Umgebung und verbessern damit die Umwelt für sich selbst und verschlechtern sie für andere Pflanzenarten. Die hydrologische und hydrochemische "Kooperation" zwischen den Torfmoospflanzen führt dann zu einer verbesserten Lebensfähigkeit der Pflanzen in dem entstehenden Gesamtsystem. So kann schließlich ein ganz neues Phänomen, ein Hochmoor, entstehen.

Der zweite Typ ist die neutrale Relation, wobei die Elemente keine Beziehung zueinander haben. Deshalb ist er eigentlich kein eigener Typ sondern nur der Nullwert der beiden anderen Typen.

Der dritte Typ ist die negative Rückkoppelung, wobei der Erfolg einer Aktion die Aktion bremst. Nur negative Rückkoppelungsmechanismen sind in der Lage, "Systeme" fortbestehen zu lassen. Deshalb führt positive Rückkoppelung zu "Erstmaligkeit", negatives Feedback führt zu "Bestätigung" (JANTSCH 1992). Das bedeutet auch, daß jedes Phänomen, das sich auf einem bestimmten temporellen und räumlichen Maßstab stabil zeigt, über auf diesem Maßstab wirkende negative Rückkoppelungsmechanismen verfügen wird, d.h. "Selbstregulation" kennt. Selbstregulation ist der Prozeßkomplex, mit dem eine extern oder intern induzierte Änderung in dem Zustand oder den Funktionen des Systems zu einer Reaktion führt, die das System entweder wieder in den ursprünglichen Zustand zurückversetzt oder sich so den neuen Bedingungen anpassen läßt, daß seine grundlegenden Eigenschaften und Funktionen nicht zerstört werden (IVANOV 1981).

Hochmoore sind Landschaften die sich über Jahrhunderte und Jahrtausende nicht grundsätzlich geändert haben. Sie haben damit gezeigt, langfristig einen ziemlich stabilen Wasserstand gewährleisten zu können. Im folgenden werden wir auf die Suche nach den zurückliegenden quantitativ hydrologischen negativen Rückkoppelungsmechanismen (hydrologische Selbstregulation) von Hochmooren gehen.

Wir werden dazu das System "Hochmoor" von zwei Seiten betrachten: Einerseits aus der Sicht eines Hochmoorkörpers, andererseits aus der Sicht der hochmoorbildenden Pflanzen. Auf diese Weise können wir in die Voraussetzungen für die Regeneration von Hochmoorvegetation und -landschaft Einsicht bekommen.

Wenn wir so das Hochmoor als System betrachten, stoßen wir auf eine grundlegende Komplementarität von Struktur und Funktion, von "Sein" und "Werden", die dem Hochmoor eine gewisse Autonomie verschafft. Diese relative Autonomie ist paradoxerweise abhängig von einem gewissen Austausch mit der Umwelt. Den Zustand von Ungleichgewicht kann das Hochmoor nur durch ständiges Interferieren mit den (sich dauernd ändernden) Außenbedingungen aufrechterhalten. Die Autonomie gegenüber der Umwelt wird wohl als "ein der Existenz-Ebene des Systems entsprechendes Bewußtsein" aufgefaßt (JANTSCH 1992): "Denken wie ein Hochmoor..." (nach LEOPOLD 1949).

2. Das Hochmoor als System

2.1. Was ist ein Hochmoor?

Wir definieren ein Hochmoor als eine Landschaft, die

- dominiert wird von ombrotraphenten (nur von der Atmosphäre gespeisten) torfbildenden Pflanzengesellschaften und sich
- in einem bestimmten Klima (atmosphärische Bedingungen) und
- als Folge der hydraulischen Eigenschaften des Torfes und der Vegetation
- über den regionalen Grundwasserstand erhebt (JOOSTEN & BAKKER 1987).

In dieser Definition wird **nicht** auf bestimmte Pflanzen oder Pflanzengesellschaften verwiesen. Definitionen wie "ein Hochmoor ist alles, was von Sphagnen dominiert wird", oder "Hochmoore sind Landschaften, in den die Vegetation zu den Klassen Oxycocco-Sphagnetea und Scheuchzerieta gehört" werden meines Erachtens den eigenartigen und einzigartigen Eigenschaften dieser außerordentlichen Landschaften nicht gerecht.

Aufgrund klimatischer und biogeographischer Bedingungen sind jedoch in einem bestimmten Gebiet und Klima nur sehr bestimmte Pflanzen(gesellschaften) in der Lage, ein Hochmoor zu bilden. Um das verstehen zu können, müssen wir anfangs denken wie ein Hochmoor-torfkörper.

2.2. Das Paradox "Hochmoor"

Ein Hochmoor, ein hohes Moor, ist ein Paradox: Es vereint in sich zwei im allgemeinen entgegengesetzte Eigenschaften: Hoch und naß. Hoch und trocken sind die normalen Bedingungen, hoch und naß ist ein abnormaler, instabiler Zustand.

Dieses Paradox wird oft erklärt durch Kapillarkräfte. NÖGGERATH (1875): "Hochmoore nennt man sie, weil sie sich meist an ihrer Oberfläche gewölbeartig erheben, nach der Mitte hin auf 16 bis 40 Fuss über ihre Umgebung. Diese Erscheinung wird durch die Capillarkraft der über ihre Oberfläche wachsenden Pflanzen und die Entwicklung von Gasen aus der unter der vegetirenden Decken befindlichen in der Zersetzung begriffenen Pflanzen hervorgebracht, das Wasser steigt dadurch über sein Niveau in die Höhe."

Das Höhenwachstum der Hochmoore würde aus dieser Sicht durch die Mächtigkeit gebremst werden, wobei die Kapillarität des *Sphagnum*-Torfes zu gering wäre, um die Vegetation mit Wasser zu versorgen (siehe zum Beispiel VON BÜLOW 1927).

Es gibt aber viele Gründe, aus denen die Kapillarität nicht die Erklärung sein kann:

- Die oberen Schichten des Hochmoores sind zu grobporig um eine Kapillarströmung über mehrere Meter realisieren zu können (INGRAM 1982, 1983).
- Von Kapillarkräften kann kein hohes Wasserpotential verursacht werden; offenes Wasser könnte im Hochmoor nicht bestehen (INGRAM 1982).
- Genährt von kapillarem Wasser wären die Unterschiede zwischen der Hochmoorvegetation und der Vegetation der Umgebung nicht so groß, weil sie von demselben Wasser gespeist würden.
- Kapillarkräfte können auch die spezifische Form des Hochmoores, in dem die Ränder niedriger sind als der Kern, nicht erklären.

Die Form eines Hochmoores hat viel Ähnlichkeit mit der Aufwölbung des Wasserspiegels in einem Boden zwischen zwei Gräben. Auch die hohen Wasserstände im Hochmoor und damit die Form des Hochmoores sind das Resultat eines dynamischen Gleichgewichts zwischen der Netto Nahrung aus Regenwasser und der Abfuhr des Wassers durch Torf und Vegetation. Ohne Niederschlag würde es überhaupt keine Hochmoore geben.

Es war Johannes DAU, der bereits 1823 die wesentlichen Merkmale der Hochmoore eindrucksvoll beschrieben hat:

"Vom Regen nur und Tau des Himmels ist es aufgewachsen
Die Erde nährt es nicht
Und wenn das Wasser sonst den Abhang eilends flieht
Hier siehst Du es auf Höh und Abhang weilen."

Die grobe Form eines Hochmoores kann ziemlich einfach in hydrologischen Termen beschrieben werden, wenn wir von zwei Annahmen ausgehen:

1. Der Torfpaket ist hydraulisch unabhängig vom Untergrund: Die Durchlässigkeit des Liegenden unter dem Torf ist gleich Null. Es zeigt sich im Gelände, daß der Wasserflux von einem Hochmoor zum Liegenden meistens sehr gering ist (EGGELSMANN 1960, BAY 1968, SMITH 1972, VERRY & BOELTER 1972; siehe aber auch SIEGEL & GLASER 1987).
2. Die Oberfläche des Hochmoores fällt mit dem Wasserstand zusammen. Dieses ist auch in einem lebenden Hochmoor ungefähr der Fall.

Für ein rundes Hochmoor gilt dann:

$$\frac{U}{k} = \frac{2h^2}{R^2 - r^2}$$

wobei h = Moorwasserstand (und Torfmächtigkeit) in Punkt r , U = Niederschlagsmenge, die durch das Torfpaket abströmt, k = Durchlässigkeit des Torfes, R = Radius der Torflagerstätte, r = Abstand von einem Punkt bis zur Moormitte (HUISMAN 1972, INGRAM, 1982, 1983, JOOSTEN & BAKKER 1987, BAKKER 1992).

Wenn wir diese Formel für ein durchschnittliches Hochmoorprofil in Niedersachsen (EGGELSMANN 1967) anwenden, zeigt sich etwas Erstaunliches:

Um einen solchen Torfkörper ständig und völlig naß zu erhalten, ist, entsprechend dem Umfang der Hochmoore ($h = 5$ m, $R = 3000$ m) und bei einer Versickerung gleich 0, nur eine sehr geringe Wasserzufuhr erforderlich. Selbst bei einer relativ hohen Durchlässigkeit des Torfes ($k = 0.5$ m/Tag) sind dafür nur etwa 1 mm pro Jahr nötig!

Das Kernproblem ist, daß diese ganz geringe Zufuhr absolut konstant über das Jahr verteilt sein muß. Sogar in relativ regenreichen Regionen wie Nordwestdeutschland oder Irland gibt es wesentlich mehr Zeiten, in denen es nicht regnet (und die Evapotranspiration überwiegt), als Zeiten mit ständigem Niederschlag. In jedem Moment, in dem der Torfkörper nicht völlig wassergesättigt ist, wird der Torf schnell oxydieren. Nur in wassergesättigten Böden ist die Diffusionsgeschwindigkeit des Sauerstoffes so gering, daß der von aerobisch metabolisierenden

Mikroorganismen verbrauchte Sauerstoff nicht ersetzt werden kann und nur eine sehr langsame anaerobe Dekomposition möglich ist (GREENWOOD 1961, GAMBRELL & PATRICK 1978).

2.3. Akrotelm

Um überdauern zu können, braucht ein Torfkörper deshalb ein "Mittel", um die notwendige (sehr geringe, aber konstante) Wasserzufuhr zu garantieren. Ein Mittel, um die Unregelmäßigkeiten in Niederschlag und Evapotranspiration in einen Gleichstrom zu transformieren: Ein Interface zwischen dem variablen Niederschlagsüberschuß/-Defizit und den Erfordernissen des Torfkörpers.

Ein solches Mittel muß die folgenden Eigenschaften haben:

- Eine zu schnelle seitliche Entwässerung muß verhindert werden; deshalb braucht das Mittel eine möglichst beschränkte horizontale Durchlässigkeit.
- Es muß eine möglichst große Speicherkapazität ("Vorratsraum") haben, um die Folgen von dauernden Verlusten durch Evapotranspiration zu minimalisieren, auch wenn die seitliche Entwässerung angehalten hat.

Kurzfristig könnte man jede obere Torfschicht, in der die Wasserschwankungen auftreten, als ein Mittel betrachten, um die darunterliegenden Torfschichten vor Oxydation zu schützen. Das Problem ist aber, daß solche Situationen langfristig nicht fortbestehen können. Auch wenn die oberflächennahe Entwässerung angehalten hat, verliert das Moor infolge Evapotranspiration weiterhin Wasser und sinkt der Wasserstand weiter (CHAPMAN 1965, GOODE 1973, VERRY 1984), vor allem tagsüber (BOATMAN et al. 1981, HULME 1986, SMART 1982). Wie weit der Wasserstand sinkt, ist abhängig vom Speicherkoeffizienten: In Torf mit einem großen nutzbaren Porenraum, zum Beispiel mit einer großen Menge an Makroporen, wird der Wasserstand bei einer gleichen Evapotranspiration weniger sinken als in Torf mit einem geringen nutzbaren Porenraum, zum Beispiel mit feinen Poren.

Die unvermeidbaren Wasserschwankungen führen jedoch zu Oxydation, wobei die Makroporen im Torf, die aus der Struktur der torfbildenden Pflanzen stammen, in kleinere, und größtenteils unwegsame Poren umgewandelt werden. Außerdem entstehen durch biochemische Transformationen phenolische Stoffe, die das Wasser durch Intermolekularkräfte besser festhalten können (FLAIG 1986). Damit wird der Speicherkoeffizient ständig verringert (GALVIN 1976), was bei gleicher Verdunstung zu größeren Wasserschwankungen führen wird und damit wieder zu einer schnelleren und tieferen Oxydation usw.: Ein positiver Rückkoppelungsmechanismus. Die oberste Schicht und schließlich der gesamte Torfkörper werden dadurch allmählich verschwinden, es sei denn die oberste Schicht wird dauernd von oben erneuert. Für die Erhaltung der notwendigen grobporigen Struktur der obersten Torfschichten ist deshalb ein ständiger Aufwuchs erforderlich.

Mit einem ständigen Aufwuchs entwickelt sich auch ein System mit einem ausgeprägten hydrologischen Durchlässigkeitsgradient: Ein System, daß im oberen Bereich sehr grobporig in seiner Struktur bleibt und tiefer nach unten allmählich feinerporig wird. Dieser Durchlässigkeitsgradient ist das Resultat von unterschiedlich lang andauerndem Aussetzen der Oxydationsprozesse (ein "Torfaltertumsgradient") und von Kompaktion durch das Gewicht der überlagernden Schichten (CLYMO 1978). Eine solche Struktur resultiert in einem Schutz

gegen zuviel Wasser, das auch zu mechanischer Korrosion führen würde. Bei einem großen Wasserangebot wird das Wasser in einen Bereich mit gröbereren Poren und deshalb mit einer größeren Durchlässigkeit aufsteigen, wodurch es schneller, doch gleichmäßig abströmen kann. Der Gradient schützt auch gegen zu wenig Wasser, weil bei einem Niederschlagsdefizit die Wasserstände in allmählich feinerporige und deshalb weniger durchlässige Substrate geraten, wodurch der oberflächennahe Abfluß schnell unterbunden wird. Ohne einen ständigen Aufwuchs würde sich der Durchlässigkeitsgradient durch Oxydation umgekehrt entwickeln: Oben geringere und unten größere Durchlässigkeit, die eine zweite positive statt negative Rückkoppelung bedeuten würde!

Das oben geschilderte Mittel existiert tatsächlich in Hochmooren und ist von russischen Autoren (siehe z.B. ROMANOV 1968, NOVIKOV et al. 1972, ROMANOV et al. 1975, IVANOV 1981) als "aktive Schicht" beschrieben und von INGRAM (1978) in "Akrotelm" umbenannt worden (Akrotelm (Gr.) bedeutet "Top-Moor"). In dem Akrotelm treten die Wasserschwankungen auf, die das Resultat von periodischen Änderungen in Niederschlag und Verdunstung sind. Der Torf unterhalb des Akrotelms, der nicht von Wasserspiegelschwankungen betroffen ist und in dem nur eine sehr langsame Wasserströmung stattfindet, wird Katotelm ("Unter-Moor") genannt.

Messungen in lebenden Hochmooren zeigen, daß sich im Akrotelm die Durchlässigkeit innerhalb weniger Dezimeter um den Faktor 1000 verringern kann (IVANOV 1981, INGRAM & BRAGG 1984). Vor allem die obersten Dezimeter des Akrotelms verfügen über grobe Poren und damit über einen großen Wasservorrat (ROMANOV 1968). Generell gilt für das Akrotelm: Stillstand ist Rückgang!

2.4. Akrotelmbildende Vegetation

Für die notwendige ständige Verjüngung braucht das Akrotelm natürlich eine akrotelmbildende Vegetation. Die Vegetation und der davon gebildete junge Torf müssen über die folgenden Eigenschaften verfügen:

- Ihre Humifikation muß langsam genug vor sich gehen, um eine kontinuierliche Torfakkumulation ("Moorwachstum") zu ermöglichen;
- ihre Humifikation muß schnell genug vor sich gehen, um innerhalb einer geringen Tiefe den notwendigen Durchlässigkeitsgradienten bilden zu können;
- die Vegetation und der gebildete Torf müssen eine möglichst beschränkte Durchlässigkeit und deshalb möglichst kleine Poren besitzen;
- Vegetation und Torf müssen eine möglichst große Speicherkapazität und deshalb einen möglichst großen nutzbaren Porenraum (große Poren) haben;
- die Vegetation muß ombrotroph sein: "Vom Wind" leben können.

Die Arten müssen also imstande sein, mit ganz geringen Mitteln ("Vom Regen nur und Thau des Himmels ...") zwei Paare von entgegengesetzten Eigenschaften zu kombinieren. Auf der nördlichen Halbkugel sind offenbar nur einige Arten der Moosgattung *Sphagnum* in der Lage, diesen unwahrscheinlichen, aber notwendigen "kritischen Kompromiß" zu erreichen und damit eine Matrix für Hochmoorbildung zu gestalten: *Sphagnum fuscum*, *S. rubellum*, *S. magellanicum*, *S. imbricatum*, *S. papillosum* und vielleicht noch einige andere Arten. Dieses führt uns zur Betrachtung des Themas aus der Sicht der hochmoorbildenden Pflanzen.

2.5. Sphagnum

Der Moosgenus *Sphagnum* hat sich wahrscheinlich aus Wassermoosen entwickelt, die sich während die Evolution einigermaßen dem Landleben angepaßt haben. Sie besitzen jedoch noch viele Eigenschaften von Wasserpflanzen und können als individuelle Pflanzen ihren Wasserverbrauch kaum regulieren (OVERBECK & HAPPACH 1957). *Sphagnum*-Arten überleben keine längere Austrocknung (GREEN 1968, BOELTER 1972, CLYMO & HAYWARD 1982, RYDIN & McDONALD 1985). Sie haben keine Wurzeln und, wegen ihres groben Baus, nur eine ganz beschränkte Kapillarität. Sie können deshalb das Wasser nur in sehr geringem Maße aktiv aufnehmen. Die Hochmoorsphagnumarten überleben jedoch auch keine längere Überstauung. Weiterhin sind sie in Nicht-Regenwasser-Bereichen wenig kompetitiv und werden von anderen Arten rasch verdrängt.

Deshalb sind sie auf ein Regenwasserinfiltrationsmilieu angewiesen, und zwar auf ein feuchtes, doch nicht überstautes Milieu, in dem die Wasserstandsschwankungen nur ganz gering sind. Stark stabile Wasserstände sind in einem Quellmilieu nichts Ungewöhnliches. In einem Infiltrationsmilieu sind sie aber selten, weil das kumulative Niederschlagsdefizit oft erheblich ist. Um stabile Wasserstände in einem Regenwassermilieu zu realisieren, braucht das Milieu "Mittel"

- gegen Überstauung: Eine Struktur, die eine schnelle seitliche Entwässerung oberhalb eines bestimmten Niveaus garantiert;
- gegen Austrocknung: Eine Struktur mit 1.) einer möglichst beschränkten seitlichen Entwässerung unterhalb eines bestimmten Niveaus und 2.) einer großen Speicherkapazität gegen Verluste durch Evapotranspiration. Dieses sind Akrotelm-Bedingungen! Die einzigen Arten, die einen Hochmoorakrotelm bilden können, brauchen deshalb Bedingungen, wie sie von einem Hochmoorakrotelm erfüllt werden!
- gegen zuviel Versickerung: Einen möglichst großen hydraulischen Widerstand des Untergrunds, oder möglichst kleine hydraulische Potentialunterschiede zwischen dem phreatischen und dem tieferen Wasser. Dieses sind Katotelm-Bedingungen!

3. Hydrologische Selbstregulationsmechanismen

3.1. Aufgaben der hydrologischen Selbstregulation

Die hydrologische Selbstregulation eines lebenden Hochmoores ist sowohl auf die Erfordernisse der Hochmoorvegetation als auch auf die des Torfes abgestimmt:

- Das Einhalten eines geringen Abstandes zwischen der mit Sphagnen bewachsenen Oberfläche des Moores und dem Wasserstand, um die Sphagnen überleben zu lassen.
- Das Garantieren einer permanenten Wassersättigung des Torfkörpers.

Jede wichtige und genügend lange anhaltende Senkung der Hochmoorwasserstände resultiert in einer Beschleunigung des Abbaus der organischen Substanzen, was endgültig in einem Anhalten der Torfakkumulation resultieren kann (mehr Abbau).

Andererseits führt jede wichtige und genügend lange anhaltende Wasserstandshebung zu einer Verringerung oder selbst zu einer Stilllegung der Luftzufuhr in die oberen Bodenschichten und damit zu einer Verschlechterung des Pflanzenwachstums. Auch dieses kann zu einer verringerten Torfakkumulation führen (weniger Aufbau) (IVANOV 1981).

Klima- und Wetterwechsel, die den Wasserstand beeinflussen, findet man in verschiedenen temporären Maßstäben: Von kurzen Regenschauern bis zu jahrhundertelangen Trockenperioden. Ein lebendes Hochmoor verfügt denn auch über viele quantitativ hydrologische Selbstregulationsmechanismen (negative Rückkoppelungen), die alle in verschiedenen räumlichen und zeitlichen Bereichen wirken und zusammen für einen relativ stabilen Wasserstand im Hochmoor sorgen. Sechs Gruppen davon werden wir im folgenden kurz beschreiben.

3.2. Selbstregulationsmechanismen in jungfräulichen Hochmooren

3.2.1. Änderung der Albedo nach Austrocknung

Torfmoose besitzen im allgemeinen eine große Evapotranspiration. Sie können jedoch als individuelle Pflanzen den Wasserverlust kaum regulieren (OVERBECK & HAPPACH 1957). Ein Mechanismus, um die Verdunstung zu verringern, ist der Farbwechsel der Torfmoosköpfchen, wenn diese austrocknen. Bei einer starken Verdunstung wird das Wasser in den Hyalinzellen durch Luft ersetzt, wodurch die grüne Farbe der Chlorophyllzellen sich nicht mehr manifestieren kann und das Moos sich weiß verfärbt. Infolgedessen wird ein größerer Teil der einfallenden Sonnenstrahlung reflektiert und damit die Verdunstung einigermaßen gebremst. In trockenen Perioden ist die reale Evapotranspiration eines Hochmoores dann auch erheblich kleiner als die potentielle Evaporation (EGGELSMANN 1963). Die Gipfelteile der *Sphagnum*-Decke schützen so die untere Teile vor weiterer Austrocknung.

3.2.2. Das Akrotelm

Das Akrotelm, das durch seine besondere Struktur die Wasserschwankungen einschränkt, ist in Abschnitt 2.3. schon hinreichend behandelt.

3.2.3. Mooratmung

Torf als poröses Medium ist sowohl Kompression als auch Expansion unterworfen, abhängig von den Kräften, die darauf einwirken. In jeder Tiefe wird das Spannungsgleichgewicht von drei Kräften bestimmt (GLASER 1987):

- Dem Gewicht der obenliegenden Schichten,
- der Stärke des Skelets des porösen Mediums,
- dem Wasserdruck in den Poren, der eine Funktion der Strömung ist (SCHNEEBELI 1989).

Wenn der Wasserstand sinkt, wird das Wasser in den obersten Vegetations- und Torfschichten durch Luft ersetzt. Die noch immer mit Wasser gefüllten *Sphagnum*-Pflanzen werden nicht länger durch das umgebende Wasser unterstützt, und die *Sphagnum*-Decke wird schrumpfen. Weil der Wasserdruck sich ändert, werden auch die tieferen Torfschichten einer Schwellung und Schrumpfung unterworfen (SCHOTHORST 1977, INGRAM 1983, siehe auch BRÜNE 1929, PRUS-CHACINSKI 1962, EGGELSMANN 1972). Diese "Mooratmung" hat meistens eine Jahresamplitude von einigen Zentimetern (EGGELSMANN 1964, BADEN & EGGELSMANN 1964, EGGELSMANN 1981, TER HOEVE 1969, HUTCHINSON 1980, WAGNER 1986, VAN DER SCHAAF et al. 1992).

Die "Mooratmung" hat für die Hochmoorvegetation den Vorteil, daß sowohl die relative Tiefe

als auch die Schwankungen des Wasserstandes geringer bleiben als ohne Mooratmung (KULCZYNSKI 1949). Mooratmung führt auch dazu, daß die Durchlässigkeit des ganzen Torfkörpers im Laufe des Jahres variabel ist (SCHOUWENAARS 1981). Die Durchlässigkeit des Torfes ist positiv korreliert mit dem Wassergehalt (KORCHUNOV 1985). In feuchten Perioden hat das Hochmoor also einen stärker durchlässigen Torf. Auch auf diese Weise werden Wasserstandsschwankungen einigermaßen rückgekoppelt.

3.2.4. Intraspezifische Änderungen in der Morphologie der Sphagnen

Wasserstandsänderungen in einem Hochmoor führen dazu, daß sich sowohl die Wachstumsform der Sphagnen als auch die Art der Vegetation ändert. Morphologische Änderungen innerhalb einer Art können schon sehr kurzfristig auftreten. Wenn der Wasserstand fällt, werden zuerst die hängenden Äste der Torfmoospflanzen zum Stamm und in einem späteren Stadium auch die Blätter zueinander gezogen. Dadurch nimmt der Anteil der kleineren Poren zu und der Kapillaraufstieg und damit die Wasserversorgung des Köpfchens (= der Wachstumspunkt) werden verbessert (CLYMO & HAYWARD 1982).

Viele *Sphagnum*-Arten haben von Standort zu Standort verschiedene Wachstumsformen, die dann auch bei der Determination zu Schwierigkeiten führen können (PAUL 1932, BEIJERINCK 1934).

Wenn die Wasserzufuhr abnimmt, wird das apikale Wachstum der *Sphagnum*-Pflanzen gehemmt, und ihre Verzweigung nimmt zu (GREEN 1968, SMOLJANICKIJ 1977). Die Vegetation und der gebildete Torf werden dadurch kompakter und weniger durchlässig für Wasserströmung, und das Hochmoor wird folglich weniger Wasser durch oberflächennahe Strömung verlieren. Die mehr kompakte Struktur des Torfes und der Vegetation hat für die Pflanzen auch den direkten Vorteil, daß die Kapillarwasserströmung besser wird und die Pflanzen damit Wasser aus größeren Tiefen entnehmen können.

Umgekehrt werden *Sphagnum*-Pflanzen unter feuchteren Bedingungen "offener" (HAYWARD & CLYMO 1983) und ihre Vegetation und der Torf weniger kompakt und besser wasser-durchlässig.

Ein nächstes Beispiel "intraspezifischer Änderungen" ist das Phänomen, daß *Sphagnum*-stämmchen sich bei größerer Wasserfließgeschwindigkeit in Richtung der Strömung anordnen (LANOV 1991) und das Wasser infolgedessen schneller abströmen kann. Bei geringer Wasserströmung lagern sie sich unorientiert ab, wodurch die Vegetation und der gebildete Torf weniger durchlässig werden.

Die Wirkungsbreite der intraspezifischen Morphologie-Änderungen zeigt sich schön in Feuerland, wo die Hochmoore von nur einer Art von *Sphagnum* aufgebaut sind. An den trockenen Rändern des Moores wächst *Sphagnum magellanicum* sowohl in Bulten als auch in Schlenken, während im nassen Zentrum die rasenartige Wachstumsform dominiert (SCHWAAR 1981).

3.2.5. Änderungen in den Mikrovegetationsmuster

Wegen der unvermeidbaren Wasserverluste durch Evapotranspiration hängt das Fortbestehen und das Wachstum von Sphagnen von einer gewissen Wasserzufuhr ab. Fehlt diese über

längere Zeit, dann sterben die Torfmoose durch Austrocknung und zu hohe Oberflächentemperatur infolge Mangel an Evapotranspirationskühlung (GREEN 1968, BOELTER 1972, CLYMO & HAYWARD 1982, RYDIN & McDONALD 1985).

In trockenen Perioden können Torfmoose ihr Wasserbedürfnis befriedigen durch

- die Interzeption periodischer Regenschauer, ohne daß dabei der "freie" Wasserstand erhöht zu werden braucht (vor allem wichtig in trockenen, kontinentalen Klimaten) (WEBER 1900, VERRY 1984). Dabei ist das Vermögen, Wasser festzuhalten, von größter Bedeutung. Dieses Wasserfesthaltevermögen ist von Art zu Art verschieden (OVERBECK & HAPPACH 1957, CLYMO 1973, VITT et al. 1975, CLYMO & HAYWARD 1982, ANDRUS 1986).
- "Nahrung" aus dem freien Moorwasser durch Kapillarwirkung.

Die beiden Prozesse werden in unterschiedlicher Weise von Form, Abmessung, Zahl und Ordnung der (potentiell) wasserenthaltenden Räume des Pflanzenindividuums und der Vegetation bestimmt (OVERBECK & HAPPACH 1957, CLYMO & HAYWARD 1982). Die Kapillareigenschaften sind von Art zu Art verschieden (OVERBECK & HAPPACH 1957). Die Poren in den Hyalinzellen von *Sphagnum fuscum* und *S. rubellum* zum Beispiel sind so angeordnet, daß das Wasser sich in einem ununterbrochenen Kapillarstrom von Zelle zu Zelle bewegen kann. Damit wird die Wasserversorgung des photosynthetisierenden Teiles dieser Arten, die relativ hoch über den Wasserstand wachsen können, gewährleistet. Das hydrophile *Sphagnum balticum* dagegen hat die Poren viel mehr nach außen gerichtet. Diese Art bekommt ihr Wasser aus seiner direkten Umwelt (ILOMETS & PAAP 1982).

Deshalb zeigt jede *Sphagnum*-Art das beste Konkurrenzverhalten auf einer für jede Art unterschiedlichen Höhe über dem Wasserspiegel (BEIJERINCK 1934, VITT et al. 1975, IVANOV 1981, CLYMO & HAYWARD 1982, ANDRUS et al. 1983, RYDIN 1985).

Der Bau der verschiedenen Torfmoosarten ist aber auch bestimmend für die hydrologischen Eigenschaften des gebildeten Torfes. Änderungen im Wasserstand können so zu Änderungen in der Vegetation und in Vegetations- und Reliefmustern führen, die aufeinander folgend wieder die Wasserstandsänderungen rückkoppeln. Ein lebendes Hochmoor hat dazu eine große Anzahl von *Sphagnum*-Arten, jede mit anderen qualitativ und quantitativ hydrologischen Anforderungen und Eigenschaften, zur Verfügung. Als stark vereinfachtes Beispiel werden wir hier ein System mit *Sphagnum rubellum*, *S. papillosum* und *S. cuspidatum* als Modell betrachten.

Die Abmessungen der Zellen, Blätter und Äste von *Sphagnum rubellum* sind kleiner als die der anderen Arten. Folglich hat diese Art kleinere Poren und kann durch Kapillarwirkung Wasser aus größerer Tiefe "aufsaugen" (HAYWARD & CLYMO 1982, CLYMO 1973). Deshalb wächst *Sphagnum rubellum* in trockneren Bedingungen besser als *S. papillosum* und *S. cuspidatum* (HAYWARD & CLYMO 1983). Die feinere Struktur von *Sphagnum rubellum* ist auch für eine geringere Wasserdurchlässigkeit der Torfmoosvegetation und des gebildeten Torfes verantwortlich. So ist die Durchlässigkeit von *Sphagnum rubellum* mindestens fünffach geringer als die der *S. papillosum* verwandten Art *S. magellanicum* (INGRAM 1983). Außerdem wird die erhöhte biologische Aktivität in der trockneren *S. rubellum*-Bultvegetation zu einer weiteren Humifikation führen, wodurch die Durchlässigkeit noch weiter abnimmt (COLLINS et al. 1978).

Wenn der Wasserstand in einer *Sphagnum papillosum*-Vegetation sinkt, wird sich *S. rubellum*

ausbreiten. Durch die darauffolgende abnehmende Wasserdurchlässigkeit des Torfpakets wird der ursprüngliche Wasserabfluß verringert, was zu einem Ansteigen des Wasserstandes in den restlichen *S. papillosum*-Matten führen wird, in denen der Wasserstand eigentlich schon zu niedrig wurde.

Wenn der Wasserstand in einer *Sphagnum papillosum*-Vegetation aber ansteigt, wird *Sphagnum cuspidatum* sich über die *S. papillosum*-Matte ausbreiten und letztlich das Absterben der letztgenannten Art verursachen, womit ein horizontal stark durchlässiges *S. cuspidatum*-Paket die Oberhand gewinnt. BOATMAN (1977) und BOATMAN & TOMLINSON (1977) haben festgestellt, daß *Sphagnum cuspidatum* unter extrem nassen Verhältnissen suboptimal wächst: die Art bildet nicht genügend Torf, um mit dem Zuwachs der Umgebung Schritt zu halten. (Möglicherweise handelt es sich bei der Abfolge der *Sphagnum*-Arten auch um indirekte Einflüsse, wobei die Wasserstandsänderungen Verschiebungen in der Wasserbilanz und infolgedessen Änderungen in der Wasserqualität verursachen, die entscheidend sind für die Vegetation. Wasserstand ist dann das "konditionelle" Moment für das "operationelle" Moment Wasserqualität sensu VAN WIRDUM 1979).

Infolgedessen wird unter nassen Umständen eine Schlenke oder ein Tümpel entstehen, das heißt eine Stelle mit einer noch größeren Durchlässigkeit. Bei sinkenden Wasserständen wird die Stelle aufs neue von *Sphagnum papillosum* besiedelt.

Nicht nur die Durchlässigkeit ändert sich, auch die Verdunstung wird von der Vegetation beeinflusst. So nimmt die Verdunstung in der Reihenfolge *Sphagnum recurvum*, *S. magellanicum*, *S. rubellum*, *S. fuscum* ab (OVERBECK & HAPPACH 1957, OVERBECK 1975), das heißt nachdem die Arten trockenere Standorte besiedeln können. Heidekräuter (Ericaceae, Empetraceae) und Scheidiges Wollgras (*Eriophorum vaginatum*), die sich unter trockenen Bedingungen ansiedeln können, verdunsten noch weniger als eine Torfmoosvegetation (VERRY 1981). Diese letztgenannten Arten können sich aber auch negativ auf die hydrologische Selbstregulation auswirken: die Durchlässigkeit von Torf mit groben Pflanzenresten ist bei weiterer Humifikation größer als die von reinem Torfmoostorf (KORPIJAAKKO & RADFORTH 1972).

Ein lebendes Hochmoor kann sich so mit einer beschränkten Anzahl von Vegetationstypen und mit geringen Änderungen im Mikrorelief, in einer relativ großen Variationsbreite von Klima-Änderungen behaupten. Änderungen im Umfang des Niederschlagsüberschusses und dessen zeitlicher Ausbreitung führen zu Änderungen in der Zusammensetzung der Vegetation und in der Ausbreitung der Vegetations- und Reliefmuster. Folglich ändert sich die effektive Durchlässigkeit der obersten Hochmoorschicht. Die Wasserstandscharakteristika jedes Vegetationstypes bleiben aber dieselben (IVANOV 1981)!

Solche Änderungen in der horizontalen Ausbreitung von Vegetationstypen und Reliefelementen sind in vielen paläo-ökologischen Untersuchungen nachgewiesen (z.B. WALKER & WALKER 1961, KLINGER 1968, CASPARIE 1969, 1972, OVERBECK 1975, MOORE 1977, DUPONT 1986, HULME 1986, SVENSSON 1988, VAN DER MOLEN & HOEKSTRA 1988). Derartige Änderungen sind schon von BARBER (1981) auf unabhängige Weise mit Klima-Änderungen in Verbindung gebracht worden.

3.2.6. Änderungen in den Makrovegetationsmustern

Die obengenannten räumlichen Muster sind aus hydrologischer Sicht am effektivsten, wenn sie senkrecht zur Stromrichtung des Wassers orientiert sind. Auf der ganzen nördlichen Halbkugel gibt es auch tatsächlich Hochmoore, die ein konzentrisches Muster von Bulten und Schlenken, Stringen und Flarken, Kermis und Tümpel aufweisen. Wenn die Strömung größer wird, werden die stärker durchlässigen Elemente sich ausbreiten. Eine Verringerung führt dagegen zu einer Ausbreitung von weniger durchlässigen Vegetationstypen und Reliefelementen. SWANSON & GRIGAL (1988) haben eine derartige Entwicklung von Stringen und Flarken aus einem gleichmäßigen Muster von Bulten und Schlenken modellmäßig nachweisen können. Nicht nur externe Momente wie Klimaänderungen, sondern auch die autogene Entwicklung des Hochmoors können zu großflächigen hydrologischen Änderungen im Hochmoor führen (ILOMETS 1984).

Ein Hochmoor wächst nämlich nicht gleichmäßig auf: Das Höhenwachstum kann mit der seitlichen Ausbreitung nicht Schritt halten (AARTOLAHTI 1965, GRANLUND 1932). Grund dafür ist, daß die Dekomposition des Torfes unter anaeroben Bedingungen wohl sehr gering, aber nicht vernachlässigbar ist. Infolgedessen neigt die Höhe des Hochmoores zu einem dynamischen Gleichgewicht (steady state), wobei die Akkumulation von neuem Torf an der Oberfläche im Gleichgewicht steht mit dem Verlust von organischem Material über die totale Tiefe des Moores: Die Netto-Torfakkumulation ist dann gleich Null (CLYMO 1984).

Weil also die (jüngeren) Ränder schneller hoch wachsen als der (ältere) Kern, wird ein Hochmoor im Laufe seiner Entwicklung makromorphologisch immer flacher. Deshalb kann das Wasser schlechter abströmen, und die Wasserstände steigen an.

Ähnlich wie im vorigen Abschnitt geschildert werden die weniger durchlässigen Arten, Vegetationstypen und Reliefelemente von besser durchlässigen Elementen und schließlich von offenem Wasser verdrängt, wodurch der Wasseranstieg (zum Teil) verringert wird.

Nachdem ein Hochmoor größer wird, zeigt die Hochfläche immer mehr besser durchlässige Vegetationstypen und Reliefstrukturen. Schild und Randgehänge, wo der steilere Hang eine schnellere Entwässerung verursacht (INGRAM 1983, DAMMAN & DOWHAN 1981), werden von weniger durchlässigen Elementen gekennzeichnet (AARTOLAHTI 1965, GOODE 1973, HAVAS 1961, TOLONEN 1967, IVANOV 1981, STAFFANSSON 1985). In jungfräulichen Hochmooren finden wir deshalb meistens Bult/Schlenk-Strukturen an den Rändern, weil die Hochfläche mehr mattenförmige Strukturen (Rasen) und selbst offenes Wasser zu verzeichnen hat (IVANOV 1981, BOATMAN & TOMLINSON 1977, SCHWAAR 1981). So auch hat VENEMA (1855) das noch kaum berührte Boertangermoor beschrieben. Wenn der Wasserstand steigt (und stabiler wird), verringert sich die Produktion der Vegetation und damit die Torfakkumulation. Damit setzt sich eine positive Rückkoppelung in Gang und wird das Höhenwachstum des Hochmoorkernes noch weiter hinter dem der Umgebung zurückbleiben. Dieses führt zur Entwicklung tieferer und größerer Wasserflächen, in dem eher Torfschwund stattfindet als Torfakkumulation (LOOPMANN 1988).

Die Zunahme des Anteils "schwächerer" Strukturen bedroht die Stabilität des Torfkörpers. Vor allem in extrem nassen Perioden kann das zu tiefgreifenden Veränderungen in dem Entwässerungssystem führen, zum Beispiel zu einem Moorausbruch, wobei ungeheure Mengen Wasser und Torf abströmen. (SCHREIBER 1927: "Daß Moosmoore fast alle unter 10 m Mächtigkeit haben, dürfte die Folge der Moorausbrüche sein, die also dafür sorgen, daß die Moore nicht in den Himmel wachsen".)

Nach einem solchen katastrophalen Ereignis kann die Hochmoorbildung unter günstigeren (d.h. nicht übermäßig nassen) Bedingungen oft wieder in Gang kommen (IVANOV 1981, CASPARIE 1984, DUPONT 1986).

3.3. Selbstregulationsmechanismen in anthropogen geschädigten Hochmooren

Eine lebende torfbildende Vegetation ist, wie wir gesehen haben, eine Voraussetzung dafür, um einen Akrotelm als wichtigsten Regulationsapparat, und damit das Hochmoor selbst, langfristig im Stande zu erhalten. Das bedeutet aber nicht, daß das Hochmoor unbedingt dem Tode geweiht ist, wenn es keine torfbildende Vegetation mehr trägt. Es gibt einige Selbstregulationsmechanismen, die das tote Hochmoor unter Umständen ins Leben zurückrufen können.

Von größter Bedeutung ist dabei die Anwesenheit eines Substrats mit großer Speicherkapazität. Hochmoore, in denen die obere, wenig humifizierte Torfschicht (Weißtorf) mit ihrem hohen Speicherkoeffizienten (PÄIVÄNEN 1976, BURGHARDT 1976) noch immer (zum größeren Teil) vorhanden ist, bieten einen guten Ausgangspunkt für eine Regeneration der Hochmoorvegetation, wenn die Ursache für die Zerstörung beseitigt ist (JOOSTEN 1992). So gibt es viele Beispiele von Hochmooren, in denen die Vegetation sich ganz oder zum Teil erholt hat (z.B. nach Moorbrandkultur), nachdem die Entwässerungsgräben abgedämmt, verfallen oder spontan zugewachsen sind (WEBER 1902, VON BÜLOW 1927, JONAS 1931, 1932, WEEVERS 1938, VAN LEEUWEN 1962, TÜXEN 1974, MÜLLER 1975, JANSEN 1975, TÜXEN 1976, AVERDIECK & SCHNEIDER 1977, SCHMATZLER & TÜXEN 1980, EIGNER & SCHMATZLER 1980, IVANOV 1981, BAAIJENS et al. 1982).

Auch ohne das Zuwachsen der Gräben können die sich ändernden geohydrologischen Eigenschaften der Torfschichten eine spontane Regeneration der Hochmoorvegetation zur Folge haben. Entwässerung führt zunächst zum Leerströmen der größeren wegsamen Poren, die mit einander in Verbindung stehen. Wenn diese leer sind, wird die Wasserströmung die kleineren wegsamen Poren entwässern; die Durchlässigkeit des Torfes nimmt dann immer mehr ab (LOXHAM & BURGHARDT 1986). Dieses führt zuletzt auch zu einer Veränderung in Art, Ordnung und Volumen der Poren im Torf an den Entwässerungsstellen. Dieses ist einerseits die Folge der Setzung (Kompaktion), weil durch das Wegfallen des Wasserdrucks in den Poren der Torf unter dem Eigengewicht zusammenbricht (EDIL et al. 1986), und andererseits der Oxidation durch eintretenden Sauerstoff (LINDE & VOSSEN 1982). Die Verkleinerung des nutzbaren Gesamtporenraumes hat zur Folge, daß die Durchlässigkeit des Torfes weiter abnimmt (BADEN & EGGELSMANN 1963, IVANOV 1981, TWAROSKI & KURMIS 1982, HEMOND & GOLDMAN 1985, SCHNEEBELI 1989). Dieser Effekt wird durch die Bildung von Gasblasen verstärkt, wodurch sich die Poren verstopfen. Diese Gasblasen entstehen, weil der hydrostatische Druck bei dem Entwässerungspunkt so stark verringert wird, daß das im Wasser gelöste Gas wieder die Gasform annimmt (GALVIN & ENG 1972, RYCROFT et al. 1975a, 1975b, HOVE 1984, HEMOND & GOLDMAN 1985, MATHUR et al. 1989, BUTTLER et al. 1991). Die abnehmende Durchlässigkeit des Torfes in der Nähe eines Entwässerungsgrabens kann deshalb zur Folge haben, daß das Hochmoor in einigem Abstand zum Graben stellenweise wieder so naß wird, daß sich dort eine Hochmoorvegetation behaupten oder regenerieren kann. Beispiele einer solchen spontanen Regeneration sind unter anderen von TÜXEN (1976) und TER HOEVE (1965) beschrieben worden.

Vielfach geschieht das aber nicht, weil durch die Verringerung der großen Poren (sowohl in Größe als auch in der Anzahl) der Speicherkoeffizient der obersten Torfschichten so sehr abnimmt, daß die Wasserstandsschwankungen zu groß werden. Dieses ist sicher auch der Fall in der direkten Umgebung des Grabens, wo die Oxidation des Torfes, unaufhaltsam fortschreitend, schließlich die ganze noch vorhandene Hochmoorvegetation vernichtet wird (JORTAY & SCHUMACKER 1989).

Weitergehende Entwässerung führt zu einer solchen Oxidation, Schrumpfung und zur Bildung von Schrumpfungsrissen und -klüften, daß auch die Durchlässigkeit der oberen Torfschichten stark zunehmen kann (BENNEMA & VAN DER WOERDT 1960).

Wenn ein Hochmoor so weit geschädigt ist, sind natürliche Prozesse nicht mehr imstande es wiederherzustellen. Erhebliche anthropogene Gestaltungs-Aktivitäten sind dann nötig, um wieder eine Hochmoorvegetation zur Besiedlung anzuregen, und noch mehr Maßnahmen (und Zeit), um eine selbstregulierende Hochmoorlandschaft sich regenerieren zu lassen. Eine Übersicht dieser Maßnahmen für Hochmoore in verschiedenen Degenerationsstadien wird von JOOSTEN (1992) gegeben.

4. Wiedervernässung und Restauration

Um ein Hochmoor sich als einzigartige Landschaft regenerieren zu lassen, müssen erstens die hydrologischen Bedingungen wiederhergestellt werden, die die für Hochmoorbildung obligaten Sphagnumarten brauchen.

Die meisten Selbstregulationsmechanismen des Hochmoors (Änderung der Albedo, Intraspezifische Änderungen, Änderungen in den Mikro- und Makrovegetationsmustern) sind inherent an *Sphagnum* und können deshalb im Rahmen der Hochmoorrestauration nicht "künstlich gebaut" werden.

Die Eigenschaften und Wirkungen des Akrotelms werden in der Restaurationspraxis häufig durch Abdämmung (geringe Durchlässigkeit), geringe (einige Dezimeter) Überstauung (große Speicherkapazität) und Abflußmöglichkeiten (gegen zuviel Überstauung) simuliert. Die Stimulation von Schwingrasenbildung ist in Grunde eine Simulation einer stärker entwickelten Mooratmung. Die notwendigen (strukturellen) Katotelm-Eigenschaften können durch eine Verfüllung der Gräben mit starker Versickerung oder durch das Anheben der tieferen Grundwasserstände simuliert werden.

Eine Hochmoorlandschaft in statu nascendi stellt hohe Anforderungen an seinen Umwelt. Ein Hochmoor braucht viel Zeit, um die Selbstregulationsmechanismen aufbauen zu können und sich damit allmählich weniger abhängig und weniger verletzbar zu machen. So ist es auch kurzfristig viel einfacher, eine Hochmoorvegetation zurückzugewinnen als ein Hochmoor. Eine Hochmoorlandschaft ist aber das einzige Milieu, um Hochmoorgesellschaften langfristig, dauerhaft und naturgemäß zu erhalten.

Außerdem, ein Hochmoor ist ein Organismus, an sich, für sich, und für mich...

5. Danksagung

Ich danke PETRA LUTAT (Universität Hannover) für die deutsche Fassung des Textes. Die Arbeit wurde unterstützt von der Stichting voor Sociaal-Ruimtelijk Wetenschappelijk Onderzoek der Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (SRO/NWO).

6. Literatuur

- AARTOLAHTI, T. (1965): Oberflächenformen von Hochmooren und ihre Entwicklung in Südwest-Häme und Nord-Satakunta. - *Fennia* 93: 1 - 268, 31 Abb., 4 Beil.; Helsinki.
- ANDRUS, R.E. (1986): Some aspects of Sphagnum ecology. - *Can. J. Bot.* 64: 416 - 426, 7 Fig., 4 Tab.; Ottawa.
- ANDRUS, R.E., WAGNER, D.J. & TITUS, J.E. (1983): Vertical zonation of Sphagnum mosses along hummock-hollow gradients. - *Can. J. Bot.* 61: 3128 - 3139, 9 Fig., 3 Tab.; Ottawa.
- AVERDIECK, F.R. & SCHNEIDER, (1977): Anthropogen beeinflusste Moorprofile. - *Telma* 7: 15 - 26, 4 Abb., 1 Tab.; Hannover.
- BAAIJENS, G.J., BARKMAN, J.J. & CASPARIE, W.A. (1982): Het Witterveld bij Assen. Een schets van de natuurlijke gesteldheid en een evaluatie van de gevolgen van intensivering van het militair gebruik.-29 S., 4 Abb.; Leersum (Rijksinstituut voor Natuurbeheer).
- BADEN, W. & EGGELSMANN, R. (1963): Zur Durchlässigkeit der Moorböden. - *Z. Kulturtechn. Flurbereinig.* 4: 226 - 254; Berlin.
- BADEN, W. & EGGELSMANN, R. (1964): Der Wasserkreislauf eines nordwestdeutschen Hochmoores. - *Schriftenr. Kurat. Kult. Hamburg* 12: 1 - 156, 71 Abb., 39 Tab.; Hamburg.
- BAKKER, T.W.M. (1992): The shape of bogs from a hydrological point of view. - *Intern. Peat J.* 4: 47 - 54, 5 Abb., 2 Tab.; Jyväskylä.
- BARBER, K.E. (1981): Peat stratigraphy and climatic change. A palaeoecological test of the theory of cyclic peat bog regeneration. 219 p., 77 Fig., 5 Tab., 2 App.; Rotterdam (Balkema).
- BAY, R.R. (1968): Evapotranspiration from two peatland watersheds. - *Rep. Disc. IASH, Gen. Assembl. Bern 1967*, 300 - 307; Bern.
- BEIJERINCK W. (1934): Sphagnum en Sphagnetum. - 116 S., 60 Abb., 1 Tab.; Amsterdam (W. Versluys).
- BENNEMA, J. & VAN DER WOERDT, D. (1960): De veldbodemkundige oorzaken van de verdroging; verbreiding en eigenschappen van de verdroogde gronden. - In: HOOGHOUTD, B., VAN DER WOERDT, D., BENNEMA, J. & VAN DIJK, H.: *Verdrogende veengronden in West-Nederland*. S. 77 - 197; Wageningen (Pudoc).
- BOATMAN, D.J. (1977): Observations on the growth of Sphagnum cuspidatum in a bog pool in the Silver Flowe National Nature Reserve. - *J. Ecol.* 65: 119 - 126, 2 Fig., 4 Tab.; Oxford.
- BOATMAN, D.J. & TOMLINSON, R.W. (1977): The Silver Flowe. II. Features of the vegetation and stratigraphy of Brisbie Bog and their bearing on pool formation. - *J. Ecol.* 65: 531 - 546, 10 Fig., 2 Tab.; Oxford.
- BOATMAN, D.J., GOODE, D.A. & HULME, P.D. (1981): The Silver Flowe. III. Pattern development on Long Loch B and Craigeazle mires. - *J. Ecol.* 69: 897 - 918, 8 Fig., 2 Tab.; Oxford.
- BOELTER, D.H. (1972): Preliminary results of water level control on small plots in a peat bog. - *Proc. 4th Int. Peat Congr. Otaniemi* 3: 347 - 354, 3 Fig.; Helsinki.
- BRÜNE, F. (1929): Grundsätze für die Regelung des Wasserhaushalts in landwirtschaftlich genutzten Moorböden und ihre technische Durchführung. - 101 S., 37 Abb.; Berlin (Parey).
- BURGHARDT, W. (1976). Das Wasser in Niedrungsboden. - *Geol. Jb.* F4: 79 - 103, 14 Abb., 4 Tab.; Hannover.
- BUTTLER, A., DINEL, H., LEVESQUE, M. & MATHUR, P. (1991): The relation between movement of subsurface water and gaseous methane in a basin bog with a novel instrument. - *Can. J. Soil Sci.* 71: 427 - 438, 5 Fig., 1 Tab.; Ottawa.
- CASPARIE, W.A. (1969): Bult- und Schlenkenbildung in Hochmoortorf.-*Vegetatio* 19: 146 - 180; The Hague.
- CASPARIE, W.A. (1972): Bog development in Southeastern Drenthe (The Netherlands).-*Vegetatio* 25: 1 - 271, 109 Fig., 9 Tab.; The Hague.
- CASPARIE, W.A. (1984): Water en veen. Waterbalans sleutel tot behoud.-*Natuur en Techniek* 52: 103 - 121, 4 Abb.; Maastricht.
- CHAPMAN, B. (1965): The ecology of Coom Rigg Moss, Northumberland. III. Some water relations of the bog system. - *J. Ecol.* 53: 371 - 384, 7 Fig., 5 Tab.; Oxford.
- CLYMO, R. (1973): The growth of Sphagnum - some effects of environment. - *J. Ecol.* 61: 849 - 869; Oxford.
- CLYMO, R. (1978): A Model of Peat Bog Growth. In: HEAL, O.W. & PERKINS, D.F. (Hsg.): *Production Ecology of British Moors and Montane Grasslands*. - *Ecol. Studies* 27: 187 - 223, 17 Fig., 9 Tab.; Berlin

(Springer).

- CLYMO, R. (1984): The limits to peat bog growth. - *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond. B* 303: 605 - 654, 22 Fig., 4 Tab.; London.
- CLYMO, R. & HAYWARD, P.M. (1982): The ecology of Sphagnum. - In: SMITH, A.J.E. (Hsg.): *Bryophyte Ecology*. p. 229 - 289, 40 Fig., 3 Tab.; London - New York (Chapman & Hall).
- COLLINS, V.G., D'SYLVA, B.T. & LATTE, P.M. (1978): Microbial populations in Peat. - In: HEAL, O.W. & PERKINS, D.F. (Hsg.): *Production Ecology of British Moors and Montane Grasslands*. - *Ecol. Studies* 27: 94 - 112, 1 Fig., 8 Tab.; Berlin, Springer.
- DAMMAN, A.W.H. & DOWHAN, J.J. (1981): Vegetation and habitat conditions in Western Head Bog, a southern Nova Scotian plateau bog. - *Can. J. Bot.* 59: 1343 - 1359, 8 Fig., 1 Tab.; Ottawa.
- DAU, J.H. (1823): Neues Handbuch über den Torf, dessen Natur, Entstehung und Wiedererzeugung. - 240 S.; Leipzig (J.E. Hinrichssche Buchhandlung).
- DUPONT, L. (1986): Temperature and rainfall variation in the Holocene based on comparative palaeoecology and isotope geology of a hummock and a hollow (Boertangerveen, The Netherlands. - *Rev. Palaeobot. Palynol.* 48: 71 - 159, 16 Fig., 10 Tab.; Amsterdam.
- EDIL, T.B., BOSSCHER, P.J. & DEWITT, C.B. (1986): Compression and Gravity Drainage as Means of Dewatering Peat. - In: FUCHSMAN, C.H. (Hsg.): *Peat and Water*: 21 - 36, 7 Fig., 2 Tab.; London (Elsevier).
- EGGELSMANN, R. (1960): Über den unterirdischen Abfluss aus Mooren. - *Die Wasserwirtschaft* 50: 149 - 154, 8 Abb.; Stuttgart.
- EGGELSMANN, R. (1963): Die potentielle und aktuelle Transpiration eines Seeklimahochmoores. *Intern. Assoc. Sci. Hydrol. publ.* 62: 88 - 97, 3 Tab., 4 Abb.; Berkeley.
- EGGELSMANN, R. (1964): Die Verdunstung der Hochmoore und deren hydrographischen Einfluß. - *Dt. Gewässerkundl. Mitt.* 8: 138 - 147, 4 Abb., 6 Tab.; Koblenz.
- EGGELSMANN, R. (1967): Oberflächengefälle und Abflußregime der Hochmoore. - *Wasser und Boden* 19: 247 - 252; Hamburg.
- EGGELSMANN, R. (1972): Physical effects of drainage in peat soils of the temperate zone and their forecasting. In: *Hydrology of Marsh-Ridden Areas*. - *Proc. IASH Symp. Minsk 1972*, 11 p., 5 Fig., 3 Tab.; Minsk.
- EGGELSMANN, R. (1981): Ökohydrologische Aspekte von anthropogen beeinflussten und unbeeinflussten Mooren Norddeutschlands. - *Diss. Univ.*, 175 S., 49 Abb., 34 Tab.; Oldenburg.
- EIGNER, J. & SCHMATZLER, E. (1980): Bedeutung, Schutz und Regeneration von Hochmooren. - *Naturschutz Aktuell* nr. 44-78, 26 Abb., 7 Tab.; Greven (Kilda).
- FLAIG, W. (1986): Some Basic Principles of Water Management in Peat. - In: FUCHSMAN, C.H. (Hsg.): *Peat and Water*: 119 - 132, 4 Fig.; London (Elsevier).
- GALVIN, L.F. (1976): Physical properties of Irish peats. - *Ir. J. Agr. Res.* 15: 207 - 221, 8 Fig., 2 Tab.; Dublin.
- GALVIN, L.F. & ENG, C. (1972): Reclamation of Irish peats for agricultural development. - *Proc. 4th Int. Peat Congr. Otaniemi*, 3, 425 - 434, 4 Fig.; Helsinki.
- GAMBRELL, R.P. & PATRICK, W.H. (1978): Chemical and microbiological properties of anaerobic soils and sediments. - In: HOOK, D.D. & CRAWFORD, R.M.M. (Hsg.): *Plant Life in Anaerobic Environments*: 375 - 423; Ann Arbor, Michigan (Ann Arbor Sci. Pub. Inc.).
- GLASER, P.H. (1987): The ecology of patterned boreal peatlands of Northern Minnesota: a community profile. - *U.S. Fish Wildl. Serv. Rep.* 85(7.14): 98 p., 53 Fig., 5 Tab., Washington, D.C..
- GOODE, D.A. (1973): The significance of physical hydrology in the morphological classification of mires. *Proc. IPS Symp. "Classification of peat and peatlands"*, Glasgow: 10 - 20, 3 Fig.; Helsinki (Int. Peat Soc.).
- GRANLUND, E. (1932): *De Svenska Högmossarnas Geologi*. - *Sver. Geol. Unders. C* no. 373, 193 p., 150 Abb.; Stockholm.
- GREEN, B.H. (1968): Factors influencing the spatial and temporal distribution of *Sphagnum imbricatum* Hornsch. ex Russ. in the British Isles. - *J. Ecol.* 56: 47 - 58; Oxford.
- GREENWOOD, D.J. (1961): The effect of oxygen concentration on the decomposition of organic materials in soil. - *Plant and Soil* 14: 360 - 376; The Hague.
- HAVAS, P. (1961): Vegetation and Oekologie der ostfinnischen Hangmoore. - *Ann. Bot. Soc. "Vanamo"* 31: 1 - 188, 29 Abb., 20 Tab.; Helsinki.
- HAYWARD, P.M. & CLYMO, R. (1982): Profiles of water content and pore size in Sphagnum and peat, and

- their relation to peat bog ecology.- Proc. Royal Soc. London B 215: 299 - 325, 13 Fig., 3 Tab.; London.
- HAYWARD, P.M. & CLYMO, R. (1983): The growth of Sphagnum: experiments on and simulation of some effects of light flux and water-table depth. - J. Ecol. 71: 845 - 863, 8 Fig., 6 Tab.; Oxford.
- HEMOND, H.F. & GOLDMAN, J.C. (1985): On non-Darcian water flow in peat. - J. Ecol. 73: 579 - 584, 1 Fig.; Oxford.
- HOVE, P. (1984): Drainage problems in peat soils. - Proc. 7th Int. Peat Congres Dublin, 4: 230 - 236, 8 Fig.; Helsinki (Intern. Peat Soc.).
- HUISMAN, L. (1972): Groundwater Recovery. - 336 p.; London (MacMillan Press).
- HULME, P.D. (1986): The origin and development of wet hollows and pools on Craigeazle mire, south-west Scotland. - Int. Peat Journal 1: 15 - 28, 6 Fig., 2 Tab.; Helsinki.
- HUTCHINSON, J.N. (1980): The record of peat wastage in the East Anglian Fenlands at Holme Post 1848 - 1978 A.D.. - J. Ecol. 68: 229 - 249; Oxford.
- ILOMETS, M. (1984): On the cyclical nature of the development of bogs. - In: PUNNING, J.-M. (Hsg.): Estonia Nature, Man, Economy: 68 - 77, 5 Fig.; Tallinn (Academy of Sciences of the Estonian SSR).
- ILOMETS, M. & PAAP, U. (1982): Scanning electron microscope studies on the Sphagnum leaves morphology. - In: MASING, V. (Hsg.): Peatland ecosystems. Estonian Contributions to the International Biological Programme no. 9: 117 - 124, 18 Fig.; Tallinn.
- INGRAM, H.A.P. (1978): Soil layers in mires: function and terminology. - J. of Soil Sc. 29: 224 - 227; Oxford.
- INGRAM, H.A.P. (1982): Size and shape in raised mire ecosystems: a geophysical model. - Nature 297: 300 - 303, 5 Fig., 1 Tab.; London.
- INGRAM, H.A.P. (1983): Hydrology.-In: GORE, A.J.P. (Hsg.): Mires: swamp, bog, fen and moor. Ecosystems of the World 4A: 67 - 158, 40 Fig., 9 Tab.; Amsterdam (Elsevier).
- INGRAM, H.A.P. & BRAGG, O.M. (1984): The diplotelmic mire: some hydrological consequences reviewed. - Proc. 7th Int. Peat Congr. Dublin, 1: 220 - 234, 8 Fig., 2 Tab.; Helsinki (Int. Peat Soc.).
- IVANOV, K.E. (1981): Water movement in mirelands.-XXVIII + 276 p., 38 Fig., 20 Tab.; London (Academic Press).
- JANSEN, J.M.L. (1975): Het Fochteloërveen. Een onderzoek naar de mogelijkheden tot herstel en behoud van de veengroei in het hoogveenreservaat. - Thesis Wageningen 28 S., 9 Abb., 5 Tab.; Wageningen.
- JANTSCH, E. (1992). Die Selbstorganisation des Universums. Vom Urknall zum menschlichen Geist. - 464 S., 47 Abb., 6 Tab.; München (Hanse).
- JONAS, F. (1931): Das nordische Element nordwestdeutscher Moore und Wälder zwischen Unterweser und Zuiderzee. - Sonderdr aus "Mein Emsland" 1931, 43 S.; Papenburg.
- JONAS, F. (1932): Het levende hoogveen. - De Lev. Nat. 37: 97 - 103 und 129 - 137; Amsterdam.
- JOOSTEN, J.H.J. (1992): Bog regeneration in the Netherlands: a review. - In: BRAGG, O.M., HULME, P.D., INGRAM, H.A.P. & ROBERTSON, R.A. (Hsg.): Peatland Ecosystems and Man: an Impact Assesment: 367 - 373, 1 Fig.; Dundee (Dept. of Biological Sciences, University of Dundee).
- JOOSTEN, J.H.J. & BAKKER, T.W.M. (1987): De Groote Peel in verleden, heden en toekomst. Rapport 88 - 4: 291 S., 111 Abb., 52 Tab.; Utrecht (Staatsbosbeheer).
- JORTAY, A. & SCHUMACKER, R. (1989): Zustand, Erhaltung und Regeneration der Hochmoore im Hohen Venn (Belgien). - Telma Beiheft 2: 279 - 293, 4 Abb., 1 Tab.; Hannover.
- KLINGER, P.U. (1968): Feinstratigrafische Untersuchungen an Hochmooren.-Thesis Kiel, 135 S., 26 Abb., 9 Tab.; Kiel.
- KORCHUNOV, S.S. (1985): The problems of artificial peat dewatering. - Proc. Peat and the Environment '85 Int. Peat Soc. Symp., September 17 - 20 - 1985, 401 - 422, 2 Fig.; Jönköping.
- KORPIJAAKKO, M. & RADFORTH, R.H. (1972): Studies on the hydraulic conductivity of peat. - Proc. 4th Int. Peat Congr. Otaniemi 3: 323 - 334, 6 Fig.; Helsinki (Int. Peat Soc.).
- KULCZYNSKI, S. (1949): Torfowiska Polesia. Peat bogs of Polesie. - Mem. Acad. Pol. Sc. et Lettres. Sc. Mat. et Nat. Serie B:Sc. nat. no. 15, 356 p., 110 Fig., 15 Tab.; Cracov.
- LANOV, V.V. (1991): K voprosu ob organizacii bolotnych morfosistem na osnove stereofotogrammetriceskogo metoda nabljudenij. - In: M. BOC (Herausg.): Bolota ochranjaemych territorija: problemy ochrany i monitoringa. Tezisy dokladov XI Bsesojoeznogo polevogo seminara-ekskursii po bolotovedenijoe. 100 - 103, 1 Abb.; Leningrad.
- LEOPOLD, A. (1949): Thinking Like a Mountain. - In: A Sand County Almanac and sketches here and there:

226 p.; New York (Oxford University Press).

LINDE, P. & VOSSEN, J. (1982): Verslag hoogveengebieden Meerstalblok en De Peel, zomer 1981.-60\$, 10 Abb., 3 Tab., Rapport Landbouwhogeschool Wageningen, Rijksuniversiteit Utrecht.

LOOPMANN, A. (1988): Influence of mire water, oxygen and temperature conditions upon vegetation and the development of bog complexes.-In: ZOBEL, M. (Hsg.): Dynamics and ecology of wetlands and lakes of Estonia: 40 - 57; Tartu (Tartu State University).

LOXHAM, M. & BURGHARDT, W. (1986): Saturated and Unsaturated Permeabilities of North German Peats. - In: FUCHSMAN, C.H. (Hsg.): Peat and Water: 37 - 59, 11 Fig., 3 Tab.; London (Elsevier).

MATHUR, P., DINEL, H., LEVESQUE, M., BROWN, A. & BUTTLER, A. (1989): The role of methane gas in peatland hydrology: a new concept. - Proc. Symposium Peat and Peatland, Diversification and Innovation. Vol. I Peatland Forestry: 153 - 157, 1 Tab.; Quebec.

MOORE, P.D. (1977): Stratigraphy and pollen analysis of Claish Moss, North-West Scotland; significance for the origin of surface-pools and forest history. - J. Ecol. 65: 375 - 397; Oxford.

MÜLLER, K. (1975): Zum Schutz von Hochmoorlandschaften und ihrer Gewässer in nordwestdeutschen Flachland. - Telma 5: 251 - 161, 3 Abb.; Hannover.

NOVIKOV, M., IVANOV, K.E. & KUPRIANOV, V.V. (1972): Hydrological study of swamps related to their management. - Proc. 4th Int. Peat Congr. Otaniemi 3: 335 - 345; Helsinki (Int. Peat Soc.).

NÖGGERATH, J. (1875): Der Torf. - Slg. gemeinverständl. wiss. Vortr. X. Serie, Heft 230. 36 S.; Berlin (Lüderitz).

OVERBECK, F. (1975): Botanisch-geologische Moorkunde. - 719 S., 263 Abb., 38 Tab.; Neumünster (Wachholtz).

OVERBECK, F. & HAPPACH, H. (1957): Über das Wachstum und den Wasserhaushalt einiger Hochmoorsphagnen. - Flora 144: 335 - 402, 30 Abb., 10 Tab..

PÄIVÄNEN, J. (1976): Bulk density as a factor describing other physical properties of peat. - In: Transactions of working group for classification of peat, Int. Peat Soc. Commission I, Helsinki, 40 - 45, 2 Fig, 1 Tab; Helsinki.

PAUL, H. (1932). Der Einfluß des Wassers auf die Gestaltungsverhältnisse der Sphagna. - Abh. Naturw. Ver. Bremen, Sonderheft 2, 28: 78 - 96, 11 Abb.; Bremen.

PRUS-CHACINSKI, T.M. (1962). Shrinkage of peatlands due to drainage operations. - J. Inst. Water Engineers 16: 436 - 448; London.

ROMANOV, V.V. (1968): Hydrophysics of bogs. - 299 p., 78 Fig., 48 Tab.; Jerusalem (Israel Program for Scientific Translations).

ROMANOV, V.V., PAVLOVA, K.K., KALYNZHNY, I.L. & VOROBIEV, P.K. (1975): Hydrophysical investigations of swamps in the USSR. - In: Hydrology of Marsh-Ridden Areas. Proc. IASH Symp. Minsk 1972, 10 p., 1 Tab.; Minsk.

RYCROFT, D.W., WILLIAMS, D.J.A. & INGRAM, H.A.P. (1975a): The transmission of water through peat. I. Review. - J. Ecol. 63: 535 - 556, 5 Fig., 3 Tab.; Oxford.

RYCROFT, D.W., WILLIAMS, D.J.A. & INGRAM, H.A.P. (1975b): The transmission of water through peat. II. Field experiments. - J. Ecol. 63: 557 - 568, 9 Fig., 2 Tab.; Oxford.

RYDIN, H. (1985): Effect of water level on desiccation of Sphagnum in relation to surrounding Sphagna. - Oikos 45: 374 - 379, 4 Fig., 1 Tab.; Copenhagen.

RYDIN, H. & McDONALD, A.J. (1985): Tolerance of Sphagnum to water level. - J. Bryol. 13: 571 - 578, 2 Fig., 1 Tab.; London.

RYDIN, H. & McDONALD, A.J. (1985): Photosynthesis in Sphagnum at different water contents. - J. Bryol. 13: 579 - 584; London.

SCHMATZLER, E. & TÜXEN, J. (1980): Wiedervernässung und Regeneration von Niedersächsischen Hochmooren in ihrer Bedeutung für den Naturschutz. - Telma 10: 159 - 171, 1 Abb.; Hannover.

SCHNEEBELI, M. (1989): Die Regeneration des Hochmoores Turbenriet - Gamperfin, Gemeinde Grabs SG. - Ber. Bot.-Zool. Ges. Liechtenstein-Sargans-Werdenberg 17: 101 - 223, 71 Abb., 8 Tab.; Vaduz.

SCHOTHORST, C.J. (1977): Subsidence of low moor peat soils in western Netherlands. - Geoderma 17: 265 - 291; Amsterdam.

SCHOUWENAARS, J. (1981): De waterhuishouding van hoogvenen en hoogveenrestanten; mogelijkheden voor regeneratie. - In: Syllabus "De waterhuishouding van natuurgebieden", Landbouwhogeschool Wageningen, Vakgroep Cultuurtechniek, 16 S.; Wageningen.

- SCHREIBER, H. (1927): Moorkunde nach dem gegenwärtigen Stande des Wissens auf Grund 30jähriger Erfahrung. - 192 S., 20 Abb.; Berlin (Parey).
- SCHWAAR, J. (1981): Amphi-arktische Pflanzengesellschaften in Feuerland. - *Phytocoenologia* 9: 547 - 572, 18 Tab.; Stuttgart-Braunschweig.
- SIEGEL, D.I. & GLASER, P.H. (1987): Groundwater flow in a bog-fen complex, Lost River Peatland, northern Minnesota. - *J. Ecol.* 75: 743 - 754, 7 Fig.; Oxford.
- SMART, P.J. (1982): Stratigraphy of a site in the Munsary Dubh Lochs, Caithness, northern Scotland: development of the present pattern. - *J. Ecol.* 70: 549 - 558; Oxford.
- SMITH, A. (1972): Sediment drainage and consolidation as a renewal technique in a small bog lake. - In: Hydrology of Marsh-Ridden Areas. Proc. Int. Ass. Sci. Hydrol. Symp. Minsk 1972: 14 p.; Paris (IASH/UNESCO).
- SMOLJANICKIJ, M.Ja. (1977): Nekotorye zakonomernosti formirovanija derniny Sfagnovykh mchov. (Some regularities of formation of Sphagnum moss turfs). - *Botanicesky Zhurnal* 62: 1262 - 1272, 4 Abb., 3 Tab.; Moskva.
- STAFFANSSON, H. (1985): The physical properties of peat related to the peatland type. - Proc. Peat and the Environment '85 Intern. Peat Soc. Symposium, September 17 - 20 - 1985, Jönköping Sweden, 25 - 28; Jönköping.
- SVENSSON, G. (1988): Fossil plant communities and regeneration patterns on a raised bog in South Sweden. - *J. Ecol.* 76: 41 - 59, 8 Fig., 1 Tab.; Oxford.
- SWANSON, D.K. & GRIGAL, D.F. (1988): A simulation model of mire patterning. - *Oikos* 53: 309 - 314, 6 Fig., 1 Tab.; Copenhagen.
- TER HOEVE, J. (1965): Over de waterhuishouding van een hoogveenreservaat in de Engbertsdijkvenen. - *Cultuurtechn. Tijdschr.* 5: 169 - 179, 5 Abb.; Utrecht.
- TER HOEVE, J. (1969): Zur Beziehung zwischen Mooratmung und Grundwassergang in einem unkultivierten Hochmoor. - *Z. Kulturtechn. Flurbereinig.* 10: 28 - 32, 7 Abb., 1 Tab.; Berlin.
- TOLONEN, K. (1967): Über die Entwicklung der Moore im finnischen Nordkarelien. - *Ann. Bot. Fenn.* 4: 219 - 416, 136 Abb., 50 Tab.; Helsinki.
- TÜXEN, J. (1974): Das Sehestedter Aussendeichsmoor - ein regenerierendes Hochmoor. - *Telma* 4: 119 - 128, 3 Tab.; Hannover.
- TÜXEN, J. (1976): Über die Regeneration von Hochmooren. - *Telma* 6: 219 - 230, 1 Abb.; Hannover.
- TWAROSKI, C.J. & KURMIS, V. (1982): Revegetation of mined peatlands. II. Field testing of grasses and site treatments. - 107 p., 10 Fig., 15 Tab.; Minneapolis (Minnesota Dept. of Nat. Res.).
- VAN DER MOLEN, P.C. & HOEKSTRA, S.P. (1988): A palaeoecological study of a hummock-hollow complex from Engbertsdijkveen, in The Netherlands. - *Rev. Palaeobot. Palynol.* 56: 213 - 274; Oxford.
- VAN DER SCHAAF, S., VAN 'T HULLENAAR, J.W., TEN KATE, J.R. & VAN DER MOLEN, W.H. (1992): In situ measurements of acrotelm transmissivity. - *Proc. 9th Intern. Peat Congr.* 3: 227 - 228; Uppsala (Intern. Peat Soc.).
- VAN LEEUWEN, C.G. (1962): De hoogvenen van Twente. - In: Twente - Natuurhistorisch III, 21 - 38, Wet. Med. Kon. Ned. Natuurhist. Ver. 43; Hoogwoud.
- VAN WIRDUM, G. (1979): Dynamic aspects of trophic gradients in a mire complex. - *Proc. and Inf. CHOTNO* 25: 66 - 82; 's-Gravenhage.
- VENEMA, G.A. (1855): De hooge veenen en het veenbranden. - 46 p.; Haarlem.
- VERRY, E. (1981): Hydrologie nicht entwässerter Moore in den Lake States, USA. - *Telma* 11: 65 - 83, 12 Abb., 2 Tab.; Hannover.
- VERRY, E. (1984): Microtopography and water fluctuation in a Sphagnum mire. - *Proc. 7th Int. Peat Congr. Dublin*, 2: 11 - 31, 4 Fig.; Dublin.
- VERRY, E. & BOELTER, D.H. (1972): The influence of bogs on the distribution of streamflow from small bog-upland watersheds. - In: Hydrology of Marsh-Ridden Areas. Proc. IASH Symp. Minsk 1972, 11 p., 4 Fig.; Minsk.
- VITT, D.H., CRUM, H. & SNIDER, J.A. (1975): The vertical zonation of Sphagnum species in hummock-hollow complexes in northern Michigan. - *Mich. Bot.* 14: 190 - 200, 16 Fig.; Ann Arbor.
- VON BÜLOW, K. (1927): Beitrag zur Geologie pommerschen Hochmoore. - *Abh. u. Ber. Pommerschen Naturforsch. Gesellschaft* 7: 12 - 56.
- WAGNER, C. (1986): Auswirkungen des Entkusselns auf den Wasserhaushalt und die Vegetation (besonders

der Torfmoose) in den verschiedenen Degenerationsstadien des entwässerten Hochmoores und des Zwischenmoores. - Gutachten Auftrag des schleswig-holsteinischen Min. Ern., Landw., Forst., 127 S., 43 Abb., 14 Tab.; Kiel.

WALKER, D. & WALKER, P.M. (1961): Stratigraphic evidence of regeneration in some Irish bogs. - *J. Ecol.* 49: 169 - 185; Oxford.

WEBER, C.A. (1900): Ueber die Moore, mit besonderer Berücksichtigung der zwischen Unterweser und Untereibe liegenden. - *Jahresber. d. Männer v. Morgenstern* 3: 3 - 23, 2 Abb., Geestemünde.

WEBER, C.A. (1902): Ueber die Vegetation und Entstehung des Hochmoors von Augstimal im Memeldelta. - 252 S., 28 Abb.; Berlin (Parey).

WEEVERS, T. (1938): Het hoogveen van Fochtelo. - *De Lev. Nat.* 42: 345 - 348; Amsterdam.

Manuskript eingegangen am 20. September 1993