

Zustand, Wandel und Entwicklung europäischer Moorlandschaften

Klaus DIERSSEN und Oliver NELLE (Kiel)

Mit 2 Abbildungen

Zusammenfassung

Wachsende Moore akkumulieren durch Verlandung von Seen, primäre Moorbildung auf nassen Mineralböden oder durch Versumpfung bei ansteigenden Wasserständen organisches Material (Torf). Moorkomplexe bilden naturraumspezifische Ökosysteme, die sich abhängig von Vegetationszonen, Ozeanitätsgradienten und Höhenstufen in ihrer Artenzusammensetzung, Struktur und Produktivität unterscheiden. Nicht allein die torfbildende Vegetation wird eingeschränkt mikrobiell abgebaut. Vielmehr erhalten sich in Mooren Pollenkörner, Sporen, tierische und pflanzliche Makro- und Holzreste sowie Einzeller stratifiziert über Jahrtausende. Als ideale Paläoarchive konservieren Moore unter anderem archäologische Reste sowie limnische, fluviale und äolische Ablagerungen. Daraus läßt sich mit geeigneten Verfahren auf Seespiegelschwankungen, Veränderungen des Gebietswasserhaushaltes oder Einträge durch Winderosion schließen und die nacheiszeitliche Vegetations- und Nutzungsgeschichte einer Region sowie der Moorsysteme selbst rekonstruieren. In Kulturlandschaften sind Moore durchweg anthropogen überformt und teilweise bis vollständig zerstört. Drainagen und Torfabbau verwandeln Torflager von Kohlenstoff- und Nährstoffsenken in Quellen für den Landschaftswasserhaushalt, verstärken die Erwärmung der Atmosphäre (CO₂-Emissionen) und beeinträchtigen die Ozon-Schicht (N₂O). Zugleich wird ihre Archivfunktion irreversibel zerstört. Restitutionsmaßnahmen zielen auf eine (teilweise) Wiederherstellung ökosystemarer Moorfunktionen, die gleichermaßen Zielen des Artenschutzes wie einer nachhaltigen Ressourcennutzung dienen sollen.

Abstract

Growing mires accumulate organic matter (peat) by aggradation of lakes, in primary peatlands on wet mineral soils or by paludification on sites with a rising groundwater table. Mire complexes form regionally specific ecosystems that differ in structure, productivity and species composition depending on vegetation zones, gradients of oceanicity, altitudinal belts and the hydrogeochemistry of the catchment areas. The peat forming vegetation decays slowly and only partly. Furthermore, pollen grains, spores, macro-remains of plants and animals as well as protists were deposited over millennia, forming a stratigraphy. Mires are ideal palaeoarchives, since they store archaeological and biological remnants, but also limnic, fluvial and aeolic deposits that may help to reconstruct lake level fluctuations, changes in the regional water regimes or deposits by wind erosion. In total, a combination of these investigations enables us to reconstruct vegetation and landscape dynamics, land use history and mire development. In cultural landscapes, mires are commonly influenced by human activities. They are partly or totally destroyed. As a consequence of drainage and peat extraction, peatlands change from sinks of carbon and nutrients to sources, which may hamper the surface water quality. As a source of CO₂ and N₂O emissions, they become relevant for global warming and the destruction of the ozone layer of the atmosphere. They irreversibly lose their archive function. Mire restoration aims at reconstructing the former ecosystem functions for nature conservation goals and a future sustainable use of their natural resources and services.

1. Einführung

In den meisten Ökosystemen stehen der Aufbau der Biomasse und ihre Zersetzung näherungsweise im Gleichgewicht. Wenn und wo die Primärproduktion die Abbauprozesse übersteigt, akkumuliert organisches Material. Die auf diese Weise gebildeten organischen Horizonte werden als Torf definiert, wenn der Boden zu $\geq 30\%$ seines Trockengewichtes aus abgestorbenem organischem Material besteht und sobald dieser Horizont eine Mächtigkeit von ≥ 31 cm hat. Lebensräume, die an ihrer Oberfläche Torf akkumulieren oder früher gebildet haben, werden strukturell als Moore in weit gefaßtem Sinne (engl. ›peatlands‹) bezeichnet. Enger gefaßt und funktional verstanden, sollte der Begriff Moor (engl. ›mire‹) möglichst solchen Flächen vorbehalten bleiben, auf denen Torf bildende Prozesse und damit die Akkumulation abgestorbenen organischen Materials auch weiterhin noch stattfinden. Solche Moorsysteme sind folglich Senken für Kohlenstoff und andere Mineralstoffe.

Eine verzögerte Zersetzung abgestorbenen Pflanzenmaterials kann verschiedene Ursachen haben:

- Eine Verlandung von Seen und kleinen stehenden Gewässern durch die Ablagerung limnischer und telmatischer Sedimente, oder
- eine primäre Moorbildung auf feuchten oder wassergesättigten Mineralböden sowie
- eine Versumpfung überall dort, wo ehemals weniger feuchte Mineralböden, meist in Wäldern, durch eine Veränderung des Gebietswasserhaushaltes wassergesättigt wurden oder werden. Auslöser können beispielsweise ein Anstieg des Meereswasserspiegels oder auch eine abfallende Verdunstung infolge der Rodung von Wäldern sein.

Die Wechselbeziehung von Primärproduktion, Zersetzung und Torfakkumulation ist kein kontinuierlicher Vorgang, sondern wird durch klimatische Bedingungen und menschliche Eingriffe in den Gebietswasserhaushalt gesteuert sowie im System selbst durch mikrobielle Prozesse kontrolliert. Eine Torfbildung wird dabei durch solche Faktoren gefördert, die einzeln oder additiv die metabolische Aktivität von Mikroorganismen beeinträchtigen, vor allem durch:

- Wassersättigung und dadurch ausgelöst langfristige Anaerobiose in den obersten Torfschichten (in der ungesättigten Zone, dem Akrotelm), insbesondere an produktiven, eutrophen Standorten;
- den Widerstand, den ›Schlüsselarten‹ in torfbildenden Systemen einem mikrobiellen Abbau entgegensetzen, etwa infolge eines weiten C/N-Verhältnisses der pflanzlichen Gewebe oder der Einlagerung abbauresistenter Substanzen des Sekundärstoffwechsels sowie
- ausgelöst durch klimatische und edaphische Parameter zum Beispiel niedrige Temperaturen, eine kurze Vegetationsperiode, Nährstoffdefizite oder niedrige pH-Werte des Ausgangsmaterials der Bodenbildung.

Die Torfbildung in einem Moorsystem fällt übrigens auch mit wachsender Torfmächtigkeit an einem Standort ab. Unterstellt, die primäre Torfbildung bliebe in längeren Zeiträumen weitgehend identisch, so steigt mit zunehmender Torfakkumulation der Torfverlust absolut durch die Zersetzungs Vorgänge im gesamten Torfprofil auch unter anoxischen Verhältnissen innerhalb eines Zeitraumes an, und die Netto-Akkumulations-

rate fällt auf diese Weise stetig ab (CLYMO et al. 1998). Vor allem in nährstoffarmen Mooren übersteigt demzufolge die Rate der Torfbildung an den flachgründigen Moorrändern mit geringermächtigem Catotelm (der unter dem Akrotelm liegenden gesättigten Zone als eigentlichem Torflager) jene der zentralen Moorflächen mit höheren Mächtigkeiten des Catotelm. Letzteres wirkt als Archiv unzeretzter Pflanzenreste. Fluktuationen der Zusammensetzung von Makroresten und Pollen in einem Torfprofil indizieren klimatische und hydrologische Veränderungen in der Vergangenheit (vgl. Abschnitt 3).

Während nicht entwässerte Moore organisches Material speichern, haben Torfstich, Drainage oder landwirtschaftliche Kultivierung Moore in ›Torflagerstätten‹ oder ›Torflandschaften‹ umgewandelt: aus Senken wurden Quellen für Kohlenstoff und Nährstoffe.

Das mittlerweile gewachsene Wissen über die Bedeutung ökosystemarer Prozesse, Funktionen und der gesellschaftlichen Bedeutung von Dienstleistungen und Qualitäten (›Sozialen Werten‹) von Moorsystemen im weltweiten Vergleich erfordert heute integrierte Strategien für einen künftigen nachhaltigen Schutz und eine angemessene Bewirtschaftung (u. a. MALBY 1998, JOOSTEN und CLARKE 2002). Traditionelle Schutzstrategien, wie Maßnahmen des Artenschutzes und der Ausweisung von Schutzgebieten, erweisen sich somit als unzureichend für ein effektives Management und eine wirksame Erhaltung von Mooren als Ökosystemkomplexen, und die aktuellen kurzfristig und sektoral verfolgten Strategien der Moornutzung, wie Torfgewinnung als Energieträger und für den Erwerbsgartenbau sowie die Kultivierung von Mooren für eine land- und forstwirtschaftliche Nutzung, ignorieren in weiten Teilen diese vielfältigen ›Gesellschaftlichen Werte‹ und ökologischen Steuerfunktionen, wie sie oligohemeroben, anthropogen wenig beeinträchtigten Moorsystemen eigen sind.

2. Moor-Naturraumtypen

Wäldern vergleichbar bilden Moore landschaftsspezifische Ökosysteme und lassen sich demzufolge für landschaftsökologische Raumgliederungen verwenden. Im Umkehrschluß trägt die wirksame Erhaltung möglichst wenig beeinträchtigter Moorsysteme zur Wahrung der Authentizität von Naturräumen bei. Eine reine Beschreibung auf der Basis vorherrschender Vegetationstypen, ausgewählter Arten oder Moorstrukturen (etwa hydromorphologischer Moortypen) bleibt deswegen unbefriedigend, weil weder das standörtliche Mikromosaik noch die daraus resultierenden Wechselbeziehungen zwischen Teilsystemen noch der Artenbestand umfassend charakterisiert werden können. Ein übersichtliches und zugleich hinreichend differenziert auflösendes Konzept kann dagegen eine Charakterisierung von Vegetationskomplexen sein. Legt man hierfür definierte Vegetationstypen zugrunde, so lassen sich diese in ihrer räumlichen Verteilung analog zu einer Aufnahme (des Komplexes) zusammenfassen wie beispielsweise Arten bei einer Vegetationsaufnahme von Mikroformen. Ein überregionaler Vergleich solcher Vegetationskomplexe ermöglicht somit die Aufstellung naturraumspezifischer Komplextypen, die über die aufgenommenen Elemente (Pflanzengesellschaften) als Indikatoren zugleich über die standörtlichen Verhältnisse orientieren. Die räumliche Verteilung der Moortypen-Komplexe kann auf lokaler bis überregionaler Ebene ermittelt und sowohl für vegetationsgeographische Gliederungen als auch als Planungsgrundlage ausgewertet

werden. Dabei lassen sich gleichermaßen strukturelle (Vegetationszusammensetzung), standortökologisch-funktionale und chorologische Charakteristika berücksichtigen. Eine nachvollziehbare Typisierung der Vegetation durch Aufnahmen von Vegetationskomplexen setzt detaillierte und zeitaufwendige Geländeerhebungen voraus. Aus diesem Grunde fehlt bislang ein Vergleich von Vegetationskomplexen naturraumspezifischer Moortypen auf europäischer Ebene. In der folgenden Übersicht wird daher auf der Basis bislang vorliegender Daten eine grobe Synopse entworfen (Abb. 1).

Die folgenden Klimagradien sind für die Ausgestaltung der Strukturen in Moorkomplexen maßgeblich:

- Das Verhältnis von Niederschlägen zur Gebietsverdunstung bestimmt den Anteil des mit dem Regenwasser zugeführten Oberflächenwassers in Mooren; nur bei Niederschlagswasser-Überschüssen können sich Moore entwickeln, deren Hydrologie von Grund- und Oberflächen-Wasserzstrom aus dem Einzugsgebiet unabhängig ist (Hochmoore in weitem Sinne, Regenwassermoore, ombrotroph). Ombrotrophe Moore bleiben demzufolge auf Regionen mit maritimem Allgmeinklima beschränkt. Moore in Regionen mit hohen Niederschlagsüberschüssen zeigen vielfach einen hohen Anteil nasser Moorstrukturen (Schlenken, Kolke), solche mit geringen Niederschlagsüberschüssen überwiegend trockene Strukturen (Decken, Bulten).
- Die Länge der Vegetationsperiode bestimmt die Produktivität der Vegetation. Moore kalter Regionen (Arktis und große Teile der borealen Zone, alpine Lagen in den Gebirgen) zeigen vielfach geringe Torfbildungsraten, wachsen langsam und erreichen nur in Ausnahmefällen ombrotrophe Verhältnisse; häufige Frostwechselereignisse oder Permafrost prägen vielfach das Mikrorelief der Moore (ausgeprägte Bult-Schlenken-Komplexe, Stränge, Palsen).

Unter den maritimen Klimabedingungen in Westeuropa von W-Norwegen über die Britischen Inseln und W-Frankreich bis N-Portugal sind oligotrophe Hangmoor-, Deckenmoor-, Hochmoor- und Feuchtheidekomplexe bezeichnend (Region 1). In W-Irland, NW-Schottland, dem Lake District und Wales (1.1) prägen unabhängig vom regionalen Relief ombrotrophe Deckenmoore großräumig die Landschaft, allerdings regional vielfach in einer durch Abtorfung, Grünlandnutzung und Aufforstung überprägten Form. Im westlichen Irland treten in derartigen Mooren bei mildem Klima und infolge des Fehlens phytotoxischer Al-Ionen in der Bodenlösung üblicherweise in basenreichen Mooren vertretene, ›anspruchsvolle‹ Arten wie *Schoenus nigricans* auf. Torfmoose treten in diesen Deckenmooren zurück, und die Mineralisationsraten sind deutlich höher als in den *Sphagnum*-reichen Hochmooren weiter östlich, die Torfbildungsraten sind demzufolge abgeschwächt. Östlich und in England südlich (1.2) schließen sich als beherrschende Moorkomplexe Hochmoore und Moorheiden an (kennzeichnend: *Erico-Sphagnetum*, *Ericetum tetralicis*), regional in Eiszerfallslandschaften Kesselmoore. Deckenmoorkomplexe bleiben hier vorwiegend auf die Montanstufe beschränkt (u. a. Wicklow Mountains, Pennines, Cambrian Mountains, Dartmoor). Diese sind durch Überweidung und Brand in großen Teilen anthropogen überformt; Pfeifengras (*Molinia caerulea*-)reiche Stadien und ausgedehnte Erosionskomplexe überwiegen. Der den Skanden westlich vorgelagerte Bereich Norwegens (1.3) umfaßt aufgrund beträchtlicher Reliefenergie verschiedenartige hydrologische Moortypen: wiederum Deckenmoore, Hochmoore mit ausgeprägten Kermis und Hangmoorkomplexe mit Mosaiken ombro- und minerotropher

Standorte. In Südnorwegen, SW-Schweden, Jütland, NW-Deutschland und den Niederlanden nehmen ozeanische Hochmoore (vorherrschender Vegetationstyp: *Erico-Sphagnum*) (1.4) beziehungsweise ihre Degradationsstadien teilweise große Flächenanteile

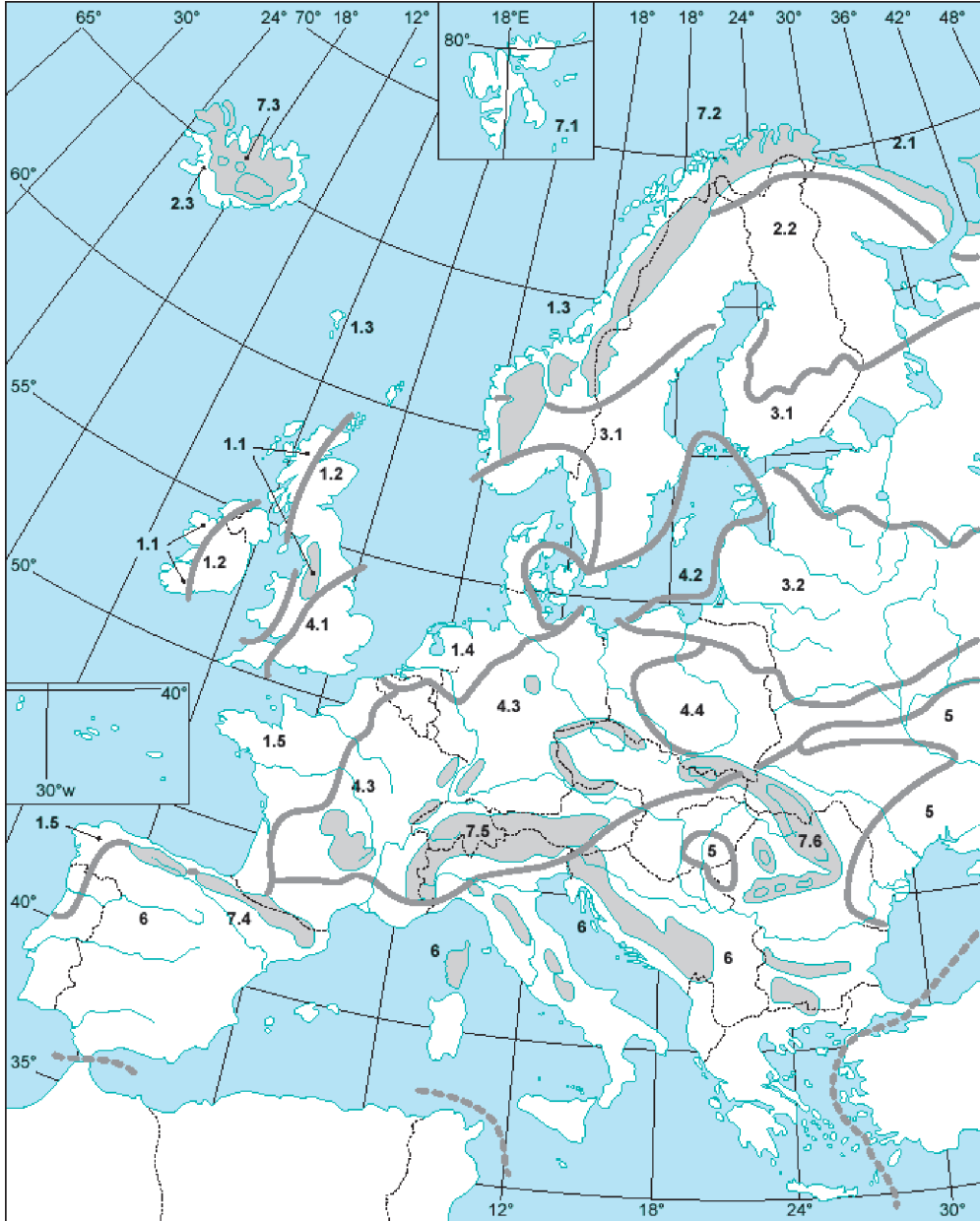


Abb. 1 Verteilung regionaler Moorkomplexe im Gefälle von Vegetationszonen, Ozeanitätsgradienten und Höhenstufen (aus DIERSSEN und DIERSSEN 2001).

ein. In den westlichen Niederlanden sind ehemalige Hochmoorsysteme infolge der hier beträchtlichen Meeresstransgressionen »ertrunken«; sie wurden überwiegend von eutrophen Niedermoor-Komplexen abgelöst. Entlang der Atlantikküste von W-Belgien an südwärts fehlen aktuell bei insgesamt zurückgehendem Mooranteil ombrotrophe Moore aufgrund der abfallenden Niederschlagsüberschüsse (1.5). In Mulden innerhalb von Feuchtheidenkomplexen sind hier allenfalls kleinräumig torfbildende, saure Niedermoor-komplexe entwickelt. Floristisch ist die Kombination von Ericion-, Caricion nigrae- und Littorelletea-Elementen bezeichnend, u. a. mit Arten wie *Anagallis tenella*, *Carex durieui*, *Carum verticillatum*, *Juncus acutiflorus*, *Narthecium ossifragum*, *Sphagnum denticulatum* und *S. pylaisii*.

In weiten Teilen der borealen Zone Nordeuropas sind Strang- oder Aapamoore mit minerotropen Schlenkenkomplexen und weitgehend ombrotrophen Bulten beziehungsweise Strangsystemen landschaftsbeherrschend (2). Im Norden Schwedens und Finnlands kann deren Flächenanteil regional jenen der Wälder überschreiten. In der nordborealen Zone Skandinaviens sind in den Aapamooren teilweise Palsas entwickelt (2.1). Bezeichnend für die trockeneren Moorstrukturen sind Gesellschaften des Oxycocco-Empetrion, für die nassen Systeme (Rimpis), die im Norden von der Flächenausdehnung her überwiegen, solche der Scheuchzerietalia, unter eher oligotropen Bedingungen u. a. mit *Carex rotundata*, *Eriophorum russeolum* und *Sphagnum jensenii*, unter mesotropen Verhältnissen mit *Carex rostrata*, *C. chordorrhiza* und *C. aquatilis*. Südwärts steigt der Flächenanteil trockenerer Strukturen an, wobei sich gleichzeitig die Unterschiede im Mikrorrelief abschwächen (2.2). Floristisch bleiben die Unterschiede zu den nördlicheren Aapamooren gering. Die Moore sind aber abhängig von Relief und Basenverfügbarkeit des zuströmenden Oberflächenwassers standörtlich und regional variabel. Deutlich davon unterschieden sind die Moorkomplexe der Tieflagen Islands (2.3). Hier läßt die Einlagerung basenreicher vulkanischer Aschen kaum eine Ausbildung oligotroph-saurer Bultkomplexe zu. Die Vegetation der nassen Teilsysteme entspricht dagegen jenen basenreicher Schlenken in Skandinavien. Küstennahe, teilweise brackigen Verhältnissen unterworfenen Versumpfungsmoore werden von der in Nordamerika weiter verbreiteten *Carex lyngbyei* dominiert. Südlich der Aapamoore schließen sich Hochmoorsysteme an. In der südborealen Zone sind die Kermis überwiegend konzentrisch ausgerichtet (3.1). Oxycocco-Empetrion-Gesellschaften beherrschen die offenen Moorflächen, Kiefern- und Fichtenbruchwälder die Randzonen. *Carex globularis* und *Sphagnum wulfianum* sind für letztere vor allem unter subkontinentalen Bedingungen bezeichnend. Unter hemiboreal-temperaten Verhältnissen folgen im südöstlichen Ostseeraum Plateau-Hochmoore (3.2). Als torfbildende Vegetationstypen der Moorweite wie der randlichen oligotropen Bruchwälder herrschen Gesellschaften des Sphagnion magellanici (Sphagnetum magellanici, Ledo-Sphagnetum magellanici). In den Schlenken-Systemen ist das Sphagno-Rhynchosporium bezeichnend, in basenreicheren Moorkomplexen der gleichen Region neben Caricion lasiocarpae-Gesellschaften das Salici-Betuletum humilis.

Mit abfallenden Niederschlagsüberschüssen in der temperaten Zone werden Hochmoore durch minerotrophe Verlandungs- und Versumpfungsmoore ersetzt beziehungsweise nach Entwässerung und Nutzung der Torfstandorte durch deren Rudimente (4). Alle diese Moorkomplexe sind an hydrologisch geeignete Geländeausschnitte gebunden, in denen Oberflächen- oder Grundwasser angereichert wird und dadurch eine Torfbildung initiiert werden kann. Im temperaten Europa finden sich solche Regionen im

Tiefeland Südost-Englands (4.1), wo überwiegend nährstoffreiche, tonige Ablagerungen anstehen und die primäre Sukzession an Feuchtstandorten vorwiegend zu eutraphenten Carici-Phragmitetea-Gesellschaften und Erlenbrüchen verläuft. Arm an oligotroph-sauren Mooren sind außerdem ausgedehnte Bereiche der südlichen Ostsee von Ostjütland, Fünen, Seeland über das südliche Schonen bis zu den Inseln Öland, Gotland, Ösel und Dagö sowie den Åland-Inseln (4.2). Neben den edaphischen Bedingungen (u. a. mineral-kraftige schluffig-tonige Böden oder flachgründige Standorte auf devonischen Kalken) sind für diese Region geringe Sommerniederschläge bezeichnend. Regional sind basenreiche Niedermoore hoher Qualität und Vielfalt entwickelt. Unter ozeanisch-subozeanischen Bedingungen überwiegen in Tieflagen saure Versumpfungsmoore (*Caricion nigrae*), in Quell- und Durchströmungsmooren bei kalkreichem Ausgangsgestein dagegen Niedermoore mit beherrschenden *Caricion davallianae*-Gesellschaften (4.3). Mit ansteigender Sommertrockenheit fällt die Tendenz zur Versauerung durch Infiltrationswasser in den Mooren ab. Unter stärker kontinentalen und meridionalen Bedingungen begrenzt die Sommertrockenheit eine kontinuierliche Wasserversorgung an flachgründig-quelligen Niedermoorstandorten (4.4). Demzufolge fallen hier die Arten des *Caricion davallianae* beziehungsweise jene seiner nutzungsbedingten Ersatzgesellschaften sukzessive aus (u. a. *Carex davalliana*, *C. hostiana*, *Eriophorum latifolium*, *Primula farinosa*, *Trichophorum alpinum*, *Swertia perennis*, *Schoenus ferrugineus*, *S. nigricans* sowie *Sesleria uliginosa*). In diesen Moorsystemen verbleiben die besser an starke Wasserstandsschwankungen angepaßten Sippen des *Caricion lasiocarpae* und des *Caricion elatae*. Abgesehen von den Phytozönosen offener Moorstandorte sind in den kalkoligotrophen bis eutrophen Überflutungsmooren weiträumig Bruchwaldkomplexe entwickelt, an sauren Standorten das *Vaccinio uliginosi*-Pinetum und das Ledo-Sphagnetum *magellanici*, an eutrophen das *Carici elongatae*-Alnetum sowie Weiden-Bruchwälder. Extrazonal sind in der Region 4 ombrotrophe Moorkomplexe in montanen und subalpinen Lagen vertreten, so von Westen nach Osten vor allem im Massif Central, dem Hohen Venn und der Eifel, dem Schweizer Jura, in Vogesen, Schwarzwald, Harz, Thüringer Wald, Rhön, Fichtelgebirge, Bayerischen und Böhmer Wald, der Böhmischo-Mährischen Höhe, dem Erzgebirge und den Sudeten. Mit Ausnahme des Hohen Venns, wo Degradationsstadien des *Erico*-Sphagnetum großflächig dominieren, werden diese ombrotrophen Systeme von Gesellschaften des *Sphagnion magellanici* beherrscht. Deckenmoorkomplexe sind in den Hochlagen von Massif Central und Vogesen entwickelt.

Im Waldsteppengebiet östlich der Karpaten und nordwestlich des Schwarzen Meeres bleiben Niedermoorkomplexe extrazonal im wesentlichen auf Überflutungsstandorte beschränkt (5). Bezeichnend sind eutrophe Versumpfungsmoore an stehenden Gewässern und Überflutungsmoore in Flußtälern, vornehmlich mit Carici-Phragmitetea-Gesellschaften (*Schoenoplecto*-Phragmitetum, *Caricetum elatae*, *Caricetum acutae*) und Bruchwäldern (*Carici elongatae*-Alnetum, seltener *Vaccinio*-Pinetum). An wechselnaß-brackigen Standorten sind Gesellschaften des *Bolboschoenion* entwickelt.

Submeridionale und mediterrane Gebiete sind in Europa allgemein arm an Feuchtstandorten und noch ärmer an Moorsystemen (6). Die großflächig entwickelten basenreichen Überflutungs- und Durchströmungsmoore der Pripyat-Polesbye-Region im südwestlichen Weißrußland sind innerhalb der vergangenen 25 Jahre infolge Entwässerung und Torfabbau von etwa 3800 km² auf 440 km² geschrumpft (KOZULIN und FLADE 1999). Abgesehen von diesem niedermoorreichen Naturraum treffen wir kleinräumig entwik-

kelte Moore überwiegend als nährstoffreiche Sümpfe in Ästuaren und allgemein in Küstennähe an, außerdem in Mulden sowie als Versumpfungszonen entlang von Gewässern in subalpinen und alpinen Lagen. Deutlich verschieden von dieser zonalen Anordnung von Moorkomplexen sind die Moorsysteme höherer Gebirge sowie der Arktis (7). Spitzbergen, in großen Teilen vergletschert, gehört bereits zur nördlichen arktischen Zone (7.1). Ausgedehnte Vermoorungen fehlen hier. Die durchweg flachgründigen Anmoorstandorte entsprechen in ihrer Zusammensetzung in den Grundzügen den Bryophyten-Synusien basenreicher Niedermoore der borealen Zone. Beherrschende Gefäßpflanzen sind circumpolar in der Hocharktis verbreitete Sippen, u. a. *Arctophila fulva*, *Dupontia fisheri*, *D. psilosantha*, *Eriophorum angustifolium* subsp. *triste* und *Saxifraga cespitosa*.

Die skandinavischen Hochgebirge (7.2) sind regional aus Gesteinen unterschiedlicher mineralischer Zusammensetzung aufgebaut. Entsprechend vielgestaltig sind die in subalpinen und alpinen Lagen durchweg flachgründigen Moorkomplexe zusammengesetzt. Vollständig ombrotrophe Systeme fehlen der alpinen Stufe. Bezeichnend für die strukturell durch Kryoturbation und Solifluktion geprägten Niedermoore sind Gesellschaften des *Caricion nigrae* und des *Caricion atrofusco-saxatilis*: u. a. *Eriophoretum scheuchzeri*, *Calliargon-Caricetum saxatilis*, *Caricetum atrofusco-vaginatae*, *Caricetum microglochinis*. Die Niedermoorkomplexe in der subalpinen und alpinen Stufe auf Island (7.3) sind ähnlich zusammengesetzt wie in den Skanden.

In Mittel- und Südeuropa unterscheiden sich die subalpin-alpinen Niedermoore teilweise floristisch. Die Gesellschaften des *Caricion atrofusco-saxatilis* sind hier relictär entwickelt, seltener und eher kleinräumig vertreten. Für basenreiche Standorte sind die Gesellschaften des *Caricion davallianae* bezeichnend (vor allem *Caricetum davallianae*, *Caricetum frigidae*, *Schoenetum ferruginei*), für die sauren jene des *Caricion nigrae*, in tieferen Lagen auch des *Sphagnion magellanicum*. In den Alpen (7.5), dem Alpenvorland, den hercynischen Mittelgebirgen und den Karpaten wird das *Pino mugos-Sphagnetum* zur beherrschenden Gesellschaft oligotropher Moorsysteme. Die Gesellschaften des *Caricion davallianae* erreichen in den Kalkalpen und dem nördlichen Alpenvorland vom Flächenanteil her ihre größte Bedeutung und floristisch ihre größte Vielgestaltigkeit. Dies gilt ebenso für die durch Bewirtschaftung (teilweise) aus ihnen hervorgegangenen Streuwiesen. Sowohl nach Westen in den nordiberischen Gebirgen (Serra da Estrela, Cantabrische Cordilliere, Pyrenäen) (7.4), nach Süden im Apennin und nach Osten und Südosten (Karpaten, Dinaren, Balkan, Rhodopen) (7.6) nimmt mit ansteigender Sommertrockenheit auch in den Gebirgen der Flächenanteil der Moore merklich ab. Gesellschaften des *Sphagnion magellanicum*, des *Caricion lasiocarpae*, des *Caricion nigrae* sowie des *Caricion davallianae* bleiben demzufolge vielfach floristisch rudimentär und kleinflächig entwickelt. (Die moorhydrologischen Termini und pflanzensoziologische Zuordnung folgen DIERSSEN und DIERSSEN 2001.)

3. Paläoökologie von Torflagerstätten

Moore sind ideale Paläoarchive. Aufgrund von Wassersättigung und oft saurem Milieu wird nicht nur die Torf bildende Vegetation nur gehemmt mikrobiell zersetzt, auch andere organische Objekte sind teilweise konserviert und über das Aufwachsen der Torfe stratifiziert. So erhalten sich in Mooren Pollenkörner, Sporen, tierische und pflanzliche Ma-

kröseste, Holzstücke, Diatomeen, Rhizopoden, Algen und Pilzhyphen Jahrtausende. Moore archivieren somit stratifiziert Informationen über ihre eigene Entwicklung wie auch über die Paläoumwelt (BIRKS und BIRKS 1980, BERGLUND 1986). Moore in direkter Nachbarschaft zu Seen können zum Verständnis von Seespiegelschwankungen beitragen, etwa wenn Torfwachstum und Muddenbildung in der Stratigraphie abwechseln. Über Pollen- und Großrestanalysen wie auch über Untersuchungen zu chemisch-physikalischen Eigenschaften der Torfe werden die gespeicherten Informationen erschlossen, und es lassen sich Szenarien zur Moorentwicklung (Hydrologie, torfbildende Vegetation, Trophie) wie zur Klimaentwicklung, zur Landschaftsgeschichte und zur lokalen beziehungsweise regionalen Floren- und Vegetationsgeschichte entwickeln. Mit Hilfe radiometrischer Datierungen (^{14}C , ^{210}Pb) lassen sich Chronologien aufstellen und Entstehungszeit sowie Torfakkumulationsraten eines Moores ermitteln.

In einer Torfstratigraphie feststellbare Tephren geben Auskunft über Vulkanausbrüche (BOGAARD et al. 2002, HOTES et al. 2001). Glühverlustbestimmungen ermitteln die Veränderungen des mineralischen Anteils in Torfen entlang eines Bohrkernes, über die man auf Einträge aus der Umgebung des Moores als Folge von Winderosion schließen kann. Brandereignisse in der Umgebung können über die Erfassung von mikroskopischen Pflanzenkohlenpartikeln (»Holzkohleflitter«) rekonstruiert werden.

Funktion und Erschließen der Moore als Archiv für archäologische Reste ist durchaus ambivalent. Moore archivieren Menschen, die geopfert, ermordet, im Kampf getötet wurden. Wir erhalten bei Fund und Bergung der Moorleichen einmalige Informationen zu Lebensalter, Gesundheitszustand, letzter Mahlzeit und Kleidung (BEHRE 1999, PIEPER 2003). Moorwege zeigen Verkehrsverbindungen zwischen Siedlungen auf, und ihre Untersuchung trägt zum Verständnis von Umweltveränderungen bei (BAUEROCHSE 2003). Hochmoore hatten trennende Eigenschaften und isolierten Menschen. Bohlenwege über die Torfkörper schufen Verbindungen. Anfangs handelte es sich um schmale Holzwege. Gegen 3000 BC begann der Bau von Bohlenwegen, die bis zu 4 m breit waren (FANSA 1992). Über dendrochronologische Untersuchungen der verwendeten Hölzer lassen sich die Verkehrsbeziehungen, aber auch die Torfschichten mitunter jahrgenau datieren. Diesen Wegen haben wir es wiederum zu verdanken, daß aufgrund von in Torfen konservierten Wagenteilen die Radentwicklung rekonstruiert werden konnte. Moore sind wichtige Fundstätten für archäozoologische Untersuchungsgegenstände im Kontext von prähistorischen Siedlungen (z. B. HEINRICH 1993, EWERSEN 2001).

Umgekehrt erschloß aber erst die Moornutzung diese Paläoarchive für die Archäologie. Einerseits wird bedauert, daß mit einer restituierenden Wiedervernässung »den Moorarchäologen die Arbeitsmöglichkeiten genommen« werden (GÜNTHER 1992); der Autor sieht aber gleichzeitig, daß wassergesättigte Moore in ungestörter Lagerung »ein Archiv für spätere Generationen« darstellen (GÜNTHER 1992).

Mediterrane Gebiete sind aufgrund ihrer Moorarmut auch ärmer an Archiven, die palynologisch erschlossen werden können. Hier wird, sofern möglich, auf Seen als Paläoarchive ausgewichen, bzw. quartäre Vegetationsgeschichte mittels anthrakologischer Untersuchungen (Holzkohleanalyse) erforscht (VERNET 1973, 1997, vgl. auch NELLE und BANKUS 2002).

Die Entwicklungsgeschichte der Moore begann im Spätglazial. Vereinzelt startete das Moorwachstum vor allem im Alleröd. Mit Beginn des Holozäns im Präboreal entstanden verstärkt Verlandungs- und Versumpfungsmoore, also Niedermoores. Die Bildung ombro-

tropher Moore setzte in Nordeuropa hauptsächlich im Atlantikum und Subboreal ein (LANG 1994), zum Teil in Nordwestdeutschland bereits im Boreal (OVERBECK 1975). Meist entwickelten sich aus grundwassergenährten Mooren in dieser Zeit Regenwassermoore. Bei der Hochmoorbildung sind neben klimatischen eine Reihe weiterer Faktoren entscheidend. Dennoch läßt sich feststellen, daß Flächen- und Volumenzuwachs Maxima am Ende des Atlantikums und im Subboreal erreichten (LANG 1994). Die meisten europäischen Hochmoore sind somit zwischen ca. 8000 a BP und 3000 a BP entstanden. Überschwemmungsmoore traten in Flußtäälern und im Küstenbereich auf. Torfbildung wird hier von periodischer oder episodischer Überflutung durch Flüsse oder Fluten im Meeresbereich beeinflusst. Torfakkumulationsraten hängen von der torfbildenden Vegetation, der Hydrologie des Moores und den klimatischen Rahmenbedingungen ab. Der Abbau organischen Materials in wachsenden Mooren ist zwar gehemmt, doch ist aufgrund der Mineralisation eines Großteils der Primärproduktion nicht von dieser auf die tatsächliche Torfakkumulation zu schließen. Akkumulationsraten können für längere Zeiträume nur über eine absolut datierte Chronologie an Torfbohrkernen bzw. -aufschlüssen ermittelt werden. In einem 2,4 m mächtigen ombrotrophen Torfabschnitt in Dänemark kalkulierten AABY und TAUBER (1975) mit Hilfe von 59 ^{14}C -Datierungen Torfakkumulationsraten von $0,15\text{--}0,80\text{ mm a}^{-1}$. Im Bayerischen Wald konnten für einen 4 m mächtigen, erst ab $<90\text{ cm}$ unter Flur ombrotrophen Torfkörper mittels zehn ^{14}C -Datierungen Raten von $0,1\text{--}1,1\text{ mm a}^{-1}$ interpoliert werden (Kugelstattmoos, 870 m NN; NELLE 2002). Im Hochharz wurden mittlere Torfzuwachsrate von $0,57\text{--}1,16\text{ mm a}^{-1}$ festgestellt, im Subatlantikum z. T. auch $1,79\text{ mm a}^{-1}$ (BEUG et al. 1999). SUCCOW und JOOSTEN (2001, S. 16f.) geben Spannen von $6\text{--}200\text{ g Trockenmasse m}^{-2}\text{ a}^{-1}$ an, bzw. für Nordostdeutschland als Mittelwert einer breiten Datenstreuung $0,5\text{ mm a}^{-1}$. Die höchsten Wachstumsraten wurden an subatlantischen *Sphagnum*-Torfen in Kesselmooren mit bis zu 1 m in 60–70 Jahren festgestellt (LANGE et al. 1986, zitiert in SUCCOW und JOOSTEN 2001, S. 381).

Die Erforschung der Paläoökologie von Mooren bzw. Torflagerstätten ist wichtig für das Verständnis der Moorentwicklung. Hieraus können etwa Entscheidungshilfen abgeleitet werden zu der Frage, ob eine Moorrestitution unter heutigen Klimabedingungen sinnvoll ist.

Entwässerung von Mooren führt nicht nur zu Sackung, Mineralisierung und CO_2 -Freisetzung, sondern auch zum Verlust der in ihnen enthaltenen Information: Pollenkörner beispielsweise halten sich am besten in wassergesättigtem Milieu. Bei Austrocknung der Torfe setzen unter Sauerstoffzufuhr Zersetzungsprozesse ein. Informationen über die Vegetation der letzten Jahrtausende geht so unwiderruflich verloren. Die Restitution oder Rekonstruktion der holozänen Stratigraphie zerstörter Moorkomplexe ist unmöglich. Ein Schutz von Mooren bedeutet somit auch ein Schützen des in ihnen enthaltenen »Landschaftsgedächtnisses«.

4. Anthropogene Überformung: Moor- und Torflandschaften

Seit geraumer Zeit greift der Mensch in Kulturlandschaften in die Entwicklung der Moore ein, u. a. mit den Zielen, Torfe als Brennmaterial zu verwenden und die Moore durch Melioration in land- und forstwirtschaftlich nutzbare Flächen zu überführen. Vor allem in ehemals moorreichen Regionen Mittel- und Westeuropas hat sich dadurch die Gestalt

und Ausdehnung der Moore beträchtlich verändert und zugleich auch ihre landschafts-ökologische Funktion. Durch Entwässerungen als Voraussetzung für jede Form der Kultivierung büßen Moore ihre Speicherfunktion ein; – sie werden von Stoff-Senken zu -Quellen. Dies betrifft etwa die aus Mooren bei der Mineralisation freigesetzten Ionen. Insbesondere Nitrat- und Phosphatfrachten können sich auf die Nährstoffdynamik der Wasser ableitenden Systeme auswirken. Die Abgabe von Stickstoff als N_2O und Kohlenstoff als CH_4 und CO_2 über den gasförmigen Pfad sind klimawirksam.

Die Kohlenstoff-Bindung in Mooren wirkt sich unstrittig auf den globalen Kohlenstoffhaushalt aus. Das zeitweilige Absinken der atmosphärischen CO_2 -Gehalte hat im Übergang Karbon/Perm und am Ende des Tertiär beträchtliche Klimaschwankungen und Kaltzeiten ausgelöst (BERNER 1993). Demzufolge wird wachsenden Mooren eine bedeutsame Rolle bei der globalen Klimaregulation eingeräumt: Die CO_2 -Bindung in Torfen bedingt ein Absinken der atmosphärischen Kohlendioxidgehalte und demzufolge eine Abkühlung.

Weltweit bedecken Moore eine Fläche von etwa 4 Millionen km^2 entsprechend 3 % der Landmasse. Dazu kommen rund 2 430 000 km^2 Feuchtgebiete, deren Akkumulationsleistung für organische Substanz weitgehend unbekannt ist. Wieviele Torflager entwässert und abgebaut werden, ist derzeit ebenso unsicher wie die exakte Ausdehnung der aktuellen Torfvorräte; geschätzt werden etwa 5000–6000 Gm^3 (LAPPALAINEN 1996). Rund 90 % der Moorflächen finden sich in der temperaten und borealen Zone der Holarktis, vor allem in Rußland und Kanada. Die borealen Moore sind für die Biosphäre derzeit eine Kohlendioxid-Senke und eine Methan-Quelle (BOER et al. 1990, KORHOLA et al. 1996); in wachsenden Mooren überkompensiert die Wirkung der CO_2 -Bindung jene der CH_4 -Abgabe etwa um das 10fache.

Die in Torfen festgelegten Kohlenstoffvorräte vor Beginn der anthropogenen Nutzung auf der Erde werden auf 329–528 Gt geschätzt (IMMIRZI et al. 1992), die aktuellen auf 234–252 Gt (LAPPALAINEN 1996). Diese Werte entsprechen in der Größenordnung einer Einbindung von etwa 21 g Kohlenstoff $\text{m}^{-2} \text{a}^{-1}$ (CLYMO et al. 1998). Dem stehen etwa 1600–1800 Gt festgelegter Kohlenstoffvorräte in Mineralböden gegenüber (BOWMAN 1990). Damit enthalten die Moore derzeit zwischen 12 und 13 % der weltweit in Böden vorhandenen Kohlenstoffvorräte. Anders formuliert: 3 % der Landmasse enthalten etwa ein Drittel der terrestrischen Kohlenstoffvorräte. Darüber hinaus sind beträchtliche Mengen an Stickstoff, Phosphor und weiteren Nährstoffen in den Torflagern festgelegt. Zum Vergleich: In den Tropen, die rund 10 % der Landmasse ausmachen, sind etwa 70 Gt der terrestrischen Kohlenstoffvorräte gebunden. Dies entspricht nur etwa einem Drittel der in Mooren festgelegten Vorräte (MALTBY und IMMIRZI 1993). Zöge man den Einfluß des Menschen nicht in Betracht, so könnte die Rate der Festlegung weltweit näherungsweise 100 Mt Kohlenstoff a^{-1} betragen (MALTBY und PROCTOR 1996). Torfabbau kann zu Emissionen zwischen 180 und 225 t $\text{CO}_2 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ führen, ackerbauliche Nutzung entwässerter Moorflächen zu Kohlenstoff-Austrägen zwischen 41 t $\text{CO}_2 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ in der temperaten Zone und bis zu 150 t $\text{CO}_2 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ in den Tropen (IMMIRZI et al. 1992). Aufforstung und Grünland-Nutzung entwässerter Torfböden bedingen in der temperaten Zone einen Kohlenstoff-Efflux zwischen 1 und 10 t $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$.

Die aktuelle Nutzung von Moorflächen für Land- und Forstwirtschaft betrifft grob etwa 300 000 km^2 und wächst jährlich um rund 500 km^2 . Grob überschlagen führt die landwirtschaftliche Nutzung von Torfböden weltweit zu einer CO_2 -Emission zwischen 425

und 730 Mt CO₂ a⁻¹ entsprechend einer Menge von 100–200 MT Kohlenstoff. Dies entspricht 3,5 % der Emissionen durch fossile Brennstoffe und mehr als 12 % derjenigen Beiträge, die bei der derzeitigen Entwaldung der Tropen anfallen. Dazu kommt der Torfabbau für Energienutzung und Erwerbsgartenbau mit jährlich etwa 55 Mt Kohlenstoff. Weltweit haben sich Moore insofern von Kohlenstoffsinken zu -quellen entwickelt, in besonderem Maße in Mitteleuropa. Kumulativ dürften seit Ende des 18. Jahrhunderts durch Drainage und Torfabbau weltweit um die 30 Gt CO₂ emittiert worden sein. Dies entspricht etwa dem 300fachen der geschätzten Einbaurate in native Systeme. Dieser Prozeß ist keineswegs abgeschlossen. ARMENTANO und MENGES (1986) gehen davon aus, daß etwa 20 % der kanadischen und bis zu 44 % der russischen Torflager heute netto keinen Kohlenstoff mehr akkumulieren. Regional lassen sich diese Zahlen präzisieren. Auf den Britischen Inseln dürften die Moore in der Vergangenheit insgesamt etwa 2,1 Gt Kohlenstoff gespeichert haben. Gegenwärtig verursacht allein der Torfabbau für den Erwerbsgartenbau auf den Britischen Inseln jährliche CO₂-Emissionen von rund 0,6 Mt (entsprechend 0,04 % der Vorräte) (IMMIRZI et al. 1992). Ferner fallen durch Aufforstung, überwiegend mit *Picea sitchensis*, weitere bislang torfbildende Moorflächen als dauerhafte Kohlenstoffsinken aus. Sie emittieren nunmehr CO₂, ohne daß näherungsweise eine vergleichbare temporäre Festlegung im Holz der so entstandenen Forsten gewährleistet wäre. Man beachte dabei die unterschiedlichen Zeitskalen der Einbindung und Festlegung!

Die folgende Kalkulation sei hier angeschlossen: Für die Erzeugung von 1 kWh Strom werden etwa 1,6 kg Frästorf benötigt (entsprechend 0,77–1,01 kg Kohlenstoff). Die Stromkosten für den Endverbraucher betragen etwa 12 Cent/kWh. Der finanzielle Verlust an potentiell als Energieträger nutzbaren Ressourcen allein durch Drainagen von Torflandschaften beträgt weltweit überschlägig etwa 89–232 Mrd. Euro.

Zweifellos ist es nicht sinnvoll, sich bei der Beurteilung von Mooren ausschließlich auf den energetischen Aspekt zu konzentrieren. Vielmehr ist eine integrative Nutzung und Entwicklung von Moorlandschaften angezeigt, wie sie sich aus dem Nachhaltigkeitsparadigma der Konvention von Rio de Janeiro ableiten läßt.

- Unstrittig ist die Erhaltung und Pflege bestehender hochwertiger Flächen prioritär.
- Unterschiedliche Restitutionsziele (Vernässung großer Flächen, Wiederherstellung torfbildender Teilsysteme) können untereinander konkurrieren, aber auch mit anderen – gleichermaßen nachhaltigen – Nutzungsansprüchen, etwa einer Grundwasser-Neubildung.
- Restitutionsziele sollen realistisch sein. Sie sollten sich künftig weniger an schutzwürdigen Strukturen (Arten, Lebensgemeinschaften, ästhetischen Ressourcen) und mehr an funktionellen Zusammenhängen orientieren. Für ihre praktische Umsetzung stehen ganzheitliche (ökosystemare) Funktionen im Vordergrund.

5. Restitution von Mooren

5.1 Ziele und Wirklichkeit

Unser Verhältnis zur Natur schwankt zwischen emotionalem Engagement und kognitiver Distanz. Der engagierte Einsatz für den Moorschutz war vielfach zunächst emotional

gesteuert. Beim rationalen Schritt von der wissenschaftlichen Erkenntnis zu Planung und Umsetzung sind freilich emotionale Regungen ebenso unangemessen wie euphemistische Beschönigungen, die angetan sind, falsche Erwartungen zu wecken. Der emotional unverfängliche und sprachlogisch erträgliche Begriff Restitution (Wiederherstellung eines ›normalen‹, dem Ökosystem ›angemessenen‹ Zustandes), im vorliegenden Fall mit der moorimmanenten Funktion der Torfbildung verknüpft, ist wohl am ehesten geeignet, solche Maßnahmen zusammenzufassen, die auf eine ›Verbesserung‹ des aktuellen Zustandes entwässerter oder abgetorfte Hochmoorstandorte zielen. Geologisch-bodenkundlich bedeutet Restitution das Vermeiden weiteren Torfschwundes, moorgesichtlich das Unterbinden eines Verlustes stratigraphisch gespeicherter Information, biozönotisch das Erhalten oder erneute Etablieren einer standortspezifischen Vegetation und Fauna, ökosystemar das Wiederherstellen von Wachstumskomplexen mit funktionsfähigem Akrotelm. Realistische Perspektiven erfordern eine Planung, Realisierung und Überprüfung der Entwicklungsmöglichkeiten unter Berücksichtigung unterschiedlicher räumlicher und zeitlicher Skalen. Keineswegs alle Funktionen eines ›ungestörten‹ Hochmoores lassen sich wiederherstellen. Als Geoarchive, etwa für die landschafts- und kulturgeschichtliche Entwicklung einer Region, leiden entwässerte oder abgetorfte Moore irreversibel unter partiellem ›Gedächtnisschwund‹, die Einbuße zumindest eines Teiles ihrer biogeographischen Authentizität ist unwiederbringlich.

5.2 Ansätze eines pragmatischen Vorgehens

Ein ganzheitlicher – ökosystemar orientierter – Moorschutz umfaßt das Erhalten und Entwickeln der biotischen, abiotischen und visuellen (landschaftsästhetischen) Ressourcen, also von Vegetation, Fauna und Torfkörper im natur- oder – in Mitteleuropa – im Kulturlandschaftlichen Gefüge.

Die erforderlichen Arbeitsschritte für eine beabsichtigte Moorrestitution sind hinlänglich beschrieben worden (z. B. EIGNER und SCHMATZLER 1991). Sie konzentrieren sich im wesentlichen auf ein Anheben der Moorwasserstände und ein Aussteuern der Wasserstandsschwankungen auf ein Niveau und eine Amplitude, die ein Wachstum torfbildender Vegetation zuläßt. Die hydrologische Maßnahme kann auch das Beseitigen transpirationsaktiver Gehölze (›Entkusseln‹) einbeziehen, soweit sich dies im konkreten Fall für die Gewährleistung stabiler Wasserstände als sinnvoll erweist. Gekoppelt an die hydrologischen Maßnahmen ist eine Einschränkung der Torfmineralisation eine wesentliche Voraussetzung für die notwendige Oligotrophierung, um hochmoorspezifischen Schlüsselarten eine Entwicklungschance zu geben. Zu bedenken bleibt, daß dieser Prozeß zumindest in Mitteleuropa zu einem Zeitpunkt und in einer Region erfolgt, wo im Vergleich zur Vergangenheit anthropogen erhöhte atmosphärische Nährstoffeinträge eher produktionskräftige Arten fördern, also etwa Moorbirke und Pfeifengras gegenüber oligotraphenten Torfmoosen (LÜTKE TWENHÖVEN 1992).

Folgendes gilt es zu beachten:

- Bei stark veränderten Lebensräumen wie entwässerten oder abgetorften Hochmooren sind das biotische und das abiotische System teilweise entkoppelt. Eine Folge mag

- sein, daß sich in dem veränderten System Populationen solcher Sippen noch zeitweilig halten können, deren Lebensbedingungen auf längere Sicht eher pessimal sind. Dennoch sind diese ohne erneute Wandlung der Standortverhältnisse nicht überlebensfähig (>verzögerte Antwort< auf veränderte Habitatqualitäten). Überdies kann selbst bei >verbesserten< Randbedingungen auch weiterhin ein >Fehlbestand< an spezifischen Sippen erhalten bleiben – wenn die entsprechenden Populationen die nunmehr besiedlungsfähigen Habitate nicht erreichen können (fehlende Akzessibilität).
- Die Entstehung von Moorökosystemen kann zudem unter anderen, durchweg günstigeren Bedingungen erfolgt sein als ihre Erhaltung. So konnte HENRION (1989) durch eine Vielzahl von Bohrungen an oligohemeroben Mooren des Hochharzes belegen, daß die maximale Flächenausdehnung während des Jüngeren Subboreal erfolgt ist. Gegenwärtig stagniert sie dagegen praktisch vollständig. Für geplante Moorrestitutionsen lernen wir aus solchen Prozessen einer >natürlichen Seneszenz<, daß die >Neuinstallation< eines funktionsfähigen Akrotelm schon aus klimatischen Gründen nicht automatisch überall dort sichergestellt ist, wo bis in die jüngste Vergangenheit oder aktuell Hochmoore zwar vertreten waren und sind, sich die hydrologischen Verhältnisse aber mittlerweile bereits ohne menschliches Zutun verändert haben.

Maßnahmen zur Moorrestitution sind kostenaufwendig. Der Restitutionsaufwand steigt mit der Intensität und Dauer der vorangegangenen Nutzung (Abb. 2). Der Mitteleinsatz

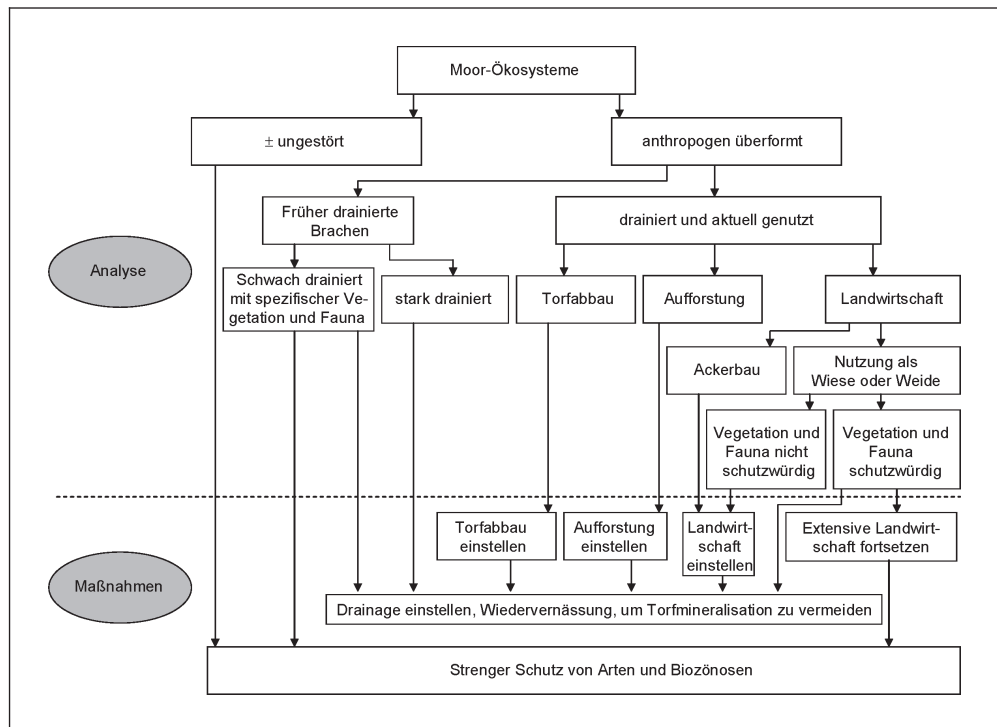


Abb. 2 Schema für Analysen und vorgeschlagene Maßnahmen für eine künftige Entwicklung von Torf-landschaften mit unterschiedlicher Vornutzung (nach DIERSSEN und TREPPEL 2004).

bedarf einer Legitimation durch Erfolgskontrollen, und zwar nicht bezogen auf die abgeschlossenen Maßnahmen (etwa: eine erfolgte Vernässung), sondern vielmehr orientiert an dem Ausmaß, in welchem die gesteckten Ziele erreicht werden konnten (etwa: die Restitution eines Akrotelm). Der Erfolg einer getroffenen Maßnahme ist wie die Genese oder Restitution von Moorstrukturen skalenabhängig. Die erfolgte spontane oder durch Hilfsmaßnahmen induzierte Restitution von wachsenden Torfmoosdecken etwa in Torfstichen über einen Zeitraum von Jahrzehnten ist an Einzelbeispielen gut dokumentiert (z. B. LÜTT 1992, WAGNER 1994). Eine Entwicklung von Wachstumskomplexen mit funktionsfähigem Akrotelm, die in umgebende landwirtschaftliche Nutzflächen oder Wälder transgredieren, ist demgegenüber als säkularer Prozeß innerhalb weniger Jahrzehnte kaum realistisch zu erwarten.

6. Zusammenfassender Ausblick

Moorschutz ist integrativ anzugehen. Eine ökosystemare Betrachtung orientiert sich an der Funktionalität der analysierten Systeme. Sie wird vielfach mit dem Begriff ›intakt‹ profaniert und entspricht dabei häufig naiven Einschätzungen, die durch die Realität nicht immer abgedeckt sind. Mit Sicherheit entspricht gegenwärtig in Deutschland selbst in Schutzgebieten nur ein verschwindend kleiner Anteil der durch Torfe und deren vererdete Abbaustadien geprägten Systeme torfbildenden Mooren im ökosystemar-funktionalen Sinne. Vor landschaftsökologischem Hintergrund ist es freilich allein schon deswegen zweckmäßig, alle Landschaftsausschnitte mit Torflagern, also Moore im geologischen Sinne, in die planerischen Überlegungen einzubeziehen, weil der schonende Umgang mit den Ressourcen und der Funktionalität dieser Systeme Aufgabe eines über den Artenschutz hinausgehenden ganzheitlichen Naturschutzes sein sollte.

Moorkomplexe sind naturraumspezifische Landschaftselemente und als solche nur in landschaftlichem Zusammenhang nachhaltig schutzfähig. Sie sind in Kulturlandschaften zugleich Elemente von kulturgeschichtlicher Authentizität und Entwicklung. Ihr Wert besteht (als Lagerstätte von direkten und indirekten Siedlungsstrukturen) auch gerade in dieser Qualität. Die Erhaltung bestehender Flächen und Qualitäten ist nach derzeitigem Wissen durchweg einfacher als jede Form einer Restitution. Als Faustregel: Eine Torf-Zehrung durch die Anlage von Entwässerungsgräben und Drainagen erfolgt grob geschätzt 300mal rascher als Torfbildung in wachsenden Mooren.

Restitutionen sollen wissensgeleitet erfolgen, also nicht von Wunschträumen gesteuert – so wichtig letztere für die Motivation der Akteure auch sein mögen. Das erste auf einer bislang fast vegetationsfreien, vernähten Frästorffläche auftretende Torfmoos oder Wollgras ist folglich erst ein sehr bescheidener Restitutionserfolg. Da die natürliche Entwicklung von Moorlandschaften ein säkularer Prozeß ist, sollte dies für eine realitätsgestützte Formulierung von Meilensteinen oder Teilzielen bei Restitutionen berücksichtigt werden.

Literatur

AABY, B., and TAUBER, H.: Rates of peat formation in relation to degree of humification and local environment, as shown by studies of a raised bog in Denmark. *Boreas* 4, 1–17 (1975)

- ARMENTANO, T. V., and MENGES, E. S.: Patterns of change in the carbon balance of organic soil-wetlands of the temperate zone. *J. Ecol.* 74, 755–774 (1986)
- BAUEROCHSE, A.: Environmental change and its influence on trackway construction and settlement in the south-western Dümmer area. In: BAUEROCHSE, A., and HASSMANN, H. (Eds.): Peatlands. Proceedings Peatland Conf. 2002 Hannover, Leidorf (Rahden/Westf.); pp. 68–78 (2003)
- BEHRE, K.-E.: Die letzte Mahlzeit des ›Jungen von Kayhausen‹: Eine Untersuchung der Speisereste aus dem Darmtrakt. *Schriften. Staatl. Mus. Naturkunde Vorgeschichte Oldenburg Beih.* 10/1, 76–78 (1999)
- BERGLUND, B. E. (Ed.): *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. Chichester: Wiley & Sons 1986
- BERNER, R. A.: Paleozoic atmospheric CO₂: importance of solar radiation and plant evolution. *Science* 261, 68–70 (1993)
- BEUG, H.-J., HENRION, I., und SCHMÜSER, A.: *Landschaftsgeschichte im Hochharz*. Clausthal-Zellerfeld: Papierflieger 1999
- BIRKS, H. J. B., and BIRKS, H. H.: *Quaternary Palaeoecology*. London: Arnold 1980
- BOER, M. M., KOSTER, E. A., and LUNDBERG, H.: Greenhouse impact in Fennoscandia – preliminary findings in an European workshop on the effects of climatic change. *Ambio* 19, 2–10 (1990)
- BOGAARD, C. VAN DEN, DÖRFLER, W., GLOS, R., NADEAU, M.-J., GROOTES, P. M., and ERLLENKEUSER, H.: Two tephra layers bracketing late Holocene paleoecological changes in Northern Germany. *Quaternary Research* 57/3, 314–324 (2002)
- BOWMAN, A. F.: Global distribution of the major soils and land cover types. In: BOWMAN, A. F. (Ed.): *Soils and the Greenhouse Effect*; pp. 61–127. Chichester: Wiley & Sons 1990
- CLYMO, R. S., TURUNEN, J., and TOLONEN, K.: Carbon accumulation in peatlands. *Oikos* 81, 368–388 (1998)
- DIERSSEN, K., und DIERSSEN, B.: *Ökosysteme Mitteleuropas aus geobotanischer Sicht*. Bd. 2 Moore. Stuttgart: Ulmer 2001
- DIERSSEN, K., und TREPPEL, M.: IV-1.1.1 Feuchtgebiete und Moore. *Handbuch Angew. Limnol.* 18. Erg. Lieferung 4/4 (2004)
- EIGNER, J., und SCHMATZLER, E.: *Handbuch des Hochmoorschutzes*. Bedeutung – Pflege – Entwicklung. Naturschutz Aktuell 4/2. Kilda: Greven 1991
- EWERSEN, J.: Die Tierknochenfunde aus der neolithischen Siedlung Heidmoor, Kr. Segeberg, unter besonderer Berücksichtigung wirtschaftshistorischer Aspekte. Diss., Mathematisch-Naturwiss. Fak., Kiel 2001
- FANSA, M.: Moorarchäologie in Niedersachsen. *Archäologische Mitteilungen aus Nordwestdeutschland (Moorarchäologie in Nordwest-Europa)* 15, 5–21 (1992)
- GÜNTHER, J.: Moornutzung und Moorarchäologie. *Archäologische Mitteilungen aus Nordwestdeutschland (Moorarchäologie in Nordwest-Europa)* 15, 23–28 (1992)
- HEINRICH, D.: Die Wirbeltierreste vom ellerbekzeitlichen Siedlungsplatz Schlamersdorf LA 5, Kreis Stormarn. *ZfA Z. Archäol.* 27, 67–89 (1993)
- HENRION, I.: Langfristige natürliche Wachstums- und Regenerationsprozesse in Mooren des Oberharzes. *Telma Beih.* 2, 365–380 (1993)
- HOTES, S., POSCHLOD, P., SAKAI, H., and INOUE, T.: Vegetation, hydrology, and development of a coastal mire in Hokkaido, Japan, affected by flooding and tephra deposition. *Can. J. Botany* 79/3, 341–361, (2001)
- IMMIRZI, C. P., MALTBY, E., and CLYMO, R. S.: *The global status of peatlands and their role in carbon cycling*. London: Friends of the Earth 1992
- JOOSTEN, H., and CLARKE, C.: *Wise use of mires and peatlands*. International Mire Conservation Group, International Peat Society, Saarijärvi, Finland 2002
- KORHOLA, A., ALM, J., TOLONEN, K., TURUNEN, J., and JUNGNER, H.: Spatial reconstruction of C accumulation and CH₄ emission during holocene in an ombrotrophic mire complex. In: LAIHO, R., LAINE, J., and VASANDER, H. (Eds.): *Northern Peatland in Global Climatic Change*. *Publ. Acad. Finland* 1, 223–229 (1996)
- KOZULIN, A., and FLADE, M.: Breeding habitat, abundance and conservation status of the Aquatic Warbler *Acrocephalus paludicola* in Bealorus. *Vogelwelt* 120, 97–111 (1999)
- LANG, G.: *Quartäre Vegetationsgeschichte Europas: Methoden und Ergebnisse*. Jena, Stuttgart, New York: G. Fischer 1994
- LAPPALAINEN, E. (Ed.): *Global peat resources*. Jyskä, Finland: Int. Peat Soc 1996
- LÜTKE TWENHÖVEN, F.: Untersuchungen zur Wirkung stickstoffhaltiger Niederschläge auf die Vegetation von Hochmooren. *Mittl. AG. Geobot SH/HH* 44 (1992)

- LÜTT, S.: Produktionsbiologische Untersuchungen zur Sukzession der Torfstichvegetation in Schleswig-Holstein. Mittl. AG Geobot. SH/HH 43 (1992)
- MALTBY, E.: Need for fundamental re-thinking. In: MALTBY, E., and MACLEAN, L. (Eds.): Peatland under Pressure; pp. 4–8. Soc. of Wetland Scientists, Int. Sympos. Anchorage (Alaska) 1998
- MALTBY, E., and IMMIRZI, P.: Carbon dynamics in peatlands and other wetland soils – regional and global perspectives. Chemosphere 27, 999–1023 (1993)
- MALTBY, E., and PROCTOR, M. C. F.: Peatlands: their nature and role in the biosphere. In: LAPPALAINEN, F. (Ed.): Global Peat Resources; pp. 11–19. Jyskä, Finland: Int. Peat. Soc. 1996
- NELLE, O.: Zur holozänen Vegetations- und Waldnutzungsgeschichte des Vorderen Bayerischen Waldes anhand von Pollen- und Holzkohleanalysen. Hoppea Denkschr. Regensb. Bot. Ges. 63, 161–361 (2002)
- NELLE, O., und BANKUS, M.: Verkohlt? Möglichkeiten und Grenzen der Anthrakologie am Beispiel des Freisinger Dombergs. Arch. Lkr. Freising 8, 103–128 (2002)
- OVERBECK, F.: Botanisch-geologische Moorkunde unter besonderer Berücksichtigung der Moore Nordwestdeutschlands als Quellen zur Vegetations-, Klima- und Siedlungsgeschichte. Neumünster: Wachholtz 1975
- PIEPER, P.: Peat bog corpses. In: BAUEROCHSE, A., and HASSMANN, H. (Eds.): Peatlands; pp. 107–114. Proceedings Peatland Conf. 2002 Hannover, Leidorf (Rahden/Westf.) 2003
- SUCCOW, M., und JOOSTEN, H. (Eds.): Landschaftsökologische Moorkunde. 2. Aufl. Stuttgart: Schweizerbart 2001
- VERNET, J. L.: Etude sur l'histoire de la végétation du sud-est de la France au Quaternaire d'après les charbons de bois principalement. Paléobiologie Continentale 4 (1973)
- VERNET, J.-L.: L'homme et la forêt méditerranéenne de la Préhistoire à nos jours. Collection des Hesperides Editions Errance (Paris) 1997
- WAGNER, C.: Zur Ökologie der Moorbirke *Betula pubescens* EHRH. in Hochmooren Schleswig-Holsteins unter besonderer Berücksichtigung von Regenerationsprozessen in Torfstichen. Mittl. AG Geobot. SH/HH 47 (1994)

Prof. Dr. Klaus DIERSSEN
Prof. Dr. Oliver NELLE
Ökologiezentrum der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Olshausenstraße 40
24098 Kiel
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 4 31 8 80 39 51
Fax: +49 4 31 8 80 40 83
E-Mail: kdierssen@ecology.uni-kiel.de
onelle@ecology.uni-kiel.de