

Eine neue Methode zur Ökosystembewertung eines Hochmoores anhand der Erfassung der Torfmoos-„Vitalität“

Kay MEISTER & Hans-Peter LIEBERT

Zusammenfassung: MEISTER, K. & LIEBERT, H.-P. 2004. Eine neue Methode zur Ökosystembewertung eines Hochmoores anhand der Erfassung der Torfmoos-„Vitalität“. – Herzogia 17: 287–302.

Gegenstand der dargestellten Untersuchungen ist die Vitalitäts-Analyse der *Sphagnum*-Vegetation im erzgebirgischen Hochmoor „Schwarze Heide/Satzung“. Dazu wurden 80 Probestellen im Untersuchungsgebiet vermessen. Hauptbestandteil der *Sphagnum*-Vegetation bilden die Arten *S. capillifolium* (Ehrh.) Hedw., *S. cuspidatum* Ehrh. ex Hoffm., *S. affine* Renaud & Cardot, *S. flexuosum* Dozy & Molk. sowie *S. fallax* (H. Klinggr.) H. Klinggr. Als ökophysiologisch aussagekräftiger Indikator wurde die Optimale Quantenausbeute der Chlorophyll-Fluoreszenz dieser *Sphagnum*-Pflanzen ermittelt und in Beziehung zum Standort gesetzt. Die Arten zeigen im Mittel keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Optimalen Quantenausbeute (f/f_m) im Gebiet. Letztere variiert jedoch in einem weiten Bereich an den einzelnen Standorten. Unter Labor-Kultur erhöht sich die Optimale Quantenausbeute der kultivierten *Sphagnum*-Proben unabhängig von ihrem standörtlichen Hintergrund im Freiland. Die „Vitalitätsreduktion“ im Vergleich zur unter Laborbedingungen erreichten optimalen Quantenausbeute ist deshalb standörtlich stark unterschiedlich. Dies wird als eine je nach Standort variierende Vitalität von *Sphagnum* und damit ein standörtlich unterschiedliches Regenerationspotential des Hochmoores interpretiert.

Abstract: MEISTER, K. & LIEBERT, H.-P. 2004. A new method for evaluation of a bog ecosystem by measuring the *Sphagnum* “vitality”. – Herzogia 17: 287–302.

Topic of the present investigation is the analysis of the vitality of the *Sphagnum* vegetation of the bog „Schwarze Heide/ Satzung“ in the Ore Mountains/ Saxony. 80 sample sites in the investigation area were measured. Main part of the established *Sphagnum* vegetation is formed by the species *S. capillifolium* (Ehrh.) Hedw., *S. cuspidatum* Ehrh. ex Hoffm., *S. affine* Renaud & Cardot, *S. flexuosum* Dozy & Molk. and *S. fallax* (H. Klinggr.) H. Klinggr. The optimal quantum yield (f/f_m) of chlorophyll fluorescence of these *Sphagnum* plants as meaningful indicator for eco-physiological interests was determined and set in relationship to the location. On an average the single species show no significant differences concerning the optimal quantum yield in the field. However f/f_m varies within a wide range at the individual locations. Under laboratory culture conditions the optimal quantum yield of the cultivated *Sphagnum* samples increases independently to their local background in the field to the same level. Thus, a „reduction of vitality“ can be calculated by comparing the optimal quantum yield reached in the field and under laboratory conditions. This value strongly differs at the different sample sites. This is interpreted as varying vitality of *Sphagnum* depending on sample location in the bog and thus a reference to a locally different regeneration potential of the bog.

Key words: Bog restoration, *Sphagnum* vegetation, optimal quantum yield, plant vitality, Ore Mountains.

Einleitung

Moore sind von Torf geprägte Lebensräume, Einheiten der Landschaft. Als Hoch- bzw. Regenmoore stellen sie die wohl ungestörtesten Elemente der Kulturlandschaft in Mitteleuropa dar (SUCCOW & JESCHKE 1986). Sie üben in den gemäßigten Klimaten der Nordhemisphäre auf Landschaftsebene wesentliche Akkumulations- und Retentionsfunktion aus, besitzen aber ebenso aufgrund ihres extrazonal geprägten Arteninventars hohe Bedeutung auf Ebene der Biozöosen. Viele Moore der temperierten Vegetationszone Europas wurden stark von anthropogenen Einflüssen überprägt und sind größtenteils völlig verändert worden, womit sich zwangsläufig ein Funktionsverlust ergibt.

Ein Regenmoor wird im Vergleich mit anderen Lebensräumen durch einzigartige Besonderheiten, wie einer minimalen Nährstoffverfügbarkeit, einen oft drastisch verringerten pH-Wert oder einen schwankenden Wasserspiegel gekennzeichnet. Nur wenige Pflanzen weisen Anpassungserscheinungen zur Toleranz dieser Bedingungen auf. Die wichtigste Pflanzengruppe, welche Moore als Lebensraum nutzt, sind die Arten der Gattung *Sphagnum*. Durch Besonderheiten bezüglich ihres Wachstums sind die Torfmoose die wohl wesentlichsten torfbildenden Pflanzen der Neuzeit in den temperierten Regionen. *Sphagnum*-Arten als Hauptkomponente der Hochmoorvegetation üben folglich eine integrale Rolle bei der Entwicklung der meisten regenerierten Moore der Nordhemisphäre aus, und damit auch bei der Regeneration anthropogen gestörter Moorstandorte.

Schwerpunkte der Verbreitung von Hochmoor-Ökosystemen in Mitteleuropa sind unter anderem die Kammlagen der Mittelgebirge, beispielsweise die des Erzgebirges. SLOBODDA (1998) nennt für das Erzgebirge ca. 330 einzelne Hochmoorstandorte, wovon allein über 50 auf sächsischer Seite liegen. Bis Anfang des 20. Jahrhunderts galten die erzgebirgischen Moore als unproduktives Land und sollten unter landwirtschaftliche Kultur genommen werden (SLOBODDA 1998). Hinzu kam die Brenntorfgewinnung. Heute muss ein erheblicher Teil der einst flächenmäßig bedeutsamen Moorbiotope als gestört oder beseitigt angesehen werden.

Die Moore des Erzgebirges befinden sich momentan in einer Stagnationsphase (HEMPEL 1974). Eine Regenerationsvegetation auf gestörten Flächen sieht HEMPEL als abhängig von der historischen Nutzung und ihrer Folgestrukturen im Moorkörper sowie der Beschaffenheit der Restmoor-Bereiche.

Leitbild der in den letzten Jahren verstärkt zu verzeichnenden Anstrengungen zur Restaurierung verbliebener Hochmoore und Hochmoor-Reste in Mitteleuropa muss die Wiederherstellung der regenmoortypischen (*Sphagnum*)-Vegetation und damit die Wiederherstellung der Funktion des Moores sein (JOOSTEN 1992), verbunden mit dem primären Ziel einer Regeneration: der Reinitiation der Torfbildung (PFADENHAUER & KLÖTZLI 1996).

Die genaue Untersuchung des physiologischen Zustands des Moos-Organismus im Kontext mit seinen habitatspezifischen Umweltbedingungen kann hier weiteren Aufschluss bringen. Nachdem zur Analyse moorkundlicher Problemstellungen bis Mitte des letzten Jahrhunderts Erklärungsversuche über botanisch-geologische und vegetationskundliche Studien unternommen worden waren, rückten in Folge ökotrophologische Arbeiten, insbesondere zum Phänomen des Kationenaustauschs durch *Sphagnum*, in den Mittelpunkt des Interesses. Dabei waren die am natürlichen Standort wirksamen Faktoren oft nur bedingt und nicht zufriedenstellend analysierbar, weshalb Sphagnum in Kultur genommen wurden (vgl. z. B. RUDOPH 1977). Unter Laborbedingungen wie auch im Freiland bestand jedoch weiterhin das Problem der präzisen und praktikablen Quantifizierung der Reaktion der Torfmoose, sowohl auf die gegebenen Umweltbedingungen am natürlichen Standort als auch auf die modulierten Einflussgrößen in Kultur. So wurden phänologische Effekte, wie das longitudinale Wachstum oder die Verzweigungsfrequenz der Pflanzen, als Indikatoren herangezogen, oder man versuchte über Pigmentgehalte sowie Gaswechselformen und damit der aktuellen Photosyntheseleistung der Torfmoose Aussagen treffen zu können.

In der vorliegenden Arbeit wurde der Versuch unternommen, mit Hilfe ökophysiologischer Untersuchungen zur Vitalität verschiedener *Sphagnum*-Arten ein Maß für die Regeneration eines stark gestörten Moores im Erzgebirge/Sachsen zu finden. Dazu wurde die Chlorophyll-

Fluoreszenz der Torfmoose in Form der Optimalen Quantenausbeute (f_v/f_m) ermittelt. In einem für Torfmoose bisher kaum eingesetzten Messverfahren sollte so getestet werden, ob die Optimale Quantenausbeute Aussagen zur Vitalität von *Sphagnum* sp. und damit zum standörtlichen Regenerationspotential des Hochmoores erlaubt.

Material und Methoden

Durch technologische Entwicklungen der letzten Jahrzehnte steht der Wissenschaft eine Methode zur Erfassung physiologischer Zustände über die Photosyntheseleistung einer Pflanze zur Verfügung: die Chlorophyll-Fluoreszenz-Messtechnik. Sie basiert auf dem direkten Zusammenhang zwischen der Änderung der Chlorophyllfluoreszenz und der Assimilation grüner Pflanzen. Sie ist schnell und nicht destruktiv durchführbar und somit ein praktikabler und informativer Indikator für den photosynthetischen Elektronentransport der Pflanzen.

Direkte oder indirekte Effekte auf die Photosynthese sind die ultimative Konsequenz von Stressbedingungen, denen eine Pflanze ausgesetzt ist (z. B. KARUKSTIS 1991). Diese Stressoren können beispielsweise Wasserdefizit oder -überschuss, Mineralstoffmangel bzw. -überdosis oder Luftverunreinigungen sein. Die Chlorophyllfluoreszenz als Indikator für Struktur und Funktion des photosynthetischen Apparates bietet über den Parameter der Optimalen Quantenausbeute eine Möglichkeit zur Reflexion der fundamentalen Beschaffenheit der Chlorophyllmoleküle (KARUKSTIS 1991). So macht der diagnostische Test der Optimalen Quantenausbeute als Indikator für die photosynthetische Aktivität (BJÖRKMAN & DEMMIG 1987) Untersuchungen zu direkten Einflüssen standörtlicher Umweltbedingungen einer Pflanze auf die Photosyntheseaktivität und damit ihren physiologischen Zustand („Vitalität“) möglich. Es besteht eine starke Korrelation zwischen der Optimalen Quantenausbeute und der Photosynthesekapazität der Pflanze (MURRAY et al. 1993).

Das Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet „Schwarze Heide“ befindet sich im Erzgebirge, Freistaat Sachsen, auf der Fläche des Mittleren Erzgebirgskreises, Gemarkung Satzung (MTB 5445/33). Es erstreckt sich über eine Fläche von 28 ha als Teil des Naturschutzgebietes „Schwarze Heide – Kriegswiese“ ca. 1 km südlich der Gemeinde Satzung und ist damit Bestandteil des Naturparks „Erzgebirge/Vogtland“ sowie eines 750 ha großen Vogelschutzgebietes von europäischer Bedeutung um Satzung im Rahmen des Fauna-Flora-Habitat-Netzwerkes.

Die „Schwarze Heide“ wird dem Naturraum Mittelerzgebirge zugeordnet. Sie erstreckt sich auf dem flachwelligen Erzgebirgskamm auf einer breitrückigen Talscheide zwischen den Fließgewässern Flöha und Preßnitz. Das Gebiet wird vom Deutschen Mittelgebirgsklima beeinflusst. Die langjährige gemessene mittlere Niederschlagssumme nach den Werten der ca. 4 km entfernten Station Reitzenhain (770 m ü. M) für die Jahresreihe 1961/90 beträgt 910 mm/a, die mittlere Jahrestemperatur liegt für die Jahresreihe 1961/90 bei 5,4 °C (DEUTSCHER WETTERDIENST 1999). Die Temperatur gilt in den Kammlagen als wachstumsbegrenzender Faktor (BÖHNERT & REICHHOFF 1996).

Das stark windexponierte Gebiet ist von häufigen Schneeverwehungen und Raufrost geprägt. Besonders die Fichtenforste und -wälder der Umgebung sind aufgrund starker Schädigungen der Vegetation durch SO₂-Emissionen großflächig abgestorben. Den geologischen Untergrund

bilden plattige Muskovitgneise und Paragneise der Preßnitzer Serie (BARTH & ZÜHLKE 1985), die zum Teil plattig aufgelockert sind und einen steinigen Lehm bilden.

Die „Schwarze Heide“ ist Teil eines ehemaligen Gehängemoores, geprägt durch einen langsamen Wasserabfluss eines sanft geneigten Hanges (HEMPEL 1974). Sie entwässert zur Schwarzen Pockau nach Osten. Seit dem 17. Jahrhundert lässt sich eine Nutzung des Torfs ausgehend vom unteren Randgehänge (HEMPEL 1974) nachweisen. Sie erfolgte bis nach 1945. Brenntorf wurde an mehreren Stellen unregelmäßig in bäuerlichen Handstichen im Nassverfahren abgebaut, wobei die Bunkerde zumeist anschließend wieder auf die ausgetorften Stellen aufgebracht wurde und der Mineralwasserhorizont ungestört blieb.

Daraus resultiert vor allem im Nordteil des Gebietes in Verbindung mit einem fluktuierenden Wasserangebot ein vielgestaltiges Mosaik kleinflächig wechselnder Bodenformen – Torfböden, Staugleye, Podsole – (BÖHNERT & REICHHOFF 1996) mit unterschiedlichen Regenerationsstadien der Moorvegetation. Den größten Teil machen regenerierende, mäßig saure Zwischenmoortorfe sowie mehr oder weniger neutrale, stark durchwässerte Niedermoortorfe aus (HEMPEL & SCHIEMENZ 1986). Neben einzelnen Torfriegeln mit einer maximalen Mächtigkeit von 1,5 m größtenteils devastiertem Torfs, die nicht mehr Hochmoorfunktion erfüllen, findet sich flächig eine Resttorfauflage von mindestens 20 cm, die von zahlreichen Gräben durchzogen wird und als Regenerationskomplex ausgetorfte Flachtorflager eingestuft werden kann (HEMPEL 1974). Der Restmoorkern (geschlossene Punkt-Linie Abb. 4, 7 und 8, offene Pfeile \Rightarrow) besitzt dabei eine flächenmäßig wesentlich geringere Ausdehnung als die Regenerationsflächen.

Feld-Analysen

Freiland-Messungen im Untersuchungsgebiet erfolgten in der Zeit vom 16. Juli bis 02. August 2001. Der Juli gilt als einer der Hauptwachstums-Monate von *Sphagnum* (HULME & BLYTH 1982). Im Nord- und Südteil des Untersuchungsgebietes wurden dazu 80 Probestellen mit einer flächenhaften Mindestausdehnung der *Sphagnum*-Vegetationsdecke von 100 cm², welche sich durch eine geschlossene Torfmoos-Vegetation auszeichneten, ausgewählt.

Mit Hilfe eines portablen Fluorometers (PAM 2000, Heinrich Walz GmbH, Effeltrich, BRD) wurde jeweils in der Zeit zwischen 8 und 10 Uhr an mehreren Tagen die maximale Photosynthesekapazität der einzelnen Torfmoos-Proben als Optimale Quantenausbeute (f_v/f_m) ermittelt. Gemessen wurde auf Ebene der Capituli in natürlicher Exposition. Die Temperatur der Torfmoos-Oberfläche lag im Zeitraum der Messungen tageszeitlich bedingt zwischen 17 °C und 21 °C (ermittelt auf Ebene der Capituli, analoges Thermometer), d. h. im Optimalbereich der Photosynthese des Torfmooses (MAYSEK et al. 1999). Nur optisch wassergesättigte Pflanzen wurden zur Messung herangezogen. Zur Standardisierung des Messvorgangs diente dabei eine Messschablone (Abb.1), welche auf die Oberfläche der *Sphagnum*-Vegetation aufgesetzt wurde. Der daraus resultierende Messabstand zwischen dem Capitulum und der Glasfaseroptik der Messeinheit betrug 1 mm. Die Schablone erlaubte eine Vermessung mehrerer Pflanzen in einem Transekt mit einem Abstand von 2 cm zwischen den einzelnen Messpunkten. Die Ergebnisse der Optimalen Quantenausbeute eines Standortes repräsentieren Mittelwerte aus 6 Einzelmessungen an unterschiedlichen Pflanzen. Die Testpflanzen wurden vor jeder Messung einer 5-minütigen Verdunkelung sowie einer anschließenden Behandlung mit dunkelrotem Licht (5 s) unterzogen. Die Messung erfolgte im Sättigungs-Puls-Modus.



Abb. 1: Messanordnung zur Bestimmung der optimalen Quantenausbeute.

Labor-Kultur

Sphagnum-Proben ausgewählter Standorte – mit der geringsten (im weiteren „trocken“ genannt), einer mittleren sowie der höchsten (im weiteren „feucht“ genannt) Bodenfeuchte (gemessen mit Hydra Soil Moisture Probe HYD-LOG 2, Vitel Inc., Chantilly, USA) innerhalb der untersuchten Probestellen für die jeweilige Art – wurden im Februar 2002 gewonnen und anschließend in Kultur genommen. Zur Entnahme diente ein Plastikzylinder ($d=10,5$ cm), mit welchem ein definierter Bereich des Torfmoosrasens in natürlicher Dichte ausgestochen wurde. Die Proben wurden in einer Plastikbox, gewässert mit destilliertem Wasser ins Labor transportiert. Die anschließende Kultur erfolgte nach aufsteigender Akklimatisierung über 21 Tage in einem Umluft-Klimaschrank (Percival, Boone, Iowa, USA) bei einer Beleuchtung von $70 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 85 %. Die Pflanzen wurden in natürlicher Dichte in einem speziell gefertigten Kulturgefäß (Abb. 2) kultiviert. Jeweils 7 cm lange Abschnitte der Torfmoospflanzen lagerten auf einem Plastiknetz innerhalb der Plastikzylinder. Sie hatten keinen Kontakt zum 3,5 cm unterhalb des Netzes anstehenden Wassers (Aqua dest). Die Photoperiode (d:n) in Kultur betrug 16:8 h, die Kultivierungstemperatur 18 °C.

Das Kulturmedium wurde in Form eines Sprühnebels auf die kultivierten Pflanzen apikal appliziert (20 ml/d pro Kulturgefäß). Das Besprühen der Kulturen mit Nährlösung bewirkt einen ausbalancierten Ionenhaushalt und damit optimale Bedingungen (BREHM 1968). Zur Kompensation unterschiedlicher trophischer Hintergründe der in Kultur genommenen Testpflanzen wurden diese 7 Tage mit destilliertem Wasser behandelt. Danach erfolgte die Kultur auf einem Medium nach RUDOLPH & VOIGT (1986) mit der Zusammensetzung (μM): 55 Na^+ ; 17 K^+ ; 95 NH_4^+ ; 22 Ca^{2+} ; 22 Mg^{2+} ; 2 Fe^{2+} ; 20 Cl^- ; 100 NO_3^- ; 57 SO_4^{2-} ; 7.4 H_2SO_4 ; Spurenele-

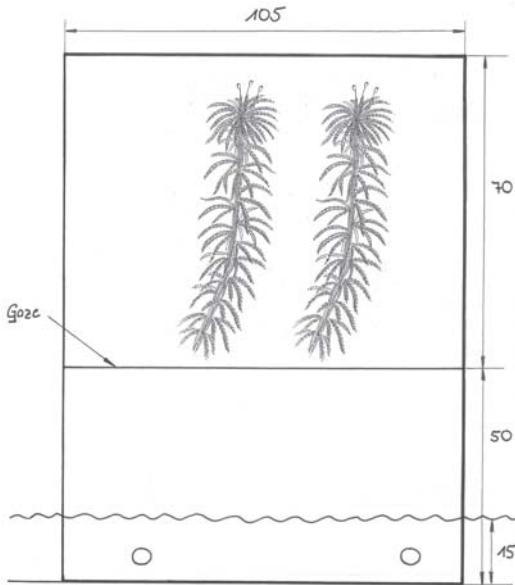


Abb. 2: In Laborkultur eingesetztes Kulturgefäß für *Sphagnum*.

sowie *S. tenellum* (Brid.) Bory zusammen nur 10 % der untersuchten Probestellen besiedelten, traten auf den übrigen Standorten die Arten *S. capillifolium* (Ehrh.) Hedw., *S. cuspidatum* Ehrh. ex Hoffm., *S. affine* Renaud & Cardot sowie *S. flexuosum* Dozy & Molk. und *S. fallax* (H. Klinggr.) H. Klinggr. auf (insgesamt 72 Probestellen).

mente; pH 5.8. Die optimale Quantenausbeute der kultivierten Pflanzen wurde nach 22 Tagen Kultur in Analogie zur im Freiland benutzten Methode ermittelt.

Signifikanzanalysen zum paarweisen Vergleich der untersuchten Arten erfolgten mittels t-Test (SPSS 10.5, Illinois, USA). Als Signifikanzniveau wurde $p > 0,05$ vorausgesetzt.

Ergebnisse

Artenspektrum der „Schwarzen Heide“

An den analysierten 80 Probestellen konnten 10 *Sphagnum*-Arten für die „Schwarze Heide“ nachgewiesen werden (Abb. 3). Die Nomenklatur richtet sich nach KOPERSKI et al. 2000. Während *Sphagnum riparium* Ångstr., *S. teres* (Schimp.) Ångstr., *S. girgensohnii* Russow, *S. subnitens* Russow & Warnst.

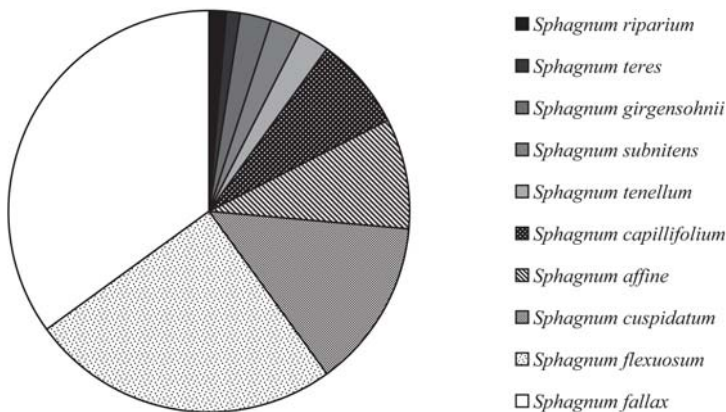


Abb. 3: Spektrum der in der „Schwarzen Heide“ nachgewiesenen *Sphagnum*-Arten.

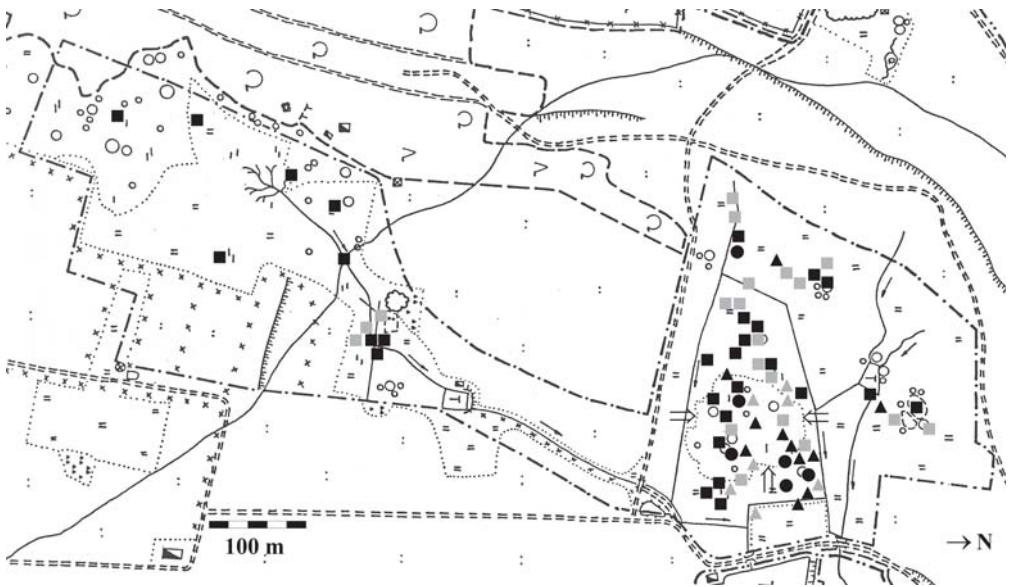


Abb. 4: Verteilung der unterschiedlichen Arten an den einzelnen Standorten im Untersuchungsgebiet. ■ *Sphagnum fallax*, ■ *Sphagnum flexuosum*, ▲ *Sphagnum cuspidatum*, ▲ *Sphagnum imbricatum*, ● *Sphagnum capillifolium*. Die geschlossene Punkt-Linie (offene Pfeile ⇒) im Nordteil des Gebietes markiert den Restmoorkern. Die Regenerationsflächen schließen sich an diese in nördlicher, östlicher und westlicher Richtung an. (Kartengrundlage: BÖHNERT & REICHHOFF 1996).

Die beiden letztgenannten Arten, welche taxonomisch problematisch und schwer zu differenzieren sind, werden von vielen Autoren in der Gruppe *S. recurvum* agg. zusammengefasst. Sie konnten an 60 % der Probestellen und damit auf den meisten Standorten nachgewiesen werden. *S. fallax* besiedelte 28 Probestellen, *S. flexuosum* 20. Als weiterhin relativ häufige Arten traten *S. cuspidatum* mit 11 besiedelten Probestellen (14 %), die Art *S. affine* mit sieben besiedelten Probestellen (9 %) sowie *S. capillifolium* an sechs (8 %) Probestellen im Gebiet auf. Diese fünf häufigsten Arten wurden zu nachfolgenden Untersuchungen herangezogen. Die Belege der nachgewiesenen *Sphagnum*-Arten der einzelnen Probestellen befinden sich im Herbarium Haussknecht, Jena.

Während das Vorkommen von *S. cuspidatum*, *S. capillifolium* sowie *S. affine* auf den Probestellen im Untersuchungsgebiet im Wesentlichen auf den nordöstlich des Restmoorkerns gelegenen Bereich beschränkt bleibt, kommen *S. fallax* und *S. flexuosum* in der „Schwarzen Heide“ auf den vom Restmoorkern entfernten Probestellen sowie verstärkt auf den Probestellen westlich des Restmoorkerns vor (Abb. 4).

Optimale Quantenausbeute im Feld

Die Messung der Optimalen Quantenausbeute der Moosproben an den untersuchten Standorten im Gebiet ergab im Mittel keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Arten (t -Test, $p > 0,05$). Bei allen fünf untersuchten Spezies zeigten die f_v/f_m -Werte eine erhebliche Streuung um den Mittelwert (Abb. 5), welche auf die großen Unterschiede hinsichtlich der einzelnen Standorte zurückgeführt werden kann. Die Einzelwerte der Optimalen Quantenausbeute für alle vermessenen Probestellen im Feld liegen in einem Bereich zwischen 0,5 und 0,7.

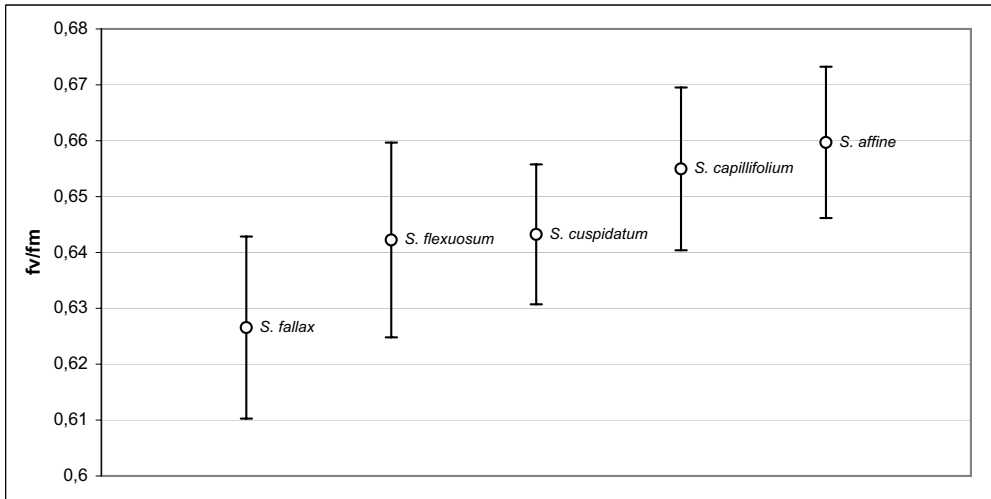


Abb. 5: Vergleich der Optimalen Quantenausbeute der einzelnen *Sphagnum*-Arten im Freiland.

Optimale Quantenausbeute unter Laborbedingungen

Signifikante Unterschiede der Optimalen Quantenausbeute der Pflanzenproben im Feld hinsichtlich der für die Kultur ausgewählten Standorte mit unterschiedlichen hydrologischen Hintergründen lagen bei *S. fallax* nicht vor, während sich bei *S. flexuosum* die Pflanzen der unterschiedlichen Herkünfte signifikant unterschieden (Abb. 6). Für *S. capillifolium* bestanden signifikante Unterschiede im Feld zwischen den Standorten trocken-mittel sowie trocken-feucht, ebenso wie für *S. cuspidatum*. Bei *S. affine* zeigte nur die Standortkombination trocken-feucht signifikante Unterschiede hinsichtlich der Optimalen Quantenausbeute der Pflanzen im Feld. Die geringsten Werte von f_v/f_m wurden mit Ausnahme von *S. fallax* an den „feucht“-Standorten gemessen. Die höchsten Werte wurden für alle Arten an den „trocken“-Standorten ermittelt. Insgesamt lagen die Werte zwischen 0,5 (*S. cuspidatum*, feucht) und 0,68 (*S. capillifolium*, trocken).

Die in situ gemessenen signifikant differierenden Werte äquilibrierten sich schon nach 22 Tagen Kultur. Bei allen untersuchten Pflanzenproben erhöhte sich in Kultur die Optimale Quantenausbeute auf Werte zwischen 0,75 (*S. capillifolium*, mittel) und 0,78 (*S. fallax*, trocken), unabhängig von der standörtlichen Herkunft. Es lassen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Proben jeder Art mit Ausnahme von *S. capillifolium* (Signifikanz zwischen feucht-mittel sowie mittel-trocken) mehr nachweisen. Zudem wiesen die gemessenen Werte für f_v/f_m nach 22 Tagen Kultur eine drastisch reduzierte Streuung der Optimalen Quantenausbeute für die einzelnen Standorte im Vergleich zur relativ hohen Standardabweichung der in situ gemessenen Werte auf.

Vitalitätsreduktion

Aus den im Feld sowie in Kultur gewonnenen Daten der Optimalen Quantenausbeute lässt sich eine „prozentuale Vitalitätsreduktion“ für jeden Standort errechnen, indem die für die

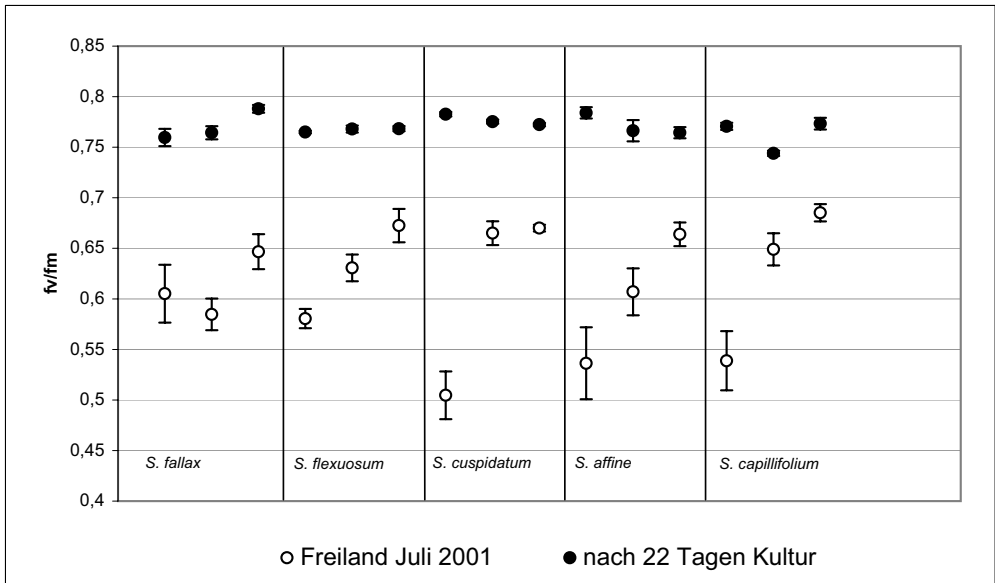


Abb. 6: Vergleich der Optimalen Quantenausbeute der einzelnen Arten ausgewählter Standorte im Freiland sowie nach 22 Tagen Laborkultur. Die jeweils drei Messwerte entsprechen einem Bodenfeuchtigkeits-Gradienten im Feld, mit der für die jeweilige Torfmoosart höchsten standörtlichen Bodenfeuchte („feucht“, linker Messwert), einer mittleren sowie der geringsten standörtlichen Bodenfeuchte („trocken“, rechter Messwert).

jeweilige Art gemittelten f_v/f_m -Werte aus Laborkultur als 100 % Optimale Quantenausbeute gesetzt werden. In situ weisen die Pflanzen diesbezüglich an den von ihnen besiedelten Standorten eine Reduktion von f_v/f_m im Mittel auf Werte zwischen 81,3 % (*S. fallax*) und 86,5 % (*S. capillifolium*) auf (vgl. Tab. 1). Jedoch zeigen die an den einzelnen Probestellen gemessenen Werte erhebliche Unterschiede hinsichtlich der optimalen Quantenausbeute für die einzelnen Arten. Die Vitalitätsreduktion beträgt hier zwischen 30,1 % (*S. fallax*) und 2,7 % (ebenfalls ein *S. fallax*-Standort). Die geringsten Werte für die Vitalitätsreduktion der einzelnen Arten zeigen im Mittel die Pflanzen an den Probestellen nordöstlich des Restmoorkerns, die höchsten die südwestlich desselben gemessenen Werte (Abb. 7).

Diskussion

Artenspektrum der „Schwarzen Heide“

Mit 10 Arten weist das Untersuchungsgebiet trotz des stark gestörten Charakters eine hohe *Sphagnum*-Diversität auf. Den größten Anteil der Standorte besiedelt die bestimmungskritische Gruppe des *Sphagnum recurvum*-Aggregates, mit den Sippen *Sphagnum fallax* und *S. flexuosum*, deren Verbreitung in den Mooren und Moorresten des Erzgebirges nach MÜLLER (2000) noch als unzureichend untersucht gelten kann. Insbesondere die Art *S. fallax*, deren Lebensstrategie eine hohe Wachstumsrate, hohe Nährstoffaufnahme sowie eine hohe Nettomineralisierungsrate einschließt (TWHENHÖVEN 1992), erfährt seit Mitte des letzten Jahrhunderts eine starke Ausbreitung auf Kosten artenreicher Torfmoosgesellschaften (BAXTER et

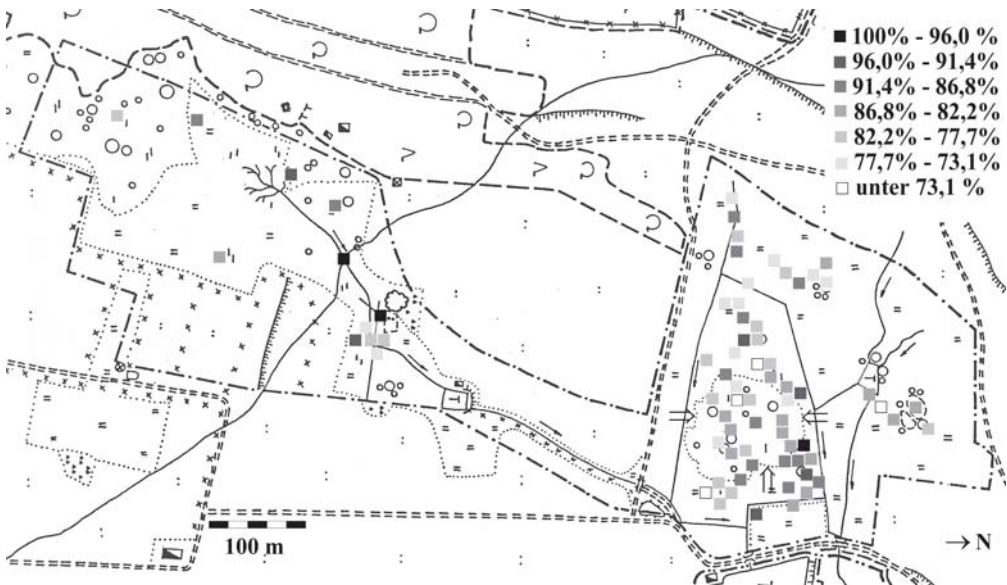


Abb. 7: Prozentuale Optimale Quantenausbeute an den einzelnen Standorten gegenüber Laborkultur. (Kartengrundlage: BÖHNERT & REICHHOFF 1996).

al. 1990). Schon HEMPEL (1974) berichtet über die völlige Dominanz von *S. recurvum* (agg.) in vielen Schlenken des Untersuchungsgebietes sowie im Versumpfungsgebiet am ehemaligen Oberkantenlagg. Dieses Verbreitungsmuster im Gebiet konnte in der vorliegenden Arbeit bestätigt werden, wobei sich *S. recurvum* (agg.) heute vor allem auf den Staubereich westlich des Restmoorkerns konzentriert. Dieser wird durch eine starke Quellschüttung des ehemaligen Oberkantenlaggs mit offensichtlich relativ nährstoffreichem Wasser versorgt, welches *S. fallax* als Indikatorart für minerotrophe Standorte (AULIO 1982) optimale Wuchsbedingungen liefert. Dies kann auch für *S. flexuosum* als gültig betrachtet werden und kommt in der Verbreitung dieser Art im Untersuchungsgebiet zum Ausdruck. Auch der Einfluss der auf das Gebiet wirksamen anthropogenen Luftbelastung, unter anderem in Form von Ammonium- sowie Kaliumdeposition als Staub und Regen, welche die Ansiedlung und Etablierung von *S. recurvum* (agg.) auf Regenmoorstandorten fördert (PAKARINEN 1977), kann als Grund für die Dominanz dieser Artengruppe angeführt werden. *S. fallax* und *S. flexuosum* fehlten früher auf Regenmoorstandorten (POSCHLOD 1994).

S. fallax sowie *S. flexuosum* besitzen beide eine breite ökologische Amplitude (ANDRUS 1986) und tolerieren einen weiten Bereich chemischer und hydrologischer Bedingungen (DANIELS & EDDY 1985). Sie besiedeln ebenso wie der Oligotrophiezeiger *S. cuspidatum* (AULIO 1980) Schlenken in der Schwarzen Heide. *S. cuspidatum* ist *S. fallax* physiologisch durchaus ähnlich, zeigt aber ein vergleichsweise langsames Wachstum (ANDRUS 1986). Schon HEMPEL (1974) weist auf die Verdrängung von *S. cuspidatum* durch *S. fallax* hin. Nicht selten geschieht dies in Form seitlicher Überwallung von *S. cuspidatum*-Decken durch *S. fallax* aufgrund der hohen jährlichen Längenzuwachsrates dieser Art (TÜXEN 1982). Insgesamt konstatiert RYDIN (1985) eine höhere Bedeutung biotischer Interaktionen in Schlenken als auf Bulten-Standor-

Tab. 1: Gegenüberstellung der mittleren Optimalen Quantenausbeute der untersuchten Torfmoosarten im Freiland und in Kultur sowie die daraus errechnete mittlere Vitalitätsreduktion einschließlich ihrer standörtlichen Extrema.

	mittlere Optimale Quantenausbeute (fv/fm) im Feld	mittlere Optimale Quantenausbeute (fv/fm) in Kultur	mittlere Vitalitätsreduktion an allen Standorten der jeweiligen Art in %	höchste standörtliche Vitalitätsreduktion Vergleich fv/fm-Kultur/ fv/fm-Freiland in %	geringste standörtliche Vitalitätsreduktion Vergleich fv/fm-Kultur/ fv/fm-Freiland in %
<i>Sphagnum fallax</i>	0,627	0,771	18,69	36,07	2,66
<i>Sphagnum flexuosum</i>	0,642	0,767	16,30	30,08	3,08
<i>Sphagnum cuspidatum</i>	0,643	0,777	17,33	35,03	10,46
<i>Sphagnum capillifolium</i>	0,655	0,763	13,49	29,35	5,07
<i>Sphagnum affine</i>	0,660	0,772	15,11	24,76	7,76

ten. *S. cuspidatum* benötigt jedoch für den oft horizontalen Wuchs in flutenden Teppichen neben einem vergleichsweise konstanten Wasserspiegel eine relative Nährstoffarmut des Standortes (RYDIN 1986). Deshalb konzentriert sich die Art auf den Probestellen im Untersuchungsgebiet hauptsächlich nordöstlich des Restmoorkerns. GORHAM et al. (1985) nennen als primäre Kolonisationsabfolge eines Moores (was auch für den Regenerationsfall anwendbar sein dürfte) ein Initialstadium, welches Arten wie *S. squarrosum* Crome oder *S. subsecundum* Nees s. str. einschließt. Dieses wird später durch ein *S. recurvum* (agg.)-Stadium abgelöst, bevor ein Endzustand, markiert durch bultbildende Arten wie beispielsweise *S. capillifolium* sowie *S. cuspidatum* in den Schlenken, die Sukzession abschließt. Während also die Standorte westlich des Restmoorkerns der minerotrophen *S. recurvum*-Stufe zugeordnet werden können, zeigt der Restmoorkern selbst sowie die hydrologisch von ihm beeinflussten, nordöstlich gelegenen Bereiche ein Regenmoorstadium bzw. die Endphase nach GORHAM et al. (1985) an. Die Schlenkenarten *S. cuspidatum* sowie *S. recurvum* (agg.) können dabei als Opportunisten unterschiedlicher Sukzessionsstadien aufgefasst werden.

Als Bultbildner tritt in der „Schwarzen Heide“ *S. capillifolium* auf. Schon HEMPEL (1974) nennt diese Art als wichtigstes Torfmoos der Degradationsstadien. Nicht selten jedoch überwallt *S. fallax*, welches Intermediärstandorte zwischen Bult und Schlenke zu besiedeln vermag (TÜXEN 1982) *S. capillifolium*-Aufwölbungen (HEMPEL 1974). Die letztgenannte Art bevorzugt schattige Habitate an Moorrändern (HORTON et al. 1979), trockenere Teile sauren Torflandes oder feuchtes Heideland (DANIELS & EDDY 1985) und kommt dementsprechend im Untersuchungsgebiet im Wesentlichen auf Resttorfauflagen vor.

S. affine, welches KÄSTNER & FLÖSSNER (1933) für Moore des Erzgebirges als polsterbildend in der Laggvegetation beschrieben, nennt HEMPEL (1974) aus der Schwarzen Heide nur von 2 Stellen. Die minerotrophe Moore besiedelnde Art ist im Untersuchungsgebiet heute häufiger und auf den Restmoorkern beschränkt.

Optimale Quantenausbeute

Die Optimale Quantenausbeute (f_v/f_m) errechnet sich aus den 2 Kardinalwerten der Chlorophyllfluoreszenz: als Grundfluoreszenz (f_o) nach Dunkeladaption der Pflanzen sowie der Maximalfluoreszenz (f_m), hervorgerufen durch einen Sättigungs-Lichtpuls. Die ermittelte variable Fluoreszenz (f_v) reagiert demzufolge empfindlich gegenüber Stressoren, welche entweder die Grundfluoreszenz erhöhen oder die Maximalfluoreszenz verringern (KARUKSTIS 1991). Ersterer ist dabei abhängig von der strukturellen Beschaffenheit des Photosyntheseapparates, welcher die Anregung zwischen Antennenpigmenten und den Reaktionszentren beeinflusst (KRAU-

SE & WEISS 1984). Als mögliche Stressoren, die auf die Torfmoospflanzen im Untersuchungsgebiet einwirken, kommen beispielsweise das Wasserangebot des Standortes (CLYMO & HAYWARD 1982), der pH-Wert (HARAGUCHI 1996), die Temperatur (PROCTER 1982), die Insolation (HARLEY et al. 1989), die Nährstoff-Verfügbarkeit (PAKARINEN & TOLONEN 1978) oder die Luftbelastung (TWHÖVEN 1992; FERGUSON & LEE 1980) in Betracht. Sie können zu einer Abnahme von f_v/f_m als Form nichtchemischer Energiedissipation führen (KRAUSE & WEISS 1991), welcher eine Beeinträchtigung der Photosystem-II-Zentren zugrunde liegt. Die Optimale Quantenausbeute steht also in direktem Zusammenhang zur photosynthetischen Leistungsfähigkeit der Torfmoospflanze (MURRAY et al. 1993). Viele Pflanzen weisen f_v/f_m -Werte im Bereich zwischen 0,8 und 0,833 auf (BJÖRKMAN & DEMMING 1987).

Die Werte der Optimalen Quantenausbeute der 5 untersuchten *Sphagnum*-Arten aus der „Schwarzen Heide“ fallen demgegenüber deutlich geringer aus und deuten so auf unterschiedlich starke Einflüsse verschiedener Stressoren hin. MAYSEK et al. (1999) fanden ein stabiles f_v/f_m -Verhältnis bei *Sphagnum*-Pflanzen im Temperaturbereich von 10 bis 25 °C und schlossen auf eine breite Temperaturtoleranz dieser Moose. Die Autoren fanden zudem gleichbleibende Werte für f_v/f_m bei steigendem Wassergehalt des Pflanzengewebes, jedoch nicht für die apparente Photosynthese unter Beleuchtung. Dies bestätigt die Ergebnisse von RYDIN (1985), welcher sowohl bei Bulten- als auch bei Schlenken-Arten eine Photosynthesedepression mit steigender Höhe über dem Wasserhorizont des Standortes nachwies. RYDIN & McDONALD (1985) konnten jedoch in diesem Zusammenhang keinen generellen Unterschied der photosynthetischen Antwort von Bult- und Schlenkenarten auf einen geringen Wassergehalt des Pflanzengewebes feststellen.

Fehlende signifikante Unterschiede der Optimalen Quantenausbeute zwischen den einzelnen Arten lassen keine Einordnung der für die „Schwarze Heide“ erhaltenen Ergebnisse in diese Schemata zu. Die durch MAYSEK et al. (1999) gezogene Schlussfolgerung, dass fehlende f_v/f_m -Unterschiede bei differierenden apparenten Quantenausbeuten intakte Bedingungen auf Ebene der Photosynthese anzeigen, lässt jedoch für die hier gefundenen stark streuenden Werte der Optimalen Quantenausbeute an den einzelnen Standorten im Untersuchungsgebiet eine unterschiedliche aktuelle Beschaffenheit des Photosyntheseapparates der einzelnen Pflanzen verschiedener standörtlicher Herkünfte, und damit unterschiedliche stressphysiologische Hintergründe, vermuten. Folglich nimmt die Qualität des Standortes direkten Einfluss auf die *Sphagnum*-Vegetation. Die große Streubreite der f_v/f_m -Werte macht dabei deutlich, dass alle untersuchten Arten Standorte auch außerhalb ihres Optimumbereichs besiedeln. Es wirken standortspezifische, nicht habitatabhängige (Bult-Schlenke) Umweltfaktoren.

Die im Labor erreichte Optimale Quantenausbeute der Pflanzen von 0,75–0,78 unabhängig von der standörtlichen Herkunft unterstreicht die optimalen Bedingungen für *Sphagnum* in Kultur. Es bestehen somit keine artspezifischen Unterschiede hinsichtlich der Reaktion des Torfmooses auf die fluoreszenzphotometrischen Vitalitätsuntersuchungen. Diese maximal mögliche Photosynthesekapazität erreicht das Torfmoos an keinem Standort im Untersuchungsgebiet, wobei die „Vitalitätsreduktion“ je nach Standort unterschiedlich ausfällt. Daraus können Auswirkungen auf die Biomasseproduktion und das Torfmooswachstum in der „Schwarzen Heide“ geschlussfolgert werden.

Die durchschnittlich geringste Vitalitätsreduktion gegenüber den im Labor unter Optimalbedingungen erzielten Werten konnte für die „Schwarze Heide“, insbesondere für die typischen Hochmoorarten *S. cuspidatum* sowie *S. capillifolium*, an Standorten nordöstlich des Restmoorkerns ermittelt werden. Dieser Bereich muss als derjenige mit dem höchsten Poten-

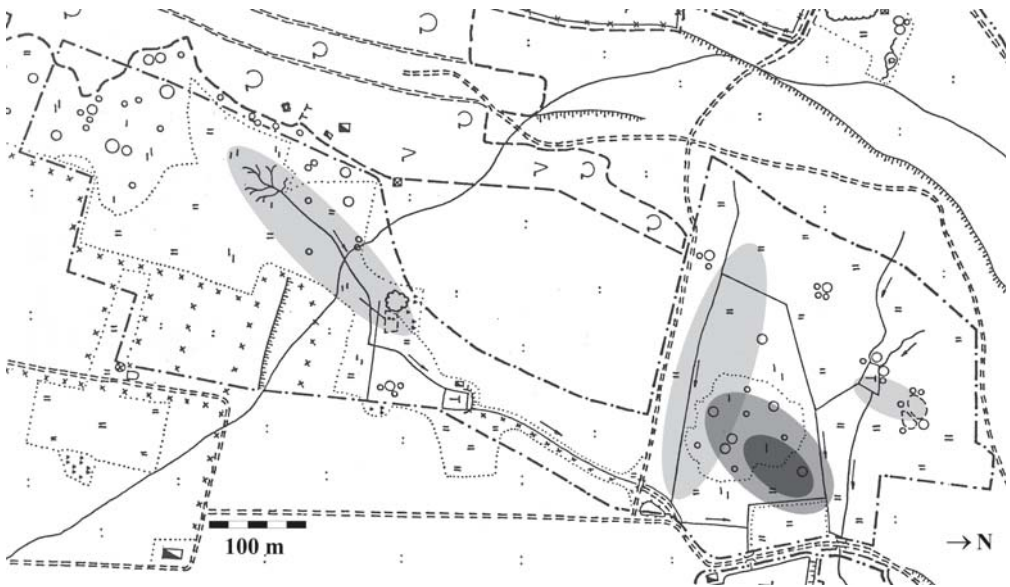


Abb. 8: Bewertung der Sphagnumvegetation hinsichtlich des Regenerationspotentials der „Schwarze Heide“. ● gering; ● mittel; ● hoch. (Kartengrundlage: BÖHNERT & REICHHOFF 1996).

tial zur Moorregeneration (Abb. 8) angesehen werden. Hier zeigen sich noch Reste der Bunten Torfmoosgesellschaft, welche flächenmäßig zur Torfbildung in der Lage ist. Auch HEMPEL & SCHIEMENZ (1986) bewerten diese Fläche positiv: Der zentrale Torfkörper staut das Hangdruckwasser an, es kommt zur Ansäuerung und Filtration des Durchtrittswassers, wobei der reduzierte Trophiegrad die Regeneration der hangabwärts liegenden Flächen, auf denen Jungvermooring eintritt, positiv beeinflusst. Damit decken sich die vitalitätsphysiologisch ermittelten Befunde mit früheren Ergebnissen pflanzensoziologischer Untersuchungen.

Es ist davon auszugehen, dass eine Ausbildung von Übergangs-Moorstadien in den Torfstichen zur Regeneration des gesamten Moores führen kann, da *S. affine*, *S. cuspidatum* sowie *S. capillifolium* als hochmoorbildend eingestuft werden. HEMPEL stuft 1974 die Umgebung der Torftümpel als lebhaft in Richtung Hochmoor regenerierend ein. Westlich des Restmoorkerns findet sich eine *Sphagnum*-Vegetation, welche im Wesentlichen von Arten mit einer breiten ökologischen Amplitude gebildet wird. Diese kann als typisch für zahlreiche, durch Torfabbau und Entwässerung beeinträchtigte Moore gelten. Die Arten kennzeichnet zwar eine hohe Biomasseproduktion, vor allem bei hoher Feuchtigkeit, jedoch dekompostieren sie wesentlich schneller und entwickeln somit nur ungenügend Torf (JOHNSON & DAMMAN 1991). Die Renaturierung dieser Flächen ist ausgehend vom Restmoorkern hangaufwärts möglich, beispielsweise durch die Rekolonisierung durch *S. cuspidatum*-Matten (MONEY 1995). Dabei ist aufgrund der Ökologie dieser Art nährstoffarmes Wasser Grundvoraussetzung.

Die *Sphagnum*-Vegetation eines Hochmoores und ihre Entwicklung muss als der wichtigste biotische Einflussfaktor auf die Entstehung bzw. Stabilisierung dieses Ökosystems, und damit auch im Kontext mit Renaturierungsbestrebungen für degradierte Hochmoore, eingestuft werden. Nach den vorliegenden Ergebnissen kann ein derartiger Prozess leicht durch die Mes-

sung der Optimalen Quantenausbeute an den Torfmoospflanzen kontrolliert werden. Die Messung der Optimalen Quantenausbeute als Indikator für die Photosynthesekapazität dieser Kryptogamen erweist sich dabei nach den hier vorgestellten Untersuchungen als praktikabler Ansatz zur standortspezifischen Vitalität des Torfmooses. Die Kenntnis der Wachstumsdynamik des Torfmooses, basierend auf dem fundamentalen Prozess der Photosynthese, ist notwendig für ein gezieltes Management schützenswerter Moore und Moordegradationsstadien (GÖTTLICH 1991), so auch im Erzgebirge. Pflegemaßnahmen in Mooren sollten zum Start der Regeneration dienen, worauf eine Selbstkatalyse des Ökosystems erfolgen kann (EIGNER 1982). Es ist dabei nötig, diese Grund- und eventuell begleitenden Maßnahmen, und somit die selbst-regulierte Entwicklung des Moores, auf ihre Wirkung zu überprüfen.

Dank

Wir danken Herrn Dr. H. Dörfelt und Frau Dipl. Hydrol. P. Zinke für die Begleitung der Untersuchungen und kritische Anmerkungen, Herrn M. Baumann für die Überprüfung kritischer Moosproben, Herrn Dr. Brockhaus und Herrn Dr. Tolke vom StUFA Chemnitz für die Bereitstellung von Hintergrunddaten sowie Herrn Dr. H.-J. Zündorf für die kritische Sichtung des Manuskriptes.

Literatur

- ANDRUS, R. E. 1986. Some aspects of *Sphagnum* ecology. – Canadian Journal of Botany **64**: 416–426.
- AULIO, K. 1980. Nutrient accumulation in *Sphagnum* mosses. I. A multivariate summarization of the mineral element composition of 13 species from ombrotrophic raised bogs. – Annales Botanici Fennici **17**: 307–314.
- AULIO, K. 1982. Nutrient accumulation in *Sphagnum* mosses. II. Intra- and interspecific variation in four species from ombrotrophic and minerotrophic habitats. – Annales Botanici Fennici **19**: 93–101.
- BARTH, E. & ZÜHLKE, D. 1985. Zwischen Wolkenstein, Marienberg und Jöhstadt. – Berlin: Akademie Verlag.
- BAXTER, R., EMES, M. J. & LEE J. A. 1990. The relationship between extracellular metal accumulation and bisulphite tolerance in *Sphagnum cuspidatum* Hoffm. – New Phytologist **111**: 462–472.
- BJÖRKMAN, O. & DEMMIG, B. 1987. Comparison of the effect of excessive light on chlorophyll fluorescence (77K) and photon yield of O₂ evolution in leaves of higher plants. – Planta **171**: 171–184.
- BÖHNERT, W. & REICHHOFF, L. 1996. Pflege- und Entwicklungsplan Schwarze Heide – Kriegswiese. (Mskr.).
- BREHM, K. 1968. Die Bedeutung des Kationenaustausches für den Kationengehalt lebender Sphagnen. – Planta **79**: 324–345.
- CLYMO, R. S. & HAYWARD P. M. 1982. The ecology of *Sphagnum*. – In: SMITH, A. J. E. (ed.): Bryophyte ecology. – London: Chapman and Hall.
- DANIELS, R. E. & EDDY A. 1985. Handbook of European Sphagna. – Huntingdon: Institute of terrestrial ecology. Natural Environment Research Council.
- DEUTSCHER WETTERDIENST 1999. Expertise über die Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse im Gebiet der „Mothäuser Heide“ bzw. der „Schwarzen Heide-Kriegswiese“ seit 1951. (Mskr.).
- EIGNER, J. 1982. Pflegemaßnahmen für Hochmoore im Regenerationsstadium. – Informationen zu Naturschutz und Landschaftspflege **3**: 227–237.
- FERGUSON, P & LEE J. A. 1980. Some effects of bisulfite and sulphate on the growth of *Sphagnum* species in the field. – Environmental Pollution Series A **21**: 59–71.
- GORHAM, E., EISENREICH, S. J., FORD, J. & SANTELMANN, M. V. 1985. The chemistry of bog waters. – In: STUMM, W.: Chemical processes in lakes. – New York: John Wiley & Sons.
- GÖTTLICH, H. 1991. Kataster der Moore und Feuchtgebiete Südtirols. – Tätigkeitsbericht Biologisches Landeslabor Autonome Provinz Bozen **6**: 1–74.
- HARAGUCHI, A. 1996. Effect of pH on photosynthesis of five *Sphagnum* species in mires in Ochiishi, northern Japan. – Wetlands **16**: 10–14.
- HARLEY, P. C., TENHUNEN, J. D., MURRAY, K. J. & BEYERS, J. 1989. Irradiance and temperature effects on photosynthesis of tussock tundra *Sphagnum* mosses from the foothills of the Phillip Smith Mountains, Alaska. – Oecologia **79**: 251–259.
- HEMPEL, W. & SCHIEMENZ H. 1986. Die Naturschutzgebiete der Bezirke Leipzig, Karl-Marx-Stadt und Dresden. – Handbuch der Naturschutzgebiete der DDR 5. 2.Aufl. Leipzig, Jena, Berlin: Urania Verlag.
- HEMPEL, W. 1974. Die gegenwärtige Struktur und Vegetation der geschützten Hochmoore des Erzgebirges (Teil I). – Veröffentlichungen des Museums für Naturkunde Karl-Marx-Stadt **8**: 9–36.

- HORTON, D. G., VITT D. H. & SLACK N. G. 1979. Habitats of circumboreal-subarctic sphagna: I. A quantitative analysis and review of species in the Caribou Mountains, northern Alberta. – *Canadian Journal of Botany* **57**: 2283–2317.
- HULME, P. D. & BLYTH, A. W. 1982. The annual growth period of some *Sphagnum* species on the Silver Flowe National Nature Reserve, south-west Scotland. – *Journal of Bryology* **12**: 287–291.
- JOHNSON, L. C. & DAMMAN A. W. H. 1991. Species controlled *Sphagnum* decay on a south Swedish raised bog. – *Oikos* **61**: 234–242.
- 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. (eds.): Peatland ecosystems and man: An impact Assessment. – Dundee: University of Dundee, Department of Biological Sciences.
- KARUKSTIS, K. K. 1991. Chlorophyll fluorescence as a physiological probe of the photosynthetic apparatus. – In: SCHEER, H. (ed.): Chlorophylls. – Boca Raton: CRC.
- KÄSTNER, M & FLÖSSNER, W. 1933. Die Pflanzengesellschaften des westsächsischen Berg- und Hügellandes. II. Die Pflanzengesellschaften der erzgebirgischen Moore. – Dresden: Verlag des Landesvereins Sächsischer Heimatschutz.
- KOPERSKI, M., SAUER, M., BRAUN W. & GRADSTEIN S. R. 2000. Referenzliste der Moose Deutschlands. – Schriftenreihe für Vegetationskunde **34**.
- KRAUSE, G. H. & WEISS, E. 1984. Chlorophyll fluorescence as a tool in plant physiology. II. Interpretation of fluorescence signals. – *Photosynthesis Research* **5**: 139–157.
- KRAUSE, G. H. & WEISS, E. 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. – *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* **42**: 313–349.
- MAYSEK, K. S., GREEN, T. G. A. & KLINAC, D. 1999. Photosynthetic responses of New Zealand *Sphagnum* species. – *New Zealand Journal of Botany* **37**: 155–165.
- MONEY, R. P. 1995. Re-establishment of a *Sphagnum*-dominated Flora on cut-over lowland raised bogs. – In: WHEELER, B. D., SHAW, S. C., FOJT, W. J. & ROBERTSON, R. A. (eds.): Restoration of Temperate Wetlands. Chichester.
- MÜLLER, F. 2000. Zur Bestandssituation der Moosflora der Hochmoore im sächsischen Teil des Erzgebirges. – *Limprichtia* **14**: 59–84.
- MURRAY, K. J., TENHUNEN, J. D. & NOWAK, R. S. 1993. Photoinhibition as a control on photosynthesis and production of *Sphagnum* mosses. – *Oecologia* **96**: 200–207.
- PAKARINEN, P. & TOLONEN, K. 1978. Nutrient contents of *Sphagnum* mosses in relation to bog water chemistry in northern Finland. – *Lindbergia* **4**: 27–33.
- PAKARINEN, P. 1977. Element contents of Sphagna: variation and its sources. – *Bryophytorum Bibliotheca* **13**: 751–762.
- PFADENHAUER, J. & KLÖTZLI, F. 1996. Restoration experiments in middle European wet terrestrial ecosystems: An overview. – *Vegetatio* **126**: 101–115.
- POSCHLOD, P. 1994. Gedanken über die Möglichkeit und Grenzen der Renaturierung von Regen-(Hoch)mooren. – *Hohenheimer Umwelttagung* **26**: 75–92.
- PROCTER, M. C. F. 1982. Physiological ecology: Water relations, light and temperature responses, carbon balance. – In: SMITH, A. J. E. (ed.): Bryophyte ecology. – London: Chapman and Hall.
- RUDOLPH, H. & VOIGT, J. U. 1986. Effects of NH_4^+ -N and NO_3^- -N on growth and metabolism of *Sphagnum magellanicum*. – *Physiologica Plantarum* **66**: 339–343.
- RUDOLPH, H. 1977. 15 Jahre Kultur von Sphagnen unter definierten Bedingungen: Eine Übersicht über Resultate, Probleme und Perspektiven. – *Bryophytorum Bibliotheca* **13**: 297–309.
- RYDIN, H. & McDONALD, A. J. S. 1985. Tolerance of *Sphagnum* to water level. – *Journal of Bryology* **13**: 571–578.
- RYDIN, H. 1985. Effect of water level on desiccation of *Sphagnum* in relation to surrounding Sphagna. – *Oikos* **45**: 374–379.
- RYDIN, H. 1986. Competition and niche separation in *Sphagnum*. – *Canadian Journal of Botany* **64**: 1817–1824.
- SÄCHSISCHE AKADEMIE FÜR NATUR UND UMWELT 1998. Ökologie und Schutz der Hochmoore im Erzgebirge. – Dresden: Sächsische Landesstiftung Natur und Umwelt (Hrsg.).
- SLOBODDA, S. 1998. Entstehung, Nutzungsgeschichte, Pflege- und Entwicklungsgrundsätze für erzgebirgische Hochmoore. – In: SÄCHSISCHE AKADEMIE FÜR NATUR UND UMWELT (Hrsg.): Ökologie und Schutz der Hochmoore im Erzgebirge. – Dresden: Sächsische Landesstiftung Natur und Umwelt.
- SUCCOW, M. & JESCHKE, L. 1986. Moore in der Landschaft. Entstehung, Haushalt, Lebewelt, Verbreitung, Nutzung und Erhaltung der Moore. – Thun, Frankfurt/Main: Harri Deutsch.
- TÜXEN, J. 1982. Das Hochmoor – ein Lebensbild. – Informationen zu Naturschutz und Landschaftspflege **3**: 79–86.
- TWENHÖVEN, F. L. 1992. Untersuchungen zur Wirkung stickstoffhaltiger Niederschläge auf die Vegetation von Hochmooren. – Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Geobotanik in Schleswig-Holstein und Hamburg **44**: 1–172.

Anschriften der Verfasser

K. Meister*, Institut für Geschichte der Medizin, Naturwissenschaften und Technik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Berggasse 7, D-07745 Jena, Deutschland.

E-mail: kay.meister@uni-jena.de

H.-P. Liebert, Institut für Allgemeine Botanik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Am Planetarium 1, D-07742 Jena, Deutschland.

*) Kontakt- und Korrespondenzadresse