

TELMA	Band 23	Seite 163 – 180	6 Abb., 4 Tab.	Hannover, November 1993
-------	---------	-----------------	----------------	-------------------------

# Vegetationsversuche mit Bunkerde – ein Beitrag zur Wiederbesiedlung teilabgetorfter Hochmoore mit hochmoortypischen Pflanzen

Vegetation trials on top-spits – a study, concerning  
the revegetation of cutover raised bogs with typical mire plants

HEDWIG RODERFELD, HERBERT KUNTZE und JÜRGEN SCHWAAR \*)

## ZUSAMMENFASSUNG

Zum besseren Verständnis der Standortpräferenzen von *Eriophorum vaginatum*, *Erica tetralix* und *Molinia coerulea* hinsichtlich ihrer Wiederbesiedlung teilabgetorfter, wiedervernässter Hochmoore wurden Gefäßversuche auf fünf Substraten unter zwei unterschiedlichen hydrologischen Bedingungen, naß und wechselhaft, angelegt. Die fünf Varianten bestanden aus drei unterschiedlich vererdeten Bunkerden und einem Weißtorf sowie einem Schwarztorf. Die produzierte Biomasse und die Anzahl der Blüten dienten als Maß für die Pflanzenvitalität. Alle drei Versuchsarten zeigten die höchste Vitalität auf der mäßig vererdeten gefolgt, von der schwach vererdeten Bunkerde. Auf den anderen drei Substraten war die Vitalität geringer, in den meisten Fällen sogar signifikant. Es läßt sich keine singuläre Ursache dafür verantwortlich machen. Die Ergebnisse beruhen vielmehr auf der Summe der mikrobiologischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften der Bunkerden und Torfe. Es zeigt sich, daß die ausgewählten Pflanzen gut zur Charakterisierung von Bunkerde- und Torfeigenschaften geeignet sind.

## SUMMARY

In order to extend the knowledge of requirements of *Molinia coerulea*, *Eriophorum vaginatum* und *Erica tetralix* on substrate properties, if they colonise cut-over raised bogs, pot experiments were established. These plants have been chosen, because they are important species in the renaturation process of bogs in North-West Germany. The five substrates, there top-spits and two peats, have been chosen according to typical situations at abandoned peat

---

\*) Anschrift der Verfasser: Dr.H.RODERFELD, Dep. of Forest Ecology, P.O.Box 24, SF-00014 University of Helsinki, Finland; Prof.Dr.H.KUNTZE, Dr.J.SCHWAAR, Nieders.Landesamt f. Bodenforschung, Bodentechnolog.Inst.Bremen, Friedrich-Mißler-Str. 46-50, D-28211 Bremen

harvest areas. They were decomposed to different degrees. The experiment was made both under permanent wet conditions and under changing soil moisture. The above ground biomass produced and the number of flowers were used to indicate the vitality of the plants. In every case the highest vitality was achieved on the medium decomposed top-spit followed by the weakly decomposed top-spit. All other substrates caused a lower vitality, which mostly was even significant. The results are not caused by one single factor. Microbiological and physical properties are more important for the plant growth than the chemical composition of peat and top-spit. It is shown that chosen plants are valuable indicators for the quality of top-spit resp. peat.

## 1. EINLEITUNG

Durch Torfabbau werden zahlreiche Hochmoorkomplexe in Nordwestdeutschland zunächst fast vollständig vegetationslos. Wichtigste Voraussetzung für eine erfolgreiche Regeneration ist die auf eine abgeschlossene Wiedervernässungsphase folgende Wiederbesiedlung mit Arten der hochmoortypischen Flora und Fauna (Renaturierung) (KUNTZE & EGGELESMANN 1981). Für diese Phase ist es von Bedeutung, die von den wieder einwandernden Pflanzen an den Standort gestellten Ansprüche zu kennen. Nur dann besteht die Möglichkeit, die entsprechend positiv wirkenden Maßnahmen für eine Regeneration einzuleiten.

Schon seit Anfang dieses Jahrhunderts sind in Abständen immer wieder Untersuchungen zur Autökologie und Ernährungsphysiologie auch hochmoortypischer Arten veröffentlicht worden. Entweder behandelten sie die Frage der Standortpräferenz bestimmter Arten oder die sich daran anschließende Frage, inwieweit es zu einer Wechselbeziehung zwischen Torf (Boden) und Pflanze kommt.

Im Rahmen eines AIF\*-Forschungsprojektes (RODERFELD & SCHWAAR 1992) zur Beurteilung von Bunkerden hinsichtlich ihrer ökologischen Wertigkeit bei der Hochmoorregeneration wurden Wachstumsstudien mit den verbreitet in der Kolonisation von wiedervernässten teilabgetorften Hochmooren vorherrschenden Arten *Eriophorum vaginatum* und *Molinia coerulea* sowie mit *Erica tetralix* auf unterschiedlichen Substraten durchgeführt.

Versuchsziel war, neben den bodenphysikalischen und bodenchemischen Parametern einen biotischen Indikator für die Substrateigenschaften im Hinblick auf die Hochmoorrenaturierung zu erhalten, und die Wechselwirkungen zwischen den gemessenen Parametern zu untersuchen.

Die zu untersuchende Hypothese lautet: Die Vitalität der Versuchspflanzen nimmt mit zunehmender Zersetzung des Substrates ab, weil schwach zersetzter Torf im Vergleich zu stark zersetztem Torf günstigere physikalische Eigenschaften wie hohe Wasserkapazität, lockere Lagerungsdichte und hohes Porenvolumen

\*) Der AIF (Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen) sei an dieser Stelle für die Bereitstellung der finanziellen Mittel gedankt

besitzt. Außerdem weist nur der gering zersetzte Torf die für das Wachstum hochmoortypischer Vegetation (*Eriophorum vaginatum* und *Erica tetralix*) wichtige Nährstoffarmut auf. Als dritte Versuchspflanze wurde *Molinia coerulea* gewählt, Sie hat bei der Hochmoorregeneration eine negative Bedeutung, da sie sich als sehr konkurrenzstarke Art mit großer ökologischer Amplitude auf unzureichend wiedervernäßten Flächen ansiedelt. Sie verhindert bei starker Ausbreitung die Ansiedlung erwünschter Arten (SCHWAAR 1991).

## 2. METHODIK

Zur Untersuchung der aufgestellten Hypothese wurden zwei Hochmoortorfe, ein sehr schwach zersetzter (Weißtorf) und ein stark zersetzter (Schwarztorf) sowie drei Bunkerden unterschiedlicher Vererdungsgrade, gemessen als Remission\*), ausgewählt.

Die Bunkerden entstammen Flächen mit industriellen Abbaufahrern. Die stark vererdete Bunkerde aus dem Timpemoor (Moorkataster-Nr. 272 D) wurde einer Fläche entnommen, auf der während der letzten 38 Jahre Schwarztorf im Sodontorfverfahren abgebaut wurde. Vorher wurde das Moor durch die Moorbrandkultur genutzt.

Die mäßig vererdete Bunkerde kommt aus dem Huvenhoopsmoor (Moorkataster Nr. 560 G). Auf jenem Feld wurden Anfang der 60er Jahre zwei Stiche im Handstichverfahren abgebaut. Seit 16 Jahren wird hier Schwarztorf als durchfrorener Schwarztorf (Humintorf) gewonnen. Aus dem Ahlen-Falkenberger Moor (Moorkataster-Nr. 826) stammt die schwach vererdete Bunkerde. Dort wird seit 1978 Weißtorf im Sodenstichverfahren abgebaut (1.Stich).

Der Weißtorf stammt von der gleichen Fläche im Ahlen-Falkenberger Moor. Der Schwarztorf ist einem Wall aus durchfrorenem Schwarztorf im Huvenhoopsmoor entnommen. Die fünf Substrate können als repräsentativ für nordwestdeutsche, in Abtorfung befindliche Hochmoore angesehen werden. Tabelle 1 gibt einen Überblick der chemischen und physikalischen Eigenschaften der Substrate. Zur Berechnung sämtlicher volumenbezogener Kennwerte wurden die Rohdichten, die während der Versuche in den Gefäßen herrschten, zugrunde gelegt.

Es wurden zwei Versuchsreihen (naß und wechselfeucht) angelegt. Jede dieser Versuchsreihen bestand aus 60 Gefäßen (Kick-Brauckmann, 7l, Kunststoff), von denen jeweils 12 eine Variante bildeten, d.h. mit demselben Substrat befüllt wurden. Hiervon waren jeweils vier mit fünf annähernd gleichgroßen Keimpflanzen einer der drei ausgewählten Arten bestückt. Die Keimpflanzen waren aus wiedervernäßten Hochmooren, dem Timpemoor und dem Spolsener Moor, entnommen worden. Eine Versuchsreihe (a=naß)

\*) Der Remissionsgrad (Weißegrad) einer Probe ist das Verhältnis ihrer Leuchtdichte zu der einer vollkommen mattweißen Fläche (Standard: Bariumsulfat oder Magnesiumoxid) unter gleichen Beleuchtungs- und Beobachtungsbedingungen (JACOB 1958). Je höher die Remission, umso geringer ist die Vererdung

Tab. 1:

Chemische und physikalische Eigenschaften der Substrate  
des Gefäßversuches  
Chemical and pyhsical properties of the substrats of  
the pot experiment

chemische und physikalische Kennwerte	Schwarz- torf	Bunkerde			Weiß torf
		stark -----	mäßig -----	schwach	
			vererdet		
N <sub>t</sub> (mg/1000cm <sup>3</sup> )	2489	1684	1132	1485	600
NH <sub>4</sub> -N (mg/1000cm <sup>3</sup> )	14	31	6	6	13
NO <sub>3</sub> -N (mg/1000cm <sup>3</sup> )	10	1	6	4	2
P (mg/1000cm <sup>3</sup> )	46	30	24	34	13
P-DL* <sup>2</sup> (mg/1000cm <sup>3</sup> )	2,0	2,6	2,9	2,9	2,3
K (mg/1000cm <sup>3</sup> )	20,0	10,7	10,0	10,5	10,6
K-DL (mg/1000cm <sup>3</sup> )	19,1	14,5	4,7	5,5	4,9
Ca (mg/1000cm <sup>3</sup> )	278	245	186	195	163
Mg (mg/1000cm <sup>3</sup> )	354	254	153	113	220
C <sub>org</sub> (%)	56,7	58,3	55,5	53,5	53
C/N	35	53	56	43	67
elekt.Leitf.(μS/cm)	180	240	280	360	330
pH (CaCl <sub>2</sub> )	2,8	2,8	2,6	2,7	3,2
Asche (%)	1,6	2,6	2,1	3,5	1,7
Rohdichte (g/l)	150	149	110	115	75
Wasserkapazität					
g H <sub>2</sub> O/100 g TM	528	569	812	767	1226
Remission (%)	16,1	15,6	18,9	22,8	25,3.

\*<sup>2</sup> DL - Doppellactatlöslicher Anteil

wurde automatisch mit deionisiertem Wasser versorgt, so daß vom 15. April bis zum 15. Oktober jeden Jahres eine Wasserkapazität von 100% gewährleistet war. Von Oktober bis März wurde die Wasserversorgung eingestellt, da durch die herabgesetzte Verdunstung eine ausreichende Feuchtigkeit gewährleistet war. Bei der anderen Versuchsreihe (b=wechselfeucht), die dazu dienen sollte, das Pflanzenwachstum unter wechselnden hydrologischen Bedingungen zu beobachten, wurden Nässe- und Trockenphasen dem natürlichen Witterungsverlauf angepaßt: Von März bis April wurden die Gefäße überstaut und anschließend von Anfang Mai bis Mitte Juni auf eine Wasserkapazität von 100% eingestellt. Während der Zeit von Mitte Juni bis Mitte August erfolgte eine nur einmalige Wasserversorgung im Abstand von vier Wochen. Auf diese trockene Periode folgte ab Mitte August eine wieder feuchtere mit 100% Wasserkapazität. Auch hier wurde von Oktober bis März kein Wasser zugeführt. Beide Versuche wurden unter den definierten Bedingungen eines Glashauses durchgeführt, welches während der Vegetationsperiode durch ein bei Niederschlag sich automatisch schließendes Glasdach die Versuche vor Niederschlag und Immissionen schützte. Während die Versuche mit *Eriophorum vaginatum* und *Erica tetralix* im April 1989 angelegt wurden, begann der Versuch mit *Molinia coerulea* ein Jahr später. Zur Vitalitätsbestimmung der Pflanzen wurden ihre Blüten gezählt und ihre oberirdische Biomasseproduktion (=Trockenmasse, + 105°C) bestimmt. Die Quantifizierungen werden in den Ergebnissen als Summen von zwei (*Molinia coerulea*) bzw. drei Versuchsjahren (*Eriophorum vaginatum*, *Erica tetralix*) dargestellt.

### 3. RESULTATE

In der Versuchsreihe mit einer Bodenfeuchte von 100% der maximalen Wasserkapazität war der Trockenmasse-Ertrag von *Molinia coerulea* auf der mäßig und der schwach vererdeten Bunkerde signifikant (Scheffé,  $p < 0,001$ ) (SACHS 1984) höher als auf Weißtorf, Schwarztorf und stark vererdeter Bunkerde (Abb. 1). Signifikante Unterschiede sind innerhalb dieser Versuchsreihe (Abb. 2) zwar nicht feststellbar, tendenziell jedoch heben sich die erzielten Erträge auf der schwach und mäßig vererdeten Bunkerde in gleicher Weise wie in Abbildung 1 von den Erträgen der anderen drei Substrate ab. Im Vergleich beider Versuchsreihen (naß-wechselfeucht) wurde *Molinia coerulea* unter den gewählten Versuchsbedingungen eher durch permanente als durch wechselfeuchte Nässe im Wachstum gefördert.

Die Versuchsreihe "100%-Wasserkapazität" zeigt zwischen der Blütenanzahl von *Eriophorum vaginatum* auf den fünf verschiedenen Varianten keine signifikanten Unterschiede (Abb. 3). Die Trockenmasse-Erträge hingegen sind auf der mäßig vererdeten Bunkerde signifikant höher als auf den Torfen und der stark vererdeten Bunkerde. Die wechselfeuchte Versuchsreihe zeigt ein ähnliches Bild. Während die Wollgras-Pflanzen auf Schwarztorf, Weißtorf und stark vererdeter Bunkerde überhaupt nicht blühten, konnten auf der schwach vererdeten Bunkerde durchschnittlich 3 Blüten pro Gefäß (=5 Pflanzen) registriert werden und auf der mäßig vererdeten Bunkerde durchschnittlich 12, eine signifikant

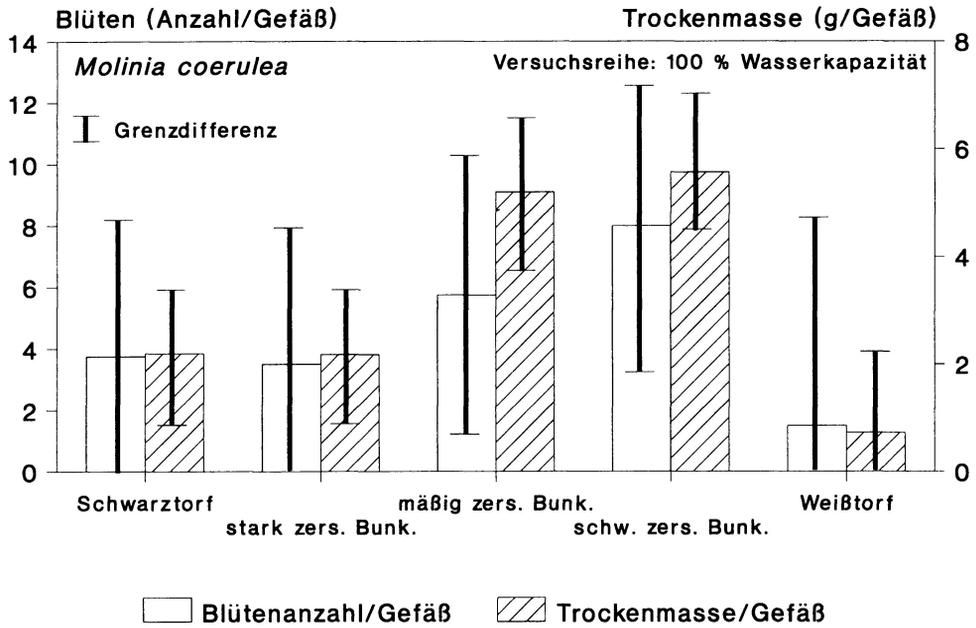


Abb. 1  
 Vitalität von *Molinia coerulea* in der Versuchsreihe a:naß  
 Vitality of *Molinia coerulea* within the variant a:wet

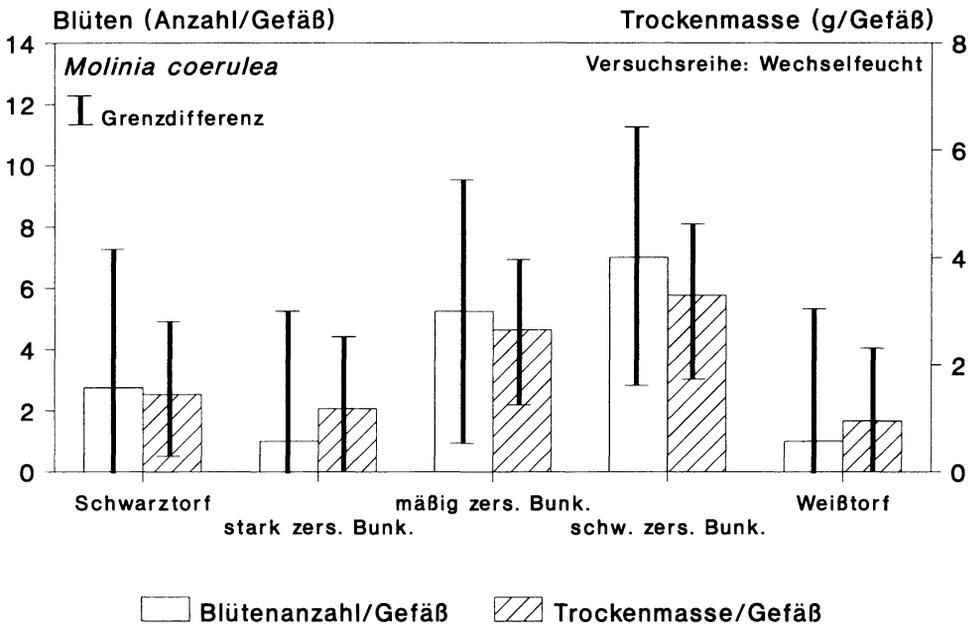


Abb. 2  
 Vitalität von *Molinia coerulea* in der Versuchsreihe b: wechselseucht  
 Vitality of *Molinia coerulea* within the variant b: changing moisture

größere Anzahl. Aus dem Vergleich der beiden Versuchsreihen (Abb. 3 u. 4) läßt sich, bezogen auf die oberirdische Aufwuchsmenge, feststellen, daß *Eriophorum vaginatum* unter wechsel-feuchten hydrologischen Bedingungen ein besseres Wachstum zeigt als auf ständig wassergesättigtem Substrat.

In der Versuchsreihe "100% Wasserkapazität" heben sich Blütenzahl und Trockenmasse-(TM)-Ertrag der *Erica tetralix* auf der mäßig vererdeten Bunkerde signifikant von den anderen vier Varianten ab (Abb. 5). Der TM-Ertrag von *Erica tetralix* auf der schwach vererdeten Bunkerde ist zwar signifikant höher als auf den beiden Torfen und der stark vererdeten Bunkerde, liegt aber gleichzeitig signifikant unter dem TM-Ertrag der mäßig vererdeten Bunkerde (Abb. 5,6). Auf Weißtorf, Schwarztorf und stark vererdeter Bunkerde ist die Vitalität von *Erica tetralix* deutlich eingeschränkt. Ein Vergleich beider Versuchsreihen zeigt für die wechselfeuchten Bedingungen signifikant niedrigere TM-Erträge für die Bunkerden. Für die Torfe ist der TM-Ertrag beider Versuchsreihen als gleich gering einzustufen. Die Blütenzahl ist bei Wechselfeuchte auf allen Substraten gegenüber 100%-Wasserkapazität geringer. Am auffälligsten ist die geringe Blütenzahl auf der mäßig vererdeten Bunkerde.

#### 4. DISKUSSION

##### 4.1 Zur Autökologie der Versuchspflanzen

###### 4.1.1 *Molinia coerulea*

Während GORE (1961) in englischen Mooren nachwies, daß weder P noch Ca wachstumsbegrenzend für *Molinia coerulea* wirken, zeigten sowohl die von LOACH (1968) auf Hochmooren als auch die von AERTS & BERENDSE (1988) auf nährstoffarmen niederländischen Heiden durchgeführten Untersuchungen, daß bei P-Mangel *Erica tetralix* gegenüber *Molinia coerulea* dominant wurde. MARKERT et al. (1990) nennen auf Grund von Versuchen zur Hochmoorregeneration im Leegmoor P und K als wachstumsbegrenzende Faktoren für *Molinia coerulea*. Sie verweisen allerdings auf die eingeschränkte Aussagekraft der gemessenen Gesamt-Gehalte im Boden. Düngungsversuche von SHEIK (1970) in einem englischen Hochmoor führten zum Verschwinden der Flächendifferenzen, was ihn veranlaßte, den Nährstoffgehalt des Bodens als wichtigsten Faktor für die Wachstumsrate von *Molinia coerulea* verantwortlich zu machen. *Molinia coerulea* war auf nährstoffreicheren Standorten konkurrenzstärker als *Erica tetralix*. Auf nährstoffarmen Standorten war *Erica tetralix* die dominante Art.

Im Gefäßversuch wurden in beiden Versuchsreihen keine signifikanten Abhängigkeiten der Vitalität von *Molinia coerulea* vom Nährstoffgehalt der Substrate festgestellt (Tab. 2). Die in den unterschiedlichen Varianten erreichten verschieden hohen Trockenmasseerträge von *Molinia coerulea* sind weder in der einen noch in der anderen Versuchsreihe auf die unterschiedlichen Nährstoffgehalte der Substrate zurückführbar.

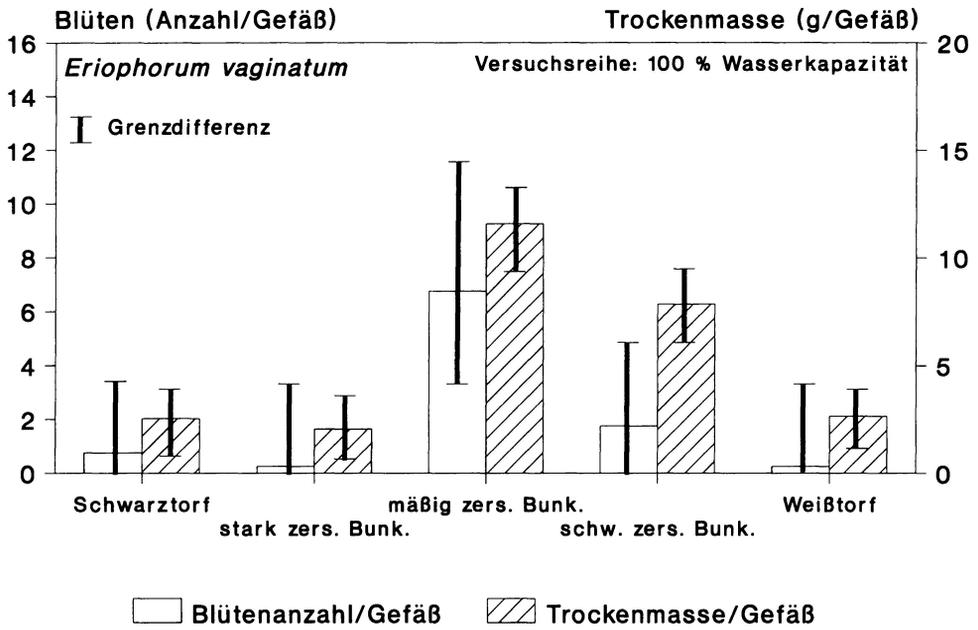


Abb. 3

Vitalität von *Eriophorum vaginatum* in der Versuchsreihe a: naß

Vitality of *Eriophorum vaginatum* within the variant a: wet

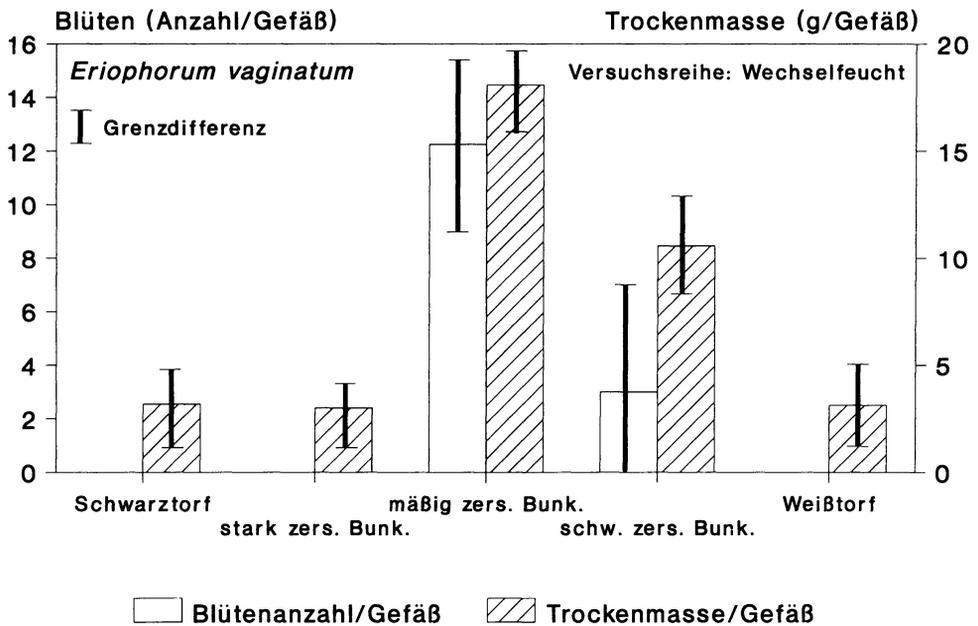


Abb. 4

Vitalität von *Eriophorum vaginatum* in der Versuchsreihe b: wechselfeucht

Vitality of *Eriophorum vaginatum* within the variant b: changing moisture

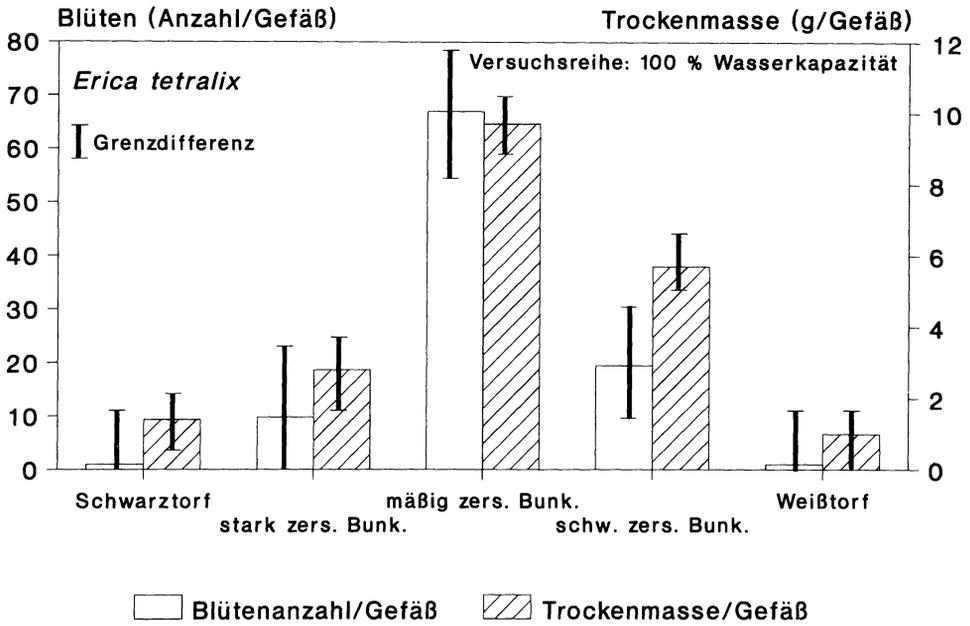


Abb. 5  
 Vitalität von *Erica tetralix* in der Versuchsreihe a: naß  
 Vitality of *Erica tetralix* within the variant a: wet

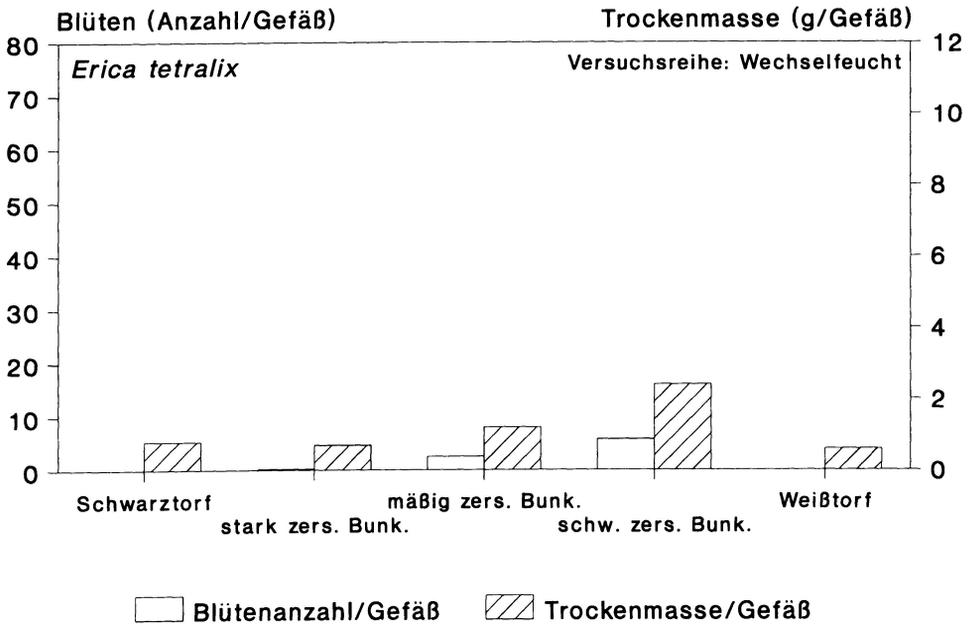


Abb. 6  
 Vitalität von *Erica tetralix* in der Versuchsreihe b: wechselfeucht  
 Vitality of *Erica tetralix* within the variant b: changing moisture

Tab. 2:

Korrelationskoeffizienten zwischen Pflanzenaufwuchs (TM) und volumenbezogenen Bodennährstoffgehalten (n=5)  
 Correlation coefficients of the relationships between produced dry biomass and soil nutrient contents (n=5)

TM	Versuch* <sup>1</sup>	N	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	P	P-DL* <sup>2</sup>	K	K-DL	Ca	Mg
<i>Molinia</i>	a	0,05	-0,58	0,19	0,23	0,80	-0,30	-0,40	-0,18	-0,71
<i>coerulea</i>	b	-0,01	-0,69	0,20	0,20	0,75	-0,28	-0,47	-0,26	0,75
<i>Erioph.</i>	a	-0,28	-0,72	0,18	-0,13	-0,77	-0,42	-0,63	-0,46	-0,74
<i>vagin.</i>	b	-0,27	-0,66	0,18	0,14	0,77	-0,42	-0,60	-0,44	-0,71
<i>Erica</i>	a	-0,22	-0,51	0,10	-0,10	0,83*	-0,47	-0,53	-0,35	-0,70
<i>tetralix</i>	b	-0,10	-0,56	0,11	0,21	0,68	-0,30	-0,44	-0,26	-0,73

\*<sup>1</sup> Versuch: a-100%-Wasserkapazität; b-Wechselfeucht

\*<sup>2</sup>DL - Doppellactatlöslicher Anteil

JEFFERIES (1915) postulierte die wachstumsfördernde Wirkung schwankender Wasserstände. Dieses wurde von LOACH (1968) und SHEIKH (1970) bestätigt. In dem hier durchgeführten Gefäßversuch, in dem die wechselfeuchte Versuchsreihe den natürlichen Bedingungen einer wiedervernässten Hochmoorfläche eher entspricht als die immerfeuchte, ist die Tendenz umgekehrt. Das Ergebnis steht in Übereinstimmung mit den Ergebnissen BERTRAMS (1988), der in nordniedersächsischen bäuerlichen Torfstichen beobachtete, daß *Molinia coerulea* nicht, wie früher angenommen (ELLENBERG 1974), wechselfeuchte Bedingungen bevorzugt.

#### 4.1.2 *Eriophorum vaginatum*

TAMM machte 1954 durch Düngung von Versuchspartzellen in Schweden Phosphor als limitierenden Faktor für das Wachstum von *Eriophorum vaginatum* aus. GORE (1961) zeigte hingegen in englischen Mooren, daß weder P noch Ca wachstumsbegrenzend für *Eriophorum vaginatum* ist, räumt allerdings ein, daß eine Phosphor-Zugabe mittelbar über die Verbesserung der Löslichkeit anderer Nährstoffe das Wachstum beeinflussen kann. Diese Vermutung wurde von GOODMAN & PERKINS (1959, 1968) geteilt, die zeigten, daß eine P-Düngung Auswirkungen auf die Verfügbarkeit von K hat. Sie wiesen eine eindeutig positive Wirkung von Kalium auf das Wachstum von *Eriophorum vaginatum* nach. MARKERT et al. (1990) gehen gleichzeitig von P und K als wachstumsbegrenzenden Faktoren für *Eriophorum vaginatum* (Pilotprojekt Leegmoor) aus, auch hier wieder mit der eingeschränkten Aussagekraft der Gesamtgehalte im Boden.

Für Wollgras gilt das gleiche wie für Pfeifengras: Die unterschiedlichen Trockenmasseerträge der Pflanze im Gefäßversuch sind nicht von den unterschiedlichen Nährstoffgehalten der Substrate abhängig (Tab. 2).

#### 4.1.3. *Erica tetralix*

Der immergrüne Zwergstrauch *Erica tetralix* fand in der Vergangenheit wenig wissenschaftliche Beachtung. Jüngste Untersuchungen zu seiner Ökologie auf Heidestandorten sind aus den Niederlanden bekannt (AERTS & CALUWE 1989, AERTS et al. 1989, AERTS 1990). Durch Feldversuche konnten AERTS & BERENDSE (1988) nachweisen, daß bei P-Zufuhr *Erica tetralix* signifikant in Deckungsgrad und Trockenmasse gegenüber *Molinia coerulea* abnimmt. Ist aber P Mangleelement auf einem Hochmoorstandort, dann wird analog dazu *Erica tetralix* gefördert (LOACH 1968).

In den hier beschriebenen Vegetationsversuchen korreliert wegen nicht vorhandener Konkurrenz das Wachstum von *Erica tetralix* in der Versuchsreihe "100% Wasserkapazität" signifikant mit dem doppellactatlöslichen P-Anteil.

SHEIKH (1970) stellte fest, daß *Erica tetralix* auf Böden, deren Porenvolumen luftgefüllt ist, ein gutes Wachstum zeigt. Während der Überstauungsphasen war im Gefäßversuch bei *Erica tetralix* kein Wachstum feststellbar. Dieses Defizit konnten die Pflanzen allerdings während der trockenen Perioden nicht aufholen. Hier war *Erica tetralix* auf Grund ihres flachen Wurzelsystems gegenüber den anderen beiden Versuchspflanzen, die ihre Wasserversorgung mit Hilfe ihrer tiefreichenden Wurzeln noch aufrechterhalten konnten, benachteiligt. Insgesamt waren die von *Erica tetralix* erzielten Trockenmasseerträge in der wechselfeuchten Versuchsreihe signifikant niedriger als in der 100% wassergesättigten, in der ein Teil der Oberflächenschicht luftgefüllten Porenraum aufwies. Auf die Vitalität von *Erica tetralix* übt ein ausgeglichenes Wasserregime positive Wirkung aus (Abb. 5). Dies steht in Übereinstimmung mit vegetationskundlichen und -geschichtlichen Erkenntnissen, die ein natürliches Vorkommen von Ericaceen besonders im immerfeuchten Randbereich der Hochmoore nachweisen (OVERBECK 1975). Es sollte jedoch nicht unerwähnt bleiben, daß in den zitierten Untersuchungen das Moorpflanzen-Wachstum entweder auf sehr unterschiedlichen Standorten miteinander verglichen wird oder auf gleichen Standorten mit unterschiedlich gedüngten Parzellen.

#### 4.2 Beziehung zwischen Pflanzenvitalität und Torf/Bunkerde

Die aufgestellte Hypothese wird durch die Ergebnisse widerlegt. Außer dem Grad der Zersetzung bzw. Vererdung sind weitere Torf- bzw. Bunkerdeigenschaften, die nicht immer in enger Beziehung zu Zersetzung bzw. Vererdung stehen, für das Pflanzenwachstum verantwortlich.

N, P, K sind die auch das Wachstum von Hochmoorpflanzen begrenzenden Elemente, während Mg und Ca im Hochmoor nicht als Mangleelemente gelten (MALMER 1962, SMALL 1972). Die vergleichsweise hohen Gehalte an  $P_t$ ,  $K_t$ , K-DL und N im Schwarztorf, die im Gefäßversuch normalerweise wegen fehlenden Konkurrenzdruckes einen fördernden Effekt auf das Pflanzenwachstum ausüben müßten, wurden durch die sehr ungünstigen physikalischen Verhältnisse des Schwarztorfs (Tab. 1) mehr als kompensiert. Die Wurzelsy-

steme, die nach Versuchsende ausgegraben wurden, sind im Schwarztorf bei allen drei Arten außerordentlich kurz, fein und wenig tiefgründig ausgebildet (RODERFELD 1992). Die Pflanzen konnten also auf Grund der durch die starke Zersetzung bedingten dichten Lagerung die vorhandenen Nährstoffe nicht nutzen.

Die Nährstoffgehalte der im Gefäßversuch eingesetzten stark vererdeten Bunkerde entsprechen denen des Schwarztorfs; sie sind ebenfalls gering (Tab. 1), aber im Vergleich zu den anderen Varianten relativ erhöht. Die physikalischen Eigenschaften entsprechen denen des Schwarztorfs und die Vitalität der Pflanzen ist hier genauso gering. Als Ursache ist hier ebenfalls die ungünstige bodenphysikalische Situation des Substrats anzunehmen. Die Wurzelsysteme von *Erica tetralix* und *Eriophorum vaginatum* sind in der stark vererdeten Bunkerde genauso schlecht entwickelt wie im Schwarztorf. *Molinia coerulea* hingegen hat auf der stark vererdeten Bunkerde wesentlich verzweigtere und längere Wurzeln ausgebildet als im Schwarztorf. Diese Beobachtung steht in keinerlei Zusammenhang mit der oberirdischen Aufwuchsmenge und ist somit nicht interpretierbar.

Auf Weißtorf war der schlechte Wuchs der Versuchspflanzen am überraschendsten, da es sich um die den bodenphysikalischen Eigenschaften eines wachsenden Hochmoores am nächsten kommende Variante handelt. Sie weist gegenüber stark vererdeter Bunkerde sowie gegenüber Schwarztorf geringere Gesamt-Nährstoffgehalte (N und P) auf, während N in seiner verfügbaren Form  $\text{NH}_4\text{-N}$  in gleicher Höhe wie im Schwarztorf vorliegt. Die Wurzelsysteme aller drei Versuchspflanzen waren im Weißtorf ebenso schlecht ausgebildet wie im Schwarztorf. Die geringe Vitalität der Pflanzen beruht hier also nicht auf der Behinderung der Entwicklung eines verzweigten Wurzelsystems durch hohe Lagerungsdichte und starke Zersetzung sondern vermutlich auf dem geringen Nährstoffangebot in Verbindung mit geringen mikrobiellen Umsetzungen.

Die schwach vererdete Bunkerde ist durch mittlere Nährstoffgehalte gekennzeichnet. Die physikalischen Eigenschaften dürften, bedingt durch schwache Zersetzung und geringe Lagerungsdichte, nur geringfügig ungünstiger als die des Weißtorfs sein.

Die mäßig vererdete Bunkerde weist im Vergleich zu den anderen Varianten durchgehend mittlere Nährstoffgehalte und mittlere physikalische Eigenschaften auf. Die hohe Vitalität der Versuchspflanzen in beiden Varianten spiegelt sich in ihren üppigen Wurzelsystemen wider.

Die Vitalität der Pflanzen ist eindeutig substratabhängig, da alle Pflanzen die höchste Vitalität auf der mäßig und der schwach vererdeten Bunkerde zeigen, ungeachtet der hydrologischen Bedingungen. Um die verantwortlichen Faktoren zu erkennen, wurden die Elementgehalte des Pflanzenaufwuchses analysiert (Tab. 3). Zwischen den Elementgehalten der beiden Versuchsreihen bestanden nur geringfügige Differenzen. Deshalb sind nur die Mittelwerte von jeweils 2 Analysen bei *Molinia coerulea* und *Erica tetralix* und von 8 Analysewerten bei *Eriophorum vaginatum* aufgeführt.

Tab. 3: Nährstoffgehalte der Pflanzen im Gefäßversuch Nutrient contents of pot experiment's plants						
Substrat	N	P	K	Ca	Mg	Asche (%)
	----- (mg/kg) -----					
<b><i>Molinia coerulea</i></b>						
Weißtorf	6700	100	5550	1750	1100	5,2
Schwarztorf	6600	300	5050	2050	1150	12,5
schw. zers. Bunkerde	5300	200	4850	1750	850	7,5
mäßig. zers. Bunkerde	6750	250	5000	2200	1200	3,0
stark zers. Bunkerde	8400	200	5150	2100	1100	10,5
<b><i>Erica tetralix</i></b>						
Weißtorf	10300	300	8750	5300	2200	5,2
Schwarztorf	8800	250	4650	4950	2150	8,2
schw. zers. Bunkerde	7950	300	5700	4050	1450	3,7
mäßig zers. Bunkerde	8400	350	10350	3750	1550	3,6
stark zers. Bunkerde	10300	200	3650	4250	1850	6,3
<b><i>Eriophorum vaginatum</i></b>						
Weißtorf	10400	100	3650	2050	1550	8,7
Schwarztorf	8900	100	5350	1800	1650	11,0
schw. zers. Bunkerde	7450	150	2450	1700	1300	9,1
mäßig zers. Bunkerde	7450	150	2450	2250	1650	7,5
stark zers. Bunkerde	12400	100	4600	1900	1650	10,8

In der Literatur sind Elementgehalte von *Eriophorum vaginatum* in den folgenden Bereichen (mg/kg) angegeben: N - 7600-12500, P - 200-1500, K - 1000-11000, Ca - 835-2000, Mg - 600-810 (TAMM 1954, GORE 1961, HEAL et al. 1978, SLATER 1984, MARKERT et al. 1990, MARKERT & THORNTON 1990). Für *Molinia coerulea* analog folgende Werte: N-10000-15000, P - 260-1500, K - 5000-11000, Ca - 260-4000, Mg - 1000-1100 (GORE 1961, ARMSTRONG & BOATMAN 1967, PÄIVÄNEN 1970, SLATER 1984, AERTS 1990, MARKERT et al. 1990).

Der Datenvergleich zeigt, daß *Molinia coerulea* in unserer Untersuchung geringere Gehalte an P, N und Ca hat und die K-Gehalte im Schwankungsbereich, allerdings an der unteren Grenze liegen (Tab. 3). Ursache dieser Unterschiede könnte das unterschiedliche Pflanzenalter und der Erntezeitpunkt sein, da sowohl *Molinia coerulea* als auch *Eriophorum vaginatum* über eine Translokationsstrategie verfügen, die es ihnen ermöglicht, Nährstoffe aus den absterbenden Teilen zu den nährstoffspeichernden Organen hin zu verlagern (GOODMAN & PERKINS 1959). *Eriophorum vaginatum* weist im Gefäßversuch ebenfalls geringere P-Gehalte in Verbindung mit relativ hohen Mg-Gehalten auf. *Erica tetralix* verfügt im Gegensatz zur Translokation zur eine Nährstoffkonservierungsstrategie, was sich im Vergleich zu den beiden anderen Arten in den hohen K-, Ca- und Mg-Gehalten und in eingeschränktem Maße auch in den P-Gehalten ausdrückt (Tab. 3).

Die Nährstoffgehalte der Substrate wirken sich nur in einem Fall signifikant auf den Nährstoffentzug durch die Pflanze aus: *Erica tetralix* wird durch den löslichen P-Anteil im Wachstum gefördert.

Tab. 4: Korrelationskoeffizienten zwischen Nährstoff-Entzug (mg/Gefäß) und Bodennährstoffgehalten (n=5) Correlation coefficients of the relationship between nutrient uptake (mg/pot) and soil nutrient contents (n=5)						
Bodengehalte mg/1000cm <sup>3</sup>	<i>Molinia coerulea</i>		<i>Erica tetralix</i>		<i>Eriophorum vaginatum</i>	
Versuchsreihe* <sup>1</sup>	a	b	a	b	a	b
N	0,07	0,004	-0,22	-0,04	-0,33	-0,30
NH <sub>4</sub> -N	-0,44	-0,58	-0,44	-0,51	-0,66	-0,60
NO <sub>3</sub> -N	0,18	0,19	-0,06	-0,01	0,11	0,12
P	0,34	0,43	-0,14	0,10	-0,12	-0,13
P-DL* <sup>2</sup>	0,67	0,59	0,78	0,72	0,79	0,78
K	-0,30	-0,30	-0,41	-0,47	-0,23	-0,29
K-DL	-0,40	-0,50	-0,54	-0,73	-0,47	-0,46
Ca	-0,16	-0,22	-0,35	-0,24	-0,46	-0,43
Mg	-0,62	-0,66	-0,65	-0,67	-0,67	-0,63

\*<sup>1</sup> a-100%-Wasserkapazität, b-wechselfeucht\*<sup>2</sup> DL - Doppellactatföslischer Anteil

## 5. BEDEUTUNG DER RESULTATE HINSICHTLICH DER HOCHMOORREGENERATION

Dieses Experiment zeigt - unter Beachtung der Interpretationsgrenzen eines Gefäßversuchs - deutlich, daß die Wiederbesiedlung einer vegetationslosen Schwarztorfoberfläche für die Pflanzen mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden ist. Felduntersuchungen im Pilotprojekt zur Hochmoorregeneration im Leegmoor führten zu Ergebnissen, die in die gleiche Richtung weisen (NICK 1986). Eine schleppende Wiederbesiedlung während der Wiedervernässungsphase verursacht langjährig hohe Temperaturschwankungen an der Oberfläche und eine verzögerte Auf-sättigung des Staukörpers und des Staunässeleiters. Renaturierung und Regeneration eines Hochmoores werden in solchen Fällen fraglich. Ähnliche Auswirkungen sind bei Anwendung von stark vererdeter Bunkerde als Deckschicht zu befürchten.

Obgleich Weißtorf die günstigen Eigenschaften aus physikalischer Sicht aufweist, ist er entsprechend den vorliegenden Ergebnissen wegen fehlender Nährstoffe und geringer mikrobieller Umsetzungen, die ansonsten als Quelle löslicher Nährstoffe dienen könnten, als Substrat für Hochmoorpflanzen weniger gut geeignet als Bunkerden mittlerer und schwacher Vererdung.

TALLIS & YALDEN (1983) berichten über Wiederbegrünungs-Experimente in schottischen Hochmooren, die durch Beweidung und Erosion vegetationslos wurden, daß eine natürliche Wiederbesiedlung solcher Torfflächen oftmals gar nicht oder nur sehr langsam funktioniert. Ursachen sind dort wie bei den nordwestdeutschen Torfen das fehlende Diasporenpotential und Nährstoffmangel. TALLIS & YALDEN (1983) schlagen eine minimale Düngung solcher Torfflächen vor. In Experimenten führte sie zur Ansied-

lung mooruntypischer Pflanzen, die den Torf zunächst stabilisierten. Nach zwei Jahren waren, bedingt durch die hohen Niederschläge, die zugeführten Nährstoffe ausgewaschen und die moortypischen Arten waren wieder konkurrenzfähig. Im Fall der abgetorften niedersächsischen Hochmoore hingegen bringen schwach und mäßig vererdete Bunkerden die gewünschten Eigenschaften mit, so daß keine kosten- und arbeitsintensiven Maßnahmen zur Veränderung der Torfe nötig werden. Außerdem ist die Nährstoffimmission inzwischen so hoch, daß damit im Gegensatz zu Schottland bereits eine Düngung erfolgt (KUNTZE 1991).

Das gute Wachstum der Pflanzen auf der mäßig und der schwach vererdeten Bunkerde ist durch eine scheinbar günstige Kombination "mittlerer" physikalischer und "mittlerer" chemischer Eigenschaften zu erklären.

Einen weiteren wichtigen Anhaltspunkt ergaben Inkubationsversuche (RODERFELD 1992). Auf den mikrobiell vergleichsweise aktiven Substraten (gemessen als  $\text{CO}_2$ -Freisetzung, bei  $+30^\circ\text{C}$  und 90% Wasserkapazität), der mäßig und der schwach vererdeten Bunkerde, ist das Pflanzenwachstum aller drei Versuchspflanzen signifikant besser als auf den beiden Torfen und der stark vererdeten Bunkerde. Vor allem den beiden vergleichsweise anspruchsvollen Arten *Eriophorum vaginatum* und *Molinia coerulea* werden Nährstoffe auf mikrobiellem Wege verfügbar gemacht. *Erica tetralix* werden durch mikrobielle Umsetzungen der Mycorrhiza Nährstoffe, besonders P und N, verfügbar gemacht (STRIBBLEY & READ 1975). Dieser Mechanismus hat spezielle Bedeutung für das Pflanzenwachstum auf nährstoffarmen Standorten. *Molinia coerulea* verfügt vermutlich ebenfalls über eine Mycorrhiza-Infektion (JEFFERIES 1915). Untersuchungen des Artenbestandes der Bakterienflora hinsichtlich verschiedener Pflanzengesellschaften auf Hochmoorstandorten zeigten, daß ein Zusammenhang zwischen der Ausbildung bestimmter pflanzensoziologischer Gesellschaften und dem Anteil bestimmter Bakterienarten an der artenarmen Mikroflora besteht (BECK & POSCHENRIEDER 1961).

Untersuchungen, die diese Erkenntnisse unter Feldbedingungen, unter Einbeziehung weiterer Arten, überprüfen würden, sind für die zukünftige Ökosystemforschung mit Blick auf die Hochmoorregeneration von Interesse. Denn wichtig für eine Renaturierung ist eine rasche Besiedlung fast vegetationsfreier Flächen, die der Torfabbau in der Regel zurückläßt, mit hochmoortypischen Arten oder solchen mit großer ökologischer Amplitude. Dadurch kommt es zur Stabilisierung der hydrologischen Verhältnisse (SCHOUWENAARS 1990, SCHOUWENAARS & VINK 1990). Im Anschluß an die dann, zumindest hydrologisch betrachtet, hochmoortypischen Bedingungen ist anzunehmen, daß die hochmoortypischen Arten an Konkurrenzkraft gewinnen (TALLIS & YALDEN 1983).

Einzelne Faktoren, wie sie in den zitierten Untersuchungen ausgemacht wurden, können für die signifikanten Unterschiede der Pflanzenvitalitäten der vorliegenden Untersuchung nicht verantwortlich gemacht werden. Offensichtlich ist es die Summe der Bodeneigenschaften, die zu diesen Ergebnissen führt. Pflanzen sind daher als geeignete Indikatoren für die ökologische Bewertung von Bunkerden und Torfen besser geeignet als die ausschließliche Auswertung physikalischer und chemischer Analysen.

## 6. LITERATUR

- AERTS, R. (1990): Nutrient use efficiency in evergreen and deciduous species from heathlands.- *Oecologia* 84: 391-397; Berlin etc.
- AERTS, R. & BERENDSE, F. (1988): The effect of increased nutrient availability on vegetation dynamics in wet heathlands.- *Vegetatio* 76: 63-69; Dordrecht.
- AERTS, R., BERENDSE, F., KLERK, N.M. & BAKKER, C. (1989): Root production and root turnover in two dominant species of wet heathlands.- *Oecologia* 81: 374-378; Berlin etc.
- AERTS, R. & CALUWE, H.D. (1989): Aboveground productivity and nutrient turnover of *Molinia caerulea* along an experimental gradient of nutrient availability.- *Oikos* 54: 320-324; Copenhagen.
- ARMSTRONG, W. & BOATMAN, D.J. (1967): Some field observations relating the growth of bog plants to conditions of soil aeration.- *J.Ecol.*55: 101-110; Oxford, London, Edinburgh , Melbourne.
- BECK, T. & POSCHENRIEDER, H. (1961): Wechselbeziehungen von Biotop und Bodenmikroflora im Bereich des Hochmoores.- *Bayer.land.Jb.* 38: 110-122; München.
- BERTRAM, R. (1988): Pflanzengesellschaften nordniedersächsischer Torfstiche und die Abhängigkeit dieser Vegetationseinheiten von der Wasserqualität.- *Diss.Bot.*126: 1-192; Berlin-Stuttgart (Cramer).
- ELLENBERG, H. (1974): Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas.- *Scripta Geobot.* 9; Göttingen (Goltze).
- GOODMAN, G.T. & PERKINS, D.F. (1959): Mineral uptake and retention in cottongrass (*Erioph. vagin.*).- *Nature* 184: 467-468; London, Washington.
- GOODMAN, G.T. & PERKINS, D.F. (1968): The role of mineral nutrients in Eriophorum communities. IV. Potassium supply as a limiting factor in an *E.vaginatatum* community.- *J.Ecol.*56: 685-696; Oxford, London, Edinburgh, Melbourne.
- GORE, A.J.P. (1961): Factors limiting plant growth on high-level blanket peat: nitrogen and phosphate in the first year of growth.- *J.Ecol.* 49: 605-616; Oxford, London, Edinburgh , Melbourne.
- HEAL, O.W., LATTER, P.M. & HOWSON, G. (1978): A study of the rates of decomposition of organic matter.- In: HEAL, O.W. & PERKINS, D.F. (ed.): *Production Ecology of British Moors and montane Grasslands.- Ecolog.Studies* 27: 1-426; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- JACOB, H. (1958): Methode und Anwendung der Bestimmung des Remissionsgrades von Kohlen.- *Freiberg. Forschungsh.* A-90: 55-86; Freiberg.
- JEFFERIES, T.A. (1915): Ecology of the purple heath grass (*Molinia c.*).- *J.Ecol.*3: 93-109; Oxford, London, Edinburgh , Melbourne.
- KUNTZE, H. (1991): Einfluß der Trophie auf den Erfolg der Hochmoorregeneration.- *Mitt. norddt.Naturschutzakad.* 2,1; 28-31; Schneverdingen.

- KUNTZE, H. & EGGELSMANN, R. (1981): Zur Schutzfähigkeit nordwestdeutscher Moore.- *Telma* 11: 197-212; Hannover.
- LOACH, K. (1968): Relations between soil nutrients and vegetation in wet-heaths . I. Soil nutrient content and moisture conditions.- *J.Ecol.* 56: 597-608; Oxford, London, Edinburgh , Melbourne.
- MALMER, N. (1962): Studies on mire vegetation in the Archaean area of south-western Götaland (South Sweden). 1. Vegetation and habitat on the Akhult mire.- *Opera Botanica* 7: 1-322; Copenhagen.
- MARKERT, B. & THORNTON, I. (1990): Multi-element analysis of an English peat bog soil.- *Water, Air, Soil Pollution* 49: 113-123; Amsterdam.
- MARKERT, B., STEINBECK, R., NICK, K.-J. & BERNHARD, K.-G. (1990): A contribution to the distribution of some chemical elements in *Molinia caerulea* and *Eriophorum vaginatum* during reinstatement of the Leegmoor, Emsland, FRG.- *Environmental Geochemistry and Health* 12: 239-244; London.
- NICK, K.-J. (1986): Aussichten der Entwicklung von wiedervernässten Torfabbauf lächen.- *Natur und Landschaft* 61, 2: 48-60; Stuttgart.
- OVERBECK, F. (1975): Botanisch-geologische Moorkunde unter besonderer Berücksichtigung der Moore Nordwestdeutschlands.- 719 S.; Neumünster (Wachholtz).
- PÄIVÄNEN, J. (1970): Hajalannoituksen vaikutus lyhytkortisen nevan pintakavillisuuden kenttäkerrokseen.- *Suo* 21, 1: 18-24; Helsinki.
- RODERFELD, H. (1992): Die ökologische Wertigkeit von Bunkerde in Nordwestdeutschland.- *Diss.Univ.Göttingen*, 154 S.; Göttingen.
- RODERFELD, H. & SCHWAAR, J. (1992): Physikalische, chemische, verbreitungsbio logische und moorstratigraphische Untersuchungen zur ökologischen Wertigkeit der Bunkerde. Ein Beitrag zur besseren Lenkung der Hochmoorregeneration.- *Schlußbericht AIF-Forschungsvorhaben Nr. 7397*, Bodentechnologisches Institut Bremen.
- SACHS, L. (1984): *Angewandte Statistik* (6.Aufl.).- 552 S.; Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo (Springer).
- SCHOUWENAARS, J.M. (1990): A study on the evapotranspiration of *Molinia caerulea* and *Sphagnum papillosum*, using small weighable lysimeters.- In: SCHOUWENAARS, J.M.: *Problem-oriented studies on plant-soil-water relations*.- *Diss.Landbouwniversiteit Wageningen*, 175 S., 50 Abb., 35 Tab.; Wageningen.
- SCHOUWENAARS, J.M. & VINK, J.P.M. (1992): Hydrophysical properties of peat relicts in a former bog and perspectives for *Sphagnum* regrowth.- *Internat.Peat J.* 4: 15-28; Jyväskylä.
- SCHWAAR, J. (1991): Vegetationsstrukturen auf Hochmoorvernässungsflächen.- *Mitt.norddt.Naturschutzakad.* 2(1): 31-38; Schneverdingen.
- SHEIKH, K.H. (1970): The respons of *Molinia caerulea* and *Erica tetralix* to soil aeration and related factors. III. Effects of different gas concentrations on growth in solution culture; and general conclusions.- *J.Ecol.* 58: 141-154; Oxford, London, Edinburgh , Melbourne.

- SLATER, F.M. (1984): The mineral contents of both peat and plants and their interrelationships at Borth Bog, Wales.- Proc. 7th intern. Peat Congress, Dublin 1: 450-467; Dublin.
- SMALL, E. (1972): Ecological significance of four critical elements in plants of raised Sphagnum peat bogs.- Ecology 53: 498-503; Durnham.
- STRIBELEY, D.P. & READ, D.J. (1975): Some nutritional aspects of the biology of ericaceous mycorrhizas.- In: SAMDERS, F.E., MOOSE, B. & TINKER, P.B. (ed.): Endomycorrhizas.- London, New York, San Francisco (Academic Press).
- TALLIS, J.H. & YALDEN, D.W. (1983): Peak District Moorland Restoration Project. Phase II-Report: Re-vegetation trials.- Derbyshire (England).
- TAMM, C.O. (1954): Some observations on the nutrient turn-over in a bog community dominated by *Eriophorum vaginatum*.- Oikos 5: 189-194; Copenhagen.

Manuskript eingegangen am 11. Juni 1993