Einige Berechnungen über die Ernährung der Hochmoore

Autor(en): **Firbas, Franz**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes Rübel in Zürich**

Band (Jahr): **25 (1952)**

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-307713

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Einige Berechnungen über die Ernährung der Hochmoore

Von Franz Firbas, Göttingen[1]

Zu den vielen Überraschungen, die der an mitteleuropäische Verhältnisse gewöhnte Botaniker in Irland erlebt, gehört das Auftreten von Arten, die sonst als mesotroph oder eutroph, als schwach azidiphil, ja z. T. als ausgesprochen basiphil oder calciphil gelten, mitten in den dortigen ombrogenen Mooren. Schon auf dem noch unberührten großen Derrylea-Hochmoor bei Portarlington im Innern der Insel, einem «echten Hochmoor» s. str., machte uns H. Osvald auf die Massenvorkommen von *Narthecium ossifragum* auf der Hochfläche des Moores aufmerksam, die im übrigen von *Sphagnum cuspidatum, papillosum, magellanicum, imbricatum* und *rubellum* beherrscht wird. Einige 100 m vom Randgehänge, über wohl gut 2 m schwach zersetztem «jüngerem» Sphagnum-Torf waren in den Schlenken *Menyanthes* und *Carex panicea* zu finden. In den «terrainbedeckenden Mooren», den «blanket bogs» Westirlands, die man mit einem einfacheren deutschen Ausdruck wohl auch als «Deckenhochmoore» oder kurz «Deckenmoore» bezeichnen könnte, und die zweifellos, wie Osvald gegenüber v. Post betont, ebenfalls ombrogener Natur sind oder höchstens auf sehr beschränkten Stellen soligenen Einflüssen unterliegen, steigerte sich die Erscheinung immer mehr. In den küstennahen Deckenmooren bei Mallaranny herrschte neben *Scirpus caespitosus, Eriophorum vaginatum, Erica tetralix, Rhynchospora alba* und *Narthecium ossifragum* weithin die «Kalkpflanze» *Schoneus nigricans.* Daneben traten *Molinia coerulea, Rhynchospora fusca, Potentilla erecta* und in den Schlenken und Kolken neben *Carex limosa* und *Eriocaulon septangulare* auch reichlich *Menyanthes* auf. An Sphagnen konnte man viel *Sph. cuspidatum, subsecundum, tenellum, plumulosum, papillosum, rubellum, magellanicum* neben bultbildendem *Racomitrium lanuginosum, Campylopus atrovirens* und *Pleurozia purpurea* sammeln.

Osvald (1949, S. 57) nennt folgende eutrophe bis mesotrophe Arten in den echten Hochmooren Irlands und Englands, die in Schweden an ähnlichen Standorten niemals zu finden sind: *Narthecium ossifragum, Pedi-*

[1] Hans Fitting zum 75. Geburtstag gewidmet.

cularis silvatica, Pinguicula vulgaris, Carex panicea, Rhynchospora fusca. Lycopodium selago, Campylopus atrovirens, Pleurozia purpurea, Sphagnum subsecundum. In den Deckenhochmooren aber außer *Schoenus nigricans* noch *Anagallis tenella, Orchis maculata, Pedicularis palustris, Polygala vulgaris, Potentilla erecta, Deschampsia flexuosa, Luzula congesta* Lej. (= *L. campestris* var. *congesta*), *L. silvatica.*

Die Richtung, in der eine Erklärung für diese Vorkommen zu suchen ist, dürfte nach Osvald schon Tansley (1939) angedeutet haben, wenn er schreibt, daß in den Mooren an den Westküsten der Britischen Inseln der von den Stürmen landeinwärts getriebene Seegischt wohl die Bodenreaktion in einem für *Schoenus nigricans* günstigen Sinne verändere. Jedenfalls können bei der unzweifelhaft ombrogenen Natur der Standorte der mineralische Untergrund, bzw. die Umgebung der Moore nicht daran schuld sein.

Trotzdem können die Verhältnisse nicht einfach liegen. Zwar fand Webb (1947) in den Moorwässern West- und Südwestirlands (Connemara, Kerry) eine etwas geringere Azidität als in Ostirland (Co. Wicklow, Dublin), nämlich pH 4,35—5,1 gegenüber 4,1—4,25. Und Pearsall (1938, zit. nach Webb) gibt von den Torfen der Deckenhochmoore von Connemara, ähnlich wie schon Conolly, einen pH-Wert um 4,5 an gegenüber Werten bis zu pH 3 hinunter in den blanket bogs von Nordengland. *Molinia coerulea, Potentilla erecta, Carex panicea* und *Menyanthes* finden sich nach Kotilainen (1928) auch in Finnland vereinzelt bei pH-Werten der Wurzelböden unter 4,5, während die häufigsten pH-Werte der Pflanzen der echten Hochmoore in Finnland zwischen pH 3,0—4,0 liegen. (Eine ähnliche Spanne gibt auch Nordhagen aus dem Sylene-Gebiet in Norwegen an; Gams und Ruoff fanden in der Zehlau in Ostpreußen 3,7—4,2).

Demgegenüber gibt nun aber z. B. Zobrist für das Schoenetum nigricantis des nordostschweizerischen Mittellandes eine Schwankung der pH-Werte in 3 cm Tiefe zwischen 7,4—8,1; in 10—15 cm Tiefe zwischen 7,0—7,6 an (bei Karbonat-Gehalten zwischen 12,3—81,4%). In den anschließenden Molinieten, in denen der pH-Wert zwischen 6,3—8,0 schwankt, verzeichnet er *Schoenus nigricans* nur noch in einer von 14 Aufnahmen mit ganz geringem Deckungsgrad. Braun-Blanquet (1928) führt das Schoenetum nigricantis Mitteleuropas ebenso wie die *Schoenus nigricans-Plantago-crassifolia*-Assoziation Südfrankreichs als Beispiele kalksteter Assoziationen an, *Schoenus nigricans* selbst wird von Oberdorfer (1949) als Pflanze nährstoffreicher, kalkdurchtränkter Torfböden bezeichnet. So verhält sich die Art auch noch im Nordwestdeutschen Flachland und auf den ostfriesischen Inseln (Tüxen 1937). Bei einem Vergleich mit den mitteleuropäischen Vorkommen von *Schoenus nigricans* erscheint also die in Westirland festgestellte Verminderung der Bodenazidität zu gering, und vielleicht ist auch noch die Beachtung anderer Umstände nötig. (Unmittelbare Wirkung der häufigen Benetzung mit salzreicherem Regenwasser?; besonderer Ökotypus?).

An Hand dieser Erscheinungen hat H. Osvald auf der I. P. E. in Irland betont, wie wenig wir noch über die Mineralstoffversorgung der Hochmoore wissen, und eine gemeinsame Behandlung dieser Frage in verschiedenen Ländern an durch Europa von W nach O und von N nach S gelegten Profilen vorgeschlagen. Die

Ernährung der Hochmoore hat uns nun vor 4 Jahren in einem anderen Zusammenhang beschäftigt, nämlich im Hinblick auf die Rolle, die der Pollenniederschlag dabei spielen könne (Firbas und Sagromsky 1947). Damals habe ich die folgende Übersicht zum größten Teil zusammengestellt, aber nicht veröffentlicht, da mir schien, daß es in der ausländischen, mir unbekannten oder unzugänglichen Literatur ähnliche Berechnungen bereits geben dürfte. Da dies aber offenbar doch nicht der Fall ist, mag das Referat, obwohl es auch heute keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben kann, doch nützlich sein und daher gedruckt werden, vor allem deswegen, weil die einschlägige Literatur besonders zerstreut und schwer zu finden ist. Ich erhielt daher auch mancherlei wichtige Hinweise erst durch gelegentliche Gespräche und schriftliche Anfragen, für die ich besonders den Herrn Chemierat Dr. H. Cauer, Hohenberg a. d. Eger, und Prof. Dr. H. Schirmer, Bonn, weiter Prof. Dr. J. Bartels, Prof. Dr. C. W. Correns und Prof. Dr. Fr. Scheffer in Göttingen sowie Dr. S. Schneider, Hannover, zu Dank verpflichtet bin. Vor allem möchte ich aber diese Gelegenheit benutzen, um hier allen denjenigen Kollegen und Institutionen nochmals zu danken, die mir trotz der damals noch bestehenden Schwierigkeiten die Teilnahme an der I. P. E. durch Irland ermöglicht haben.

Über die Ernährung der Hochmoore geben die Lehr- und Handbücher der Pflanzengeographie (z. B. Warming 1896, Schimper 1898, Walter 1927, Schimper-Faber 1935) und der angewandten Moorkunde (z. B. Schreiber 1927, Tacke 1929, Tjuremnoff 1940) nur geringe Auskunft. Sie betonen die große Armut an mineralischen Nährstoffen und bringen sie in Zusammenhang mit der «ombrogenen» Natur der Hochmoore, d. h. der Herkunft ihres Grundwassers allein aus dem auf ihre Oberfläche niederfallenden Regen, ohne aber den Quellen für die einzelnen Mineralstoffe und besonders für den relativ sehr beträchtlichen Stickstoffgehalt weiter nachzugehen, als daß gerade Staub und Regen als solche genannt werden. So wird mehrfach, z. B. von Tacke und Schreiber, erwähnt, daß der Stickstoff der Hochmoore aus dem Eiweiß der torfbildenden Pflanzen und aus Chitinresten stamme — eine an sich richtige Feststellung, die aber die eigentlichen, für die Möglichkeit eines fortdauernden Wachstums der Moore entscheidenden Quellen nicht berücksich-

tigt. Das Wissen um die ombrogene Natur der Hochmoore ist freilich alt. J. H. Dau hat 1823 in seinem «Neuen Handbuch über den Torf» wohl als erster klar und eindeutig ausgesprochen, daß die Hochmoore allein von den atmosphärischen Niederschlägen gespeist werden (vgl. Overbeck in Brüne, Lilienthal u. O. 1937, S. 63). Die äolische Mineralstoffzufuhr scheint nach Früh und Schröter zuerst von Lorenz 1853 erwähnt worden zu sein.

Die Quellen für die fortdauernde Ernährung der Hochmoore können nun aber im einzelnen offenbar sehr verschiedener Natur sein: Absorption von Gasen (NH_3) durch den sauren Torf oder Bindung durch lebende Organismen (CO_2, N_2?), im Regenwasser gelöste oder suspendierte Stoffe, die mineralischen und die organischen Komponenten des Flugstaubs, die gelegentliche Zufuhr von größeren toten Pflanzenteilen und von Leichen oder Exkrementen von Tieren, die sich vorwiegend außerhalb der Moore ernähren, schließlich auch eine Diffusion von Stoffen aus dem mineralischen Untergrund oder aus liegenden mineralstoffreicheren Sedimenten (Flachmoortorfen, Mudden), bzw. die allmähliche Umlagerung der Stoffe in höhere Schichten durch die Aufnahme seitens tiefwurzelnder Pflanzen *(Eriophorum, Scirpus caespitosus)* und deren spätere Zersetzung.

Daß die früher für maßgebend angesehene Herkunft der Nährsalze aus dem Untergrund keine irgendwie wesentliche Rolle spielt, hat freilich schon C. A. Weber (1902, S. 145) betont. Folgendes wird zur Begründung angeführt:

1. Die rasche Verfrachtung von Düngersalzen in die Tiefe, die Infiltration liegender Sande mit Humusstoffen und das Gedeihen von Sphagnen, die gegenüber nährstoffreichem Wasser empfindlich sind, beweisen einen im allgemeinen absteigenden Wasserstrom (Weber).

2. Entwässerungsmaßnahmen zeigen, daß der Torf nur eine geringe, für Pflanzen nur bis zu einer Bodentiefe von 40—60 cm ausreichende kapillare Hubkraft besitzt (Weber, Granlund).

3. Die bei der schwedischen Torfinventur vorgenommenen Aschenanalysen ergaben, daß die Asche in großem Umfang von Mineralkörnern stammt, die im wesentlichen nur durch Flugstaub von den umliegenden Böden zugeführt sein können (v. Post und Granlund). Nach v. Post (1926, S. 38) sprechen u. a. die parallelen Schwankungen des SiO_2- und K-Gehaltes im Hochmoortorf für eine Herkunft von den Mineralkörnern des Flugstaubs. Mineralsplitter fallen, freilich nur in sehr geringer Menge, auch bei der mikroskopischen Untersuchung von Hochmoortorfen auf, wie schon C. A. Weber (1902) wußte.

4. Innerhalb mächtigerer Sphagnumtorfschichten ist kein Konzentrationsgefälle der Mineralstoffe von unten nach oben zu erkennen. Die Veränderungen im Aschengehalt entsprechen vielmehr im wesentlichen den auf anderen Wegen festgestellten Veränderungen in der Wachstumsgeschwindigkeit der Moore: Anreicherung bei Stillstand oder verlangsamtem Wachs-

tum, z. B. im Grenztorf unterhalb des Grenzhorizonts, außerdem in Kulturlandschaften mit vermehrter Staubzufuhr oder bei Wachstumsstillstand auch gegen die Oberfläche zu (vgl. v. Post 1926).

5. Das Wasser der Moore ist schon in geringer Tiefe sehr arm an oder frei von Sauerstoff. Das gilt auch für den ganzen Moorkörper, während das Grundwasser in mineralischen Böden mit zunehmender Tiefe O_2-reicher wird, und zwar auch im mineralischen Untergrund von Hochmooren (Malmström, Jörgensen).

Erklärlich wird die fehlende oder zumindest äußerst geringe Diffusion aus dem Untergrund, abgesehen von dem Übergewicht der Niederschläge über die Verdunstung im humiden Klima, durch die besondere Erschwerung der Diffusion in der von Humuskolloiden durchsetzten Torfmasse. Das schlechte Wassernachleitvermögen des Torfes kommt ja auch in dem oft auf Entfernungen von wenigen Dezimetern oder Metern sehr verschiedenen Wasserstand der Schlenken und Kolke zum Ausdruck. Schon geringmächtige Torfschichten stauen das Wasser und befördern die Versumpfung. Die gleichen Umstände verlangsamen aber auch den Abfluß des Wassers aus dem Moor (Filtrationsversuche bei Malmström 1923).

In welchen Mengen nun der Oberfläche eines Hochmoores jährlich Mineralstoffe zugeführt werden, kann man zu bestimmen versuchen, indem man den Gehalt des Torfes an Mineralstoffen durch seine Bildungsdauer dividiert, wie dies wohl als erster Jörgensen (1927) für den Stickstoff getan hat. Hierbei wird man freilich nur Mindestwerte erhalten, die um die Stoffmengen zu vermehren sind, die jährlich aus dem Moor ausgewaschen, bzw. bei der Schneeschmelze auch oberflächlich fortgespült werden. Manche Stoffe können auch wieder als Gas entweichen. Schließlich weiß man seit langem (zu Leiningen 1907, Zailer und Wilk 1907, Paul 1908, vgl. Minssen 1913, Melin 1917 u. a.), daß die Hochmoorpflanzen im Trockengewicht an manchen Stoffen, nämlich besonders an Kali, weniger an Phosphorsäure, reicher sind als der von ihnen gebildete Torf. Sie reichern diese Stoffe an und verlangsamen so deren Auswaschung. Über mächtigeren Torfschichten können aber diese in der lebenden Vegetation angereicherten Stoffmengen bei der Beurteilung des Torfes vernachlässigt werden.

Um die Mineralstoffbilanz des Hochmoors genauer verfolgen zu können, sollte man nun an einem Moor, möglichst außerhalb dichtbesiedelter Landschaften, Niederschlag und Abfluß und deren

chemische Zusammensetzung, die Verdunstung und weiter die Zusammensetzung und das Alter des Sphagnumtorfes kennen. Dies ist infolge der vielfachen Schwierigkeiten solcher Bestimmungen bisher nirgends der Fall. Wir müssen uns mit Teilbestimmungen und Schätzungen begnügen.

Wie schon Jörgensen bedauert, liegen nicht viele auf das Torfvolumen beziehbare chemische Analysen vor. In Tabelle 1 sind vier eingetragen, und zwar drei aus nordwestdeutschen Mooren (Spalte 1—3), eine aus den Ostalpen (4), das Mittel aus diesen vier Analysen (5) und schließlich die von Fleischer aus einer größeren Zahl von Bestimmungen abgeleiteten Mittelwerte für die wichtigsten Nährstoffe (6). Da nun der jüngere Sphagnumtorf in Nordwestdeutschland im Jahr durchschnittlich um 1—2 mm gewachsen ist und man in geringerer Tiefe, aus der (aber nicht etwa von der Oberfläche!) die Analysen stammen, eher mit einem etwas verlangsamten Zuwachs rechnen muß, wurden die Werte einer 1 mm starken Torfschicht als Jahreszuwachs angesehen und in kg/ha ausgedrückt.

Noch schwieriger ist es, für die jährliche Auswaschung eines Hochmoors einigermaßen verwendbare Zahlen zu finden. In Spalte 7 und 8 wurde das Mittel von fünf Analysen von Wasserproben verwendet, die C. A. Weber am 2. September 1902 in dem damals noch vollwüchsigen Hochmoor von Augstumal im Memeldelta gewonnen hat*. Hierbei wurde zunächst (Spalte 7, vgl. Firbas und Sagromsky 1947) angenommen, daß das Hochmoor von dem jährlichen Niederschlag von etwa 680 mm rund 200 mm durch Abfluß in die Tiefe, 480 mm durch Verdunstung verliert.

Diese Schätzung beruhte auf der Feststellung, daß die Sphagnumdekken eines Hochmoors etwas mehr, verheidete Teile etwas weniger als eine freie Wasserfläche verdunsten (Malmström 1923, Tinbergen 1940), daß die Gesamtverdunstung eines Hochmoors also erheblich ist, und daß nach einigen bei Laatsch (1944) zusammengestellten Bestimmungen die mittlere jährliche Verdunstung im Einzugsgebiet der Weser 450 mm, im norddeutschen Küstengebiet 340 mm, von grasbewachsenem Boden in Eberswalde 366 mm, von Weideland im niederelbischen Obstbaugebiet 528 mm beträgt.

Später machte mich Prof. H. Schirmer auf Bestimmungen aufmerksam, die Zunker (1937) im Kehdinger Moor an der Un-

* Nämlich Wasser aus dem nassen Sphagnetum der Hochfläche (S. 15), vom tieferen und flacheren Hochmoorteich (S. 65), aus der Schießgirrener Rülle vom Ericaleto-Pineto-Sphagnetum und Vagineto-Sphagnetum (S. 85).

terelbe von 1900—1909, als dort die Kultivierung noch keine entscheidende Rolle spielte, durchgeführt hat. Er stellte folgende Bilanz fest:

	Jahr	Sommer	Winter
Verdunstung	482 mm	375 mm	107 mm
Abfluß	262 mm	46 mm	216 mm
Danach Niederschlag	744 mm	421 mm	323 mm

Ganz ähnlich lauten die Zahlen von Prytz, der in der Zeit vom 29. 3. 1927 bis 23. 3. 1928 im Store Vildmose bei Aalborg in Dänemark folgende Werte unmittelbar bestimmt hat:

	Jahr	Wachstumsperiode	Winter
Verdunstung	491 mm	300 mm	191 mm
Abfluß	323 mm	58 mm	265 mm
Niederschlag	775 mm	396 mm	379 mm

Prof. Schirmer wies mich auch auf die in der Hydrologie angewandte Berechnung von Keller hin: A = 0,94 N — 405 mm bei mittleren Abflußverhältnissen, A = 0,88 N — 460 mm bei sehr guten, worin A = Abfluß, N = Niederschlag, beide in mm, bedeuten. Den genannten Zahlen würde eine interpolierte Zwischenformel A = 0,92 N — 423 mm entsprechen (262 = 685 minus 423). Überträgt man diese Gleichung auf das Augstumalmoor, so erhält man als Abfluß A = 0,92 × 680 — 423 = 201 Millimeter, also den von uns zunächst eingesetzten Wert.

Doch mögen nach Schirmer die Analysen C. A. Webers, da die Proben im Herbst nach einem sehr trockenen Sommer entnommen worden sind, nicht dem Jahresdurchschnitt entsprechen, zumal ein Teil des Abflusses zur Zeit der Schneeschmelze mehr oder weniger oberflächlich erfolgen muß. Es wurde daher in Spalte 8 versuchsweise nur mit einem Abfluß von 100 mm (oder mit einer durchschnittlich nur 50% der Werte C. A. Webers betragenden Salzkonzentration) gerechnet.

Die Summe der Spalten 5 und 7, bzw. 8 gibt also in kg/ha die Größenordnung der einem wachsenden Hochmoor jährlich zugeführten Stoffe (Spalte 9, bzw. 10). Ihr Verhältnis in Prozenten der Asche ist schließlich noch in den Spalten 11, bzw. 12 verzeichnet.

Die Herkunft der Zahlen zeigt, daß es sich nur um einen groben Einblick in die Größenordnungen handeln kann, der sich nur mit großer Vorsicht auswerten läßt, aber, solange nicht an einem einzigen Moor genaue und vollständige Bestimmungen vorliegen,

TABELLE 1

	Eine 1 mm starke Torfschicht enthält in kg/ha						Stoffverlust durch Abfluß I. Augstmalmoor n. C. A. WEBER		Summe von 5 und 7 in kg/ha	Summe von 5 und 8 in kg/ha	Werte von 9 in % der Asche	Werte von 10 in % der Asche	Stoffzufuhr d. Pollen** in kg/ha bei einem jährlichen Pollenniederschlag von	
	Jüngerer Sphagnumtorf von Nusse in Holstein n. TACKE	Jüngerer Sphagnumtorf, Hellweger Moor b. Bremen n. FLEISCHER	Jüngerer Sphagnumtorf, Teufelsmoor b. Bremen n. FLEISCHER	Wenig zersetzter Sphagnumtorf, Ostalpen n. ZAILER & WILK	Mittel aus 1-4	„Hochmoor tiefere Schicht" Mittel n. FLEISCHER	Abfluß 200 mm	Abfluß 100 mm					10 kg/ha	50 kg/ha
Spalte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
K_2O	0.83	0.09	0.57	0.70	0.55	0.27	8.2	4.1	8.75	4.65	11.0	10.0	0.20	1.00
Na_2O	1.50	0.19	0.70	0.15	0.63		9.2	4.6	9.83	5.23	12.3	11.3	[0.01]	[0.05]
CaO	3.00	0.97	1.76	1.36	1.77	2.25	2.2	1.1	3.97	2.87	5.0	6.2	0.03	0.15
MgO	1.00	1.84	2.20	0.61	1.41		1.4	0.7	2.81	2.11	3.6	4.5	[0.01]	[0.05]
$Fe_2O_3 + Al_2O_3$	3.50	0.58	1.41	0.79	1.57		1.0	0.5	2.57	2.07	3.2	4.4	[0.01]	[0.05]
P_2O_5	0.42	0.14	0.35	0.62	0.38	0.45	1.0	0.5	1.38	0.88	1.7	1.9	0.15	0.76
SO_3	4.74	0.82	2.28	0.99	2.21		3.8	1.9	6.01	4.11	7.6	8.9	[0.05]	[0.25]
SiO_2*	10.15	1.12	5.54	2.10	4.73		18.2	9.1	22.93	13 83	28.9	30.0		
Cl	0.33	?	?	0.08	0.21		20.8	10.4	21.01	10.61	26.5	22.8		
Asche	23.46	5.95	14.92	7.23	12.89		65.8	32.9	78.69	45.79				
Stickstoff	5.57	2.99	7.91	8 93	6.35	7.2	5.4	2.7	11.75	9.05	14.8	19.5	0.32	1.58

* bzw. in HCl unlösliche Substanz.
** Die Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich allein auf Picea nach Ramann.

wohl zur Orientierung verwertet werden darf. Unter Berücksichtigung der möglichen Fehler läßt sich nämlich aus den Zahlen doch wohl schließen, daß von den einem Hochmoor zugeführten Mineralstoffen ein erheblicher Teil durch Auswaschung verlorengeht, und weiter, daß in der Stoffzufuhr Kieselsäure, Chlor und Stickstoff mengenmäßig an erster, Natrium, Kalium und Schwefel an zweiter Stelle stehen. Wir betrachten nun die einzelnen Stoffe etwas näher.

Am besten bekannt, wenn auch nicht endgültig geklärt, ist die Herkunft des Stickstoffs.

Die Hochmoore werden bald als stickstoffarm, bald als stickstoffreich bezeichnet. Beides trifft zu je nach dem Vergleich, den man zieht. Nach Fleischers zahlreichen Bestimmungen macht der Stickstoffgehalt der Hochmoore 0,8—1,2% (nach Tacke 0,50—1,68%), der der Übergangsmoore um 2%, der der Flachmoore 2,5—4,0% der Trockensubstanz aus (vgl. Tacke in Blanck). Der Stickstoffgehalt der Hochmoore ist also bei Bezugnahme auf das Trockengewicht gering im Vergleich zu den Flachmooren, aber auch zum Humus der Mineralböden, wo er z. B. in Schwarzerden nach Maiwald (1939, in Blanck) 2,7—4,8% beträgt, und auch im Vergleich mit gleichen Volumina der Mineralböden. Der Stickstoffgehalt der Hochmoore ist aber beim Vergleich mit Mineralböden beträchtlich, wenn man ihn auf das Trockengewicht des Bodens bezieht, weil die organische Substanz im Mineralboden nur einen geringen Teil des Bodens ausmacht und das spezifische Gewicht der Mineralböden wesentlich höher ist als das des Torfes. Doch ist auch bei einer solchen Betrachtung zu berücksichtigen, daß ein sehr großer Teil des Torfstickstoffs für höhere Pflanzen schwer oder nicht verwertbar ist, da er noch in organischer Bindung in den Zersetzungsprodukten des Eiweißes oder Chitins vorliegt. Das Ammoniak, das von den gegenüber anderen Böden zwar schwach entwickelten, aber doch vorhandenen eiweißzersetzenden Bakterien schließlich gebildet wird, wird nicht oder nur in sehr geringem Maße nitrifiziert. Denn nitrifizierende ebenso wie N-assimilierende Bakterien kommen im Hochmoor zu keiner genügenden Entwicklung, da sie offenbar schon durch die saure Bodenreaktion und z. T. auch durch den O_2-Mangel gehemmt werden. (Vgl. z. B. die Angaben bei Rippel-Baldes und Müller-Stoll. Dementsprechend ist auch der Nitratgehalt der Hochmoorblänken sehr gering, vgl. Geßner.) Denitrifizierende Bakterien sind hingegen im Hochmoor vorhanden.

Da es für die höhere Pflanze insgesamt auf den Gehalt verwertbarer Stickstoffverbindungen im durchwurzelten Bodenvolumen ankommen muß, müssen Hochmoore als Standorte höherer Pflanzen also als stickstoffarm angesehen werden.

Tacke (1927) fand bei jüngerem Moostorf mit einem Stickstoffgehalt von 0,86—1,28%, daß hiervon nur 3,3—5,1% wasserlöslich waren. Von dieser N-Menge entfielen wieder nur 28—46% auf Ammon-Stickstoff, 13—25% auf Amid-Stickstoff, 40—47% auf nicht weiter bestimmbaren organischen Stickstoff. Gefäßversuche mit Hafer auf Sphagnumtorf mit hinreichender Ca-, K- und P-Düngung, aber ohne N-Zugabe führten im ersten Jahr zu

einer Ernte, die Niederungsmoortorfen nur wenig nachstand, ergaben aber im zweiten Jahr bereits einen sehr starken Ertragsabfall.

Durch Bestimmung des Stickstoffgehaltes der nachwärmezeitlichen Sphagnumtorfschichten fand nun Jörgensen als Mindestwerte der jährlichen mittleren Stickstoffzufuhr während der letzten 2500 Jahre in 3 dänischen Hochmooren (von mir in kg/ha umgerechnet):

im Knudmose	4,555 kg/ha N
St. Vildmose	6,524 kg/ha N
Maglemose (3 Profile)	7,877 kg/ha N
»	7,648 kg/ha N
»	6,850 kg/ha N

Diese Größenordnung deckt sich nun, wie Jörgensen zeigen konnte, völlig mit der Zufuhr N-haltiger Verbindungen (Ammoniak, Nitrat, Nitrit) durch die Niederschläge, so wie sie an einigen, von größeren Städten weit entfernten und daher zum Vergleich geeigneten Punkten gefunden wurde, nämlich nach den von Jörgensen herangezogenen Bestimmungen von N. H. J. Miller, Hall, v. Feilitzen u. Lugner und Fr. Hansen:

in Rothamsted, England, 1889—1903	4,448 kg/ha N
in Flahult, Schweden, 1909	5,177 kg/ha N
in Askov, Jütland, 1922—26	7,710 kg/ha N

Jörgensen schloß aus diesen Zahlen — ähnlich, wie dies schon K. Müller (1924, S. 79), doch noch ohne nähere Begründung angegeben hatte —, daß die Hauptmasse des Stickstoffs den Hochmooren durch den Regen zugeführt werde, und weiter, daß eine Assimilation des Luftstickstoffs durch die Wurzelpilze der Ericaceen, wenn sie vorhanden sei, auf dem Hochmoor nur von untergeordneter Bedeutung sein könne. Hierbei hat Jörgensen jedoch die Möglichkeit einer Auswaschung des Stickstoffs zwar kurz erwähnt, aber nicht in Rechnung gesetzt. Nach Tab. 1 kann sie kaum vernachlässigt werden und dürfte ebenfalls einige wenige kg/ha im Jahr betragen. Kann auch unter diesen Umständen der Regen als einzige wesentliche Quelle der Stickstoffzufuhr der Hochmoore gelten?

Die Frage nach der N-Zufuhr durch den Regen hat während des vergangenen Jahrhunderts in der Agrikulturchemie eine sehr große Rolle gespielt, wobei sich ältere Bestimmungen später als zu hoch herausgestellt haben. (Zahlreiche Literatur bei Giesecke und Meigen in Blanck. Bd. VI und I, bei Clarke, Kalle und besonders bei Drischel 1940.) Für den landwirtschaftlichen N-Bedarf spielt der Regen sicher nur eine geringe Rolle, da dem Ackerboden mit der Ernte jährlich 60—100 kg/ha und mehr entzogen werden. Haselhoff und Blanck (1927) erwähnen

aber mit Recht, daß die Stickstoffmengen des Regens wildwachsenden Pflanzen unter Umständen genügen mögen. Zu beachten ist, daß nur ein Teil der Beträge als absoluter Stickstoffgewinn des Bodens zu betrachten ist. Denn der überwiegende Teil des im Regenwasser befindlichen Stickstoffs entfällt in den gemäßigten Breiten auf Ammoniak, das offenbar zum größten Teil selbst wieder auf Verwesungsvorgänge im Boden zurückgeht, wie schon Boussingault (1861) annahm. Boysen-Jensen (1939) gibt als jährliche anorganische Stickstoffzufuhr durch Regenwasser 4—8 kg/ha an. Nach Drischel schwanken die Werte zwischen 0,76—21,3 kg/ha und können auch in der nördlichen gemäßigten Zone bis 15,2 kg/ha steigen. Für den Nitrit- und Nitratgehalt nennt Drischel als Mittel in nördlichen Breiten 1,93 kg/ha.

Wir besitzen also neuere Bestimmungen, die höher sind als die von Jörgensen verwendeten. Es ist daher möglich, daß sich auch unter Berücksichtigung der ausgewaschenen Stickstoffmengen eine praktisch vollständige Rückführung des Hochmoorstickstoffs auf den Regen ergeben wird. Aber eine so vollständige Deckung der Werte, wie sie Jörgensen zu finden glaubte, liegt zur Zeit um so weniger vor, als L. G. Romell (1946) vor kurzem nachwies, daß Ammoniakbestimmungen mit Neßlerschem Reagenz, wie sie meist ausgeführt wurden, unbrauchbar sind, wenn das Wasser organische Verunreinigungen, besonders Pollen, enthält. Man kann dann Fehler begehen, die umgerechnet einige kg/ha betragen könnten. Ob Fehler dieser Größenordnung wirklich begangen worden sind, müssen freilich weitere Bestimmungen zeigen. Der Umstand, daß der Ammoniak-Gehalt nach Russel und Richards und Drischel sein Maximum im Sommer und Herbst zu erreichen pflegt, spricht gegen eine hohe Bewertung dieser Fehlerquelle; sie bleibt aber weiter zu beachten.

Reicht der Regenstickstoff nicht aus, sind als weitere Möglichkeiten zu prüfen:

1. Die Zufuhr von Flugstaub, besonders Pollen, auf die wir i. f. eingehen.

2. Die Assimilation des Luftstickstoffs durch die Mykorrhizapilze der Ericaceen. Sie schien nach den vielgenannten Untersuchungen von Ch. Ternetz zunächst sehr wahrscheinlich, ist aber seit den Untersuchungen von Freisleben (1936) wieder fraglich oder sogar sehr unwahrscheinlich geworden (vgl. Burgeff 1943, Rippel-Baldes 1947, Schaede 1948).

3. Die Absorption von Ammoniak aus der Luft durch saure Böden, auf die E. Ramann (1910, S. 261) den hohen N-Gehalt des Hochmoortorfs zurückzuführen versuchte.

Jörgensen ist dieser Erklärungsversuch Ramanns offenbar entgangen. Er betont aber mit Recht, daß die Absorption des Ammoniaks durch den Torf einem N-Verlust entgegenarbeite, da das bei der Zersetzung der organischen Reste gebildete NH_3 vom Torf gleich wieder absorbiert werden könne. Ramann (l. c.) spricht von erfolgreichen Versuchen, die Aufnahme von Ammoniak durch Torferde zu messen. Sie scheinen nach freundlicher Auskunft von Prof. Fr. Scheffer, Göttingen, nicht fortgeführt und veröffentlicht worden zu sein. Über die Absorption von NH_3 durch Schnee vgl. Kalle, S. 107.

Da die Niederschläge dem Hochmoor den Stickstoff in erster Linie als Ammoniak zuführen, das gleichzeitig, aber in wesentlich geringerer Menge, zugeführte Nitrat bzw. Nitrit der Denitrifizierung durch Bakterien ausgesetzt ist und schließlich beim Eiweißabbau ständig Ammoniak frei wird, das nicht oder kaum nitrifiziert werden kann, ist es gut verständlich, daß die Gefäßpflanzen des Hochmoors (Ericaceen, *Carex limosa, Eriophorum vaginatum*) nach den Untersuchungen von Marthaler (1938) und Müller-Stoll (1947) in Wasserkulturen Nitratstickstoff nicht oder nur wenig, Ammoniakstickstoff hingegen sehr gut auszunützen vermögen.

Über die Herkunft der übrigen Mineralstoffe der Hochmoore und der ihnen entströmenden Wasser sind wir noch viel schlechter unterrichtet. Ein Vergleich der Spalten 11 und 12 in Tab. 1 mit der Zusammensetzung verschiedener Böden, wie sie Stremme (in Blanck, Bd. III) zusammengestellt hat, oder auch mit der Zusammensetzung verschiedener Gesteine (Niklas in Blanck IV) zeigt, daß im Hochmoortorf verhältnismäßig sehr wenig SiO_2 vorhanden ist, nämlich nur etwa 30% der Asche gegenüber 50 bis 80% in der humusfreien Trockensubstanz der meisten Böden, auch der Kalkböden. Ähnliches gilt für Fe_2O_3 und Al_2O_3. Die anderen Stoffe müssen dementsprechend reichlicher vorhanden sein, wobei mit den meisten Böden insofern Übereinstimmung besteht, als K und Na dem Hochmoor in größeren Mengen zugeführt werden als Ca und Mg. Außerordentlich hoch und aus der Zusammensetzung von Böden und Gestein nicht erklärlich aber ist die Zufuhr an Chlor und Schwefel, weniger an Phosphorsäure.

Der Chlorgehalt des Regenwassers, der sicher zu einem sehr erheblichen Teil auf das Kochsalz der Meere zurückgeht, ist beträchtlich (vgl. Miller 1902, Clarke, Russel, Drischel, Kalle u. a.). Er nimmt freilich mit der Entfernung vom Meere stark ab, nach Drischel (1940) in folgender Weise:

Entfernung von der Küste	Cl mg/l Regenwasser
0,03 — 0,1 km	70 — 700
1 — 2	15 — 30
5 — 10	6 — 13
50	4 — 9
100	3 — 5
500	1 — 2
1000	0,5 — 1,5
2000	unter 0,3

Auch innerhalb Irlands fand Webb (1947) eine deutliche Abnahme des Chloridgehalts der Gewässer von W nach O.

In einer Entfernung von 50—100 km vom Meere kann man also mit 35 kg/ha Chlor (5 mg/l) rechnen, in 500—1000 km Entfernung mit 7 kg/ha Chlor (1 mg/l), wenn man einen Jahresniederschlag von 700 mm voraussetzt. Diese Werte stimmen mit jenen in Tab. 1 in der Größenordnung sehr gut überein. Zu beachten ist, daß die dem Moor zugeführten Chlormengen mit den Moorwässern wieder fast vollständig abgeführt werden, so daß sich im Torf nur sehr wenig Cl findet.

Der im Augstumalmoor gefundene Chlorgehalt erscheint allerdings, im Vergleich mit den gleichzeitig gefundenen Na_2O-Werten, auffällig hoch, wenn man ihn allein auf «zyklisches Salz», d. h. unmittelbar auf das Natrium- und Magnesiumchlorid des Meerwassers zurückführen möchte, und zwar um so mehr, als ein Teil des Na_2O vom Flugstaub herrühren muß. Da nach den Erörterungen bei Kalle (S. 100 ff.) die Herkunft des Chlorgehalts der Atmosphäre noch nicht genügend geklärt ist, kann darauf nicht näher eingegangen werden. (Das Augstumalmoor liegt im Memeldelta wenige Kilometer vom Kurischen Haff und etwa 30 km von der freien Ostsee entfernt.)

Auch Schwefel ist im Regenwasser als Sulfat, bzw. Schwefelsäure reichlich vorhanden. Er stammt außer aus dem Meere aus dem Abbau organischer Substanz an der Erdoberfläche, aus vulkanischer Tätigkeit und heute vor allem auch aus der Verbrennung von Steinkohlen. Dementsprechend sind keine deutlichen Beziehungen des Gehalts zur Entfernung von der Küste vorhanden. Nach Drischel (1940) kann man in ländlichen Gebieten mit einem Gehalt von 1,5—2 mg/l rechnen, d. h. bei einem Jahresnie-

derschlag von 700 mm mit 10,5—14 kg/ha Sulfat-S. Diese Zahl übertrifft die in Tab. 1 genannten Werte. Doch können diese aus methodischen Gründen zu gering sein (Minssen). Jedenfalls steht der Rückführung des Schwefelgehalts der Hochmoore auf die Niederschläge auch in einer unbesiedelten Landschaft nichts im Wege. Die bei der Verwesung frei werdenden H_2S-Mengen werden auch in Hochmooren durch Schwefelbakterien in H_2SO_4 umgewandelt (vgl. Redinger).

Bei den übrigen Stoffen bleibt man im Zweifel, wieweit sie dem Hochmoor durch den Regen und somit aus großen Entfernungen vom Meer her und wieweit sie mit dem festen Staub teils aus der näheren Umgebung, teils ebenfalls aus großen Entfernungen zugeführt werden *.

Vollständige Analysen des Regenwassers aus schwach besiedelten Gebieten scheint es, wie auch Kalle betont, kaum zu geben. Berechnet man den Salzgehalt des Regenwassers unter Zugrundelegung der Zusammensetzung des Meerwassers (vgl. Kalle), so würde man bei einer Chloridzufuhr von 35, bzw. 7 kg/ha Cl nur 0,7, bzw. 0,14 kg/ha K erhalten, also wesentlich weniger als Tab. 1 fordert. Nun ist freilich dieses oft geübte Verfahren nach H. u. G. Cauer (1942) mit erheblichen Fehlern belastet. Doch ist an der Zufuhr fester Staubpartikel nicht zu zweifeln. Passarge (in Blanck, Bd. I, S. 288) rechnet die Hochmoore sogar zu den «Böden mit äolischer Beimischung» und sagt, daß der zugewehte Staub vermutlich zum größten Teil aus der nächsten Umgebung, von Feldern und Wegen, z. T. (in den Tundren und Moorländern Nordrußlands) aus großen Entfernungen, aus den Steppenländern des Südens und von Vulkanen stamme. In den Alpen ist stellenweise ein starkes äolisches Bodenwachstum im Gange (vgl. Graf zu Leiningen in Blanck, Bd. IX), dessen Quellen in der Nähe liegen. Für die großen mittel- und nordeuropäischen Wald- und Moorgebiete vor ihrer stärkeren Besiedlung wird man aber auch weit entfernte Staubquellen zu prüfen haben. Würden etwa von der in Tab. 1 genannten jährlichen Mineralstoffzufuhr der Hochmoore 15—30 kg/ha — also ein sehr großer Teil

* Zweifellos aus der Luft und dem Regen stammt auch der im Vergleich zu Mineralböden und zu Quellwässern sehr beträchtliche Jod-Gehalt der Moore. Näheres darüber bei Cauer 1936, 1937.

— auf Flugstaub zurückgehen, so würde dies einer jährlichen Zufuhr von 10—25 dm^3 Mineralboden/ha entsprechen, wenn man mit Ramann (S. 317) ein Volumgewicht der Mineralböden von 1,2 bis 1,5 einsetzt. Die jährlich aufgewehte, aber zu einem großen Teil in Lösung gehende Staubschicht hätte dann eine Dicke von etwa 0,001—0,0025 mm.

Diese Zahl ist nicht ganz ohne Interesse für die Beurteilung der u. a. von Beijerinck und Jonas vertretenen Ansicht, der Bleichsand der Heideböden gehe auf eine allgemeine äolische Aufwehung zurück. Beurteilt nach der Mineralstoffzufuhr der nordwestdeutschen Hochmoore, könnte der Mineralboden auf diese Weise höchstens um wenige Millimeter im Jahrtausend gewachsen sein, also niemals im Laufe der Nacheiszeit die tatsächliche Mächtigkeit des Bleichsandes erreicht haben. Anders natürlich, wenn man lediglich mit örtlichen äolischen Umlagerungen gröberen Materials rechnet, an deren häufigem Vorkommen in den diluvialen Sandgebieten seit ihrer dichteren Besiedlung durch den Menschen nicht zu zweifeln ist.

Unter den Staubfällen, die im Mittelmeergebiet und im Atlantik als «Passatstaub» und «Blutregen» seit dem Altertum beschrieben sind und manchmal auch in Mitteleuropa auffallen, spielt in der Literatur jener vom 9.—12. 3. 1901 eine besondere Rolle, da er durch Hellmann und Meinardus sehr eingehend untersucht worden ist. Material aus der südalgerischen Wüste wurde über weite Teile Süd- und Mitteleuropas bis zu den dänischen Inseln vertragen. In den Alpen wurden bis 11 g, in Holstein noch 1 g Staub/m^2 gefunden, was einer Menge von 112,3, bzw. 10 kg/ha, also der Größenordnung der jährlichen Mineralstoffzufuhr eines Hochmoors entspricht. Solche auffälligen Staubfälle sind selten, schwächere kommen offenbar mit einer gewissen Regelmäßigkeit vor. So wurden nach Glarion (1939) in Arosa vom März 1936 bis Oktober 1937 15 Sahara-Staubfälle beobachtet, wobei März, Mai und Oktober durch Häufigkeitsmaxima ausgezeichnet waren. Die wenigen, in den genannten Arbeiten und bei Herrmann mitgeteilten chemischen Analysen sind leider zu unvollständig, um mit der Aschenzusammensetzung der Hochmoore verglichen werden zu können, und zwar um so mehr, als wir nicht wissen, wie weit die Staubproben schon vor der Analyse durch Niederschläge ausgewaschen waren *.

---

* Genauere Analysen liegen von einem im April 1928 über Südpolen niedergegangenen Staubfall vor, über den Leuchs auf Grund der Arbeiten von Kreutz und Jurek sowie von Nowak berichtet, und dessen Herkunftsgebiet in Turan zu suchen ist. Bei Lemberg (Lwow) wurde fol-

Man könnte nun weiter vermuten, daß unter den organischen Komponenten des Flugstaubs auch der Pollen als Lieferant bestimmter Mineralstoffe eine größere Rolle spielt*. Nach Firbas und Sagromsky (1947) kann man heute in Mitteleuropa mit einem jährlichen Pollenniederschlag von 10 kg/ha rechnen. Nach den vorliegenden Analysen des Pollens von *Pinus, Corylus* und *Alnus* durch Elser und Ganzmüller, bzw. von *Picea* durch Ramann (l. c.) können auf diese Weise jährlich aber nur 0,3—0,5 kg/ha Asche und 0,2—0,4 kg/ha N geliefert werden, also nur ein sehr geringer Teil der jährlichen Mineralstoffzufuhr der Hochmoore. Und höchstens für die Zufuhr von Phosphorsäure, kaum noch für die von Kalium, kann nach Tab. 1, Spalte 13, der Pollenniederschlag von einiger Bedeutung sein, wenn wir mit einem Gesamtniederschlag von 10 kg/ha rechnen.

Unabhängig von uns und etwa gleichzeitig hat nun auch L. G. Romell (1946) die absolute Größe des Pollenniederschlages zu errechnen versucht. Er ist dabei, vor allem auf Grund der Arbeiten von Pohl, Hesselman und Fr. Bertsch für teilweise bewaldete Landschaften ebenfalls zu einem Mittelwert von 10 kg/ha gelangt, rechnet aber für Waldgebiete mit Höchstwerten bis 100 kg/ha. Nach freundlicher brieflicher Mitteilung von Prof. Romell vom 18. 12. 1947 wurden z. B. im Jahre 1944 von C. Juhlin-Danfelt auf einem Wasserturm in Stocksund nördlich Stockholm 26 kg/ha Pollen aufgefangen (von Romell berechnet, vgl. Juhlin-Danfelt), auf der Erdoberfläche muß der Ge-

---

gende Zusammensetzung, bezogen auf wasser- und humusfreie Substanz, gefunden:

SiO_2 69%, Al_2O_3 14,78%, Fe_2O_3 6,53%, CaO 2,42%, MgO 2,11%, K_2O 3,54%, Na_2O 0,37%, TiO_2 0,83%, P_2O_5 0,29%, SO_3 0,15%.

Die Ergebnisse von drei anderen Orten sind ähnlich. Sollten sie sich verallgemeinern lassen, so ginge aus ihnen im Vergleich mit Tab. 1 hervor, daß außer N, Cl und S auch ein sehr erheblicher Teil des K-, Na-, Mg-, Ca- und P-Gehaltes der Hochmoore nicht auf den mineralischen Staub zurückgeht.

Weitere Analysen wären also erwünscht. Das von Passarge erwähnte Buch von Free, The movement of soil material by the wind (Washington 1911) war mir leider nicht zugänglich. Der Staub der Kulturlandschaft kann natürlich ebenso wie manche Regenwasseranalyse nur sehr bedingt zu einem Vergleich mit natürlichen Verhältnissen herangezogen werden.

* Im Saharastaub von 1901 und 1903 fand J. Früh fast keine Pollen. Zu anderen Jahreszeiten aber mögen Staubfälle auch Pollen von Chenopodiaceen, *Artemisia* u. a. aus den nordafrikanischen Halbwüsten und Steppen enthalten und nordwärts verfrachten.

samtniederschlag noch höher gewesen sein. Das stimmt gut mit den Werten Denglers überein, der im gleichen Jahr (1944) in Norddeutschland in den kiefernwaldreichen Gebieten um Eberswalde vom 15. Mai bis 31. Juni 63,3 kg/ha *Pinus*- und *Picea*-Pollen auffing. Zweifellos kann also der angenommene Durchschnittswert von 10 kg/ha in günstigen Einzelfällen um ein Mehrfaches überboten werden (vgl. auch Firbas und Sagromsky, S. 135). Ob er aber in geschlossenen Nadelwaldgebieten durchschnittlich wesentlich höher liegt, können nur weitere Bestimmungen — am besten in den nordeuropäischen Ländern — entscheiden. Doch könnte man auch bei einem Pollenniederschlag von 50 kg/ha nur die Ernährung der Hochmoore mit Phosphorsäure zum größten Teil, die mit Kali und Stickstoff zu höchstens $^1/_6$ bis $^1/_5$ auf den Pollenniederschlag zurückführen (vgl. Tab. 1, Spalte 14). Man sieht immerhin, daß weitere Bestimmungen des Pollenniederschlags in Moorgebieten von Interesse wären. Für die Ernährung der irischen Moore kann Pollen freilich bei der seit langem bestehenden Waldarmut der Insel und der Vorherrschaft der Westwinde keine wesentliche Rolle spielen.

Es bleibt unter vielem anderen weiter zu prüfen, worauf die z. B. von Minssen hervorgehobenen höheren Mineralstoff- und Stickstoffwerte der süddeutschen Moore zurückgehen — ob auf verstärkte Staubzufuhr von den Alpen her (was sehr wahrscheinlich ist) oder auch auf höheren N-Gehalt des Regens bei verstärkter Gewitterhäufigkeit und höheren Niederschlägen, und vor allem auch, wieweit sich der stellenweise beobachtete höhere Stickstoffgehalt (auch Nitratgehalt!) des Regenwassers in den Tropen auf die Moorbildung auswirkt, wieweit etwa die Existenz echter ombrogener, aber völlig bewaldeter, also wohl produktiverer Hochmoore auf Java, die B. Polak beschrieben hat, dadurch begünstigt wird. Allerdings sind nach den Untersuchungen von Malmström (1935) und älteren von v. Tubeuf und Osvald für das Aufkommen von Baumwuchs auf den Hochmooren die übrigen Mineralstoffe wichtiger als der Stickstoff. Jedenfalls hängt, wie schon C. A. Weber (1902) hervorhob, die Möglichkeit einer Bewaldung der Hochmoore sehr vom Mineralstoffgehalt der je nach dem Grundwasserstand mehr oder weniger flachen, durchwurzelbaren Torfschicht ab.

Die Frage nach der Ernährung der Hochmoore läßt sich also heute noch nicht zureichend beantworten, weil noch keine vollständigen Untersuchungen an einem einzelnen geeigneten Hochmoor vorliegen. Wir verfügen zwar über verschiedene wesentliche Unterlagen. Diese gestatten aber doch nur einen vorläufig noch recht schwachen Rahmen zu ziehen, innerhalb dessen die endgültige Klärung zu erwarten ist.

Zum Schluß sei noch die Frage gestreift, welche Bedeutung den ombrogenen ozeanischen Deckenhochmooren für die Erschei-

nung der Xeromorphie der Hochmoorpflanzen zukommt. 1931 versuchte ich die Gruppe der «Hochmoorpflanzen» schärfer zu fassen durch die Beschränkung auf das «eigentliche, echte» Hochmoor, das die Ökologie des Hochmoors am reinsten ausdrückt. Die Moore der extrem ozeanischen westeuropäischen Landschaften sollten nach v. Post der soligenen Moorregion angehören, also mehr oder weniger stark unter dem Einfluß von Oberflächenwasser stehen, das mit dem Mineralboden in Berührung kam, wodurch also das Eindringen eu- oder mesotropher Arten leicht erklärt werden könnte. Osvald (1923, 1925) hatte zwar schon damals den Begriff der «terrainbedeckenden Moore» aufgestellt und sie zu den «mehr oder weniger ombrogenen Mooren» gezählt. Aber die Angaben, die er über diese machen konnte, ließen noch nichts von der eigenartigen Flora der ozeanischsten Hochmoore ahnen. Man gewann vielmehr den Eindruck (Firbas 1931, S. 476), daß diese Moore nur eine verarmte, aber sonst nicht veränderte Flora der echten Hochmoore tragen. Dies muß heute also berichtigt werden. Kann man nun auch in den ozeanischen Deckenhochmooren von einer Xeromorphie der Hochmoorpflanzen sprechen?

Es wäre sehr erwünscht, die Flora der irischen «blanket bogs» nach den gleichen anatomischen und physiologischen Gesichtspunkten zu untersuchen, wie dies für die echten Hochmoore geschehen ist (vgl. Firbas 1931, Simonis 1947, Müller-Stoll 1947 und die dort angeführten Arbeiten). Vorläufig können wir die Pflanzen, die in den irischen Mooren zu dem bekannten Grundstock der Hochmoorpflanzen hinzutreten, in folgende Gruppen gliedern:

a) Nur in Westeuropa auftretende Ericaceen von offenbar xeromorphem Gepräge: *Erica cinerea, E. Mackaii.*

b) Arten mit einer eigenartigen, von der des xeromorphen Grundstocks abweichenden Ernährungsweise: *Pinguicula vulgaris, P. lusitanica; Pedicularis silvatica, P. palustris* (als Halbparasiten «wasservergeudend»); *Orchis maculata* (vereinzelt auch in echten Hochmooren z. B. Nordwestdeutschlands).

c) Arten, die in den echten Hochmooren in Kolken auftreten und auch in Irland weitgehend an die größeren Schlenken gebunden sind: *Menyanthes trifoliata.*

d) Heidepflanzen, die den echten Hochmooren fehlen, dagegen häufig relativ trockene, verheidete Standorte besiedeln, darunter z. T. auch abgetrocknete Hochmoore: *Potentilla erecta, Luzula campestris, Deschampsia flexuosa, Lycopodium selago, Molinia coerulea, Polygala vulgaris,* weniger *Luzula silvatica.*

e) Andere Arten: *Schoenus nigricans, Rhynchospora fusca, Carex panicea, Anagallis tenella.*

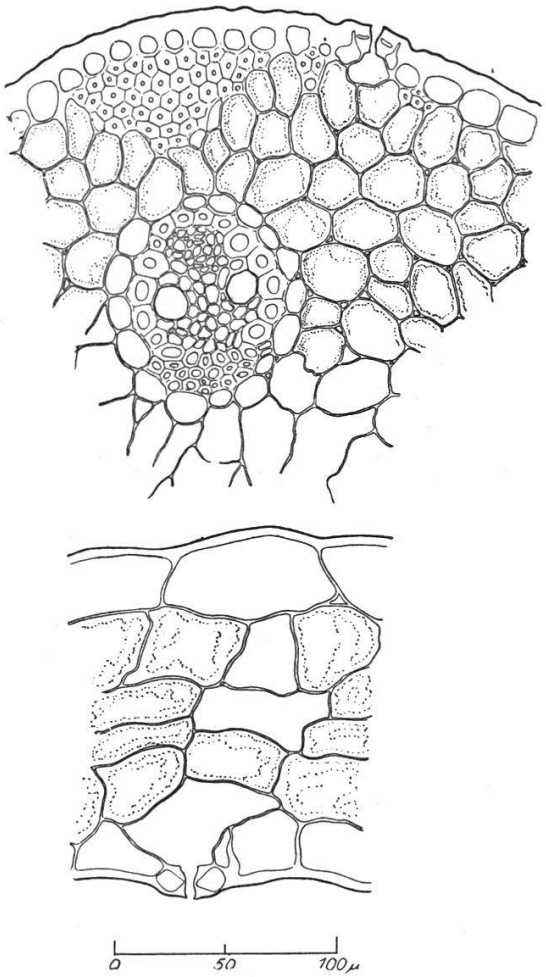

Abb. 1. Blattquerschnitte. Oben: *Schoenus nigricans* (Deckenmoor bei Mallaranny, 15. 7. 1949). Unten: *Anagallis tenella.* Übergangsmoor am Esker nördlich Tullamore, 10. 7. 1949.

Durch hohe Stetigkeit und Dominanz zeichnen sich von diesen Arten außer *Narthecium ossifragum* nur *Molinia coerulea* und *Schoenus nigricans* aus.

Zweifellos wird durch das Eindringen dieser Arten die in den mittel- und nordeuropäischen Hochmooren sehr ausgeprägte Xero-

morphie abgeschwächt. Doch gilt dies für die neu hinzutretenden Dominanten nicht oder nur in geringem Maße. Leider habe ich versäumt, *Molinia* in den westirischen Mooren zu sammeln. *Narthecium ossifragum* wurde schon früher als «schwach xeromorph» bezeichnet (Firbas, S. 489). In die gleiche Gruppe wird man auch *Anagallis tenella* einordnen können. *Schoenus nigricans*, die hervorstechendste Dominante, ist dagegen ausgeprägt xeromorph. Über diese beiden letztgenannten Arten vgl. Abb. 1, die allerdings nur auf die Untersuchung von Herbarmaterial zurückgeht. Es ist dazu noch zu sagen:

Schoenus nigricans. Borstenförmige Blätter mit kräftiger Epidermis (Epidermis-Außenwand 5—9 μ) und einer dicken Cuticula (0,6—0,9 μ), die über die Spaltöffnungen hinweg bis in die Atemhöhle hineinreicht, mit einer größeren Zahl subepidermaler Sklerenchymstränge, etwa 7—12 Gefäßbündeln mit kräftigen, ringsum geschlossenen Sklerenchymscheiden und mit dicht gepacktem Assimilationsparenchym mit kleinen Interzellularen, das nach innen in dünnwandiges Markparenchym übergeht, an dessen Stelle im unteren Teil des Blattes ein großer Interzellularraum tritt. Spaltöffnungen mit kleinen, stark verdickten Schließzellen etwa im Niveau der Epidermis.

Anagallis tenella. Die nur wenige Millimeter großen Blätter verhältnismäßig dick (etwa 0,3—0,5 mm), beiderseits von einer großzelligen Epidermis überzogen, die ziemlich stark verdickte und kutinisierte Außenwände besitzt (Epidermis-Außenwand 3–6 μ, Cuticula 0,4—0,6 μ) und auf beiden Seiten Spaltöffnungen trägt, die etwas über die Epidermis emporgehoben sind. Mesophyll aus wenigen Zellschichten mit mäßig entwickelten Interzellularen.

Stichproben ergaben folgende, auf die Oberfläche bezogenen Werte der relativen Leitfläche: an einem Blatt von *Schoenus nigricans* basal L/O = 0,680; an einem Sproß von *Anagallis tenella* oberhalb der obersten Adventivwurzeln L/O = 0,430. Der Wert von *Schoenus* übertrifft noch etwas die von *Eriophorum vaginatum* und *Scirpus caespitosus* bekannten Werte, der von *Anagallis* steht *Narthecium* nahe (vgl. Firbas 1931, S. 510).

Die Xeromorphie der Hochmoorpflanzen ist seit H. Nilsson-Ehle (1898) öfters zu dem Nährstoffmangel der Hochmoore in Beziehung gesetzt worden. K. Mothes (1932) hat in diesem Zu-

sammenhang vor allem auf den Stickstoffmangel hingewiesen und wichtige experimentelle Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Ernährung und Struktur durchgeführt. Es liegt also der Gedanke nahe, die Abschwächung der Xeromorphie in den westirischen Hochmooren ebenfalls mit dem höheren Salzgehalt des Regenwassers in Verbindung zu bringen. Doch ist zu betonen, daß es vorerst, solange keine direkten Bestimmungen vorliegen, fraglich bleibt, ob die Deckenhochmoore auch stickstoffreicher sind als die echten ombrogenen Hochmoore. Auf den Hebriden wurde z. B. folgende Stickstoffzufuhr durch die Niederschläge festgestellt (in kg/ha/Jahr): 0,75—2,54 Gesamtstickstoff, 0,34—1,23 Nitratstickstoff. Ähnlich lauten die Angaben aus Island (vgl. Russel und Richards 1919). Das sind also sehr viel geringere Werte als in Mitteleuropa (vgl. Seite 186). Ob das reichere Vogelleben der küstennahen Landschaften für die N-Versorgung der Hochmoore von Bedeutung sein kann, ist wohl schwer abzuschätzen. Genaue Bestimmungen der Standortsfaktoren und experimentell-ökologische Untersuchungen wären in den Deckenhochmooren Westirlands jedenfalls von großem Interesse.

Zusammenfassung

Die Teilnehmer der IX. I. P. E. lernten in Irland das überraschende Vorkommen sonst als mesotroph oder sogar als basiphil geltender Arten wie besonders *Schoenus nigricans* mitten in ombrogenen Hochmooren kennen, das Tansley und Osvald auf die Veränderung der Bodenreaktion durch den mit den Stürmen landeinwärts getriebenen Seegischt zurückführen. Anknüpfend an diese Erscheinung wird versucht, eine Stoffbilanz für die Ernährung der Hochmoore auf Grund von Angaben über die chemische Zusammensetzung der Torfe, den wahrscheinlichen Betrag ihrer jährlichen Auswaschung und über die mögliche Stoffzufuhr durch den Regen und den minerogenen und organogenen Anteil des Flugstaubs aufzustellen. Anhangweise wird die Bedeutung der irischen Hochmoorflora für die Erscheinung der Xeromorphie der Hochmoorpflanzen besprochen. Obwohl diese durch das Auftreten der mesotrophen Arten etwas abgeschwächt wird, ist doch die Leitart dieser Artengruppe, *Schoenus nigricans,* bezeichnenderweise eine ausgesprochen xeromorphe Form.

Beijerinck, W.: De Oorsprung onzer Heidevelden. Nederl. Kruidk. Arch. *43*, 1933 (272—292).

Blanck, E. u. Mitarb.: Handbuch der Bodenlehre. Berlin 1929—1939.

Boysen-Jensen, P.: Elemente der Pflanzenphysiologie. Jena 1939.

Braun-Blanquet, J.: Pflanzensoziologie. Berlin 1928.

Brüne, F., Lilienthal, K. und Overbeck, F.: Beiträge und Fragmente zu einem Moorkatechismus von Jürgen Christian Findorff. Oldenburg 1937.

Burgeff, H.: Problematik der Mycorhiza. Die Naturwissenschaften *31*, 1943 (558—567).

Cauer, H.: Moor als Sammelbecken atmosphärischen Jodes. Der Balneologe *3*, 1936 (180—184).

— Chemisch-bioklimatische Studien im Glatzer Bergland. A. gl. O. *4*, 1937 (546—565).

Cauer, H. und G.: Das Magnesiumchlorid der Nebelkerne. A. gl. O. *9*, 1942 (301—309).

Clarke, Fr. W.: The Data of Geochemistry. 5. Aufl. Unit. Stat. Geol. Survey, Bullet. *770*, 1924.

Conolly, G.: The vegetation of Southern Connemara. Proc. R. Irish Ac., Dublin, *39* B 12, 1930 (203—231).

Drischel, H.: Chlorid-, Sulfat- und Nitratgehalt der atmosphärischen Niederschläge in Bad Reinerz und Oberschreiberhau im Vergleich zu bisher bekannten Werten anderer Orte. Der Balneologe *7*, 1940 (321 bis 334).

Firbas, F.: Untersuchungen über den Wasserhaushalt der Hochmoorpflanzen. Jahrb. wiss. Bot. *74*, 1931 (459—696).

— und Sagromsky, H.: Untersuchungen über die Größe des jährlichen Pollenniederschlags vom Gesichtspunkt der Stoffproduktion. Biol. Zbl. *66*, 1947 (129—140).

Fleischer, M.: Die Bodenkunde auf physikalisch-chemischer Grundlage. Berlin 1909.

Freisleben, R.: Weitere Untersuchungen über die Mykotrophie der Ericaceen. Jahrb. wiss. Bot. *82*, 1936 (413—459).

Früh, J. und Schröter, C.: Die Moore der Schweiz. Beitr. z. Geol. d. Schweiz. Bern 1904.

Gams, H. und Ruoff, S.: Geschichte, Aufbau und Pflanzendecke des Zehlaubruches. Schr. Phys. Oekon. Ges. Königsberg i. Pr., *66*, 1929 (1—193).

Gessner, Fr.: Nährstoffgehalt und Planktonproduktion in Hochmoorblänken. Arch. Hydrobiol. *25*, 394—406.

Glarion, H.: Staub und Staubfälle in Arosa. Beitr. z. Physik d. freien Atmosphäre *25*, 1939.

Granlund, E.: De svenska Högmossarnas Geologie. Sver. Geol. Undersökn. Årsbok *26*, 1932 (1—193).

Haselhoff, E. und Blanck, E.: Lehrbuch der Agrikulturchemie. Berlin 1927.

Hellmann, G. und Meinardus, W.: Der große Staubfall vom 9. bis 12. März 1901 in Nordafrika, Süd- und Mitteleuropa. Abh. Preuß. Meteor. Inst. *II/1*, Berlin 1901.

Herrmann, E.: Die Staubfälle vom 19.—23. Februar 1903 über dem Nordatlantischen Ozean, Großbritannien und Mitteleuropa. Ann. d. Hydrogr. *31*, 1903 (425 und 475).

Jörgensen, C. A.: Kvaelstofproblemet paa Maglemose og andre Höjmoser. Botanisk. Tidskr. *39*, 1927 (463 ff.).

Juhlin-Danfeldt, C.: About the occurrence of various forms of pollen allergy in Sweden. Acta Medica Scandin. Suppl. *206* (563—577).

Kalle, K.: Der Stoffhaushalt des Meeres. Leipzig 1943.

Kotilainen, M.: Untersuchungen über die Beziehungen zwischen der Pflanzendecke der Moore und der Beschaffenheit, besonders der Reaktion des Torfbodens. Wiss. Veröff. Finn. Moorkulturverein *7*, 1928 (219 S.)

Laatsch, W.: Dynamik der deutschen Acker- und Waldböden. Dresden und Leipzig 1944, 2. Aufl.

Leiningen, W. Graf zu: Die Waldvegetation präalpiner bayerischer Moore. Natur. Zeitschr. f. Land- und Forstwirtsch. *5*, 1907.

Leuchs, K.: Die Bedeutung von Staubstürmen für die Sedimentation. Centralbl. Min. Geol. Pal. Abt. B, 1932 (145—156).

Malmström, C.: Degerö Stormyr. Medd. fr. Stat. Skogsförsöksanst. *20/1*, 1923 (206 S.).

— Über die Bedeutung der Nährstoffbedingungen für das waldproduktive Vermögen der Torfböden. A. gl. O. *28/6*, 1935 (571—650).

Marthaler, H.: Die Stickstoffernährung der Hochmoorpflanzen. Jahrb. wiss. Bot. *88*, 1938 (S. 723 ff.).

Melin, E.: Studier över de Norrländska myrmarkernas vegetation. Norrländskt Handbibliothek, Uppsala *7*, 1917 (426 S.).

Miller, N. H. S.: The amount of nitrogen as ammonia and as nitric acid, and of Chlorine in the rain water collected at Rothamsted. Proc. Chem. Soc. London *18*, 1902 (88—89).

Mothes, K.: Ernährung, Struktur und Transpiration. Biol. Zbl. *52*, 1932 (193—223).

Müller, K.: Das Wildseemoor bei Kaltenbronn im Schwarzwald, ein Naturschutzgebiet. Karlsruhe 1924.

Müller-Stoll, W. R.: Der Einfluß der Ernährung auf die Xeromorphie der Hochmoorpflanzen. Planta *35*, 1947 (225—251).

Nordhagen, R.: Die Vegetation und Flora des Sylenegebietes. Norsk. Vid. Ak. Skr., I Mat. Nat. Kl., *1*, 1928 (612 S.), Oslo.

Oberdorfer, E.: Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Südwestdeutschland, Stuttgart 1949, 411 S.

Osvald, H.: Die Vegetation des Hochmoores Komosse. Svenska Växtsociol. Selsk. Handl., Uppsala, *1*, 1923 (436 S.).

— Die Hochmoortypen Europas. Veröff. Geobot. Inst. Rübel, Zürich, *3*, 1925 (707—723).

— Notes on the Vegetation of British and Irish Mosses. Acta Phytogeogr. Suec. *26*. 1949 (1—62).

Paul, H.: Die Kalkfeindlichkeit der Sphagna und ihre Ursache. Mitt. Bayer. Moorkulturanstalt *2*, 1908.

Polak, B.: Über Torf und Moor in Niederländisch Indien. Verh. Kon. Ak. Wetensch. Amsterdam. 2. Ser., *XXX/3*. 1933 (1—85).

Post, L. v.: Einige Aufgaben der regionalen Moorforschung. Sver. Geol. Undersökn. Arsbok, Stockholm, *19/4*. 1926 (41 S.).

— und Granlund, E.: Södra Sveriges Torftillgångar I, A. gl. O. *19/2*. 1926 (127 S.).

Prytz, K.: Der Kreislauf des Wassers auf unberührtem Hochmoor. Ingeniorvidensk. Skrifter. *A/33*. 1932 (125 S.).

Ramann, E.: Bodenkunde. 3. Aufl. Berlin 1911.

Redinger, K.: Studien zur Ökologie der Moorschlenken. Beih. Bot. Cbl. *52/B*. 1934 (231—309).

Rippel-Baldes, A.: Grundriß der Mikrobiologie. Berlin und Göttingen 1947.

Romell, L. G.: Organic dust in the air, and the ammonia found in atmospheric waters. Svensk Bot. Tidskr. *40*, 1946 (1—8).

Russel, E. J.: Boden und Pflanze. 2. Aufl., Dresden und Leipzig 1936.

— and Richards, E. H.: The amount and composition of rain falling at Rothamsted, Journ. Agricult. Science *9*, 1919 (309—337).

Schaede, R.: Die pflanzlichen Symbiosen. 2. Aufl. Jena 1948.

Schimper, A. F. W.: Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage. Jena 1898.
— und Faber, F. C. v.: Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage. 3. Aufl. Jena 1935.
Schreiber, H.: Moorkunde. Berlin 1927.
Tacke, Br.: Über die Ausnutzung des Stickstoffs verschiedener Hochmoorböden durch die Pflanzen. Landw. Jahrb. *65*, Erg. Bd. I, 1927 (59—65).
— Die naturwissenschaftlichen Grundlagen der Moorkultur. Berlin 1929.
Tinbergen, L.: Observations sur l'évaporation de la végétation d'une tourbière dans les Hautes Fagnes de Belgique. Mem. Soc. Roy. Sc. Liège, 4. s. *IV/1*, 1940 (21—75).
Tjuremnoff, S. N.: Torflagerstätten (russisch). Moskau 1940.
Tüxen, R.: Die Pflanzengesellschaften Nordwestdeutschlands. Mitt. Flor. Soz. Arbeitsgemeinsch. Niedersachsen *3*, 1937 (1—170).
Walter, H.: Einführung in die allgemeine Pflanzengeographie Deutschlands. Jena 1927.
Warming, E.: Lehrbuch der ökologischen Pflanzengeographie. Berlin 1896.
Webb, D. A.: Notes on the acidity, Chloride content and other chemical features of some Irish fresh waters. Scient. Proc. Roy., Dublin, Soc., *24* (N. S.)/24, 1947 (215—228).
Weber, C. A.: Über die Vegetation und Entstehung des Hochmoors von Augstumal im Memeldelta. Berlin 1902.
Zailer, V. und Wilk, L.: Über den Einfluß der Pflanzenkonstituenten auf die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Torfes. Zschr. Moorkultur und Torfverwertung, Wien, *5*, 1907 (40, 111, 197).
Zobrist, L.: Pflanzensoziologische und bodenkundliche Untersuchung des Schoenetum nigricantis im nordostschweizerischen Mittelland. Beitr. geobot. Landesaufn. Schweiz *18*, 1935 (144 S.).
Zunker: Die Abflußverhältnisse und Sackungserscheinungen bei der Entwässerung des Kehdinger Hochmoors. Ber. 6. Komm. d. internat. Bodenkundl. Ges., Zürich 1937. (Zit. nach Schirmer.)