

Lebende Wurzeln in Hoch- und Niedermooren

VON JÜRGEN SCHWAAR *)

Zusammenfassung: In den oberflächennahen Schichten eines Nieder- und eines Hochmoores wurden die Wurzelvolumina (Rhizome eingeschlossen) von zwei dort jetzt wachsenden Pflanzenarten bestimmt. Hierbei handelte es sich um *Deschampsia caespitosa* (Niedermoor) und *Narthecium ossifragum* (Hochmoor). Dabei ergab sich für jede Art ein typisches Wurzelbild. Besonders auffällig war, daß gerade eine Art des unkultivierten Hochmoores besonders umfangreiche Wurzelanteile aufwies. Die Abnahmen der unterschiedlichen Pflanzenmassen vollziehen sich nicht nur kontinuierlich von oben nach unten, sondern verlaufen auch teilweise unregelmäßig. Die Maxima erscheinen in den beiden obersten Schichten. Bei *Deschampsia caespitosa* wird für die oberste Schicht ein überwiegend waagerechter Verlauf der Wurzeln sichtbar; *Narthecium ossifragum* zeigt mit vorwiegend senkrechter Durchwurzelung in dieser Lage das Gegenteil. In die Untersuchungen wurden nur lebende Wurzeln einbezogen.

Summary: Roots investigations of surface layer were made in a fen and a bog. The volume of the roots of species *Deschampsia caespitosa* and *Narthecium ossifragum* were determined. A typical root-distribution was found for each species. The greatest volume of the roots showed *Narthecium ossifragum*, which grewed in a bog. The decrease of the roots occurs both proportionately and disproportionately. The maximum appears in the uppermost layer. In this layer prevailed roots in horizontal direction of *Deschampsia caespitosa* and in vertical direction of *Narthecium ossifragum*. Only living roots were inquired.

Einleitung

Zur Charakterisierung eines Bodens genügen nicht allein chemische und physikalische Kennwerte. Ebenso notwendig sind Gefügemerkmale, die mit mikromorphometrischen Untersuchungsmethoden ermittelt werden können. Bereits KUBIENA (1967) wies auf die Notwendigkeit diesbezüglicher Untersuchungen hin. Als besonders wichtig gelten dabei die Durchwurzelungsverhältnisse. Die Vegetation der Moore bietet sich in diesem Fall als besonders geeignetes Untersuchungsobjekt an. Denn hier kann auf die aufwendige Anfertigung der sonst erforderlichen Dünnschliffe verzichtet werden; stattdessen erlauben die fehlenden, größeren mineralischen Anteile eine rasche Serienherstellung von Mikrotomschnitten. Diese mikromorphologischen Abbilder gestatten eine quantitative Erfassung der Wurzelmasse.

*) Anschrift des Verfassers: Dr. J. SCHWAAR, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Außeninstitut für Moorforschung und Angewandte Bodenkunde, 28 Bremen, Friedrich-Mißler-Straße 46—48.

Untersuchungsgebiet

Im Niedermoorgebiet südlich des Sellstedter Sees (Top. Karte 1 : 25 000, Nr. 2418, rechts 81 200, hoch 33 600) wählten wir extensiv genutztes Grünland aus, das als Pflanzengesellschaft ein *Senecioni-Brometum racemosi* (Wassergreiskrautwiese) trug und eine starke Durchdringung mit *Deschampsia caespitosa* (Rasenschmiele) aufwies. Diese Art wurde kontinuierlich bis 18 cm Tiefe auf ihre Wurzelmenngen untersucht. Das gleiche geschah mit *Narthecium ossifragum* (Beinbrech), das in einem *Ericetum tetralicis* (Glockenheidegesellschaft) der noch unkultivierten Restfläche des Ahlenmoores (Hochmoor) siedelte (Top. Karte 1 : 25 000, Nr. 2218, rechts 83 120, hoch 52 840). Beide Standorte liegen im Kreis Wesermünde.

Methoden

In den Methoden folgen wir PUFFE und GROSSE-BRAUCKMANN (1963, 1964, 1965). Stellenweise mußten diese Methoden aber modifiziert werden, um sie den neuen Gegebenheiten anzupassen. Einzelheiten der abgeänderten Untersuchungsmethode können in einer demnächst erscheinenden weiteren Veröffentlichung des Verfassers (SCHWAAR, 1972) nachgelesen werden. Zur Untersuchung gelangte jeder 20. Schnitt. Da die Schnittdicke 20 μ betrug, erreichten wir bei den Serienschnitten Abstände von 400 μ .

Wir entschieden uns für einartige Bestände, um Schwierigkeiten der Artenbestimmung von Wurzeln zu entgehen. Mit einem Integration-Strichplattenrevolver der Firma Zeiss wurde die Bodendurchwurzelung in Vol.-% des Gesamtvolumens ermittelt. Dieses geschah an parallel zur Oberfläche verlaufenden Horizontalschnitten und senkrecht dazu verlaufenden Vertikalschnitten. Die Auswertung erfolgte mit der Punktzählmethode nach GAHM (1968). Die errechneten Werte stellen die arithmetischen Mittel aus allen untersuchten Schnitten in der jeweiligen Tiefe dar. Untersucht wurden nur lebende Wurzelanteile. Hierzu zählten wir alle Wurzeln, die keine Bräunungen aufwiesen und im anatomischen Aufbau keinen Zerfall irgendwelcher Strukturen zeigten. Uns ist bekannt, daß auch bei nicht mehr intakter Rinde noch physiologische Funktionen wahrgenommen werden können, die aber mikromorphologisch nicht faßbar sind.

Untersuchungsergebnisse

Zu den Ergebnissen möge gesagt sein, daß die manchmal abweichenden Werte zwischen Horizontal- und Vertikalabschnitten in ein- und derselben Tiefe ein stereologisches Problem berühren. Senkrecht zur Oberfläche verlaufende Wurzeln ergeben mit der Punktzählmethode in Vertikalschnitten (hier längs geschnitten) größere Volumenwerte als in Horizontalschnitten. Somit zeigen höhere Wurzelanteile in den Vertikalschnitten eine überwiegend senkrecht zur Oberfläche verlaufende Richtung des Wurzelwachstums an. Die Umkehrung würde überwiegend parallel zur Oberfläche stattfindendes Wurzelwachstum andeuten.

Die extensive Grünlandnutzung im *Senecioni-Brometum racemosi* wird durch das starke Auftreten von *Deschampsia caespitosa* deutlich. Die Wurzelvolumina dieser Art (Abb. 1 und Tafel I) nehmen bei den Horizontalschnitten von oben nach unten kontinuierlich ab. Die oberste Lage (0—3 cm)¹⁾ hat Anteile von 7,7 % (Höchstwert), die in der darunter befindlichen Lage (3—6 cm) nur geringfügig bis 7,6 % absinken. Bei 6—9 cm geschieht dann ein starker Abfall auf 1,5 %. In 9—12 cm Tiefe erfolgt nur eine unbedeutende Verminderung, die zu 1,2 % führt. Anschließend werden knapp

0,4 ‰ bei 12—15 cm Tiefe und 0,2 ‰ in 15—18 cm verzeichnet. Die Wurzelvolumina der Vertikalschnitte verteilen sich nur in den oberen Zonen etwas anders. Die oberflächennahe Lage (0—3 cm) weist Werte von 5 ‰ auf, die dann bei 3—6 cm mit 7,5 ‰ ein Maximum erreichen. In den folgenden Tiefen bestehen keine Abweichungen gegenüber den Horizontalschnitten. Hier erfolgt also die Abnahme der Wurzeln von oben nach unten nicht kontinuierlich. Die wenig voneinander abweichenden Werte der Horizontal- und Vertikalschnitte zeigen eine angenähert gleiche Verteilung der Wuchsrichtungen. Eine Ausnahme macht die oberste Schicht, in der auf Grund der höheren Durchwurzelung bei

Abb. 1

Intensität der Bodendurchwurzelung in Vol. %
Senecioni - Brometum racemosi

Deschampsia caespitosa, Wurzeln

Entnahme: 12. 6. 1969
 Boden/Ort Niedermoor
 am Sellstedter See

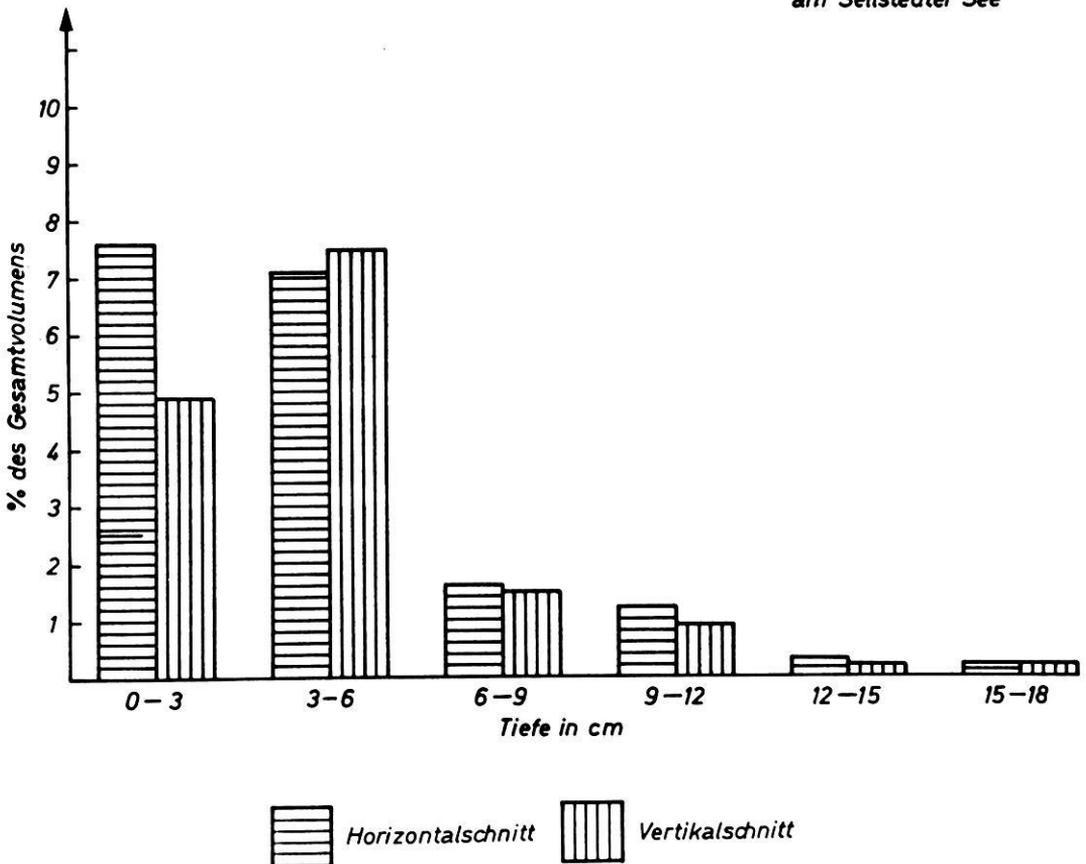


Abb. 1: Intensität der Bodendurchwurzelung in Vol.-‰; Senecioni-Brometum racemosi.

Fig. 1: Root-intensity in soil (Vol.-‰); Senecioni-Brometum racemosi.

¹⁾ Die Angaben beziehen sich auf die Tiefe im Profil.

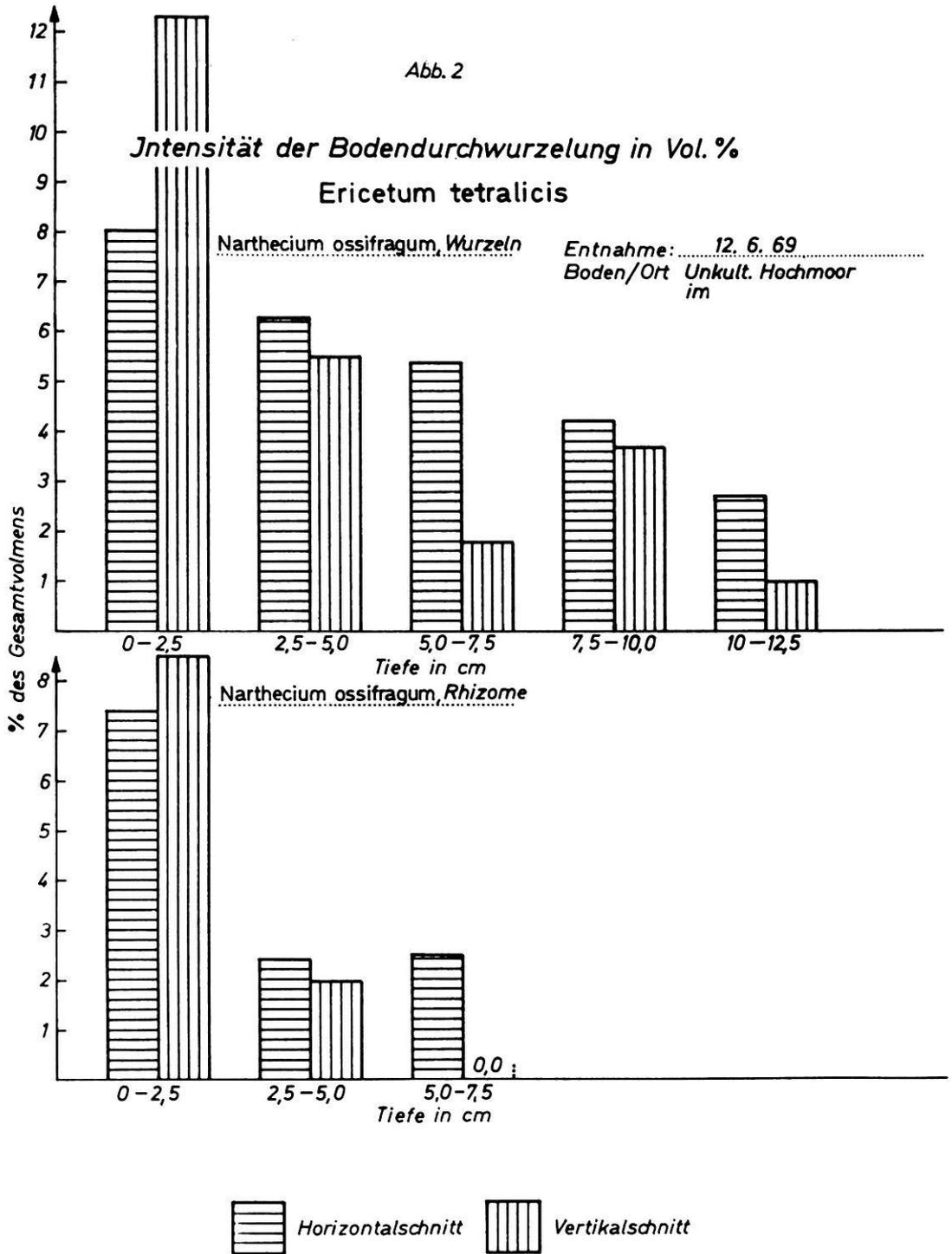


Abb. 2: Intensität der Bodendurchwurzelung in Vol.-%; *Ericetum tetralicis*.
Fig. 2: Root-intensity in soil (Vol.-%); *Ericetum tetralicis*.

den Horizontalschnitten die parallel zur Oberfläche verlaufende Richtung überwiegt. Diese mikromorphologisch festgestellte Tatsache läßt sich auch mit makroskopischer Wurzelpräparation aufzeigen. Bereits METSÄVAINO (1931) berichtet aus Finnland, daß die Wurzeln auf Moor wachsender *Deschampsia caespitosa* in Oberflächennähe waagrecht verlaufen. Die botanische Zusammensetzung der Torfe seines und unseres Standortes zeigen große Ähnlichkeit (Laubmoostorfe mit *Calliargon*-Arten), während die festgestellten Durchwurzelungstiefen voneinander abweichen; denn diese werden dort nur mit 10—12 cm angegeben.

Interessante Aspekte erbrachte das unkultivierte Hochmoor mit der Pflanzengesellschaft des *Ericetum tetralicis*. Wir untersuchten *Narthecium ossifragum*, eine typische Art dieser Assoziation. Hier wird eine starke Durchwurzelung erreicht (Abb. 2 und Tafel II). Rhizome und Wurzeln zusammen ergeben in 0—2,5 cm Tiefe Volumina von 15,5 % (Horizontalschnitte) und 20,8 % (Vertikalschnitte). In den folgenden Schichten zwischen 2,5—7,5 cm bewegen sich die Werte noch zwischen 7—8 %. Unterhalb 7,5 cm sind keine Rhizome mehr vorhanden. Diese allein erreichen in 0—2,5 cm Tiefe Anteile von 7,4 % (Horizontalschnitte) und 8,5 % (Vertikalschnitte). In der folgenden Tiefe (2,5—5 cm) sinken diese Volumina auf 2,5 bzw. 2 % ab. In 5—7,5 cm Tiefe konnten nur noch bei den Horizontalschnitten 2,5 % festgestellt werden. Die Wurzelanteile (im engeren Sinn) nehmen bei den Horizontalschnitten kontinuierlich von oben nach unten ab. In der obersten Schicht (0—2,5 cm) verzeichnen wir 8,1 %, die darunter (2,5—5 cm) auf 6,3 % absinken. Weiter unten (5—7,5 cm) vermindern sich die Anteile auf 5,4 %, um über 4,2 % (7,5—10 cm) auf 2,7 % in 10—12,5 cm Tiefe abzusinken. Die Wurzelvolumina der Vertikalschnitte zeigen eine zweigipfelige Kurve. Das erste Maximum liegt mit 12,3 % in der obersten Schicht (0—2,5 cm). Bis 5—7,5 cm Tiefe verzeichnen wir eine Verminderung auf 1,9 % über 5,5 % (2,5—5 cm). In 7,5—10 cm Tiefe wird eine erneute Steigerung mit 3,7 % sichtbar; von diesem zweiten Höchstwert sinken dann die Werte in 10—12,5 cm Tiefe auf 1,1 % ab.

Die Unterschiede zwischen den Horizontal- und Vertikalschnitten sind bei den Wurzeln in der obersten Schicht beträchtlich und betragen 4,2 %. Da die Vertikalschnitte in ihren Anteilen überwiegen, müssen hier die Wurzeln vorherrschend senkrecht zur Oberfläche verlaufen. In der folgenden Schicht sind die Unterschiede gering und deuten auf ein angenähert ausgewogenes Verhältnis der Wuchsrichtungen hin. Tiefer, bei 5—7,5 cm, erscheinen wieder Differenzen von 3,5 %. Hier liegen die Verhältnisse umgekehrt; überwiegend parallel zur Oberfläche streichende Wurzeln lassen sich feststellen. Dasselbe tritt noch einmal bei 10—12,5 cm Tiefe — wenn auch schwächer ausgeprägt — auf. Bei den Rhizomen zeichnen sich nur schwache Unterschiede in den Wuchsrichtungen ab, wie die geringen Differenzen zwischen den jeweiligen Schnittrichtungen zeigen.

Die Volumina der unterirdischen, lebenden Pflanzenteile sind bei *Narthecium ossifragum* größer als bei *Deschampsia caespitosa*. Über die Ursache dieses Phänomens kann vorläufig noch nichts gesagt werden. Das Problem wird weiter verfolgt. Über Wurzeluntersuchungen an weiteren Pflanzenarten wird demnächst berichtet werden.

Ausblick

Um angenähert gleiche Voraussetzungen im Bodenbildungsprozeß zu haben, wählen wir die untersuchten Beispiele aus. Denn beide Standorte sind im Hinblick auf das Substrat Grenzstadien zwischen Gestein (Torf) und Boden. Eine Torfbildung findet nicht

Nebestehende Bildtafel I zeigt die Abbildungen I/1 bis I/12

- I/1 Stark zersetzter Niedermoortorf mit quer und längs geschnittenen Wurzeln von *Deschampsia caespitosa*, diese teilweise in Hohlräumen, die von zersetzten Wurzeln herrühren (2,5 x, 3—6 cm, H) ²⁾.
- I/2 Stark zersetzter Niedermoortorf in der oberen Bildhälfte quer geschnittene Wurzel von *Deschampsia caespitosa*; (5 x, 3—6 cm, H).
- I/3 Quer geschnittene Wurzel von *Deschampsia caespitosa* (22 x, 3—6 cm, H).
- I/4 Quer geschnittene Wurzeln von *Deschampsia caespitosa* (22 x, 3—6 cm, H).
- I/5 Stark zersetzter Niedermoortorf mit quer geschnittener Wurzel von *Deschampsia caespitosa* (5 x, 6—9 cm, H).
- I/6 Stark zersetzter Niedermoortorf; über das ganze Bild verstreut quer geschnittene Wurzeln von *Deschampsia caespitosa* (2,5 x, 6—9 cm, H).
- I/7 Stark zersetzter Niedermoortorf mit überwiegend quer geschnittenen Wurzeln von *Deschampsia caespitosa* (2,5 x, 9—12 cm, H).
- I/8 Quer und längs geschnittene Wurzeln von *Deschampsia caespitosa* (22 x, 9—12 cm, H).
- I/9 Mäßig zersetzter Niedermoortorf mit noch strukturierten Resten der torfbildenden Vegetation; in der Bildmitte quer geschnittene Wurzel von *Deschampsia caespitosa*; daneben Laubmoosstengel (*Calliargon*) der torfbildenden Vegetation (5 x, 12—15 cm, V).
- I/10 Laubmoosstengel der torfbildenden Vegetation (*Calliargon*) (22 x, 15—18 cm, V).
- I/11 Quer geschnittene Wurzel von *Deschampsia caespitosa* (22 x, 15—18 cm, V).
- I/12 Quer geschnittene Wurzel von *Deschampsia caespitosa* (22 x, 15—18 cm, H).

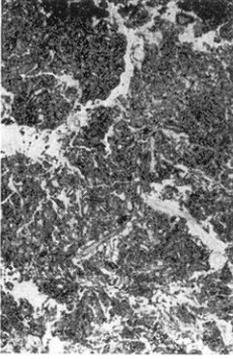
²⁾ cm-Angaben = Tiefe im Profil; H = Horizontalschnitt; V = Vertikalschnitt.

Plate I shows the illustrations I/1 to I/12

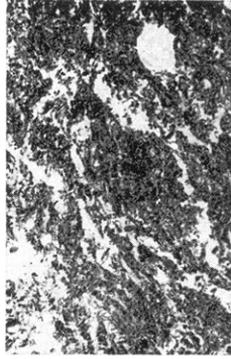
- I/1 Much decomposed eutrophic peat with cross and along cut roots of *Deschampsia caespitosa*; partly cavities, which descended from decomposed roots (2,5 x, 3—6 cm, H) ²⁾.
- I/2 Much decomposed eutrophic peat; the upper part of picture shows a cross cut root of *Deschampsia caespitosa* (5 x, 3—6 cm, H).
- I/3 Cross cut root of *Deschampsia caespitosa* (22 x, 3—6 cm, H).
- I/4 Cross cut roots of *Deschampsia caespitosa* (22 x, 3—6 cm, H).
- I/5 Much decomposed eutrophic peat with cross cut root of *Deschampsia caespitosa* (5 x, 6—9 cm, H).
- I/6 Much decomposed eutrophic peat; over the whole picture scattered cross cut roots of *Deschampsia caespitosa* (2,5 x, 6—9 cm, H).
- I/7 Much decomposed eutrophic peat with prevailing cross cut roots of *Deschampsia caespitosa* (2,5 x, 9—12 cm, H).
- I/8 Cross and along cut roots of *Deschampsia caespitosa* (22 x, 9—12 cm, H).
- I/9 Few decomposed eutrophic peat with structured rests of the peat forming vegetation; the middle of the picture shows a cross cut root of *Deschampsia caespitosa*. Next to it moss-stem (*Calliargon*) of the peat forming vegetation (5 x, 12—15 cm, V).
- I/10 Moss-stem of the peat forming vegetation (*Calliargon*) (22 x, 15—18 cm, V).
- I/11 Cross cut root of *Deschampsia caespitosa* (22 x, 15—18 cm, V).
- I/12 Cross cut root of *Deschampsia caespitosa* (22 x, 15—18 cm, H).

²⁾ depth in cm below surface; H = horizontal section, V = vertical section.

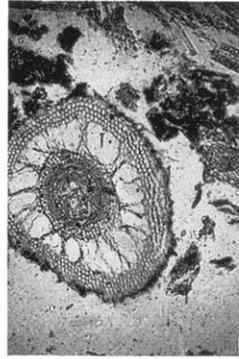
Tafel I



1



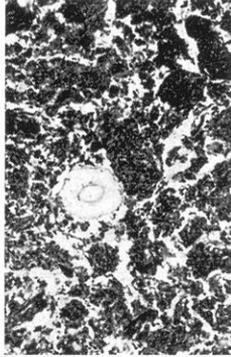
2



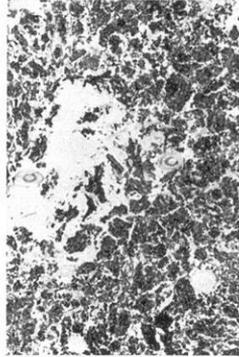
3



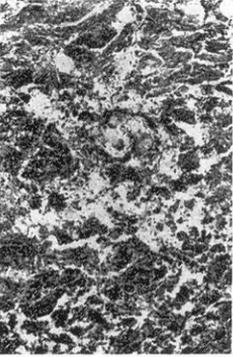
4



5



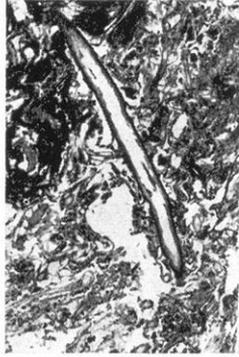
6



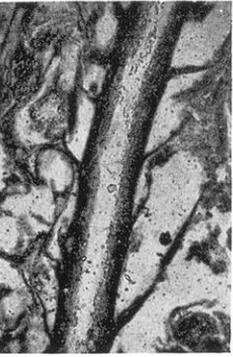
7



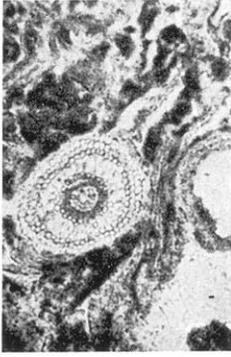
8



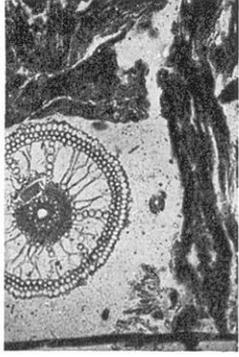
9



10



11



12

Nebenstehende Bildtafel II zeigt die Abbildungen II/1 bis II/12

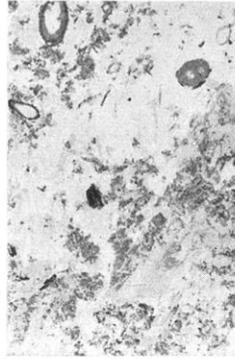
- II/1 Quer und längs geschnittene Rhizome und Wurzeln von *Narthecium ossifragum* (5 x, 2,5—5 cm, V).
- II/2 In der Bildmitte quer geschnittene Wurzel von *Narthecium ossifragum* (2,5 x, 2,5—5 cm, H).
- II/3 Quer und längs geschnittene Wurzeln von *Narthecium ossifragum* (22 x, 2,5—5 cm, V).
- II/4 Stark zersetzter Hochmoortorf mit längs und quer geschnittenen Wurzeln von *Narthecium ossifragum* (2,5 x, 7,5—10 cm, H).
- II/5 Längs geschnittene Wurzel von *Narthecium ossifragum* (11 x, 7,5—10 cm, H).
- II/6 Längs und quer geschnittene Wurzeln von *Narthecium ossifragum* (5 x, 7,5—10 cm, H).
- II/7 Stark zersetzter Hochmoortorf mit quer geschnittenen Wurzeln von *Narthecium ossifragum* (2,5 x, 10—12,5 cm, H).
- II/8 Stark zersetzter Hochmoortorf; am linken Bildrand quer geschnittene Wurzel von *Narthecium ossifragum* (5 x, 10—12,5 cm, H).
- II/9 Stark zersetzter Hochmoortorf; am linken oberen Bildrand quer geschnittene Wurzel von *Narthecium ossifragum* (11 x, 10—12,5 cm, H).
- II/10 Stark zersetzter Hochmoortorf; am oberen Bildrand quer geschnittene Wurzel von *Narthecium ossifragum* (11 x, 10—12,5 cm, H).
- II/11 Stark zersetzter Hochmoortorf; in der Bildmitte quer geschnittene Wurzel von *Narthecium ossifragum* (11 x, 10—12,5 cm, H).
- II/12 Stark zersetzter Hochmoortorf; in der Bildmitte schräg geschnittene Wurzel von *Narthecium ossifragum* (11 x, 10—12,5 cm, H).

Plate II shows the illustrations II/1 to II/12

- II/1 Cross and along cut rhizomes and roots of *Narthecium ossifragum* (5 x, 2,5—5 cm, V).
- II/2 The middle of the picture shows a cross cut root of *Narthecium ossifragum* (2,5 x, 2,5—5 cm, H).
- II/3 Cross and along cut roots of *Narthecium ossifragum* (22 x, 2,5—5 cm, V).
- II/4 Much decomposed bog peat with cross and along cut roots of *Narthecium ossifragum* (2,5 x, 7,5—10 cm, H).
- II/5 Along cut root of *Narthecium ossifragum* (11 x, 7,5—10 cm, H).
- II/6 Cross and along cut roots of *Narthecium ossifragum* (5 x, 7,5—10 cm, H).
- II/7 Much decomposed bog peat with cross cut roots of *Narthecium ossifragum* (2,5 x, 10—12,5 cm, H).
- II/8 Much decomposed bog pead; Left border of the picture shows a cross cut root of *Narthecium ossifragum* (5 x, 10—12,5 cm, H).
- II/9 Much decomposed bog peat. The upper left border of the picture shows a cross cut root of *Narthecium ossifragum* (11 x, 10—12,5 cm, H).
- II/10 Much decomposed bog peat. The upper border of the picture shows a cross cut root of *Narthecium ossifragum* (11 x, 10—12,5 cm, H).
- II/11 Much decomposed bog peat. The middle of the picture shows a cross cut root of *Narthecium ossifragum* (11 x, 10—12,5 cm, H).
- II/12 Much decomposed bog peat. The middle of the picture shows a slanting cut root of *Narthecium ossifragum* (11 x, 10—12,5 cm, H).



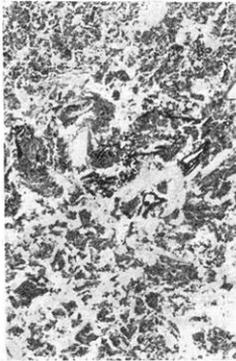
1



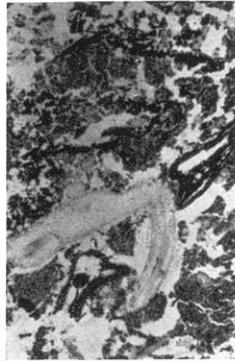
2



3



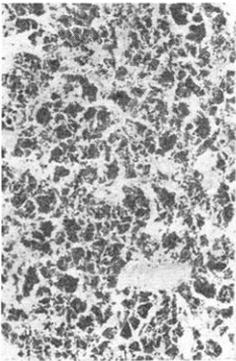
4



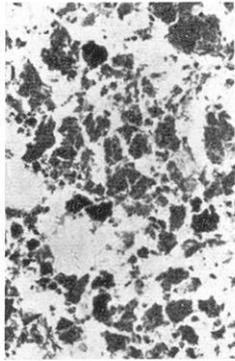
5



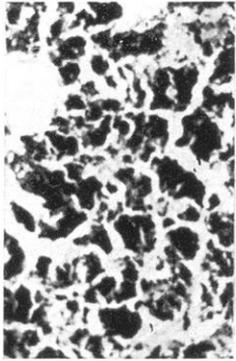
6



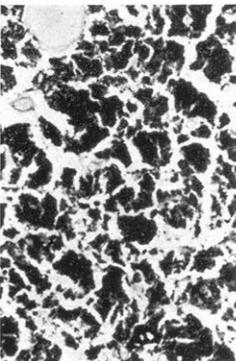
7



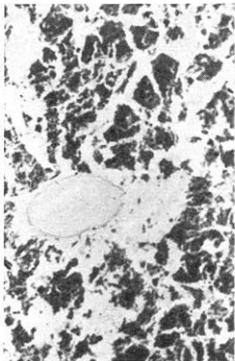
8



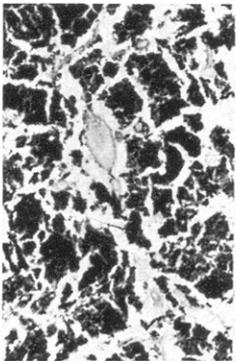
9



10



11



12

mehr statt; die beginnende Bodenbildung wird schon sichtbar, aber die typische Ausprägung der Horizonte fehlt noch (L-, F-, H- und F-Horizont). In beiden Fällen (Tafel I und II) sind die obersten Lagen bereits stark zersetzt. Hier hat also die Bodenbildung begonnen. Würde es sich noch um ein wachsendes Moor handeln, so müßten die oberflächennahen Schichten noch Reste der torfbildenden Vegetation zeigen. Diese werden nur in den untersuchten Schichten des Niedermoors (von ungefähr 12 cm Tiefe an) sichtbar. Dort gibt es eine Durchdringungszone von noch strukturierten Pflanzenresten der torfbildenden Vegetation — in unserem Fall Laubmoose — und lebenden Wurzeln der rezenten Vegetation. Im Hochmoor ließen sich keine Reste der torfbildenden Vegetation mehr erkennen (Tafel II). Daraus darf mit einiger Vorsicht der Schluß gezogen werden, daß im untersuchten Fall der Prozeß der Bodenbildung im Hochmoor weiter fortgeschritten ist als im Niedermoor. Inwieweit schon ohne Einwirkung der jetzigen Vegetation primär eine starke Zersetzung stattfand, kann nicht entschieden werden.

Hier schließt sich sozusagen der Kreis, und wir kehren zum Ausgangspunkt zurück. Die Untersuchungen von GROSSE-BRAUCKMANN und PUFFE, die sich mit der Mikromorphologie der Torfe und Bodenbildung auf Mooren befaßten, regten uns zu unseren Wurzeluntersuchungen an. Unsere eigenen Ergebnisse führen uns zu einer „Synthesis“ beider Forschungsvorhaben, die heißen wird:

Beziehungen zwischen Wurzeln der rezenten Vegetation und Bodenbildungsprozessen auf Mooren. Untersuchungen zu diesem Problem sind in Vorbereitung.

Die Untersuchungen wurden dankenswerterweise durch Beihilfen der Deutschen Forschungsgemeinschaft ermöglicht. Sie stellen einen Auszug aus dem Forschungsvorhaben „Wurzeluntersuchungen auf Moorböden“ dar, das unter der Federführung von Prof. Dr. H. KUNTZE bearbeitet wurde. Meinen Mitarbeiterinnen Frau E. Frahmann und Frau B. Röttger danke ich für sorgfältige technische Assistenz.

Literatur

- GAHM, J.: Ein Revolverokular zur Bestimmung von Längen, spezifischen Oberflächen und prozentualen Volumenanteilen. Zeiss-Informationen 70, S. 138—143, Oberkochen 1968.
- GROSSE-BRAUCKMANN, G. & D. PUFFE: Untersuchungen an Torf-Dünnschnitten aus einem Moorprofil vom Teufelsmoor bei Bremen. Soil micromorphology, Den Haag 1964.
- KUBIENA, W. L.: Die mikromorphometrische Bodenanalyse. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1967.
- METSÄVAINO, K.: Untersuchungen über das Wurzelsystem der Moorpflanzen. Annales Botanici Societas Fennicae Tom 1, Nr. 1, Helsinki 1931.
- PUFFE, D. & G. GROSSE-BRAUCKMANN: Mikromorphologische Untersuchungen an Torfen. Zeitschr. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung, 4. Jg., Heft 3, S. 159—188, Hamburg-Berlin 1963.
- : Gefügeuntersuchungen an Torfen. Zeitschr. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung, 6. Jg., Heft 5, S. 301—312, Hamburg-Berlin 1965.
- SCHWAAR, J.: Wurzeluntersuchungen aus Niedermooren. Ber. d. Dtsch. Bot. Ges., Veröffentlichung in Vorbereitung.