

Aus der Sektion Biowissenschaften der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg,  
Wissenschaftsbereich Geobotanik und Botanischer Garten  
(Wissenschaftsbereichsleiter: Prof. Dr. R. Schubert)

## **Standortökologische Untersuchungen an fünf Laubmoosgesellschaften im Naturschutzgebiet Bodetal**

Von

**Monika Koperski**

Mit 21 Abbildungen und 2 Tabellen

(Eingegangen am 16. März 1977)

### **Inhalt**

Allgemeines .....	169
Mikroklimatische Messungen .....	173
Bodenuntersuchungen .....	199
Bemerkungen zur Dynamik der Gesellschaften .....	208
Beobachtungen zum Entwicklungsrhythmus der dominierenden Arten .....	210
Schrifttum .....	213

### **Allgemeines**

Auf dem Gebiet der Bryosozioologie liegt aus den letzten drei Jahrzehnten eine ansehnliche Reihe von Untersuchungen vor. Es sind jedoch nur wenige Arbeiten bekannt, die sich eingehend mit der Ökologie der Moosgesellschaften befassen (Stodiek 1937; Haybach 1956; Düll-Hermanns 1973). Der Forderung Höflers (1953), daß auch bei diesen einfach strukturierten Gesellschaften „die Vegetationsbeschreibung nicht von einem System der Standorte, sondern von der natürlichen Gruppierung der Pflanzen selbst auszugehen hat“ und daß „die Vegetationseinheiten ... nach ihrer floristischen Individualität zu erkennen und abzugrenzen“ sind, ehe die ökologische Untersuchung einsetzt, wurde mit der Arbeit „Die Moosvegetation des Naturschutzgebietes Bodetal“ (Nörr 1969) Folge geleistet. Die vorliegende Arbeit soll nun einen Beitrag zur Erfassung des Faktors „Standort“ und zur Klärung der beiderseitigen Beziehungen, die zwischen Umwelt und Vegetation bzw. Einzelpflanze bestehen, liefern. Im Rahmen der gegebenen Möglichkeiten konnten nur Details herausgegriffen werden, die auf die Komplexität des genannten Problems hinweisen, das insofern besonders interessant erscheint, als sich die Moose in der Regel nur wenige cm über die Bodenoberfläche erheben und gerade hier infolge des Wärmeumsatzes und des geringen Massenaustausches extreme Bedingungen herrschen.

In den Vegetationsperioden der Jahre 1969, 1970 und z. T. 1971 wurden an fünf Moosgesellschaften an einem Nordhang im Naturschutzgebiet Bodetal mikroklimatische Messungen, Bodenuntersuchungen und weitere Beobachtungen durchgeführt. Laborversuche, die sich mit dem Wasserhaushalt und der Trocken- und Hitzeresistenz der dominierenden Arten befassen, sollten diese Untersuchungen ergänzen (Nörr 1974 a, b).

Mein besonderer Dank gilt meinem Lehrer, Herrn Prof. Dr. R. Schubert, für die Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit und für die Bestimmung der Flechten sowie Herrn Prof. Dr. H. Meusel, dem damaligen Leiter des Fachbereiches Botanik. Herr Dr. G. Stöcker überließ mir eine Reihe von Geräten und war immer zu anregenden Diskussionen bereit. Frau Dr. Hickisch und Herr Dr. Brasse waren mir bei den bodenbiologischen Arbeiten behilflich. Auch ihnen möchte ich meinen herzlichen Dank sagen.

### 1. Charakterisierung des Gebietes

Da sich eine ausführliche Einführung bei Nörr (1969) befindet, sei hier nur kurz erwähnt, daß das Naturschutzgebiet Bodetal nach Meusel (1954) am Nordostrand des pflanzengeographischen Bezirkes Unterharz liegt und von der Bode in Mäandern von Südwesten nach Nordosten durchflossen wird.

Die Meßstellen für die ökologischen Untersuchungen befanden sich im nordöstlichen Teil des Gebietes, das sein geomorphologisches Gepräge durch die westlichen und nordwestlichen Ausläufer des Rambergmassives erhält. Der Vertikalabstand der Hochflächen von den tiefsten Taleinschnitten beträgt in diesem steilwandigen, V-förmigen Abschnitt 200 bis 250 m. Durch die besondere Verwitterungsart des Granits entstanden an den Hängen vorwiegend periglacial ausgelehnte Blockschutthalde, auf denen gerade die Kryptogamen bei der Ausbildung einer Pflanzendecke die wichtigste Rolle spielen.

Die klimatischen Verhältnisse sind durch eine Jahresmitteltemperatur von +7 bis +8 °C und einen mittleren Jahresniederschlag von 450 bis 600 mm gekennzeichnet (entnommen aus dem Klimaatlas für das Gebiet der DDR, 1953). Infolge der für tief eingeschnittene Täler charakteristischen Temperaturschichtung sind boreo-montane Arten hauptsächlich in der Talsohle, Elemente trockenwarmer Standorte dagegen in der Hangzone verbreitet. Die Hauptwindrichtung ist Südwest.

Die höheren Vegetationseinheiten wurden von Stöcker 1962 und 1965 bearbeitet.

### 2. Charakterisierung der Gesellschaften

Aus der Vielzahl der im Gebiet vorkommenden Moosgesellschaften wurden für die vorliegenden Untersuchungen folgende fünf Vereine ausgewählt:

#### 1. *Rhacomitrium lanuginosi* Gams 1927

Diese Gesellschaft ist im Gebiet auf unbeschatteten Blockschutt der Unterhänge und der unteren Mittelhänge in Nordexposition verbreitet. Unter optimalen Bedingungen gelangt *Rhacomitrium lanuginosum*<sup>1</sup> zur Alleinherrschaft. Am unteren Rand der Blockschutthalde, wo die Luftfeuchtigkeit tagsüber weniger niedrige Werte erreicht als auf der offenen Fläche, sind häufig Säume von *Tritomaria quinque-dentata* ausgebildet, die an trockeneren, wenig beschatteten Standorten durch *Hypnum cupressiforme*-Säume ersetzt werden.

#### 2. *Ptilio-Hylocomietum* v. Krusenstjerna 1945

Am Rand offener und auf bewachsenen nordexponierten Blockschutthalde kommt das *Ptilio-Hylocomietum* vor. Im Untersuchungsgebiet dominieren *Rhytidadelphus loreus*, *Pleurozium schreberi* und *Hylocomium splendens*, während die namensgebende Art *Ptilium crista-castrensis* nur an einem Fundort nachgewiesen werden konnte. Auch hier können *Tritomaria quinque-dentata*-Säume ausgebildet sein.

<sup>1</sup> Nomenklatur nach Gams 1957.

3. *Hypno-Dicranetum* v. Krusenstjerna 1945

An beschatteten Standorten, die jedoch zeitweilig der Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind, überzieht diese Gesellschaft die Kulm- und Neigungsflächen der Blöcke. Im Gebiet treten zwei Untereinheiten auf: Eine sehr artenarme an Südhängen und Nordoberhängen und eine artenreichere an Nordmittel- und -unterhängen mit *Ptilidium pulcherrimum* und *Pohlia nutans*.

4. *Mnietum horni* Nörr 1969

Das *Mnietum horni* besiedelt stark geneigte Erdblößen, an denen der Boden immer wieder abrutscht, und Kulm- und Neigungsflächen der Blöcke und des anstehenden Gesteins im Schatten des Waldes an Mittel- und Unterhängen in Nordexposition. Charakteristisch ist das randliche Auftreten von *Plagiothecium (silvaticum var.) neglectum* und *Isopterygium elegans*. Auf Granit sind *Dicranum Scoparium* und *Dicranum majus* häufig anzutreffen.

5. *Polytrichum attenuatum*<sup>2</sup>-*Sphagnum*-Verein Herzog 1943

Diese von Herzog aus dem höheren Schwarzwald beschriebene Gesellschaft ist auf Kulmflächen tiefer gelegener, beschatteter Blöcke zu finden. Im Gebiet wird sie häufig allein von *Sphagnum nemoreum* gebildet.

Im folgenden wird die hier gewählte Numerierung als Abkürzung für die entsprechenden Gesellschaften beibehalten.

Die Vegetationsaufnahmen stammen aus dem Naturschutzgebiet Bodetal (1966 bis 1971).

o = Stetigkeit < 10 %	1	2	3	4	5
Anzahl der Vegetationsaufnahmen	25	18	25	23	13
Exposition	W/N/E	W/N	S/W/N	W/N	N
Neigung (°)	0... 35	0... 45	0... 45	30... 90	5... 45
Größe der Aufnahmeflächen (dm <sup>2</sup> )	2... 25	4... 100	4... 100	4... 200	4... 100
Bedeckung (%)	80... 100	98... 100	70... 100	60... 100	100
Artenzahl	1... 9	3... 15	2... 7	3... 18	3... 13
Untergrund (EB Erdblöße, G Granit, WS Wissenbacher Schiefer)	G + WS	G + WS	G + WS	EB + G	G
Diagnostisch wichtige Arten					
<i>Racomitrium lanuginosum</i>	V	o	.	.	.
<i>Hylocomium splendens</i>	I	V	.	.	II
<i>Pleurozium schreberi</i>	o	V	.	.	o
<i>Rhytidiadelphus loreus</i>	.	V	.	.	II
<i>Hypnum cupressiforme</i>	II	.	V	o	.
<i>Dicranum scoparium</i>	o	III	IV	II	o
<i>Mnium hornum</i>	.	o	o	V	o
<i>Plagioth. (silv. var.) neglect.</i>	.	.	.	II	.
<i>Isopterygium elegans</i>	.	.	.	II	.
<i>Sphagnum nemoreum</i>	.	.	.	.	V
<i>Polytrichum formosum</i>	o	III	o	o	IV
Begleitarten					
Mesophyten					
<i>Racomitrium heterostichum</i>	I	.	.	.	.

<sup>2</sup> *Polytrichum attenuatum* Menz. = *Polytrichum formosum* Hedw.

	1	2	3	4	5
<i>Tritomaria quinquedentata</i>	II	II	o	o	o
<i>Pohlia nutans</i>	II	I	II	II	.
<i>Mnium affine</i>	.	II	.	I	o
<i>Dicranum majus</i>	.	II	.	II	o
<i>Ptilidium pulcherrimum</i>	.	.	II	.	.
<i>Cynodontium polycarpum</i>	o	.	I	.	.
<i>Tetraphis pellucida</i>	o	.	.	II	o
<i>Plagiothecium denticulatum</i>	.	o	.	II	o
<i>Bryum capillare</i>	o	.	I	I	.
<i>Lepidozia reptans</i>	.	.	.	I	o
<i>Plagiochila asplenioides</i>	.	.	.	I	.
Flechten					
<i>Parmelia saxatilis</i>	I	.	II	.	.
<i>Cladonia div. spec.</i>	II	o	II	II	o
<i>Lepraria aeruginosa</i>	o	.	.	II	.
Pteridophyten und Phanerogamen (häufig abbauende Arten)					
<i>Saxifraga decipiens</i>	II	o	.	.	.
<i>Sedum rupestre</i>	I	I	.	.	.
<i>Deschampsia flexuosa</i>	I	III	o	II	V
<i>Oxalis acetosella</i>	I	II	.	II	IV
<i>Polypodium vulgare</i>	o	II	.	I	III
<i>Geranium robertianum</i>	o	I	.	.	o
<i>Galium silvaticum</i>	.	I	.	o	.
<i>Rubus idaeus</i>	.	I	.	.	o
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	.	.	.	II	.
<i>Luzula luzuloides</i>	.	.	.	II	.
<i>Vaccinium myrtillus</i>	.	o	.	.	II

## In 1. Mesophyten:

*Drepanocladus uncinatus*, *Barbilophozia barbata*, *Lophozia ventricosa*, *L. alpestris*

Flechten:

*Collema spec.*, *Lecidea spec.*, *Rhizocarpon geographicum* (*Cladonia pyxidata*, *C. chlorophaea*, *C. coniocraea*, *C. furcata*)

Pteridophyten und Phanerogamen:

*Asplenium filix-mas*, *Huperzia selago*, *Festuca ovina*

## In 2. Mesophyten:

*Rhytidiadelphus triquetrus*, *Plagiothecium curvifolium*, *Bazzania trilobata*, *Lophocolea bidentata*, *Lophozia ventricosa*

Flechten:

(*Cladonia pyxidata*)

Pilze:

*Mycena spec.*, *Lactarius thejogalus*

Phanerogamen:

*Poa nemoralis*, *Mycelis muralis*, *Epilobium montanum*

## In 3. Meso- bis Xerophyten:

*Dicranum fuscescens*, *Polytrichum pilosum*, *Grimmia commutata*, *G. hartmanii*, *Hedwigia ciliata*, *Ceratodon purpureus*, *Paraleucobryum longifolium*

Mesophyten:

*Barbilophozia barbata*, *B. lycopodioides*, *Ptilidium ciliare*, *Lophozia alpestris*, *Lophocolea heterophylla*

Flechten:

(*Cladonia pyxidata*, *C. furcata*, *C. chlorophaea*, *C. coniocraea*, *C. fimbriata*)

## In 4. Mesophyten:

*Plagiothecium curvifolium*, *P. laetum*, *P. roeseanum*, *Bartramia pomiformis*, *Pohlia cruda*, *Brachythecium velutinum*, *Dicranella heteromalla*, *Atrichum undulatum*, *Mnium punctatum*, *Isothecium myosuroides*, *Eurhynchium striatum*, *Dicranodontium denu-datum*, *Plagiothecium undulatum*, *Scapania nemorosa*, *Diplophyllum albicans*, *Blepharostoma trichophyllum*, *Scapania spec.*

Flechten:

*Collema spec.* (*Cladonia chlorophaea*, *C. coniocraea*)

Pteridophyten und Phanerogamen:

*Cystopteris fragilis*, *Dryopteris austriaca*, *Farnprothallium*, *Poa nemoralis*, *Hieracium silvaticum*, *Mycelis muralis*, *Anemone nemorosa*, *Chrysoplenium alternifolium*

## In 5. Mesophyten:

*Atrichum undulatum*, *Bartramia pomiformis*, *Lophozia ventricosa*, *Bazzania trilobata*

Flechten:

(*Cladonia pyxidata*)

Pilze:

*Mycena spec.*

Pteridophyten und Phanerogamen:

*Dryopteris austriaca*, *Picea abies* K, *Sorbus aucuparia* K

## Mikroklimatische Messungen

## 1. Beschreibung der Meßstellen

Die Meßstellen für die standortsökologischen Untersuchungen waren an einem nordexponierten Mittelhang zwischen Waldkater und Hirschgrund etwa 70 m oberhalb der Bode (270 m über NN) auf einer Fläche von 20 m × 20 m gelegen, die eine offene Blockschutthalde und die Übergangszone zum Linden-Blockhaldenwald einschloß. Das Mosaik der Kleinstandorte ist die Voraussetzung für die Ausbildung der unterschiedlichen Kryptogamengesellschaften, von denen die fünf beschriebenen charakteristisch sind für die Besiedlung des Blockschuttes der Nordmittel- und -unterhänge. 1969 wurde je Gesellschaft eine Meßstelle (MST . . . 1) und 1970 noch eine zweite (MST . . . 2) ausgewählt.

1. Die beiden Meßstellen des *Rhacomitrium lanuginosi* befanden sich zentral auf der offenen Blockschutthalde. Die oberhalb anstehende Felswand verhinderte in den Vormittagsstunden direkte Sonneneinstrahlung. Eine Vergleichsmeßstelle (MST 0) über einem unbewachsenen Granitblock lag  $\frac{1}{2}$  m von der MST 1<sub>1</sub> entfernt und 1 m oberhalb der MST 1<sub>2</sub>.
2. Die Meßstellen des *Ptilio-Hylocomietum* waren 10 und 15 m von denen des *Rhacomitrietum* entfernt in der Übergangszone zum Wald gelegen. Die MST 2<sub>1</sub>, die sich am oberen seitlichen Rand der Blockschutthalde befand, wurde von zwei Seiten durch benachbarte Blöcke abgeschirmt. Die MST 2<sub>2</sub> am unteren Rand der Blockschutthalde lag im Schatten des lichten Waldrandes. Die umgebenden Felswände ließen nur in den Nachmittagsstunden direkte Sonneneinstrahlung zu. Besonders in 2<sub>1</sub> drangen während des Beobachtungszeitraumes *Polypodium vulgare* und Phanerogamen ein.
3. Die MST 3<sub>1</sub> lag benachbart der MST 2<sub>1</sub>, 3<sub>2</sub> benachbart von 2<sub>2</sub>. Beide Meßstellen des *Hypno-Dicranetum* waren etwa 10 m voneinander entfernt. Die herausgehobenen Blöcke wurden zeitweilig von Sonnenflecken getroffen, waren aber die meiste Zeit des Tages beschattet. Im August 1970 erreichte an der MST 3<sub>1</sub> neben dem Block wachsendes *Impatiens parviflora* über dem *Hypno-Dicranetum* 25 % Deckung, im Oktober betrug die Deckung von *Urtica dioica* 20 %. Zwei Vergleichsmeßstellen befanden sich an der Südoberhangkante der Schurre. Beide Blöcke lagen im Schatten eines benachbarten Eichengebüsches (östlich der Blöcke).

4. Für das *Mnietum horni* wurden zwei Meßstellen auf Erdblößen am oberen ( $4_1$ ) und unteren ( $4_2$ ) Rand der Blockschutthalde im Schatten des Waldes ausgewählt. Während die MST  $4_1$  infolge der Hangneigung nie von direkter Sonneneinstrahlung getroffen werden konnte und in den Sommer- und Herbstmonaten im Schutze zweier *Dryopteris austriaca*-Pflanzen lag, wurde die MST  $4_2$  bei Höchststand der Sonne selten von Sonnenflecken berührt und lief eine stärkere Luftbewegung als  $4_1$  vermuten.
5. Die Meßstellen  $5_1$  und  $5_2$  befanden sich am unteren Rand der Blockschutthalde auf zwei tiefer gelegenen Blöcken etwa 5 m voneinander entfernt. Die schützende Wirkung der umgebenden höher gelegenen Blöcke war bei  $5_2$  noch größer als bei  $5_1$ . Sehr selten trafen  $5_1$  Sonnenflecke.

## 2. Methoden

Die mikroklimatischen Messungen erfolgten in den Jahren 1969 und 1970 von Mitte April bis Mitte November jeweils am Anfang und in der Mitte des Monats. 1969 wurden Tagesgänge (stündliche Ablesungen 7 bis 17 Uhr), 1970 12- und 14-Uhr-Werte aufgenommen.

### a) Messung der Lichtsumme

Eine 1%ige, wäßrige Uranyl-nitratlösung, die mit der gleichen Menge Äthylalkohol versetzt worden war, wurde in kleine Reagenzgläser (5 ml) gefüllt. Diese wurden mit Korkstopfen so verschlossen, daß keine Luft in den Röhrchen verblieb. Anschließend wurden die Stopfen mit einem Ankerplaststreifen befestigt und mit einer Paraffinschicht überzogen. Die lichtgeschützt transportierten Röhrchen verblieben 24 Stunden (1969: 17 bis 17 Uhr) an den Meßstellen (auf einem schwarzen Brett liegend). Am folgenden Tag wurde die Schwärzung der Lösung an einem Spektralkolorimeter (SPEKOL 32-G315-1, Carl Zeiss Jena) bei einer Wellenlänge von  $530 \mu\text{m}$  bestimmt. Bei der Berechnung des relativen Lichtgenusses ( $rLG$ ) wurde das *Rhacomitrietum* als Bezugsseinheit gewählt, bei der Berechnung der Lichtsumme ( $LS$ ) der höchste gemessene Wert der jeweiligen Gesellschaft.

### b) Messung der Windgeschwindigkeit

Die Windgeschwindigkeit ( $Wv$ ) wurde mittels eines Schalenkreuzanemometers (Fa. Georg Rosenmüller, Dresden) bei 1, 2, 3 und 5 am Rand der Blöcke und bei 4 vor der Erdblöße direkt über den Pflanzen bestimmt.

### c) Temperaturmessungen

Die Lufttemperatur in 1 ( $T_{+1}$ ) und 30 ( $T_{+30}$ ) cm Höhe über der Oberfläche der Pflanzen wurde mit Hilfe eines Luftfeuchtemeßgerätes Hygrofil (Typ 4451B, Ultradast Gerätebau, Ruhmannsfelden) oder an Regentagen (bei den Meßtagen vermerkt) mit Hilfe eines Assmann-Aspirationspsychrometers (Skaleneinteilung  $0,2^\circ\text{C}$ ) gemessen.

Die Temperatur zwischen den Pflanzen und die Bodentemperatur wurden an abgewinkelten 2- ( $T_{-2}$ ) und 5- ( $T_{-5}$ ) cm-Bodenthermometern (Skaleneinteilung  $0,2^\circ\text{C}$ ) abgelesen. Der 2 cm unter der Oberfläche der Pflanzen gemessene Wert setzt sich aus der Temperatur der Pflanzen und der Temperatur der zwischen ihnen befindlichen Luft zusammen und ist somit nicht genau definierbar. Als Relativwert besitzt er aber Aussagekraft über den Wärmehaushalt der Gesellschaften. Die 5 cm unter der Oberfläche der Pflanzen gemessenen Werte sind untereinander weniger gut vergleichbar, da sie in den einzelnen Gesellschaften verschiedene Schichten repräsentieren. Während bei 3 und an der MST  $1_2$  solche Messungen infolge der geringen Dicke der Pflanzendecke und des Bodens überhaupt nicht möglich waren,

werden bei 2 eine obere Bodenschicht, bei 4 eine tiefere Bodenschicht und bei 5 abgestorbenes Pflanzenmaterial erfaßt. Trotzdem sind diese Werte aufgenommen worden, um Anhaltspunkte für die Wärmeleitung und -speicherung zu haben.

Die Extremtemperaturen wurden 1 cm über ( $T_{\max+1}$ ,  $T_{\min+1}$ ) und 2 cm unter ( $T_{\max-2}$ ,  $T_{\min-2}$ ) der Oberfläche der Pflanzen für halbe Monate ermittelt. Es wurden Hg-Thermometer (Skaleneinteilung 0,5 °C) für die Maximumtemperaturen (in 1 cm Höhe durch Aluminiumfolie strahlungsgeschützt) und Alkoholthermometer (Skaleneinteilung 0,5 °C) für die Minimumtemperaturen verwendet.

(1970 sind eine Meßperiode zwei Werte zugeordnet. Der erste Wert bezieht sich auf die MST . . . 1, der zweite auf die MST . . . 2.)

Vor Beginn der Messungen wurden alle Thermometer auf ihre Genauigkeit geprüft.

#### d) Messungen zum Wasserhaushalt

Der Wert für die relative Luftfeuchtigkeit ( $rLF = LF$ ) ergab sich aus den am Hygrophil bzw. Aspirationspsychrometer in 1 ( $LF_{+1}$ ) und 30 ( $LF_{+30}$ ) cm Höhe abgelesenen Temperaturdifferenzen. Es ist selbstverständlich, daß mit dem Assmann-Aspirationspsychrometer infolge der starken Luftbewegung und der Zeitdauer der Messung eine Schichtung zwischen 1 und 30 cm nicht genau erfaßt werden kann. Da an Regentagen zwischen 1 und 30 cm ohnehin nur geringe Unterschiede zu erwarten sind, wurde dieser Fehler vernachlässigt.

Die stündliche Evaporation wurde mittels Kurzzeitevaporimetern nach Stöcker (1967) (Meßvolumen 4,75 ml, Skaleneinteilung 0,05 ml) gemessen. Zeitweise (an Strahlungstagen mit starker Evaporation) kamen Standart-Piche-Evaporimeter (Meßvolumen 30 ml, Skaleneinteilung 0,10 ml) zum Einsatz. Für  $\frac{1}{2}$ monatige Messungen wurden Langzeitevaporimeter nach Stöcker (1967) (Meßvolumen 50 oder 100 ml, Skaleneinteilung 0,10 ml) verwendet. In die so ermittelten Werte geht ein Fehler ein, der durch das Einsaugen des Wassers in Regenperioden zustande kommt, aber verhältnismäßig klein und in allen Gesellschaften annähernd gleich groß ist. Alle Messungen (jeweils Doppelbestimmungen) wurden mit grünen Filterpapierscheiben (Durchmesser 3 cm) in 2 cm Höhe ( $Ev_{+2}$ ) ausgeführt. Teilweise liegen auch Werte aus 30 cm Höhe ( $Ev_{+30}$ ) vor. (Bei den Darstellungen aus dem Jahre 1970 bezieht sich der erste Teil der Säule auf die MST . . . 1, der zweite Teil auf die MST . . . 2.) Bei  $1\frac{1}{2}$ - oder 2stündigen Ablesungen (Schlechtwettertage und 15. 6. 1970) wurden die Evaporimeterwerte interpoliert.

Die Bodenfeuchtigkeit ( $BF$ ) und die Feuchtigkeit der Pflanzen ( $MF$ ) wurden gravimetrisch ermittelt. Die Entnahme erfolgte jeweils am Vormittag der Meßtage. Die etwa 100 cm<sup>3</sup> fassenden Blechdosen wurden mit einem Ankerplaststreifen verschlossen und am Abend gewogen. Nach mehrtägigem Verbleib der Bodenproben bei 105 °C und der Pflanzenproben bei 80 °C (vorher 10 min bei 105 °C abgetötet) im Thermostaten wurde das Trockengewicht bestimmt und der prozentuale Anteil des Wassers (bezogen auf die Trockensubstanz [ $TS$ ]) errechnet. Der Bodenfeuchtigkeit und der Pflanzenfeuchtigkeit liegt 1969 und 1970 je ein Wert aus der Nachbarschaft der Meßstellen zugrunde. 1971 wurde für die Bodenfeuchtigkeit aus 5 Werten ein Mittelwert gebildet.

Die im folgenden als „Jahresgänge“ bezeichneten Darstellungen beziehen sich nur auf die Vegetationsperiode.

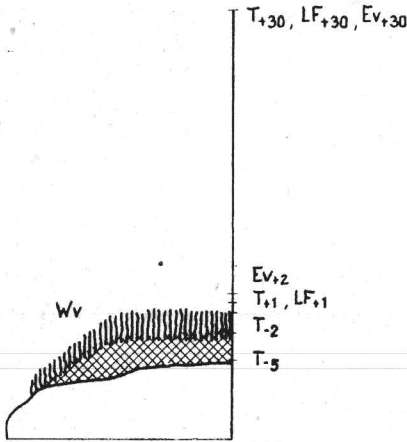


Abb. 1. Übersicht zu den mikroklimatischen Messungen

### 3. Das Makroklima während des Untersuchungszeitraumes

Der Charakterisierung des Großklimas, das nur mittelbaren Einfluß auf die Vegetation ausübt, indem es das Mikroklima des jeweiligen Standortes bestimmt, liegen die Temperaturwerte der Station Blankenburg (180 m ü. NN) und die Niederschlagswerte der Station Thale (200 m ü. NN) zugrunde. Diese Werte sind in Abb. 2,1 als Klimadiagramm nach Walter u. Lieth (1960) dargestellt (Darstellung 1:2, Hilfsniederschlagslinie 1:3; *a*: mittlere Jahrestemperatur, *b*: mittleres tägliches Minimum des kältesten

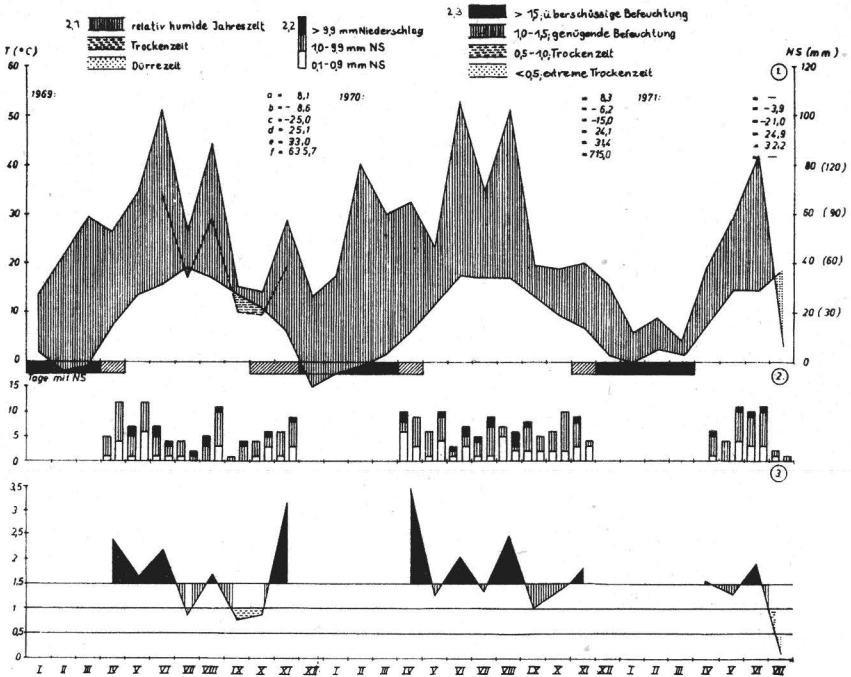


Abb. 2. Das Makroklima während des Untersuchungszeitraumes



Monats, *c*: tiefste gemessene Temperatur, *d*: mittleres tägliches Maximum des wärmsten Monats, *e*: höchste gemessene Temperatur, *f*: Jahresniederschlag). Die Jahre 1969 und 1971 zeichneten sich durch eine sommerliche Trocken- bzw. Dürreperiode aus. Einer herbstlichen Trockenperiode (1969) kommt an den untersuchten Standorten keine Bedeutung zu, da zu diesem Zeitpunkt der Hang infolge der starken Neigung nicht mehr von der Sonne bestrahlt wird und die Pflanzen durch Taufall ständig feucht sind.

Da die Monatsmittel über den Gang der Feuchtigkeitsverhältnisse wenig aussagen, ist in Abb. 2 unter 2 die Zahl der Regentage je halben Monat aufgetragen. 1969 setzte nach der sommerlichen Trockenperiode am 12. 8. eine bis zum 30. 8. dauernde Regenperiode ein. 1970 waren die zweite Julihälfte und der August durch größere, gleichmäßig verteilte Niederschlagsmengen gekennzeichnet. 1971 fällt nach einer trockenen ersten Maihälfte eine Regenperiode in der zweiten Maihälfte und im Juni auf.

Unter 3 ist der hydrothermische Quotient nach Seljalinow (in Walter 1951) – berechnet aus den Monatsmitteln – dargestellt.

#### 4. Verzeichnis der Meßtage

1969

- 10. 4. Strahlungstag, sehr schwach bewölkt
- 6. 5. bis 9.00 Uhr sehr dichter Nebel, tagsüber schwacher Nebel, ab 16.00 Uhr aufgelockerte Bewölkung
- 17. 5. wechselhaft bewölkt
- 4. 6. 9.00 Uhr und 10.00 Uhr kurz feiner Nieselregen, 12.00 Uhr aufgelockerte Bewölkung, Wind
- 17. 6. 7.00 Uhr dicht bewölkt, 8.00 Uhr kurze Zeit Regen, 9.30 Uhr aufgelockerte Bewölkung, 10.00 Uhr kurze Zeit Regen, ab 10.30 Uhr locker bewölkt
- 5. 7. Strahlungstag mit wechselnder Bewölkung, ab 16.00 Uhr stärkere Bewölkung, Wind
- 17. 7. vormittags heiter, 12.00 Uhr aufkommende Bewölkung, 13.30 Uhr dicht bewölkt, 14.00–14.15 Uhr Gewitter, nachmittags locker bis dicht bewölkt, 16.00 bis 17.00 Uhr wechselnder Gewitterregen, 17.30 Uhr dicht bewölkt
- 3. 8. vormittags bewölkungsfrei, aber leicht dunstig, ab 13.00 Uhr schwach bis dicht bewölkt
- 14. 8. vormittags dicht bewölkt, ab 12.00 Uhr aufgelockerte Bewölkung
- 29. 8. 7.00 Uhr sehr dichter Nebel, 8.00 Uhr Nebelschwaden, ab 8.30 Uhr kein Nebel mehr, tagsüber dicht bewölkt, 16.00 Uhr Regen (Assmann-Aspirationspsychrometer)
- 9. 9. Strahlungstag, leicht dunstig, nur mittags schwach bewölkt
- 8. 10. Strahlungstag, wechselnde Bewölkung, Wind
- 21. 10. Strahlungstag, wechselnde Bewölkung
- 1. 11. dicht bewölkt, ab 10.00 Uhr schwach aufgelockerte Bewölkung
- 17. 11. dicht bewölkt, 15.00–16.00 Uhr schwacher Nieselregen (Assmann-Aspirationspsychrometer)

1970

- 26. 4. bedeckter Himmel, 9.00 und 15.00 Uhr kurze Zeit Nieselregen
- 5. 5. Strahlungstag, sehr dunstig, 12.30–14.00 Uhr stärker bewölkt
- 20. 5. vormittags schwach bewölkt, ab 13.00 Uhr dicht bewölkt
- 30. 5. bis 9.00 Uhr starker Regen, bis 10.00 Uhr schwacher Regen, dicht bewölkt, 11.30–13.00 Uhr erneut Regen, nachmittags dicht bewölkt, 18.00 Uhr Nieselregen (Assmann-Aspirationspsychrometer)

31. 5. bis 9.30 Uhr Regen, bis 10.00 Uhr dichter Nebel, dicht bewölkt, 11.45–12.15 Uhr Nieselregen, 14.00–16.00 Uhr schwach aufgelockerte Bewölkung, 16.00 und 17.00 Uhr kurze Zeit Nieselregen und wieder dicht bewölkt (Assmann-Aspirationspsychrometer)
1. 6. vormittags mehrfach kurze Zeit Nieselregen bei dichter Bewölkung, ab 13.00 Uhr schwach aufgelockerte Bewölkung, Wind
15. 6. Strahlungstag, nur mittags schwach bewölkt
29. 6. bis 10.30 Uhr Regen, stark bewölkt
8. 7. Strahlungstag
23. 7. vormittags wolkenlos, 13.00–14.00 Uhr stark bewölkt, dann wechselnde Bewölkung
4. 8. heiter, etwas dunstig, 12.00 Uhr aufkommendes Gewitter, 12.30–13.15 Uhr schwacher Gewitterregen, dann wechselnd bewölkt
13. 8. Strahlungstag, nur mittags schwach bewölkt
24. 8. bedeckter Himmel
17. 9. bedeckter Himmel
1. 10. bedeckter Himmel, ab 13.30 Uhr aufgelockerte Bewölkung
12. 10. bis 12.00 Uhr Nebel, dann sehr schwach bewölkt
2. 11. dicht bewölkt, Sprühregen und Nebel (Assmann-Aspirationspsychrometer)
17. 11. bedeckter Himmel

Infolge der Hangneigung trifft direkte Sonneneinstrahlung die Meßstellen nur bis Mitte August.

#### 5. Ergebnisse der Untersuchungen am Standort des *Racomitrium lanuginosi*

##### a) Lichtverhältnisse

Die klimatischen Bedingungen eines Standortes werden maßgeblich durch die ihm mit der Sonnenenergie zugeführte Wärmemenge bestimmt. Hinweise auf die relativen Energiemengen geben die Werte der Lichtsummenmessung. Es wurde der Jahresgang der Lichtintensität dieses sonnenoffenen Standortes in ‰, bezogen auf den höchsten gemessenen Wert dargestellt (s. Abb. 8). Bedingt durch den Einstrahlungswinkel der Sonne waren die höchsten Werte von Mai bis August zu verzeichnen. Das *Racomitrium* ist eine ausgesprochen heliophile Gesellschaft, die bei Beschattung an Konkurrenzkraft verliert.

##### b) Windverhältnisse

Die Wirkung des Windes an den Standorten der untersuchten Gesellschaften erweist sich als sehr gering. Einmal läßt die Windverteilung des Gebietes als Hauptrichtung Südwest erkennen (Hangneigung Nord), und zum anderen kann die Windgeschwindigkeit infolge der Enge des Tales keine größeren Werte erreichen. Hinzu kommt, daß sich die Meßstellen im Schatten einer westlich gelegenen Felswand befinden und in Bodennähe der Wind ohnehin stark abgebremst wird. Die gemessenen Windgeschwindigkeiten liegen meist unter 1 m/s, nur selten wurden höhere Werte beobachtet (Höchstwert 1,6 m/s am 4. 6. 1969).

##### c) Temperaturverhältnisse

Den Lichtverhältnissen entsprechend wurden am Standort des *Racomitrium* die höchsten Temperaturen gemessen. Da die Luftfeuchtigkeit tagsüber weit abfallen kann, trocknen die Pflanzen zu Beginn von Schönwetterperioden stark aus. Dann erreicht die als Verdunstungswärme verlorengelassene Energie ein Minimum. Infolge ihrer schlechten Wärmeleitfähigkeit bedingen solche trockenen Moosdecken

eine Wärmeisolation an der Oberfläche. So können an aufeinanderfolgenden Strahlungstagen sehr extreme Verhältnisse herrschen. An der MST 1<sub>1</sub> wurden 2 cm unter der Oberfläche der Pflanzen mehrfach Temperaturen zwischen 45 und 55 °C beobachtet. An der MST 1<sub>2</sub> lagen die T<sub>max-2</sub>-Werte niedriger, da sie zur Zeit des höch-

Tabelle 1. Einige Werte zur Temperaturschichtung

	1 <sub>2</sub>	△*	2 <sub>2</sub>	△	3 <sub>2</sub>	△	4 <sub>2</sub>	△	5 <sub>2</sub>	△
T <sub>max-2</sub> VII <sub>2</sub> 1969	48,1		30,9		29,3		23,3		28,5	
T <sub>max-1</sub> VII <sub>2</sub> 1969	37,0	+11,1	30,8	+0,1	29,6	-0,3	28,0	-4,7	27,0	+1,5
T <sub>max-2</sub> VI <sub>2</sub> 1970	55,0		41,2		26,8		19,7		24,5	
T <sub>max+1</sub> VI <sub>2</sub> 1970	44,2	+17,4	22,5	+8,1	32,5	-0,2	18,1	-5,8	20,5	-1,0
	37,6	+11,1	33,1	-2,7	27,0	+4,7	25,5	-8,6	25,5	-3,5
	33,1		25,2		27,8		26,7		24,0	
T <sub>-2</sub> 17. VII. 1969 12.00	43,3		24,8		24,2		18,6		17,9	
T <sub>-2</sub> 17. VII. 1969 12.00	31,4	+11,9	25,4	-0,6	24,8	-0,6	24,0	-5,4	23,8	-5,9
T <sub>-2</sub> 15. VI. 1970 14.00	36,6		19,8		17,6		15,1		14,6	
T <sub>+1</sub> 15. VI. 1970 14.00	34,8	+12,2	17,4	-1,5	22,0	-2,8	16,0	-3,9	13,2	-5,6
	26,4	+ 7,6	21,3	-1,6	20,4	-2,8	19,0	-4,6	20,2	-3,3
	27,2		19,0		19,6		20,6		16,5	
T <sub>-2</sub> 17. VII. 1969 12.00	43,3		24,8				18,6		17,9	
T <sub>-5</sub> 17. VII. 1969 12.00	24,8	+18,5	21,4	+3,4			17,8	+0,8	17,5	+0,4
T <sub>-2</sub> 15. VI. 1970 14.00	36,6		19,8				15,1		14,6	
T <sub>-5</sub> 15. VI. 1970 14.00	16,1	+20,5	17,4	+3,8			16,0	+1,4	13,2	+0,6
			16,0	+3,8			13,7	+3,6	14,0	+1,0
			13,6				12,4		12,2	
T <sub>+1</sub> 17. VII. 1969 12.00	31,4		25,4		24,8		24,0		23,8	
T <sub>+30</sub> 17. VII. 1969 12.00	27,8	+ 3,6	25,0	+0,4	25,4	-0,6	24,2	-0,2	24,4	-0,6
T <sub>-2</sub> 5. VII. 1969 Tagesmittel	25,2		21,0		20,8		15,8		17,5	
T <sub>+1</sub> 5. VII. 1969 Tagesmittel	23,2	+ 2,0	21,8	-0,8	21,0	-0,2	20,2	-4,4	19,9	-2,4
T <sub>-2</sub> 5. VII. 1969 Tagesmittel	25,2		21,0				15,8		17,5	
T <sub>-5</sub> 5. VII. 1969 Tagesmittel		+ 6,4		+0,1				+0,3		+0,6
	18,8		20,9				15,5		16,9	
T <sub>+1</sub> 5. VII. 1969 Tagesmittel	23,2		21,8		21,0		20,2		19,9	
T <sub>+30</sub> 5. VII. 1969 Tagesmittel		+ 1,5		+0,6		±0,0		-0,5		-0,7
	21,7		21,2		21,0		20,7		20,6	

\*△ (T<sub>-2</sub>-T<sub>+1</sub>) (T<sub>-2</sub>-T<sub>-5</sub>) (T<sub>+1</sub>-T<sub>+30</sub>)

sten Sonnenstandes von einem benachbarten Block beschattet wurde (s. Abb. 11). Die erreichten Werte sind allerdings noch nicht zu den höchsten bei Moosen gemessenen Temperaturen zu rechnen. So betrug die Temperatur in trockenen Polstern von *Syntrichia ruralis* und *Racomitrium canescens* auf einer Düne bei Sandhausen in 1 cm Tiefe über 60 °C (Volk 1930/1931), in *Abietinella abietina*-Decken bei Jena 65 °C (Stodiek 1937) und im Humus eines *Polytrichum pilosum*-Rasens am Valtenberg sogar 69,5 °C (Schade 1927/28). Auf Grund der Wärmestrahlung, des Massenaustausches und der Wärmeleitung erwärmen sich auch die der Pflanzendecke benachbarten Luftschichten sehr stark, und es kommt zu einer ausgeprägten Temperaturschichtung (Tab. 1). Wie schon erwähnt, trifft den Hang infolge des Sonnenstandes und der Hangneigung ab Mitte August keine direkte Strahlung mehr. So liegen die  $T_{-2}$ -Werte in der ersten Hälfte der Vegetationsperiode höher als in der zweiten, wenn die Erwärmung zuerst in den oberen Luftschichten erfolgt und die Temperaturen in 30 cm Höhe die größten Werte erreichen.

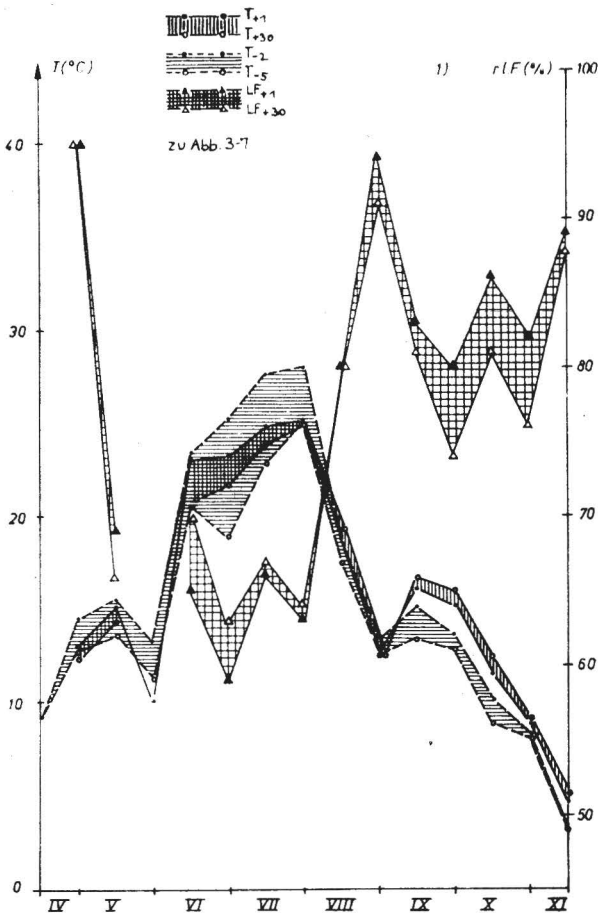


Abb. 3. Jahresgang der mikroklimatischen Verhältnisse am Standort des *Racomitrietum lanuginosum*

Die geringe Wärmekapazität der Pflanzendecke wirkt sich dahingehend aus, daß eine stärkere tägliche Erwärmung mit einer stärkeren nächtlichen Abkühlung

wechselt und somit auch die Amplitude der Extremtemperaturen Höchstwerte annimmt. Die tagsüber aufgenommene Wärmemenge wird nachts schnell wieder abgegeben, so daß zwischen den Minimumtemperaturen der Luft in 1 cm Höhe und denen in 2 cm Tiefe nur geringe Differenzen zu verzeichnen sind (s. Abb. 10 u. 11).

Die Tagesgänge der Temperaturen lassen eine Verzögerung der in den Boden eindringenden Wärmewelle erkennen. So erreichten z. B. am 15. 6. 1970 die  $T_{-2}$ -Werte 13.30 Uhr ihr Maximum (36,6 °C), während in 5 cm Tiefe erst 17.30 Uhr der höchste Wert (21,0 °C) gemessen wurde. Auch die Schwankungsbreite ist in 5 cm Entfernung von der Oberfläche der Pflanzen gegenüber 2 cm Entfernung verringert. An Strahlungstagen mit wechselnder Bewölkung kommt es zwischen den Pflanzen zu kurzzeitigen Schwankungen, die in 5 cm Tiefe bereits nicht mehr in Erscheinung treten. Schlechtwettertage zeichnen sich durch geringere Schwankungen aus.

Lange 1954 beobachtete die Temperaturschwankungen bei wechselnder Bewölkung zwischen *Rhacomitrium heterostichum* in einer Basaltblockhalde am Meißner (Hessen) durch thermoelektrische Messungen im Abstand von 30 s. Wurde die Sonne durch eine Wolke verdeckt, so fiel die Temperatur schlagartig ab (innerhalb 5 min von 47,5 auf 30,0 °C), um bei erneuter Bestrahlung schnell wieder anzusteigen. Ähnliche Schwankungen sind auch an dem untersuchten Standort von *Rhacomitrium lanuginosum* zu erwarten.

Vergleichende Temperaturmessungen an einem der MST 1<sub>1</sub> benachbarten Granitblock ohne Pflanzendecke zeigen, inwieweit diese das Mikroklima beeinflusst. Infolge der größeren Wärmekapazität des Granits werden die Maxima in 1 cm Höhe über dem nackten Granit später erreicht als über der Pflanzendecke. Auch liegen die Werte um etliche Grade niedriger. Nachts fallen die Minimumtemperaturen über dem warmen Granit weniger stark ab. Dieser ausgleichenden Wirkung des Granits kann unter dem *Rhacomitrietum* wohl nur in Anfangsstadien mit geringer Schichtdicke Bedeutung zukommen, da ältere Stadien Stärken bis zu 10 cm und mehr erreichen können.

Daten zu den mikroklimatischen Verhältnissen im Bereich der *Rhacomitrium*-Blockhalden liegen von Preis 1937 aus dem Böhmischem Mittelgebirge vor. Unter allen beobachteten Gesellschaften zeigte das *Rhacomitrietum* die größten Schwankungen im Tagesgang. Die Tageswerte der Lufttemperatur lagen unter denen, die zwischen den Pflanzen gemessen wurden.

#### d) Wasserfaktor

Lassen sich bereits bei der Betrachtung der Temperaturverhältnisse für den Standort des *Rhacomitrietum* bestimmte Charakteristika herausstellen, so treten diese hinsichtlich des Wasserfaktors noch deutlicher in Erscheinung. Da die Moose im Gegensatz zu den höheren Pflanzen keinen besonderen Mechanismus zur Regulierung des Wasserhaushaltes besitzen, sondern wie tote Körper quellen und entquellen, kommt dem Wassergehalt der Luft eine größere Bedeutung zu. Während die Abgabe des Wassers an die Luft verhältnismäßig schnell erfolgt, vollzieht sich die Aufnahme von Wasserdampf bei den untersuchten Arten etwa viermal langsamer. An aufeinanderfolgenden Strahlungstagen kann sich ein Gleichgewichtszustand zwischen dem Feuchtigkeitsgehalt der Pflanzendecke und der angrenzenden Luftschicht einstellen. Eine nächtliche Erhöhung der Luftfeuchtigkeit hat jedoch nur eine geringe Zunahme des Feuchtigkeitsgehaltes der Pflanzen zur Folge, es sei denn, die Temperaturen fallen so weit ab, daß Nebel- und Taubildung einsetzt und flüssiges Wasser zur Verfügung steht.

Da das Wasser am Tag von der Pflanzendecke an die Luft geliefert wird, ist ein Abfall der Luftfeuchtigkeit von der Oberfläche der Pflanzen zu den höheren Schichten hin zu verzeichnen (Nafstyp, nach Geiger 1950). Nachts dagegen nehmen die Pflanzen aus der angrenzenden Luftschicht Wasser auf, so daß diese gegenüber den höheren Luftschichten trockener ist (Trockentyp).

Der spiegelbildliche Verlauf der Kurve der relativen Luftfeuchtigkeit zur Temperaturkurve deutet auf ihre Temperaturabhängigkeit hin. An sommerlichen Strahlungstagen ist der Temperaturgang so extrem, daß tags der Trockentyp und nachts der Nafstyp vorherrscht. Im Herbst bei weniger extremen Temperaturen und guter Durchfeuchtung der Pflanzen gehorcht die Verteilung den Gesetzmäßigkeiten des Nafstyps.

Daß die Schichtung beim Jahresgang der Tagesmittelwerte an Strahlungstagen weniger ausgeprägt erscheint, erklärt sich aus dem Wechsel zwischen Nafstyp der Nacht und Trockentyp des Tages, der erst in den Vormittagsstunden erfolgt, während an bedeckten Tagen über den ganzen Meßzeitraum der Nafstyp herrscht.

Vergleicht man alle untersuchten Standorte miteinander, so sind entsprechend den höchsten Temperaturen am Standort des *Rhacomitrietum* hier auch die niedrigsten Werte der relativen Luftfeuchtigkeit zu verzeichnen. Mehrfach wurden in 1 cm Höhe weniger als 45 % gemessen. Auch kurzzeitige Schwankungen sind häufig. Daß sich die an Strahlungstagen auftretende Temperaturschichtung mit dem Maximum in der Pflanzendecke in der Ausprägung des Trockentyps widerspiegelt, stellte auch Preis 1937 fest: „Die relative Luftfeuchtigkeit nimmt . . . von oben nach unten ab“.

Vergleichsmessungen über dem unbewachsenen Granitblock zeigen, daß die Luftfeuchtigkeitswerte während Schlechtwetterperioden, besonders nach Regentagen, hier stärker abfallen, da ja von der Oberfläche des Granits kein Wasserdampf an die Luft abgegeben werden kann. An Strahlungstagen dagegen, wenn sich die *Rhacomitrium*-Rasen im Gleichgewichtszustand mit der umgebenden Luft befinden, liegen die Werte über dem Granit etwas höher, weil sich die Luft hier weniger erwärmt. Dadurch sind auch die geringeren Unterschiede zwischen  $LF_{+1}$  und den  $LF_{+30}$ -Werten bedingt. Wie oben erwähnt, repräsentiert das *Rhacomitrietum* an Strahlungstagen tags den Trockentyp und nachts den Nafstyp, während über dem nackten Granit genau die umgekehrten Verhältnisse vorliegen. Es ist anzunehmen, daß hier neben dem Temperaturfaktor auch die die Blöcke umgebenden Spalten eine gewisse Rolle spielen und der horizontale Massenaustausch wirksam wird.

Auf die zu erwartenden Größen der Evaporation geben schon die beschriebenen Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsverhältnisse Hinweise. Aufgabe der Messungen war es, die exakten Werte zu erfassen. Die mit Langzeitevaporimetern ermittelten Jahresgänge sind als Relativwerte und zur Charakterisierung des Meßzeitraumes gut geeignet (s. Abb. 12). Noch besser differenzieren jedoch die Tagesgänge von Strahlungstagen (s. Abb. 13). Bei einem Vergleich der fünf Vereine liegen, wie zu erwarten war, beim *Rhacomitrietum* die höchsten Werte vor, die auch am stärksten um den Mittelwert schwanken. Die große Verdunstungsbelastung dieses Standortes hat ihre Ursache vor allem in den Strahlungseinflüssen, weniger in der Luftbewegung. Extremwerte in 2 cm Höhe wurden 1969 am 10. 4. zwischen 13.30 und 14.30 Uhr mit 0,65 ml/h und am 5. 7. zwischen 13.00 und 16.00 Uhr mit 0,60–0,70 ml/h gemessen. Trotz der in 1 cm Höhe häufig herrschenden höheren Temperaturen und niedrigeren Luftfeuchtigkeiten waren die in 2 cm Höhe beobachteten Verdunstungsgrößen gegenüber den in 30 cm Höhe beobachteten immer kleiner bzw. gleich, was durch die geringe Windbeeinflussung des Standortes bedingt ist.

Über dem nackten Granitblock liegen in dem durch gute Feuchtigkeitsverhältnisse gekennzeichneten Jahr 1970 die täglichen Werte im halben Monat stets etwas höher (s. Abb. 12). An Strahlungstagen kann jedoch den Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsverhältnissen entsprechend auch der umgekehrte Fall eintreten.

Da die  $Ev_{+30}$ -Werte nur um 0,05 bis 0,10 ml/h von den  $Ev_{+2}$ -Werten abweichen, sind in 1 m Höhe auch nicht viel andere Werte zu erwarten. Bei einem Vergleich mit den in der Literatur für Mitteleuropa in 1 m Höhe angegebenen Höchstwerten (z. B. Volk 1930/31: 1,78 ml/h) stellen sich die extremen stündlichen Werte dieses Standorts als sehr mäßig heraus. Walter 1928 konnte wenige cm über einem sonnigen Moos- und Flechtenstandort im Gebiet von Lunz (Ostalpen) 2,10 ml/h bei 59 °C und 28 % rLF messen. Trotz der hohen Temperaturen bleibt die Luftfeuchtigkeit gegenüber der in trockenwarmen Gebieten gemessenen im Untersuchungsgebiet relativ hoch. Hinzu kommt die geringe Windwirkung. Bei den täglichen Mittelwerten wirkt sich die häufige nächtliche Nebelbildung als erniedrigender Faktor aus.

Obwohl der Bodenwassergehalt für die Moose weniger als für die höheren Pflanzen von Bedeutung ist, so gestattet er doch auch Aussagen über den Charakter des Standorts. Es hebt sich zwischen dem Standort des *Rhacomitrium* und dem des *Hypno-Dicranetum* ein deutlicher Unterschied hervor. Während ersterer gegenüber letzterem durch höhere Temperaturen, niedrigere Luftfeuchtigkeiten und größere Evaporimeterwerte gekennzeichnet ist, liegt der Wassergehalt des Bodens im Durchschnitt höher. Einmal ist der offene Standort tau- und regenbegünstigt, zum anderen verhindern die dicken *Rhacomitrium*-Rasen ein schnelles Austrocknen. Nur während der trockenen Perioden 1969 und 1971 sank der Bodenwassergehalt wenig unter den des *Hypno-Dicranetum* ab. Die niedrigsten Werte lagen 1969 am 3. 8. bei 11,97 % und 1971 am 27. 7. bei 12,26 %. Es ist anzunehmen, daß der Boden eine relativ geringe maximale Wasserkapazität besitzt, da selbst nach Regenperioden ein Wassergehalt von 265,25 % (28. 4. 1971) nicht überschritten wurde (s. Abb. 14, Tab. 2).

Der im folgenden als „Wassergehalt der Pflanzen“ bezeichnete Wert erfafßt nicht nur den Wassergehalt der Pflanzen, sondern auch das von den Decken oder Rasen kapillar festgehaltene Wasser, dessen Anteil sehr hoch sein kann. Wie die Bodenfeuchtigkeit, so ist auch die Pflanzenfeuchtigkeit von Mai bis August im allgemeinen durch niedrige Werte gekennzeichnet. Im Bereich der Pflanzendecke treten die verdunstungsfördernden Faktoren noch stärker in Erscheinung. 1969 wurden am 17. 7. 14,74 % und am 3. 8. 14,88 % als niedrigste Werte aller Gesellschaften gemessen. Normalerweise liegen auch diese Werte über denen des *Hypno-Dicranetum* (s. Abb. 15 und Tab. 2).

## 6. Ergebnisse der Untersuchungen am Standort des *Ptilio-Hylocomietum*

### a) Lichtverhältnisse

Das *Ptilio-Hylocomietum* ist durch einen hohen relativen Lichtgenuß gekennzeichnet, dessen Jahresgang in Abb. 9 dargestellt ist. Er erreicht im Sommer infolge der Belaubung niedrigere Werte als im Frühjahr und im Herbst. Sie schwanken zwischen 94 und 73 %.

Wiesner 1952 gibt für diesen Verein aus dem Gebiet von Lunz folgende Werte an:

relativer Lichtgenuß	86 %	76 %	53 %
Häufigkeit	40 %	40 %	17 %

Tabelle 2. Extreme Werte zum Wasserhaushalt

	1 $\frac{1}{2}$ $\Delta^*$		2 $\frac{1}{2}$ $\Delta$		3 $\frac{1}{2}$ $\Delta$		4 $\frac{1}{2}$ $\Delta$		5 $\frac{1}{2}$ $\Delta$	
Datum	8. VII. 1970 14.00		5. VII. 1969 16.00		5. VII. 1969 13.30		15. VI. 1970 14.00		3. VIII. 1969 14.40	
LF+1 niedrigster Wert [%]	42		56		56		60,5		65	
	41									
		-12		+1		$\pm 0$		+3,5		+5
LF+30 niedrigst. Wert [‰]	54	-14,5	55		56		57,0		60	
	55,5									
Datum	5. VII. 1969	15.00-16.00	10. VI. 1969	12.55-13.55	10. IV. 1969	14.05-16.05	10. IV. 1969	14.20-15.20	3. VIII. 1969	15.40-16.40
Ev+2 höchster Wert [ml/h]	0,70		0,45		0,50		0,30		0,20	
		$\pm 0,00$		+0,20		+ 0,15		+0,15		$\pm 0,00$
Ev+30 höchst. Wert [ml/h]	0,70		0,65		0,65		0,45		0,20	
Datum	28. IV. 1971		5. V. 1970		4. VI. 1969		17. VI. 1969		28. IV. 1971	
BF höchster Wert [‰ H <sub>2</sub> O/TS]	265,25		425,80		212,79		300,70		750,68	
Datum	3. VIII. 1969		14. VIII. 1969		3. VIII. 1969		11. VIII. 1971		27. VII. 1971	
BF niedrigster Wert [‰ H <sub>2</sub> O/TS]	11,97		28,77		13,00		29,98		41,10	
Datum	24. VIII. 1970		27. X. 1970		29. IV. 1970		5. XI. 1969		1. X. 1970	
MF höchster Wert [‰ H <sub>2</sub> O/TS]	360,36		671,81		390,54		502,59		1420,55	
Datum	17. VI. 1969		15. VI. 1970		15. VI. 1970		3. VIII. 1969		3. VIII. 1969	
MF niedr. Wert [‰ H <sub>2</sub> O/TS]	14,74		18,04		14,04		19,46		111,98	

\*  $\Delta$  (LF+1 - LF+30)      (Ev+30 - Ev+1)



## b) Windverhältnisse

Die gemessenen Windgeschwindigkeiten liegen nur selten höher als 0,5 m/s (Höchstwert 0,9 m/s am 8. 10. 1969).

## c) Temperaturverhältnisse

Vergleicht man die Temperaturverhältnisse dieses Standortes mit den vom Standort des *Rhacomitrietum* beschriebenen, so zeichnen sich verschiedene Differenzen ab. Die Tatsache, daß direkte Sonneneinstrahlung hier nur kurzzeitig zur Wirkung kommt, spiegelt sich sowohl in niedrigeren Maximumtemperaturen als auch in niedrigeren Tagesmitteln wider (s. Abb. 10 und 11, Abb. 4). An Strahlungstagen kam es an der MST 2<sub>1</sub> zwischen den Pflanzen zu sehr hohen Werten, die jedoch 41,2 °C nicht überschritten, während an der MST 2<sub>2</sub> die höchsten Temperaturen nur zwischen 20 und 23 °C gemessen wurden. Auch die Erwärmung der benachbarten Schichten ist geringer und die Schichtung weniger ausgeprägt als beim *Rhacomitrietum*. Da die Meßstellen erst in den Nachmittagsstunden von der direkten Sonneneinstrahlung getroffen werden, ist auch das tägliche Maximum zeitlich verschoben. Nur an solchen Tagen, die nachmittags bewölkungsfrei oder locker bewölkt sind, liegen die  $T_{-2}$ -Tagesmittel am höchsten. Im anderen Fall erreichen

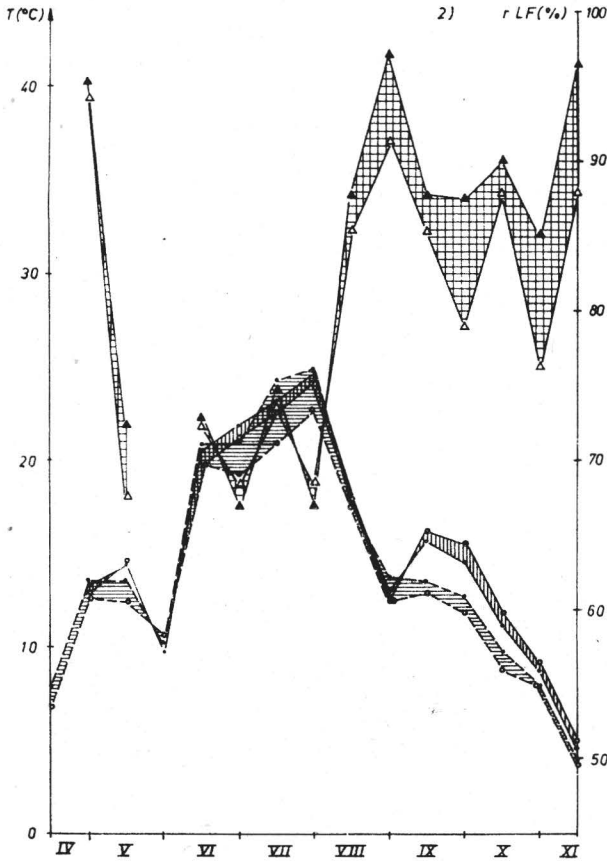


Abb. 4. Jahresgang der mikroklimatischen Verhältnisse am Standort des *Ptilio-Hylocomietum* (Legende wie Abb. 3)

die Lufttemperaturen höhere Werte, wie es für strahlungsgeschützte Standorte charakteristisch ist. Die  $T_{+1}$ -Tagesmittel sind in der ersten Hälfte der Vegetationsperiode gegenüber den  $T_{+30}$ -Werten erhöht, im Herbst kehren sich die Verhältnisse um. Tageskurven verlaufen flacher, und Schwankungen sind weniger ausgeprägt als beim *Rhacomitrium*. Auch die Untersuchungen von Düll-Hermanns 1973 am Königsstuhl bei Heidelberg ergaben geringe Temperaturschwankungen für die *Hylocomietum*-Standorte.

#### d) Wasserfaktor

Wie der Temperaturgang, so ist auch der Gang der Luftfeuchtigkeit hier weniger extrem als an den Standorten des *Rhacomitrium*. Der Trockentyp tritt nur an sehr warmen Strahlungstagen in Erscheinung, vorherrschend ist der Naßtyp. Die Extremwerte fallen in 1 cm Höhe nicht unter 55 % ab, die entsprechend den Temperaturmaxima in den Nachmittagsstunden zu erwarten sind. Die herbstlichen  $LF_{+1}$ -Tagesmittel liegen infolge des starken Taufalls verhältnismäßig hoch. Gegenüber dem *Rhacomitrium* ist die Differenz zwischen den  $LF_{+1}$ - und den  $LF_{+30}$ -Werten, wenn der Trockentyp herrscht, auf Grund der geringeren Erwärmung der Pflanzendecke kleiner. Größer ist sie dagegen im Herbst, wenn von der besser durchfeuchteten Pflanzendecke ständig ausreichend Wasserdampf an die angrenzende Luftschicht abgegeben werden kann.

Entsprechend den bisher beschriebenen Gegebenheiten ist auch die Evaporation gegenüber dem Standort des *Rhacomitrium* geringer. Der höchste in 2 cm Höhe gemessene Wert betrug am 10. 4. 1969 zwischen 12.55 und 13.55 Uhr nur 0,45 ml/h. Die Tageskurven verlaufen flacher. Eine Zunahme der Evaporation mit der Entfernung von der Pflanzendecke ist deutlicher. Die Differenz zwischen  $Ev_{+2}$  und  $Ev_{+30}$  betrug häufig 0,10 bis 0,15 ml/h (s. Abb. 12 u. 13).

Der Bodenwassergehalt fällt nur nach längerer Dauer trockener Perioden unter 100 % ab (s. Abb. 14). Werte über 200 % sind häufig, weil die dicken Pflanzendecken als Verdunstungsschutz wirken. Während die Böden des *Rhacomitrium* und des *Hypno-Dicranetum* zu Beginn der Trockenperiode 1969 am 5. 7. nur 17,43 bzw. 21,55 % Wasser aufweisen konnten, zeichnete sich das *Ptilio-Hylocomietum* zu diesem Zeitpunkt durch einen Bodenwassergehalt von 118,78 % aus, der erst am 3. 8. auf 46,66 % und am 14. 8. auf 28,77 % abgesunken war. 1971 lagen die niedrigsten Werte am 27. 7. bei 29,94 % und am 1. 9. bei 33,27 %. Im Herbst waren die Werte infolge des starken Taufalls relativ hoch.

Wie der Boden, so sind auch die Pflanzen die längste Zeit der Vegetationsperiode verhältnismäßig gut durchfeuchtet (s. Abb. 15). Besonders nach Regentagen wurden sehr hohe Werte gemessen, weil das kapillar festgehaltene Wasser viel langsamer verdunstet als am Standort des *Rhacomitrium*. Auch die niedrigsten Werte liegen infolge der geringeren Verdunstungsbelastung etwas höher (15. 6. 1970: 18,04 %).

### 7. Ergebnisse der Untersuchungen am Standort des *Hypno-Dicranetum*

#### a) Lichtverhältnisse

Dieser Verein stellt etwas weniger hohe Ansprüche an den Lichtgenuß als die beiden bisher besprochenen. Die Werte des relativen Lichtgenusses fallen von 93 % vor der Belaubung auf 63 % im Sommer ab (s. Abb. 9).

Von Wiesner 1952 wurden für *Hypnum cupressiforme* folgende Werte gemessen:

relativer Lichtgenuß	44 ‰	20 ‰	(12 ‰) <sup>1</sup>
Häufigkeit	18 ‰	20 ‰	(62 ‰)

Bei Belichtung über 44 ‰ konnte sie die Art nicht mehr beobachten.

#### b) Windverhältnisse

Wie am Standort des *Ptilio-Hylocomietum* wurden auch hier Windgeschwindigkeiten von mehr als 0,5 m/s nur selten erreicht (Höchstwert 0,9 m/s am 5. 7. 1969).

#### c) Temperaturverhältnisse

Dieser Standort ist durch nahezu gleiche Temperaturen der untersuchten Schichten charakterisiert (Abb. 5). Erstens liegen die Blöcke über der mittleren Oberfläche der Blockschutthalden, so daß sie in eine Luftschicht hineinragen, in der ohnehin eine geringe Temperaturschichtung zu erwarten ist. Zweitens kommt dem horizontalen Massenaustausch eine Bedeutung zu, und drittens tritt unter der meist dünnen Pflanzendecke (2 bis 3 cm) die hohe Wärmekapazität des Granits in Erscheinung. Letzteres zeigt sich bei der Betrachtung der gemessenen Minimumtemperaturen deutlich (s. Abb. 10 u. 11). Nur im Frühjahr fallen die  $T_{\min-2}$ -Werte stärker als die  $T_{\min+1}$ -Werte ab. Haben sich die Blöcke einmal erwärmt, wird die Wärme so langsam von der Oberfläche weggeführt, daß die  $T_{\min}$ -Werte zwischen den Pflanzen stets höher liegen als die der sich darüber befindenden Luft. Bei einem Vergleich aller untersuchten Vereine liegen die Minima hier am höchsten. Maximumtemperaturen über 30 °C wurden nur in der zweiten Junihälfte 1970 an der MST 32 zwischen den Pflanzen beobachtet. Die  $T_{\max+1}$ -Werte überschritten 30 °C in beiden Jahren nicht. Gegenüber dem *Rhacomitrietum* und dem *Ptilio-Hylocomietum* ist die Amplitude der Extremtemperaturen kleiner.

Die dünnen, kompakten, weniger als Wärmeisulator wirkenden *Hypnum*-Decken weisen zwar ebenfalls eine stärkere Erwärmung als die angrenzende Luftschicht auf, wie es in der ersten Hälfte der Vegetationsperiode beim *Rhacomitrietum* und häufig auch beim *Ptilio-Hylocomietum* der Fall war, aber die auftretenden Differenzen sind sehr klein. Schlechtwettertage sind hier durch einen noch flacheren Kurvenverlauf gekennzeichnet.

Daß die Verhältnisse bei der weiten ökologischen Amplitude dieser Gesellschaft auch anders liegen können, machen vergleichende Messungen am 15. 6. 1970 (Strahlungstag) deutlich, die an zwei Meßstellen an der südexponierten Oberhangkante der Schurre durchgeführt wurden, wo die Gesellschaft ebenfalls an zeitweise beschattete Standorte gebunden ist. Hier ergeben sich Parallelen zu dem sonnenoffenen Standort des *Rhacomitrietum* am Nordhang. Die Schichtung zwischen  $T_{-2}$ ,  $T_{+1}$  und  $T_{+30}$  ist ausgeprägt.

#### d) Wasserfaktor

Waren die Temperaturen gegenüber dem Standort des *Ptilio-Hylocomietum* erniedrigt, so erreichen im Gegensatz dazu die Tagesmittel der Luftfeuchtigkeit kleinere Werte. Diese größere Trockenheit, bedingt durch die „bodenfernere“ Lage des Standorts, demonstrierten nicht die Extremwerte, die bei den bisher besprochenen Gesellschaften infolge der starken Erwärmung der Pflanzendecke auftreten, sondern die durch eine längere Dauer niedriger Werte bedingten kleineren Tagesmittel. Bereits in den Vormittagsstunden fällt die Luftfeuchtigkeit stark ab. Als niedrigste Werte wurden 56 bis 65 ‰ gemessen.

<sup>1</sup> Zusammen mit *Fissidens taxifolius*, *Eurhynchium striatum*, *Neckera crispa* und *Plagiochila asplenioides*.

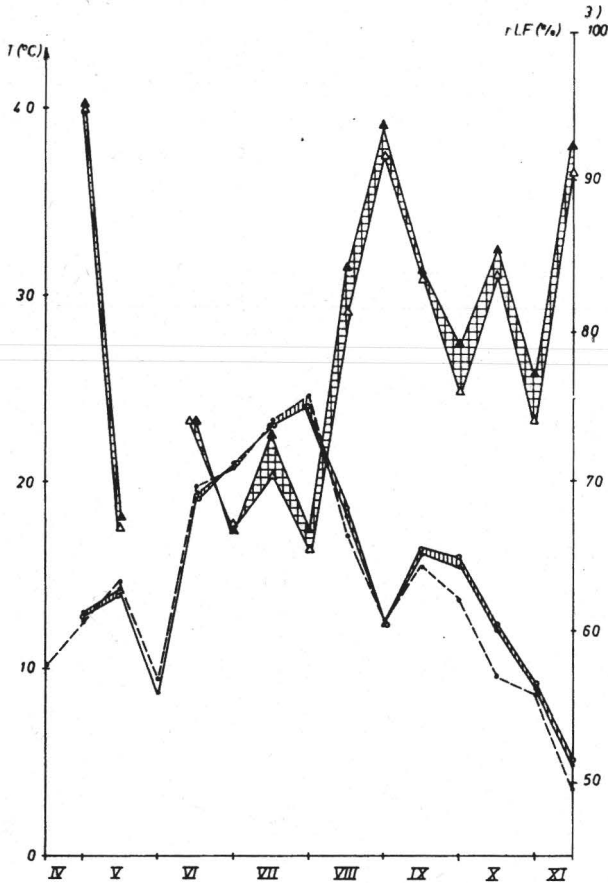


Abb. 5. Jahrgang der mikroklimatischen Verhältnisse am Standort des *Hypno-Dicranetum* (Legende wie Abb. 3)

Die Zufuhr flüssigen Wassers in Form von Regen wird durch Baumkronen eingeschränkt. Auch die schlechte Benetzbarkeit der trockenen, glatten Oberfläche scheint eine gewisse Rolle zu spielen. Die Temperaturverhältnisse wirken dem nächtlichen Taufall entgegen, so daß die herbstlichen Tagesmittel und die Mittel von Regentagen unter denen des *Rhacomitrietum* liegen können.

Der Trockentyp wurde nur stundenweise an Strahlungstagen beobachtet, wobei die auftretenden Differenzen sehr gering waren.

Anders liegen die Verhältnisse bei den Meßstellen des Südhanges. Bereits 8.00 Uhr war die Luftfeuchtigkeit in 1 cm Höhe gegenüber 30 cm Höhe um 6% erniedrigt, die größte Differenz betrug 15.00 Uhr 9,5%. Trockentyp und Schichtung traten bis zum Ende der Messungen (20.00 Uhr) deutlich in Erscheinung. Der in 1 cm Höhe gemessene niedrigste Wert lag 15.00 Uhr bei 43%. Vergleichende Messungen über einem benachbarten sonnenoffenen, unbewachsenen Granitblock zeigen ein noch weiteres Absinken auf 33,5%.

Die Verdunstungsgrößen sind gegenüber dem Standort des *Ptilio-Hylocomietum* erhöht (s. Abb. 12 u. 13). Zwischen den  $Ev_{+2}$ - und den  $Ev_{+30}$ -Werten waren entsprechend den Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsverhältnissen nur sehr geringe

Differenzen zu verzeichnen. Lediglich im zeitigen Frühjahr (bei guter Durchfeuchtung der Pflanzendecke) traten an Strahlungstagen größere Unterschiede auf.

Obwohl die Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsverhältnisse am Südhang denen des *Rhacomitrietum* am Nordhang ähneln, liegen die Evaporimeterwerte deutlich niedriger, da das benachbarte Eichengebüsch als Hindernis für die Luftbewegung wirkte.

Bezüglich der Bodenfeuchtigkeit stellt das *Hypno-Dicranetum* den trockensten Verein dar. Werte unter 50 % sind nicht selten; mehr als 100 % Wassergehalt wurden nur vereinzelt beobachtet (s. Abb. 14). Im Frühjahr liegen die Werte am höchsten, bedingt durch die Schneeschmelze. Zum Sommer hin fallen sie ab und werden im Gegensatz zu den anderen Vereinen im Herbst nicht wesentlich erhöht. Auch die maximale Wasserkapazität scheint noch geringer als die des *Rhacomitrietum*-Bodens zu sein. Als Höchstwert wurden am 4. 6. 1969 212,79 % Wassergehalt gemessen.

Der Wassergehalt der Pflanzen überschreitet ebenfalls nur selten 100 % (s. Abb. 15). Nach Regenperioden liegen die Werte zwar etwas höher, das Wasser verdunstet jedoch schnell wieder, so daß die *Hypnum*-Decken die längste Zeit der Vegetationsperiode trocken sind (niedrigster Wert am 15. 6. 1970 14,04 %).

#### 8. Ergebnisse der Untersuchungen am Standort des *Mnietum horni*

##### a) Lichtverhältnisse

Das *Mnietum horni* ist sehr stark schwankenden Lichtverhältnissen ausgesetzt. So lag der relative Lichtgenuß bei fehlender Belaubung zwischen 70 und 75 %. Im Sommer fiel er auf 9 % ab (s. Abb. 9).

##### b) Windverhältnisse

Die beiden Meßstellen sind äußerst windgeschützt, so daß meist völlige Windstille herrscht. Die wenigen meßbaren Werte erreichten nur am 1. 6. 1970 0,3 m/s.

##### c) Temperaturverhältnisse

War bei den bisher besprochenen Gesellschaften in der ersten Hälfte der Vegetationsperiode eine stärkere Erwärmung der Pflanzendecke und damit verbunden eine stärkere Erwärmung der unteren Luftschicht zu beobachten, so weist hier die Luftschicht in 30 cm Höhe während der gesamten Vegetationsperiode die höchsten Temperaturen auf (Abb. 6). Die fehlende direkte Sonneneinstrahlung bedingt einen Abfall der Temperatur zum Boden hin. Die höchsten gemessenen Werte 1 cm über den Pflanzen lagen zwischen 25 und 30 °C, zwischen den Pflanzen wurden 25 °C nicht überschritten (s. Abb. 10 u. 11). Auch die geringere nächtliche Abkühlung der Pflanzendecke gegenüber der angrenzenden Luftschicht bedingt die kleine Amplitude der Extremtemperaturen in 2 cm Tiefe. Die  $T_{-5}$ -Werte sind nur wenig von den  $T_{-2}$ -Werten verschieden, was auf eine gute Leitfähigkeit des Bodens hinweist. Die Temperaturkurven zeigen sowohl im Jahresgang als auch im Tagesgang einen etwas flacheren Verlauf als die der bereits beschriebenen Vereine. Kurzzeitige Temperaturschwankungen treten hier nicht in Erscheinung, und Schlechtwettertage zeichnen sich durch einen fast waagerechten Verlauf der Kurven aus.

##### d) Wasserfaktor

Von den oben beschriebenen Gesellschaften ist das *Mnietum* durch stets erhöhte Luftfeuchtigkeit der bodennahen gegenüber der bodenfernen Schicht, durch flacheren Kurvenverlauf und durch weniger abfallende Extremwerte unterschieden.

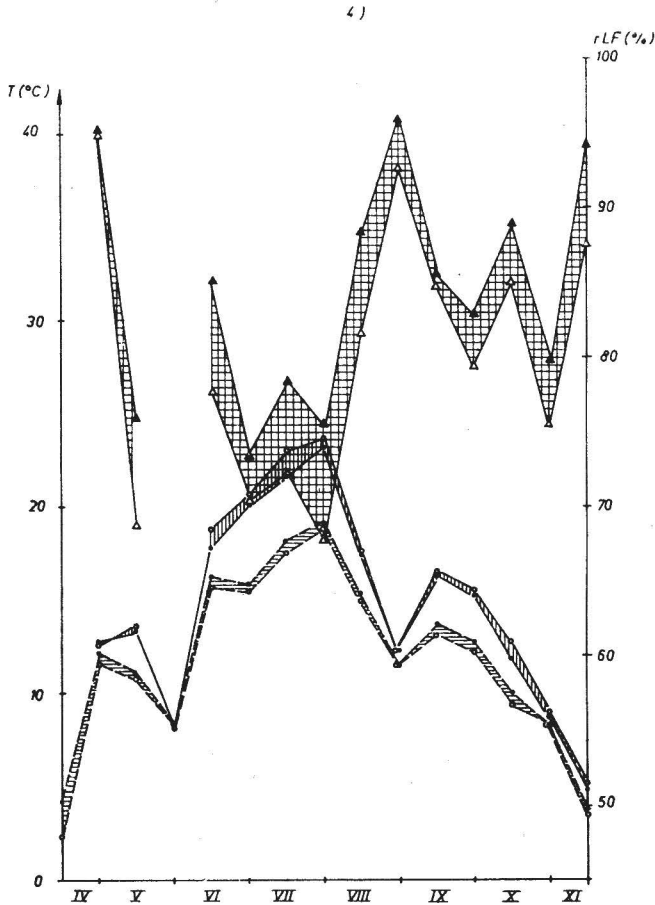


Abb. 6. Jahrgang der mikroklimatischen Verhältnisse am Standort des *Mnietum horni* (Legende wie Abb. 3)

Luftfeuchtigkeiten unter 70 % in 1 cm Höhe sind selten und von kurzer Dauer. Nach dem Laubfall liegen die Tagesmittel relativ niedriger.

Wenn auch die Verdunstungsgrößen, durch das ausgleichende Klima des Waldes bedingt, sehr klein bleiben, so sind doch Aussagen über diesen Faktor möglich. Bei einem Vergleich der Meßtage in der sommerlichen Trockenperiode 1969 zeigt sich, daß beim *Rhacomitrietum*, beim *Ptilio-Hylocomietum* und beim *Hypno-Dicranetum* schon am 5. 7. sehr hohe Werte auftraten, während die Werte des *Mnietum* noch relativ niedrig bleiben (s. Abb. 13). Erst nach längerer Dauer der Trockenperiode, als die Pflanzendecke und der Boden stärker ausgetrocknet waren, wurden am 3. 8., einem weniger extremen Strahlungstag, höhere Werte beobachtet. Der Höchstwert von 0,30 ml/h wurde vor der Belaubung am 10. 4. 1969 gemessen.

Der Jahrgang des Bodenwassergehaltes zeigt Parallelen zum Boden des *Hypno-Dicranetum*. Es wurden ebenfalls im Frühjahr (z. T. bedingt durch austretendes Sickerwasser) die höchsten Werte beobachtet, die mehrfach über denen des *Hylocomietum*-Bodens liegen. Im Sommer erfolgt ein langsames Austrocknen.

Erst während der Dürreperiode 1971 wurden 29,98 ‰ Wasser verzeichnet. Im Herbst nimmt der Bodenwassergehalt zwar wieder zu, bleibt aber infolge des fehlenden Taufalls hinter dem des *Hylocomietum*-Bodens zurück (s. Abb. 14).

Wie die Werte des Bodens, so sind auch die Werte der Pflanzen 1969 im Frühjahr gegenüber dem Herbst erhöht. In dem regenreicheren Jahr 1970 gleichen die Frühjahrs- und Herbstwerte einander. Während der Trockenperiode 1969 wurde erst am 3. 8. der niedrigste Wert mit 19,46 ‰ gemessen.

#### 9. Ergebnisse der Untersuchungen am Standort des *Polytrichum attenuatum*-*Sphagnum*-Vereins

##### a) Lichtverhältnisse

Der relative Lichtgenuß dieses Vereins schwankte zwischen 90 und 54 ‰. Infolge der Beschattung durch benachbart stehende Bäume lag das Minimum im Sommer (s. Abb. 9).

Die Messungen von Angerer (aus Wiesner 1907 in Herzog 1926) ergaben für *Sphagnum nemoreum* von März bis Mai Werte zwischen 7 und 71 ‰ relativen Lichtgenuß.

##### b) Windverhältnisse

Die erreichten Windgeschwindigkeiten lagen nie höher als 0,25 m/s.

##### c) Temperaturverhältnisse

Ähnlich wie am Standort des *Mnietum* lassen auch hier die Tagesmittel der oberen Luftschicht die ganze Vegetationsperiode über die höchsten Werte erkennen (Abb. 7). Im Herbst ist die Differenz zwischen den  $T_{+1}$ - und den  $T_{+30}$ -Tagesmitteln größer als bei den übrigen Vereinen, weil sich die geringe Erwärmung der Pflanzen und der angrenzenden Luftschicht auswirkt, während sich die Werte aller Vereine in 30 cm Höhe zu diesem Zeitpunkt nicht wesentlich unterscheiden. Im Gegensatz zum *Mnietum* kann sich hier jedoch in der ersten Hälfte der Vegetationsperiode kurzfristig, wenn Sonnenflecken wirksam werden, die Pflanzendecke stärker erwärmen als die benachbarte Luftschicht. Die Maximumtemperaturen 1 cm über den Pflanzen erreichen ähnlich hohe Werte wie beim *Mnietum*, die Minimumtemperaturen fallen etwas stärker ab (s. Abb. 10 u. 11). Infolge der durch ständige Feuchtigkeit erhöhten Wärmekapazität der *Sphagnum*-Schicht ist ihre nächtliche Abkühlung stets um 2 bis 3 °C geringer als die der angrenzenden Luftschicht. Die tägliche Temperaturamplitude ist klein, sie vergrößert sich lediglich etwas an Strahlungstagen mit stärkerer Erwärmung.

Da die Blöcke unter der mittleren Oberfläche der Blockschutthalde liegen, sind sie im Frühjahr lange mit Schnee bedeckt, so daß sehr niedrige Temperaturminima auftraten (April 1969: -9,8 °C, April 1970: -7,8 °C).

##### d) Wasserfaktor

Die Luftfeuchtigkeitsverhältnisse repräsentieren wie beim *Mnietum* während der gesamten Vegetationsperiode den Naßtyp, da von den stets feuchten *Sphagnum*-Rasen reichlich Wasser an die benachbarte Luftschicht abgegeben wird. So verlaufen Tages- und Jahresgänge in 1 cm Höhe noch flacher als beim *Mnietum*. Die Differenz zwischen  $LF_{+1}$ - und den  $LF_{+30}$ -Werten ist hier am ausgeprägtesten. Die Extremwerte fallen in 1 cm Höhe nicht unter 65 ‰ ab und treten sehr selten auf.

Ähnlich wie am Standort des *Mnietum* liegen auch hier die Evaporimeterwerte erst nach längerer Dauer trockener Perioden etwas höher, aber es wurden in 2 cm

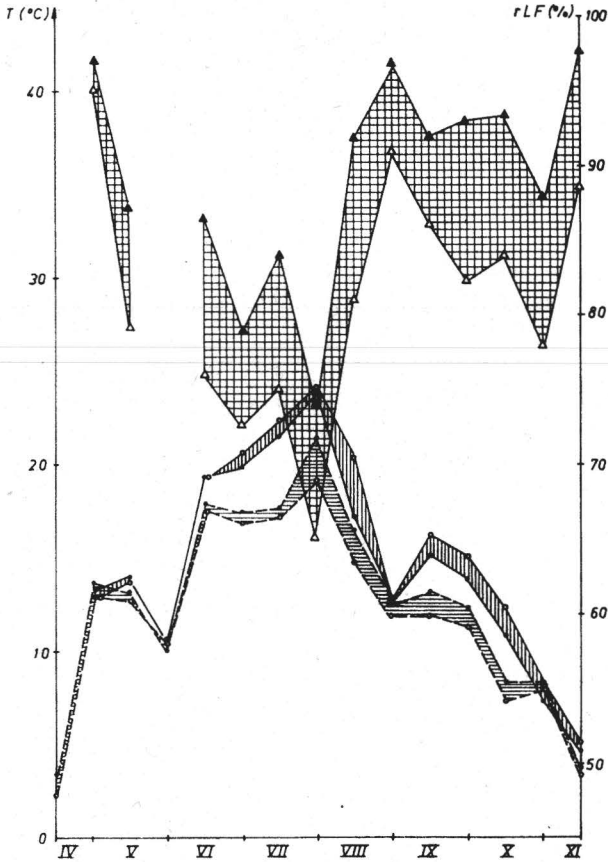


Abb. 7. Jahresgang der mikroklimatischen Verhältnisse am Standort des *Polytrichum attenuatum-Sphagnum*-Vereins (Legende wie Abb. 3)

Höhe 0,20 ml/h nicht überschritten. An bedeckten Tagen war die Evaporation äußerst gering. Differenzen zwischen 2 und 30 cm Höhe wurden an Strahlungstagen bis 0,15 ml/h beobachtet, am 10. 4. 1969 erreichten sie ausnahmsweise 0,30 ml/h.

Die Feststellung Walters 1928: „Die Verdunstungsgröße an den einzelnen Standorten nimmt also ganz regelmäßig mit dem Lichtgenuß ab“ trifft für einen Vergleich der Standorte *Mnietum* und des *Sphagnum*-Vereins nicht zu.

Unterschiedlicher als die Evaporation der beiden letztgenannten Vereine gestaltet sich der Faktor Bodenfeuchte. Bereits Luftfeuchtigkeits- und Evaporimeterwerte weisen auf einen günstigen Wasserhaushalt dieses Standortes hin. Die klimatischen Bedingungen werden insofern hier von der Pflanzendecke stark beeinflusst, als der anatomische und morphologische Bau der *Sphagnum*-Pflanzen einen sehr hohen Wassergehalt und eine langsame Wasserabgabe ermöglicht, wodurch auch ein hoher Bodenwassergehalt bedingt ist. Werte zwischen 200 und 500 % sind die Regel (s. Abb. 14). Zu der langsamen Wasserabgabe kommt eine hohe maximale Wasserkapazität hinzu. Der niedrigste gemessene Wert betrug am 27. 7. 1971 41,10 %.



1)

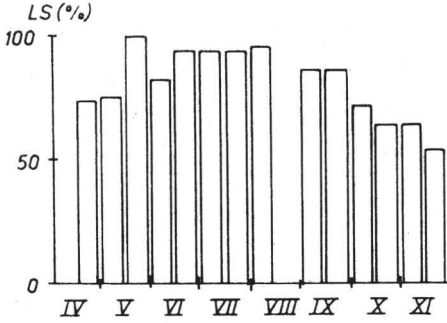


Abb. 8. Jahresgang der Lichtsumme am Standort des *Rhacomitrietum lanuginosum*

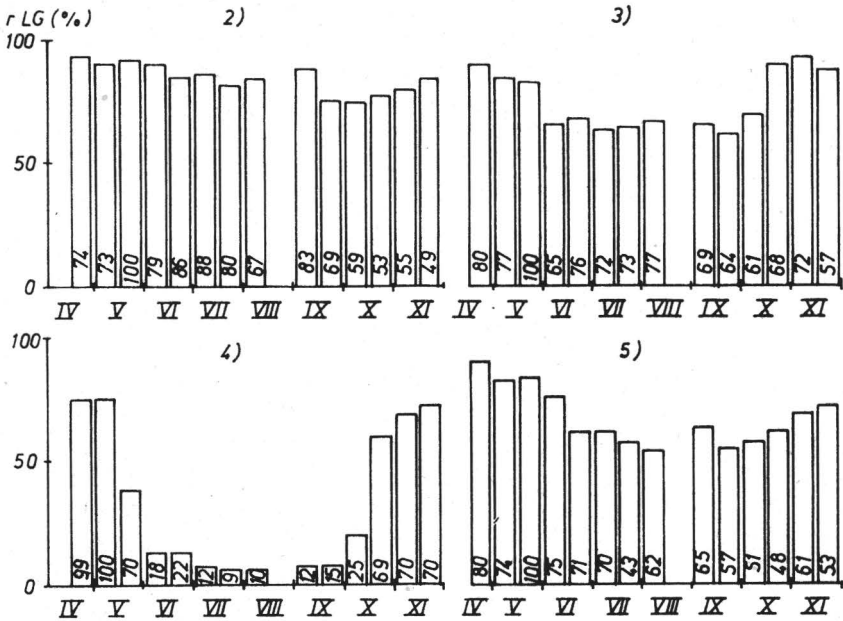


Abb. 9. Jahresgang des relativen Lichtgenusses an den Standorten des *Ptilio-Hylocomietum*, des *Hypno-Dicranetum*, des *Mnietum horni* und des *Polychtrichum attenuatum-Sphagnum-Verein* (Die Zahlen in den Säulen bezeichnen die Lichtsumme)

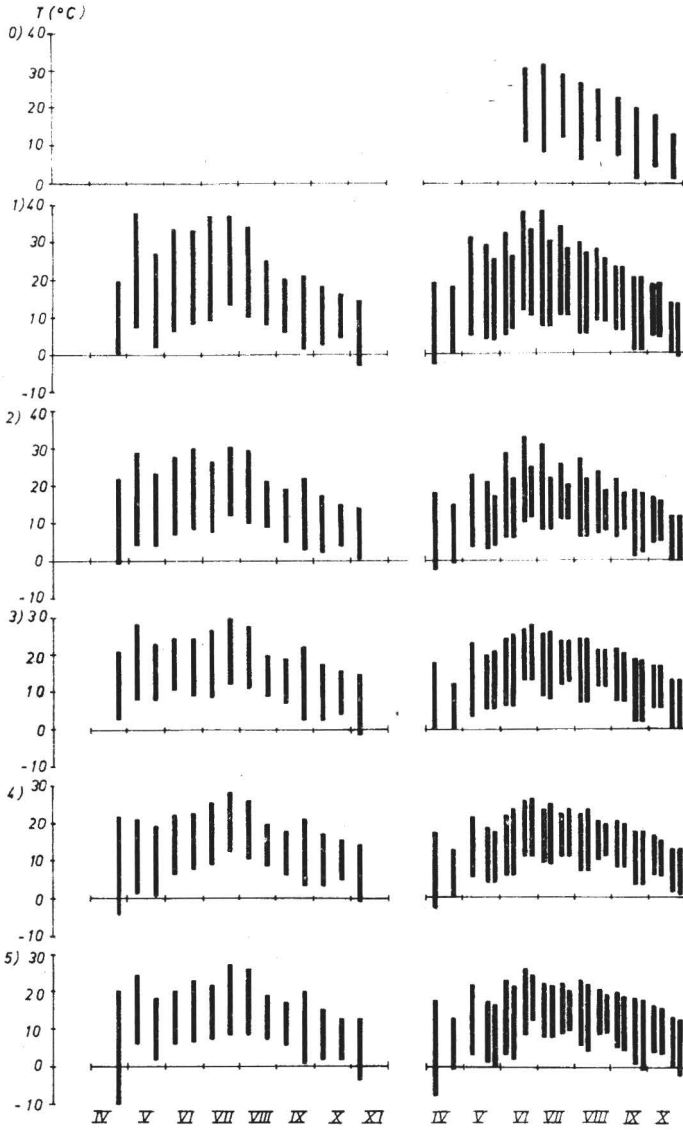


Abb. 10. Temperaturmaxima und -minima in 1 cm Höhe

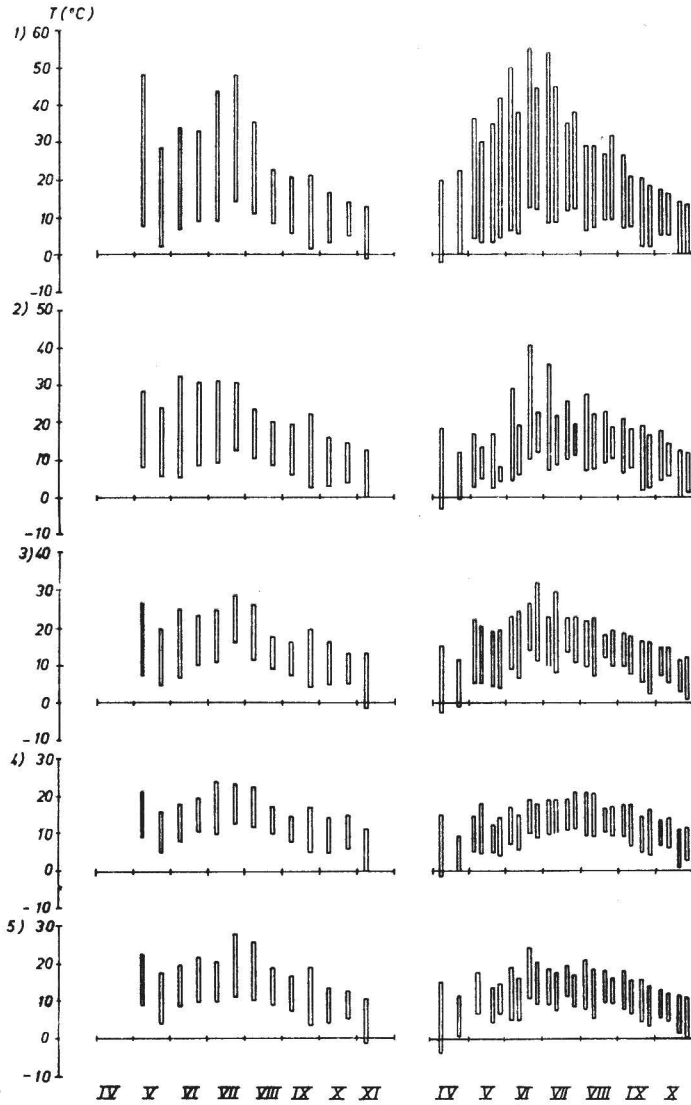


Abb. 11. Temperaturmaxima und -minima in 2 cm Tiefe

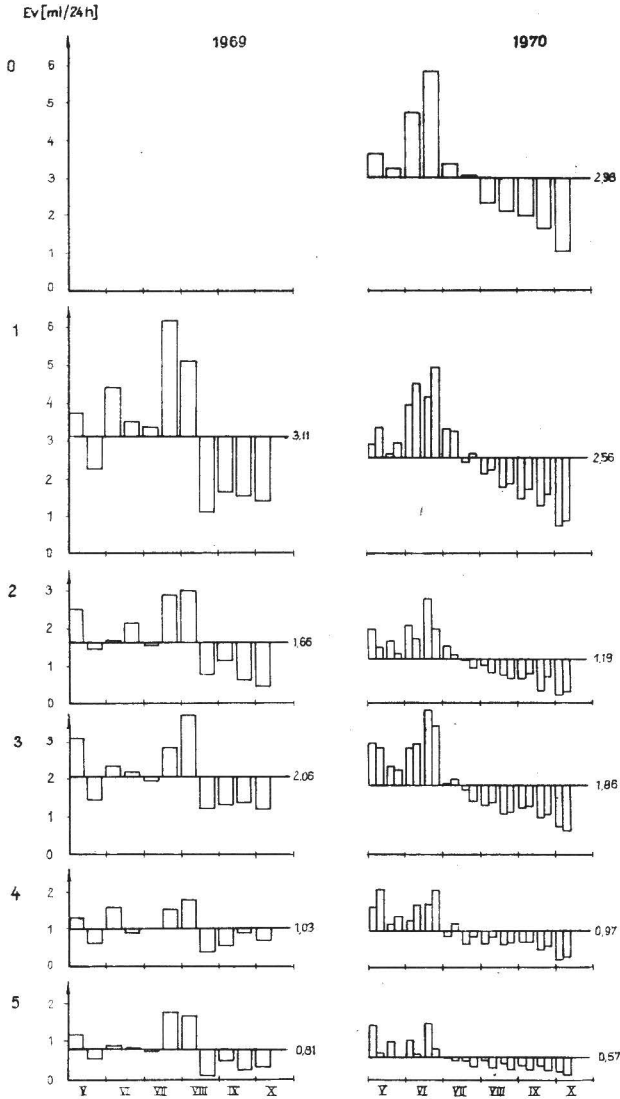


Abb. 12. Jahrgang der Evaporation (Schwankung um den Mittelwert)

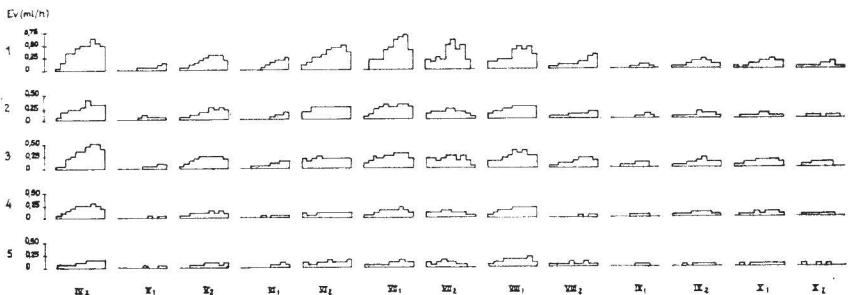


Abb. 13. Evaporation der Meßtage 1969

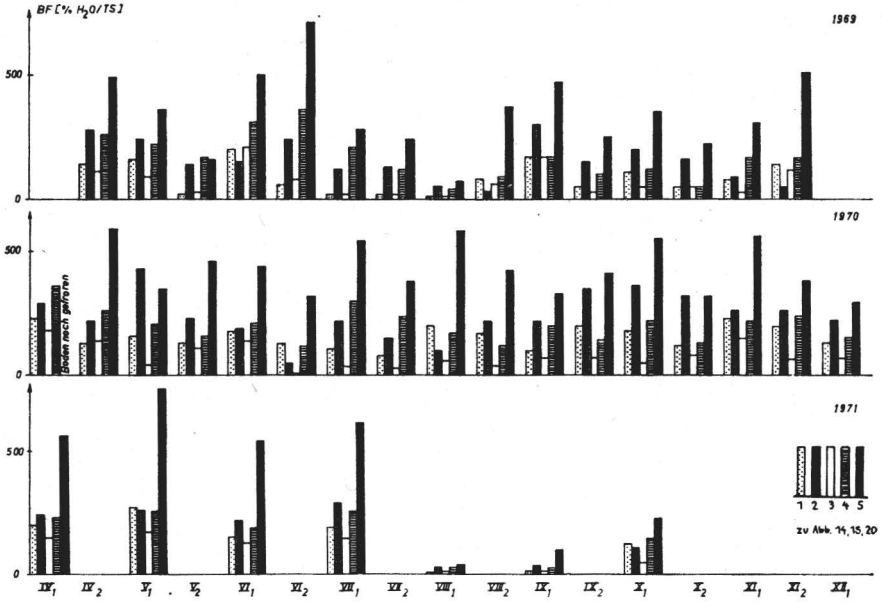


Abb. 14. Wassergehalt des Bodens

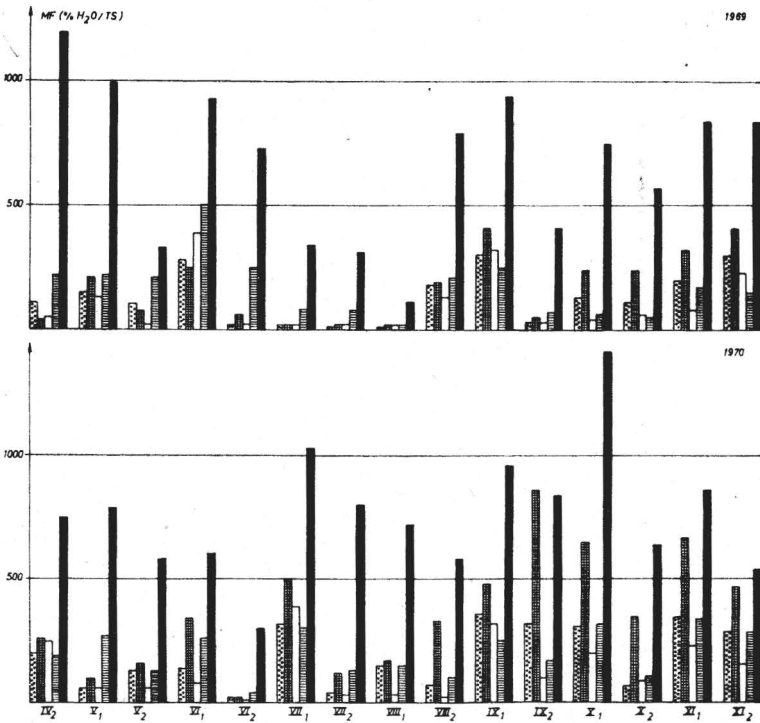


Abb. 15. Wassergehalt der Pflanzen (Legende wie Abb. 14)

Beim Wassergehalt der Pflanzen sind Werte über 700 % nicht selten. Nach Regen lagen sie am 10. 4. 1969 bei 1202,90 % und am 1. 10. 1970 bei 1420,55 %. Während der Trockenperiode 1969 wurden 100 % nicht unterschritten (s. Abb. 15).

10. Vergleich der Ergebnisse mit Hilfe statistischer Prüfverfahren

Um die Daten der mikroklimatischen Messungen nicht nur dem bloßen Eindrucksurteil zu unterwerfen, wurde mit Hilfe biometrischer Methoden geprüft, zwischen welchen Gesellschaften die einzelnen Faktoren statistisch gesicherte Unterschiede aufweisen. Bei einem Stichprobenumfang von  $n > 23$  kamen der F-Test und der t-Test zur Anwendung.

Die angegebenen Faktoren zeigen signifikante Unterschiede bei  $\alpha = 0,01$  bzw.  $\alpha = 0,05$  (...) bei zweiseitiger Fragestellung.

2	3	4	5	
$T_{-2}$	$T_{-2}$ ( $T_{+1}$ )	$T_{-2}, T_{-5}$ $T_{+1}, (T_{+30})$	$T_{-2}, T_{-5}$ $T_{+1}$	
$T_{\max -2}$	$T_{\max -2}$ $T_{\max +1}$	$T_{\max -2}$ $T_{\max +1}$	$T_{\max -2}$ $T_{\max +1}$	1
$LF_{+1}$	$LF_{+1}$	$LF_{+1}, (LF_{+30})$	$LF_{+1}, LF_{+30}$	
$EV_{+2}$	$EV_{+2}$	$EV_{+2}$	$EV_{+2}$	
$BF, MF$	$BF$	$BF$	$BF, MF$	
	$(T_{\max -2})$	$T_{-2}, T_{-5}$ $T_{\max -2}$ ( $T_{\max +1}$ )	$T_{-2}, T_{-5}$ $T_{\max -2}$ $T_{\max +1}$	2
	$(LF_{+1})$	$LF_{+1}$	$LF_{+1}$	
	$(EV_{+2})$	$EV_{+2}$	$EV_{+2}$	
	$BF, MF$	$MF$	$BF, MF$	
		$T_{-2}$ ( $T_{\max -2}$ )	$T_{-2}$	
		$LF_{+1}$	$LF_{+1}, (LF_{+30})$	3
		$EV_{+2}$	$EV_{+2}$	
		$BF, (MF)$	$BF, MF$	
			$LF_{+1}$	
			$EV_{+2}$	4
			$BF, MF$	

Die Ergebnisse der statistischen Berechnungen betonen sehr deutlich den ausgesprochenen Nischencharakter der untersuchten Standorte. Die größten Unterschiede treten im Bereich der Pflanzendecke hervor, während bereits in 30 cm Entfernung nur noch in wenigen Fällen statistisch gesicherte Unterschiede zu verzeichnen waren. Die Tatsache, daß sich direkt über der Pflanzendecke Luftfeuchtigkeit und Evaporation aller Vereine signifikant unterscheiden, weist auf die große Bedeutung hin, die dem Wasserfaktor bei der Ausbildung der untersuchten Gesellschaften zukommt. Die

1970 aufgenommenen 12- und 14-Uhr-Werte sind weniger zur Charakterisierung der mikroklimatischen Verhältnisse geeignet, da die Extremwerte häufig erst in den Nachmittagsstunden auftreten.

## Bodenuntersuchungen

### 1. Allgemeines

Die den untersuchten Gesellschaften zugehörigen Böden sind Humussilikat-Rohböden im Sinne von Pallmann 1942 bzw. Ranker im Sinne von Kubiena 1948, die sich aus schwarzen Losungsstücken der Bodenkleintiere, Mineralteilchen und fast unzersetzten, zerbissenen Pflanzenresten zusammensetzen. Während bei Boden 1<sup>1</sup> die Entwicklung sehr langsam fortschreitet und über dieses Initialstadium nicht hinausgeht, zeigen die Böden 2, 4 und 5 eine gewisse Bräunung. Die Mächtigkeit erreicht bei Boden 1 selten mehr als 1 cm, nur in Spalten waren größere Bodenansammlungen zu beobachten. Bei den Böden 2 und 5 dagegen kann der A<sub>1</sub>-Horizont mehrere cm ausmachen. In solche fortgeschrittenen Stadien dringen höhere Pflanzen ein.

Bei den Gesellschaften 1, 3 und 5 fällt während der gesamten Vegetationsperiode in mehr oder weniger großen Mengen tote organische Substanz an, indem die Pflanzen rückwärtig absterben und an der Spitze weiterwachsen. Bei Verein 2 waren im Spätherbst Absterbeerscheinungen zu beobachten, im Frühjahr setzten die Pflanzen ihr Wachstum fort. Bei *Mnium hornum* endet die Lebensdauer eines Jahrestriebes im Frühjahr.

Für die Bodenuntersuchungen wurden in der Regel am Anfang und in der Mitte des Monats 1969 eine Probe je Gesellschaft und 1970 zwei Proben je Gesellschaft aus dem A<sub>1</sub>-Horizont in der Nachbarschaft der Meßstellen entnommen. Ein Teil wurde an der Luft getrocknet und nach der Siebung mittels eines 2-mm-Siebes für die Bestimmungen der Bodenacidität, des Gehaltes an organischer Substanz und des Stickstoffgehaltes verwendet. Bei den Untersuchungen, die sich mit der Bodenflora und der Bodenfauna befaßten, erfolgte keine Vorbehandlung.

Die Ergebnisse wurden ebenfalls mittels F- und t-Test ( $\alpha = 0,01$ ) auf signifikante Unterschiede geprüft. Bei kleinen Stichproben  $n < 23$  kamen Friedman- und Wilcoxon-Test ( $\alpha = 0,05$  bei zweiseitiger Fragestellung) zur Anwendung.

### 2. Bodenacidität

Die Bestimmung des pH-Wertes erfolgte elektrometrisch an einem „Universal-pH-Meßgerät Typ OP 204“ (Fény-SZÖV, Budapest) mit einer Glaselektrode und einer Kalomelbezugselektrode. Es wurden 2 g (10 mg Genauigkeit) lufttrockener Boden in 25 ml aqua dest. bzw. 1n KCl-Lösung suspendiert und etwa 18 Stunden stehengelassen. Während des Meßvorganges wurde die Suspension bewegt.

Aus dem Jahre 1970 liegen je Gesellschaft in Wasser 40 Werte und in KCl-Lösung 39 Werte vor, die in Abb. 16 dargestellt sind. Wegen der kleinen Bodenmengen, die zur Verfügung standen, wurde nur je eine Messung durchgeführt.

Nach dem F-Test ist der Boden 4 durch seine geringe Streuung von den anderen Böden signifikant verschieden. Der t-Test ergab Gleichheit für die Böden 1 und 3, während die Mittelwerte der anderen Böden statistisch gesicherte Unterschiede aufweisen. Die Berechnungen wurden an den in Wasser ermittelten Werten vorgenommen.

<sup>1</sup> Im folgenden sind die Böden entsprechend den Gesellschaften auf S. 170–171 numeriert.

○ △ □ × +  
1 2 3 4 5

z. B. Abc. 16, 17, 18

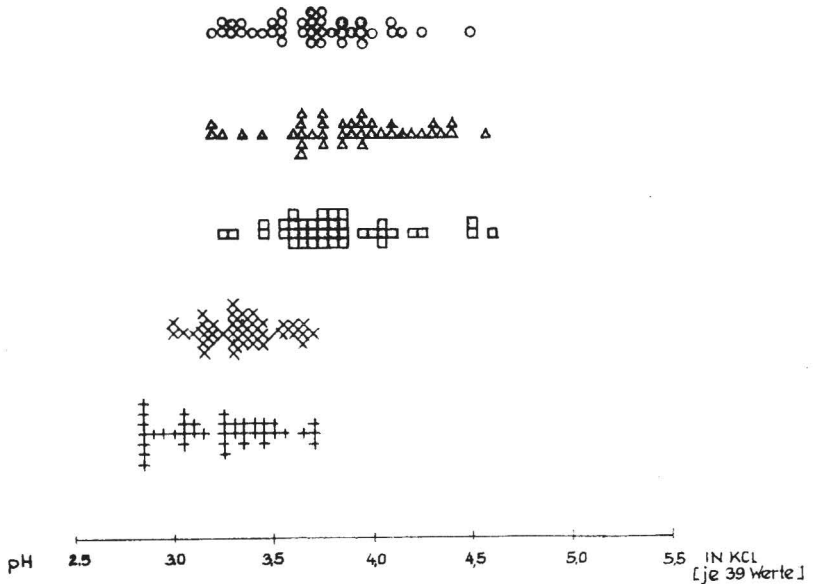
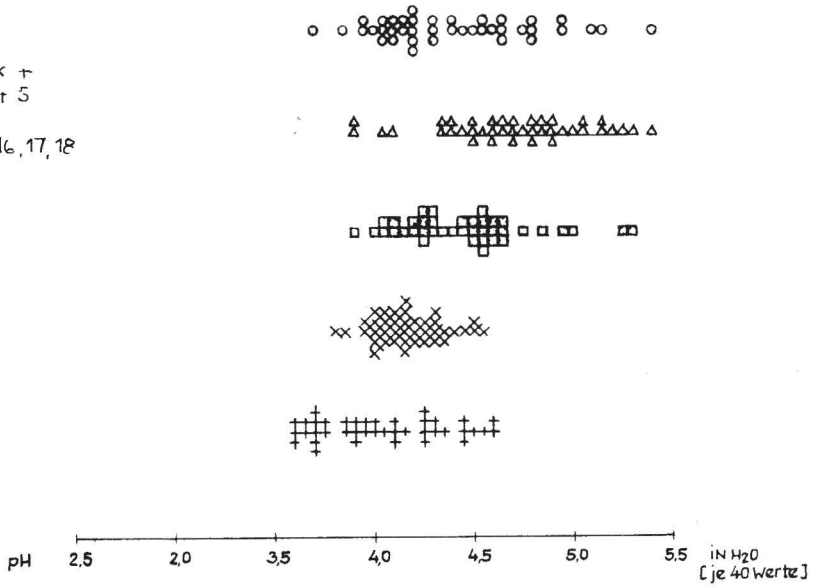


Abb. 16. pH-Werte

Da sich nach Wiedenroth 1969 die Tendenz abzuzeichnen scheint, daß bei längerer Lagerung saurer Böden der pH-Wert sinkt (vom 2. zum 3. Monat nach der Entnahme keine Änderung, vom 3. zum 9. Monat Abfall von 5,6 auf 5,3), erfolgten die Messungen 1 1/2 bis 3 Monate nach der Entnahme. Wiederholungsmessungen nach längerer



Zeit zeigten keinen  $pH$ -Abfall um 0,3 Einheiten, sondern nur geringe negative Änderungen, die möglicherweise auch durch Luftfeuchtigkeitsschwankungen bedingt sein können, da die Böden stark hygroskopisch sind. Es wurde jedoch darauf verzichtet, die Proben zu trocknen, da der Trockenprozeß (3 Std. bei  $105^{\circ}\text{C}$ ) einen  $pH$ -Abfall um 0,2 bis 0,3 Einheiten zur Folge hatte.

Über die Beziehung der Moose zur Bodenreaktion liegt eine Reihe von Untersuchungen vor. Eine Zusammenfassung der bis 1934 gebrachten Ergebnisse findet sich bei Apinis und Laciš 1934/35. Da die einzelnen Autoren die verschiedensten Methoden anwendeten, sind die Werte nur bedingt vergleichbar.

### 3. Gehalt an organischer Substanz (GV)

2 bis 3 g (0,1 mg Genauigkeit) absolut trockener Boden (3 Std. bei  $105^{\circ}\text{C}$  getrocknet) wurden 3 Std. bei  $800^{\circ}\text{C}$  im Muffelofen geglüht. Je Gesellschaft liegen 55 Werte (Doppelbestimmungen mit einem Fehler von  $\pm 0,5\%$ ) aus den Jahren 1969 und 1970 vor. Der Prozentgehalt an organischer Substanz ist aus Abb. 17 ersichtlich.

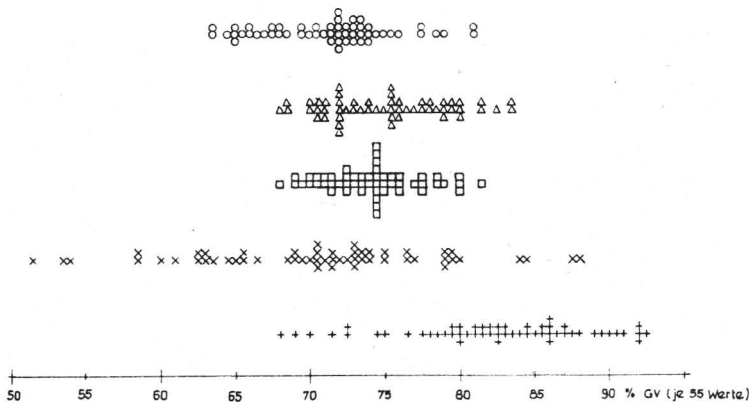


Abb. 17. Glühverlust (Legende wie Abb. 16)

Es unterscheiden sich die Böden 4 und 5 hinsichtlich der Streuung signifikant von den Böden 1, 2 und 3. Nach dem  $t$ -Test ergeben sich zwischen den Böden 1 und 2, 1 und 3, 4 und 5 statistisch gesicherte Unterschiede.

### 4. Stickstoffgehalt und C/N-Verhältnis

Die Bestimmung des organisch gebundenen Stickstoffs erfolgte nach Kjeldahl, wobei eine von Stöcker 1971 modifizierte Methode angewandt wurde. Nach Homogenisierung des Bodens mittels einer Schlagmühle wurden 350 mg absolut trockener Boden in einen 250-ml-Kjeldahl-Kolben mit etwa 1 g (Meßlöffel) Selenreaktionsgemisch, der gleichen Menge eines Gemisches von  $\text{CuSO}_4$  und  $\text{K}_2\text{SO}_4$  im Verhältnis 1:10 und 10 ml konz. Schwefelsäure versetzt und bis zum Klarwerden der Lösung gekocht. Nach dem Abkühlen erfolgte die Zugabe von 50 ml aqua dest. Dann wurde der Kolben an die nach Stöcker veränderte Destillationsapparatur angeschlossen und der Kolbeninhalt mit 50 ml konz. Natronlauge zur Reaktion gebracht. In dem als Vorlage dienenden Erlenmeyerkolben befanden sich 15 ml 2%ige Borsäure, die einen Mischindikator enthielt (0,033 g Bromkresolgrün und 0,017 g Methylrot mit Äthanol auf 50 ml aufgefüllt und mit 0,5 n NaOH auf ein schmutziges Blaugrün eingestellt). Die

Destillationsrate betrug 7,5 ml/min, die Destillationsdauer 7 Minuten. Das gebildete  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{BO}_3$  wurde gegen 0,05 n  $\text{H}_2\text{SO}_4$  titriert. Es liegen 25 Werte (Doppelbestimmungen mit einem Fehler von  $\pm 0,25\%$ ) je Gesellschaft aus dem Jahre 1970 vor, die auf die ungünstige Humusform der Böden hinweisen (Abb. 18).

Der F-Test ergab Übereinstimmung der Streuungen aller Böden, während nach dem t-Test die  $H_0$ -Hypothese nur für die Böden 2 und 4 sowie 3 und 4 angenommen werden kann.

Das C/N-Verhältnis wurde rechnerisch ermittelt unter Zugrundelegen eines durchschnittlichen Kohlenstoffgehaltes der organischen Substanz von 58  $\%$ . Die Böden 1 und 5 lassen ein sehr weites C/N-Verhältnis zwischen 22 und 36 erkennen. Einen etwas günstigeren Humuszustand zeigen die Böden 3 und 4 mit Werten zwischen 18 und 26 bzw. 16 und 25 (Abb. 18).

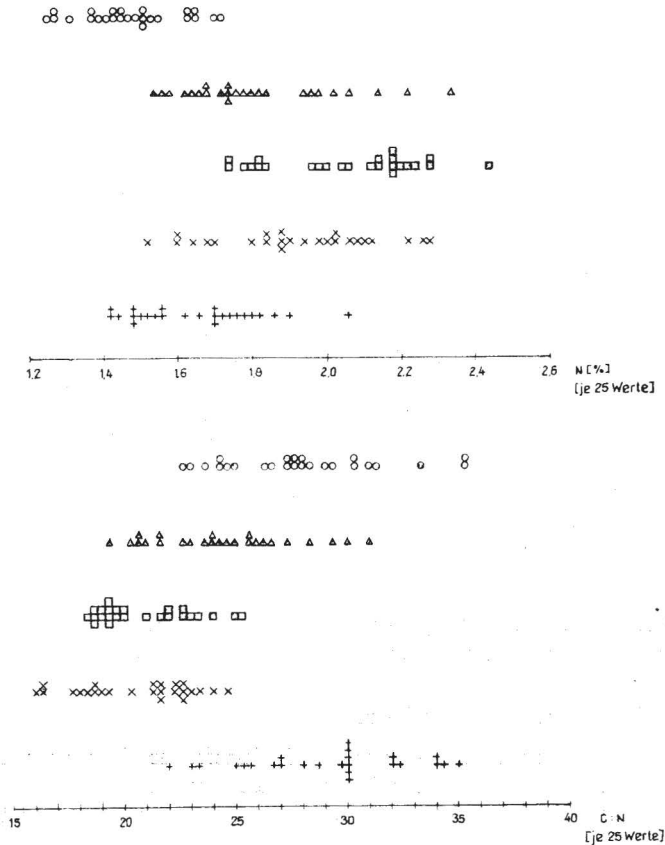


Abb. 18. Stickstoffgehalt und C/N-Verhältnis (Legende wie Abb. 16)

Nach dem F-Test unterscheidet sich der Boden 3 durch kleinere Streuung signifikant von den Böden 1 und 5. Die Mittelwerte der Böden 1 und 5, 3 und 4 zeigen keine statistisch gesicherten Unterschiede, während für die anderen Böden die  $H_0$ -Hypothese abgelehnt werden muß.

5. Bodenflora

Die Bedeutung der pflanzlichen Mikroorganismen liegt in ihrer Abbauleistung. Sie mineralisieren vorwiegend oxydativ die von den chlorophyllhaltigen Pflanzen synthetisierte Substanz.

Obwohl die Mängel des Kochschen Plattengußverfahrens bekannt waren, wurde es zur Ermittlung des Keimgehaltes angewendet, da es noch nicht durch eine entsprechende Methode ersetzt werden kann, die dem Ziel der vorliegenden Untersuchungen gerechter wird, ohne dabei wesentlich zeitaufwendiger zu sein. Es ist in Betracht zu ziehen, daß es sich bei den ermittelten „Gesamtkeimzahlen“ nicht um den wirklichen Gehalt der Böden an Bakterien und mikroskopischen Pilzen, sondern um Vergleichswerte der unter den herrschenden Laborbedingungen und durch die Anwendung eines bestimmten Nährbodens geförderten Organismen handelt.

Eine Bodenmenge, die 1 g Trockensubstanz entsprach, wurde in einem 100-ml-Erlenmeyerkolben mit 20 ml sterilisierten Leitungswasser versetzt und 5 min geschüttelt. Durch fraktioniertes Verdünnen wurde die Stufe 1 : 10 000 hergestellt, die sich sowohl für die Bakterien als auch für die Pilze am geeignetsten erwies. Da bei den Actinomyceten mit der Verdünnung 1 : 100 000 begonnen wurde, mußte diese Stufe trotz der geringen Zahlen in der zweiten Hälfte des Untersuchungszeitraumes beibehalten werden. Aus der jeweiligen Verdünnungsstufe wurde 1 ml in eine Petrischale pipettiert und mit etwa 10 ml verflüssigtem Nährboden durch Bewegen der Schale vermischt. Zur Bestimmung des Bakteriengehaltes diente Nähragar nach Müller und Steinweg, für die Ermittlung der mikroskopischen Pilze Biomalzagar nach Müller; Actinomyceten wurden auf Actinomycetenagar nach Müller kultiviert (s. Müller 1965). Das Auszählen der Pilze erfolgte nach 48stündigem Verbleib der Platten im Brutschrank bei 25 °C mittels eines Leseapparates für Mikrofilme. Bakterien wurden nach 3tägigem und Actinomyceten nach 15tägigem Aufenthalt bei 25 °C gezählt. Die in Abb. 19 dargestellten Werte sind Durchschnittswerte von 2 Bodenproben mit je 2 Wiederholungen aus dem Jahre 1970.

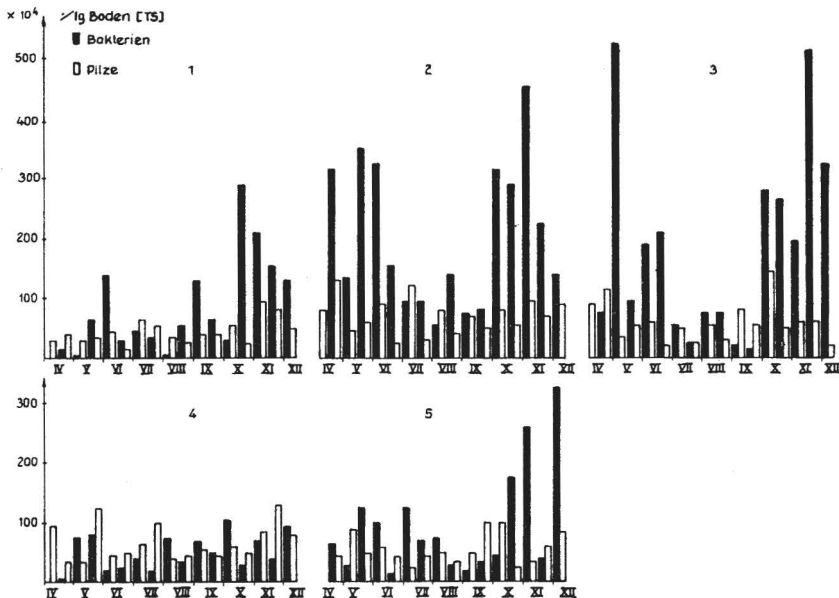


Abb. 19. Bakterien- und Pilzbesatz

Die Relation von Bakterien und Pilzgehalt in den fünf Böden ist insofern unterschiedlich, als bei Boden 1, 2, 3 und 5 insgesamt die Bakterien, bei Boden 4 aber die Pilze den größeren Anteil am Gesamtkeimgehalt ausmachen. Aus den Durchschnittswerten des Untersuchungszeitraumes ergeben sich folgende Verhältniszahlen (Bakterien : Pilzen) : 1) 10 : 5,5; 2) 10 : 3,5; 3) 10 : 3,3; 4) 10 : 12,5; 5) 10 : 6,0.

Die Bakterienbesatzdichte war bei den Böden 2 und 3 am größten. Sie zeigte bei den Böden 1, 2, 3 und 5 deutliche Schwankungen während der Vegetationsperiode. Ein (bei 1 und 5 kleineres) Frühjahrsmaximum wurde durch ein sommerliches Minimum von einem Herbstmaximum getrennt. Ähnliche Befunde für sommerlich stark austrocknende Böden liegen von Hopf 1955, Samzjewitsch 1955, Katznelson und Jerschow 1957 (zit. in Loub 1960) und Loub 1960 vor.

Dagegen scheint der Pilzbesatz kurzfristiger von klimatischen Faktoren beeinflusst zu werden. Bei den Böden 1, 2, 3 wechseln höhere und niedrigere Pilzzahlen gleichzeitig miteinander ab, bei 4 und 5 lassen sich keine Regelmäßigkeiten erkennen. Am stärksten besetzt sind die Böden 2 und 4.

Für die Bakterienzahlen kann nach dem Friedman-Test bei den Böden 1, 3 und 5 die  $H_0$ -Hypothese angenommen werden. Nach dem Wilcoxon-Test ergeben sich Unterschiede zwischen den Böden 1 und 2, 2 und 4, 2 und 5, 3 und 4. Die Pilzzahlen der Böden 2, 3, 4 und 5 zeigen nach dem Friedman-Test keine statistisch gesicherten Unterschiede. Der Wilcoxon-Test ergab Unterschiede zwischen 1 und 2 sowie 1 und 4.

Actinomyceten wurden nur selten beobachtet. Die meisten traten in der ersten Hälfte der Vegetationsperiode in Boden 2 und 3 auf (bis  $18,25 \cdot 10^5/g$ ), in 1, 4 und 5 konnten nur einzelne nachgewiesen werden.

## 6. Bodenfauna

„Anfangsbodenbildungen sind ohne Collembolen und Milben nicht möglich“ (Schaller 1950). In Anbetracht der großen Bedeutung der Bodenfauna in den untersuchten Böden wurde auch diesem Faktor, allerdings in einem durch die gegebenen Möglichkeiten sehr eingegengten Rahmen, Beachtung geschenkt.

Als Leistungen der Bodentiere sind ihre Mitwirkung an der Bodenbildung und der Verbesserung der Bodenstruktur, an der Stoffumsetzung und an der  $CO_2$ -Produktion zu nennen. In den untersuchten Böden repräsentieren fast ausschließlich Milben (und hier besonders die Oribatiden) und Collembolen das Tierleben, während andere größere Bodentiere infolge der geringen Mächtigkeit der Böden und der zeitweise extremen mikroklimatischen Bedingungen nur vereinzelt auftreten.

Nach Schuster 1956 sind Oribatiden „Primär-Grobzersetzer pflanzlichen Materials“. Tierische Reste werden nur sehr selten, Mineralkörnchen vereinzelt mit den Nahrungsbällen und koprogene Bildungen unter natürlichen Bedingungen gar nicht aufgenommen. Die Bodencollembolen dagegen „sind in der Lage, feuchte Laubstreu direkt zu humifizieren“ (Schaller 1950).

Jeweils am Anfang des Monats (1970: VIII–XI; 1971: IV–VIII) erfolgte die Entnahme von 5 Bodenproben je Gesellschaft. Da das Arbeiten mit einem Stechzylinder wegen der geringen Schichtdicke nicht möglich war, wurde für die Untersuchungen eine Gewichtsmenge, die 10 g Trockensubstanz entsprach, verwendet. Das Austreiben der Mesofauna geschah im Ausleseapparat nach Berlese und Tullgren. Die Bodenproben wurden in 0,5 bis 1 cm dicker Schicht auf Siebe mit 2 mm Maschenweite gebracht (größere Tiere wurden vorher ausgelesen) und mit einer Leuchtstoffröhre zunächst etwa 4 Stunden bei geöffnetem Kasten und dann 20 Stunden bei geschlossenem Kasten beleuchtet. Im Auffanggefäß befand sich 75%iger Alkohol. Um ein langsames Aus-

trocknen des Bodens 5, der stets den höchsten Wassergehalt und dazu eine geringe Dichte besaß, zu vermeiden, wurde die Bodenmenge auf zwei Siebe verteilt. Die im Kasten herrschende Temperatur betrug fast 40 °C. Untersuchungen von Trägårdh und Forsslund 1932 zeigen, daß der kritische Punkt bei 40 °C nach 10 Stunden erreicht wird. Vorversuche mit einer Beleuchtungsdauer von 120 Stunden ergaben bei den hier untersuchten Böden eine Steigerung von 3 (bis 5) %. Ein langsames Trocknen bei Zimmertemperatur, wie es jedoch aus arbeitstechnischen Gründen nicht möglich war, läßt höhere Werte erwarten, da anzunehmen ist, daß sehr empfindliche Tiere bei 40 °C bereits getötet werden, ehe sie den Boden verlassen. Das Auszählen erfolgte in Petrischalen mit Gitternetz bei 15facher Vergrößerung unter dem Stereomikroskop. Infolge des geringen Stichprobenumfangs (Balogh 1958 empfiehlt 10 Parallelproben) und des methodischen Fehlers besitzen die Ergebnisse nur einen orientierenden Wert.

Während die Böden 1, 2, 3 und 4 deutliche Änderungen der Besatzdichte im Verlauf des Untersuchungszeitraumes mit Maxima im Oktober/November und im Mai/Juni und einem sommerlichen Minimum zeigen, zeichnet sich 5 durch eine gewisse Konstanz aus. Die erhaltenen Werte deuten sogar darauf hin, daß die Besatzdichte zum Sommer hin zunimmt, was sich mit der ständigen Durchfeuchtung des Bodens in Einklang bringen läßt. Bei Boden 1 wurde das Maximum im Frühjahr 1971 erst einen Monat später erreicht, da die Gesellschaft während des Aprils noch zeitweise mit Schnee bedeckt war. Auch bei 5 scheinen die niedrigen Temperaturen und die hinzukommende Nässe im Zeitraum März/April eine nicht unbedeutende Rolle zu spielen. Der kalte und nasse Juni 1971 machte sich in einer allgemeinen Abnahme der Besatzdichte bemerkbar. Trockenwarme Witterung im Zeitraum August/September 1970 und Juli/August 1971 führte zu Minima.

Ein Vergleich der Gesamtbodenfauna der fünf Böden brachte folgendes Ergebnis:

	Individuen/10 g Boden (TS)
1 geringer Tierbesatz	44... 291
4 geringer Tierbesatz	54... 345
5 geringer Tierbesatz	98... 217
2 mittlerer Tierbesatz	107... 543
3 starker Tierbesatz	284... 1049

Den dominierenden Anteil bilden die Milben. Unter ihnen nehmen die Oribatiden die erste Stelle ein, ihnen folgen die Gamasiden. Größere Mengen der Trombidiformes konnten nur in 3 nachgewiesen werden. Während trockenwarmer Perioden traten sie hier nicht nur prozentual, sondern auch zahlenmäßig stärker hervor und wurden dann vereinzelt auch in 1 und 2 beobachtet. Die durchschnittlichen Verhältniszahlen Sarcoptiformes : Parasitiformes : Trombidiformes sind folgende: 1) 10 : 1,9 : 0; 2) 10 : 2,0 : 0; 3) 10 : 1,7 : 0,9; 4) 10 : 1,9 : 0; 5) 10 : 2,7 : 0. Frenzel 1936 gibt für Wiesenböden ein Verhältnis von 10 : 4 : 5 und Willman (zit. in Frenzel l. c.) von 10 : 3 : 2 an. Gegenüber diesen Böden zeigte sich eine Verschiebung des Verhältnisses zugunsten der Oribatiden.

An zweiter Stelle stehen die Collembolen, deren prozentualer Anteil an der Gesamtfaua wei folgt schwankt: 1) 2...36; 2) 5...33; 3) 13...49; 4) 7...32; 5) 6...26. Frenzel l. c. beobachtete bei Wiesenböden 30,9 %. In Boden 3 vermehren sie sich während günstiger klimatischer Bedingungen, die zu Maxima führen, stärker als die Milben. Ihr prozentualer Anteil wird größer, ohne daß sie dabei den Prozentsatz der Milben wesentlich oder überhaupt überschreiten. Einer Nahrungskonkurrenz beider Tiergruppen kommt hier wohl keine Bedeutung zu, da sich ein reichlicher Vorrat an sich ständig erneuernder abgestorbener Pflanzensubstanz bietet. Die verhältnismäßig

ausgeglichenen klimatischen Bedingungen in Boden 3 scheinen für die Collembolen gerade günstig zu sein, da sie nach Strebel 1932 „sehr hohe Luft- und Bodenfeuchtigkeit scheuen oder gar an ihr zugrunde gehen“.

Nach dem Friedman-Test muß für die Böden 1, 4 und 5 sowohl für den Milbenbesatz als auch für den Collembolenbesatz die  $H_0$ -Hypothese angenommen werden. Der Wilcoxon-Test ergab für den Boden 3 hinsichtlich Milben- und Collembolenbesatz statistisch gesicherte Unterschiede zu allen anderen Böden. Boden 2 unterscheidet sich außerdem signifikant von 4 und 5.

Soweit die gemachten Untersuchungen Schlußfolgerungen zulassen, ergeben sich auch für die anderen Tiergruppen gewisse Differenzierungen. Obwohl die Bestimmung der einzelnen Individuen bis zur Art im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich war, deutet bereits das Vorkommen oder Fehlen bestimmter Sippen in dem einen oder anderen Boden auf Unterschiede hin. Coleopterenlarven und Dipteren sowie deren Larven waren in den fünf Böden relativ häufig anzutreffen. Während der ohnehin schwach besiedelte Boden 1 keine besonderen Merkmale trägt, treten in Boden 2 verstärkt Enchytraeiden, Proturen und Chironomidenlarven auf. Boden 3 zeichnet sich durch häufigeres Vorkommen von Pinselfüßlern (*Polyxenus*) und Coleopterenlarven und durch das Fehlen von Proturen aus. In Boden 4 wurden des öfteren Blattläuse beobachtet. In Boden 5 traten Proturen hervor, Enchytraeiden und Chironomidenlarven zurück.

## 7. Freilebende Nematodenfauna

Auch die Tätigkeit der Nematoden ist ein wichtiger Faktor bei der Stoffumsetzung im Boden. Da sie außerordentlich anpassungsfähig sind, eignen sie sich nach den bisherigen Kenntnissen nicht als Indikatoren für bestimmte Bodenverhältnisse. Ihre Bedeutung liegt darin, daß sie die Mineralisation und somit die Nährstoffaufbereitung für die Pflanzen beschleunigen.

Am 11. 8. und am 2. 10. 1971 wurden 10 Bodenproben jeder Gesellschaft am Standort entnommen. Da sich die Böden teilweise sehr schwer benetzen lassen, wurde von einer Einwaage, die 1 g Trockensubstanz entsprach, mit kaltem Leitungswasser eine Bodenaufschwemmung bereitet und diese auf ein Perlonsieb (1 mm Maschenweite) im Baermann-Trichter gegeben. Die Beleuchtung erfolgte 48 Stunden mit einer 75-Watt-Glühlampe aus 20 cm Entfernung. Durch Öffnen der Klemmvorrichtung am Gummischlauch gelangte das mit Nematoden angereicherte Wasser in die darunter stehende Petrischale, die mit einem Gitternetz versehen war. Nachdem das Wasser abgekühlt war, wurden die Nematoden unter dem Stereomikroskop bei 15facher Vergrößerung auf dunklem Untergrund ausgezählt.

Es ist bekannt, daß der Nahrungsfaktor für die Ausprägung der aktiven Nematodenfauna entscheidend ist, während andere Umweltfaktoren wie die Art der Vegetation, der pH-Wert des Bodens (im Bereich von 4–8) und seine chemische Zusammensetzung nach Stöckli 1952 keinen Einfluß zu haben scheinen. Seidenschwanz 1923 beobachtete einen seiner Meinung nach witterungsbedingten Jahreszyklus mit einem Maximum im August und einem Minimum im November, Dezember, Januar. Franz 1942 dagegen konnte keine regelmäßigen jahreszeitlichen Häufigkeitsschwankungen nachweisen. Er vermutet vielmehr, daß der Gesamtwitterungsverlauf des Jahres sich bald günstig, bald ungünstig auf die Entwicklung auswirkt, weil die von ihm ermittelten Werte erheblichen Schwankungen unterlagen.

Die beobachtete Besatzdichte dieser Tiergruppe ist um ein Vielfaches höher als die der Collembolen und Acarinen. Wie Abb. 20 zeigt, sind Boden 1 und 4 schwach, 2 und 5 mittelmäßig und 3 stark besiedelt. Da mit der oben beschriebenen Methode auch die

sich in Anabiose befindenden Individuen weitgehend erfasst wurden, unterschieden sich die Werte nach der Dürreperiode im August bei den Böden 1, 3 und 4 nicht wesentlich von den im Oktober ermittelten. Bei 2 und 5 lagen die Werte im Oktober etwas höher. Zieht man in Betracht, daß nach Nielsen 1949 in Moos zwei Drittel der dort lebenden Nematoden Bakterienfresser sind, so ergibt sich möglicherweise eine Parallele zum Herbstmaximum des Bakterienbesatzes. Auch Semiparasiten und Detritusfresser finden in den stärker durchwurzelten Böden ein reichliches Nahrungsangebot.

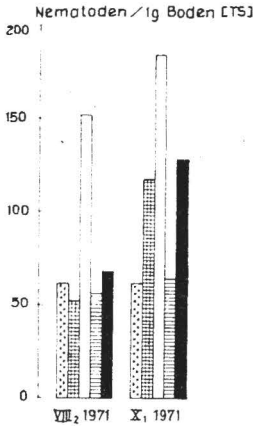


Abb. 20. Nematodenbesatz (Legende wie Abb. 14)

Vergleichbare Werte finden sich bei Stöckli. Für 1 kg lufttrockenen Boden wies er folgende Mengen nach:

Dauer- und Kunstwiesen	25 300
Weideböden	20 800
Ackerland und Gartenerde	21 400
Waldboden ohne Rohhumusdecke	40 200
Boden mit Rohhumusdecke	116 000

### 8. Zellulolytische Aktivität

Die zellulolytische Aktivität, die eine wesentliche Größe des Abbaus im Boden darstellt, wurde durch 1½-monatiges Auslegen von mindestens 10 Rundfiltern (6 MN, Gr. 9) je Gesellschaft in den Jahren 1970 und 1971 ermittelt. Der Zellosetest mit Watte nach Unger 1960 erwies sich als weniger brauchbar, da die Größe der Beutel und die beim Einsammeln anhaftenden organischen Bodenbestandteile Schwierigkeiten bereiteten. Von den Filtern konnten die Bodenteilchen nach dem Vortrocknen bei 105 °C mit dem Pinsel mühelos entfernt werden. Vor dem Wiegen wurden die Filter mindestens 1 Tag im Exsikkator über P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aufbewahrt. In Abb. 21 ist die abgebaute Zellulose in % dargestellt.

In Boden 1 wurden in beiden Jahren die geringsten Mengen abgebaut. 1970 zeichneten sich bei 2 ein Frühjahrs- und ein Herbstmaximum, bei 3 und 4 nur ein Herbstmaximum ab. Während des nassen Juni 1971 dagegen wurden bei 2, 3 und 4 Höchstwerte erreicht, die bei 2 und 3 mehr als 40 % ausmachten. In 5 wurde in beiden Jahren infolge der günstigen Feuchtigkeitsverhältnisse ein sommerliches Maximum beobachtet.

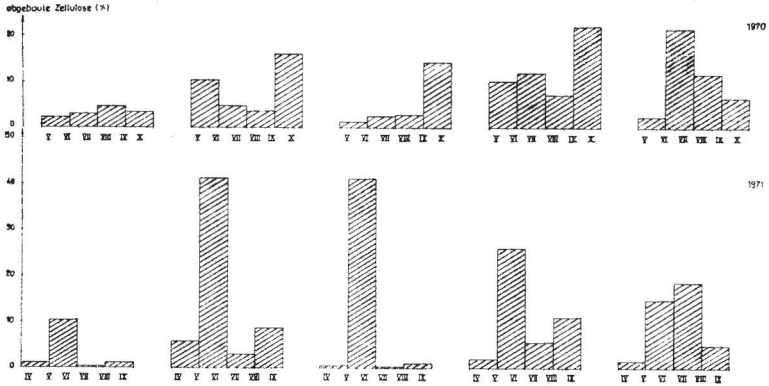


Abb. 21. Zellulolytische Aktivität

Für die Böden 2, 4 und 5 muß nach dem Friedman-Test die  $H_0$ -Hypothese angenommen werden, ohne daß dabei der Verteilungstyp berücksichtigt wird. Der Wilcoxon-Test ergab zwischen den Böden 1 und 3, 2 und 4, 2 und 5, 4 und 5 keine gesicherten Unterschiede.

9. Zusammenfassendes Schema

Die angegebenen Faktoren zeigen signifikante Unterschiede.

2	3	4	5	
pH, GV, N, C/N B, P, ZA	GV, N, C/N T	pH, GV, N, C/N P, ZA	pH, GV, N ZA	1
	pH, (GV), N, C/N T, ZA	pH, GV, C/N B, T	pH, GV, N, C/N B, T	2
		pH, GV (N) B, T, ZA	pH, GV, N, C/N T, ZA	3
			pH, GV, N, C/N	4

pH  
GV  
N  
C/N }  $\alpha = 0,01$  bzw.  $0,05$  (...)

B Bakterienbesatz  
P Pilzbesatz  
T Milben- und Collembolenbesatz  
ZA Zellulolytische Aktivität }  $\alpha = 0,05$

Bemerkungen zur Dynamik der Gesellschaften

Wenn bei den untersuchten Gesellschaften auch die Sukzessionsfolge sehr große Zeiträume beansprucht und 3jährige Beobachtungen keine sicheren Ergebnisse hinsichtlich der Entwicklungstendenzen bringen können, so ermöglichen doch die ausgebildeten Initial- und Übergangsstadien gewisse Aussagen. Dabei kommt zwei Faktoren



Bedeutung zu. Einmal wird bei Änderung der Umweltbedingungen (z. B. durch Änderung der Kontaktgesellschaften) die Konstanz der jeweiligen Gesellschaft durch deren ökologische Amplitude bestimmt, zum anderen schaffen in fortgeschrittenen Stadien die edaphischen Verhältnisse günstige Bedingungen für höhere Pflanzen, die z. T. als abbauende Arten wirken.

### 1. *Rhacomitrium lanuginosi*

Als Vorstufe des *Rhacomitrium* besiedeln vor allem Krusten- und Laubflechten die nackten Granitblöcke, von denen letztere häufig im Randbereich der Assoziation zu finden sind. Zuerst erscheinen kleine, runde Polster von *Rhacomitrium lanuginosum*, aus denen dann Kriechrasen entstehen. Um die Zuwachsrate je Jahr zu erfassen, wurden drei Ausbildungen während des Untersuchungszeitraumes beobachtet. Da hier weniger die Menge der produzierten Pflanzensubstanz, sondern mehr die Größe der bedeckten Fläche interessierte, wurde lediglich der Radius an markierten Stellen gemessen. Im Zeitraum August 1969/1970 und August 1970/1971 war eine durchschnittliche Zunahme des Radius um je 1 cm zu verzeichnen, so daß für die Deckung größerer Flächen entsprechende Zeiträume zu erwarten sind. Exakte Messungen von Tallis 1959 an Einzelpflanzen ergaben einen jährlichen Zuwachs von 5 bis 15 mm. Überzieht die Assoziation die Kulmflächen der Blöcke völlig, greift sie schließlich auch auf Spalten über und bildet geschlossene Rasen, in denen sich andere Laub- und Lebermoose sowie höhere Pflanzen ansiedeln, ohne dabei auf der offenen Blockhalde größere Deckungsgrade zu erreichen. Ältere Stadien mit reichlicher Bodenunterlage, die den Blöcken nur locker aufliegen, rutschen häufig von der Unterlage ab, so daß wieder nackte Gesteinsflächen zur Verfügung stehen. Preis 1937 erwähnt von Basaltblockhalden des Böhmisches Mittelgebirges auch den Fall, daß die Besiedlung von Spalten ausgeht. Als Kontaktgesellschaft tritt im Naturschutzgebiet Bodetal häufig das *Festuco-Saxifragetum* Stöcker 1962 auf, das zwischen den Blöcken siedelt und bei günstigen edaphischen Verhältnissen mit dem *Rhacomitrium* konkurriert. Im Randbereich der Blockschutthalden, wo sich infolge aufkommender Beschattung die mikroklimatischen Verhältnisse ändern, verliert *Rhacomitrium* an Konkurrenzskraft. Schneller wachsende Arten des *Ptilio-Hylocomietum* dringen in das *Rhacomitrium* ein und gelangen schließlich zur Dominanz.

### 2. *Ptilio-Hylocomietum*

Das *Ptilio-Hylocomietum* ist eine sehr üppig wachsende Gesellschaft, die in der Regel die gesamte Kulmfläche der Blöcke bedeckt. Da die dominierenden Arten im Spätherbst vergilben, bereiteten Messungen zum jährlichen Zuwachs an Einzelpflanzen am Ende der Vegetationsperiode (November 1970) keine Schwierigkeiten.

	Länge des Hauptsprosses $\bar{x}$ (in cm)	n
<i>Rhytidadelphus loreus</i>	4,2	180
<i>Pleurozium schreberi</i>	3,3	165
<i>Hylocomium splendens</i>	5,7 <sup>1</sup>	85

Die Ergebnisse zeigen, daß die jährlich anfallende Menge an toter Pflanzensubstanz relativ groß ist. So spielt der Verein als Bodenbildner eine wichtige Rolle. Besonders für *Polypodium vulgare* scheinen hier optimale Bedingungen zu herrschen. Neben Phanerogamen dringt die Art mit ihren Rhizomen ein und breitet sich aus, bis sie schließlich zur Dominanz gelangt und die Moose in ihrer Vitalität geschwächt werden.

<sup>1</sup> Häufig 2 Wedel je Jahr.

### 3. *Hypno-Dicranetum*

Im Bereich der Standorte des *Hypno-Dicranetum* findet sich als erstes Besiedlungsstadium der nackten Granitblöcke eine Krustenflechtengesellschaft, in der *Acarospora tusca* dominiert. Diese Assoziation wird von der *Parmelia saxicola*-Gesellschaft abgelöst. Zwischen den Thalli vermag sich *Hypnum cupressiforme* anzusiedeln, das schließlich über die Flechten hinwegwächst. Zuwachsmessungen wurden in der gleichen Weise wie beim *Rhacomitrietum* durchgeführt. Im Zeitraum August 1969/1970 vergrößerte sich der Radius um 1 bis 2 cm, während er im Zeitraum August 1970/1971 um durchschnittlich 3 cm zunahm. Im Randbereich haften die Hypnumsprosse ziemlich fest am Gestein. Im Zentrum dagegen ist dem Untergrund eine mehr oder weniger starke Rohhumusschicht aufgelagert, so daß ältere Stadien oft von den Blöcken herabrutschen. Höhere Pflanzen wurden in der Regel nicht beobachtet, wahrscheinlich weil die Belastung der Keimlinge hinsichtlich des Wasserfaktors zu groß ist und die Möglichkeit des Eindringens unterirdischer Organe vom Rand her nicht gegeben ist.

### 4. *Mnietum horni*

Das *Mnietum* auf steilen Erdblößen wird häufig wieder zerstört, wenn die Erosion angreift. Obwohl höhere Pflanzen aus der Krautschicht des Waldes eine gewisse Stetigkeit aufweisen, erlangen sie doch infolge der ungünstigen edaphischen Verhältnisse keine größeren Deckungsgrade. Auf Blöcken zeichnet sich die Gesellschaft durch ihre Stabilität aus. Aussagen über Vorstufen und Folgegesellschaften sind nicht möglich. Messungen der Jahressprosse am Ende der Vegetationsperiode (November 1970) ergaben einen Durchschnittswert von 1,4 cm ( $n = 160$ ).

### 5. *Polytrichum attenuatum*-Verein

Dieser Verein erfährt bei konstanten mikroklimatischen Bedingungen nur geringe Veränderungen. Entsprechend ihrem Alter kann die Schicht vom Gestein bis zur Oberfläche der Pflanzen eine Stärke bis zu 20 cm erreichen. Stets sind die Kulm- und Neigungsflächen der Blöcke 100%ig bedeckt. Randlich tritt in der Regel *Deschampsia flexuosa* auf mit wahrscheinlich abbauendem Charakter. Andere höhere Pflanzen bilden meist eine zweite Schicht, ohne *Sphagnum* zu beeinflussen. Das mehrfache Auftreten der diagnostisch wichtigen Arten des *Ptilio-Hylocomietum* weist auf den Ersatz beider Gesellschaften bei Änderung des Wasserfaktors hin.

### Beobachtungen zum Entwicklungsrhythmus der dominierenden Arten

Ausführliche Beobachtungen zur Jahresperiodizität in der Entwicklung der Laubmoose liegen von Lackner 1939 aus dem Gebiet des damaligen Ostpreußen und von Jendralski 1955 aus dem Rheinland vor. Bereits 1903 hatte Grimme Untersuchungen „Über die Blütezeit deutscher Laubmoose und die Entwicklungsdauer ihrer Sporengene“ angestellt. Ein Vergleich der Ergebnisse zeigte, daß „die Geschlechts- und Sporenreife der ostpreußischen (und auch der rheinländischen) Laubmoose . . . bei vielen Arten andere oder größere Zeiträume (umfaßt), als Grimme für Mitteldeutschland angibt“ (Lackner). Die Annahme Hagerups 1935, daß „die Periodizität . . . nicht induziert, sondern endogen“ ist, wurde durch die Ergebnisse Lackners, Jendralskis und Romoses 1940 in Frage gestellt. So konnte Lackner u. a. im Experiment durch Änderung der Umweltfaktoren eine Änderung des Sporogonwachstums erzielen. Die im Bodetal gemachten Beobachtungen weisen auf eine Abhängigkeit der Entwicklung des vegetativen Teils der Pflanzen von den Witterungsverhältnissen des jeweiligen Jahres und den mikroklimatischen Bedingungen des Standorts hin.

### 1. *Rhacomitrium lanuginosum*

Im Untersuchungsgebiet waren 1969 und 1970 nach der Schneeschmelze im April bis Mai eine erste Wachstumsphase und im Herbst (Mitte September bis Dezember) eine zweite Wachstumsphase des vegetativen Teils zu beobachten, die infolge der Trockenheit des Standorts eine sommerliche Ruhephase trennte. Daß bei günstigen Feuchtigkeitsverhältnissen auch zu anderen Zeitpunkten ein Wachstum möglich ist, wurde in dem niederschlagsreichen Juni des Jahres 1971 deutlich.

Hagerup 1935 stellte für *Rhacomitrium lanuginosum* in Dänemark eine Wachstumsphase von Dezember bis März und eine zweite von Juni oder Juli bis August oder September fest. Jendralskis Beobachtungen lieferten ganz ähnliche Resultate. Umfangreiche Untersuchungen liegen von Tallis 1959 aus Großbritannien vor. Er konnte zeigen, daß eine Ruhephase nur dann eintritt, wenn sommerliche Temperaturen mit geringen Niederschlagsmengen kombiniert sind. Er unterscheidet trotz fehlender Ruhephase zwei Wachstumsphasen:

„Spring' growth, when active elongation occurs.

'Summer' growth, during which the lateral branches are formed.“

Wachstums-, Temperatur- und Niederschlagskurve aus dem Jahre 1956 demonstrieren eine deutliche Abhängigkeit der Entwicklung von den Witterungsbedingungen.

Sporogene wurden im Untersuchungsgebiet in dem durch günstige Feuchtigkeitsverhältnisse gekennzeichneten Jahr 1970 in der Umgebung der Meßstellen an solchen Standorten beobachtet, die bezüglich des Wasserfaktors weniger extreme Bedingungen erwarten lassen (Rand der Blockschutthalden, Spalten), was auf eine Trockenschädigung der Geschlechtsorgane oder der jungen Sporogene während der sommerlichen Trocken- bzw. Dürreperiode der Jahre 1969 und 1971 und unter den mikroklimatischen Verhältnissen der offenen Blockschutthalde hinweist. In Übereinstimmung mit Lackner und Tallis wurden die jungen Sporogone Anfang Oktober sichtbar. Mitte November hatten die Kapseln ihre endgültige Größe erreicht und reiften im folgenden Frühjahr.

Die Geschlechtsreife setzt nach Lackner nie vor Mai ein. Nach Tallis werden die Geschlechtsorgane im April an Seitenzweigen angelegt und reifen im Sommer.

### 2. *Rhytidiadelphus loreus*, *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*

Ähnlich wie bei *Rhacomitrium lanuginosum* zeichnete sich auch bei diesen drei Arten während des Jahres 1969 im Frühjahr eine kurze Wachstumsphase ab, die von der Schneeschmelze bis zum Austrocknen der Pflanzendecke Anfang Mai dauerte. Erst im September setzte das Hauptwachstum ein. Die ständige herbstliche Nässe, die durch starken Taufall und hohe Luftfeuchtigkeit bedingt ist, wirkt sich dahingehend aus, daß die während des Herbstes gewachsenen Teile stets im November vergilben und so überwintern. Bei *Rhytidiadelphus* und *Pleurozium* setzen die Endknospen der Haupt- und Seitenzweige sowie Seitenknospen im folgenden Frühjahr das Wachstum fort. Bei *Hylocomium* erscheint der Erneuerungstrieb als dicke Knospe im Spätherbst und wächst weiter. 1969 überdauerten kleine, etwa 1 cm lange, wenig verzweigte Wedel die sommerliche Trockenperiode. Erst Ende September begann das Hauptwachstum, das Anfang November abgeschlossen war. 1970 erstreckte sich das Wachstum aller drei Arten entsprechend den Feuchtigkeitsverhältnissen mit Unterbrechungen über die ganze Vegetationsperiode, wobei das Hauptwachstum im Herbst wieder deutlich hervortrat. Die Wedel von *Hylocomium* hatten bereits Anfang Mai eine Länge von mehr als 1 cm erreicht und schlossen im August ihr Wachstum ab. Aus einer neuen Knospe ging im November ein zweiter Wedel hervor. 1971 war während der Regenperiode im Juni ein starker Zuwachs zu beobachten. Auch in diesem Jahr bildeten sich bei *Hylocomium* zwei Wedel.

Beim Wachstum des vegetativen Teils ausdauernder, pleurocarper Moose lassen sich nach Lackner keine bestimmten Triebabschnitte unterscheiden. Für die drei dominierenden Arten des *Ptilio-Hylocomietum* beobachtete er das stärkste Wachstum von Juni bis Oktober. *Hylocomium* bildete in seinem Untersuchungsgebiet und -zeitraum keinen zweiten Wedel. Mit seinen Ergebnissen stimmen auch die Jendralisks für *Hylocomium* überein. Longton und Greene 1969 stellten in Großbritannien bei ihren Untersuchungen an *Pleurozium*, die im Juni 1962 begannen, bis November ein ununterbrochenes Wachstum fest, das im April 1963 fortgesetzt wurde.

Bei *Pleurozium* und *Hylocomium* wurden in den Jahren 1966 bis 1971 im Untersuchungsgebiet keine Sporogone gefunden, während *Pleurozium* an einem Waldwegrand bei Drei-Annen-Hohne (Oberharz) im Jahre 1965 sehr reichlich sporolierte. Bei *Rhytidiadelphus* waren in den drei Beobachtungsjahren 1969 bis 1971 Sporogone vorhanden, die zu Beginn des Herbstes (September/Oktober) sichtbar wurden. Die Kapseln erreichten noch im Spätherbst ihre endgültige Größe und warfen den Deckel im Frühjahr ab.

Als Dauer der Sporogonentwicklung gibt Grimme 11 bis 12 Monate an.

### 3. *Hypnum cupressiforme*, *Dicranum scoparium*

Infolge der Trockenheit des Standorts waren auch bei diesen beiden Arten ein Frühjahrs- und ein Herbstwachstum im Untersuchungsgebiet durch eine sommerliche Ruhephase getrennt, während Lackner und Jendraliski den größten Zuwachs in den Sommermonaten feststellten. Da die Standorte des *Hypno-Dicranetum* auch im Herbst relativ trocken bleiben, liegt die Hauptwachstumsphase im Frühjahr.

Bei beiden Arten konnten an den untersuchten Standorten keine Sporogone beobachtet werden. *Hypnum* hatte an einem schattigen, feuchten Standort auf morschem Holz am Bodeufer im April 1971 reichlich junge Sporogane gebildet. In den folgenden Monaten schwoll die Kapsel an und erreichte Ende September ihre endgültige Größe.

Nach Lackner dauert das Anschwellen des Sporogons zur Kapsel von Juli bis September. Die Zeit der Sporenreife fällt in die Monate November bis April.

Die männlichen Geschlechtsorgane konnte Jendraliski im September und Oktober, die weiblichen erst gegen Ende des Winters finden.

Auch bei *Dicranum* wurden Sporogone nur an Standorten mit günstigen Feuchtigkeitsverhältnisse beobachtet. So waren im Juni 1970 angeschwollene, gebräunte Kapseln ausgebildet, die im Oktober den Deckel warfen. 1971 wurden junge Sporogone Anfang April sichtbar.

Lackner beobachtete das Anschwellen des Sporogons in den Monaten Mai bis Juli. Die Sporenreife erfolgte von September bis April. Im Rheinland überwinterten die Sporogone bereits mit halblanger Seta, die Kapsel begann aber erst im August anzuschwellen.

Die Befruchtung erfolgt nach Lackner von Mai bis Juli.

### 4. *Mnium hornum*

Im Gegensatz zu den anderen beobachteten Arten ist bei *Mnium hornum* ein deutlicher Frühjahrstrieb ausgeprägt, der sofort nach der Schneeschmelze beginnt. Die Knospen erreichen bereits im Spätherbst eine Länge von 4 bis 6 mm. Die Erneuerungstriebe wachsen sehr schnell und beenden im Mai ihr Hauptwachstum. Die vorjährigen Sprosse sterben Ende April ab.

Scheibenförmige „Blüten“ wurden Ende Mai beobachtet. An einem sehr feuchten Standort in der Nähe eines Baches waren schon Anfang Oktober junge Sporogone aus-

gebildet, in der Nähe der Meßstellen wurden sie erst Mitte November sichtbar. Im kommenden Frühjahr schwellen die Kapseln an, erreichen im Mai ihre endgültige Größe und werfen den Deckel bald danach ab. In allen drei Beobachtungsjahren waren reichlich Sporogone vorhanden.

Der Entwicklungsrhythmus stimmt mit dem von Lackner und Jendralski beschriebenen überein.

### 5. *Spagnum nemoreum*

Bei dieser Art zeichnen sich während der Vegetationsperiode keine begrenzten Wachstumsphasen ab. Nur bei sommerlicher Trockenheit war kein Zuwachs zu beobachten.

Junge Sporogone wurden in den drei Untersuchungsjahren Mitte August sichtbar (noch zwischen den Perichaetialblättern sitzend). Das Anschwellen der Kapseln vollzog sich von September bis Oktober. Im folgenden Frühjahr reiften sie und warfen den Deckel im April ab.

Vergleichbare Beobachtungen aus der Literatur sind nicht bekannt. Lackner gibt lediglich als Befruchtungszeit März bis April an.

### S c h r i f t t u m

- Apinis, A., und L. Laciš: Data on the Ecology of Bryophytes. II. Acidity of the Substrata of Musci. Acta Horti Bot. Univ. Latv. 9/10 (1934/1935) 1–100.
- Balogh, J.: Lebensgemeinschaften der Landtiere. Berlin 1958, 560 S.
- Düll-Hermanns, I.: Pflanzensoziologisch-ökologische Untersuchungen an Moos- und Flechtengesellschaften im Naturschutzgebiet „Felsenmeer“ am Königsstuhl bei Heidelberg. Veröff. Landesst. N. u. L. Bd.-Wttb. 40 (1973) 9–50.
- Dunger, W.: Tiere im Boden. Wittenberg 1964, 265 S.
- Franz, H.: Untersuchungen über die Kleintierwelt ostalpiner Böden. I. Die freilebenden Erdnematoden. Zool. Jb. Syst. 75 (1942) 365–546.
- Frenzel, G.: Untersuchungen über die Tierwelt des Wiesenbodens. Jena 1936, 130 S.
- Gams, H.: Von den Follatères zur Dent de Morcles. Beitr. geob. Landesaufn. 15, Bern 1927, 760 S.
- Gams, H.: Beiträge zur Verbreitungsgeschichte und Vergesellschaftung der ozeanischen Archegoniaten in Europa. Veröff. Geobot. Inst. Rübel 25 (1952) 147–176.
- Gams, H.: Kleine Kryptogamenflora IV. Die Moos- und Farnpflanzen. Stuttgart 1957, 240 S.
- Geiger, R.: Mikroklima und Pflanzenklima. In Köppen, W., und R. Geiger: Handbuch der Klimatologie. 1, Teil D, 1930, S. 1–46.
- Geiger, R.: Das Klima der bodennahen Luftschicht. Braunschweig 1950, 460 S.
- Grimme, A.: Über die Blütezeit deutscher Laubmoose und die Entwicklungsdauer ihrer Sporogone. Hedwigia 42 (1903) 1–75.
- Haarløv, N.: A new modification of the Tullgren apparatus. J. Anim. Ecol. 16 (1947) 115–121.
- Hagerup, O.: Zur Periodizität im Laubwechsel der Moose. Kgl. Danske Vidensk. Selsk. Biol. Meddels. 11 (1935) 1–88.
- Haybach, G.: Zur Ökologie und Soziologie einiger Moose und Moosgesellschaften des nordwestlichen Wienerwaldes. Verh. zool.-bot. Ges. Wien 96 (1956) 132–168.
- Herzog, T.: Geographie der Moose. Jena 1926, 440 S.
- Herzog, T.: Moosgesellschaften des höheren Schwarzwaldes. Flora N. F. 36 (1943) 263–308.
- Höfler, K.: Durch plasmatische Trockengrenzen bedingte Lebermoosvereine. Proc. 7. Int. Bot. Congr. Stockholm 1950 (1953) 621–622.

- Jendralski, U.: Die Jahresperiodizität in der Entwicklung der Laubmoose im Rheinlande. *Decheniana* **108** (1955) 105–163.
- Klimaatlas für das Gebiet der DDR. Berlin 1953.
- Koppe, F.: Moosvegetation und Moosgesellschaften von Altötting in Oberbayern. *Feddes Repert. spec. nov.* **58** (1956) 92–144.
- Krusenstjerna, E. von: Bladmossvegetation och Bladmossflora i Uppsala-Trakten. *Acta Phytogeogr. Suecica* **19**, Uppsala 1945, 250 S.
- Kubiena, W.: Entwicklungslehre des Bodens. Wien 1948, 215 S.
- Kühnelt, W.: Bodenbiologie. Wien 1950, 368 S.
- Lackner, L.: Über die Jahresperiodizität in der Entwicklung der Laubmoose. *Planta* **29** (1939) 534–616.
- Lange, O. L.: Einige Messungen zum Wärmehaushalt poikilohydrer Flechten und Moose. *Arch. Meteor., Geophys. Bioklimat.* **5** (1954) 182–190.
- Longton, R. E., und S. W. Greene: The Growth and Reproductive Cycle of *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mit. *Ann. Bot.* **33** (1969) 83–105.
- Loub, W.: Die mikrobiologische Charakterisierung von Bodentypen. *Die Bodenkultur* **11** (1960) 38–70.
- Meusel, H.: Entwurf zu einer Gliederung Mitteldeutschlands und seiner Umgebung in pflanzengeographische Bezirke. *Wiss. Z. Univ. Halle* **4** (1954) 637–641.
- Müller, G.: Bodenbiologie. Jena 1965, 889 S.
- Nielsen, C. O.: Freelifving Nematodes and soil Mikrobiology. Fourth Intern. Congr. for Mikrobiol. 1947, S. 483–484.
- Nielsen, C. O.: Studies on the Soil Microfauna. II. The soil inhabiting Nematodes. *Nat. Jutl.* **2** (1949) 1–127.
- Nörr, M.: Die Moosvegetation des Naturschutzgebietes Bodetal. *Hercynia* **6** (1969) 345–435.
- Nörr, M.: Trockenresistenz bei Moosen. *Flora* **163** (1974 a) 371–387.
- Nörr, M.: Hitzeresistenz bei Moosen. *Flora* **163** (1974 b) 388–397.
- Pallmann, H.: Grundzüge der Bodenbildung. *Schweiz. Landw. Monatsschr.* **20** (1942) 143–166.
- Preis, K.: Die Besiedelung der Blockhalden in der Biberklamm. *Beih. bot. Zbl.* **57 B** (1937) 521–576.
- Romose, V.: Ökologische Untersuchungen über *Homalothecium sericeum*, seine Wachstumsperioden und seine Stoffproduktion. *Dansk Bot. Arkiv* **10** (1940) 1–134.
- Schade, A.: Über den Wärmegenuß einiger Moose und Flechten am Valtenberge. *Sitz.-Ber. u. Abh. Naturw. Ges. Isis Dresden* 1927/1928 (1929) 38–55.
- Schaller, F.: Biologische Beobachtungen an humusbildenden Bodentieren, insbes. Collembolen. *Zool. Jb. Syst.* **78** (1950) 506–525.
- Schuster, R.: Der Anteil der Oribatiden an den Zersetzungsvorgängen im Boden. *Z. Morph. Ökol. Tiere* **45** (1956) 1–33.
- Seidenschwanz, L.: Jahreszyklus freilebender Erdnematoden einer Tiroler Alpenwiese. *Arb. Zool. Inst. Innsbr.* **1** (1923) 1–39.
- Stöcker, G.: Vorarbeit zu einer Vegetationsmonographie des Naturschutzgebietes Bodetal. I. Offene Pflanzengesellschaften. *Wiss. Z. Univ. Halle* **11** (1962) 897–936.
- Stöcker, G.: Vorarbeit zu einer Vegetationsmonographie des Naturschutzgebietes Bodetal. II. Waldgesellschaften. *Wiss. Z. Univ. Halle* **14** (1965) 501–561.
- Stöcker, G.: Der Karpatenbirken-Fichtenwald des Hochharzes. *Pflanzensoz. (Jena)* **15** (1967).
- Stöcker, G.: Anwendungsmöglichkeiten von parameterfreien Prüfverfahren bei geobotanischen und ökologischen Untersuchungen. *Flora* **157** (1967) 112–148.
- Stöcker, G.: Die Bestimmung von Ammonium-, Nitrit- und Nitrat-Stickstoff mit einer Mikrodestillationsmethode bei ökologischen Untersuchungen. *Arch. Natursch. Landschaftsf.* **11** (1971) 183–192.

- Stöckli, A.: Studien über Bodennematoden mit besonderer Berücksichtigung des Nematodengehaltes in wald-, grünland- und ackerbaulich genutzten Böden. Z. Pflanzenern., Düng. Bodenkd. **59** (1952) 97–139.
- Stodiek, E.: Soziologische und ökologische Untersuchungen an den xerotopen Moosen und Flechten des Muschelkalkes in der Umgebung Jenas. Feddes Rep. Beih. **99** (1937) 1–46.
- Storm, R.: Wahrscheinlichkeitsrechnung, mathematische Statistik und statistische Qualitätskontrolle. Leipzig 1969, 360 S.
- Strebel, O.: Beiträge zur Biologie, Ökologie und Physiologie einheimischer Collembolen. Z. Morph. Ökol. Tiere **25** (1932) 31–153.
- Tallis, J. H.: Studies in the Biology and Ecology of *Rhacomitrium lanuginosum* Brid. II. Growth, Reproduktion and Physiology. J. Ecol. **47** (1959) 325–350.
- Trägardh, J., und K. H. Forsslund: Untersuchungen über die Auslesemethoden beim Studium der Bodenfauna. Medd. Stat. Skogsf. **27** (1932) 21–68.
- Unger, H.: Der Zellulosestest, eine Methode zur Ermittlung der zellulolytischen Aktivität des Bodens in Feldversuchen. Z. Pflanzenern., Düng., Bodenkd. **91** (1960) 44.
- Volk, O.: Beiträge zur Ökologie der Sandvegetation der oberrheinischen Tiefebene. Z. Bot. **24** (1930/1931) 81–185.
- Walter, H.: Verdunstungsmessungen auf kleinstem Raume in verschiedenen Pflanzengesellschaften. Jb. wiss. Bot. **68** (1928) 233–288.
- Walter, H.: Einführung in die Phytologie. III. Grundlagen der Pflanzenverbreitung. 1. Teil Standortslehre. Stuttgart 1951, 525 S.
- Walter, H., und H. Lieth: Klimadiagramm-Weltatlas. Jena 1960.
- Weber, E.: Grundriß der biologischen Statistik. Jena 1967, 674 S.
- Wiedenroth, E. M.: Zur pH-Messung bei geobotanischen Geländearbeiten. Arch. Natursch. Landschaftspfl. **9** (1969) 83–87.
- Wiesner, G.: Die Bedeutung der Lichtintensität für die Bildung von Moosgesellschaften im Gebiet von Lunz. Sitz.-Ber. österr. Akad. Wiss., math.-nat. Kl. Abt. I **161** (1952) 559–583.

Dr. Monika Koperski  
D - 2820 Bremen 77  
Wörpedahler StraÙe 33