

**Zeitschrift:** Bericht über das Geobotanische Forschungsinstitut Rübel in Zürich  
**Herausgeber:** Geobotanisches Forschungsinstitut Zürich  
**Band:** - (1952)

**Artikel:** Untersuchungen über das Mikroklima subalpiner Pflanzengesellschaften  
**Autor:** Zöttl, Heinz  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-377545>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 09.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

ceenart *Dictyosphaerium pulchellum*. Die Blaualgen gaben durch das Auftreten von *Anabaena planctonica* dem Bild des Planktons einen neuen Aspekt und diese Planktoninvasion ist die markanteste Erscheinung der ganzen Berichtsperiode.

Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß das schubartige Neuauftreten von *Anabaena planctonica* eine weitere Verschlechterung des Seezustandes bedeutet. Nun weiß man heute, daß es wohl unmöglich ist, einen so großen verschmutzten See mit technischen Mitteln wieder in einen Reinwassersee zu verwandeln. Da aber der Zürichsee die wichtigste Trinkwasserversorgungsquelle für die Mehrzahl der Seeanwohner bildet, so kann der Zunahme der Eutrophie nicht weiter tatenlos zugesehen werden. Vielmehr drängt sich die Notwendigkeit auf, durch den Bau von Kläranlagen und biologischen Reinigungsanlagen in sämtlichen Seegemeinden dem Weiterschreiten der Eutrophie durch die starke Abdrosselung der Nährstoffzufuhr einen wirksamen Riegel vorzuschieben.

#### *Literaturverzeichnis*

- Leo Minder, Der Zürichsee im Lichte der Seetypenlehre. Neujahrsblatt der Naturf. Ges. Zürich 1943.
- E. A. Thomas und E. Märki, Der heutige Zustand des Zürichsees. Verh. d. internat. Ver. f. Limnologie **10** (476–488) 1949.
- Ingo Findenegg, Über die Lichtansprüche pl. Süßw.-Algen. Sitzungsber. d. Akadem. d. Wissensch. Wien 1947 (159–172).
- G. Huber-Pestalozzi, Eine neue Planktoninvasion im Zürichsee *Anabaena planctonica* Brunnthaler. Vierteljahrsschr. Nat. Ges. Zürich **97** (126–131) 1952.
- H. Kuhn, Das Plankton des Zürichsees. Kosmos, Stuttgart 1939 (174–177).
- H. Kuhn, Das Netzplankton des unteren Zürichsees im Jahre 1943. Schweiz. Zeitschr. f. Wasser- und Energiew. 1944 (46–52).
- H. Kuhn, Das Netzplankton einiger Seen im Kt. Zürich 1946–1950. Bericht Geob. Forsch.-Inst. Rübel in Zürich **1949** 1950 (39–47).
- H. Kuhn, Gewässerleben und Gewässerschutz, Eine Darstellung der Lebensgemeinschaften der reinen und verschmutzten Binnengewässer. Orell Füßli Verlag 1952 (236 S.).

## UNTERSUCHUNGEN ÜBER DAS MIKROKLIMA SUBALPINER PFLANZENGESELLSCHAFTEN

Von *Heinz Zöttl*, München

Mikroklimatische Messungen in Hochgebirgslagen sind – zufolge der technischen Schwierigkeiten – nur wenig ausgeführt worden. Trotz

der geringen Zahl von Arbeiten sind aber durch Auswertung der Ergebnisse unter ökologischen Gesichtspunkten bereits schöne Einblicke in die kleinklimatischen Verhältnisse subalpiner und alpiner Pflanzengesellschaften gewonnen worden, ist insbesondere die Abhängigkeit von Einzelarten wie auch von ganzen Pflanzengesellschaften vom Lokalklima deutlich aufgezeigt worden (z.B. Lüdi 1925, 1937, 1948).

Allerdings kann aus solchen Untersuchungen nicht klar hervorgehen, welche Wirkung im Zusammenspiel der Faktoren den äußeren Standortgegebenheiten und welche den durch die Vegetation selbst geschaffenen Bedingungen zukommt. Gerade die Beeinflussung und Veränderung des Mikroklimas durch die Pflanzendecke ist ein hochinteressantes und – namentlich, wenn es sich um Gebirgspflanzengesellschaften handelt – ein noch wenig bekanntes Gebiet. Freilich ist es bei der Betrachtung des vielfältigen Wechselspiels von Ursache und Wirkung, wie es im Verhältnis von Pflanze und Umwelt gegeben ist, schwer, die Einzelfaktoren in ihren Auswirkungen voneinander zu trennen.

Die einzige Methode liegt im Vergleich der Verhältnisse in verschiedenen Pflanzenbeständen, die unter gleichen äußeren Standortbedingungen stehen. Solche Gegebenheiten sind jedoch im zerrissenen Gebirgsterrain nur selten verwirklicht. Im Zuge von soziologisch-ökologischen Untersuchungen über das Sukzessionsgeschehen auf Felschutt in den Bayerischen Alpen (Zöttl 1951 a, b) schien aber die Möglichkeit geboten, derartig ausgerichtete Messungen durchzuführen.

Im Untersuchungsgebiet vorliegender Arbeit, dem Wettersteingebirge, treffen wir in der subalpinen Stufe drei große, schon physiognomisch erfaßbare Pflanzenformationen an: Geröllflur, Rasen und Leföhrenwald. Sie zeigen je nach Höhenlage oder Exposition verschiedene Ausbildungsformen und haben hinsichtlich ihrer allgemeinen klimatischen Ansprüche einen weiten Überschneidungsbereich, treten also, wo die übrigen Standortbedingungen es gestatten, in engem räumlichem Nebeneinander auf dem gleichen Geröllfeld auf. Die Unterschiede in ihrem Mikroklima sind in einem solchen Falle ausschließlich durch die Vegetation bedingt.

Für die nachfolgend geschilderten Untersuchungen, die in den Jahren 1948 und 1949 durchgeführt wurden, wurde ein Schutthang ausgewählt, auf dem in gleicher Höhe, gleicher Exposition und unter gleicher Hangneigung diese drei Gesellschaften (die zugleich aufein-

anderfolgende Sukzessionsstadien darstellen), nebeneinander ausgebildet sind. Dieses auch für die technische Durchführung der Messungen geeignete Schuttfeld fand sich in der Gegend des Schachen über dem Schachengrund unterhalb des Frauenalpkopfes. Es hat westliche Exposition und ist nach Westen und Norden zu frei gelegen. Nach Süden und Osten ist der Horizont durch die mehrere hundert Meter höher aufragenden Felswände begrenzt. Die Hangneigung der 1830 m hoch gelegenen Versuchsstelle beträgt 20 Grad. Ein 7 m breiter Rasenstreifen zieht hier senkrecht den Hang herunter; auf der einen Seite geht er in leicht bewegliches Geröll mit offener Vegetation über, während er auf der anderen Seite (gegen Norden zu) an ein Legföhrendickicht stößt. Der Hang ist also an dieser Stelle senkrecht in diese Vegetationseinheiten zониert.

Die eine mikroklimatische Meßstation (II) wurde inmitten des Rasenbandes errichtet, die Station des Legföhrengebüsches (III) befand sich 7 m von Station II entfernt auf gleicher Höhe mitten im Latschendickicht, während Station I im offenen Geröll auf der anderen Seite des Rasens 8 m von dessen Station entfernt aufgebaut wurde. Das aus fast reinem Kalziumkarbonat bestehende, schwach befestigte Geröll (durchweg Wettersteinkalk; Einzelheiten über die ökologischen Verhältnisse dieses Standorts siehe Zöttl 1952) setzt sich an der Oberfläche hauptsächlich aus 10–20 cm großen Brocken zusammen, die teils grau angewittert sind, teils frischen weißen Bruch zeigen. Zwischen ihnen liegt bis 5 cm großes Schuttmaterial, das sich in der Wurzelzone etwas anreichert. Feinerde ist hier nur wenig vorhanden. Die Besiedlung setzt sich aus folgenden Arten zusammen:

<i>Achillea atrata</i> .....	1 <sup>1</sup>	<i>Sesleria coerulea</i> .....	1
<i>Viola biflora</i> .....	2	<i>Polygonum viviparum</i> .....	+
<i>Silene alpina</i> .....	1	<i>Valeriana saxatilis</i> .....	+
<i>Valeriana montana</i> .....	1	<i>Bellidiastrum Michellii</i> .....	+
<i>Athamanta cretensis</i> .....	1	<i>Ranunculus alpestris</i> .....	+
<i>Moehringia ciliata</i> .....	+	<i>Myosotis alpestris</i> .....	+
<i>Ranunculus montanus</i> .....	+	<i>Biscutella laevigata</i> .....	1
<i>Festuca pumila</i> .....	+		

Einige Pionierarten des Rasens sind also bereits in den Schutt vorgedrungen; der Vegetationsschluß beträgt aber höchstens 30% der Fläche. Die Meßgeräte wurden an einem 1–2 m<sup>2</sup> großen Fleck aufgestellt, der keinen Pflanzenwuchs trägt.

<sup>1</sup> Abundanz und Dominanz kombiniert geschätzt nach Braun-Blanquet (1951).



Der Rasen zeigt die Artenzusammensetzung des *Caricetum firmae* (siehe Zöttl 1951 a). Die Vegetation ist dicht geschlossen; nur 15% der Fläche ist unbesiedelt (aufgestreute Felsbrocken). Ein meist 10 cm mächtiger, sehr humusreicher A-Horizont liegt dem Gerölluntergrund auf. Stellenweise sind kleine Stufen in den Boden eingesenkt. Im einzelnen ist die Artenzusammensetzung folgende:

<i>Carex firma</i> .....	3	<i>Ranunculus alpestris</i> .....	+
<i>Dryas octopetala</i> .....	2	<i>Pedicularis rostrato-capitata</i> ....	+
<i>Festuca pumila</i> .....	2	<i>Pinguicula alpina</i> .....	+
<i>Sesleria coerulea</i> .....	1	<i>Polygonum viviparum</i> .....	+
<i>Valeriana saxatilis</i> .....	2	<i>Selaginella selaginoides</i> .....	+
<i>Primula auricula</i> .....	1	<i>Biscutella laevigata</i> .....	+
<i>Gentiana Clusii</i> .....	1	<i>Gentiana aspera</i> .....	+
<i>Euphrasia salisburgensis</i> .....	+	<i>Anthyllis vulneraria alpestris</i> ....	+
<i>Androsace chamaejasme</i> .....	+	<i>Lotus corniculatus</i> .....	+
<i>Silene acaulis</i> .....	+	<i>Arctostaphylos alpina</i> .....	+
<i>Homogyne alpina</i> .....	+	<i>Rhododendron hirsutum</i> .....	+
<i>Saxifraga caesia</i> .....	+	<i>Tortella tortuosa</i> .....	1

Der Legföhrenbestand ist eine *Pinus montana prostrata*-*Erica carnea*-Assoziation (Zöttl 1951 a) mit folgender Artenliste:

<i>Pinus montana prostrata</i> .....	4	<i>Rubus saxatilis</i> .....	1
<i>Juniperus communis</i> .....	+	<i>Homogyne alpina</i> .....	1
<i>Sorbus chamaemespilus</i> .....	1	<i>Sesleria coerulea</i> .....	+
<i>Erica carnea</i> .....	3	<i>Valeriana saxatilis</i> .....	+
<i>Daphne striata</i> .....	2	<i>Hieracium murorum</i> .....	1
<i>Rhodothamnus chamaecistus</i> ....	2	<i>Hylocomium splendens</i> .....	2
<i>Rhododendron hirsutum</i> .....	4	<i>Pleurozium Schreberi</i> .....	1
<i>Vaccinium myrtillus</i> .....	1	<i>Dicranum scoparium</i> .....	3
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> .....	1	<i>Thuidium tamariscinum</i> .....	2
<i>Globularia nudicaulis</i> .....	2	<i>Ctenidium molluscum</i> .....	2
<i>Rosa pendulina</i> .....	1	<i>Cetraria islandica</i> .....	+

Der Boden dieser Gesellschaft hat eine 5–10 cm mächtige, fast unzer-setzte Laubstreudecke als A<sub>0</sub>-Horizont, unter der sich bis zu 40 cm Tiefe rohhumusartiges, organisches Material befindet. Die Kalkbrocken des Untergrundes mischen sich teilweise auch in diese Schicht. Die Bewurzelung reicht bis in den Schuttuntergrund hinein.

### 1. Temperatur

Um das Mikroklima der drei Bestände hinsichtlich der Temperatur ausreichend charakterisieren zu können, wurde nach der hauptsächlich von Geiger (1950) eingeführten Methode der Temperaturgang im Boden und in den durch die Vegetation beeinflussten bodennahen Luftschichten während verschiedener Tage und Nächte der Vegetationsperiode gemessen. Bei den im Sommer 1948

durchgeführten Untersuchungen wurde jede Station mit vier Stabthermometern versehen. Eines war jeweils so in den Boden gesteckt, daß es die Temperatur der 5 cm unter der Oberfläche liegenden Bodenschicht angab, das zweite lag direkt der Bodenoberfläche auf (bei Station I auf dem lockeren Gesteinsschutt, bei II auf und zwischen einem Polster von *Carex firma* und in III auf der fast unzersetzten Laubstreu zwischen den Moostrieben), die beiden anderen Thermometer waren in waagrechter Lage 5 und 25 cm hoch über der Bodenoberfläche an einem Stativ angebracht. Die Thermometer zur Messung der Bodentemperaturen waren mit Quecksilber gefüllt, die Luftthermometer hatten Weingeistfüllung. Die Skaleneinteilung erlaubte noch eine Ablesung der Zehntelgrade. Zum Schutz gegen Beeinflussung der Thermometertemperatur durch Wärmeleitung vom Eisenstativ her waren die Thermometer an der Befestigungsstelle durch einen dicken Korken gesteckt, um den sich die Stativklammern legten. Um eine direkte Bestrahlung der Luftthermometer und auch des Thermometers der Bodenoberfläche zu vermeiden, wurde der ganze untere Teil der Thermometer (insbesondere die weingeistgefüllte Kugel) durch eine dünne, hochglänzende helle Leichtmetallfolie, die mit Draht am Stativ befestigt war, bei Sonnenschein stets beschattet. Der Abstand zwischen der Strahlungsschutzfolie und dem Thermometer betrug mindestens 5 cm. Durch diese Vorrichtung war die Messung der wahren Lufttemperatur möglich. Verschiedentliche Vergleichsmessungen in der gleichen Luftschicht mit dem Aßmann-Aspirations-Psychrometer, das immer die wirkliche Lufttemperatur unter Ausschaltung aller Strahlungseinflüsse wiedergibt, differierten höchstens bis zu  $\frac{3}{10}^{\circ}$  Celsius. Da Maximum- und Minimumthermometer nicht in genügender Anzahl zur Verfügung standen, mußte auf die Gewinnung von Extremwerten von längeren Zeiträumen von vorne herein verzichtet werden. Es richtete sich das Hauptaugenmerk darauf, den Temperaturverlauf durch im allgemeinen stündliche Ablesungen festzustellen (auch nachts wurde in ein- bis längstens vierstündigem Intervall abgelesen) und aus diesen Kurven die Besonderheiten des Temperaturganges in den einzelnen Stationen herauszuschälen. Vor allem ging das Bestreben dahin, die Untersuchungen an Tagen und Nächten mit möglichst ungehinderter Ein- und Ausstrahlung anzustellen; jedoch wurden auch bewölkte Tage mit mäßig warmem Wetter zur Messung benutzt, um über die mikroklimatischen Verhältnisse auch bei dieser viel häufigeren Wetterlage etwas aussagen zu können.

Im folgenden werden zunächst die Meßergebnisse des Jahres 1948 geschildert. Um den Umfang der Arbeit nicht zu sehr zu vergrößern, sind aus den Untersuchungen nur zwei Meßreihen herausgegriffen. Die eine erstreckt sich vom 20. bis 22. August. Am Vortage der Messungen hatte kühles, regnerisches Wetter mit Nebel und Wind geherrscht, in der Nacht klarte es auf und am Morgen des 20. war bei Messungsbeginn (6 Uhr) der Himmel wolkenlos. Infolge der westlichen Exposition des Hanges und der im Osten und Süden aufragenden Berggipfel lagen die Meßstationen um diese Zeit noch im Schatten. Gegen 9 Uhr kam ein leichter NW-Wind auf, einige Nebelfetzen bildeten sich und blieben als Auftrocknungswolken bestehen. Kurz nach 10 Uhr wurden die Klimastationen von der Sonne beschienen; die Sonne verschwand

jedoch bald wieder (11 Uhr) hinter den den Himmel tagsüber bedeckenden Kumuluswolken. Gegen 16 Uhr verdichteten sich die Wolken stark, ganz leichter Nebel fiel ein, um als etwa 150 m über der Untersuchungsstelle liegende Hochnebeldecke den ganzen Abend und die Nacht hindurch zu bleiben. Wind kam fast gar nicht auf. In den Morgenstunden des 21. lichtete sich das nebelige Gewölk, so daß gegen 10.30 Uhr die Meßstationen von den Sonnenstrahlen getroffen wurden. Bei wechselnder Bewölkung (Kumulus) wehte stets leichter Westwind. Nach 18 Uhr verschwand die Sonne erst hinter aufziehenden Zirren und dann hinter den Bergwänden im Westen. Der Himmel blieb bis in die Nachtstunden hinein klar. Am Morgen des 22. zogen Regenwolken von NW her auf und um 7.30 Uhr fielen die ersten Regentropfen.

Infolge der guten Ausstrahlungsverhältnisse in der Nacht und am Morgen des 20. zeigt sich in der Temperaturschichtung über dem Geröll (Abbildung 1) eine schöne Inversion. Die Temperatur ist an der Bodenoberfläche am weitesten abgesunken, mit zunehmender Höhe werden die Luftschichten wärmer. Solange die Meßstationen noch nicht sonnenbeschienen sind, steigen die Lufttemperaturen nur sehr langsam an, die Bodenoberfläche bleibt immer am kältesten. Erst nach dem Eintritt der Sonnenbestrahlung (10 Uhr) ändern sich die Verhältnisse. Die Temperatur an der Bodenoberfläche steigt sofort sprunghaft an; die bodennahen Luftschichten werden vom Boden aus ebenfalls, nur langsamer und, je höher sie liegen, um so schwächer erwärmt. Nach 11 Uhr ist daher die Lufttemperatur in 25 cm Höhe bereits deutlich niedriger als an der Bodenoberfläche. Der Einstrahlungstypus ist verwirklicht und wird trotz des Fehlens direkter Bestrahlung (Sonne immer hinter den Wolken) bis zum Erreichen der maximalen Erwärmung um 14 Uhr immer ausgeprägter. Dieses Maximum der Lufttemperaturen fällt infolge der nach Westen zu geneigten Lage der Untersuchungsstelle nicht mit dem Höchststand der Sonne zusammen, sondern ist gegen den Nachmittag hin verschoben. Die Bodentemperatur schließt sich nur sehr locker dem Gang der Lufttemperaturen an. Im Boden tritt die stärkste Abkühlung erst um 8 Uhr ein, zu einem Zeitpunkt also, an dem die Lufttemperaturen bereits wieder im Ansteigen begriffen sind. Auch macht sich die vormittägliche Erwärmung nur sehr langsam bemerkbar, so daß das Temperaturmaximum im Boden erst eine Stunde nach dem der Lufttemperaturen erreicht wird. Während der Nachmittagsstunden und auch die ganze Nacht hindurch

bleibt die Bodentemperatur stets über der der bodennahen Luftschichten. Beim Vergleich des Temperaturverlaufes am Vormittag und am Nachmittag wird die Wirkung der Bewölkung gut sichtbar. Infolge des bedeckten Himmels, der Hochnebeldecke und des hohen Wasserdampfgehaltes der Luft (relative Feuchte über 90%) wird die Ausstrahlung und damit Abkühlung von der Bodenoberfläche her weitgehend verhindert. Die Temperaturen sinken daher gegen Abend zu sehr gleichmäßig ab, ohne daß eine Temperaturumkehr eintritt. Am Morgen des 21. beginnt wieder das rasche Ansteigen der Temperaturen, insbesondere an der Bodenoberfläche. Infolge der andauernden Sonnenbestrahlung werden höhere Werte als am Vortage erreicht. Wird die Sonnenbestrahlung durch Bewölkung abgeschwächt, so reagieren die

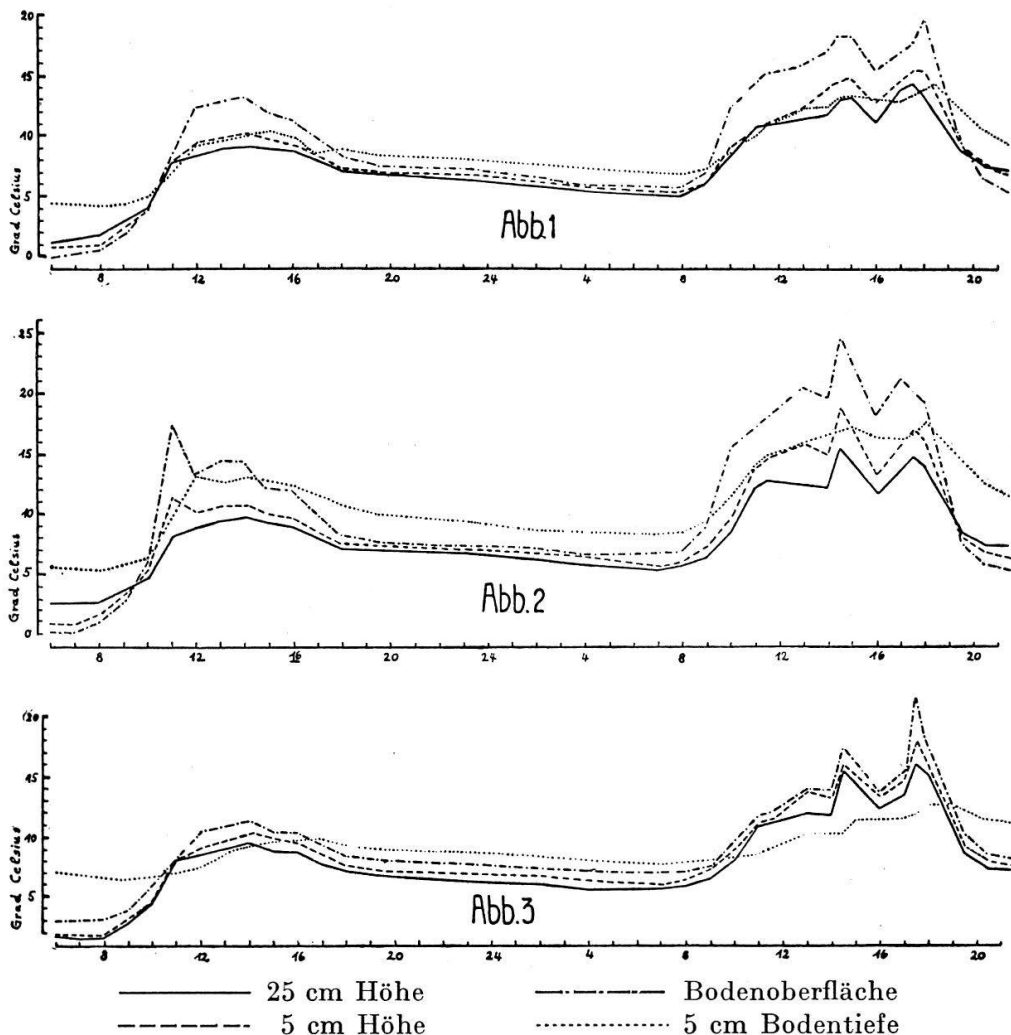


Abb. 1-3. Temperaturgang der 3 Stationen am 20. und 21.8.1948. Oben: Geröllstation, Mitte: Rasenstation, unten: Legföhrenstation

Lufttemperaturen, trotzdem es sich um nicht strahlungsbeeinflusste Werte handelt, rasch und deutlich auf jede Änderung. Wie stark die nachmittägliche Erwärmung bei Westexposition noch werden kann, zeigt der zweite Temperaturgipfel gegen 18 Uhr; die Werte sind hier sogar höher als um 15 Uhr. Analog zur raschen Erwärmung bei klarem Himmel am Morgen des 20. geht am Abend des 21. bei voller Ausstrahlungsmöglichkeit die Abkühlung vonstatten. Sowie die Sonne verschwunden ist, fallen alle Lufttemperaturen schnell ab und alsbald ist die Temperaturinversion des Ausstrahlungstyps eingetreten (22 Uhr). Die Bodentemperatur folgt nur sehr grob den Bewölkungsschwankungen und behält auch in den Abend- und Nachtstunden höhere Werte bei.

Beim Temperaturverlauf der Rasenstation (Abbildung 2) bemerken wir bezüglich der Ein- und Ausstrahlung die gleichen typischen Erscheinungen wie beim Geröll. Jedoch sind manche Unterschiede festzustellen. Einmal fällt auf, daß das Ansteigen der Lufttemperaturen bei Besonnung (20. und 21.) merklich rascher erfolgt, die Inversion am Morgen eher dem Einstrahlungstypus weicht und die Temperatur-extreme größer sind als bei der Geröllstation. Auch beim Aufhören der Sonnenbestrahlung (Abend des 21.) tritt die Inversion viel eher ein als überm Geröll: in Station I ist sie erst um 22 Uhr schön ausgeprägt, während sie über dem Rasen schon um 19.30 Uhr deutlich zu erkennen ist. Vor allem sind merklich höhere Werte der Bodentemperatur für den Rasen kennzeichnend. Besonders am Nachmittag des bedeckten 20. und in der Nacht zum 21. ist dies gut zu sehen.

Obschon zwar der Verlauf des Temperaturkurvenbündels der Legföhrenstation (Abbildung 3) im groben dem des Rasens und des Gerölls gleicht, ist er doch in seinen Mindest- und Höchstwerten wesentlich gemäßigter. Eine Temperaturumkehr kann nicht festgestellt werden. Die Erwärmung der bodennahen Luftschicht geht erheblich langsamer vor sich als beispielsweise beim Rasen; höchstens die Abkühlung hält Schritt mit der dortigen Geschwindigkeit. Ausgeprägt ist auch hier die durch den Bewölkungswechsel hervorgerufene Zweigipfligkeit der Tageskurve vom 21. August. Einen ganz flachen Verlauf hat die Kurve der Bodentemperatur. Am Abend und nachts ist die obere Bodenschicht deutlich wärmer als die Luft und die Bodenoberfläche selbst. Zur Zeit der Einstrahlung allerdings ist sie erheblich niedriger. Die Bodentemperatur hinkt mit ihren Maxima und Minima ein gutes Stück hinter denen der Lufttemperaturen nach.

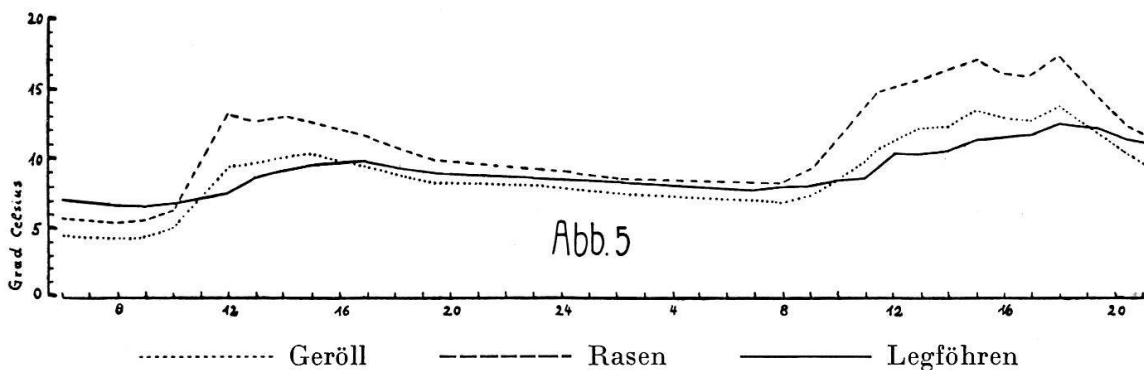
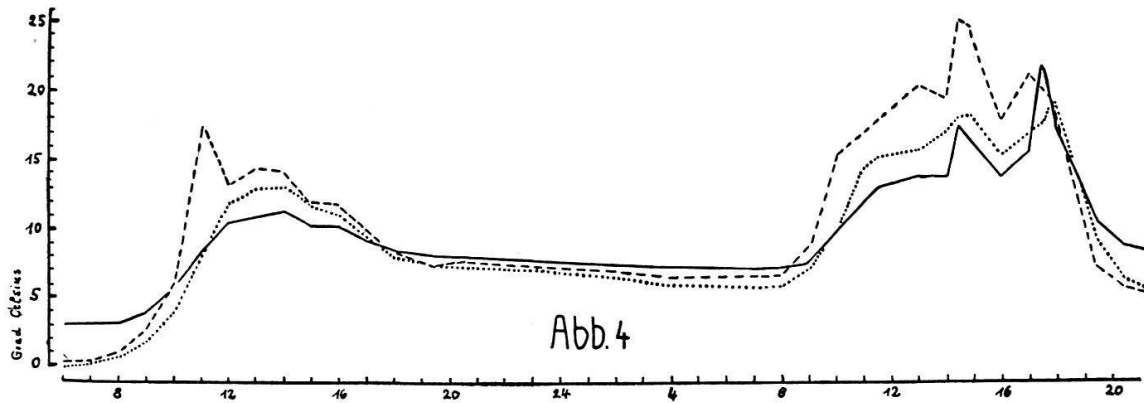


Abb. 4 und 5. Temperaturgang der 3 Stationen am 20. und 21.8.1948 auf der Bodenoberfläche (oben) und in 5 cm Bodentiefe (unten).

Um den Temperaturverlauf der drei Stationen besser miteinander vergleichen zu können, sind in den Abbildungen 4 und 5 jeweils die Temperaturen einer bestimmten Höhe von den drei Beständen eingetragen. Die Lufttemperaturen in 25 cm Höhe weichen, was bei der nahen Entfernung der drei Stationen verständlich ist, wenig von einander ab und auch in 5 cm Höhe ist der Unterschied noch nicht sehr wesentlich. Es seien daher für diese Meßreihe nur die Temperaturen der Bodenoberfläche und der oberflächennahen Bodenschicht einander gegenübergestellt. Deutlich geht aus Abbildung 4 die unterschiedliche Erwärmung der Bodenoberfläche hervor. Der gemäßigte Verlauf der Kurve der Legföhrenstation fällt sofort auf; das wenn auch lückenhafte Kronendach von *Pinus montana prostrata* schwächt die Einstrahlung wirksam ab (Temperatur zu dieser Zeit niedriger als in I und II) und verhindert auch eine starke Ausstrahlung (Temperatur vom Abend bis zum Morgen höher als in I und II). Unregelmäßigkeiten (17–18 Uhr am 21.) kommen dadurch zustande, daß bei schrägem Einfall der Sonnenstrahlen diese durch das nicht geschlossene Wipfeldach der



Legföhren hindurch bis auf den Boden dringen und so eine viel stärkere Erwärmung verursachen. Es kann dann infolge des guten Windschutzes innerhalb des Bestandes zu hohen Temperaturen kommen, die über dem Geröll oder Rasen zu dieser Zeit vielleicht gerade nicht erreicht werden. Der Verlauf der Temperatur an der Rasenoberfläche ist durch rasches und kräftiges Ansteigen bei Einstrahlungsbeginn deutlich abgehoben; über dem Rasen stellen sich auch die höchsten Temperaturwerte dieser drei untersuchten Vegetationstypen ein.

Auch in der Zusammenstellung der oberflächennahen Bodentemperaturen (Abbildung 5) weist die Rasenstation die höchsten Werte auf. Die Kurve der Geröllstation folgt mit schwächeren Ausschlägen der des Rasens, während die Temperaturen des Legföhrenhumusbodens nur wenig schwanken. Da in der Nacht zum 21. schlechte Ausstrahlungsbedingungen herrschten, bleibt der Rasenboden auch am Morgen des 21. der wärmste der drei Stationen.

Die nächste Meßreihe gibt insbesondere die Verhältnisse bei klarem Strahlungswetter wieder. Angeführt ist ein Ausschnitt vom Mittag des 10. August bis zum Nachmittag des 11. August. Der Witterungsablauf war kurz folgender: der 10. war ein völlig klarer Tag, ab und zu regte sich ein leichter Luftzug von wechselnder Windrichtung. Gegen Abend machte sich ein leichter Südwind bemerkbar; nachts herrschte bei klarem Himmel relativ starke Abkühlung und Taubildung. Am 11. zeigte sich ein leichter Zirrenschleier ( $\frac{1}{10}$  Bewölkung), Westwind wechselte mit Windstille ab.

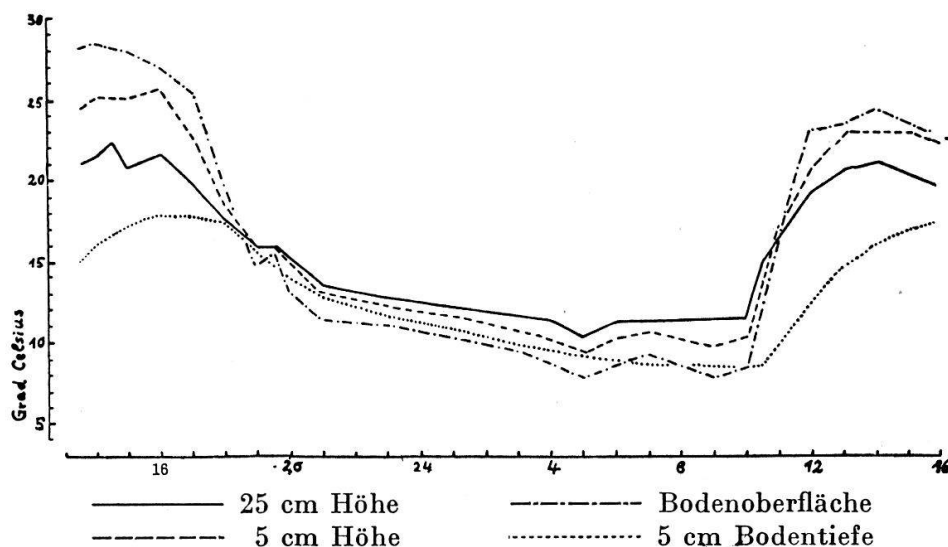


Abb. 6. Temperaturgang der Geröllstation am 10. und 11.9.1948.



Die Temperaturkurve der Geröllstation (Abbildung 6) verläuft im allgemeinen wie schon oben geschildert: zur Zeit der Maximaltemperaturen die stärkste Erwärmung an der Bodenoberfläche, rasches Absinken der Temperaturen nach Sonnenuntergang, baldiger Eintritt der Temperaturumkehr (20 Uhr), die die ganze Nacht ungestört anhält. Charakteristisch ist dann wieder die schnelle Zerstörung der Inversion durch die kräftig einsetzende Erwärmung der Oberfläche, sobald die Versuchsstation von den Sonnenstrahlen beschienen wird (10.10 Uhr). Im Gang der Bodentemperatur ist die gewohnte Verspätung der Maxima zu sehen. Die kleinen Unregelmäßigkeiten in der Erwärmung um 19 und um 7 Uhr, die auch bei der Rasen- und bei der Legföhrenstation bemerkbar sind, gehen auf ein zeitweilig stärkeres Einsetzen des warmen Südwindes zurück.

Die Rasenstation (Abbildung 7) zeigt in den Mittagsstunden ebenfalls eine starke Überhöhung der Temperaturen der Bodenoberfläche gegenüber den höheren Luftschichten; prägnant kommt der Ausstrahlungstypus in der Nacht und am Morgen zum Ausdruck: die Temperatur an der Bodenoberfläche ist fast  $7^{\circ}$  niedriger als in 25 cm Höhe! Eindrucksvoll ist bei dieser Meßreihe das Emporschnellen der Temperatur der Bodenoberfläche am Vormittag des 11. August. Schon eine halbe Stunde nachdem die Sonnenstrahlen den Boden der Untersuchungsstelle getroffen haben, ist die Erwärmung soweit fortgeschritten, daß in 0 cm Höhe die höchste Temperatur herrscht, die nächtliche Temperaturumkehr also völlig beseitigt und der Einstrahlungstyp ausgebildet ist.

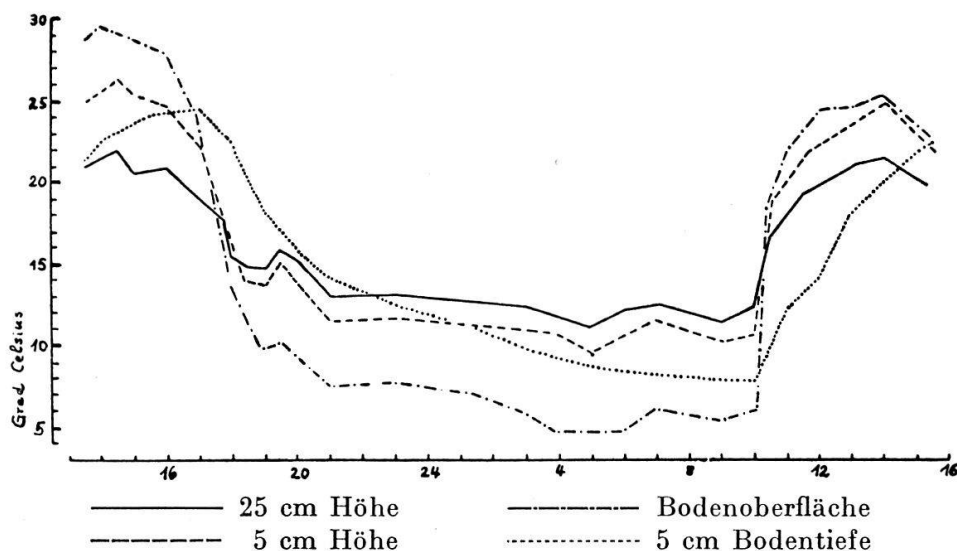


Abb. 7. Temperaturgang der Rasenstation am 10. und 11.9.1948.

Das Ansteigen der Bodentemperaturen dauert noch 3 Stunden, nachdem die Lufttemperaturen ihren höchsten Stand erreicht haben, an (Maximum in 5 cm Tiefe um 17 Uhr); das Minimum wird erst kurz bevor der Boden wieder sonnenbeschienen ist erreicht (Minimum der Lufttemperaturen um 5 Uhr = Zeit des Sonnenaufganges).

Beim Temperaturgang im Legföhrenbestand (Abbildung 8) ist gegenüber der vorigen Meßreihe vor allem zu bemerken, daß sich diesmal genau wie über dem Geröll und über dem Rasen nachts und am Morgen eine deutliche Temperaturumkehr eingestellt hat. Tagsüber sind die Verhältnisse insofern interessant, als zwar die untere Luftschicht (5 cm

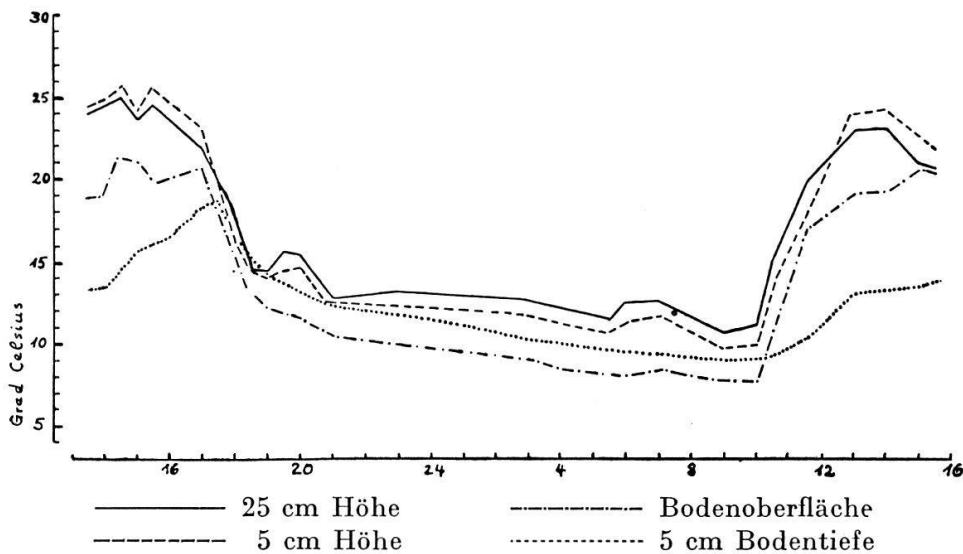


Abb. 8. Temperaturgang der Legföhrenstation am 10. und 11.9.1948.

Höhe) wärmer wird als die obere (25 cm Höhe), die Temperatur der Oberfläche selbst aber stets am niedrigsten bleibt. Erklärlich ist dies dadurch, daß bei weitem nicht die gesamte durch die Legföhrenwipfel ins Bestandesinnere durchdringende Strahlung bis zur Bodenoberfläche gelangt, sondern zum Teil durch den Unterwuchs der Zwergsträucher und die Moostriebe abgefangen wird. Abgesehen davon, daß beim Legföhrenbestand ein Großteil des Strahlungs- und Wärmeumsatzes bereits an der Oberfläche des Latschendaches vor sich geht (Geiger 1950, Kanitscheider 1937), ist hier auch noch durch den verschieden hohen Pflanzenwuchs im Bestandesinneren die tätige Oberfläche sehr aufgeteilt, so daß ähnlich den Verhältnissen in Blumenbeeten oder Getreidefeldern die größte Erwärmung in einiger Höhe über der Bodenoberfläche zustandekommt.

Einen anschaulichen Vergleich der Verhältnisse in den drei Beständen ermöglichen die Kurven von Abbildung 9 und 10. Die Temperaturen des oberflächennahen Bodens (Abbildung 10) sind unter dem Rasen am höchsten (bis zu über 6° höher als im nur 7 m davon entfernten Geröll!). Das Geröll nimmt eine Mittelstellung ein, während der Legföhrenhumusboden am kältesten bleibt. Zur Zeit der stärksten Ausstrahlung ist die Reihenfolge gerade umgekehrt.

Beim Vergleich der Temperaturen an der Bodenoberfläche (Abbildung 9) fällt wiederum der Rasen als Standort mit den größten Temperaturschwankungen und höchsten Extremwerten auf, während die

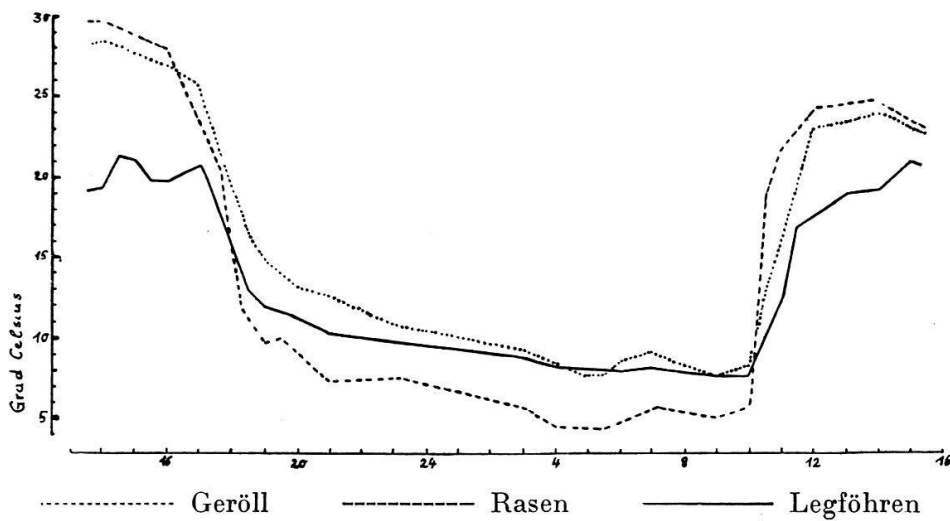


Abb. 9. Temperaturgang der 3 Stationen in 0 cm Höhe (Bodenoberfläche) am 10. und 11.9.1948.

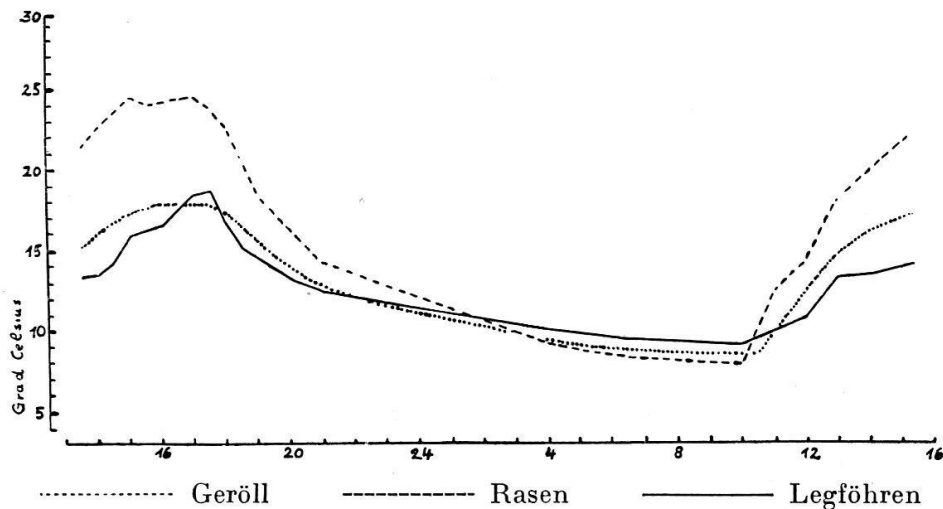


Abb. 10. Temperaturgang der 3 Stationen in 5 cm Bodentiefe am 10. und 11.8.1948.

Kurve des Legföhrenbestandes die größte Ausgeglichenheit aufweist. Bemerkenswert ist, daß die Gerölloberfläche vom Nachmittag bis zum Morgen am wärmsten ist.

Vor der zusammenfassenden Besprechung dieser Ergebnisse sei noch kurz auf einige Daten von Meßreihen aus dem Jahre 1949 eingegangen.

Diese Untersuchungen konnten mit einer größeren Anzahl von Thermometern durchgeführt werden und ergaben daher ein genaueres Bild der Temperaturschichtung sowohl der bodennahen Luftschicht wie auch der Bodenhorizonte. Es ist darauf hinzuweisen, daß diese Zahlen der Abbildung 11, was die Lufttemperaturen anbelangt, nicht die wahre Lufttemperatur (= Schattentemperatur), sondern die Temperaturen von nicht strahlungsgeschützten Thermometern darstellen. Das Thermometer ist also in diesem Falle ein Versuchskörper, der zur Zeit der Sonnenbestrahlung von der wirklichen Lufttemperatur um einen durch Zusammenspiel verschiedener Faktoren hervorgerufenen Betrag abweicht. Da aber gerade die Sonnenbestrahlung auf die Pflanzen unterschiedlich einwirkt und eine Pflanze ungeschützter Orte nicht den Schattentemperaturen, sondern der tatsächlichen Strahlungstemperatur unterworfen ist, können die nachfolgend geschilderten Untersuchungen als Ergänzung zu den oben besprochenen Messungen durchaus Verwendung finden (siehe auch Geiger 1950 und Lüdi 1948). Freilich ist zu betonen, daß die Erwärmung der Versuchskörper nicht der der Pflanzenteile entspricht, sondern mehr oder weniger davon abweicht.

Als ökologisch brauchbares Maß kann sie besonders für vergleichende Untersuchungen aber gut verwendet werden. Dieser auf Messungen mit Versuchskörpern beruhende Temperaturgang zeigt zudem hinsichtlich seiner charakteristischen Besonderheiten keine Abweichungen von den Messungen der wahren Lufttemperatur; lediglich die Schwankungen sind entsprechend vergrößert. Eine fehlerhafte Beeinflussung der Resultate wurde durch die Verwendung des gleichen Thermometertyps in den drei Stationen (Luft und Erdoberfläche Weingeist; Boden Quecksilber) weitgehend ausgeschaltet.

Von einer nochmaligen Darstellung des Temperaturganges bei Tag und Nacht kann abgesehen werden, da er gegenüber den obigen Schilderungen keine neuen Gesichtspunkte bringt. Es ist daher nur für einige bedeutsame Zeitpunkte die Temperaturschichtung an den Standorten durch Tautochronen dargestellt. Vorgenommen wurden die in Abbildung 11 zusammengestellten Messungen am 2. Juli 1949. Die vorhergegangenen Tage hatten bei wechselnder Bewölkung keine Niederschläge gebracht, die Nacht zum 2. war bis auf einige Hochnebelbildungen wolkenlos und tagsüber trat nur vorübergehend durch einige Kumuluswolken Beschattung auf. Die Ein- und Ausstrahlungsverhältnisse waren also günstig.

Für die Zeit der stärksten Ausstrahlung und daher Abkühlung der Luft ist die Messung um 4.30 Uhr (knapp vor Sonnenaufgang) typisch. Überm Schutt und über dem Rasen herrscht zu dieser Zeit eine klare

Inversion, die Rasenoberfläche ist stärker abgekühlt und erreicht sogar den Nullpunkt. Die Temperatur im Legföhrenbestand hingegen zeigt von 0 bis 30 cm Höhe fast keine Unterschiede. Die Bodentemperaturen

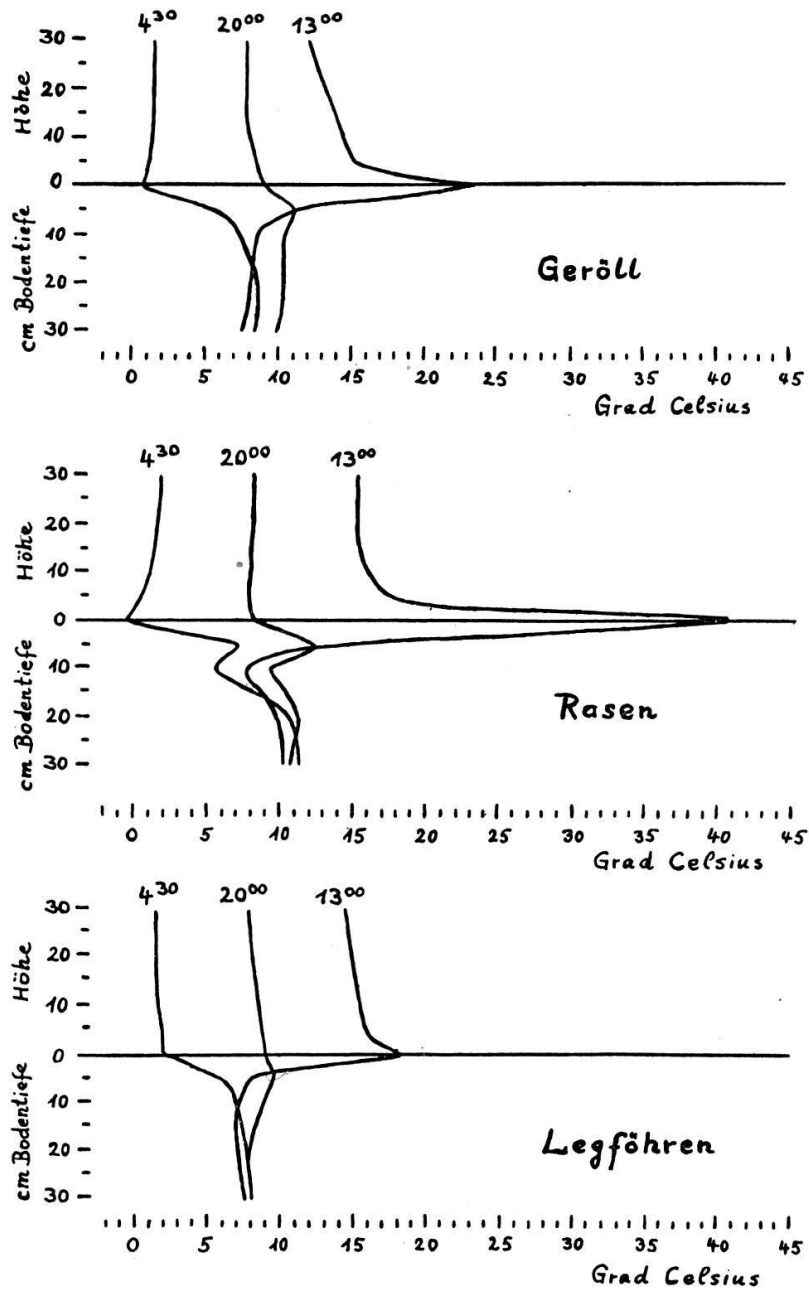


Abb. 11. Temperaturen am 2.7.1949.

nehmen an allen Standorten bis zu etwa 25 cm Tiefe hin zu und bleiben von hier ab dann gleich. Auffällig ist der Knick in der Temperaturkurve beim Rasenboden.

Einen spiegelbildlichen Tautochronenverlauf erhalten wir zur Mittagszeit, wo die Erwärmung am stärksten wird. Von der als Heizfläche wirkenden Bodenoberfläche aus haben sich die oberflächennahen Luftschichten stark erwärmt und auch die obersten Bodenschichten haben an dieser mittäglichen Erwärmung ihren Anteil. Überaus deutlich wird durch diese Kurve die extreme Stellung des Rasenstandortes. Seine Oberfläche erwärmt sich bis  $40^{\circ}$ , während der nur wenige Meter entfernte Gesteinsschutt um mehr als  $15^{\circ}$  kälter ist! Stark sticht der Temperaturzustand im Legföhrenwald zu diesem Zeitpunkt von den beiden anderen Standorten ab; sein „ozeanisches“ Mikroklima wird offenbar.

Für die Abendstunden nach dem Verschwinden der Sonne ist die 20 Uhr-Tautochrone gegeben. Sie zeigt schön, daß die Abkühlung der Luft wesentlich schneller vor sich geht als die der oberflächennahen Bodenschichten. Das Maximum liegt zu dieser Zeit an jedem Standort in 5 cm Bodentiefe und manifestiert die Rolle des Bodens als Wärmespeicher. Im Rasenboden ist die Erwärmung der Bodenschicht entsprechend seiner hohen Oberflächentemperatur am größten.

Zusammenfassend läßt sich über die Temperaturverhältnisse der drei untersuchten Vegetationstypen folgendes sagen: auf dem nur sehr locker bewachsenen Kalkfelsschutt ist die Bodenoberfläche die Grenzschicht des Wärmeumsatzes. Infolge der sehr hellen Farbe des Wettersteinkalkes geht ein Großteil der auftretenden Strahlen durch Reflexion für die Erwärmung verloren. Die gute Wärmeleitfähigkeit der Gesteinsbrocken trägt ebenfalls dazu bei, die Temperatur an der Oberfläche nicht zu stark ansteigen zu lassen. Daher kann auch die Erwärmung im nackten Gesteinsschutt in tiefere Schichten vordringen als dies unter der Humusdecke des Rasens der Fall ist. (Abbildung 11 zeigt diese Tatsache: im Schutt ist die tägliche Temperaturschwankung noch in 30 cm Tiefe deutlich bemerkbar, während unter dem Rasen schon in 20 cm Tiefe praktisch keine Schwankung mehr zu verzeichnen ist.) Allerdings darf nicht übersehen werden, daß diese bessere Wärmeleitfähigkeit des Gerölls nur im Vergleich zum hier besprochenen Rasenboden gilt; gegenüber einem normalen Ackerboden zum Beispiel hat ein Schuttboden infolge seiner vielen luftgefüllten Hohlräume ein viel schlechteres Wärmeleitvermögen. Jedenfalls aber sind die Temperaturschwankungen des hier untersuchten Geröllbodens deutlich geringer, die Extremwerte niedriger als die des *Carex firma*-Rasens.

Die Temperaturverhältnisse des Rasenstandortes sind verwickelter als die des Schuttrohbodens. Da im hier untersuchten Rasentyp (*Cari-  
cetum firmae*) niedrige horstbildende Seggen und Gräser aspektbe-  
zeichnend und die übrigen etwas höher aufragenden Komponenten nur  
locker in das Vegetationsgefüge eingestreut sind, liegt die tätige Ober-  
fläche, an der der Strahlungsumsatz vor sich geht, nicht wie bei einer  
Flachlandwiese in einiger Höhe über dem Boden, sondern wird durch  
die der Humusschicht eng angedrückten Blattrosetten von *Carex firma*  
dargestellt. Weil eine genaue Abgrenzung des A<sub>0</sub>-Horizonts (oberste  
Bodenschicht) von der noch lebenden Vegetationsdecke nicht möglich  
ist, wurden, wie schon geschildert, die Temperaturen des zwischen und  
auf den Rasenpolstern angebrachten Thermometers als Werte der  
Bodenoberfläche genommen. Die Temperaturen dieser und auch der  
einige Zentimeter darunter gelegenen Schichten liegen bedeutend  
höher (Einstrahlung) beziehungsweise tiefer (Ausstrahlung) als die der  
gleichen Schichten des Felsschutts. Die Ursache hierfür ist in erster  
Linie in der größeren Strahlungsabsorption (niedrigere Albedo als beim  
Schutt) dieser relativ dunklen und stärker aufgeteilten Oberfläche zu  
sehen. Zum anderen beruhen die großen Temperaturunterschiede der  
oberflächennahen Schichten auch auf der schlechten Wärmeleitfähig-  
keit der darunterliegenden Humusschicht. Dem Humusboden kommt  
für die Gestaltung des Temperaturganges der darüber befindlichen  
Schichten eine ähnliche Wirkung zu wie einer Laubstreudecke. Daß  
eine solche Decke abgestorbener Pflanzenteile bei Besonnung eine  
außerordentlich starke Erwärmung in und über ihr verursacht, konnte  
Firbas (1927) zeigen. Bei der Betrachtung der Sukzessionsverhält-  
nisse auf Felsschutt ist diese Eigentümlichkeit des *Carex firma*-  
Rasens sehr wohl zu beachten. Obwohl viele andere Faktoren im  
Rasen dem Pflanzenwuchs günstiger sind als im Schutt, wird doch  
durch die Rasenpflanzen ein extremeres Mikroklima geschaffen als der  
Felsschutt es bewirkt. Der Satz, daß jeder Pflanzenwuchs mildernd  
auf die Temperaturunterschiede wirkt (Bestandesschutz) ist also  
(siehe auch Filzer 1936) nur mit Vorbehalt gültig. Es ist leicht denk-  
bar, daß Tagestemperaturen bis um 40°, denen nachts ein Absinken  
bis oder unter Null Grad folgt, beispielsweise für Keimpflanzen eine  
schädigende Wirkung haben.

Die eigenartige Temperaturschichtung in größerer Bodentiefe des  
Rasens (Abbildung 11) wird aus der Betrachtung des Bodenprofils



erklärlich. Während bis etwa 5 cm Tiefe die oben geschilderten starken Temperaturschwankungen wirksam sind, macht sich im darunter liegenden A-Horizont die schlechte Wärmeleitfähigkeit der obersten Bodenschicht und der Vegetation bemerkbar. So liegt die Temperatur in 10 cm Bodentiefe immer deutlich tiefer und schwankt auch nur wenig. In dem ab 10–15 cm Tiefe beginnenden Mutterboden (Kalkfelschutt) tritt dann wieder eine höhere Lage der Temperaturen ein, da hier im Gerölluntergrund – gleichwohl ob unter offenem Schuttboden, unter einer Rasendecke oder unter Zwergstrauch- und Legföhrenbewuchs – die Temperatur im wesentlichen in gleicher Höhe liegt. Die Unregelmäßigkeit im Temperaturverlauf des Rasenbodens ist also durch die Inhomogenität des Bodens bedingt.

Bei der Betrachtung des Mikroklimas vom Legföhrenbestand ist zu berücksichtigen, daß das Wipfeldach als äußere Oberfläche schon einen Teil der Strahlung abfängt, in dieser Höhe also bereits, wie die Untersuchungen von Kanitscheider (1937) zeigen, ein intensiver Wärmeumsatz vor sich geht. Deutlich ist dies nach seinen Messungen am Vormittag zu sehen; zu dieser Zeit dringen die Sonnenstrahlen noch nicht ins Bestandesinnere ein und erwärmen nur die Luft in der Höhe der Bestandesoberfläche, so daß eine merkliche Übertemperierung dieser Luftschicht zustande kommt. Die in unseren Untersuchungen erfaßten Luftschichten in Bodennähe haben somit nur in den Mittags- und Nachmittagsstunden einen geringen Anteil an direkter Strahlung und werden sonst nur durch eine schwache Konvektionsströmung erwärmt. Trotz dieser Umstände und trotz der Strahlung noch weiter aufteilenden Zwergstrauchunterwuchses kann aber, wie Abbildung 11 zeigt, bei starker Insolation die Bodenoberfläche die am besten erwärmte Schicht des Bestandes sein. Allerdings liegen die höchsten Temperaturen noch weit unter denen des Gerölls oder des Rasens. Neben der Struktur des Bestandes ist noch ein weiterer Faktor für die geringen Temperaturschwankungen verantwortlich, nämlich die hohe Feuchtigkeit der Bestandesluft. Der hohe Wasserdampfgehalt der Luft verhindert äußerst wirksam eine stärkere Ein- oder Ausstrahlung. Wegen der schwachen Erwärmung haben auch die Moosrasen der Legföhrengesellschaften nur geringe Verdunstungsverluste und können in ihrem immer genügend wassergesättigten Substrat gut gedeihen. Werden an warmen Strahlungstagen am frühen Nachmittag die Moospolster selbst von der Sonne beschienen, so kann sich in der Tempera-

turschichtung ein Bild ergeben, wie es in Abbildung 8 zu sehen ist. Wohl steigt dann die Temperatur in 5 cm Höhe stärker an als in den darüber gelegenen Luftschichten; an der Bodenoberfläche (zwischen den Moostrieben) wird jedoch durch die dauernde Verdunstung von Wasser ständig Wärme verbraucht, so daß die Erwärmung hier weit weniger stark ist. Die Schwankungen der Bodentemperaturen halten sich in den obersten Zentimetern entsprechend dem Gang der Temperaturen an der Bodenoberfläche in engen Grenzen und werden zufolge der schlechten Wärmeleitfähigkeit von Rohhumus bereits in 10 cm Tiefe sehr gering. Die in 20–30 cm Tiefe auftretenden Temperaturunterschiede in der Größenordnung von 1 Grad lassen die langsame Wärmeleitung im Humusboden erkennen.

## *2. Relative Feuchtigkeit*

Die genaue Bestimmung der relativen Luftfeuchtigkeit im mikroklimatischen Raum begegnet erheblichen technischen Schwierigkeiten. Da die Haarhygrometer wegen ihrer Größe und Ungenauigkeit für Messungen unserer Zielsetzung ausscheiden, kam nur das Aßmann-Aspirations-Psychrometer als Meßgerät in Frage. Indes versagt auch dieses Instrument bei Bestimmungen von Feuchtigkeitsunterschieden auf sehr engem Raum. Der durch die Belüftung des Psychrometers entstehende Luftstrom verwischt die in den bodennahen Luftschichten ausgebildeten Differenzen noch bevor die Thermometertemperatur konstant geworden ist, so daß nur ein Mittelwert über eine gewisse Lufthöhe erhalten wird. Messungen der Feuchtigkeitsschichtung analog den Temperaturmessungen konnten daher nicht durchgeführt werden.

Da sich auf Grund orientierender Untersuchungen ergab, daß die Feuchtigkeitsunterschiede zwischen der Luft über Geröll und über Rasen zumeist nur gering waren und innerhalb der Fehlergrenze der Ablesegenauigkeit lagen, wurden nur die Werte im Legföhrenbestand und über dem 15 m entfernten Geröll bestimmt. Für die Legföhrenstation können zwei Werte aus verschiedener Höhe gegeben werden: einmal direkt über der Bodenoberfläche im Moosrasen und zum anderen in 20 cm Höhe. Für das Geröll ist jeweils der Mittelwert aus den Messungen in 0 und 20 cm Höhe eingetragen, da hier eine Vermischung der Luftschichten nicht zu vermeiden war. Weil das zur Verfügung stehende Psychrometer nach wenigen Meßreihen wegen Beschädigung ausfiel, standen allerdings fast keine Ergebnisse von Tagen mit ungehinderter Sonneneinstrahlung zur Auswertung an.

Ein Bild vom Gang der relativen Feuchtigkeit an einem meist bewölkten Sommertag gibt Abbildung 12. Dieser Untersuchungstag (6.8.1948) war bei leichtem Wind wechselnd bewölkt, die Lufttemperaturen stiegen bis 20° an. Die Werte für die Nacht und die frühen Morgenstunden sind nicht aufgeführt, da sie sich zu dieser Zeit praktisch nicht änderten und stets zwischen 90 und 100% lagen. Trotz den nur mäßig ausgebildeten Unterschieden ist der normale Tagesgang der

Kurven zu erkennen. Mit dem Ansteigen der Lufttemperaturen sinkt die relative Feuchtigkeit ab, erreicht infolge Westexposition der Versuchsstelle ihr Minimum am frühen Nachmittag und nimmt nach Sonnenuntergang wieder bis über 80% zu. Am Morgen gegen 7 Uhr

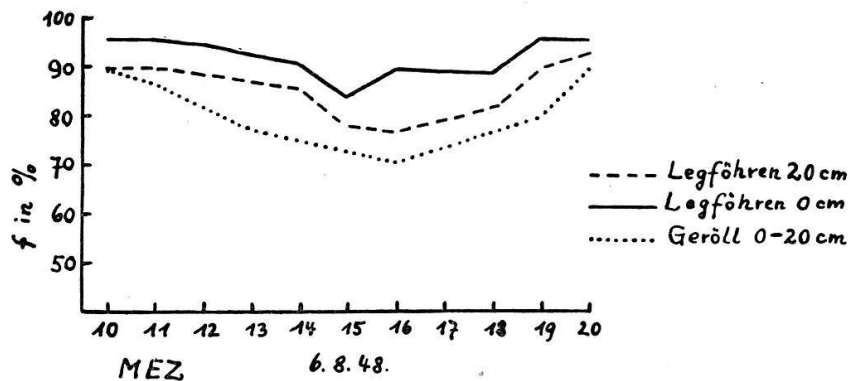


Abb. 12. Gang der relativen Feuchtigkeit am 6.8.1948.

war bei tiefstem Stand der Temperaturen Taubildung eingetreten, bis zum Mittag erfolgte allmähliche Auftrocknung. Am höchsten sind stets die Werte in den Moospolstern des Legföhrenbestandes; sie gehen an diesem Tage niemals unter 80% herunter. Deutlich niedriger liegen

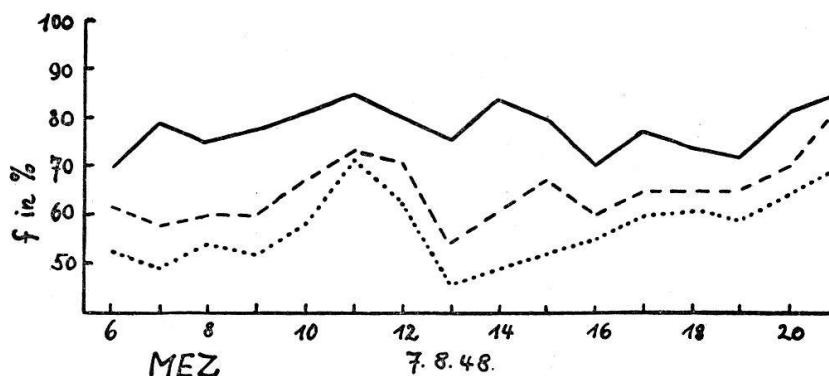


Abb. 13. Gang der relativen Feuchtigkeit am 7.8.1948. Zeichen wie in Abb. 12.

sie bereits in 20 cm Höhe. Über der freien Gerölloberfläche ist die relative Feuchtigkeit immer am geringsten; Werte unter 60% wurden jedoch trotz mehrmaliger Sonnenbestrahlung nicht gemessen. Nachts verwischen sich die tagsüber aufgetretenen Unterschiede sehr weitgehend; die relative Feuchtigkeit ist in den Sommernächten sehr hoch, auch wenn keine Taubildung auftritt.

Ein anderes Bild bot sich am 7.8. (Abbildung 13). Bis gegen 10 Uhr war der Himmel ganz bedeckt, dann lockerte sich die Bewölkung auf

und die Sonne war daher bis nach 14 Uhr zumeist nicht verdeckt. Am Nachmittag setzte ein mäßiger Westwind ein. Durch den Wind und die wechselnden Bewölkungsverhältnisse ist der Verlauf der Feuchtigkeitskurve ziemlich gestört. Gut ist aber zu sehen, wie die relative Feuchtigkeit der Luft sogar in den Moospolstern auf Verstärkung oder Verminderung der allgemeinen Sonneneinstrahlung reagiert und im Gang der Werte durchaus sich dem Wechsel über Geröll anschließt. Am höchsten ist die Wasserdampfsättigung immer zwischen den vollturgeszten Moostrieben; 70% werden nicht unterschritten. Bedeutend niedriger ist die relative Feuchtigkeit in 20 cm Höhe zwischen den Zwergsträuchern des Legföhrenbestandes, während über dem Geröll, wo auch die bodennahe Luftschicht einem stärkeren Austausch ausgesetzt ist, die Wasserdampfsättigung noch geringer ist. Trotz dem trockenen Wind blieb aber immer eine ausreichende Wasserdampfmenge in Bodennähe zurück.

Daß die relative Feuchtigkeit der bodennahen Luftschicht normalerweise auch auf ausgedehnten Schutthalden des Untersuchungsgebietes nicht unter etwa 35% sinkt, wurde durch Stichprobenmessungen an sehr heißen Augusttagen festgestellt. Zur Mittagszeit wurden auch bei voller Sonneneinstrahlung auf den großen Geröllhalden im Gebiet der Wettersteinwände stets nur bei 40% liegende Maximalwerte erhalten. Über ausgedehnten Rasenflächen lagen die Werte in der Regel 5% höher, über Zwergstrauchgesellschaften betrugen sie 10% mehr. Alle Messungen im Bestandesinneren von Legföhrengesellschaften ergaben aber viel höhere Werte. Betrug die relative Feuchtigkeit auf dem Schuttfeld in 10 cm Höhe über dem Boden 40–50%, so lag sie in der *Pinus montana*-Gesellschaft in gleicher Höhe (also dicht über der Mooschicht) bei 70% und in der Mooschicht selbst war sie dann immer noch etwa 10% größer.

Die Ursache für die größere Wasserdampfsättigung der Luft im Legföhrenbestand ist wohl vor allem in der Verminderung des Luftaustausches zu sehen. Wenn im locker bewachsenen Schutt oder im niedrigen Rasen mit dem Ansteigen der Temperaturen eine kräftige Verdunstung des wenigen Wassers an der Bodenoberfläche einsetzt, wird die Anreicherung von Wasserdampf in Bodennähe durch die bald in Gang kommenden Konvektionsströmungen schnell beseitigt; auch lassen die hohen Lufttemperaturen bei niedrigem absolutem Wasserdampfgehalt keine großen Werte der relativen Feuchtigkeit zustande

kommen. Im Legföhrendickicht jedoch kann sich die feuchtigkeitsreiche Lufthaut gut gegen Luftströmungen halten; zudem bleibt das Sättigungsdefizit wegen der niedrigen Temperaturen kleiner.

### 3. Verdunstung

Die hier geschilderten Verdunstungsmessungen wurden mit Piche-Evaporimetern, die etwa 20 cm<sup>3</sup> faßten, durchgeführt. Der Verschluß erfolgte in der üblichen Weise mit einem grünen, 7,07 cm<sup>2</sup> großen, kreisrunden Papierscheibchen. Die Evaporimeter wurden so an Stativen aufgehängt, daß sie bei Luftbewegung auch ein wenig mitschwingen konnten.

Aus den in Abbildungen 14 und 15 zusammengestellten Ergebnissen geht als erstes die Gleichheit der Verdunstungsgröße über Geröll und am Rasenstandort hervor. Angesichts der an diesen beiden Standorten ziemlich einheitlichen relativen Feuchtigkeit und der gleichen Windexposition ist auch kein wesentlicher Unterschied in der Verdunstungskraft der bodennahen Luftschicht dieser beiden Örtlichkeiten zu er-

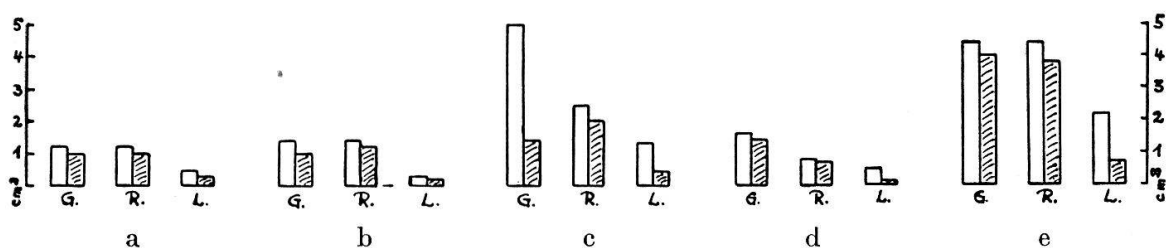


Abb. 14. Verdunstung am Tag (7–19 Uhr MEZ) mit Piche-Evaporimeter (cm<sup>3</sup> pro 7,07 cm<sup>2</sup> grüner Papierscheibe).

- a) 18.8.1948. Nebeliger Tag; leichter Wind.
- b) 20.8.1948. Bis 10 Uhr klar, dann bewölkt und Hochnebel; windstill.
- c) 22.8.1948. Bis 11 Uhr bewölkt, dann meist Sonne; zeitweise leichter Wind.
- d) 23.8.1948. Vormittags Regen, Nebel, nachmittags Sonne; fast kein Wind.
- e) 24.8.1948. Leicht bewölkt; schwacher Wind.

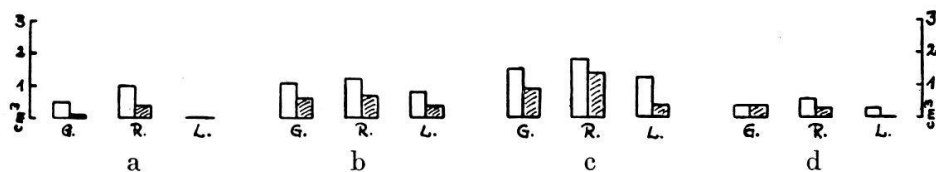


Abb. 15. Verdunstung bei Nacht (19–7 Uhr MEZ) mit Piche-Evaporimeter (cm<sup>3</sup> pro 7,07 cm<sup>2</sup> grüner Papierscheibe).

- a) 18./19.8.1948. Nebel, Regen; fast kein Wind.
- b) 21./22.8.1948. Bis 24 Uhr klar, dann bedeckt; leichter Regen und Wind.
- c) 22./23.8.1948. Ganz bedeckt; leichter Regen und Wind.
- d) 23./24.8.1948. Ganz klar; kein Wind.

Abb. 14 und 15. Zeichenerklärung. Leere Säule: Messung in 20 cm Höhe. Schraffierte Säule: Messung in 1–2 cm Höhe.

warten. Obwohl natürlich im Rasen infolge des dichteren Vegetationschlusses mehr Wasserdampf durch die Transpiration der Pflanzen an die Luft abgegeben wird, ist diese Menge offensichtlich nicht imstande, eine deutlich meßbare Änderung der relativen Feuchtigkeit oder der Verdunstungswerte gegenüber dem wenige Meter entfernten Geröllfeld herbeizuführen. Die Verdunstung ist in allen Stationen 1–2 cm über dem Boden stets niedriger als in 20 cm Höhe. Dies ist hauptsächlich durch die Herabminderung der Windströmung in Bodennähe bedingt. Infolge des Pflanzenwuchses (Legföhren, Rasen) oder der Bodenoberfläche mit großem Relief wird ein gewisses Festhaften der Lufthaut bewirkt. Der Windschutz im Inneren des Legföhrenbestandes sowie die dort herrschende große Luftfeuchtigkeit kommt in den geringen Verdunstungswerten dieser Station schön zum Ausdruck. Nur an Tagen oder in Nächten, an denen infolge Nebels oder Regens die Feuchtigkeitsunterschiede weitgehend ausgeglichen sind, nähern sich die Werte vom Geröll oder Rasen denen des Legföhrenwaldes. Daß die Verdunstung während der Nacht immer geringer ist als bei Tage, geht aus dem Vergleich von Abbildung 14 und 15 klar hervor und ist wegen der nachts niedrigeren Temperaturen und des geminderten Luftaustausches verständlich. Ebenso versteht sich die Abhängigkeit der Verdunstung von der Witterung von selbst; an sonnigen Tagen oder vor allem bei Föhn wird ein Vielfaches der an nebeligen Tagen abgegebenen Wassermenge verdunstet.

#### *4. Schlußbetrachtung*

Als überraschendstes Ergebnis dieser Untersuchungen ist in ökologischer Hinsicht wohl die Tatsache zu werten, daß über der Geröllflur im Vergleich zu den anderen Standorten keine extremen Verhältnisse herrschen. Temperatur und Luftfeuchtigkeit erreichen keine Werte, die eine ungünstige Auswirkung auf die Schuttvegetation haben könnten; das Mikroklima stellt also wohl in keiner Weise einen die Besiedlung der Geröllfelder hemmenden Faktor dar.

Eher wäre es hingegen möglich, daß die Arten des Rasens im Hochsommer schädigenden Einwirkungen durch die hohen Maximaltemperaturen oder die starken, relativ rasch erfolgenden Temperaturschwankungen ausgesetzt sind. In anderen Jahreszeiten ist in der schnellen und starken Erwärmung der oberflächennahen Boden- und Luftschichten des Rasens bei Sonneneinstrahlung sicher eine Begünsti-



gung dieses Standortes gegenüber anderen Örtlichkeiten zu sehen. So schwindet im Frühjahr der Schnee über dem Rasen zeitiger als zum Beispiel im Felsschutt, so daß die überwinternden Arten schon sehr früh wieder ihre Assimilationstätigkeit beginnen können. Auch der frühe Blühbeginn mancher Rasenarten (*Soldanella alpina*, *Ranunculus alpestris*, *Primula auricula*, *Gentiana Clusii*) ist wohl zum großen Teil auf die Temperaturbegünstigung der Rasendecke an klaren Frühlommertagen zurückzuführen. Der ausreichende Feuchtigkeitsgehalt der bodennahen Luftschicht unterstützt diesen zeitigen Beginn der Vegetationsperiode.

Die durch den Bestandesschutz der Legföhren gemilderten Temperaturverhältnisse und die dadurch mitbedingte hohe relative Luftfeuchtigkeit wirken sich vor allem auf das gute Gedeihen der Mooschicht aus. Da die Moosdecke selbst eine gute Wasserspeicherung hat, wird die Wasserhaltung durch sie weiter verbessert. Im windgeschützten Bestandesinneren bleibt so eine stark wasserdampfgesättigte Luft, die nur mäßigen Temperaturschwankungen unterworfen ist, ständig erhalten.

Vorliegende Untersuchungen wurden mit Unterstützung der Botanischen Staatsanstalten München ausgeführt; es ist dem Verfasser eine angenehme Pflicht, Herrn Prof. Dr. O. Renner und Herrn Prof. Dr. K. Suessenguth für die Förderung der Arbeiten sowie Herrn Prof. Dr. F. Markgraf zudem für Gewährung der Unterkunft im Häuschen des Alpengartens am Schachen auch an dieser Stelle aufrichtig zu danken.

#### *Literaturverzeichnis*

- Braun-Blanquet, J.: Pflanzensoziologie. 2. Aufl. Wien 1951.
- Filzer, P.: Untersuchungen über das Mikroklima in niederwüchsigen Pflanzengesellschaften. Beih. z. Bot. Zentralbl. Abt. B **55**, 301 (1936).
- Firbas, F.: Über die Bedeutung des thermischen Verhaltens der Laubstreu für die Frühjahrsvegetation des sommergrünen Laubwaldes. Beih. z. Bot. Zentralbl. Abt. II **44**, 179 (1927).
- Geiger, R.: Das Klima der bodennahen Luftschicht. 4. Aufl. Braunschweig 1950.
- Kanitscheider, R.: Temperaturmessungen in einem Bestand von Legföhren (*Pinus montana*). Ein Beitrag zur speziellen Pflanzenklimatologie. Biokl. Beibl. d. Meteorol. Zeitschr. **4**, 22 (1937).
- Lüdi, W.: Ergebnisse von Verdunstungsmessungen im Lauterbrunnental und in Bern in den Jahren 1917–20. Veröff. d. Geobot. Inst. Rübel in Zürich **3**, 185 (1925). (Festschrift Carl Schroeter.)
- Mikroklimatische Untersuchungen an einem Vegetationsprofil in den Alpen von Davos. Ber. ü. d. Geobot. Forschungsinst. Rübel Zürich f. d. Jahr 1936, 36 (1937).
  - Die Pflanzengesellschaften der Schinigeplatte bei Interlaken und ihre Beziehungen zur Umwelt. Veröff. d. Geobot. Inst. Rübel Zürich **23** (1948).



- Zöttl, H.: Die Vegetationsentwicklung auf Felsschutt in der alpinen und subalpinen Stufe des Wettersteingebirges. Jahrb. d. Ver. z. Schutz d. Alpenpfl. u. -tiere Jahrg. **16**, 10 (1951 a).  
 – Experimentelle Untersuchungen über die Ausbreitungsfähigkeit alpiner Pflanzen. Phytion **3**, 121 (1951 b).  
 – Beitrag zur Ökologie alpiner Kalkschuttstandorte. Phytion **4**, 160 (1952).

## MIKROKLIMATISCHE UNTERSUCHUNGEN AN EINEM BIRNBAUM

Von *Werner Lüdi* und *Heinrich Zoller*

### *Einleitung*

Die Verteilung der Moose, Flechten und Algen an unseren Bäumen wird augenscheinlich vom Mikroklima in hohem Maße beeinflusst. Untersuchungen über die Beschaffenheit der meteorologischen Elemente in den verschiedenen Teilen des Stammes und der Baumkrone sind aber sehr spärlich. Nun hat sich seinerzeit Dr. Volkmar Vareschi als Assistent am Geobotanischen Forschungsinstitut Rübel in Zürich mit den epiphytischen Kryptogamengesellschaften im Stadtgebiet von Zürich beschäftigt<sup>1</sup>, und im Anschlusse daran versuchten wir, dem Problem des Mikroklimas an den Bäumen etwas näher zu treten. Dr. Fritz Ochsner führte mit Beihilfe des Institutes Rübel solche Untersuchungen in einem Walde bei Muri (Aargau) aus, und wir wählten als Untersuchungsobjekt einen Birnbaum im Garten des Geobotanischen Institutes Rübel in Zürich. Während der Jahre 1933 und 1934 machten wir regelmäßige Messungen. Diese gelangten nie zur Veröffentlichung. Dr. Vareschi mußte bald darauf von Zürich wegziehen. B. Stüßi begann in seiner Assistentenzeit die Verarbeitung der Materialien, konnte sie jedoch nicht beenden. Da sich aber ganz interessante Ergebnisse zeigten, wollen wir, wenn auch verspätet, doch das Wichtigste davon noch bekanntmachen.

### *Lage des Untersuchungsobjektes. Methodik*

Die Beobachtungen wurden in einem Obstgarten mit locker stehenden Bäumen ausgeführt, der auf einer Geländestufe am terrassierten

<sup>1</sup> Vgl. Volkmar Vareschi, Die Epiphytenvegetation von Zürich. Ber. Schweiz. Botan. Ges. **46**, Festband Rübel, 1936 (445–488, 4 Taf., 1 Karte).