

**Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchung des schweizerischen Nationalparkes**  
Herausgegeben von der Kommission der S.N.G. zur wissenschaftlichen Erforschung  
des Nationalparkes

Resultats des recherches scientifiques entreprises au Parc National suisse  
Publiés par la commission de la S. H. S. N. pour les études scientifiques au Parc National

Band I (Neue Folge)

10.

**BEITRAG**  
**ZUR KENNTNIS DER LOKALKLIMATE**  
**EINIGER KENNZEICHNENDER**  
**WALDGESELLSCHAFTEN DES**  
**SCHWEIZERISCHEN NATIONALPARKES**  
(Fuorn)

**H. PALLMANN und E. FREI**  
(Agrikulturchemisches Institut der E.T.H., Zürich)

---

Verlag H. R. Sauerländer & Co., Aarau / 1943

Druck Graphische Werkstätten  H. R. Sauerländer & Co., Aarau

- W

Printed in Switzerland.

## Inhaltsübersicht

|   |     |
|---|-----|
| A. Das <b>Kleinklima</b> . . . . .  | 437 |
| B. Die sog. «wirksame Mitteltemperatur <b>eT</b> » im Luftraum und im Oberboden verschiedener Waldgesellschaften des Fuorngebietes . . . . .  | 438 |
| I. <i>Prinzip und Methodik der neuen Temperaturmessung</i> . . . . .  | 438 |
| a) Die chemisch-physikalische Grundlage der Methode . . . . .   | 438 |
| b) Was bedeutet der Begriff «wirksame Mitteltemperatur»? . . . . .  | 440 |
| c) Methodische Hinweise . . . . .   | 441 |
| 1. Die benötigten Chemikalien zur Herstellung der Zucker-Pufferlösung . . . . .   | 441 |
| 2. Die Konzentration der <b>Rohrzuckerlösung</b> . . . . .  | 442 |
| 3. Die Wahl des pH-Wertes der Zucker-Pufferlösung . . . . .   | 442 |
| 4. Das Volumen der Versuchssampullen . . . . .  | 443 |
| 5. <b>Einfluß</b> der <b>Glasfarbe</b> der <b>Ampullen</b> auf die <b>eT-Werte</b> . . . . .  | 443 |
| 6. Einfluß der UV-Strahlung auf die Zuckerinversion . . . . .   | 444 |
| 7. Transport der Ampullen <b>vom</b> Laboratorium aufs Gelände . . . . .  | 445 |
| 8. Die <b>Placierung</b> der Meßampullen im Gelände . . . . .   | 445 |
| 9. Die <b>Entnahme</b> der Meßampullen aus dem Gelände . . . . .  | 445 |
| 10. Die Genauigkeit der <b>eT-Messung</b> . . . . .   | 446 |
| 11. Ausschuß an Versuchssampullen durch Bruch oder <b>Verpilzung</b> . . . . .  | 447 |
| II. <i>Die «wirksamen Mitteltemperaturen eT» im Luftraum und im Oberboden derverschiedenen Waldgesellschaften des Fuorngebietes</i> . . . . . | 447 |
| a) Die mikroklimatisch untersuchten Waldgesellschaften und <b>deren</b> Böden . . . . .   | 447 |
| b) Die «wirksamen Mitteltemperaturen <b>eT</b> » in <b>den</b> verschiedenen Waldgesellschaften des Fuorngebietes . . . . .                   | 452 |
| C. Die Extremtemperaturen in den verschiedenen Waldgesellschaften des <b>Fuorngebietes</b> während der Vegetationszeit . . . . .              | 457 |
| D. Beobachtungen über die Schneeverhältnisse in den verschiedenen <b>Waldgesellschaften</b> des Fuorngebietes . . . . .                       | 462 |
| E. Zusammenfassung . . . . .  | 463 |



## A. Das Kleinklima.

Besonders in Gebieten jüngerer Bodenbildungen und stark wechselnder **Oberflächengestaltung** spielt das Mikro- oder Kleinklima für die Entstehung der **Bodentypen** und ihrer Formen, wie auch für die **Entwicklung** der zugehörigen **Pflanzengesellschaften** eine wichtige Rolle. Umgekehrt beeinflusst der **Bodentypus** und die **darauf** wachsende Pflanzengesellschaft das Mikroklima. Die wechselseitigen Einflüsse sind oft schwer zu **übersehen** und kaum **exakt beschreibbar**.

Das Mikroklima eines bestimmten Pflanzenstandortes **umfaßt** sowohl die Klimawerte des über dem Boden befindlichen Luftraumes, als auch das lokale **Bodenklima**. Es hängt in komplexer Weise von folgenden Gegebenheiten ab:

- a) vom **Allgemeinklima** der weiteren Oegend (arid, humid, kalt, warm, usw.)
- b) vom Relief des Geländes (Kuppen, Hangkanten, Mulden mit Kältestau oder Grundwasserauftrieb)
- c) von der Exposition des Standortes (Nord, Süd, usw.)
- d) von der Neigung der **Bodenoberfläche** zur Sonne (**Einstrahlungswinkel**, oberflächlicher Wasserabfluß, Erosionsabtrag der **Vegetationsdecke**, usw.)
- e) von der vorhandenen **Pflanzengesellschaft** (Beschattung, **Verdunstungsschutz**, **Niederschlagsschirm**, usw.)
- f) vom **Bodentypus**, von der Bodenform und der Bodenart (**Wassermagazinierung**, **Wasserabsickerung**, **Wärmeleitung**, Bodenfarbe, usw.)
- g) vom Muttergestein und seinem räumlichen Gefüge (porös, kluftig, massig, Wasserabfluß, Nässestau, usw.)
- h) von den hydrologischen Verhältnissen des Standortes und dessen Umgebung (Quellflur, **Überschwemmungsgebiet**, usw.)

Die erstrebenswerte Kennzeichnung des Lokalklimas eines bestimmten **Pflanzenstandortes** sollte auf folgenden, **kontinuierlich** über das ganze Jahr vorgenommenen Messungen basieren, die an einem möglichst dichten Netz von **Beobachtungspunkten** vorgenommen werden:

- a) Temperatur in den verschiedenen Schichten des Luft- und Bodenraumes.
- b) Niederschlag: **Getrennte** Bestimmung von Schnee, Regen, Hagel und Tau.
- c) Verdunstung des über dem Boden gelagerten Schnees und des in den Boden eingedrungenen Wassers.
- d) **Luftströmungen**: Intensität und Richtung.
- e) **Luftfeuchtigkeit**: Berechnung des Sättigungsdefizites.
- f) **Lichtintensität** in den verschiedenen Schichten des Luft- und oberem Bodenraumes. Anteil der verschiedenen **Wellenlängen** des Lichtes.

Die praktische Durchführung dieses **Programms** scheitert bis heute entweder am Fehlen geeigneter Methoden, an **den** zu großen Kosten bei der Verwendung **selbsttätig** registrierender Instrumente oder aber am zu hohen Zeitaufwand bei der Messung und Apparatewartung.

Die in den folgenden Abschnitten wiedergegebenen Beobachtungen **über** das Mikroklima einiger Waldgesellschaften wurden bei bodenkundlichen und **pflanzensoziologischen** Untersuchungen in der subalpinen und alpinen Stufe des Fuorngebietes gesammelt. Herr Kollege Dr. **BRAUN-BLANQUET** hat **daran** großen



Anteil. Wir sind ihm für die ständige aktive Mithilfe bei den Messungen und für die freundschaftliche Beratung zu Dank verpflichtet. Das vorliegende Beobachtungsmaterial ist recht lückenhaft und kann das einleitend als wünschbar bezeichnete Programm aus naheliegenden und bereits erwähnten Gründen nicht befriedigen. Es diene weiteren Untersuchungen als Anregung; den im Park mitarbeitenden Kollegen gibt es eine erste Orientierung.

## B. Die sog. „wirksame Mitteltemperatur $eT$ “ im Luftraum und im Oberboden der verschiedenen Waldgesellschaften des Fuorngebietes.

### I. Prinzip und Methodik der neuen Temperaturmessung.

Für Temperaturmessungen stehen bis heute verschiedene erprobte Verfahren zur Verfügung:

- a) Einzeltemperaturmessung mittels Thermometer, Thermoelement oder elektrischem Widerstandsthermometer.
- b) Kontinuierliche Temperaturmessungen mittels Thermograph und Selbstschreibeapparaten für Thermolemente.
- c) Messung von Temperaturmittelwerten über kürzere Zeitspannen (Stunden und Tage) nach der Elektrolytzählermethode von E. TAMM.<sup>1</sup>

Einzeltemperaturwerte haben für den Bodenkundler und Ökologen nur bedingten Wert. Die gleichzeitige Ablesung zahlreicher Einzeltemperaturen ist zeitraubend oder erfordert ein zahlreiches Hilfspersonal. Selbsttätig registrierende Temperaturschreiber sind kostspielig und bedürfen sorgfältiger Wartung.

In den letzten Jahren wurde eine neue Methode<sup>2</sup> der Mitteltemperaturmessung auf chemischer Grundlage ausgearbeitet, die in den Jahren 1939 bis 1941 im Gelände praktisch erprobt wurde. Sie erwies sich als zuverlässig, billig und recht speditiv. Die im Luftraum aufgehängten oder im Bodenprofil vergrabenen Temperaturregistratoren bestehen aus kleinen, mit Zucker-Pufferlösungen gefüllten und steril verschlossenen Glasampullen. Selbst gegen die Unbill des Gebirgsklimas erwiesen sie sich als recht unempfindlich, sie bedürfen keiner Wartung. Die wirksame Mitteltemperatur ( $eT$ -Zahl) kann über Zeiträume weniger Tage, über Wochen oder Monate gemessen werden.

#### a) Die chemisch-physikalische Grundlage der Methode.

In wässriger Lösung wird der Rohrzucker (Saccharose, Sucrose) durch Wasserstoffionen in Traubenzucker und Fruchtzucker zerlegt. Der Rohrzucker wird invertiert.

Diese Inversion wird bei konstanter Wasserstoffionenkonzentration (Pufferlösung) durch steigende Temperaturen stark beschleunigt. Kennt man den funktionellen Zusammenhang zwischen Inversionsgeschwindigkeit und Temperatur, so kann nach einer bestimmten Versuchsdauer die wirksame Mitteltemperatur aus der Menge des invertierten Rohrzuckers einfach berechnet oder graphisch aus dem Kurvenbild (Fig. 1) entnommen werden.

<sup>1</sup> E. TAMM, Landw. Jahrbücher, Bd. 83, 1936 (S. 457—554) Bd. 88, 1939 (S. 479—548).

<sup>2</sup> H. PALLMANN, E. EICHENBERGER U. A. HASLER: Ber. Schweiz. bot. Ges.: 50, 1940 (S. 337—362). Dieselben: Bodenkundl. Forschungen: 7, 1940 (S. 53—71).

Die Inversionsgeschwindigkeit  $dx:dt$  befolgt bei konstanter Temperatur und innerhalb nicht zu weiter **pH-Spanne** der Pufferlösung die Gleichung:

$$1) \quad \frac{dx}{dt} = K \cdot H \cdot (A-x)$$

wobei bedeuten:

- A = **Rohrzuckerkonzentration** zu Beginn, Zeit  $t = 0$   
 x = gebildeter **Invertzucker** nach der Zeit t  
 A-x = verbliebener **Rohrzucker** zur Zeit t  
 t = Zeit, in **unsern Versuchen** in Tagen ausgedrückt  
 H = **Wasserstoffionenkonzentration**  
 K = **Inversionskonstante** für die Temperatur T.

Die **Inversionskonstante K** läßt sich für eine bestimmte **Konstant-Temperatur T** aus der integrierten Gleichung 1) berechnen:

$$2) \quad K = \frac{1}{H \cdot t} \log \left[ \frac{A}{A-x} \right]$$

Die experimentelle Bestimmung der Inversionskonstanten K kann **polarisationsoptisch** leicht und rasch erfolgen. Für die polarisationsoptische Messung des **Inversionsablaufes** kann Gleichung 2) umgeformt werden:

$$3) \quad K = \frac{1}{H \cdot t} \log \frac{\alpha - \beta_0}{\alpha - \beta_\infty}$$

es bedeuten **darin**:

- $\alpha_0$  = optischer Drehwinkel der **Rohrzuckerlösung** bei  $t = 0$   
 $\beta_\infty$  = optischer Drehwinkel des Invertzuckers bei  $t = \infty$   
 $\alpha$  = optischer Drehwinkel der partiell **invertierten Lösung** nach t Tagen.

Die Inversionskonstanten **K** wurden im **agrikulturchemischen Institut** für zahlreiche **Konstanttemperaturen** zwischen  $-0,3^\circ\text{C}$  bis  $+37,7^\circ\text{C}$  experimentell bestimmt.

**Tabelle 1**

**Temperaturmittel der verschiedenen Thermostaten und Mittelwerte der entsprechenden Inversionskonstanten  $K_T$**

(Zucker-Zitratpufferlösungen von pH 2,50 u. 2,90)

| Thermostaten-Temperatur-Mittel | Mittlerer Fehler der Thermostaten-temperatur* | Beobachtete Inversions-Konstanten Mittelwerte | Mittlerer Fehler des Konstanten-Mittels |
|--------------------------------|---|---|---|
| $-0,3^\circ\text{C}$           | $\pm 0,05^\circ\text{C}$                      | 0,0548  | $\pm 0,0021$                            |
| $+5,4^\circ\text{C}$           | $\pm 0,05^\circ\text{C}$                      | 0,1461  | $\pm 0,0027$                            |
| $9,0^\circ\text{C}$            | $\pm 0,08^\circ\text{C}$                      | 0,2682  | $\pm 0,0020$                            |
| $12,5^\circ\text{C}$           | $\pm 0,09^\circ\text{C}$                      | 0,5195  | $\pm 0,0051$                            |
| $15,2^\circ\text{C}$           | $\pm 0,14^\circ\text{C}$                      | 0,7485  | $\pm 0,0064$                            |
| $18,3^\circ\text{C}$           | $\pm 0,05^\circ\text{C}$                      | 1,2876  | $\pm 0,0117$                            |
| $21,3^\circ\text{C}$           | $\pm 0,08^\circ\text{C}$                      | 2,0930  | $\pm 0,0082$                            |
| $24,4^\circ\text{C}$           | $\pm 0,06^\circ\text{C}$                      | 3,3338  | $\pm 0,0081$                            |
| $27,3^\circ\text{C}$           | $\pm 0,11^\circ\text{C}$                      | 5,3021  | $\pm 0,0265$                            |
| $32,9^\circ\text{C}$           | $\pm 0,05^\circ\text{C}$                      | 11,3370                                       | $\pm 0,0542$                            |
| $37,7^\circ\text{C}$           | $\pm 0,19^\circ\text{C}$                      | 22,2370                                       | $\pm 0,4244$                            |

\* Der mittlere Fehler des Mittelwertes berechnet sich nach Gleichung:

$$V \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{n(n-1)}}$$



Zwischen den Inversionskonstanten  $K$  und der jeweilig zugehörigen Konstanttemperatur besteht folgender zahlenmäßiger Zusammenhang:

$$4) \log K = B + a \cdot T + b \cdot T^2; a; b \text{ und } B \text{ sind Rechenkonstanten.}$$

In Gleichung 4) eingesetzt, ergeben sie:

$$5) \log K = -1,24552 + 0,07853 \cdot T - 0,0002585 \cdot T^2$$

Diese Gleichung wird in nachstehender Figur graphisch dargestellt. Die Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Berechnung ist ausgezeichnet.

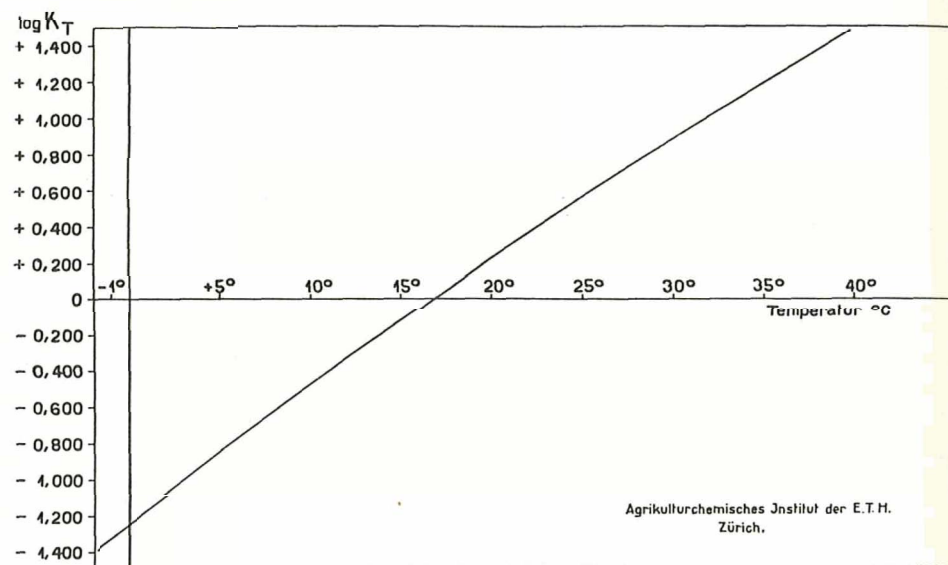
Figur 1

Zusammenhang zwischen Inversionskonstanten  $K_T$  und der Temperatur  $T$ .

(Zucker-Pufferlösungen: pH 2,50 und pH 2,90)

$$\log K_T = B + a \cdot T + b \cdot T^2$$

$$B = -1,24552 \quad a = +0,07853 \quad b = -0,0002585$$



### b) Was bedeutet der Begriff «wirksame Mitteltemperatur eT»?

Mit steigender Temperatur nehmen die Inversionsgeschwindigkeiten und damit die Inversionskonstanten  $K$  rasch zu. Der Temperaturquotient dieser Konstanten beträgt pro  $10^\circ$  Temperaturunterschied 3,8—5,9. Spielt sich die Inversion in einer Zuckerlösung ab, die nicht auf konstanter Temperatur gehalten wird, sondern deren Temperatur sich im Verlaufe des Versuches ändert, so wirken sich für den am Ende der ganzen Versuchsperiode festgestellten Inversionseffekt die höheren **Etappentemperaturen** bedeutend stärker aus als die niedrigeren. Der nach der ganzen Versuchsperiode beobachtete Inversionsbetrag (=Menge des gebildeten Invertzuckers) entspricht der Wirkung eines «wirksamen Mitteltemperatur», die höher sein muß als das aus dem Temperaturgang errechnete arithmetische Temperaturmittel. Die wirksame Mitteltempe-



**ratur** — **eT** Zahl genannt — entspricht nicht dem arithmetischen Temperaturmittel einer Versuchsperiode, sondern einem exponentiellen Mittel.

Nicht nur die Rohrzuckerinversion, sondern alle andern chemischen und biologisch-chemischen Reaktionen verlaufen bei höhern Temperaturen rascher als bei niedrigen (RGT-Regel VAN'T HOFFS 1884). Spielt sich eine vorwiegend einseitig verlaufende Reaktion (**Silikathydrolyse, Humifizierung**) während einer Versuchsperiode bei verschiedenen Etappentemperaturen ab, so erweist sich der am Ende der Versuchsperiode festgestellte Reaktionseffekt **R** durch die höheren Etappentemperaturen stärker beeinflusst als durch die niedrigeren.

Das mit Hilfe der Zuckerinversion gemessene exponentielle Temperaturmittel **eT** weicht um so stärker vom arithmetischen Mittel ab, je größer die Temperaturschwankungen während der Versuchsperiode waren. Die Abweichungen sind immer positiv.

| Einzeletappen<br>(je 14 Tage) | Arithmetisches Mittel<br>der Einzeletappen | Experimentelles<br>eT-Mittel | Differenz |
|-------------------------------|--|------------------------------|-----------|
| 18,4° C                       | 18,4° C                                    | 18,4° C                      | 0,0° C    |
| 18,4° C                       |  |                              |           |
| 18,4° C                       | 21,3° C                                    | 21,9° C                      | + 0,6° C  |
| 24,2° C                       |  |                              |           |
| 24,2° C                       | 29,2° C                                    | 30,8° C                      | + 1,6° C  |
| 34,2° C                       |  |                              |           |
| 3,6° C                        | 18,8° C                                    | 29,3° C                      | + 10,5° C |
| 34,1° C                       |  |                              |           |

Würde sich diese Reaktion nicht im temperaturvariablen, sondern in einem temperaturkonstanten Milieu abspielen, so müßte zur Erzielung des gleichen Reaktionsbetrages **R** diese Konstanttemperatur höher liegen als die arithmetische Mitteltemperatur des temperaturvariablen Systems. Diese **Konstanttemperatur** entspräche dann der wirksamen Mitteltemperatur über die ganze Versuchsperiode; die **eT-Zahl** ist ein Maß hierfür.

Diese Abhängigkeit der Reaktionskonstanten von der Temperatur geht aus folgenden Tabellen 2 und 3 hervor:

*Tabelle 2*

*Das für den Hydrolyseeffekt wichtige Ionenprodukt des Wassers steigt mit steigender Temperatur sehr stark.*

| Temperatur | Ionenprodukt<br>(H) (OH) = $K_w$ | Relativwert<br>für $K_w$ | Temperatur-<br>quotient/10° C         |
|------------|----------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| 0° C       | 0,08.10 <sup>-14</sup>           | 1,0                      | } } } } }<br>4,2<br>2,3<br>2,3<br>1,6 |
| 18° C      | 0,61.10 <sup>-14</sup>           | 7,6                      |                                       |
| 25° C      | 1,00.10 <sup>-14</sup>           | 12,5                     |                                       |
| 34° C      | 2,10.10 <sup>-14</sup>           | 26,2                     |                                       |
| 50° C      | 5,4 .10 <sup>-14</sup>           | 67,5                     |                                       |

In Tabelle 3 werden die Temperaturquotienten einiger enzymatischer Reaktionen zusammengestellt:

Tabelle 3

## Temperaturquotienten einiger enzymatischer Reaktionen

(nach C. OPPENHEIMER u. R. KUHN)<sup>1</sup>

| System                             | Temperaturbereich | Temperaturquotient |
|------------------------------------|-------------------|--------------------|
| Caseinabbau d. Trypsin             | 21—39° C          | 5,30—3,30          |
| Proteinabbau d. Trypsin            | 19—30° C          | 3,75—1,88          |
| Harnstoff-Desamidieren m. Urease   | 30—40° C          | 3,0                |
| Olivenölspaltung mit Pankreas-Saft | 0—26° C           | 2,02               |
| Olivenölspaltung mit Rizinuslipase | 15—35° C          | 2,66—1,20          |
| Maltosespaltung mit Hefemaltase    | 10—40° C          | 1,90—1,28          |
| Glucosevergärung mit Hefe          | 15—25° C          | 2,8                |

Diese Quotienten sind zum Teil von derselben Größenordnung wie jene der Rohrzuckerinversion, also des für die Ermittlung der wirksamen Mitteltemperaturen gewählten Meß-Systems.

## c) Methodische Hinweise.

## 1. Die benötigten Chemikalien zur Herstellung der Zucker-Pufferlösung.

Die Herstellung der Meßlösung ist in den früher publizierten Arbeiten<sup>2</sup> nachzusehen. Die Chemikalien müssen in Form «chemisch reiner, Präparate verwendet werden. Der kristallisierte Rohrzucker enthält bisweilen etwas saure Beimengungen. Man prüfe daher die Rohrzuckerlösung vor der Hitzesterilisation, ob der pH-Wert der Lösung oberhalb pH 6,5 liege. Liegt er wesentlich darunter, so sind schädliche Inversionen während der Hitzesterilisation unvermeidlich. Liegt eine «saure» Zuckerlösung vor, so kann man sie vor der Filtration durch wenige Tropfen Ca (OH)<sub>2</sub> hinreichend neutralisieren. Man überzeuge sich wiederum durch die Messung des pH-Wertes, ob das gewünschte pH von ungefähr 7 erreicht sei. Mit dem reinen Rohrzucker (Rübenzucker) der Lebensmittelgeschäfte wurden gute Erfahrungen gemacht.

## 2. Die Konzentration der Rohrzuckerlösung.

Eine Zuckerkonzentration von ca. 50% Rohrzucker in der fertigen Ampullenmischung erwies sich als recht vorteilhaft. Der Anfangsdrehwinkel beträgt ungefähr +25°. Bis zur Enddrehung  $\beta_0 = -9^\circ$  liegt ein für genaue Messungen hinreichend weites Drehgebiet. Für Zuckerkonzentrationen zwischen 40 und 60% gelten die weiter oben mitgeteilten Konstanten. Bei höheren Zuckerkonzentrationen können sie sich ändern, wie der eine von uns (HP)<sup>3</sup> früher zeigen konnte.

## 3. Die Wahl des pH-Wertes der Zucker-Pufferlösung.

Mit der Wasserstoffionenkonzentration der Zucker-Pufferlösung verändert man die Inversionsgeschwindigkeit gemäß Gleichung 1)

$$\frac{dx}{dt} = K \cdot H \cdot (A-x)$$

<sup>1</sup> C. OPPENHEIMER u. R. KUHN: Lehrbuch der Enzyme. Verlag G. Thieme, Leipzig. 1927, S. 98.

<sup>2</sup> H. PALLMANN, E. EICHENBERGER u. A. HASLER loc. cit.

<sup>3</sup> H. PALLMANN: Kolloid-Beihefte. 30, 1930 (S. 369 f.).



Werden für die **eT-Messung** eines Standortes kürzere Versuchsperioden vorgesehen und ist die voraussichtliche Temperatur niedrig, so wird man durch Erhöhen der Wasserstoffionenkonzentration die Inversionsgeschwindigkeit **erhöhen**. Wird mit längeren Versuchsperioden und mit voraussichtlich höheren **Temperaturen** gerechnet, so wird die Inversionsgeschwindigkeit vorteilhaft durch Verkleinerung der **Wasserstoffionenkonzentration** gebremst. Selbst in der subalpinen und **alpinen** Stufe eignen sich **pH-Werte** zwischen 2,5 und 3,0 sowohl für Messungen an Südhängen, wie auch an kühleren Nordhängen sehr gut; die Versuchsperioden können sich über wenige Wochen bis einige Monate erstrecken.

Es ist wesentlich, daß die Wasserstoffionenkonzentration der Zuckerpufferlösung genau bekannt ist. Sie wird vor der **Auslegung** der Ampullen im Gelände möglichst genau festgestellt (als pH-Wert elektrometrisch mit Chinhydrin) und für die Berechnung der Inversionskonstanten in **Gleichung 3**) eingesetzt.

In den sterilen Ampullen ändert sich die **Wasserstoffionenkonzentration** nicht, Selbst nach einjährigen Versuchsperioden ließen sich in den aus dem **Gelände** eingeholten Ampullen keine **pH-Änderungen** gegenüber dem **Anfangswert** feststellen.

#### 4. Das Volumen der Versuchampullen.

15 ccm sterile Zucker-Pufferlösung werden in 20 ccm-Ampullen eingeschmolzen. Das Volumen der Lösung spielt eine untergeordnete Rolle, man richtet es nach dem Volumen der verfügbaren Polarimeterrohre. Selbst mit Mikroröhren lassen sich in guten Polarisationsapparaten genaue Messungen ausführen. Zu große Volumina stellen lediglich einen unnötigen Mehrverbrauch an Zucker-Pufferlösung dar.

#### 5. Einfluß der Glasfarbe der Ampullen auf die eT-Werte.

Für die im Bodenprofil vergrabenen Ampullen spielt die Glasfarbe keine Rolle. Die im Luftraum plazierten Ampullen zeigen aber erwartungsgemäß einen  $\pm$  starken Einfluß der Glasfarbe auf die gemessenen Wirktemperaturen. Durch stärkere Wärmestrahlung bei direkter Besonnung ergeben dunkle Ampullen stets höhere eT-Werte als die farblosen.

Tabelle 4

Die Absorption der Wärmestrahlung ist bei dunkeln Ampullengläsern größer als bei farblosen. Ampullen direkter Sonnenbestrahlung ausgesetzt in der Zwischenzeit im Kühlschrank gelagert.

( $\alpha_0$  = Anfangsdrehung der Zucker-Pufferlösung = 26,49°)

| Ampullensorte         | Drehung nach gleichen Versuchsperioden | Mittel der opt. Drehung | eT-Mittel |
|-----------------------|--|-------------------------|-----------|
| F = farbloses Glas    | 23,55°/23,65°/23,63°                   | + 23,61°                | 23,7° C   |
| B = braunes Glas      | 23,01°/23,02°/23,01°                   | + 23,01°                | 25,0° C   |
| S = geschwärztes Glas | 22,16°/22,15°/22,17°                   | + 22,16°                | 26,5° C   |

Ähnliche eT-Erhöhen ließen sich bei den wochenlang in den Waldgesellschaften des Fuorngebietes exponierten eT-Ampullen brauner und farblosener Gläser beobachten. Die entsprechenden Quotienten eT «braun»:eT «farblös» bewegen sich dort um den Wert 1,07, wie folgende Tabelle 5 ausweist.



Tabelle 5

Im Luftraum oder frei an der Bodenoberfläche ausgelegte Braunglas-Ampullen ergeben durchwegs höhere eT-Zahlen als farblose Ampullen. Im Bodenprofil vergrabene Ampullen zeigen selbstredend diese farbbedingten eT-Unterschiede nicht.

| Waldbestand                | Braun-Ampulle (B)       | Farblos-Ampulle (F) | B : F       |
|----------------------------|-------------------------|---------------------|-------------|
|                            | eT                      | eT                  |             |
| Rhod.-Vaccin.-Initiale NNE | 12,2° C                 | 11,5° C             | 1,06        |
| Mug.-Ericet. hylocom. NW   | 13,5° C                 | 12,6° C             | 1,07        |
| Mug.-Ericet. caricetosum S | 13,5° C                 | 13,0° C             | 1,04        |
| Mug.-Ericet. caricetosum E | 14,6° C                 | 13,5° C             | 1,08        |
| Pineto-Caricetum humilis S | 15,6° C                 | 14,1° C             | 1,11        |
|                            | <i>Mittelwert B : F</i> |                     | <i>1,07</i> |

Die offeneren Südlagen zeigen erwartungsgemäß den größten Unterschied zwischen den eT-Werten brauner und farbloser Ampullen. Die Steigerung des  $\beta$  : F-Quotienten mit ausgesprochenerer Auslage zur Sonne blieb aber hinter den Erwartungen zurück. Der Kronenschluß im Bestand des Mugeto-Ericetum caricetosum S ist bedeutend dichter als in den andern Mugeto-Ericeten. Dies erklärt das Zurückbleiben des B : F-Wertes auf dem niedrigsten Stand von 1,04. Die Ericastrauchschicht ist im südlichen Bestand ebenfalls üppiger, die Beschattung der Versuchsampullen ist daher etwas größer.

Es ist angezeigt, die zu vergleichenden Versuche mit ein- und derselben Ampullensorte auszuführen. Die künftige Verwendung nur farbloser Ampullen ist wünschbar.

#### 6. Einfluß der Ultraviolettstrahlung auf die Zuckerinversion.

Es ist bekannt, daß das UV-Licht bestimmte katalytische Vorgänge beeinflussen kann. So berichten DREYER und HANSEN<sup>1</sup> über die Inaktivierung von Lab-, Trypsin- und Papainlösungen durch UV-Licht. Es blieb zu prüfen, ob auch bei der Rohrzuckerinversion die ultraviolette Strahlung diese Reaktion beeinflusse, da in der subalpinen und alpinen Stufe die UV-Strahlung ziemlich intensiv ist. Unsere Versuche erweisen, daß die in braunen oder farblosen Glasampullen steril eingeschlossenen Zuckerlösungen durch UV-Licht nicht beeinflusst werden. Selbst starke Bestrahlungen unter der Hg-Dampfampe vermochten die Reaktion nicht zu beeinflussen.

Tabelle 6

Starke UV-Bestrahlung übt auf die in Ampullen eingeschlossenen Zucker-Pufferlösungen keinen Einfluß aus.

| Bestrahlungszeit mit Hanau UV-Lampe | Lanipenabstand der Ampullen | Optische Drehung „Braunglas“ | Optische Drehung „farbl. Glas“ |
|-------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| 1 Stunde                            | 75 cm                       | 26,90°                       | 26,90°                         |
| 2 Stunden                           | 75 cm                       | 26,90°                       | 26,92°                         |

<sup>1</sup> Zit. nach: C. OPPENHEIMER u. R. KUHN: Lehrbuch der Enzyme. S. 101. Verlag G. Thieme, Leipzig 1927.

### 7. Transport der Ampullen vom Laboratorium auf das Gelände.

Die im Laboratorium frisch hergestellten eT-Ampullen werden womöglich im Kühlschrank auf 0° C gekühlt und hierauf in ebenfalls gekühltes Sägemehl verpackt. Für den Transport eignen sich Weißblechschachteln von 25—30 cm Kantenlänge sehr gut. Auf Null Grad C gekühlte **Transportschachteln** erreichen erst nach **10stündigem** Verweilen bei 15° C im Zentrum einen Temperaturanstieg auf 14,5° C. Für längere Versuchsperioden von einigen Wochen ist der durch den Transport bedingte Fehler sehr klein. (Man vergleiche hiezu<sup>1</sup>). Müssen die Ampullen über größere Distanzen transportiert werden, so daß sie nicht mehr **am Herstellungstage** im Gelände ausgelegt werden können, so lagere man die Transportschachtel über Nacht im Kühlschrank oder an einem möglichst kühlen Ort. Wünschenswert wäre die Installation des Polarimeters in der Nähe der Meßorte. In diesem Fall mißt man den **Drehwert** der Zuckerlösung unmittelbar vor der **Ampullenplatzierung** und setzt ihn als korrigierten Anfangsdrehwert  $\alpha_0$  ein. Der im Labor bestimmte Enddrehwert bleibt für die Rechnung bestehen. Die gleichen Überlegungen gelten auch für den Rücktransport der zur Messung gelangenden, aus dem Gelände eingebrachten Ampullen.

### 8. Die Platzierung der Meßampullen im Gelände.

Für die eT-Messungen im Luftraum werden die Glasampullen an der wulstigen Verdickung des obern Ampullenendes mit einer Schnur- oder **Drahtschlinge** versehen. Man hängt sie an Gestellen frei exponiert oder in kleinen **hölzernen**, weißgestrichenen Schutzkästchen auf. Im Wald werden sie beispielsweise an ausgespannten Schnüren aufgehängt.

An der **Bodenoberfläche** werden die Ampullen auf die Erdschicht aufgedrückt. Sie liegen derart an der Basis der Vegetationsschicht.

Im **Bodenprofil** hängt die Platzierungsart von der Tiefe des Meßortes ab. Messungen in der **Blattfallsschicht**  $A_0$  erfordern ein seitliches Einschieben der Glasampullen in den  **$A_0$ -Humus**. Das Glas muß mindestens gerade vom Humus bedeckt sein. Unter der  **$A_0$ -Schicht** geht man, wie folgt vor: Das Bodenprofil wird mit dem Spaten sorgfältig geöffnet. Man hebe die Erdschollen vorsichtig heraus und lagere sie gut auffindbar. In den gewünschten Tiefen werden mit einem scharf geschliffenen Stahlrohr (Durchmesser leicht größer als **Ampullendurchmesser**) horizontale Löcher ausgestochen. Die Ampullen werden vorsichtig eingeschoben und durch Drehen gut verpaßt. Das **Ampullenglas** soll überall an der Erde anliegen. Nach dem beendeten Auslegen der Ampullen wird die Grube wieder vorsichtig gefüllt, wobei die ausgehobenen Erdschollen der richtigen Reihenfolge nach in der Grube aufgeschichtet werden. Ein numerierter **Holzpfahl** bezeichnet die **eT-Station**.

Es ist vielfach zweckmäßig, die im Boden vergrabenen Ampullen in metallenen Schutzröhren einzuschließen. Die Ampullen müssen das Rohr möglichst gut ausfüllen. Diese Hüllen schützen besonders in steinigem oder im gefrorenen Boden die Gläser beim Platzieren oder Herausnehmen vor Bruch.

### 9. Die Entnahme der eT-Ampullen aus dem Gelände.

Die eingebrachten Ampullen werden an Ort und Stelle mit einem Tuche trocken gerieben und mit einer vorbereiteten numerierten Etikette versehen. Die

<sup>1</sup> H. PALLMANN, E. EICHENBERGER u. A. HASLER: Ber. d. Schweiz. Bot. Ges. Bd. 50, 1940, speziell S. 361.



numerierten Ampullen werden hierauf in Zeitungspapier eingewickelt und sofort in die Sägemehlkiste (möglichst gekühlt, wenn längerer Transport bevorsteht) verpackt.

### 10. Die Genauigkeit der eT-Messung.

Werden die eT-Ampullen an Orten **genau** übereinstimmender Temperaturverhältnisse ausgelegt, so wird die Methodengenauigkeit nur durch die Präzision der polarimetrischen Messung bestimmt. Solche Parallelampullen zeigen **eT-Werte**, die untereinander mit nicht mehr als 0,1° C abweichen. Zahlreiche Versuche in Thermostaten bezeugten dies. Im Gelände sind solche Orte identischer Temperaturverhältnisse seltener vorhanden. Selbst die verschiedenen Plazierungsorte in ein- und demselben Horizont des Bodenprofils zeigen oft verschiedene Wärmebedingungen. Die an der Bodenoberfläche oder im **Luft-raum** von Waldbeständen ausgelegten Ampullen registrieren empfindlich kleinste Unterschiede des Lokalklimas. Sie reagieren auf kleine Unterschiede der Beschattung, der Insolation, des Kontaktes mit der feuchten Bodenoberfläche, der bodennahen Kraut-, Strauch- oder Moos-Flechtschicht.

In den nachstehenden Tabellen 7 und 8 sind hierfür die Belege zusammengestellt.

Tabelle 7

*Parallelampullen, die in thermisch möglichst identischen Lagen ausgelegt wurden, zeigen über gleiche Versuchsperioden (60 Tage) sehr gute Übereinstimmung in den eT-Werten.*

| Waldbestand:                  | eT-Werte in 10 cm Bodentiefe |                                 |
|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
|                               | Mittelwert der Parallelen    | Mittlere Schwankung des Mittels |
| Rhodoreto-Vaccinietum N       | 8,5° C                       | ± 0,05° C                       |
| Rhod.-Vacciniet.-Initiale NNW | 8,9° C                       | ± 0,07° C                       |
| Mug.-Rhodor. hirsuti NNE      | 9,2° C                       | ± 0,07° C                       |
| Mug.-Ericet. hylcomietosum NW | 10,0° C                      | ± 0,20° C                       |
| Mug.-Ericet. caricetosum S*   | 11,5° C                      | ± 0,10° C                       |
| Mug.-Ericet. caricetosum E**  | 12,2° C                      | ± 0,00° C                       |
| Pineto-Caricet. humilis S     | 17,3° C                      | ± 0,07° C                       |

S\* Bestand bedeutend geschlossener als E\*\*

Die **Übereinstimmung** der Ampullen thermisch gleicher oder möglichst ähnlicher Bedingungen ist auffallend gut. Geringfügige Unterschiede in der **Wärmeleitung**, **Wärmekapazität** und in der **Durchlüftung** des Bodens äußern sich bereits in den eT-Werten.

Je ausgesprochener die Auslage zur Sonne ist, **umso** stärker werden die mikroklimatischen Unterschiede selbst **innert** desselben Waldbestandes. Bei gleicher **Bestandesdichte** ist das Kleinklima in schattigerer Nordlage gleichmäßiger als in den **stärker** angestrahlten **Südlagen**.

Die kleinklimatischen Unterschiede innerhalb eines **bestimmten** Bestandes scheinen einerseits bei sehr lockerem Kronenschluß oder aber andererseits **bei** sehr dichtem am geringsten zu sein. Die größten Unterschiede weisen



Kleinklimate der Bestände mittleren Kronenschlusses auf, wie die in Tabelle 8 ausgewiesenen Zahlen für das südexponierte lichte Pineto-Caricetum humilis zeigen.

Tabelle 8

Innerhalb einer Fläche von ca. 100 m<sup>2</sup> eines bestimmten Waldbestandes (Plan d. Posa und God del Fuorn) wurden 3–5 eT-Ampullen der Bodenoberfläche aufgelegt. Entnahme nach gleichen Versuchsperioden. Abweichungen vom eT-Mittel.

| Waldgesellschaft                | eT-Werte an Bodenoberfläche |                                 |
|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
|                                 | Mittelwert der Parallelen   | Mittlere Schwankung des Mittels |
| Rhodoreto-Vaccinietum N         | 9,8° C                      | ± 0,16° C                       |
| Mug.-Rhodoretum hirsuti NNE     | 11,2° C                     | ± 0,53° C                       |
| Mug.-Ericetum hylocomietosum NW | 12,5° C                     | ± 0,77° C                       |
| Mug.-Ericetum caricetosum S*    | 18,4° C                     | ± 1,25° C                       |
| Mug.-Ericetum caricetosum E**   | 22,1° C                     | ± 0,45° C                       |
| Pineto-Caricetum humilis S      | 30,8° C                     | ± 2,08° C                       |

S\* und E\*\* vgl. Anmerkung Tabelle 7.

### 11. Ausschub an Versuchsampullen durch Bruch oder Verpilzung.

Die eT-Ampullen erwiesen sich bei unsern beinahe dreijährigen Versuchen im Gelände als mechanisch recht robust. Von ca. 2500 Ampullen zerbrochen beim Transport 3 Stück. Die Ursache hierfür lag wahrscheinlich in unzulässigen Glasspannungen, die beim Zuschmelzen der Ampullen entstanden. Im Gelände zerbrachen ca. 10 Stück: wahrscheinlich wurden sie durch Waldgänger oder Wild zertreten. Verpilzt waren ebenfalls ca. 10 Stück, zufällige Infektionen beim Abfüllen der Ampullen sind daran schuld. Ca. 15 Ampullen wurden böswillig von den Meßorten verschleppt.

Selbst durch tiefe Wintertemperaturen bis zu -30° C wurden die Ampullen nicht gesprengt.

## II. Die «wirksamen Mitteltemperaturen eT» im Luftraum und im Oberboden der verschiedenen Waldgesellschaften des Fuorngebietes.

### a) Die mikroklimatisch untersuchten Waldgesellschaften und deren Böden.

J. BRAUN-BLANQUET und der eine von uns (HP) untersuchten seit Jahren die Wald- und Bodenentwicklung in der subalpinen Stufe des schweizerischen Nationalparkes. Diese Arbeit geht der Druckreife entgegen. Im Rahmen dieser Studien wurden in den letzten Jahren die lokalklimatischen Verhältnisse einiger repräsentativer Waldgesellschaften der nähern Umgebung von Il Fuorn untersucht. Die Gegend von Il Fuorn eignet sich dafür recht gut, es finden sich auf relativ engem Raum die typischen Waldassoziationen und die zugehörigen Böden. Die Beobachtungsstation Buffalora der Schweiz. Meteorologischen Zentralanstalt liegt inmitten des Fuornales.

**Tabelle 9**  
**Allgemeinklima der Fuorngegend. Meteorologisch Beobachtungsstation**  
**Buffalora 1977 m. ü. M.**

## Thermometer WNW-Exposition

|                              |                       |
|------------------------------|-----------------------|
| Mittlere Jahresniederschläge | (1917—1937) = 958 mm  |
| Mittlere Jahrestemperatur    | (1917—1937) = -0,1° C |
| Mittlere Luftfeuchtigkeit    | 1937 = 79 %           |

| Beobachtungsperiode*<br>1940/41 | Mittlere<br>Temperatur<br>(arithm. M.) | Niederschlags-<br>summe | Mittlere<br>Luftfeuchtig-<br>keit |
|---------------------------------|--|-------------------------|-----------------------------------|
| Winter: 17. XI.—20. V.          | -6,4° C                                | 335,4 mm                | 73,7 %                            |
| Frühling: 20. V.—20. VI.        | +4,9° C                                | 105,9 mm                | 75,2 %                            |
| Sommer: 20. VI.—31. VII.        | +11,1° C                               | 148,3 mm                | 67,6 %                            |
| Herbsf: 31. VII.—10. X.         | +6,5° C                                | 120,5 mm                | 70,7 %                            |
| Jahresmittel 1940/41            | -1,1° C                                | 742,7 mm                | 78,1 %                            |

\* Die angegebenen Beobachtungsperioden sind unseren Versuchsperioden angeeignet. Die angegebenen Daten richten sich nach der möglichen Aufenthaltszeit im Park. (Vgl. Tabellen 10f.) Die Zahlenunterlagen wurden uns in verdankenswerter Weise von der Schweiz. Meteorologischen Zentralanstalt zur Verfügung gestellt.

Für experimentelle Untersuchungen, die den Gebrauch von Laboratoriums-Instrumenten erheischen, steht im Nationalparkhotel II Fuorn der notwendige Raum zur Verfügung. Im engern Untersuchungsgebiet finden sich für die Bodenbildung Muttergesteine von extremer petrochemischer Verschiedenheit: neben karbonatreichen Dolomiten kommen kieselsäurereiche Verrucanogesteine vor. Im ESE—WNW verlaufenden Fuornthal bieten die Talhänge den scharfen lokalklimatischen Gegensatz von Nord und Süd. Das Fuornthal weist in seiner general-klimatischen Einheitlichkeit dank schroff wechselnder Petrographie und variabler Oberflächengestaltung eine seltene Reichhaltigkeit an gut ausgeprägten Bodentypen und der zugehörigen Vegetation auf.

Die lokalklimatisch in den letzten Jahren untersuchten Waldgesellschaften wurden im Prodomus der Pflanzengesellschaften: Klasse der Vaccinio-Piceetea von J. BRAUN-BLANQUET, G. SISSINGH und J. VLIEOER 1939 bereits kurz gekennzeichnet.

Auf dem fuornnahen Hügel von Plan dala Posa finden sich die verschiedenen Waldassoziationen des Pineto-Ericion-Verbandes (vgl. erwähnter Prodomus) in selten schöner Gedrängtheit versammelt. Sie sind soziologisch wohl ausgebildet und zeigen ihre kennzeichnenden, auch für die übrigen Gebiete der subalpinen Stufe gültigen Böden.

Der stumpfe kegelförmige Hügel ist dem Südabhang des Piz dal Fuorn vorgelagert. Er besteht einheitlich aus Wettersteindolomit und weist einen Basisdurchmesser von knapp 200 m auf. Die verschiedenen Waldbestände sind auf annähernd gleicher Meereshöhe rund um den Kegel herum gelagert, wie dies aus nachstehendem Situationsplan Figur 2 hervorgeht.

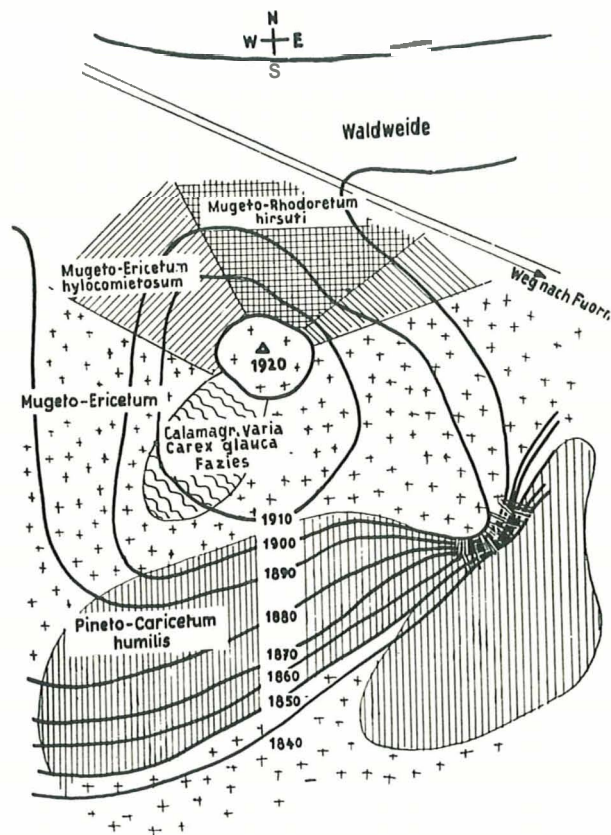
In der Reihenfolge zunehmender Wald- und Bodenreifung finden sich hier folgende Gesellschaften:

1. *Pineto-Caricetum humilis* (Föhren-Seggenassoziation) Br.-Bl. Primäres oder sekundäres, offenes Initialstadium des Bergföhrenwaldes. Kronenschluß unter 30 %, Die Kraut-Strauchschicht bedeckt weniger als 20 % der wenig stabilisierten Hangbodenoberfläche. Südexposition. Hangneigung 25—35°.



Figur 2

Die Verteilung der Waldgesellschaften am Plan d. Posa-Hügel  
(nach J. BRAUN-BLANQUET u. H. PALLMANN)



**Bodenverhältnisse:** Bodenbildungszentren unter hangfestigenden *Carex humilis*- und *Erica*rasen: alkalischer, initialer Humuskarbonatboden im flächenmäßig vorherrschenden, leicht bewegten und feinerdereichen Wettersteindolomit-Rohboden.

2. *Mugeto-Ericetum caricetosum humilis* (*Erica*-Bergföhren-Assoziation) Br.-Bl. Kronenschluß 40–50 %. Kraut-Strauchschicht bedeckt mehr als 50 % des Bodens. Exposition: W, S und E. Hangneigung: 0 bis 30°. **Bodenverhältnisse:** Flachgründiger, subalpiner Wald-Humuskarbonatboden mit primären oder sekundären Inseln des Wettersteindolomit-Bohobodens. Reaktion der humusreichen  $rA_0$ - und  $rA_1$ -Horizonte schwach sauer bis alkalisch. Mineralische Horizonte  $rA_2$  und  $rAC$  alkalisch.
3. *Mugeto-Ericetum hylacomietosum* (Moosreiche *Erica*-Bergföhren-Assoziation) Br.-Bl. Erstes Auftreten der Arve. Kronenschluß meist über 50 %. Kraut-Strauchschicht bedeckt mehr als 90 % der Bodenoberfläche. Bevorzugte Exposition: NW und NE. Boden­neigung 15–30°. Meereshöhe: 1890 bis 1910 m. **Bodenverhältnisse:** Mittelgründiger, degradiertes subalpiner Wald-



Humuskarbonatboden. Reaktion der mooshurnusreichen  $A_0$ - und  $A_1$ -Horizonte sauer bis schwach sauer. Darunterliegende  $rA_1$ - und  $rA_2$ -, bzw.  $rA_3$ -Horizonte alkalisch.

4. *Mugeto-Rhodoretum hirsuti hylocomietosum* (Calciphile Alpenrosen-Bergföhren-Assoziation) Br.-Bl. Kronenschluß meist über 50%. In Baumschicht sind Arve, Lärche und Fichte neben Bergföhre vertreten. Kraut-Strauchschicht bedeckt mehr als 95% der Bodenoberfläche. Azidiphile Vaccinien neben zurückgedrängter Erica. Bevorzugte Exposition NNE, N und NNW. Boden­neigung 25–35°. Höhenlage 1890–1910 m.

Bodenverhältnisse: Tiefgründiger, extrem degradierter subalpiner Wald-Humuskarbonatboden. Reaktion der mächtigen Humushorizonte  $A_0$  und  $A_1$  stark sauer. Rückbildung von  $rA_1$ . Mineralische  $rA_2$  und  $rAC$ -Horizonte alkalisch.

5. *Rhodoreto-Vaccinietum-Intitiale*, aus *Mugeto-Rhodoretum hirsuti* sich entwickelnd. Initialstadium der zum Rhodoreto-Vaccinien-Verband gehörenden Klimaxassoziation. Unterer Hangwinkel des Plan d. Posa-Hügels. Exposition: NNW. Hangneigung 5–25°. Höhenlage 1890 m. Kronenschluß über 50%, Kraut-Strauchschicht (Vaccinienreich) bedeckt 100% der Bodenoberfläche.

Bodenverhältnisse: Tiefgründiger, extrem degradierter subalpiner Wald-Humuskarbonatboden. Boden ziemlich übereinstimmend mit dem sub 4 angeführten.

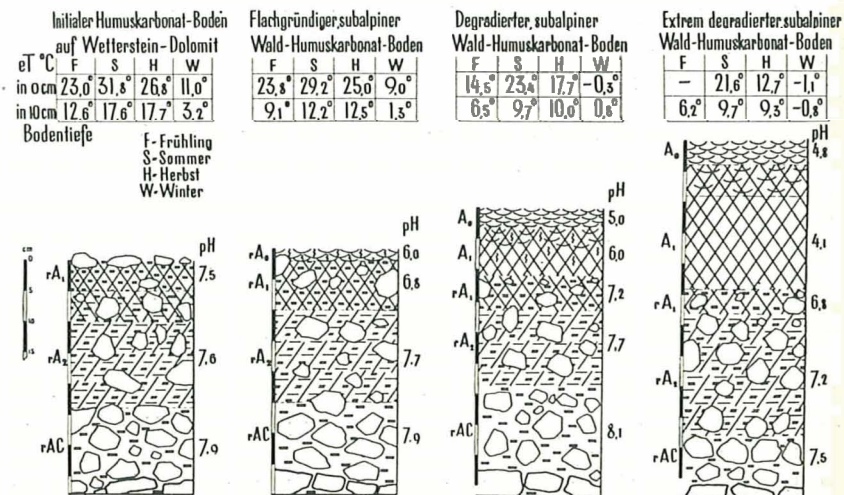
In Figur 3 sind die Bodengprofile einiger dieser Waldassoziationen des Plan d. Posa-Hügels, wiedergegeben.

Figur 3

Bodenprofile unter folgenden Waldgesellschaften:

- Pineto-Caricetum humilis,
  - Mugeto-Ericetum caricetosum humilis,
  - Mugeto-Ericetum hylocomietosum,
  - Mugeto-Rhodoretum hirsuti hylocomietosum.
- (Vergl. Text Seite 448–451)

Mikroklima und Bodenbildung auf Plan d. Posa (Fuorn).



Am Nordhang des Munt la Schera findet sich im God dal Fuorn die Waldassoziatio*n Rhodoreto-Vaccinietum cembretosum* (Alpenrosen-Arven-Lärchenwald) PALLMANN u. HAPFTER. Er stockt dort auf den kieselsäurereichen und grobkörnigen Verrucanogesteinen des Munt la Schera. In der Baumschicht sind vertreten: *Pinus Cembra*, *Pinus Mugo*, *Larix decidua* und *Picea excelsa*. Die Strauchschicht enthält vorwiegend *Vaccinium Myrtillus* und *Rhododendron ferrugineum*. Die Mooschicht wird vornehmlich durch *Hylocomium*moose gebildet. Kronenschluß meist über 50%. Kraut-, Strauch- und Mooschichten bedecken über 95% der Bodenoberfläche. Exposition: N. Hangneigung 25–33°. Höhenlage 1830–1860 m.

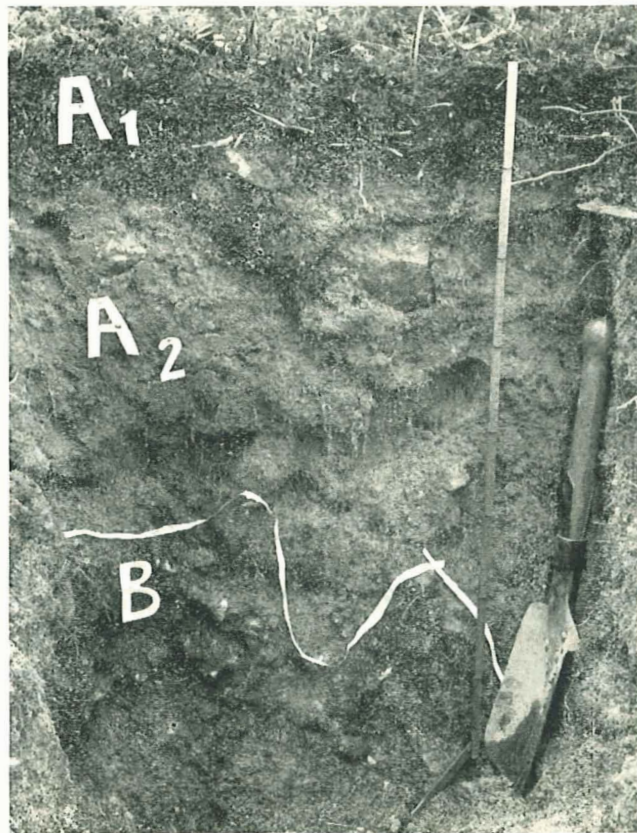
Bodenverhältnisse:  $A_2$ -Variante des subalpinen Wald-Eisenpodsols. Humushorizonte  $A_0$  und  $A_1$  ziemlich mächtig und sehr sauer. Bleicherdehorizont  $A_2$  dank grobkörnigem Muttergestein sehr mächtig 50–80 cm, Reaktion sehr sauer. Anreicherungshorizont  $B_s$  diffus und mächtig. Reaktion um pH 5.

Typischer Klimaxboden auf kalkarmen oder kalkfreien Muttergesteinen.

in Figur 4 ist das Profil der  $A_2$ -Variante des subalpinen Wald-Eisenpodsols ersichtlich.

Figur 4

Bodenprofil des subalpinen Wald-Eisenpodsols vom God dal Fuorn.  
 $A_2$ -Variante auf Verrucano.



und  $A_1$ -Hori-  
-, bzw. rAC-

trosen-Berg-  
Baumschicht  
aut-Strauch-  
le Vaccinien  
und NNW.

subalpiner  
horizonte  $A_0$   
rAC-Hori-

ti sich ent-  
gehörenden  
els. Exposi-  
schluß über  
Bodenober-

subalpiner  
mit dem

n des Plan

subalpiner  
Boden

W  
-1,1  
-0,8

pH  
4,8

4,1

6,1

7,1

7,5



Die mikroklimatisch untersuchten Waldgesellschaften umfassen sowohl Initialstadien der Waldbildung, wie auch **typische Klimaxassoziationen**. Sie liegen alle im gleichen Generalklima und kaum 600 m Luftlinie auseinander.

b) Die «**wirksamen Mitteltemperaturen eT**» in den verschiedenen Waldgesellschaften des Fuorngebietes.

Die **eT-Werte** wurden während der 4 Jahreszeiten im Luftraum (150 cm ob Boden = L), an der Bodenoberfläche (= O) und in 10 cm Bodentiefe (= B) gemessen. Die Resultate dieser **Beobachtungen** finden sich in den Tabellen 10 bis 16 und in den Figuren 5—8.

*Tabelle 10*

Assoziation: Pineto-Caricetum humilis  
Bodentypus: Leicht bewegter, humusarmer **Wettersteindolomit-Rohboden**.  
Standort: Plan d. Posa: **Höhe/M**: 1910; Neigung 30°; Expos. S

| Beobachtungsperiode<br>1940/41 | 150 cm über<br>Boden<br>eT | An Boden-<br>oberfläche<br>eT | In 10 cm<br>Bodentiefe<br>eT |
|--------------------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Winter: 17. XI.—20. V.         | + 2,2° C                   | + 11,0° C                     | + 3,2° C                     |
| Frühling: 20. V.—20. VI.       | 10,5° C                    | 23,0° C                       | 12,6° C                      |
| Sommer: 20. VI.—31. VII.       | 16,7° C                    | 31,3° C                       | 17,4° C                      |
| Herbst: 31. VII.—10. X.        | 15,6° C                    | 26,8° C                       | 17,7° C                      |

*Tabelle 11*

Assoziation: Mugeto-Ericetum caricetosum humilis E  
Bodentypus: **Flachgründiger**, subalpiner **Wald-Humuskarbonatboden**  
Standort: Plan d. Posa. **Höhe/M** 1910 m; Neigung 8—12°; Expos. E. Relativ lichter Bestand. Offen nach E und SE

| Beobachtungsperiode<br>1940/41 | 150 cm über<br>Boden<br>eT | An Boden-<br>oberfläche<br>eT | In 10 cm<br>Bodentiefe<br>eT |
|--------------------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Winter: 17. XI.—20. V.         | + 0,8° C                   | + 9,0° C                      | + 1,3° C                     |
| Frühling: 20. V.—20. VI.       | 10,2° C                    | 23,8° C                       | 9,1° C                       |
| Sommer: 20. VI.—31. VII.       | 16,5° C                    | 29,2° C                       | 12,2° C                      |
| Herbst: 31. VII.—10. X.        | 14,7° C                    | 25,0° C                       | 12,5° C                      |

*Tabelle 12*

Assoziation: Mugeto-Ericetum caricetosum humilis S  
Bodentypus: **Subalpiner Wald-Humuskarbonatboden**. Etwas mächtiger als bei vorstehendem Bestand E. (Tab. 11)  
Standort: Plan d. Posa. **Höhe/M** 1910 m; Neigung 28°; Expos. S. Bestand relativ dicht. Gegen S. etwas geschlossener.

| Beobachtungsperiode<br>1940/41 | 150 cm über<br>Boden<br>eT | An Boden-<br>oberfläche<br>eT | In 10 cm<br>Bodentiefe<br>eT |
|--------------------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Winter: 17. XI.—20. V.         | — 0,5° C                   | + 4,3° C                      | + 1,1° C                     |
| Frühling: 20. V.—20. VI.       | + 9,9° C                   | 17,7° C                       | 6,7° C                       |
| Sommer: 20. VI.—31. VII.       | 15,1° C                    | 24,7° C                       | 10,9° C                      |
| Herbst: 31. VII.—10. X.        | 13,5° C                    | 22,9° C                       | 11,6° C                      |

Tabelle 13

Assoziation: Mugeto-Ericetum hylocomietosum  
 Bodentypus: Mittelgründiger, degradiertes, subalpiner Wald-Humuskarbonatboden.

Standort: Plan d. Posa. Höhe/M 1900 m; Neigung 18°; Expos. NW

| Beobachtungsperiode<br>1940/41 | 150 cm über<br>Boden<br>eT | An Boden-<br>oberfläche<br>eT | In 10 cm<br>Bodentiefe<br>eT |
|--------------------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Winter: 17. XI.—20. V.         | − 0,6° C                   | − 0,3° C                      | + 0,8° C                     |
| Frühling: 20. V.—20. VI.       | + 9,9° C                   | + 16,5° C                     | 6,5° C                       |
| Sommer: 20. VI.—31. VII.       | 15,1° C                    | 23,4° C                       | 9,7° C                       |
| Herbst: 31. VII.—10. X.        | 13,5° C                    | 17,7° C                       | 10,0° C                      |

Tabelle 14

Assoziation: Mugeto-Rhodoretum hirsuti hylocomietosum  
 Bodentypus: Extrem degradiertes, tiefgründiger, subalpiner Wald-Humuskarbonatboden.

Standort: Plan d. Posa. Höhe/M 1900 m; Neigung 32°; Expos. NNE

| Beobachtungsperiode<br>1940/41 | 150 cm über<br>Boden<br>eT | An Boden-<br>oberfläche<br>eT | In 10 cm<br>Bodentiefe<br>eT |
|--------------------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Winter: 17. XI.—20. V.         | − 1,6° C                   | − 1,1° C                      | − 0,8° C                     |
| Frühling: 20. V.—20. VI.       | + 9,0° C                   | —                             | + 6,2° C                     |
| Sommer: 20. VI.—31. VII.       | 14,6° C                    | + 21,6° C                     | 9,7° C                       |
| Herbst: 31. VII.—10. X.        | —                          | 12,7° C                       | 9,3° C                       |

Tabelle 15

Assoziation: Initiale des Rhodoreto-Vaccinietum.  
 Bodentypus: Extrem degradiertes, tiefgründiger, subalpiner Wald-Humuskarbonatboden.

Standort: Plan d. Posa. Höhe/M 1895 m; Neigung 23°; Expos. NNW

| Beobachtungsperiode<br>1940/41 | 150 cm über<br>Boden<br>eT | An Boden-<br>oberfläche<br>eT | In 10 cm<br>Bodentiefe<br>eT |
|--------------------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Winter: 17. XI.—20. V.         | − 2,3° C                   | − 1,3° C                      | − 1,0° C                     |
| Frühling: 20. V.—20. VI.       | + 9,0° C                   | + 10,7° C                     | + 4,8° C                     |
| Sommer: 20. VI.—31. VII.       | 14,3° C                    | 14,5° C                       | 8,7° C                       |
| Herbst: 31. VII.—10. X.        | —                          | —                             | 9,0° C                       |

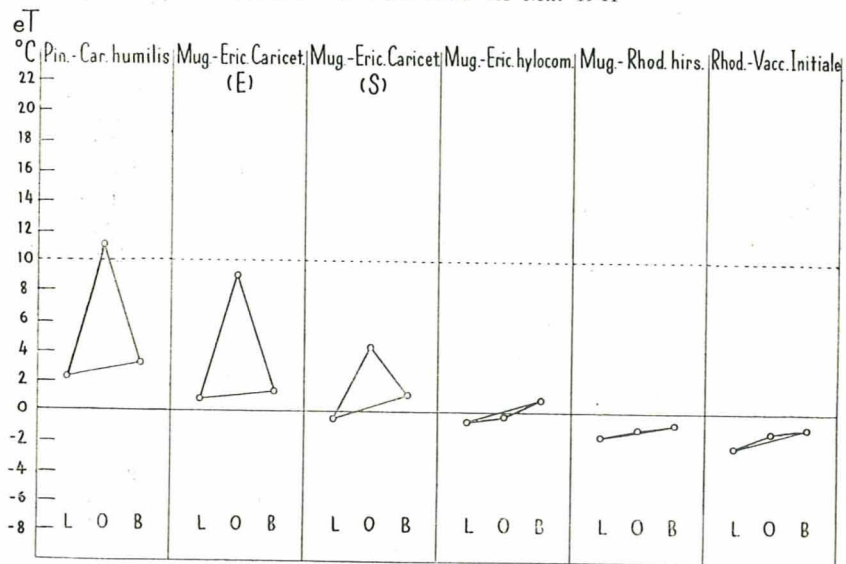
Tabelle 16

Assoziation: Rhodoreto-Vaccinietum cembretosum (Klimax-Gesellsch.)  
 Bodentypus: A<sub>2</sub>-Variante des subalpinen Wald-Eisenpodsol  
 Standort: God dal Fuorn. Höhe/M 1850 m; Neigung 25—30°; Expos. N

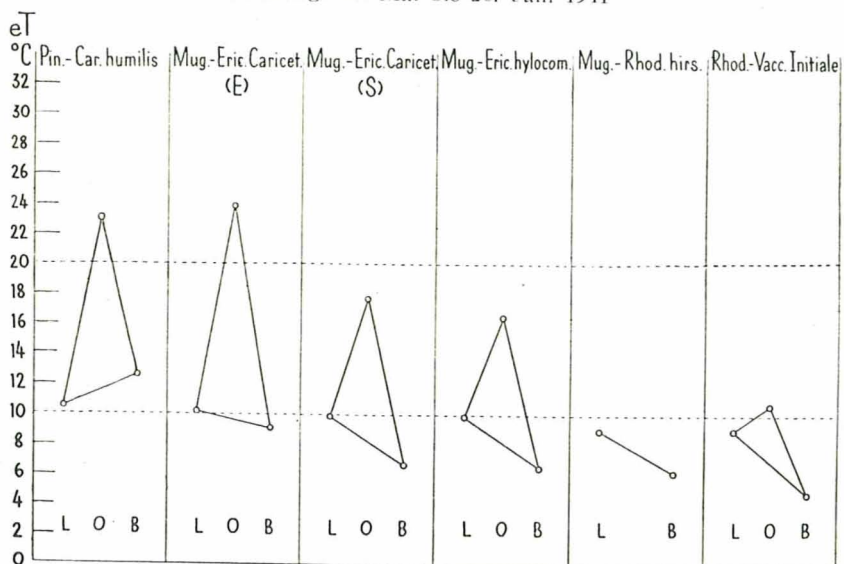
| Beobachtungsperiode<br>1940/41           | 150 cm über<br>Boden<br>eT | An Boden-<br>oberfläche<br>eT | In 10 cm<br>Bodentiefe<br>eT |
|--|----------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Winter und Frühling<br>17. Nov.—20. Juni | + 1,8° C                   | —                             | + 0,9° C                     |
| Sommer: 20. VI.—31. VII.                 | 14,2° C                    | + 11,8° C                     | 9,6° C                       |
| Herbst: 31. VII.—10. X.                  | 11,4° C                    | 9,8° C                        | 8,4° C                       |



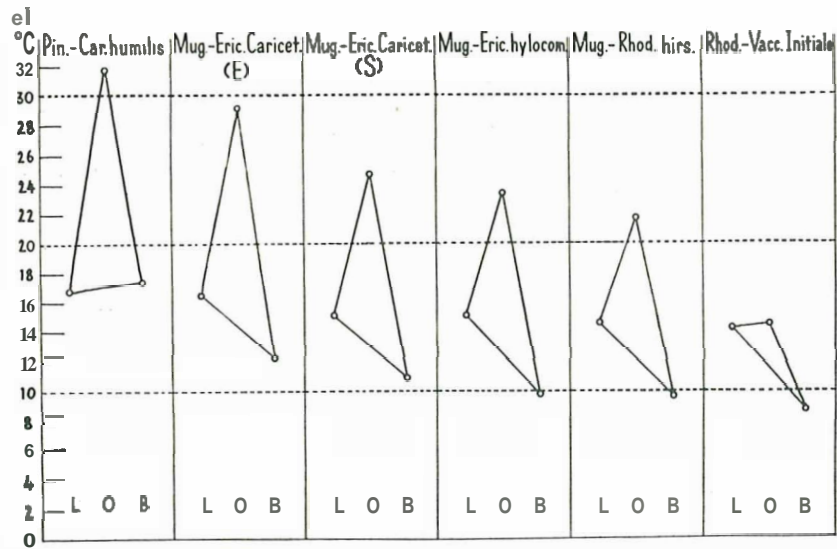
Figur 5  
Mitteltemperaturen  $eT$  am Plan d. Posa Hügel.  
Winter: 17. Nov. 1940 bis Mai 1941



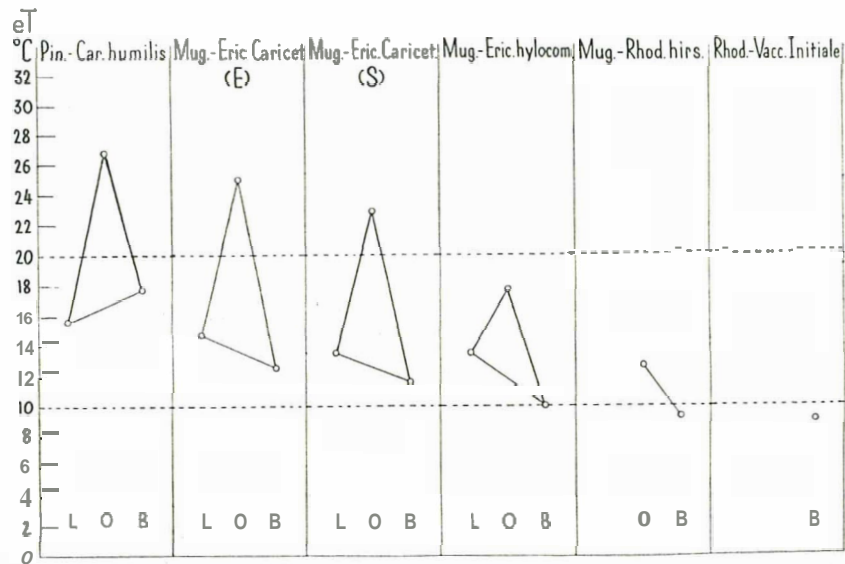
Figur 6  
Mitteltemperaturen  $eT$  am Plan d. Posa Hügel.  
Frühling: 20. Mai bis 20. Juni 1941



Figur 7  
Mitteltemperaturen  $eT$  am Plan d. Posa Hügel.  
Sommer: 20. Juni bis 31. Juli 1941



Figur 7  
Mitteltemperaturen  $eT$  am Plan d. Posa Hügel.  
Herbst: 31. Juli bis 10. Oktober 1941





Aus dem vorliegenden Beobachtungsmaterial können folgende vorläufige Schlüsse gezogen werden:

1. Die eT-Werte (wirksame Mitteltemperaturen) erweisen sich als gute Kennzahlen zur Beschreibung des Lokalklimas eines bestimmten Pflanzenstandortes.
2. In allen Jahreszeiten sind die eT-Werte gleicher Beobachtungsperioden, im Luftraum (150 cm ob Boden), an der Bodenoberfläche und im Oberboden in den Initialgesellschaften des subalpinen Nadelwaldes höher als in den reiferen Sukzessionsgliedern. Die vergleichbaren eT-Werte sinken in nachstehender Reihenfolge:

*Pineto-Caricetum humilis* mit initialem Humuskarbonatboden.

G

*Mugeto-Ericetum caricetosum* mit flachgründigem subalpinem Wald-Humuskarbonatboden.

↓

*Mugeto-Ericetum hylocomietosum* mit mittelgründigem, degradiertem subalpinem Wald-Humuskarbonatboden.

↓

*Mugeto-Rhodoretum hirsuti hylocomietosum* mit tiefgründigem, extrem degradiertem subalpinem Wald-Humuskarbonatboden.

↓

Rhodoreto-Vacciniefum-Initiale mit extrem degradiertem, tiefgründigem subalpinem Wald-Humuskarbonatboden.

↓

*Rhodoreto-Vaccinietum cembretosum* mit A<sub>2</sub>-Variante des subalpinen Wald-Eisenpodsol.

3. Die Bodenreifung wird in der subalpinen Stufe der Alpen durch die Steigerung der Lokalhumidität gefördert. Bei gleicher Befeuchtung steigt die Lokalhumidität mit abnehmender Temperatur des Luft- und Bodenraumes.
4. Nordlagen sind unter gleichem Generalklima lokalhumider als Südlagen. Die Boden- und Vegetationsentwicklung läuft bei erhöhter Lokalhumidität rascher ab. Die reiferen Waldstadien besitzen dichteren Kronenschluß und eine üppigere Kraut-Strauchschicht. Stärkerer Kronenschluß hemmt die an sich geringe Wärmeeinstrahlung, die üppigere Kraut-Strauchschicht hindert zusätzlich die Erwärmung des Bodens.

Der Expositions-, wie auch der Vegetationsfaktor unterstützen sich gegenseitig in der Herabsetzung der Standortstemperaturen, sie steigern gegenseitig die Lokalhumidität.

5. Die Degradation, d. h. die Versauerung der biogenen Profilanteile nimmt innerhalb der Wald-Humuskarbonatboden-Serie mit fallenden Wirktemperaturen stark zu:

Tabelle 17

| Bodentypen der subalpinen<br>Wald-Humuskarbonatboden-<br>Serie | pH der<br>Humus-<br>horizonte | eT-Werte in 10 cm Bodentiefe |        |        |
|--|-------------------------------|------------------------------|--------|--------|
|  |                               | Frühjahr                     | Sommer | Herbst |
| Initialer Humuskarb.-B.  | 7,5                           | 12,6°C                       | 17,4°C | 17,7°C |
| Flachgr. Wald-Humusk.-B.                                       | 6,8                           | 9,1°C                        | 12,2°C | 12,5°C |
| Degrad. Wald-Humusk.-B.  | 5,0—6,0                       | 6,5°C                        | 9,7°C  | 10,0°C |
| Extrem degradiertes Humus-<br>karbonat-B.                      | 4,1—4,8                       | 6,2°C                        | 9,7°C  | 9,3°C  |

6. Die Humusanhäufung im Bodenprofil (= Humusproduktion minus Humusabbau) wird durch fallende Wirktemperaturen, also steigende Lokalhumi-  
dität, gesteigert.

Tabelle 18

| Bodentypen der subalpinen<br>Wald-Humuskarbonatboden-<br>Serie | Mächtigkeit der<br>eigenlichen<br>Humus-Horizonte | Kilogramm Humussub-<br>stanz im Bodenprofil<br>(je m <sup>2</sup> Bodenfläche) |
|--|---|--|
| Initialer Humuskarbonat-B.                                     | 5 cm  | 4,7 kg   |
| Flachgr. Wald-Humusk.-B.                                       | 10 cm   | 16,7 kg  |
| Degrad. Wald-Humusk.-B.  | 17 cm   | 28,9 kg  |
| Extrem degradiertes Humus-<br>karbonat-B.                      | 28 cm   | 49,7 kg  |

7. Im Winter sinken die  $eT$ -Werte in 10 cm Bodentiefe in den Humushorizonten der degradierten Wald-Humuskarbonatböden unter den Gefrierpunkt. Die Wärmeleitung der Humushorizonte und der lockern Mineralerdeschichten  $r_{AC}$  und  $r_{A_2}$  ist offenbar zu gering, um die vor dem Einschneien stark unterkühlten Bodenschichten nachträglich unter der Schneedecke auf den Schmelzpunkt 0° C hinauf zu temperieren. In den südlicher gelegenen Initialstadien des Föhrenwaldes liegen die  $eT$ -Werte der humusärmeren Oberhorizonte in der Beobachtungsperiode Nov. bis Mai über dem Nullgrad-Wert.
8. Die Temperaturunterschiede zwischen Bodenoberfläche und 10 cm Bodentiefe ( $eT_0 - eT_B$ ) sind in den unreifen Waldböden am größten. Die humusreicheren, degradierten Böden der reiferen und nördlicher liegenden Waldgesellschaften haben kleinere Temperaturdifferenzen. Die ( $eT_0 - eT_B$ )-Werte sind im Sommer am größten und im Winter am kleinsten. Im Winter ist der Boden in 10 cm Tiefe bei den degradierten, d. h. versauerten Waldböden wärmer als die Bodenoberfläche. Die entsprechenden ( $eT_0 - eT_B$ )-Werte werden negativ.

Tabelle 19

Die  $eT$ -Differenzen zwischen Bodenoberfläche und 10 cm Bodentiefe in den verschiedenen Jahreszeiten.

| Bodentypen der subalpinen<br>Wald-Humuskarbonatboden-<br>und Wald-Eisenpodsol-Serie | $(eT_0 - eT_B)$ |          |         |         |
|---|-----------------|----------|---------|---------|
|   | Winter          | Frühjahr | Sommer  | Herbst  |
| 1. Initialer Humuskarbonat-Boden  | + 7,8°          | + 10,4°  | + 13,9° | + 9,1°  |
| 2. Flachgr. subalp. Wald-HK-B. (E)  | + 7,7°          | + 14,7°  | + 17,0° | + 12,5° |
| 3. Flachgr. subalp. Wald-HK-B. (S)  | + 3,2°          | + 11,0°  | + 13,8° | + 11,3° |
| 4. Degrad. subalp. Wald-Humusk. B.  | - 1,1°          | + 10,0°  | + 13,7° | + 7,7°  |
| 5. Extrem degrad. Wald-Humusk. B.   | - 0,3°          | -        | + 11,9° | + 3,4°  |
| 6. Extrem degrad. Wald-Humusk. B.   | - 0,3°          | + 5,9°   | + 5,8°  | -       |
| 7. Ar-Variante des Eisenpodsois   | -               | -        | + 2,2°  | + 1,4°  |

### C. Die Extremtemperaturen in den verschiedenen Waldgesellschaften des Fuorngebietes.

In den oben angeführten Waldgesellschaften des Plan d. Posa-Hügels und im God dal Fuorn wurden bei Beginn der Vegetationszeit (Mai 1941) neben den  $eT$ -Ampullen stabförmige Maximal-Minimal-Thermometer installiert. Alle



Thermometer wurden vorher im Laboratorium unter sich verglichen. Die Thermometerablesungen erfolgten jeweils beim Ampullenwechsel.

In den nachstehenden Tabellen 20, 21 und 22 sind die Ergebnisse der einjährigen Beobachtungen eingetragen. In Figur 9, 10 und 11 sind die Resultate graphisch wiedergegeben.

*Tabelle 20*  
*Extremtemperaturen in einigen Waldassoziationen des Fuorngebietes.*  
 Subalpine Stufe des Schweiz. Nationalparkes.

Meßort: 150 cm über Boden.

| Meßperiode                   | 20. Mai—<br>20. Juni<br>1941 |            | 20. Juni—<br>31. Juli<br>1941 |            | 31. Juli—<br>10. Okt.<br>1941 |            | 10. Okt.—<br>17. Januar<br>1941/42 |            | 17. Jan.—<br>4. März<br>1942 |            |
|------------------------------|------------------------------|------------|-------------------------------|------------|-------------------------------|------------|------------------------------------|------------|------------------------------|------------|
|                              | Max.<br>°C                   | Min.<br>°C | Max.<br>°C                    | Min.<br>°C | Max.<br>°C                    | Min.<br>°C | Max.<br>°C                         | Min.<br>°C | Max.<br>°C                   | Min.<br>°C |
| Assoziationen:               |                              |            |                               |            |                               |            |                                    |            |                              |            |
| 1. Pineto-Caricet. humilis   | 25                           | -4         | 29                            | 0          | 27                            | -6         | —                                  | —          | —                            | —          |
| 2. Mug.-Ericet. Caricet. (E) | 25                           | -2         | 30                            | +1         | 27                            | -5         | 18                                 | -25        | 8                            | -23        |
| 3. Mug.-Ericet. Caricet. (S) | 25                           | -3         | 30                            | +1         | 27                            | -6         | 17                                 | -24        | 8                            | -23        |
| 4. Mug.-Ericet. hylocomiet.  | 25                           | -4         | 30                            | +0,5       | 28                            | -6         | 18                                 | -25        | 9                            | -24        |
| 5. Mug.-Rhod. hirs. hyloc.   | 24                           | -2         | 29                            | +2         | —                             | —          | 15                                 | -23        | —                            | —          |
| 6. Rhod.-Vacc.-Initiale      | 23                           | -4         | 28                            | -2         | —                             | —          | —                                  | -28        | 4                            | -28        |
| 7. Rhod.-Vacc. Cembretosum   | 24                           | -3         | 28                            | -1         | —                             | —          | —                                  | —          | —                            | —          |

*Figur 9*  
*Extremtemperaturen am Plan d. Posa Hügel.*  
 150 cm über dem Boden.

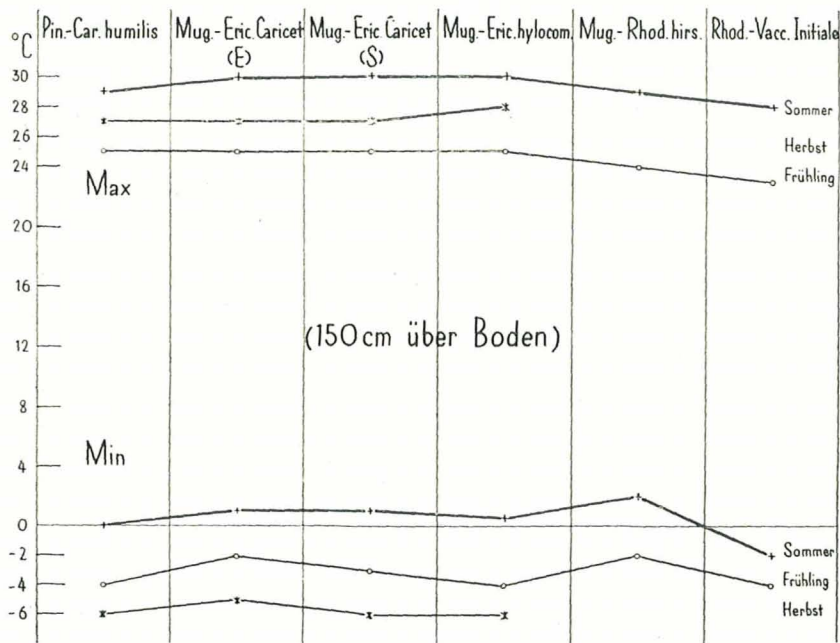


Tabelle 21

Extremtemperaturen in einigen Waldassoziationen des Fuorngebietes.  
Subalpine Stufe des Schweiz. Nationalparkes.  
Meßort: Bodenoberfläche.

| Meßperiode                                      | 20. Mai -<br>20. Juni<br>1941 |      | 20. Juni -<br>31. Juli<br>1941 |      | 31. Juli -<br>10. Okt.<br>1941 |      | 10. Okt. -<br>17. Januar<br>1941/42 |      | 17. Jan. -<br>4. März<br>1942 |      |
|---|-------------------------------|------|--------------------------------|------|--------------------------------|------|-------------------------------------|------|-------------------------------|------|
|   | Max.                          | Min. | Max.                           | Min. | Max.                           | Min. | Max.                                | Min. | Max.                          | Min. |
|   | °C                            | °C   | °C                             | °C   | °C                             | °C   | °C                                  | °C   | °C                            | °C   |
| 1. Piiieto-Caricet. liuinilis                   | 55                            | -2   | 53                             | +1   | 47                             | -6   | -                                   | -    | -                             | -    |
| 2. Mug.-Ericet. Caricet. (E)                    | 48                            | -2   | 49                             | -0,5 | 49                             | -6   | 41                                  | -9   | -                             | -7   |
| 3. Mug.-Ericet. Caricet. (S)                    | 50                            | -5   | 53                             | -2   | 55                             | -5   | 35                                  | -11  | 0                             | -17  |
| 4. Mug.-Ericet. hylocomiet.                     | 51                            | -1   | 45                             | 0    | -                              | -6   | 20                                  | -8   | -0,5                          | -7   |
| 5. Mug.-Rhod. hirs. hyloc.                      | 53                            | -3   | 53                             | -1   | 28                             | -5   | 15                                  | -8   | +2                            | -15  |
| 6. Rhod.-Vacc.-Initiale                         | 47                            | -2   | 42                             | -1   | 25                             | -4   | 9                                   | -5   | -0,5                          | -10  |
| 7. Rhod.-Vacc. Cembretosum                      | -                             | -    | -                              | -    | -                              | -    | -                                   | -    | -                             | -    |
| 8. Vermess.-Signal 2500m/M.<br>Piz Fuorn S-Hang | -                             | -    | 36                             | -5   | -                              | -    | -                                   | -    | -                             | -    |

Figur 10  
Extremtemperaturen am Plan d. Posa Hügel.  
Bodetioberfläche.

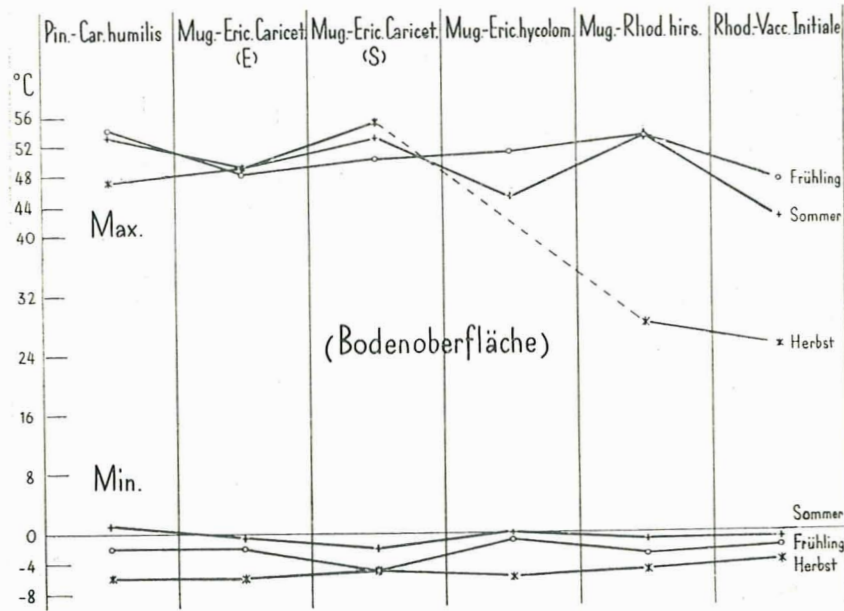




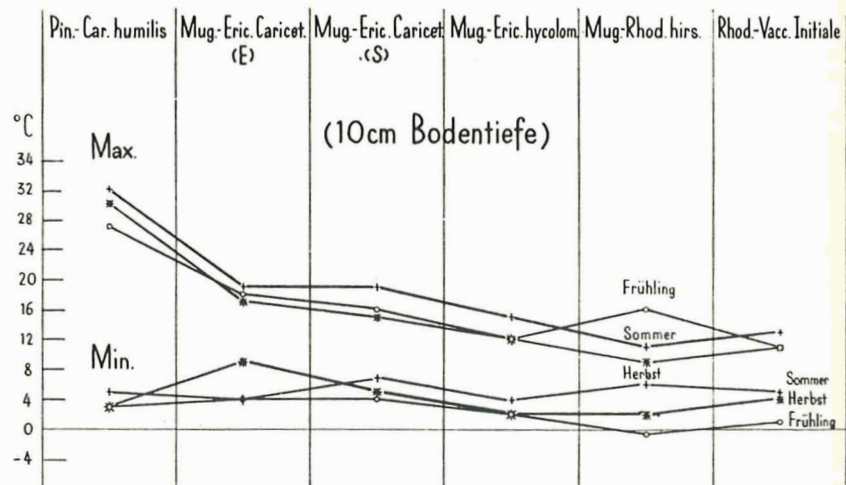
Tabelle 22

*Extremtemperaturen in einigen Waldassoziationen des Fuorngebietes.  
Subalpine Stufe des Schweiz. Nationalparkes.*

Meßort: in 10 cm Bodentiefe.

| Meßperiode                   | 20. Mai—<br>20. Juni<br>1941 |            | 20. Juni—<br>31. Juli<br>1941 |            | 31. Juli—<br>10. Okt.<br>1941 |            | 10. Okt.—<br>17. Januar<br>1941/42 |            |
|------------------------------|------------------------------|------------|-------------------------------|------------|-------------------------------|------------|------------------------------------|------------|
|                              | Max.<br>°C                   | Min.<br>°C | Max.<br>°C                    | Min.<br>°C | Max.<br>°C                    | Min.<br>°C | Max.<br>°C                         | Min.<br>°C |
| <b>Assoziationen:</b>        |                              |            |                               |            |                               |            |                                    |            |
| 1. Pineto-Caricet. humilis   | 27                           | +3         | 32                            | +5         | 30                            | +3         | —                                  | —          |
| 2. Mug.-Ericet. Caricet. (E) | 18                           | +4         | 19                            | +4         | 17                            | +9         | —                                  | —          |
| 3. Mug.-Ericet. Caricet. (S) | 17                           | +4         | 19                            | +7         | 15                            | +5         | 14                                 | -1         |
| 4. Mug.-Ericet. hylocomiet.  | 12                           | +2         | 15                            | +4         | 12                            | +2         | 7                                  | -3         |
| 5. Mug.-Rhod. hirs. hyloc.   | 16                           | -0,5       | 11                            | +6         | 9                             | +2         | 11                                 | -4         |
| 6. Rhod.-Vacc.-Initiale      | 11                           | +1         | 13                            | +5         | 11                            | +4         | —                                  | —          |
| 7. Rhod.-Vacc. Cenibretosum  | —                            | —          | —                             | —          | 12                            | +2         | —                                  | —          |

**Figur 11**  
*Extremtemperaturen am Plan d. Posa Hügel.  
10 cm Bodentiefe*



Aus den vorliegenden Beobachtungen können vorläufig folgende Schlüsse gezogen werden:

1. Die Maximal- und Minimaltemperaturen eignen sich zur Kennzeichnung des Bodenklimas nur bedingt. Die Zeitdauer ihrer Wirkung auf den Boden und die sich dort abspielenden Reaktionen sind unbestimmt. Selbst kurzfristige Bestrahlungen genügen an den kühlen Nordlagen, um die Temperatur auf einen Maximalstand zu bringen, wie er an den sonn-exponierten Südhängen kaum höher liegt, aber dort längere Zeiten hin-

durch anhält. Zur Kennzeichnung des Luftklimas sind die Maximal- und Minimaltemperaturen von Wert, da die Vegetation auf Temperatur-extreme durch Welken oder Erfrieren reagieren kann.

2. Die Extremtemperaturen sind in 150 cm Höhe ob Boden bei allen untersuchten Waldgesellschaften — ob Süd- oder Nordexposition — ziemlich ausgeglichen. (Vgl. Figur 9). Nur das nordgelegene, im untern Hangwinkel des Posa-Hügels entwickelte Rhodoreto-Vaccinietum (Initiale) weist etwas tiefere Minimaltemperaturen auf.
3. An der Bodenoberfläche zeigen die Minimaltemperaturen über die ganze Vegetationszeit in allen Waldgesellschaften eine auffallende Gleichmäßigkeit. Im Frühjahr und Sommer sind auch die Maximaltemperaturen ziemlich unabhängig vom Waldbestand. Einzig im Herbst sind sie in den beiden reifsten Vertretern der Sukzessionsreihe niedriger als bei den unreifern Gliedern. (Vgl. Figur 10.)
4. In 10 cm Bodentiefe zeigt sich eine deutliche Abhängigkeit der Maximaltemperaturen von der jeweiligen Waldgesellschaft. Die längere Wirkdauer höherer Einstrahlungstemperaturen am Südhang vermag den Boden bis auf 10 cm Tiefe deutlich zu erwärmen, die Maximaltemperatur steigt dort an. Am Nordhang ist die Wirkdauer zu kurz, das in 10 cm Tiefe liegende Thermometer vermag darauf nicht zu reagieren.

Die Minimaltemperaturen sind in 10 cm Bodentiefe bei allen Bodentypen, unabhängig von der Auslage zur Sonne, von gleicher Größenordnung.

5. Die maximalen Temperaturschwankungen während der Vegetationszeit betragen im Luftraum bei 150 cm Höhe 30—35°C. Es zeigt sich in der Schwankungsgröße keine starke Abhängigkeit von der jeweiligen Waldassoziatiön. An der Bodenoberfläche sind maximale Temperaturschwankungen von 51—61°C zu beobachten. Auch hier ist die Abhängigkeit vom Standort unbedeutend.

In 10 cm Bodentiefe ist die Temperaturschwankung stark vom jeweiligen Boden, resp. der zugehörigen Waldassoziatiön abhängig. Die größte Schwankung von 29°C ist im südlich gelegenen initialen Humuskarbonatboden des Pineto-Caricetum festzustellen, die geringste Schwankung von nur 8°C findet sich in der lokalhumidesten Initiale des Rhodoreto-Vaccinietum des Plan d. Posa Hügels.

Tabelle 23

Maximale Temperaturschwankungen während der Vegetationszeit  
20. Mai—10. Oktober 1941 in den verschiedenen Waldgesellschaften von  
Plan d. Posa.

| Waldgesellschaft                 | Luftraum<br>bei 150 cm | An Boden-<br>oberfläche | In 10 cm<br>Bodentiefe |
|----------------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| 1. Pineto Caricetum              | 35°C                   | 61°C                    | 29°C                   |
| 2. Mug.-Ericetum caricetosum (E) | 35°C                   | 55°C                    | 15°C                   |
| 3. Mug.-Ericetum caricetosum (S) | 36°C                   | 60°C                    | 14°C                   |
| 4. Mug.-Ericetum hylocomietosum  | 36°C                   | 57°C                    | 13°C                   |
| 5. Mug.-Rhodoretum hirsuti       | 31°C                   | 58°C                    | 16°C                   |
| 6. Rhodoreto-Vacc. Initiale      | 30°C                   | 51°C                    | 8°C                    |

ebietes.

10. Okt.—  
17. Januar  
1941/42

| Max.<br>°C | Min.<br>°C |
|------------|------------|
| —          | —          |
| —          | —          |
| 14         | -1         |
| 7          | -3         |
| 11         | -4         |
| —          | —          |
| —          | —          |

Initiale

immer  
erbst  
ühling

lisse ge-

ir Kenn-  
Wirkung  
estimmt.  
gen, um  
en son-  
ten hin-



## D. Beobachtungen über die Schneeverhältnisse in den verschiedenen Waldgesellschaften des Fuorngebietes.

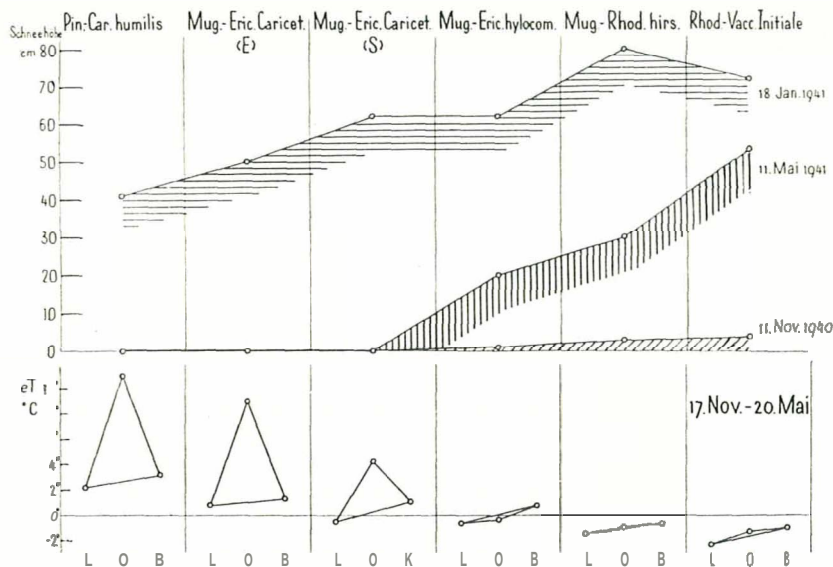
Während des Winters 1940/41 konnten zu verschiedenen Zeitpunkten die Schneeverhältnisse in den typischen Waldgesellschaften der näheren Umgebung von Il Fuorn beobachtet werden. Die Schneedecke ist bekanntlich für die darunter liegende Vegetation und für die Bodenthermik von großer Bedeutung. Aus zahlreichen Messungen des meteorologischen Observatoriums in Davos (Dr. Mörikofer) und der Schweiz. Schnee- und Lawinenkommission geht hervor, daß in der subalpinen und alpinen Stufe unter genügender Schneedecke die Temperatur der Bodenoberflächen um den Nullgrad-Wert schwankt. Diese Beobachtungen konnten wir im Fuorngebiet bestätigen, falls der Schneefall vor einer langdauernden Frostperiode den Boden mit der Schutzschicht überzieht und falls der Boden eine genügende Wärmeleitfähigkeit besitzt.

Im Winter 1940/41 fiel der Schnee im Fuorngebiet erst in der zweiten Hälfte November. Eine starke und anhaltende Frostperiode herrschte vor dem Schneefall. Der Boden war daher stark unterkühlt und 10 cm tief gefroren. Der Schnee lagerte sich in einer 70—100 cm mächtigen Schicht darauf.

Im Januar ergaben sich bei unsern Kontrollmessungen folgende Feststellungen:

1. **Böden mit mächtiger Humusaufgabe** blieben unter der Schneedecke gefroren und zeigten in 10 cm Bodentiefe  $eT$ -Werte bis  $-1,0^{\circ}C$  während des ganzen Winters. Die Wärmezuleitung aus dem Untergrund genügte bei der lockern Packung der  $rAC$  und  $rA_2$ -Schichten nicht, um die Bodenoberfläche auf Null Grad zu temperieren. Die isolierende Humusaufgabe hemmte noch zusätzlich diesen Wärmeanstieg.
2. Böden mit dichter Packung und wenig mächtigen oder fehlenden Humusaufgaben zeigten unter der Schneedecke eine nur sehr dünne Eisschicht. Unter dem Pineto-Caricetum humilis war der mineralische Rohboden nicht gefroren.
3. Über die Mächtigkeit der Schneedecke am 11. November 1940, 11. Januar 1941 und 18. Mai 1941 orientiert Figur 12. Die südlich gelegenen und wärmeren Waldgesellschaften aperten bis 6 Wochen früher aus als die nördlicher ausgelegten reiferen Waldgesellschaften des Mugeto-Rhodoretum hirsuti und des Rhodoretum-Vaccinietum. Diese frühhausapernden Standorte standen unter dem Einfluß des harten Frostes. Frostempfindliche Pflanzenarten werden dort geschädigt und in ihrer Entwicklung gehemmt. Die Oberhorizonte der humusarmen Dolomitrohböden werden durch das Kammeis gelockert und dadurch erosionsbereiter. Die Hangfestigung im Pineto-Ericetum wird durch diese Bodenfrostwirkung geschwächt. Der Zustand der Unreife bleibt diesem Boden dank dieser frostbedingten Oberflächenabhebung und Oberbodenabwanderung erhalten.
4. Die verschiedenen Ausaperzeiten der untersuchten Waldassoziationen spiegeln sich gut im Verlaufe der winterlichen  $eT$ -Werte wider. Man vergleiche hiezu Figur 12.
5. Die mechanischen Eigenschaften der Schneelagen in den verschiedenen Waldgesellschaften unterscheiden sich offensichtlich voneinander. Spezielle Untersuchungen hierüber werden ausgeführt. Die Homogenität der Schneedecke ist in den lichten Waldbeständen besser als in den

Figur 12  
Schneehöhen und Mitteltemperaturen am Plan d. Posa Hügel.



dichtern. Auf den Kroneneffekt der Bäume machten bereits früher H. PALLMANN und P. HAFFTER aufmerksam.<sup>1</sup>

### E. Zusammenfassung.

1. Eine neue Temperaturmeßmethode für ökologische und bodenkundliche Zwecke wird beschrieben. Sie basiert auf der temperaturabhängigen Inversionsgeschwindigkeit pH-konstanter Rohrzuckerlösungen. Die mit dieser physikalisch-chemischen Methode erhaltenen Temperaturwerte entsprechen sog. exponentiellen Temperaturmitteln ( $eT$ ). Diese liegen höher als die arithmetischen Temperaturmittel derselben Meßperiode und entsprechen der sog. wirksamen Mitteltemperatur. (Vgl. Abschnitt B.)
2. Die Genauigkeit und die Fehlerquellen der Methode werden untersucht. Die Reproduzierbarkeit der Werte ist ausgezeichnet, das Verfahren eignet sich als Feldmethode. (Vgl. Abschnitt B, spez. C.)
3. In kennzeichnenden Waldassoziationen des Fuorngebietes (Schweiz. Nationalpark) werden die wirksamen Mitteltemperaturen  $eT$  im Luftraum, an der Bodenoberfläche und in 10 cm Bodentiefe während eines Jahres gemessen.
4. Die  $eT$ -Werte erweisen sich als gute Kennzahlen zur Beschreibung des Lokalklimas einer bestimmten Pflanzengesellschaft und ihres Wurzelortes. Die verschiedenen Lokalklimaten sind für die Ausbildung bestimmter Pflanzengesellschaften und deren Böden von großem Einfluß. Zwischen

<sup>1</sup> H. PALLMANN u. P. HAFFTER: Ber. d. Schweiz. Bot. Ges. 42, 1933 (spez. S. 401—402).



den **eT-Werten** und der Bodenbildung bestehen enge Zusammenhänge. (Vgl. Abschnitt B, II.)

5. Die **Extremtemperaturen** wurden in den Waldgesellschaften des Fuorn im Luftraum, an der Bodenoberfläche und in 10 cm Bodentiefe neben den **eT-Werten** laufend gemessen. Sie eignen sich zur Kennzeichnung des Bodenklimas nur bedingt. Zur Beschreibung des Luftklimas sind die **Maximal- und Minimaltemperaturen** von Wert, da die Vegetation auf Temperaturextreme durch Welken oder Erfrieren reagieren kann. Während der Vegetationszeit des Jahres 1941 wurden an der Bodenoberfläche maximale Temperaturschwankungen von  $61^{\circ}\text{C}$  gemessen. Die Temperaturschwankungen sind an der Bodenoberfläche **am** größten, sie erscheinen kleiner im Luftraum und erweisen sich naturgemäß im Boden am geringsten. (Vgl. Abschnitt C.)
6. Während des Winters **1940/41** wurden die **Schneeverhältnisse** in den typischen Waldgesellschaften des Fuorngebietes beobachtet. Die Dauer, Mächtigkeit und mechanische Beschaffenheit der Schneedecken waren in den verschiedenen Waldgesellschaften recht unterschiedlich. Zwischen den Mitteltemperaturen **eT** und den Schneeverhältnissen bestehen die erwarteten Zusammenhänge. (Vgl. Abschnitt D.)
7. Die hier mitgeteilten Beobachtungen erfassen nur einen engen Ausschnitt des Lokalklimas. Weitere Untersuchungen müssen sie ergänzen.

Die Verfasser danken der wissenschaftlichen Nationalparkkommission für die finanzielle Unterstützung dieser Untersuchungen.