Zeitschrift: Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft = Bulletin de la Société Botanique Suisse

Herausgeber: Schweizerische Botanische Gesellschaft

Band: 50 (1940)

Artikel: Eine neue Methode der Temperaturmessung bei ökologischen oder bodenkundlichen Untersuchungen

Autor: Pallmann, H. / Eichenberger, E. / Hasler, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-34260

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: 20.02.2026

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

Eine neue Methode der Temperaturmessung bei ökologischen oder bodenkundlichen Untersuchungen.

Von *H. Pallmann, E. Eichenberger* und *A. Hasler.*

(Agrikulturchemisches Institut der E. T. H. Zürich.)

Eingegangen am 10. Februar 1940.

Inhaltsverzeichnis.

Seite

A. Einleitung 338
B. Das Prinzip der neuen Temperaturmessung 340
C. Die Herstellung der Zucker-Pufferlösungen für die Inversions- bzw. Temperaturmessungen 342
I. Herstellung der verschiedenen Lösungen 343
II. Herstellung der Inversionsmischung (Zucker-Pufferlösung) von pH = 2,90 343
D. Die experimentelle Bestimmung der Inversionskonstanten K_T im langfristigen Thermostatenversuch 345
I. Mitteltemperaturen der Thermostaten und zugehörige Inversionskonstanten K_T 345
II. Zusammenhang zwischen den Inversionskonstanten und der Temperatur 347
III. Berechnung der Konstant-Temperaturen T aus den zugehörigen Inversionskonstanten K_T 349
E. Die Inversions-Konstanten K_T der Zucker-Pufferlösungen bei veränderlichen Temperaturen. Die sog. eT-Zahl 350
I. Mathematische Behandlung des Inversionsverlaufes bei veränderlichen Temperaturen 351
II. Was bedeutet der Begriff «wirksame» Mitteltemperatur? Die sog. exponentielle Mitteltemperatur oder die eT-Zahl 352
III. Experimentelle Nachprüfung der Theorie 352
F. Messung der eT-Zahlen in den verschiedenen Gesellschaften des subalpinen Bergföhren-Waldes 354
I. Auslegen der Zucker-Pufferampullen im Gelände 354
II. Einsammeln, Verpacken und Rücksenden der Ampullen am Ende der Messperiode 355
III. Resultate der Messungen 355
a) Beispiel einer eT-Bestimmung 355
b) Die eT-Zahlen in den verschiedenen Waldgesellschaften 356
G. Diskussion der eT-Zahl im Lichte der RGT-Regel 356
H. Zusammenfassung 358
Literatur 362

A. Einleitung.

Die Temperatur spielt für das Reaktionsgeschehen in der belebten und unbelebten Natur die Rolle eines Hauptfaktors. Sie bestimmt unter vergleichbaren Verhältnissen die Geschwindigkeit chemischer Reaktionsabläufe. Bei vorwiegend einseitig verlaufenden biologischen oder anorganischen Reaktionen bedingt sie weitgehend das quantitative Reaktionsausmass.

Die Temperatur ist einer der wichtigsten Wachstumsfaktoren.[1—6] Die Assimilations- und Atmungsintensität grüner Pflanzen ist temperaturabhängig. Der Ernteertrag wird bei sonst gleichbleibenden Bedingungen vom Temperaturverlauf während der Vegetationszeit beeinflusst. Die mikrobielle Tätigkeit folgt bestimmten systembedingten Temperaturgesetzen. Die verschiedenen Pflanzengesellschaften stellen ihre eigenen Ansprüche an den Wärmehaushalt des Standortes.

Die Intensität J der Verwitterung anorganischer Bodenbildner oder der Humifizierungsvorgänge befolgt — genügend Wasser vorausgesetzt — das Gesetz $J = k \cdot T^n$. Die regionale Verteilung der Bodentypen hängt eng mit den Temperaturverhältnissen an der Erdoberfläche zusammen.

Mit der Feststellung der Temperatur und des Temperaturverlaufes über bestimmte Zeitperioden befassen sich neben den Klimatologen auch die Biologen und Bodenkundler. Es stehen ihnen hierfür eine grosse Zahl erprobter Methoden zur Verfügung.

a) Zur Bestimmung von *Temperatur-Einzelwerten* dienen beispielsweise *Quecksilberthermometer, Thermoelemente* oder *elektrische Widerstandsthermometer* in verschiedenen, den besondern Messzwecken und Messobjekten angepassten Ausführungen.

b) Die *kontinuierliche Messung des Temperaturverlaufes* über eine bestimmte Messperiode wird mit automatisch aufzeichnenden Registrierinstrumenten ausgeführt. Dazu bewährten sich: *Thermographen, Thermoelemente*[7] und *Widerstandsthermometer mit galvanometrischer Punktaufzeichnung.* Aus den selbsttätig aufgezeichneten Temperaturkurven können die arithmetischen Mitteltemperaturen über bestimmte Zeiten planimetrisch bestimmt werden.

c) Für die *direkte Temperatur-Mittelwertmessung* hat in neuerer Zeit E. Tamm[8] (Berlin) die sog. *Elektrolytzähler* eingeführt. Neben diesem Elektrolytzähler liegt im Stromkreis ein elektrisches Pt-Widerstandsthermometer, dessen Widerstand sich bei einer Temperaturerhöhung vergrössert. Die bei der Elektrolyse unter der konstanten Spannung von 4,00 Volt entwickelte Gasmenge (Volumen) steht über

---

[1—6] Siehe Literaturverzeichnis.
[7] Siehe Literaturverzeichnis 4: S. 464—473.
[8] Siehe Literaturverzeichnis 4 und 6: S. 548—551.

den erwähnten Widerstand des Pt-Widerstandthermometers mit der Temperatur des Messortes im Zusammenhang. Aus der Höhe der im Elektrolytzähler zwischen zwei Ableseterminen abgeschiedenen Gassäule kann die Mitteltemperatur aus Eichtabellen direkt abgelesen werden.

Bei der Verwendung der sehr spannungsempfindlichen Elektrolytzähler muss die angelegte, dem Lichtnetz entnommene Spannung sehr genau überprüft und reguliert werden. Als Zusatzinstrumente dienen: Konstanttransformatoren, Gleichrichter, Ampères- und Voltmesser, Regulierwiderstände und Pufferbatterien. Da die Elektrolytzähler auf Grund der Thermometer- und Brückencharakteristik nur über einen gewissen begrenzten Temperaturbereich hinweg je Grad C proportionale Gasmengen ausscheiden, sind in den Brückenschaltungen für die verschiedenen Jahreszeiten bestimmte Nullpunktspulen vorgesehen, von denen die jeweilige Gasausscheidung und somit auch Temperaturberechnung ausgeht. (E. Tamm.[1])

Für Biologen und Bodenkundler haben Temperatur-Einzelwertmessungen nach *a)* nur bedingten und orientierenden Wert. Sie sollten durch die kontinuierliche Feststellung des Temperaturverlaufes oder durch die Bestimmung der Mitteltemperaturen über gewisse Messperioden vervollständigt werden. Die Temperatur-Einzelwertmessung nimmt trotz einfacher Methodik relativ viel Zeit in Anspruch, sobald weit auseinanderliegende und zahlreiche Messorte kontrolliert werden müssen.

Die Temperaturmessung mit automatischen Registrierinstrumenten nach *b)* und *c)* besitzt grosse Vorteile. Die Temperaturen werden selbsttätig an den verschiedenen Messorten über gleiche Zeitspannen bestimmt, so dass ein späterer Vergleich der Resultate vorgenommen werden kann. Diesen Vorteilen stehen aber eine Reihe schwerer Nachteile gegenüber: die Anschaffung der erforderlichen Apparaturen erheischt grosse finanzielle Aufwendungen. Bei einer grösseren Zahl von Messorten, wie sie bei pflanzensoziologischen und bodenkundlichen Untersuchungen erwünscht sind, werden die Anschaffungskosten unerschwinglich. Die kostspieligen Apparate sind relativ empfindlich und erfordern ständige Ueberwachung.

Für den im Gelände — im Flachland oder im Gebirge — arbeitenden Biologen oder Bodenkundler kommen daher diese erwähnten Verfahren *b)* und *c)* nur ausnahmsweise in Frage.

Die neue, im nachstehenden entwickelte Methode der Temperaturmessung liefert ebenfalls Mitteltemperaturen über bestimmte Zeitperioden. Die im Gelände ausgelegten « Temperaturregistratoren » bestehen aus kleinen, mit Zucker-Pufferlösungen gefüllten Glasampullen, die frei oder in Metallhülsen verwendet werden. Die Gestehungskosten einer solchen betriebsfertigen Messampulle liegen unter einem Franken. Sie können im Bodenprofil vergraben, auf der Bodenoberfläche verlegt oder

---

[1] Siehe Literaturverzeichnis 6: S. 261.

im Luftraum placiert werden. Die Mitteltemperatur über ein bestimmtes Zeitintervall wird aus der Inversionsgeschwindigkeit des in einer Pufferlösung gelösten Rohrzuckers polarimetrisch bestimmt.

Die im Gelände ausgelegten Messampullen erfordern keine Wartung, sie sind weitgehend frost- und hitzeresistent. Ihr tiefer Gestehungspreis ermöglicht es, die Temperatur an zahlreichen Messorten zu bestimmen. Das Prinzip und die Eichung der Methode, die Bedeutung der gemessenen Mitteltemperatur, die Genauigkeit und Anwendbarkeit des neuen Verfahrens werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

B. Das Prinzip der neuen Temperaturmessung.

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

$$\text{Rohrzucker — invertiert} \rightarrow \underbrace{\text{Traubenzucker} + \text{Fruchtzucker}}_{\text{Invertzucker}}$$

Bei einer konstanten Wasserstoffionenkonzentration der Zuckerlösung wird die Inversionsgeschwindigkeit durch die Temperatur sehr stark beeinflusst. Je höher die Temperatur ansteigt, um so rascher erfolgt die Aufspaltung des Rohrzuckers in seine beiden Komponenten.

Die Inversionsgeschwindigkeit des Rohrzuckers befolgt bei konstanter Temperatur und innerhalb nicht zu weiter pH-Spannen die Gleichung :

$$1) \qquad \frac{dx}{dt} = K_T \cdot H\,(A - x)$$

wobei bedeuten : A = Rohrzuckerkonzentration zur Zeit $t = 0$
x = Invertzucker zur Zeit t
$A - x$ = Verbliebener Rohrzucker zur Zeit t
t = Zeit (bei unsern Versuchen in Tagen)
K_T = Inversionskonstante für die Temperatur T
H = Wasserstoffionenkonzentration der Lösung.

Die stark temperaturabhängige Inversionskonstante K_T lässt sich für eine bestimmte Temperatur T aus der integrierten Gleichung 1 berechnen :

$$2) \qquad K_T = \frac{1}{H \cdot t} \log \frac{A}{A - x}$$

Die Bedeutung der in Gleichung 2 auftretenden Grössen ist sub 1 angegeben. An Stelle des natürlichen Logarithmus wird der Briggsche dekadische Logarithmus verwendet.

Zur genauen Bestimmung der Inversionskonstanten für die verschiedenen Temperaturen werden sterile, in Glasampullen eingeschmol-

zene Zucker-Zitratpufferlösungen von pH 2,90 in Thermostaten während einiger Monate aufgestellt. Nach verschiedenen Zeiten t werden die Inversionsbeträge polarisationsoptisch ermittelt. Die polarimetrische Messung des Inversionsablaufes ist rasch und sehr genau durchführbar. Sie gründet sich auf die optische Aktivität des Rohrzuckers und des Invertzuckers. Diese beiden Komponenten besitzen nach Vorzeichen und Ausmass stark unterschiedliche spezifische Drehungen.

Zur polarimetrischen Messung des Inversionsbetrages lässt sich Gleichung 2 umformen :

$$3) \qquad K_T = \frac{1}{H \cdot t} \log \frac{(\alpha_0 - \beta_0)}{(\alpha - \beta_0)}$$

worin nun bedeuten :

α_0 = opt. Drehwinkel des Rohrzuckers zur Zeit $t = 0$ (positiv)
β_0 = opt. Drehwinkel des Invertzuckers zur Zeit $t = \infty$ (negativ)
α = opt. Drehwinkel der partiell invertierten Zuckerlösung zur Zeit t.

In der Tabelle 1 und in Figur 1 ist der Inversionsablauf der Rohrzucker-Zitratpufferlösungen bei verschiedenen Konstanttemperaturen dargestellt. Unter den gewählten Versuchsbedingungen (pH der Lösungen = 2,90, Rohrzuckerkonzentration zur Zeit $t = 0$ gleich 36,24 g in 100 ccm Lösung) nimmt die Rohrzuckerkonzentration bei tiefen Temperaturen nur sehr langsam, bei höherwerdenden Temperaturen rasch ab. Auf dieser starken Abhängigkeit der Rohrzuckerinversionsgeschwindigkeit von der Temperatur basiert die hier beschriebene neue Temperaturmessung. Die rechnerische Behandlung der Temperaturmessung und deren Diskussion werden weiter unten vorgenommen (vgl. Abschnitte E und F).

Tabelle 1.

Die Inversion des Rohrzuckers in einer Zitratpufferlösung von pH 2,90 als Funktion von Zeit und Temperatur.

Temperatur °C	0 Tage (A—x)	10 Tage (A—x)	50 Tage (A—x)	100 Tage (A—x)	200 Tage (A—x)
— 0,3	36,24	36,18	35,94	35,64	35,04
+ 5,4	36,24	36,08	35,47	34,71	33,26
+ 9,0	36,24	35,96	34,86	33,53	31,01
12,5	36,24	35,74	33,81	31,55	27,46
15,2	36,24	35,46	32,53	29,19	23,51
18,3	36,24	34,96	30,26	25,27	17,62
21,3	36,24	34,16	26,96	20,06	11,10
24,4	36,24	32,84	22,14	13,52	5,05
27,3	36,24	30,91	16,37	7,39	1,51
32,9	36,24	24,29	4,90	0,66	—

(A—x) = verbleibender Rohrzucker nach der Zeit t.
Die Temperaturen entsprechen den Thermostaten-Mitteltemperaturen.

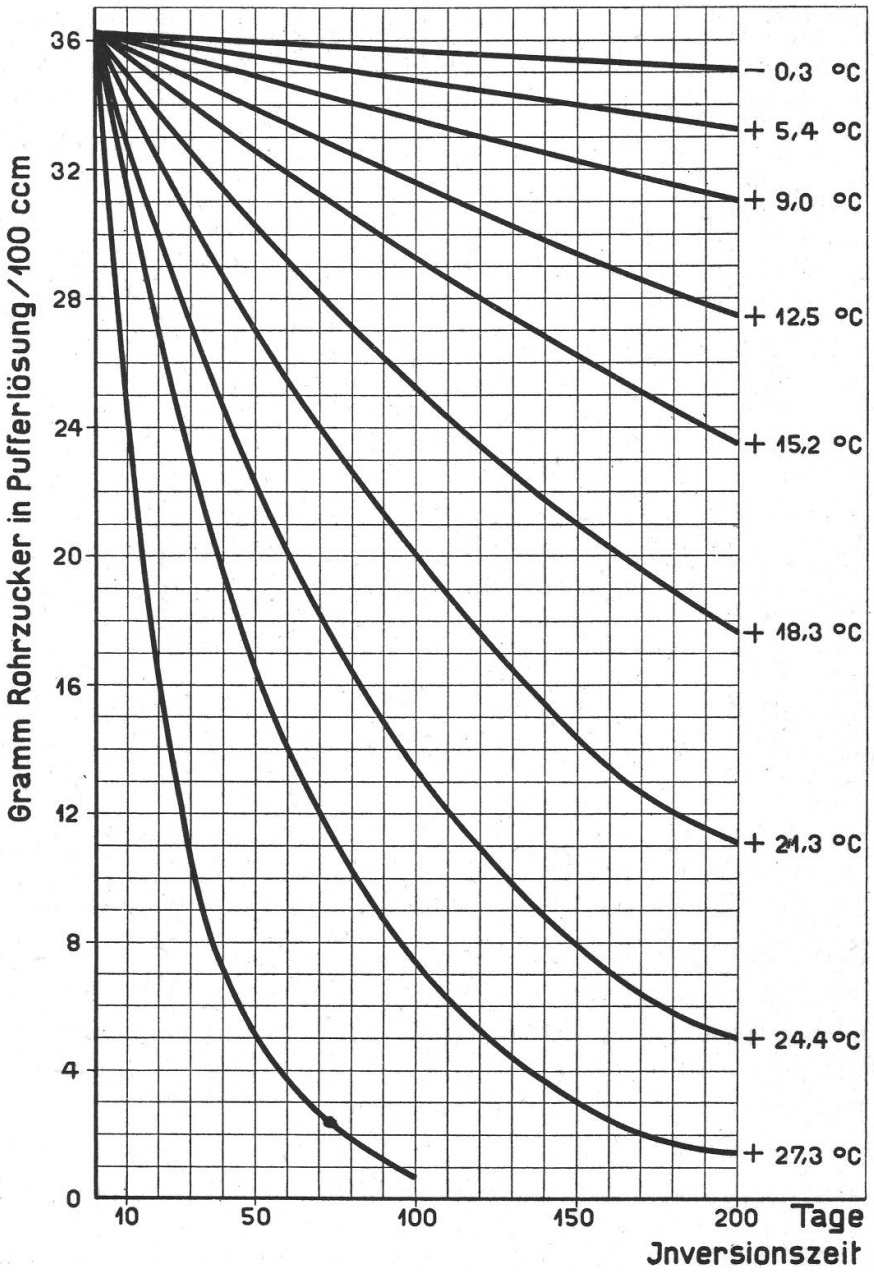


Fig. 1.
Rohrzuckerinversion als Funktion von Zeit und Temperatur.
(Zucker-Pufferlösung pH = 2,90.)

C. Die Herstellung der Zucker-Pufferlösungen für die Inversions- bzw. Temperaturmessungen.

Zur Konstanthaltung einer definierten Wasserstoffionenkonzentration H wird der Rohrzucker in einer Zitrat/HCl-Pufferlösung von pH 3,0 aufgelöst. Die keimfreie Zucker-Pufferlösung wird in sterile Glasampullen von 20—50 ccm Fassungsvermögen eingeschmolzen. Die im nachstehenden untersuchte Zucker-Pufferlösung besitzt bei 18° C ein pH = 2,90.

Zur Herstellung der Zucker-Pufferlösungen dienen drei Lösungen:

1. Zitratlösung
2. n/5 Salzsäurelösung
3. Rohrzuckerlösung.

I. Herstellung der verschiedenen Lösungen.

1. *Zitratlösung* (erste Pufferkomponente): 42,016 g Zitronensäure nach S. P. L. Sörensen werden in 200 ccm 2-normaler NaOH gelöst und hierauf mit destilliertem Wasser auf 1000 ccm Lösung aufgefüllt.
2. *Salzsäurelösung* (zweite Pufferkomponente): Chemisch reine Salzsäure wird zu einer genau n/5 Salzsäurelösung verdünnt. Der eigentliche *Zitrat/HCl-Puffer* wird durch Mischung der beiden Komponenten 1 und 2 hergestellt. Man fügt zu 404 ccm Zitratlösung 596 ccm n/5 Salzsäure. Die Mischung umfasst 1000 ccm und weist ein pH von 3,0 (18° C) auf.
3. *Rohrzuckerlösung:* 1500 g reinste Saccharose (Sucrose oder Rohrzucker) werden in 1000 ccm destilliertem Wasser gelöst. Durch das Eigenvolumen des gelösten Zuckers steigt das Lösungsvolumen auf ca. 1900 ccm an. Der erhaltene Zuckersirup wird durch ein gewöhnliches Faltenfilter filtriert. Die Filtration der viskosen Lösung dauert einige Stunden.

II. Herstellung der Inversionsmischung (Zucker-Pufferlösung) von pH = 2,90.

Die zur Aufnahme der sterilen Zucker-Pufferlösung bestimmten Glasampullen (20—50 ccm Inhalt) werden durch kleine Wattepfröpfchen verschlossen und im elektrischen Trockenschrank während drei Stunden auf 140° C erhitzt.

In einem speziellen Doppelkolbenapparat wird die Sterilisation der Zitrat/HCl-Pufferlösung und der Zuckerlösung getrennt, aber gleichzeitig vorgenommen.

In die beiden Glasrundkolben des Sterilisators werden mit Hilfe langstieliger Trichter vorsichtig *gleiche Volumina* Rohrzuckerlösung bzw. Zitrat/HCl-Pufferlösung eingefüllt. Man achte auf das peinliche Reinhalten des gemeinsamen Apparatehalses. Eine Vermischung der beiden Lösungen ist unbedingt zu vermeiden. Der gefüllte zweiteilige Glassterilisator wird durch einen mit Pergamentpapier abgedeckten Wattebausch verschlossen und im Dampfautoklaven während 60 Minuten auf 115° C erhitzt. Die derart sterilisierten Lösungen werden möglichst rasch abgekühlt, unter ständiger Vermeidung einer Vermischung der beiden Komponenten.

Die sterilisierten Glasampullen werden hierauf für die Füllung bereitgestellt. Sobald alle Vorbereitungen für das Abfüllen beendigt sind, giesst man durch Drehen des Glassterilisators den kalten Zitrat/HCl-Puffer zur kalten Zuckerlösung und mischt durch kräftige Drehbewegung durch. Diese Mischung muss sorgfältig und gründlich ausgeführt werden. Nachdem die Pergamenthülle vom Apparatehals entfernt ist, kann die Zucker-Pufferlösung durch ein seitlich am Glasapparat mittels

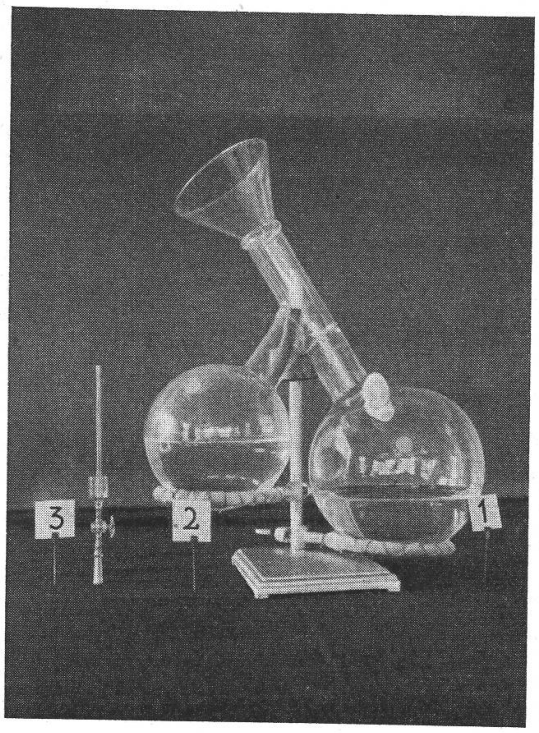


Fig. 2.
Doppelkolbensterilisator für die getrennte Sterilisation von Rohrzucker- (1) und Pufferlösung (2). Ampullenabfüllröhre (3).

Schliffen aufsteckbares und mit Glashahn verschliessbares Glasröhrchen (vgl. Fig. 3) in die Ampullen eingefüllt werden. Das zur Ampullenfüllung dienende Glasröhrchen lag in 96 % Alkohol aufbewahrt und ist auf diese Weise steril. Den ersten, durch die alkoholbenetzte Glasröhre durchgehenden Lösungsanteil verwirft man. Die Ampullen werden bis auf ⅔ ihres Volumens aufgefüllt.

Nach dem Abfüllen der Ampullen werden diese sofort über dem Gebläse zugeschmolzen. Die Ampullenstiele werden vorteilhaft nicht zu kurz abgeschmolzen, da sie auf diese Weise noch ein oder mehrere Male verwendet werden können. Bei den billigeren Serienampullen (Jenaer Fiolax-Ampullen) des Handels spielt dies keine Rolle.

Die verschlossenen Ampullen werden bis zu ihrer Verwendung in einem Kühlschrank bei —2 bis —3° C aufbewahrt. Die Aufbewahrungszeit bis zur Verwendung soll 10 Tage nicht überschreiten. Die gebrauchsfertigen Ampullen werden mittels kleiner Klebpapierstreifen numeriert oder mit Fettstift bezeichnet.

Der experimentell ermittelte Gefrierpunkt des Ampulleninhalts liegt bei —4,7° C. Die gefrorene Füllung hat griessig-breiige Konsistenz. Ein Zersprengen der Ampullen konnte selbst bei —15° C nicht beobachtet werden. Die zugeschmolzenen Ampullen sind auch gegen Drucksteigerungen bei höheren Temperaturen ziemlich widerstandsfest. Im kochenden Wasserbad konnte nie ein Platzen der Ampullen beobachtet werden.

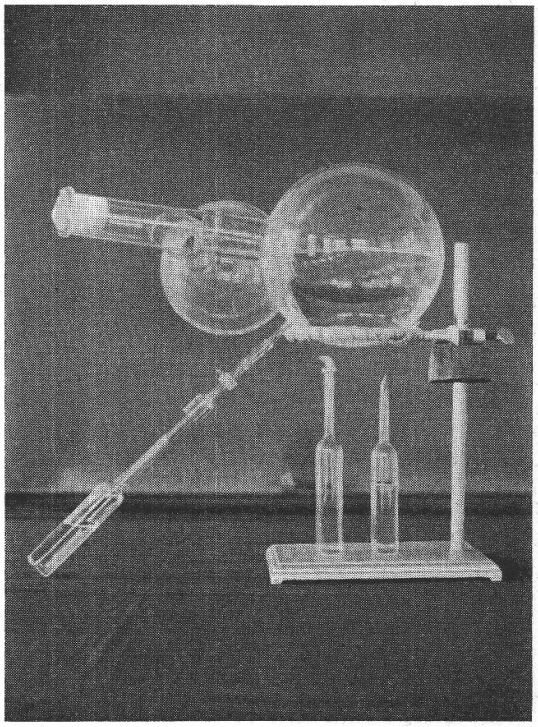


Fig. 3.
Doppelkolbensterilisator in Abfüllstellung. Zucker- und Pufferlösungen sind (nach Abkühlung) vermischt.

D. Die experimentelle Bestimmung der Inversionskonstanten K_T im langfristigen Thermostatenversuch.

Durch das freundliche Entgegenkommen des Herrn Prof. Dr. E. Gäumann (Institut für spezielle Botanik an der E. T. H.) konnten für die langfristigen Inversionsversuche die Thermostaten des Versuchsgewächshauses benützt werden. Wir sprechen Herrn Gäumann dafür unsern Dank aus.

I. Mitteltemperaturen der Thermostaten und zugehörige Inversionskonstanten K_T

In die verschiedenen Thermostaten wurden je 6 Ampullen mit Zucker-Pufferlösung gebracht. Je nach der Temperatur verblieben sie darin 67 bis 120 Tage. In kurzen Zeitabständen wurden die Thermostatentemperaturen kontrolliert und aus den Einzeltemperaturen die entsprechenden Mittelwerte berechnet. Die Temperaturschwankungen erwiesen sich als relativ klein. Nach bestimmten Zeiten t wurden den

verschiedenen Thermostaten je eine Ampulle entnommen und deren Inhalt im thermokonstanten Messraum bei 20° C mit dem Schmidt-Haensch-Apparat im Na-Licht polarimetriert. Jedem Mittelwert der Inversionskonstanten K_T liegen mehrere Einzelwerte zugrunde.

In nachstehender Tabelle wird eine Versuchsserie auszugsweise wiedergegeben:

Tabelle 2.

K_T-Einzelwerte und K_T-Mittelwert bei der Rohrzuckerinversion bei 24,4° C.

Inversionsdauer in Tagen	Beob. K_T-Einzelwerte	K_T-Mittelwert für 24,4° C ± 0,06° C
11	3,328	
19	3,322	
29	3,365	**3,334 ± 0,0081**
67	3,335	
99	3,320	

Die Mittelwerte von Temperatur und Inversionskonstanten der verschiedenen Inversionsserien sind in Tabelle 3 vereinigt:

Tabelle 3.

Temperaturmittel der verschiedenen Thermostaten und Mittelwerte der entsprechenden Inversionskonstanten.

(Zucker-Zitratpufferlösungen von pH 2,90.)

Thermostaten-Temperaturmittel	Mittlerer Fehler [1]	Inversionskonstanten Mittelwert	Mittlerer Fehler [1]
—0,3° C	±0,05° C	0,0548	±0,0021
+5,4° C	±0,05° C	0,1416	±0,0027
9,0° C	±0,08° C	0,2682	±0,0020
12,5° C	±0,09° C	0,5195	±0,0051
15,2° C	±0,14° C	0,7485	±0,0064
18,3° C	±0,05° C	1,2876	±0,0117
21,3° C	±0,08° C	2,0930	±0,0082
24,4° C	±0,06° C	3,3338	±0,0081
27,3° C	±0,11° C	5,3021	±0,0265
32,9° C	±0,05° C	11,3370	±0,0542
37,7° C	±0,19° C	22,2370	±0,4244

[1] Der mittlere Fehler des Mittelwertes berechnet sich nach Gleichung:

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

Der starke Einfluss der Temperatur auf die Aufspaltungsgeschwindigkeit des Rohrzuckers geht deutlich aus den oben mitgeteilten Inversionskonstanten hervor. Die Konstanz der Werte innerhalb eines

bestimmten Temperaturversuches ist gut. Einzig bei 37,7° C schwanken die Einzel-K_T-Werte etwas stärker.

II. Zusammenhang zwischen den Inversionskonstanten und der Temperatur.

Zwischen der Mitteltemperatur der Thermostaten und den experimentell bestimmten Inversionskonstanten besteht ein einfacher Zusammenhang, der durch nachstehende Gleichung 4 ersichtlich ist:

4) $\log \overline{K_T} = B + m \cdot T$

Hierin sind:

$\overline{K_T}$ = Mittelwert der jeweiligen Inversionskonstanten K_T
B und m = Konstanten der Geradengleichung 4
T = Temperaturmittel der entsprechenden Thermostaten.

Die Konstanten B und m der Geraden wurden nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate berechnet. Aus den berechneten B- und m-Werten werden die sog. ausgeglichenen oder « berechneten » Inversionskonstanten (vgl. Tabellen 4 und 5) bestimmt.

Für das Temperaturgebiet[1]: —2° C bis 28° C gelten:
B = —1,2200 und m = 0,0720 (für pH 2,90).
Für das Temperaturgebiet: 28° C bis 40° C gelten:
B′ = —0,9064 und m = 0,0597 (für pH 2,90).

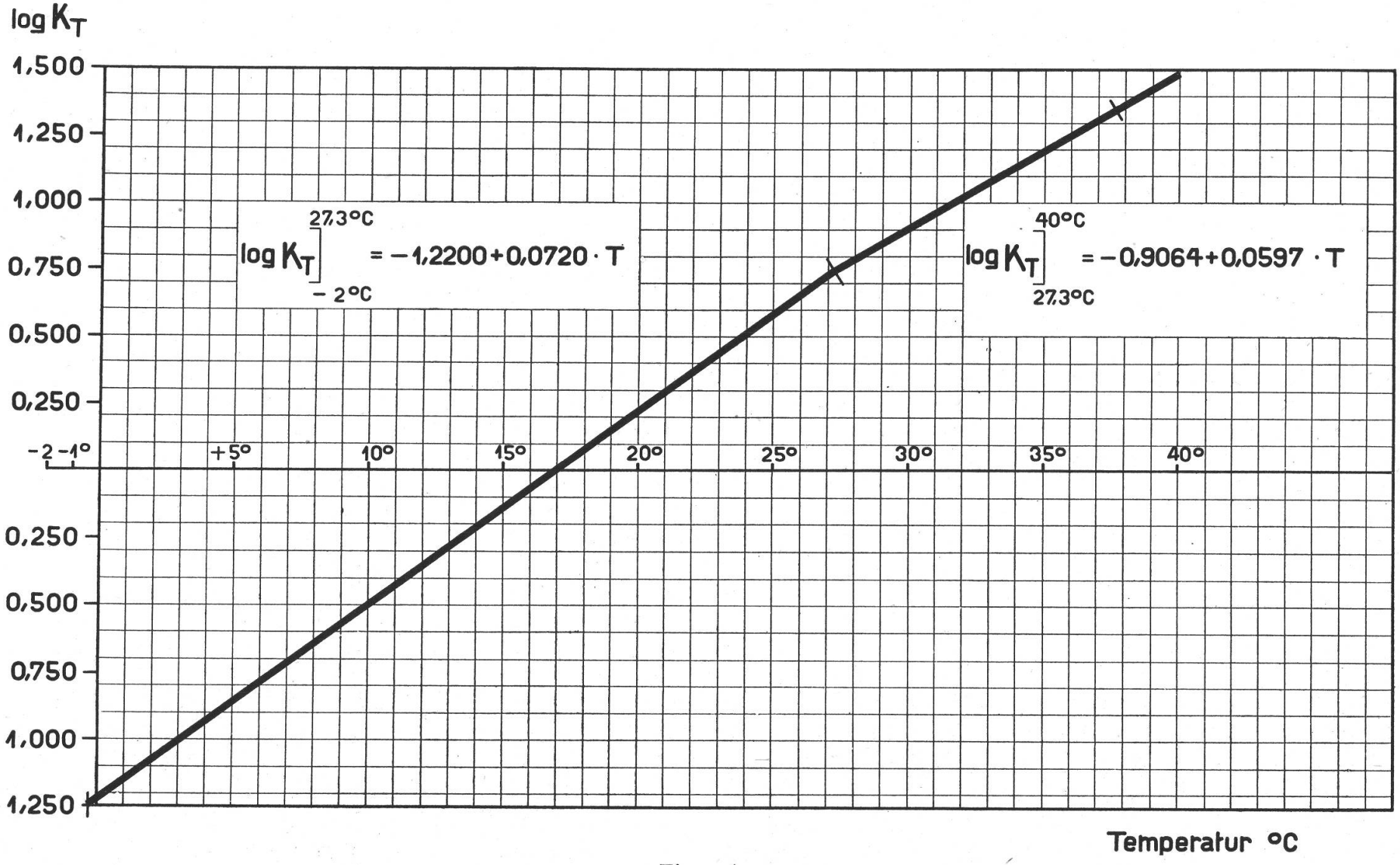
Wie Tab. 4 und 5 zeigen, stimmen die ausgeglichenen und beobachteten K_T-Werte gut miteinander überein.

Die beiden Geraden sind in Fig. 4 eingezeichnet.

Diese Figur dient zur graphischen Auswertung der Messungen (vgl. Abschnitt F III).

---

[1] Die etwas kompliziertere Gleichung: 10 g $K_T = B + a.T + b.T^2$ gilt ausgezeichnet für das ganze Temperaturintervall von —2° C bis über 40° C. Die Konstantenwerte (gültig für pH 2,5 und 2,9) sind: B = 1,24552, a = + 0,07853, b = — 0,0002585. Zur graphischen Bestimmung der eT-Zahl können vervielfältigte log K_T-eT-Kurven von uns geliefert werden.



Figur 4.
Zusammenhang zwischen Inversionskonstanten K_T und der Temperatur T.
(Zucker-Pufferlösung pH 2,90.)

Tabelle 4.

Berechnung der sog. ausgeglichenen Inversionskonstanten K_T für die verschiedenen Temperaturen nach der Gleichung:

$$\log K_T = B + m \cdot T$$

$$B = -1{,}2200 \qquad m = 0{,}0720$$

(Temperaturgebiet —2,0° C bis 28° C).

Temperatur-mittel	Inversions-konstanten K_T beobachtet	Inversions-konstanten K_T berechnet
—0,3° C	0,0548	0,0573
+5,4° C	0,1461	0,1474
+9,0° C	0,2682	0,2678
12,5° C	0,5195	0,4782
15,2° C	0,7485	0,7481
18,3° C	1,2876	1,2504
21,3° C	2,0930	2,0557
24,4° C	3,3338	3,4361
27,3° C	5,3021	5,5562

Tabelle 5.

Berechnung der sog. ausgeglichenen Inversionskonstanten K_T für das Temperaturgebiet von 28° C bis 40° C nach der Gleichung:

$$\log K_T = B' + m' \cdot T$$

$$B' = -0{,}9064 \qquad m' = 0{,}0597.$$

Temperatur-mittel	K_T beobachtet	K_T ausgeglichen (berechnet)
27,3° C	5,3021	5,2925
32,9° C	11,3370	11,4300
37,7° C	22,2370	22,1105

III. Berechnung der Konstanttemperaturen T aus den zugehörigen Inversionskonstanten K_T

Die bisher diskutierten Versuche wurden alle bei sog. Konstanttemperaturen ausgeführt. Die Berechnung dieser Konstanttemperaturen aus Gleichung 4

4) $$\log K_T = B + m \cdot T$$

über die zwei Temperaturintervalle kann zur Prüfung der Methodenempfindlichkeit ausgeführt werden.

In nachstehender Tabelle 6 wurden die Temperaturen aus den beobachteten K_T und den ausgeglichenen B- und m-Werten berechnet.

Gleichung 4 wird hierfür umgeformt:

5) $$T = \frac{\log K_T - B}{m}$$

Tabelle 6.

Berechnung der Konstanttemperaturen aus den beobachteten Inversionskonstanten K_T und den Werten B und m (Gleichung 5).
(Zucker-Pufferlösung von pH 2,90.)

Mitteltemperatur der Thermostaten	Berechnete Temperatur aus K_T beobachtet	Differenz zwischen beobachteter und berechneter Temperatur
—0,3° C ± 0,05°	—0,57° C	—0,27° C
+5,4° C ± 0,05°	+5,34° C	—0,06° C
+9,0° C ± 0,08°	+9,01° C	+0,01° C
12,5° C ± 0,09°	12,99° C	+0,49° C
15,2° C ± 0,14°	15,20° C	+0,00° C
18,3° C ± 0,05°	18,47° C	+0,17° C
21,3° C ± 0,08°	21,40° C	+0,10° C
24,4° C ± 0,06°	24,22° C	—0,18° C
27,3° C ± 0,11°	27,02° C	—0,28° C
32,9° C ± 0,05°	32,84° C	—0,06° C
37,7° C ± 0,19°	37,74° C	+0,04° C

Kleine Abweichungen in der experimentellen Bestimmung der Inversionskonstanten machen sich besonders bei tieferen Temperaturen bemerkbar. Die beobachteten Abweichungen zwischen der Soll-Temperatur und den im Experiment ermittelten belaufen sich auf maximal 0,5° C. In den meisten Fällen bleiben die Temperaturfehler zwischen 0,1° und 0,3° C.

E. Die Inversionskonstanten $K_T^{\cdots}$ der Zucker-Pufferlösungen bei veränderlichen Temperaturen. Die sogenannte eT-Zahl.

Bei den bisher besprochenen Versuchen handelte es sich stets um Inversionen bei konstanter Temperatur. So lagen beispielsweise die Ampullen mit der Zucker-Pufferlösung über 120 Tage ständig bei einer unveränderlichen Temperatur von 27,3° C. Für ökologische Temperaturmessungen ist diese Voraussetzung einer ständig konstanten Temperatur *nicht* erfüllt. So schwanken zum Beispiel die Temperaturen an der Bodenoberfläche während der verschiedenen Tages- oder Jahreszeiten sehr stark.

Im folgenden soll die Wirkung veränderlicher Temperaturen auf den Wert der « Inversionskonstanten » abgeklärt werden.

I. Mathematische Behandlung des Inversionsverlaufes bei veränderlichen Temperaturen.[1]

Die Grundgleichung der Zuckerinversion bei konstanter Temperatur hat die bereits erwähnte Form :

$$2)\quad K_T = \frac{1}{H \cdot t} \log \frac{A}{A - x}$$

Der Zusammenhang zwischen der Konstanten K_T und der Temperatur T geht aus Gleichung 4 hervor :

$$4)\quad \log K_T = B + m \cdot T$$

Wir nehmen an, dass beispielsweise eine Zucker-Pufferlösung t' Tage bei T'^{o} C, t'' Tage bei T''^{o} C und t''' Tage bei T'''^{o} C verblieb. Es lassen sich also im gegebenen Beispiel *drei* verschiedene Temperatur-Zeit-*Etappen* unterscheiden. Die Frage lautet : Welchen Wert nimmt die beobachtete « Konstante » $K_{\dot{T}}$ an, die nach $t' + t'' + t'''$-Tagen aus dem Drehwert (bzw. aus dem noch vorhandenen Rohrzuckergehalt) berechnet wird ?

Zur Diskussion dieser Frage formen wir Gleichung 4 um :

$$6)\quad K_T = 10^B \cdot 10^{m \cdot T} \qquad \text{oder falls } 10^B = P \text{ gesetzt wird:}$$

$$6a)\quad K_T = P \cdot 10^{m \cdot T}$$

In der *ersten* Inversionsetappe des obigen Beispiels berechnet sich die Etappenkonstante $K_{T'}$ zu :

$$7)\quad K_{T'} = P \cdot 10^{m \cdot T'} = \frac{1}{H \cdot t'} \log \frac{Ao}{Ao - x'}$$

In der *zweiten* Etappe liegt noch eine Etappen-Anfangs-Rohrzuckerkonzentration $Ao - x' = A'$ vor. Die Etappenkonstante $K_{T''}$ berechnet sich zu :

$$7a)\quad K_{T''} = P \cdot 10^{m \cdot T''} = \frac{1}{H \cdot t''} \log \frac{A'}{A' - x''}$$

In der *dritten* Etappe wird der entsprechende Etappenwert von $K_{T'''}$ durch die noch vorhandene Etappen-Anfangskonzentration an Rohrzucker $A'' = A' - x''$ bestimmt :

$$7b)\quad K_{T'''} = P \cdot 10^{m \cdot T'''} = \frac{1}{H \cdot t'''} \log \frac{A''}{A'' - x'''}$$

Berechnet man am Ende der gesamten Messperiode des Dreietappenversuches die « Mittelkonstante » $K_{\bar{T}}$, so wird sie zwischen

---

[1] Herrn Prof. Dr. Polya (E. T. H.) danken wir bestens für die freundliche Beratung.

dem höchsten und dem kleinsten Etappenwert liegen müssen. Sie stellt einen Mittelwert aller Etappenkonstanten dar.

$$8)\quad K_{\ddot{\ddot{T}}} = \frac{1}{H \Sigma t}\left[\log\frac{Ao}{A'} + \log\frac{A'}{A''} + \log\frac{A''}{A'''}\right] = P \cdot 10^{m \cdot \ddot{\ddot{T}}}$$

oder zusammengefasst zu Gleichung 9, wobei $\Sigma\, t = t' + t'' + t'''$.

$$9)\quad K_{\ddot{\ddot{T}}} = \frac{1}{H \cdot \Sigma t}\log\frac{Ao}{A'''} = P \cdot 10^{m \cdot \ddot{\ddot{T}}}$$

Aus der am Schluss des Versuches bestimmten Rohrzuckerkonzentration A''' (polarimetrisch als entsprechenden Drehwinkel zu bestimmen) und der Summe der Versuchstage lässt sich die Mittelkonstante $K_{\ddot{\ddot{T}}}$ berechnen und aus dieser nach Gleichung 5 die *wirksame* Mitteltemperatur über die ganze Versuchszeit bestimmen.

II. Was bedeutet der Begriff « wirksame » Mitteltemperatur? Die sog. exponentielle Mitteltemperatur oder die eT-Zahl.

Der Begriff « Mittel » ist zunächst unbestimmt. Unter diesem « Mittel » kann ein arithmetischer oder ein geometrischer Mittelwert verstanden werden. Das « Mittel » kann aber auch noch eine andere mathematische Bedeutung besitzen. Aus Gleichung 8 kann man ableiten :

$$10)\quad K_{\ddot{\ddot{T}}} = P \cdot 10^{m \cdot \ddot{\ddot{T}}} = \frac{P\left[\cdot\, t' \cdot 10^{m \cdot T'} + t'' \cdot 10^{m \cdot T''} + t''' \cdot 10^{m \cdot T'''}\right]}{t' + t'' + t'''}$$

Die hier im linken Glied der Gleichung auftretende Mitteltemperatur besitzt daher den Charakter eines sogenannten «exponentiellen Mittels», das wir *eT-Zahl* nennen wollen. Diese eT-Zahl liegt zwischen der Höchst- und der Tiefsttemperatur und ist funktionell über Gleichung 10 mit diesen Extremtemperaturen verknüpft. Die höheren Temperaturen gehen in die eT-Zahl mit höherem Gewicht ein als die tieferen Temperaturen. Die *eT-Zahl ist daher stets grösser als das arithmetische Mittel aus sämtlichen Etappentemperaturen,* sie ist aber *mathematisch streng definiert* und *ohne* jeden zufälligen Charakter.

III. Experimentelle Nachprüfung der Theorie.

Eine Serie von in Ampullen verschlossenen Zucker-Pufferlösungen wird während 11 Tagen im Thermostaten bei 27,3° C gehalten. Nach dieser ersten Etappe ($t' = 11$ Tage, $T' = 27{,}3°$ C) wird von einer Ampullenfüllung die Inversionskonstante $K_{T'}$ aus dem polarimetrisch bestimmten Drehwert (Gleichung 3) berechnet. Die eT-Zahl wird daraus nach Gleichung 5 bestimmt. Die andern Ampullen dieser Serie werden am 11. Tage in einen zweiten Thermostaten von 18,3° C versetzt. Sie

bleiben bei dieser Temperatur während 21 Tagen. Nach dieser zweiten Etappe ($t'' = 21$ Tage, $T'' = 18{,}3^\circ$ C) wird wieder eine Ampulle geöffnet; aus dem optisch bestimmten Drehwert (Gleichung 3) werden die « mittlere Konstante » $K_{\overline{T''T'''}}$ und daraus die $\overline{eT'T''}$-Zahl berechnet. Die überzähligen Ampullen werden am 32. Versuchstage ($t' + t'' = 11 + 21 = 32$) in einen dritten Thermostaten mit der Konstant-Temperatur von 9,0° C versetzt. Hier verbleiben sie bis zum Abschluss des Versuches weitere 35 Tage. Nach dieser dritten Etappe ($t''' = 35$ Tage, $T''' = 9{,}0^\circ$ C) werden wiederum die Drehwerte gemessen und daraus die eT-Zahl über alle drei Etappen ($t' + t'' + t''' = 67$ Tage) nach Gleichungen 9 und 5 berechnet. Die Resultate dieser Bestimmungen finden sich in Tabelle 7.

Tabelle 7.

Experimentelle Bestimmung der eT-Zahl. Vergleich der arithmetischen Temperaturmittel mit den eT-Zahlen.

(Zucker-Zitrat/HCl-Pufferlösung von pH 2,90.)

Etappe	in Tagen	Temperatur des Thermostaten	Drehwert α	K_T beobachtet	eT-Zahl berechnet	Arithmetische Mitteltemperatur
—	0	—	+24,13°	—	—	—
I	11	27,3° C	+19,03°	5,251	27,0° C	27,3° C
II	21 (32)	18,3° C	+16,79°	2,705	23,0° C	19,9° C
III	35 (67)	9,0° C	+16,14°	1,423	19,1° C	14,2° C

Bei einer zweiten Versuchsserie wurden die Ampullen mit der Zucker-Pufferlösung von tiefern Temperaturen in der ersten Etappe nach höheren Temperaturen (zweite Etappe) versetzt. Die Resultate dieser Messungen finden sich in Tabelle 8.

Tabelle 8.

Experimentelle Bestimmung der eT-Zahl. Vergleich der arithmetischen Temperaturmittel mit den eT-Zahlen.

Zeit in Tagen	Temperatur des Thermostaten	Drehwert α	K_T beobachtet	eT-Zahl berechnet	Arithmetische Mitteltemperatur
0	—	+24,13°	—	—	—
67	9,0° C	+22,45°	0,2684	9,1° C	9,0° C
32 (99)	24,4° C	+14,20°	1,4134	19,0° C	14,0° C

Aus diesen und andern, aus Gründen der Raumersparnis nicht wiedergegebenen Versuchen geht die vollständige Uebereinstimmung zwischen Theorie und Praxis hervor. Die eT-Zahl lässt sich aus den Inversionsbeträgen rasch und mit genügender Genauigkeit ermitteln. Sie vermag die Temperaturverhältnisse zu definieren.

F. Messung der eT-Zahlen in den verschiedenen Gesellschaften des subalpinen Bergföhren-Waldes.[1]

Bei der pflanzensoziologisch-bodenkundlichen Untersuchung der subalpinen Waldgesellschaften, die der eine von uns (HP) in Gemeinschaftsarbeit mit J. Braun-Blanquet und P. J. Haffter seit 1926 ausführt, wurden auch einige klimatische Studien unternommen: die Lichteinstrahlung, die Verdunstung und die Temperatur wurden in zahlreichen Waldgesellschaften bestimmt. Diese Untersuchungen konnten sich zufolge der kurzfristigen Aufenthalte in den von Zürich weitabliegenden Gebieten nur auf Einzelmessungen oder höchstens Halbmonatsmessungen beschränken. Im Sommer 1939 wurde zum erstenmal mit der hier beschriebenen Methode versucht, einen Einblick in die Temperaturverhältnisse der verschiedenen Waldgesellschaften zu erhalten. Als Versuchsort wurde der dem Plan-Possa ob Fuorn vorgelagerte Hügel gewählt (Ofengebiet, Unterengadin), der zahlreiche soziologisch und bodenkundlich eingehend studierte Waldgesellschaften auf gleicher Meereshöhe (1880 bis 1910 m) und gleichem Muttergestein (Wettersteindolomit) aufweist. Die Temperaturmessungen sollten gleichzeitig als Prüfstein für die praktische Verwendung der neuen Methode dienen.

I. Auslegen der Zucker-Pufferampullen im Gelände.

Die Z-P-Ampullen (30 ccm Lösung) wurden im Agrikulturchemischen Institut der E. T. H. vorbereitet, sofort im Kühlschrank gekühlt, hierauf in Seidenpapier gewickelt und in einer mit kaltem Sägemehl gefüllten Blechschachtel « per Express » nach Fuorn spediert. Das pH der Zucker-Pufferlösung betrug 2,90. Die Zuckerkonzentration war 38,6 %. Unmittelbar nach der Ankunft in Fuorn wurden die Glasampullen in den verschiedenen ausgewählten Waldbeständen verlegt. Je Bestand wurden 3—5 Ampullen — mit Fettstift markiert — in die bodennahe Kraut- oder Moosschicht bzw. auf den Rohboden gelegt. Die im gleichen Bestand ausgelegten 3—5 Ampullen lagen höchstens 10 cm auseinander. Auf diese Weise konnte die Reproduzierbarkeit der Messungsergebnisse erprobt werden. Kleine Ungleichheiten in der Lagerung (etwas tiefer oder höher in der Moosschicht, etwas stärker oder weniger stark beschattet usw.) machten sich in Abweichungen der später bestimmten Drehwerte der zusammengehörigen Ampullen bemerkbar. Diese Abweichungen (standörtlich bedingt) innerhalb einer zusammengehörigen Meßserie waren an den lichteren, mehr südlich gelegenen Orten grösser als in den schattigeren Nord- oder NW-Expositionen (vgl. Tab. 9). An den Steillagen des Pineto-Caricetum humilis (S-Exposition) lagen die Ampullen direkt dem nackten Rohboden auf. Zur

[1] Siehe Literaturverzeichnis: 7.

mechanischen Fixierung der Ampullen wurden mit dem Pickel kleine Stufen in den Hang geschlagen, in denen die Gläser in horizontaler Lage über 45 Tage verblieben. Zur Abhaltung des weidenden Wildes wurden die Ampullenorte durch einige aufgestellte dürre Aeste geschützt.

II. Einsammeln, Verpacken und Rücksenden der Ampullen am Ende der Messperiode.

Herr Kollege J. Braun-Blanquet sammelte die gemeinsam ausgelegten Z-P-Ampullen am 10. September 1939, nach 45 Versuchstagen. Alle Ampullen konnten in unversehrtem Zustand aufgefunden werden. Die Fettstiftmarkierungen wurden sofort ausgebessert, die Ampullen in Papier eingeschlagen, in Sägemehl gebettet und in einer Blechkiste mit kürzester Post an die Hochschule zurückspediert. Sofort nach dem Eintreffen wurden die Messungen der Drehwinkel polarimetrisch ausgeführt.

III. Resultate der Messungen.

a) *Beispiel einer eT-Bestimmung.*

Im moosreichen, NW-exponierten Bergföhren-Ericawald (Mugeto-Ericetum hylocomietosum) lag z. B. die Z-P-Ampulle Nr. 16 dem Hylocomiummoos locker auf. Die nach der Ankunft der Sendung im Labor sofort im Eisschrank unterkühlte Ampulle wurde im thermokonstanten Messraum (20° C) im Wasserbad rasch auf 20° C aufgewärmt. Man öffnete die Ampulle vorsichtig, so dass der Ampullenstiel nur wenig verkürzt wurde; diese Ampulle lässt sich dadurch für andere Versuche wieder neu füllen und verwenden. Die Zuckerlösung wurde aus der Ampulle in das 1-Dezimeter-Polarisationsrohr eingefüllt und im Natriumlicht polarimetriert.

Der gemessene Drehwert betrug im Mittel von 6 bis 10 Einzelablesungen $+ 21{,}75^\circ = \alpha$.

Dieser Drehwinkel α liegt der Berechnung von eT zugrunde.

Berechnung von eT :

Die Anfangsdrehung α_0 betrug bei der Herstellung der Ampullen (27. Juli 1939) $+ 25{,}70^\circ = \alpha_0$. Die beobachtete Enddrehung der vollständig invertierten Zucker-Pufferlösung war $-9{,}53^\circ = \beta_0$. Die Versuchsdauer t betrug 45 Tage. $H = 1{,}259 \cdot 10^{-3}$ (pH = 2,90).

Nach den Gleichungen 3 bzw. 9 wird $K_T^{\cdot\cdot}$ berechnet :

3) $$K_T^{\cdot\cdot} = \frac{1}{H \cdot t} \log \left(\frac{\alpha_0 - \beta_0}{\alpha - \beta_0} \right)$$ oder die Zahlenwerte eingesetzt:

3) $$K_T^{\cdot\cdot} = \frac{1}{1{,}259 \cdot 10^{-3} \cdot 45} \log \left(\frac{25{,}70 + 9{,}53}{21{,}75 + 9{,}53} \right) = \frac{1000}{1{,}259 \cdot 45} \log \frac{35{,}23}{31{,}28}$$

Ausführung der Durchrechnung:

$$\log \frac{1000}{1{,}259 \cdot 45} = \begin{array}{r} 3{,}00000 \\ -0{,}10000 \\ -1{,}65321 \\ \hline 1{,}24679 \end{array} \qquad \log \frac{35{,}23}{31{,}28} = \begin{array}{r} 1{,}54691 \\ -1{,}49527 \\ \hline 0{,}05164 \end{array}$$

$$\log 0{,}05164 = 0{,}71299 - 2$$

$$\log K_T^{\cdot\cdot} = \log \frac{1000}{1{,}259 \cdot 45} + \log \left(\log \frac{35{,}23}{31{,}28} \right)$$

$$\log K_T^{\cdot\cdot} = \begin{array}{r} 1{,}24679 \\ +0{,}71299 - 2 \\ \hline 1{,}95978 - 2 = 0{,}95978 - 1 = -0{,}04022 \end{array}$$

Aus $\log K_T^{\cdot\cdot}$ kann eT berechnet werden:

5) $eT = (\log K_T^{\cdot\cdot} - B) : m$ wobei $B = -1{,}22000$

$m = 0{,}07197$ [vgl. Tabelle 4]

5) $$eT = \begin{array}{r} -0{,}04022 \\ +1{,}22000 \\ \hline 1{,}17978 : 0{,}07197 = 16{,}4^\circ\,C = eT \end{array}$$

eT kann bei Kenntnis des $\log K_T^{\cdot\cdot}$ auch aus der $\log K_T^{\cdot\cdot}$-eT-Kurve (Fig. 4) intrapoliert werden.

b) *Die eT-Zahlen in den verschiedenen Waldgesellschaften.*

In nebenstehender Tab. 9 sind die Untersuchungsergebnisse zusammengestellt. Die eT-Zahlen wurden aus den Drehwinkeln (α) und aus den Konstanten B und m über 45 Tage berechnet.

Die gemessenen eT-Zahlen erscheinen sowohl dem Bodenkundler wie auch dem Pflanzensoziologen durchaus vernünftig. Die bodenkundliche und soziologische Kennzeichnung und Unterscheidung der verschiedenen Waldtypen erfährt dadurch auch von der standortklimatischen Seite her eine Bereicherung. Feinheiten in der soziologischen Unterscheidung bestimmter Uebergangstypen finden sich in den entsprechenden eT-Zahlen ausgeprägt. Herrn Kollege J. Braun-Blanquet danken wir für die soziologische Beratung und Mithilfe.

G. Diskussion der eT-Zahl im Lichte der RGT-Regel.

Wie bereits im Abschnitt E II abgeleitet wurde, ist die eT-Zahl für eine bestimmte Messperiode höher als das arithmetische Mittel aus den verschiedenen Etappentemperaturen. Die eT-Zahl stellt das sog. « exponentielle Temperaturmittel » der Messperiode dar. Die höheren Etappentemperaturen gehen mit höherem Gewicht in die eT-Zahl ein als die niederen.

Die eT-Zahl basiert auf der *Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten von der Temperatur*. Sie bringt daher die Eigentüm-

Tabelle 9.

eT-Werte in den verschiedenen Waldgesellschaften des Plan-Possa-Hügels bei Fuorn. Meereshöhe: 1880—1910 m. eT-Werte für die Zeit: 28. Juli bis 10. September 1939.

Amp.-Nr.	Waldgesellschaft	Optischer Drehwert	eT-Zahl berechnet	Mittelwert der eT-Zahlen
1	A) Mugeto-Rhodoretum hirsuti. Uebergang zum Rhod. Vaccinietum.	+23,99°	11,1° C	**11,2° C**
2		+23,97°	11,2° C	
3		+23,97°	11,2° C	
6	B) Mugeto-Rhodoretum hirsuti	+23,84°	11,6° C	**11,7° C**
7		+23,86°	11,6° C	
8		+23,74°	12,0° C	
11	C) Mugeto-Ericetum hylocomietosum Uebergang zu B.	+23,76°	11,9° C	**12,1° C**
12		+23,59°	12,4° C	
13		+23,74°	12,0° C	
16	D) Mugeto-Ericetum hylocomietosum	+21,75°	16,4° C	**15,9° C**
17		+22,13°	15,8° C	
18		+22,29°	15,5° C	
21	E) Mugeto-Ericetum Flache S-Exposition	+19,71°	19,1° C	**18,3° C**
22		+21,92°	16,1° C	
23		+19,23°	19,7° C	
26	F) Mugeto-Ericetum E-Exposition	+16,99°	21,7° C	**22,0° C**
27		+16,86°	21,8° C	
28		+16,09°	22,4° C	
31	G) Pineto-Caricetum humilis Steile S-Exposition	+ 8,12°	27,1° C	**27,7° C**
32		+ 5,68°	28,3° C	
33		+ 6,35°	28,0° C	
34		+ 7,49°	27,4° C	

Anmerkung: A = Nord -Exposition am Hangfuss.
B = Nord -Exposition 30° geneigt.
C = WNW-Exposition 25° geneigt.
D = NW -Exposition 20° geneigt.
E = Süd -Exposition 10° geneigt.
F = Ost -Exposition 15° geneigt, offener.
G = Süd -Exposition 35° geneigt, offen.

lichkeit aller Reaktionen in der belebten und unbelebten Natur mit, die « bessere Erinnerung an höhere Temperaturen » zu besitzen. Van't Hoff formulierte 1884 die bekannte RGT-Regel (Reaktionsgeschwindigkeit-Temperaturregel): « Einer Temperaturzunahme von 10° C entspricht erfahrungsgemäss eine Zunahme der Reaktionsgeschwindigkeit um das Doppelte oder das Dreifache. » Diese Grenzen sind besser auf das 1,4- bis 7fache zu erweitern (zit. nach J. Eggert, 1931).

Die Reaktionen in der belebten und unbelebten Natur befolgen diese angegebene Regel innerhalb gewisser systemsbedingter Grenzen, so werden z. B. die meisten physiologisch-chemischen Reaktionen in der lebenden Zelle bei Temperaturen über 45° C durch Veränderungen der Reaktionsträger gehemmt oder sistiert. Handelt es sich um weitgehend einseitig verlaufende Reaktionen, wie z. B. die hydrolytische Verwitterung mit gleichzeitigem Abtransport der Verwitterungslösungen im Bodenprofil oder um Assimilationsreaktionen mit erfolgendem Wegtransport der Assimilate usw., so werden sich, über eine gewisse Reaktionsperiode betrachtet, die bei höheren Temperaturen verlaufenden Etappenreaktionen für den Gesamteffekt innerhalb der ganzen Periode stärker auswirken müssen, als die bei tiefern Temperaturen abgelaufenen. Im Gesamteffekt der Reaktion gehen die höhern Etappentemperaturen mit höherem Gewicht ein als die tiefern.

Kennt man die Temperaturabhängigkeit der Reaktions-Geschwindigkeitskonstanten, so lässt sich aus dem Reaktionseffekt am Ende der Reaktionsperiode eine mittlere wirksame Temperatur berechnen, die höher liegen muss als das arithmetische Mittel der verschiedenen Etappentemperaturen.

Die eT-Zahl stellt einen Sonderfall dar, indem sie sich auf die Reaktion der Rohrzuckerinversion bezieht. Sie liefert aber eine « Mitteltemperatur », die für die meisten Systeme der belebten und unbelebten Natur besser mit der « wirksamen Mitteltemperatur » übereinstimmt als die arithmetische Mitteltemperatur.

Die eT-Zahl entspricht jener Temperatur, die als Konstanttemperatur über die ganze Messperiode herrschen müsste, um den gleichen Endeffekt zu erreichen.

H. Zusammenfassung.

1. Die neue, hier entwickelte Temperaturmessung liefert Mitteltemperaturen (eT-Zahl) über eine gewisse Messperiode von Σt Tagen. Die Messperiode stellt die Summe der verschiedenen Zeit-Temperatur-Etappen dar.
2. Die eT-Zahl entspricht dem exponentiellen Temperaturmittel einer Messperiode; es liegt stets höher als das arithmetische Temperaturmittel aus den verschiedenen Versuchsetappen. Die höheren Etappentemperaturen gehen in die eT-Zahl mit höherem Gewicht ein als die tiefern. (Vgl. Abschnitt G : Diskussion der eT-Zahl.)
3. Die experimentelle Bestimmung der eT-Zahl ist einfach, mit relativ wenig Kosten verbunden und rasch auszuführen. Sie basiert auf der Feststellung der temperaturabhängigen Inversionsgeschwindigkeit einer in Glasampullen von 20—50 ccm Inhalt eingeschmolzenen sterilen Rohrzucker-Pufferlösung.

In der verwendeten Zucker-Pufferlösung müssen das pH und die optische Anfangsdrehung α_0 genau bekannt sein. Die experimentelle Bestimmung der Enddrehung β_0 wird durch Inversion des Ampulleninhaltes im Wasserbad oder im elektrischen Heizschrank bei ca. 100° C vorgenommen. Die Konstanz der Enddrehung muss experimentell gesichert sein. Die Kenntnis obiger Grössen (vgl. Gleichung 3) ist für die Berechnung der $K_T^{\cdot\cdot}$-Werte, bzw. der eT-Zahl notwendig.

a) Die den vorliegenden Untersuchungen zugrunde liegende Inversionslösung enthält 36,24 g Rohrzucker in 100 ccm gepufferter Lösung. Der Rohrzucker ist in einem Zitrat-HCl-Puffer von pH 3,0 gelöst. Das pH der Mischung = 2,90.

b) Der Gefrierpunkt der frischen Lösung liegt bei —4,7° C. Die Lösung kann aber beträchtlich unterkühlt werden, ohne zu erstarren. Das erstarrte System zeigt griessig-breiige Konsistenz und vermag selbst bei —15° C die Ampullen nicht zu zersprengen. Die Ampullen widerstehen auch Temperaturen von 100° C.

c) Die Inversionsgeschwindigkeit wird polarimetrisch bei 20° C (Messraumtemperatur) mit Na-Licht gemessen. Aus dem Drehwinkel α nach t-Tagen Inversionsdauer wird die Inversionskonstante nach Gleichung 3 bzw. 9 berechnet.

d) Zwischen der Inversionskonstanten K_T und der Konstanttemperatur T gilt im Temperaturbereich von —2° C bis gegen 28° C die lineare Beziehung (pH = 2,90)

$$\log K_T = B + m \cdot T$$

(B = —1,2200 und m = 0,0720. Diese Werte sind Konstanten). Für Temperaturen über 28° C sind diese Konstanten nicht mehr streng gültig. Es gelten von 28° bis 40° C : B′ = —0,9064; m′ — 0,0597.

e) Aus den Inversionskonstanten K_T kann im Temperaturbereich —2° bis 28° C die eT-Zahl nach Gleichung 5 berechnet werden:

$$eT = (\log K_T + 1{,}2200) : 0{,}0720 = T$$

Die eT-Zahlen über das ganze Temperaturgebiet von —2° C bis 40° C werden mit Vorteil graphisch aus Figur 4 intrapoliert. Besonders bei höheren Temperaturen wird die graphische Interpolation zu guten Werten führen.

4. Die maximale Dauer einer Messperiode, deren eT-Zahl bestimmt werden soll, richtet sich nach der Temperatur und dem pH der Inversionsmischung. Beträgt beispielsweise die Anfangsdrehung einer Ampullenfüllung α_0 = +24,13° und beträgt die zugehörige

Enddrehung $\beta_0 = -8{,}95^\circ$, so soll die Messung nicht über $-7{,}00^\circ = \alpha$ hinaus erstreckt werden. Die Bestimmungsfehler werden in diesen tiefen Endstadien der Inversion grösser. In der nachstehenden Tabelle 10 sind für die verschiedenen Temperaturen die Zeiten notiert, in denen im gewählten Inversionssystem die Anfangsdrehwinkel ($\alpha_0 = +24{,}13^\circ$) auf $\pm 0{,}00^\circ$ zurückgehen ($= \alpha$). Von diesem Drehwinkel $\alpha = \pm 0{,}00^\circ$ vermag die Lösung noch weiter bis zum Enddrehwinkel $\beta_0 = -8{,}95^\circ$ zu invertieren. Der 0,00°-Winkel ist also noch relativ weit von der Enddrehung β_0 entfernt.

Tabelle 10.

Der Drehwinkel $\alpha = \pm 0{,}00^\circ$ ist bei den verschiedenen Temperaturen nach folgenden Zeiten erreicht:

(Inversionssystem = Rohrzucker-Zitratpufferlösung
Rohrzuckerkonzentration Ao = 36,24 g/100 cm³ Lösung
Anfangsdrehung $\alpha_0 = +24{,}13^\circ$ Enddrehung $\beta_0 = -8{,}95^\circ$
Wasserstoffionenkonzentration der Lösung = H = $1{,}259 \cdot 10^{-3}$)

Temperatur	Zeit bis zum Erreichen von $\alpha = 0{,}00^\circ$
—0,3° C	7777 Tage
+5,4° C	3038 Tage
9,0° C	1679 Tage
12,5° C	943 Tage
15,2° C	604 Tage
18,3° C	363 Tage
21,3° C	221 Tage
24,4° C	133 Tage
27,3° C	82 Tage
32,9° C	39 Tage
37,7° C	20 Tage

Die maximale Länge einer Messperiode, über die das exponentielle Temperaturmittel eT gilt, hat sich nach obigen Zahlen zu richten.

5. Die kürzeste Dauer einer Messperiode ist ebenfalls von den herrschenden Temperaturen und dem pH der Inversionsmischung abhängig.

Für eT-Messungen während der Vegetationsperiode dürften wohl bei Bedarf die minimalen Messperioden kürzer als 14 Tage sein. Während des Sommers können selbst in der subalpinen Stufe der Alpen Messperioden von 7 Tagen gewählt werden. Bei Verwendung von Zucker-Pufferlösungen von pH 2,50 können die minimalen Messperioden noch kürzer sein.

Tabelle 11.

Bei den verschiedenen Temperaturen sinkt der Anfangsdrehwinkel ($\alpha_0 = 24{,}13^0$) in folgenden Zeiten um $0{,}20^0$ auf $\alpha = +23{,}93^0$ ab (pH = 2,90).

Temperatur	Zeit zum Absinken der Anfangsdrehung um 0,20°
—0,3° C	36,1 Tage
+5,4° C	14,1 Tage
9,0° C	7,8 Tage
12,5° C	4,4 Tage
15,2° C	2,8 Tage
18,3° C	1,68 Tage
21,3° C	1,03 Tage
24,3° C	0,62 Tage
über 24,3° C	weniger als 0,62 Tage

6. Die beim Versand und beim Rücktransport der Ampullen verursachten Fehler in der eT-Zahl sind um so grösser, je kürzer die gewählte Messperiode, je länger die Transportzeiten, und je mehr die Temperatur während des Transportes von der Messorttemperatur abweicht.

   Es empfiehlt sich daher, die Ampullen im unterkühlten Zustand in ebenfalls unterkühltem und trockenem Sägemehl zu verschicken und beim Einsammeln und Rückspedieren möglichste Eile walten zu lassen. Der Versand in mit fester CO_2 gekühlter Packung wäre möglich.

   Bei einer Messperiode von 30 Tagen, einer Versanddauer von 1 Tag bei 12° C Reisetemperatur weicht die eT-Zahl um +0,4° C vom wahren eT-Wert ab. Die gefundene eT-Zahl ist ca. 0,4° C zu hoch. Bei längeren Messperioden und kürzerer Reisezeit und tieferen Reisetemperaturen werden die Fehler selbstredend kleiner.

   Die Sofortmessung der Ampullen auf dem Gelände ist anzustreben. Eine kleine Feldapparatur muss noch konstruiert und erprobt werden.

7. Weitere Studien sind noch notwendig für den definitiven Ausbau der Methode. Es stellen sich unter andern die folgenden Probleme:

   a) In welcher Form werden die Ampullen am besten im Gelände verlegt: auf dem Boden, im Bodenprofil, im Luftraum? Es sind Schutzhüllen auszuprobieren, welche besonders die im Boden eingegrabenen Ampullen mechanisch schützen.

   Durch Kork verschliessbare und mit dem Prägestempel bezifferte Metallhülsen aus Kupfer oder Aluminium kommen in Frage.

b) Wie bereits oben angetönt, ist die Konstruktion eines leicht tragbaren Feldpolarimeters anzustreben. Die « Versandfehler » können damit reduziert werden. Die Ausbildung der Ampullen in Form von Polarimeterröhren mit zwei plangeschliffenen Endflächen würde die fortlaufende Messung ein und derselben Ampullenfüllung ermöglichen und die eT-Bestimmung über ständig wachsende Messperioden vereinfachen.

Literatur.

1. R. Geiger: Das Klima der bodennahen Luftschicht. Verlag Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig 1927.
2. H. Lundegårdh: Klima und Boden in ihrer Wirkung auf das Pflanzenleben. 2. Aufl., Verlag Gustav Fischer, Jena 1930.
3. E. Tamm: Gedanken und Vorschläge zur Errichtung einer « Pflanzenwetter- und Klimastation ». Fortschr. d. Landw., Jahrg. 8, 1933 (S. 24—29) und gl. Bd. (S. 59—61).
4. — Vergleichende Temperaturmessungen in der Zone des Pflanzenklimas. Landwirtsch. Jahrbücher. Bd. 83, 1936 (S. 457—554).
5. — Gleicher Titel wie 4. Gleiche Zeitschr. Bd. 88, 1939 (S. 479—548), mit ausführlicher Literaturangabe.
6. — Die Pflanzenklimastation des Instituts für Acker- und Pflanzenbau. Zeitschr. « Die Ernährung der Pflanze », Bd. 35, 1939 (257—265).
7. J. Braun-Blanquet, G. Sissingh und J. Vlieger: Prodromus der Pflanzengesellschaften. Fasc. 6. Klasse der Vaccinio-Piceetea. 1939.