

**Deutsches Reich**  
**Reichsamt für Wetterdienst**

---

**Wissenschaftliche Abhandlungen**  
**Band II**

**Nr. 7**

**Agrarmeteorologische Studien über Bestandsklima, über  
Windschutz und über Transpirationsverhältnisse im Gewächshaus**

von

**W. K r e u t z**

---

Mit 2 Tafeln

---

---

---

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1937

**Deutsches Reich**  
**Reichsamt für Wetterdienst**

---

**Wissenschaftliche Abhandlungen**  
**Band II**

**Nr. 7**

**Agrarmeteorologische Studien über Bestandsklima, über  
Windschutz und über Transpirationsverhältnisse im Gewächshaus**

von

**W. K r e u t z**

Mit 2 Tafeln

---

**Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1937**

## Inhaltsverzeichnis.

I. Klimatische Studien in Beständen verschiedener Kulturpflanzen, in Sortenbeständen und in solchen mit verschiedener Saatstärke . . . . .	3
1. Methode . . . . .	3
2. Auswertung . . . . .	4
3. Ergebnisse . . . . .	8
4. Korrelationsrechnung . . . . .	15
5. Zusammenfassung . . . . .	16
II. Untersuchungen über Einwirkungen von Windschutzanlagen auf meteorologische Faktoren und auf die Pflanze . . . . .	17
III. Studien über den Einfluß der klimatischen Verhältnisse des Standortes auf die Transpiration verschiedener Kulturpflanzen, ein Beitrag zur Erforschung des Gewächshausklimas . . . . .	26
1. Versuchsanordnung . . . . .	26
2. Transpirationsbestimmungen . . . . .	30
A) Methode . . . . .	30
B) Untersuchungsergebnisse . . . . .	31
a) I. Versuchsreihe . . . . .	31
b) II. Versuchsreihe . . . . .	35
3. Schlußbetrachtung . . . . .	40
Literaturnachweis . . . . .	42
Beilagen: 2 Tafeln mit den Abbildungen 35 bis 44.	

Aus der agrarmeteorologischen Forschungsstelle des Reichsamts  
für Wetterdienst in Gießen.

ISBN 978-3-662-31478-4

ISBN 978-3-662-31685-6 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-31685-6

# **I. Klimatische Studien in Beständen verschiedener Kulturpflanzen, in Sortenbeständen und in solchen mit verschiedener Saatstärke.**

## **1. Methode.**

Eine Untersuchung über die klimatischen Verhältnisse in Kulturbeständen kann von verschiedenen Richtungen her angestellt werden. Von welcher Seite dies auch geschehen mag, immer wird es nötig sein, zunächst einmal durch Beobachtungen auf breiter Basis den Weg für die Methodik zu ebnen, welche die kausalen Beziehungen klären soll.

In der Versuchsanordnung sind wir von der Erwägung ausgegangen, uns zunächst einmal ein allgemeines meteorologisches Bild in einer Anzahl von Kulturbeständen zu verschaffen. Dies konnte nur erreicht werden, indem wir nicht alle meteorologischen Faktoren auf einmal, sondern nur einzelne beobachteten. Wir beschränkten uns auf den Faktor Temperatur, der für die Pflanzenentwicklung ernährungsphysiologische Bedeutung hat. Bei späteren Messungen kamen noch Bodenfeuchtigkeitsuntersuchungen und Feststellungen über den Kohlensäuregehalt in der bodennahen Luft zwischen den Kulturen hinzu. Die Faktoren Feuchtigkeit und Kohlensäure stehen sowohl in Beziehung zum Wachstum als auch zur Temperatur.

Da die einzelnen Kulturpflanzen ganz verschiedene Vegetationshöhen besaßen, es uns aber darauf ankam, während der Meßperiode zunächst die gleichen Höhen beizubehalten, so wurde eine bestimmte Verteilung der Meßhöhen – 5, 25, 50, 100 und 200 cm – angeordnet.

Um die gemessenen Werte aus den einzelnen Kulturbeständen vergleichen und differenzieren zu können, haben wir nicht eine bestimmte Kultur oder Mittelwerte aus allen Beständen als Standardwerte genommen, sondern benutzten diejenigen der Versuchsfeldstation, d. h. von einem neutralen Ort, der vegetationsfrei und in unmittelbarer Nähe der Kulturen lag.

Die Lufttemperaturen wurden mit strahlungsgeschützten Normalthermometern, welche an einer Aufhängevorrichtung befestigt waren, ebenso die Bodentemperaturen mit Normalthermometern beobachtet. Zur Feststellung der Bodenfeuchtigkeit benutzten wir den Korant'schen Schnellwasserbestimmer. In ihm wurden die mittels Bohrer entnommenen Bodenproben untersucht. Für Ermittlung des Kohlensäuregehaltes war das Saugen von Luftproben in Ampullen notwendig. Die Gasanalysen wurden mit dem Riedel'schen Kohlensäuremesser durchgeführt.

Die Luft- und Bodentemperaturbeobachtungen, sowie die Probeentnahmen für Bodenfeuchtigkeitsbestimmungen wurden in der Station begonnen und anschließend folgten Messungen in den nachfolgenden 11, auf dem Versuchsfeld des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung angebauten Kulturen: Kartoffeln (Industrie), Lein, Grünfutter, Mais, Erbsen, Soja, Winterweizen, Raps, Kartoffeln (Industrie), Gerste und Sommerweizen. Für die Untersuchungen standen feldmäßige Flächen zur Verfügung, sodaß wir sie im geschlossenen Bestand durchführen konnten. Der erste Gang wurde beendet mit einer abermaligen Messung in der Station. Hieran schloß sich unmittelbar ein rückläufiger Meßgang an, beginnend im Sommerweizen, auf den noch eine Schlußbeobachtung in der Station folgte. Bei dem 2. Teil des Meßganges unterblieb die Entnahme von Bodenproben für Feuchtigkeitsbestimmungen. Die Notwendigkeit einer rückläufigen Untersuchung ergibt sich aus der Tatsache, daß während des etwa einstündigen Meßganges die Temperaturen sich weitgehend ändern. Durch rückläufige Messung und durch Mittelbildung aus beiden Messungen sind, theoretisch wenigstens, die Beobachtungen gleichzeitig erfolgt, wodurch sich die kontinuierlichen Temperaturschwankungen innerhalb des Untersuchungsganges ausgleichen.

Ein 2. doppelter Meßgang in Umkehrung des 1. Gesamtmeßganges bewirkt, daß nicht nur die mittleren Meßzeiten, sondern auch der mittlere Abstand für alle Messungen gleich wird. Dieser wurde nur einmal versuchsweise durchgeführt, da die Wirkung auf Verbesserung der Zahlenwerte nicht so groß war, daß eine Verdoppelung der technischen Durchführung und Erweiterung der Rechnung sich rechtfertigen ließ. Der Versuch zeigt, daß eine Verbesserung nur dann eintritt, wenn der Meßgang sehr lange dauert und sich vom Vormittag zum Nachmittag erstreckt, also die Temperaturkurven stark gekrümmt sind. Deswegen wurde der Ausweg gewählt, unsere Untersuchungen in Vormittags- und Nachmittagsmessungen zu trennen, um den Umkehrpunkt der allgemeinen Temperaturkurve möglichst zu meiden.

## 2. Auswertung.

Die Auswertung des Versuchsmateriales vollzog sich derart, daß zunächst Mittel aus den zweimaligen Messungen in den Beständen und aus den drei Stationswerten gebildet wurden, und zwar jeweils für Temperaturen in verschiedenen Höhen und für Bodentemperaturen. Differenzen der Mittel jeder Kulturart vom jeweiligen Mittel der Station während der einzelnen Meßgänge wurden graphisch ausgewertet, und zwar getrennt für jede Meßhöhe. Stationswerte fungieren dabei als Nulllinien. Zur Darstellung gelangte fernerhin die Vegetationshöhe.

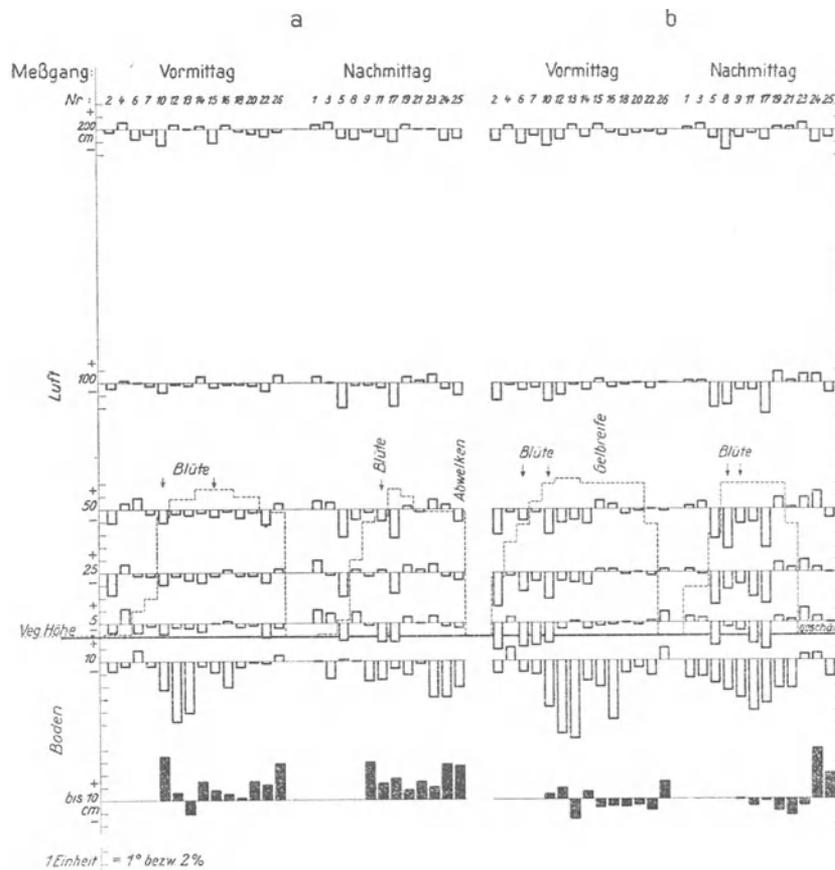


Abb. 1. Abweichungen von den Stationsmitteln:  
a) Kartoffel, Industrie (Abbau). — b) Lein.

In den darüber liegenden gemessenen Luftschichten prägen sich Schwankungen bis in 2 m Höhe aus. Die Temperaturen liegen dort meistens tiefer als im gleichen Bereich der Station. Der Kartoffelbestand bewirkt, daß die Bodenfeuchtigkeit durchweg höher ist als im vegetationsfreien Boden der Station. Pflegemaßnahmen — Hacken, Häufeln — haben zur Folge, daß die Feuchtigkeit der tieferen Bodenschichten nach der Höhe ansteigt, siehe Meßgang 9 und 10, während bei den letzten Meßgängen jene höhere Bodenfeuchtigkeit durch den herabgesetzten Wasserverbrauch der reifenden Pflanze erklärt werden kann. Das kapillar ansteigende Bodenwasser wird weniger verbraucht.

Im Leinbestand wiederholen sich, wesentlich stärker ausgeprägt als bei den Kartoffeln, Abweichungen der Luft- und Bodentemperatur. Der Lein, als aufwärts gerichtete Kulturpflanze, ohne Neigung ein geschlossenes Blätterdach zu bilden, verursacht trotzdem eine größere Schattenkühle, weil einerseits der Reihenabstand sehr eng ist, andererseits geringer Abstand der einzelnen Pflanzen in der Reihe, verglichen mit Kartoffeln, eine um das Vielfache verdichtete Vegetationsoberfläche schafft. Sehr kräftig kennzeichnet sich der Wachstumsrythmus, indem nach der Blüte mit zunehmender Reife der Einfluß der Vegetationsdecke rasch abnimmt, physiologische Funktionen wie Assimilation und Transpiration gehen zurück. Infolgedessen ist auch eine kühlende Wirkung vormittags bis Meßgang 14 und nachmittags bis Meßgang 17 besonders deutlich erkennbar. Zur Zeit der folgenden Messungen wird durch Blätterabfall und Reife der Bestand durchsichtiger, Ein- und Ausstrahlungsverhältnisse ändern sich. Durch Neigung des

Die untersuchten Kulturen, Kartoffel und Lein (Abbildung 1) zeigten, zunächst allgemein betrachtet, daß sich die Art der Vegetation im Temperaturbild deutlich differenziert. Im Kartoffelbestand lassen Abweichungen von den entsprechenden Temperaturwerten der vegetationslosen Station erkennen, daß zur Zeit des dichtesten Blätterdaches die Temperaturen bis etwa zur Blütezeit am stärksten gedrückt sind. Später folgt durch das Herabhängen der unteren älteren Blätter und durch Aufrichten der oberen jungen Triebe eine Auflockerung des Blätterdaches, sodaß die Schattenkühle abnimmt und Ein- und Ausstrahlung sich stärker ausprägen. Insbesondere zeigt sich bei der Bodentemperatur eine Abhängigkeit der Lage des Blätterdaches zum Einstrahlungswinkel der Sonne, d. h. in den Nachmittagsmeßgängen Nr. 23, 24 und 25 verhindern hängende, welkende Blätter die Einstrahlung infolge tiefer stehender Sonne und bedingen Ausstrahlung. Bei nahezu senkrechtem Sonnenstand wirkt sich in den letzten Vormittagsmeßgängen die weniger gehinderte Einstrahlung deutlicher aus.

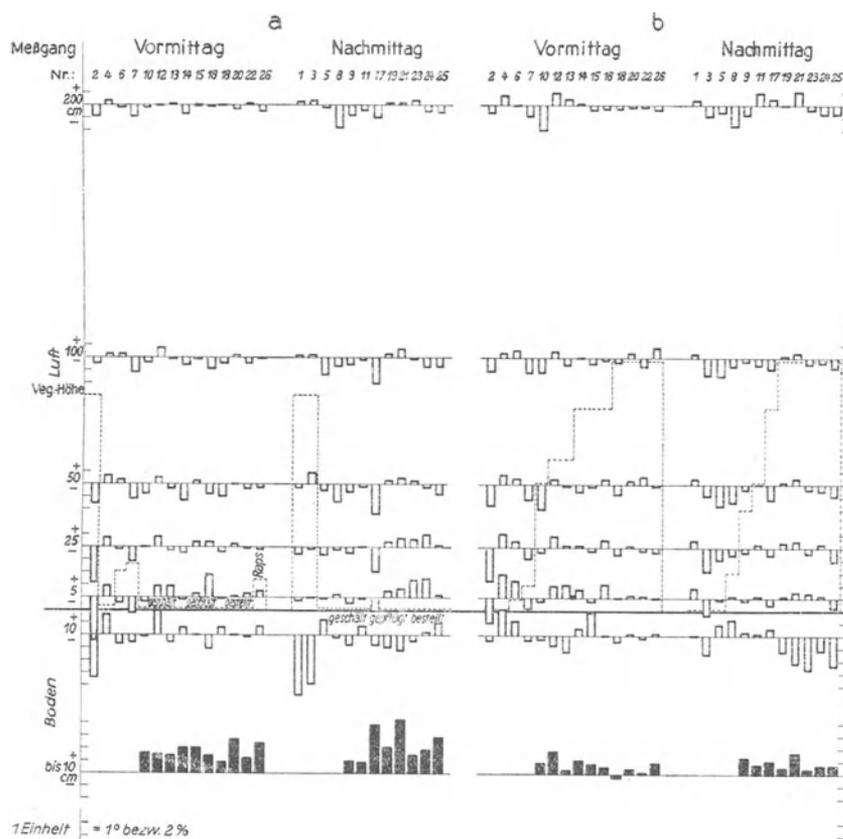


Abb. 2. Abweichungen von den Stationsmitteln:  
 a) Grünfutter (Landsberger Gemenge), nachfolgend Raps. —  
 b) Mais (Janetzki's).

bestellt, der noch eine Höhe von 12 cm zum Schluß unserer Meßperiode erreichte. Lückenlos ausgeprägte Bestandsdichte mit einer noch höheren Vegetation als bei Kartoffeln und Lein verursachte auch noch eine entsprechend stärkere Abkühlung, vor allem im Bereich der Vegetation. Die folgenden wechselnden positiven und negativen Abweichungen der Temperaturen lassen sich nicht begründen, zumal jene Messungen über dem in rauher Furche liegenden Gelände Zufälligkeiten unterworfen waren, welche keine genügenden Zusammenhänge für Ableitungen zeigten. Charakteristisch hingegen ist das Feuchtigkeitsbild des bearbeiteten Bodens. Auf Grund der Literatur war anzunehmen, daß die große Masse des Grünfutters den Wasservorrat des Bodens weitgehend verbrauchen würde. An Stelle von Wassermangel konnte festgestellt werden, daß der Boden nach dem Schnitt des Grünfutters in allen Meßgängen größere Feuchtigkeitsmengen zeigte als der im unbearbeiteten und unbewachsenen Stationsgelände. Nicht nur Vegetation, sondern auch Strukturänderungen des Bodens durch Schalen und Pflügen wirken auf den Temperaturgang der oberen Luftschichten ein.

Aus der Maisdarstellung (Abbildung 2, b) können keine zusammenhängenden Schlüsse gezogen werden, auch mit zunehmender Vegetationshöhe nicht. Es handelte sich hier um Körnermais, der in weitem Verband (60×80) stand und bis zum Wachstumsende keine geschlossene Vegetationsdecke bildete. Der Boden wurde bis zur Blüte des Maisbestandes mehrmals gelockert, so daß die durchweg höhere Feuchtigkeit mehr auf Bodenbearbeitung als auf Vegetationseinfluß zurückzuführen ist.

Bei den Nachmittagsmessungen im Erbsenbestand (Abbildung 3, a) sind bis zum Meßgang 11 eindeutig die Werte in allen Luftschichten niedriger als in der Station. Mit dem Lagern und der Gelbreife liegen sie jedoch höher. Unsere Morgenmessungen deuten ebenfalls an, daß bis zum Eintritt des Lagerns und der Gelbreife die Hauptabweichungen negativ sind. Unregelmäßigkeiten bei späteren Messungen sind in erster Linie durch Lagern bedingt, d. h. es traten Stellen auf, an denen die Pflanzen dichter und an anderen weniger dicht gehäuft waren, sodaß sich zum Teil nackter Boden zeigte. Unregelmäßigkeiten des Erbsenbestandes prägen sich auch im Feuchtigkeitsbild aus. Eine gewisse Einheitlichkeit dagegen findet man bei den Abweichungen der Bodentemperaturen, sie sind analog den bisherigen besprochenen Kulturen umgekehrt proportional zur Vegetationsmasse.

Bestandes geschieht eine abermalige Beeinflussung, die Meßwerte zeigen wesentlich geringere Abweichungen von den Stationswerten. Während Kartoffelboden durchweg feuchter ist als der im Freiland, ist im Lein die Feuchtigkeit geringer, jedoch mit kleineren Schwankungen, eine Erscheinung, welche auf den erhöhten Wasserverbrauch des Leines zurückzuführen ist. Die Feuchtigkeitserhöhung hingegen bei den Meßgängen 24, 25 und 26 wird durch vorgenommene Bodenbearbeitung nach der Ernte bewirkt. Auch über dem Leinbestand sind Luftschichten in 1 und 2 m Höhe kühler als in der Station.

Das Grünfuttergemenge (Abbildung 2, a), welches im Vorherbst eingesät wurde, bildete zur Zeit der ersten Meßgänge einen vollkommen geschlossenen, äußerst dichten Bestand mit einer Höhe von 85 cm. Der Schnitt erfolgte vor dem 4. Meßgang. Die nachfolgenden Meßgänge 6 und 7 veranschaulichen Einwirkungen des nachwachsenden Gemenges. Vom Meßgang 8 an wurde der Schlag geschält, gepflügt und später mit Raps

Die Sojapflanze (Abbildung 3, b) hatte sich anfänglich sehr langsam entwickelt. Sie bildete erst im August größere Blattmassen, sodaß von da an von einer Bodenbedeckung zu sprechen war. Solange die Pflanzen keinen geschlossenen Bestand bildeten, wurde die Bodenkrume dauernd bearbeitet. Deshalb können erst Werte vom Meßgang 19 ab zur Beurteilung herangezogen werden. Von diesem Zeitpunkt an sind sie aber verhältnismäßig eindeutig und geben sogar eine Vergleichsmöglichkeit mit Kartoffeln, da die Blattstellung ähnlich ist. Schattenwirkung wird deutlich sichtbar und verursacht eine ebenso eindeutige Abnahme der Temperaturdifferenzen. Die günstigen Verhältnisse der reichen Bodenfeuchtigkeit sind bis zum 19. Meßgang auf öftere Bodenbearbeitung, von da an auf schützende Wirkung des Blätterdaches zurückzuführen. Ein starker Wasserbedarf ist für Soja nicht angedeutet. Abweichungen der Bodentemperaturen stehen in ursächlichem Zusammenhang mit der Feuchtigkeit. Bei Betrachtung der Bodentemperaturabweichungen von Erbsen und Soja fällt auf, daß im Erbsenschlag von Anfang an dieselben wesentlich größer sind als im Sojabestand. Beim letzteren treten sie erst, analog der größeren Beschattung, ab Meßgang 23 auf. Erbsen hatten von Anfang an schon eine, die Bodentemperatur beeinflussende Vegetationshöhe, hingegen war die Sojapflanze niedrig und ihr Bestand sehr lückig. Trotzdem sind in den höheren Schichten meist negative Abweichungen vorzufinden.

Im Winterweizenbestand (Abbildung 4, a) sind Schwankungen der Vegetationshöhe dem Entwicklungsstadium der Pflanze angepaßt. Außerdem treten Unterschiede zwischen Vormittags- und Nachmittagsmeßgängen verhältnismäßig gut in Erscheinung. In den Vormittagsmeßgängen mit positiven Abweichungen zeigt sich die durch die Reihenrichtung begünstigte tiefere Einstrahlungsmöglichkeit, während bei den Nachmittagsmessungen mit abnehmendem Sonnenstand keine

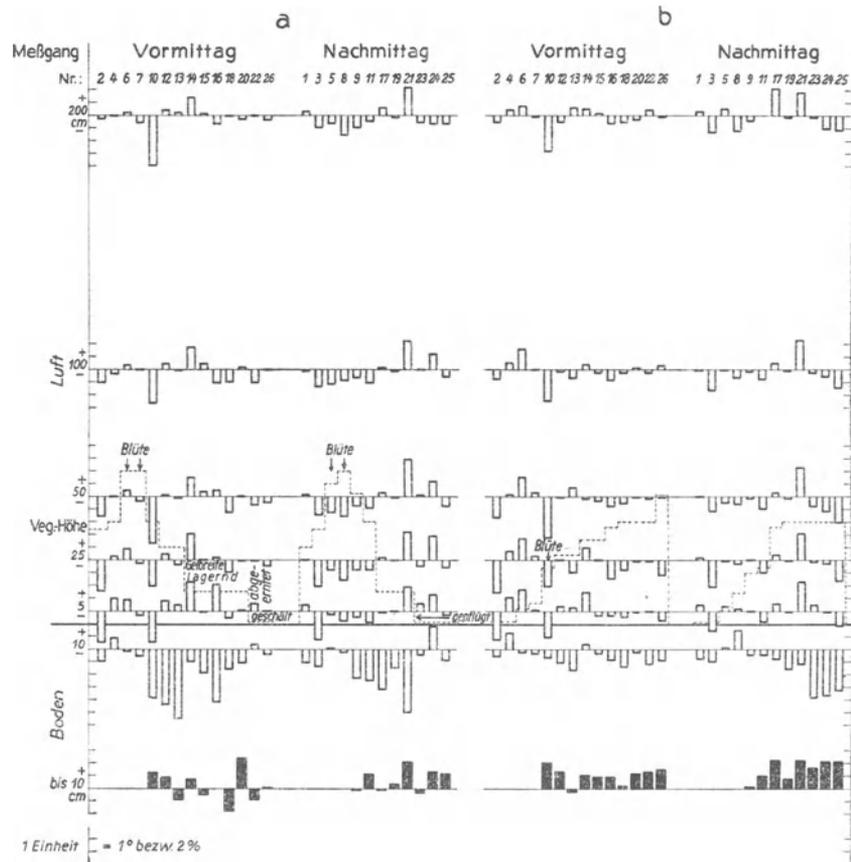


Abb. 3. Abweichungen von den Stationsmitteln:

a) Erbsen (Gießener). — b) Soja (Brillmayer).

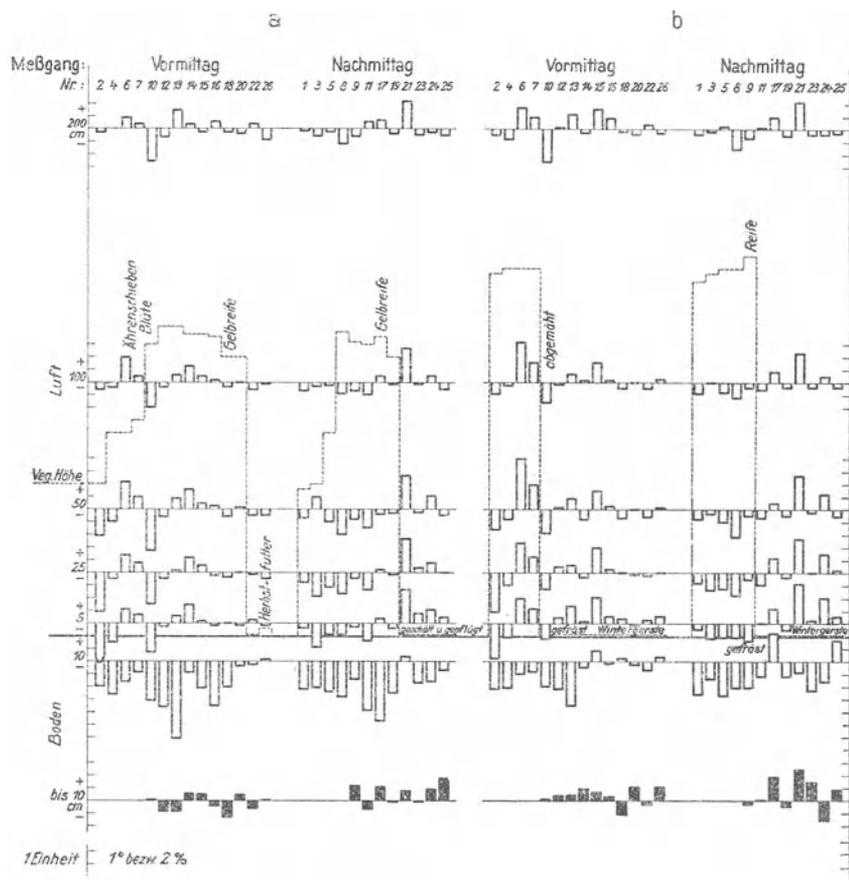


Abb. 4. Abweichungen von den Stationsmitteln:

a) Winterweizen (General von Stocken). — b) Raps (Lembkes).

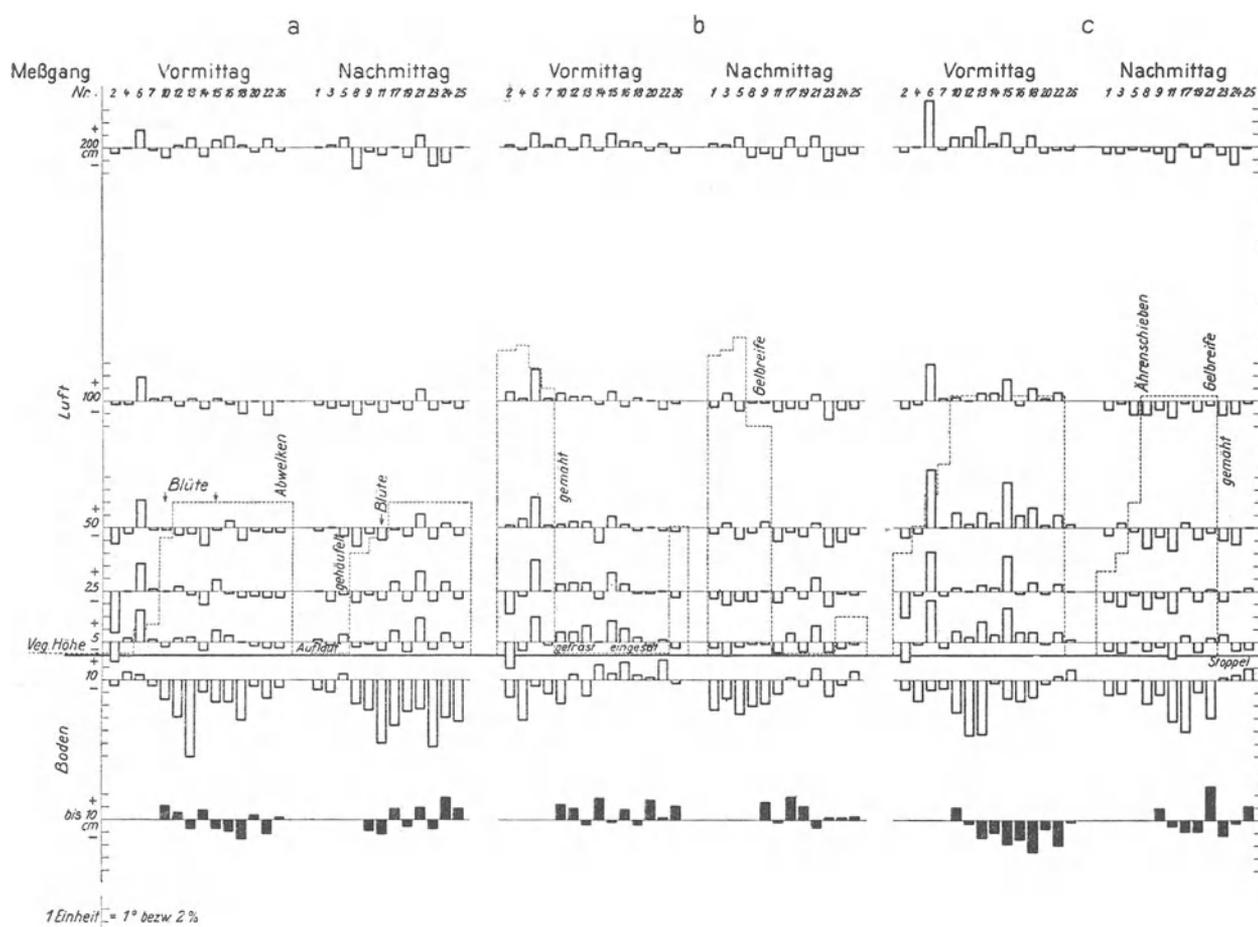


Abb. 5. Abweichungen von den Stationsmitteln:

a) Kartoffel (Industrie). – b) Gerste (Friedrichswerther Berg), nachfolgend Gemenge. – c) Sommer-Weizen (Heines Kolben).

Einstrahlungsmöglichkeiten mehr gegeben waren und die Ausstrahlung vorherrschte. Die negativen Abweichungen der Lufttemperatur in den Vormittagsmeßgängen sind durch wolkiges Wetter bedingt, die vorausgegangene nächtliche Ausstrahlung überwiegt noch. Nach dem Schnitt des Getreides – von Meßgang 21 ab – treten Schwankungen auf, welche auf Bodenbearbeitung zurückzuführen sind. Abweichungen der Bodentemperaturen nehmen proportional der Vegetationshöhe zu.

Mit Beginn der Bestandsmessungen hatte der Raps (Abbildung 4 b) fast schon seinen höchsten Stand erreicht. Nach dem 9. Meßgang wurde er geschnitten, der Schlag gefräst und später mit Wintergerste bestellt. Bei den Nachmittagsmessungen überwiegen durchweg für alle Meßschichten die negativen Abweichungen, analog den Erscheinungen bei Winterweizen. Bei den Vormittagsmessungen ist der Fortgang der Reife deutlich zu erkennen. Der Raps wirft langsam seine Blätter ab, sodaß tiefere Einstrahlungsmöglichkeiten vorhanden sind, die starken positiven Abweichungen bestätigen dies. Das anschließende wechselvolle Bild nach dem Schnitt des Rapses entspricht den seither festgestellten Erscheinungen.

Ein Vergleich der Feuchtigkeitsverhältnisse ist hier nicht möglich, da Feststellungen erst nach der Rapsernte vorgenommen wurden. Die zunehmenden Feuchtigkeitsschwankungen werden in erster Linie wieder durch Bodenbearbeitung, in diesem Falle Walzen, verursacht. – Winterweizen und Raps, als die beiden höchsten Kulturpflanzen unserer Versuchsreihe, zeigen in 2 m Höhe keine anderen Erscheinungen wie niedrigere Kulturen und bearbeiteter Boden.

Die letzten 3 Kulturen (Abbildung 5) bestätigen bereits gemachte Aussagen, insbesondere für Wintergerste und Sommerweizen. Bei den Vormittagsmessungen ist durch die Einstrahlung eine positive Abweichung, bei den Nachmittagsmessungen infolge überwiegender Ausstrahlung eine negative Abweichung vorherrschend.

Wenn auch bei Kartoffeln und Sommerweizen zur Zeit der Vormittagsmessungen die Tendenz der negativen Abweichungen gleichsinnig ist, so ist doch der Feuchtigkeitsentzug durch den Sommerweizen ein stärkerer. Bei den Nachmittagsmessungen sind die Verhältnisse ähnlich gelagert.

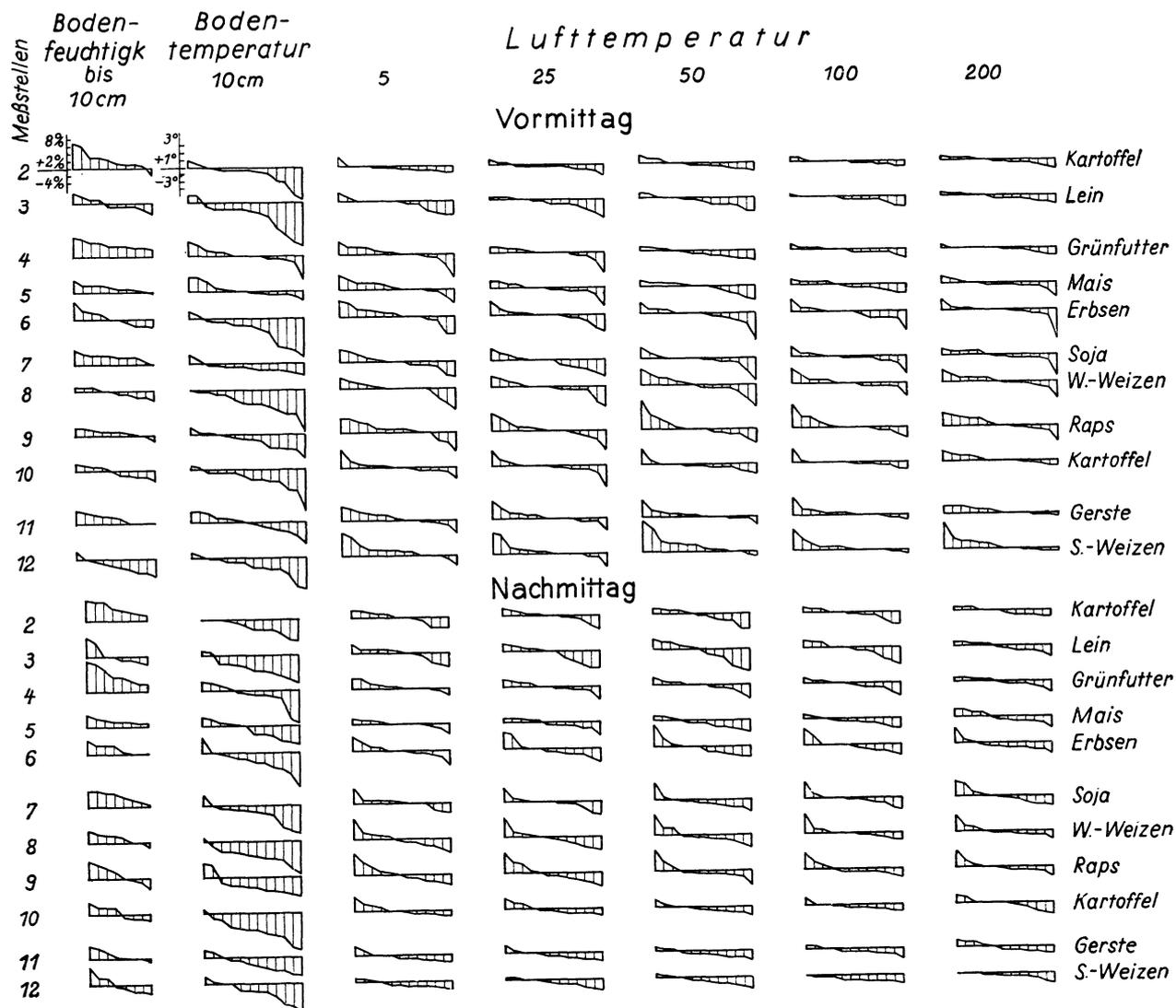


Abb. 6. Abweichungen von den Stationswerten

Beachtenswert sind die nach dem Schnitt der Gerste in den folgenden Messungen gemachten Feuchtigkeitsunterschiede. Während die ebenfalls schon bereits erwähnten Eigentümlichkeiten der Schwankungen zur Zeit der Bearbeitung bestätigt werden, zeigen von Meßgang 23 ab unsere Nachmittagsuntersuchungen durch die neu auflaufende Kultur des Erbsen- und Bohngemenges positiv gerichtete, fast gleiche Abweichungen.

### 3. Ergebnisse.

In Abbildung 6 sind sämtliche Ergebnisse der Meßperiode zusammengefaßt. Auch hier stellen Stationswerte wieder die Nulllinie dar, auf ihr sind Abweichungen entsprechend dem Vorzeichen aufgetragen.

Es ist zu ersehen, daß der Bodenfeuchtigkeitsgehalt am Standort der einzelnen Kulturen verschieden ist, im allgemeinen sagen aber die überwiegend positiven Abweichungen aus, daß unter Kulturbeständen höhere Bodenfeuchtigkeit vorherrscht als in unbearbeitetem Boden ohne Vegetation. Ganz erhebliche Feuchtigkeitsmengen sind unter dem Grünfutter-, Soja- und Kartoffelbestand anzutreffen. Der Faktor Bodentemperatur wird am stärksten durch die Kulturen beeinflusst. Erhöhte Bodenfeuchtigkeit und Schattenwirkung der Bestände führen zu gesteigerten negativen Abweichungen. Ganz besonders kühl ist der Boden unter Lein und Erbsen.

Die Temperaturzustände in den verschiedenen Luftschichten deuten allgemein an, daß Habitus, Entwicklungsstadium und Bestandsdichte der jeweiligen Kulturen von Einfluß sind auf den Temperaturgrad. Beachtenswert ist, daß nicht nur sämtliche Kulturen, sondern sogar schon Bodenbearbeitungen die Temperaturverhältnisse in 2 m zu beeinflussen vermögen. Nicht allein die oben angedeuteten Einflüsse, sowie Wassergehalt und physiologische Erscheinungen der Pflanze, sondern auch Strukturänderungen der Erd-

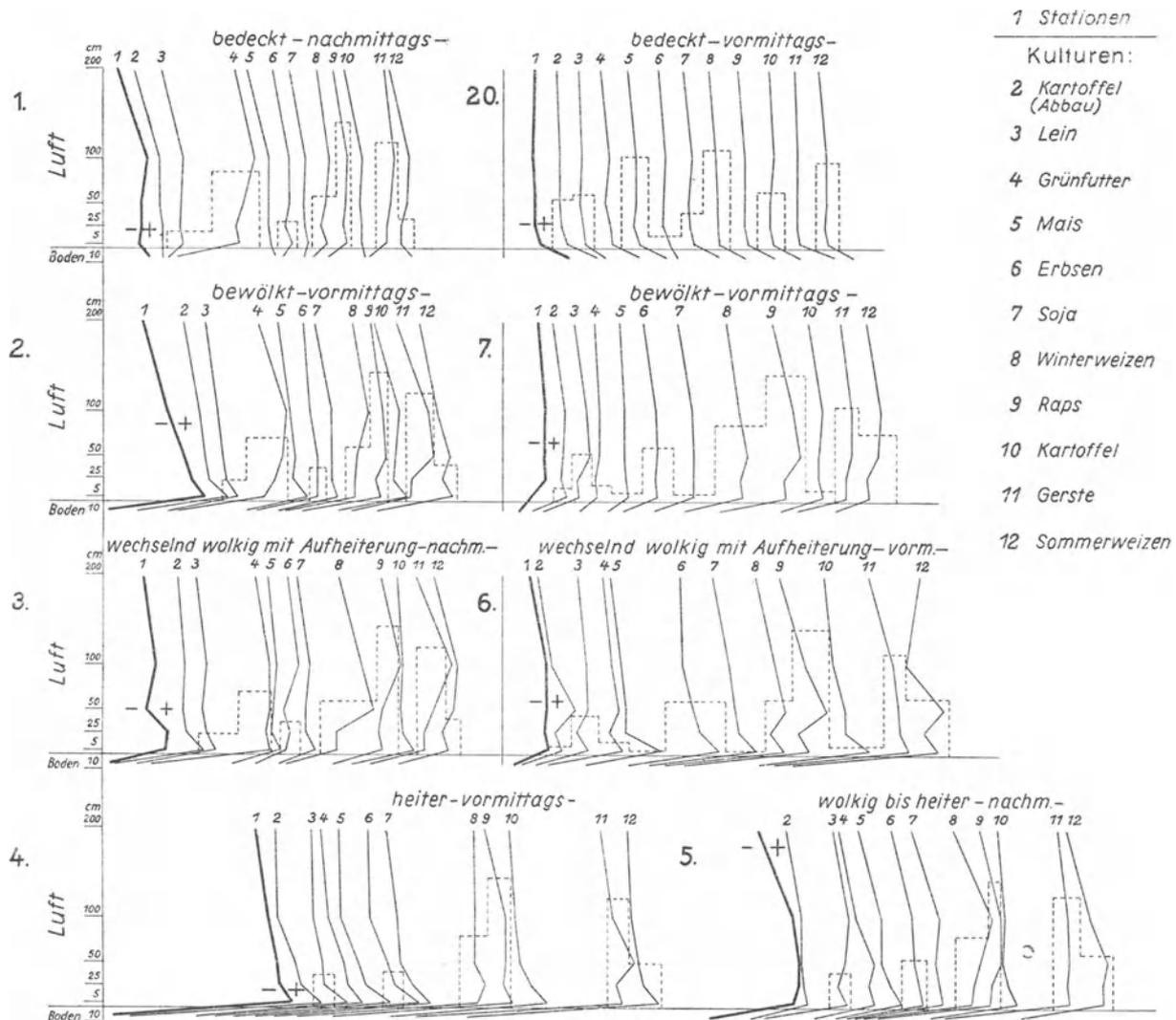


Abb. 7. Zustandskurven.

oberfläche sind also tätige Faktoren, welche den Temperaturen bis in die oberen Schichten das Gepräge geben.

Eindeutig festgelegt und bei allen Kulturen anzutreffen ist die Tendenz der Abweichung, welche kontinuierlich fällt und eine gewisse Bindung an die Vegetationshöhe zeigt. Während Bodentemperaturwerte hauptsächlich in negativem Sinne von denen der Station abweichen, sind Abweichungen der Lufttemperaturen im anfänglichen Entwicklungsstadium der Kulturen positiv und von einem bestimmten Zeitpunkt an negativ zu denen der Station gerichtet. Der zeitliche Eintritt des Umkehrpunktes, d. h. Schneidung der Nulllinie, läßt sich aus diesem Versuch noch nicht für die einzelnen Kulturen festlegen.

Die Zustandskurven in Abbildung 7 mögen veranschaulichen, in welcher Art Temperaturen vom Boden nach der Höhe zu im allgemeinen verlaufen. Es sollte untersucht werden, welche Abbeugungen die vertikale Temperaturkurve infolge der Tages- und Jahreszeit, des Witterungszustandes oder der Vegetationshöhe erfährt. Es zeigt sich als erster Kardinalpunkt die Bodenoberfläche. Dort treten nicht nur im Freiland sondern auch im Vegetationsbestand die stärksten Knicke auf. Ob diese negativ oder positiv sind, hängt allein von der Richtung des Gefälles der Temperatur von der bodennahen Luft zum Boden ab. Ein zweiter Knick liegt mit weniger stark ausgeprägtem Winkel im Bereich der Vegetation. Schließlich liegt noch ein Knick dritter Ordnung in 100 cm Höhe über dem Boden, also kurz über oder unter der Vegetationsdecke. Da die Höhe dieses Knickes mit der Höhe der Vegetation zu wechseln scheint, könnte man wohl schließen, daß dieser Punkt im wesentlichen durch die Vegetationshöhe bedingt ist. Es ist deshalb in Zukunft erforderlich, daß außer den feststehenden Meßhöhen auch zwei bewegliche Thermometer benutzt werden, und zwar unmittelbar über dem Vegetationsdach und kurz darunter in demselben Bereich, um die zweite tätige Oberfläche erfassen zu können. Der kontinuierliche Temperaturverlauf in den unteren freien Schichten folgt einer Parabel. Da Messungen in verschiedenen Höhen mit ungleichen Unterschie-

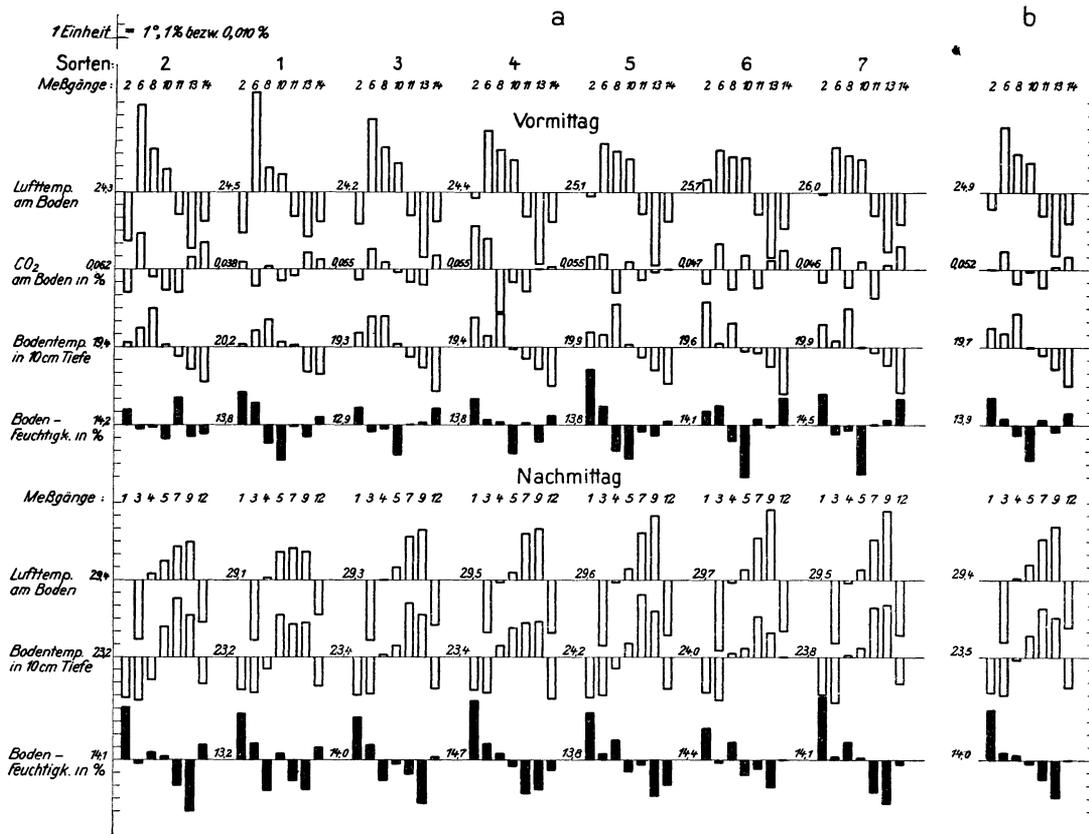


Abb. 8a. 7 Weizensorten: 1. Mauerner Dickkopf, 2. General von Stocken (Vergleichssorte), 3. Carstens Dickkopf, 4. Strubes Dickkopf, 5. Langs Tassilo, 6. Heines III (kurz), 7. Hauter Weizen.  
Abweichungen: a) der einzelnen Meßwerte von ihrem Gesamtmittel innerhalb einer Sorte. — b) der Mittel der einzelnen Meßgänge vom Mittel aller Werte.

den gemacht wurden, sind die Verbindungslinien der Temperaturwerte als Sehnen einer Parabel zu betrachten. Sind aber die Verhältnisse durch Vegetation gestört, dann liegen jene Knickpunkte nicht mehr auf dieser Parabel, sondern sie sind das Ergebnis der Einwirkungen neuer Konstanten.

Besonders auffällig sind Gegensätze des Temperaturverlaufs bei den Typen der Kurvenscharen in den Meßgängen 4 und 20, und zwar ist der Kurvenverlauf des Meßganges 20 nahezu als das Spiegelbild des Meßganges 4 und als Übergangsbeispiel für Meßgang 1 anzusehen. Dadurch liegt es nahe, anzunehmen, daß die Verhältnisse durch Charakteristiken der Wetterlagen in Bezug auf Ein- und Ausstrahlung geschaffen werden. Auch in diesem Bilde nicht wiedergegebene Temperaturverläufe zeigen typische Verhältnisse, doch ist es noch nicht möglich, bei dem Zusammenwirken vieler Faktoren meteorologischer und pflanzenphysiologischer Art aus diesem Material eindeutige Schlüsse zu ziehen.

Außer verschiedenen Kulturen wurden auch mehrere Sorten einer Kulturart untersucht. Aus einem Weizensortenbestand haben wir 7 mit typischen Merkmalen zur Betrachtung hierfür herangezogen. Bei diesen Untersuchungen wurde außer Bodentemperatur und Bodenfeuchtigkeit nur bodennahe Lufttemperatur und Kohlensäuregehalt in Bodennähe gemessen. Beobachtungen der Lufttemperatur in höheren Schichten kamen in Wegfall, da die Parzellen lückenlos mit nur 2 m Breite nebeneinander lagen, eine Differenzierung war deshalb nicht zu erwarten. Wenn überhaupt unterschiedliche Merkmale auftraten, dann konnte dies nur in Bodennähe und im Boden möglich sein.

In Abbildung 8 a bildet für jede Sorte die Nulllinie das Mittel aus allen Meßgängen. Auf ihr sind Differenzwerte der einzelnen Meßgänge von ihrem Mittel aufgetragen. Fernerhin wurden noch Mittel der Meßgänge von jeder Sorte gebildet und Differenzen dieser Ergebnisse von deren Gesamtmittel dargestellt. Abbildung 8a zeigt also die einzelnen und durchschnittlichen Klimaverhältnisse aller Sorten während der aufeinanderfolgenden Meßgänge.

Eindeutig ist bei den Vormittags- und Nachmittagsmessungen die enge Beziehung zwischen boden- naher Lufttemperatur und Bodentemperatur ausgeprägt. Weitere, auch noch verhältnismäßig enge Beziehungen bestehen zwischen Bodentemperatur und Bodenfeuchtigkeit einerseits und zwischen Kohlen-

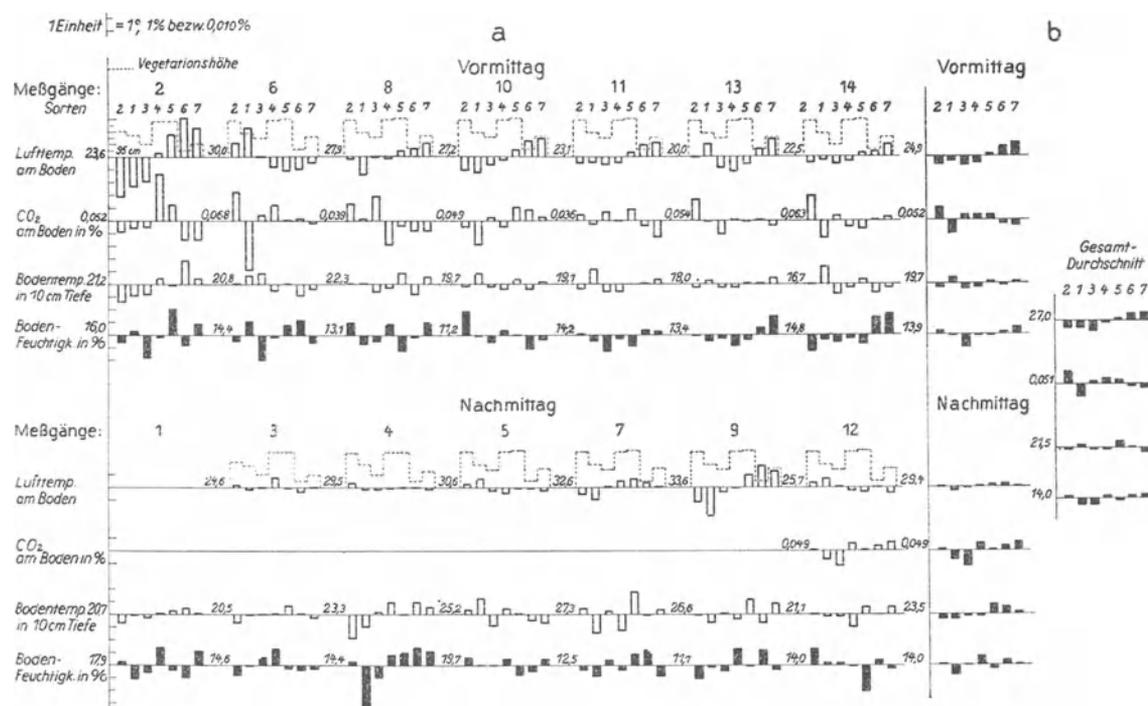


Abb. 8 b. 7 Weizensorten (Sorten wie unter 8 a).

Abweichungen: a) der einzelnen Sorten vom Mittel jedes Meßgangs. — b) des Mittels der einzelnen Sorten vom Mittel aller Meßgänge.

säuregehalt und bodennaher Lufttemperatur andererseits. Es liegen also augenscheinlich mehrfache Beziehungen vor, welche allerdings bei der Durchschnittsdarstellung verwischt werden.

Das Wesentliche für unsere Betrachtung ist eine Erfassung der Abhängigkeit der Lufttemperatur am Boden und der Bodentemperatur von den Witterungsverhältnissen während der Meßdauer. Bei Betrachtung der einzelnen Meßgänge zeigen nämlich die Temperaturverhältnisse jeder Sorte, mit geringen Abweichungen, welche durch die Eigentümlichkeiten jeder Sorte bedingt sind, eine den jeweilig herrschenden Witterungsverhältnissen entsprechende Tendenz. Der mittlere Zustand aller Sorten während der einzelnen Meßgänge, wie er rechts zusammengefaßt ist, erscheint also berechtigt. Dies bekräftigt sich nicht nur durch eine systematische Aufeinanderfolge der Schwankungen, sondern auch besonders durch die erhalten gebliebene Größe der mittleren Schwankung.

Eine Zusammenfassung von Vormittags- und Nachmittagsmeßgängen in der Reihenfolge der Nummern ergibt also ein Bild des Witterungsablaufs für 7 Weizensorten während der Gesamtbeobachtungsdauer. Ist in Darstellung 8 a die Eigenart der einzelnen Sorten durch Gesamtmittelbildung aufgehoben worden, so soll in Abbildung 8 b zur Anschauung gebracht werden, welchen Einfluß Vegetationsform und Vegetationsrhythmus der einzelnen Sorten auf Lufttemperatur, Kohlensäure, Bodentemperatur und Bodenfeuchtigkeit haben. In der Darstellung sind die Abszissen als Mittelwerte aus allen Sorten während jedes Meßganges anzusehen und Abweichungen als Differenzen jeder einzelnen Sorte von diesem Mittel zu betrachten. Abbildung 8 a veranschaulicht Messungen als Funktion der Reihenfolge der Meßgänge, in Abbildung 8 b sind Messungen als Funktion der Sorte anzusehen. In letzterer Darstellung kann die mitangeführte Vegetationshöhe der einzelnen Sorten zur Klärung der im Ganzen systematisch verlaufenden Abweichungen der Sorten nichts Wesentliches beitragen. Eine Erklärung für die im Temperaturbild sichtbar gewordenen Sortenunterschiede kann dagegen auf verschiedene Vegetationsform, Unterschiede in der Blattgröße, sowie auf Farbunterschiede zur Zeit der Reife zurückgeführt werden. Mitangeführte Beobachtungen der bodennahen Lufttemperatur, des Kohlensäuregehaltes und der Bodenfeuchtigkeit genügen in ihrer Gesamtheit augenscheinlich noch nicht, um eindeutige Klärung zu bringen, obwohl auf beiden Abbildungen Zusammenhänge der Faktoren untereinander zu erkennen sind.

Ein Vergleich der Abbildungen 8 a und 8 b gibt zu erkennen, daß trotz schwankenden und stark veränderlichen Witterungsverlaufs während der Untersuchungen die Eindeutigkeit des als systematisch erkennbaren Sortenunterschiedes nicht beeinträchtigt wurde.

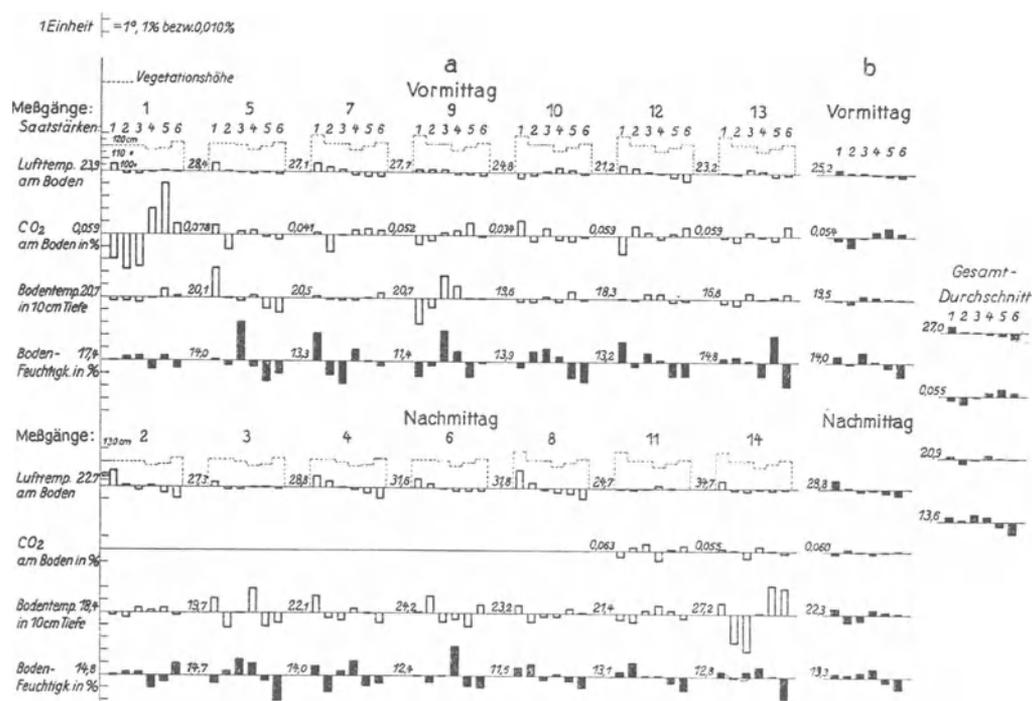


Abb. 9. Saatstärkenversuch mit Winter-Weizen.

Abweichungen der einzelnen Saatstärken: a) vom Mittel jedes Meßganges. — b) vom Mittel der Meßgänge.

Ein auf dem Versuchsfeld angelegter Saatstärkenversuch mit Winterweizen (Abbildung 9) wurde ebenfalls untersucht.

Bei diesem Versuch handelt es sich um 2 Weizensorten mit je 3 verschiedenen Saatstärken — 80, 110 und 140 kg —, welche fortlaufende Nummern (1–6) erhielten. Es entspricht also — da gleiche Saatstärke — 1 = 4, 2 = 5, 3 = 6. In Abbildung 9 sind unter a) die Abweichungen der Werte der einzelnen Faktoren (Lufttemperatur, Kohlensäure, Bodentemperatur, Bodenfeuchtigkeit) bei den verschiedenen Saatstärken vom Mittel der Werte der Faktoren eines jeden Meßganges dargestellt; hieraus wurden die Mittel der Werte der betreffenden Faktoren bei jeweils gleicher Saatstärke gebildet und ihre Abweichung vom Gesamtmittel, das sich aus allen Meßgängen errechnet, unter b) wiedergegeben. Die erste Sorte General von Stocken ist ein verhältnismäßig schmal und wenig beblätterter Weizen, angenähert der Wuchsform der alten Landweizen, während die Sorte Carstens V gedrungenen Wuchs zeigt und breite Blätter hat.

Das Wesentlichste bietet unsere Zusammenstellung auf der rechten Seite der Abbildung, denn positive und negative Abweichungen der Meßgänge behalten durchaus die Größenordnung der mittleren Schwankung der einzelnen Saatstärken bei. Sie haben also nicht die Tendenz sich wie irreguläre Schwankungen zu Null zusammenzulegen. Es differenziert sich deutlich der Unterschied in allen Einzeldarstellungen zwischen Vormittags- und Nachmittagsbild. Eine Zusammenfügung der Vormittags- und Nachmittagsmessungen nach ihrer Aufeinanderfolge (nach Nummern geordnet) ergibt den kontinuierlichen Verlauf, der den Gesamtwitterungsablauf widerspiegelt.

Die dem Saatstärkenversuch zugrunde liegende Fragestellung, eine Abhängigkeit der Meßschwankungen in ursächlichen Zusammenhang zu bringen mit Saatstärken und Sorten, war unsere Aufgabe. Zunächst ist auffällig, daß Schwankungen kleiner und weniger deutlich in der Wiederholung gleichgerichtet sind. Insbesondere ersieht man aus der Zusammenfassung rechts eine Konvergenz gegen Null. Eindeutige Beziehungen zum Vegetationsverlauf sind in den Saatstärken jedoch erkennbar und prägen sich in einem systematischen Verlauf der Schwankungen im Gesamtdurchschnitt aus. Eine Wechselbeziehung der betrachteten Faktoren untereinander ist gleichzeitig deutlich erkennbar.

Schließlich stand auf dem Versuchsfeld noch ein Maisversuch mit verschiedenen Sorten und verschiedenen Saatstärken zur Verfügung. Für uns lag hier dieselbe Fragestellung vor wie beim Weizen-Saatstärkenversuch. Wir haben aus dem gesamten Versuch 3 Sorten: Mecklenburger, Pommern und Gelber Badischer Mais herausgegriffen, welche im Handdippelverfahren mit einem Abstand von 60×30cm, je Legestelle 1, 2 und 3 Korn, gesät wurden. Die Sorten unterscheiden sich wesentlich in ihrer Vegetationsform.

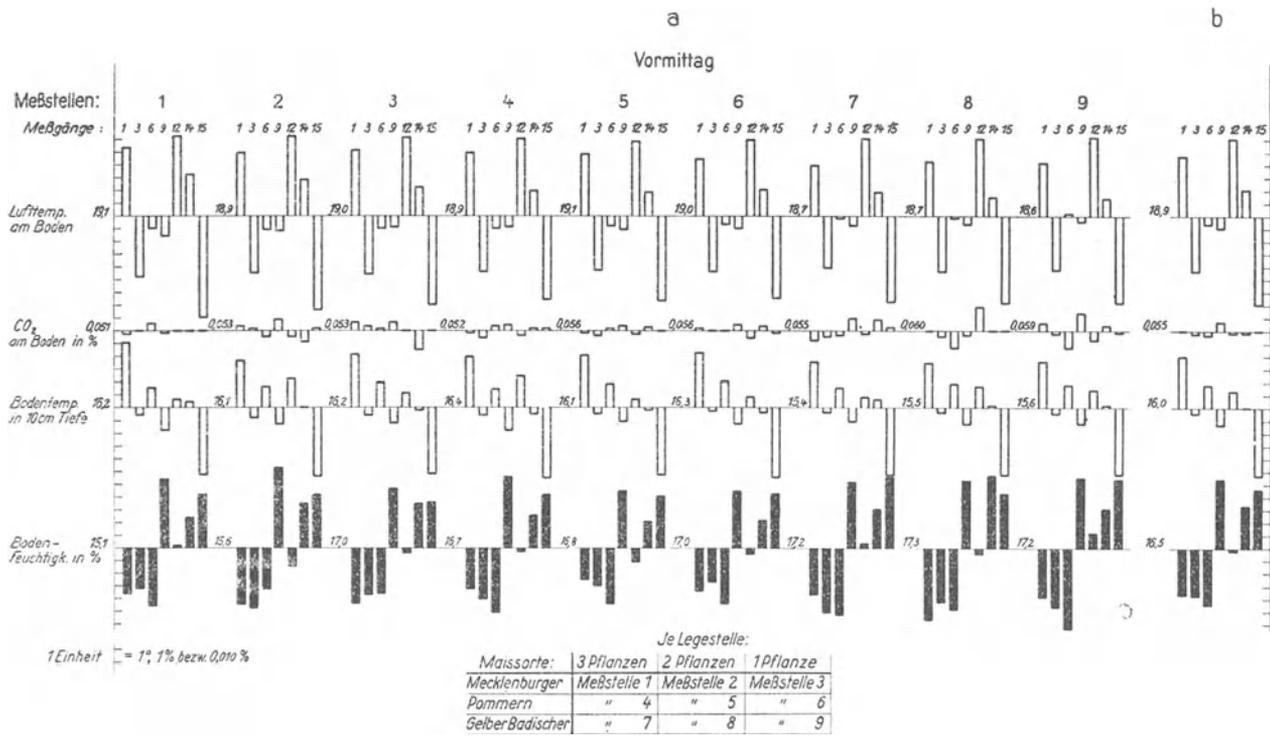


Abb. 10 a. Abweichungen: a) der Einzelwerte von ihrem Gesamtmitel in jeder Parzelle. — b) des Mittels der Einzelwerte eines Meßgangs vom Gesamtmitel aller Meßgänge.

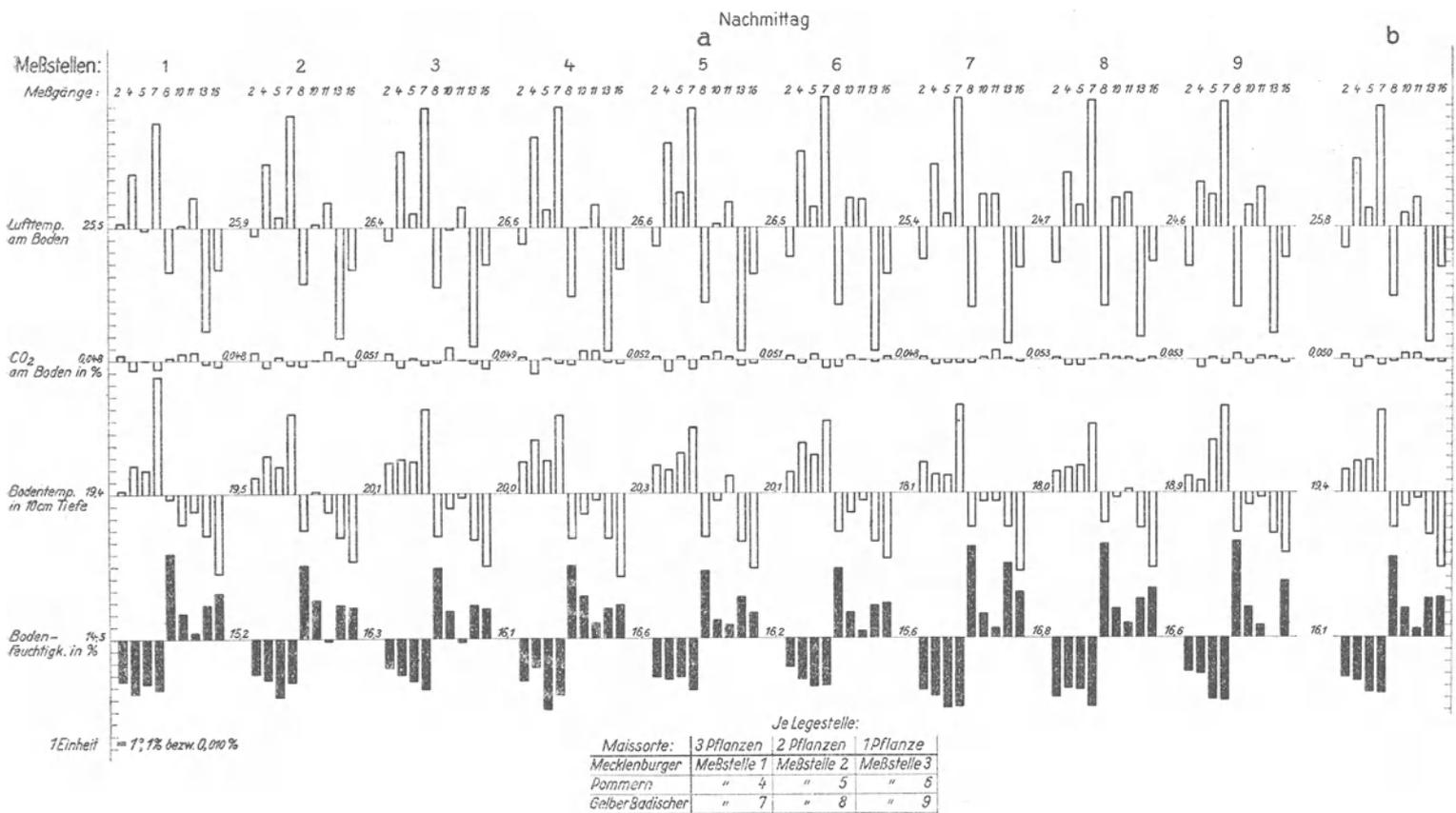


Abb. 10 b. Abweichungen: a) der Einzelwerte von ihrem Gesamtmitel in jeder Parzelle. — b) des Mittels der Einzelwerte eines Meßgangs vom Gesamtmitel aller Meßgänge.

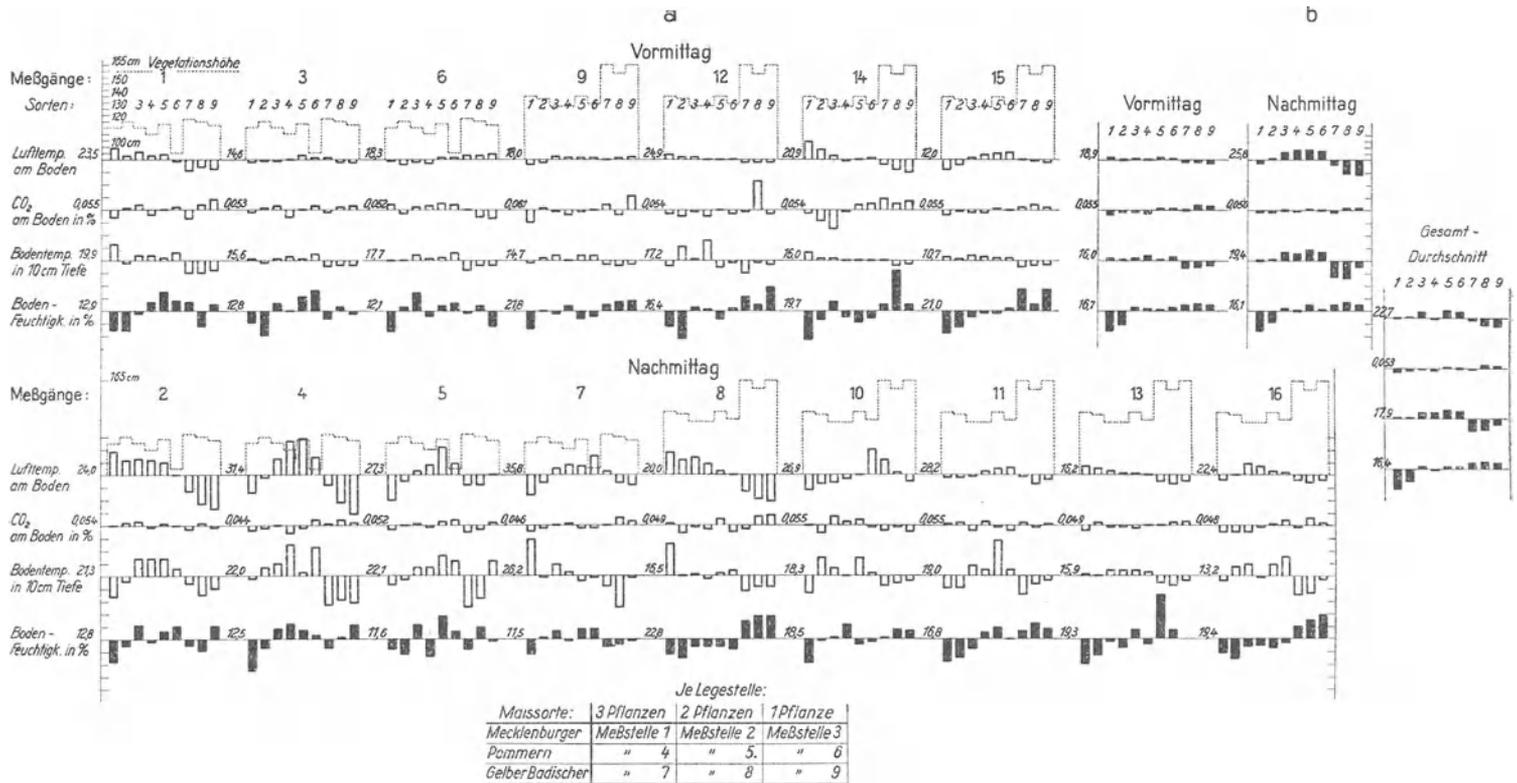


Abb. 11. Mais, Abweichungen: a) der Parzellen-Einzelwerte von ihrem Mittel innerhalb eines Meßgangs. — b) der einzelnen Parzellen-Mittelwerte vom Mittel aller Werte.

Während Mecklenburger Mais niedrig und gering beblättert ist, steigert sich Größe und Blattmasse beim Pommern- und Gelben Badischen Mais. Letzterer, außerordentlich dicht im Wuchs, beschattet den Boden am stärksten. Die neun aufeinanderfolgenden Parzellen sind auf den Abbildungen mit laufenden Nummern versehen.

Darstellungen 10 a und 10 b veranschaulichen die Abhängigkeit von der Zeitfunktion und weisen außerordentliche Schwankungen auf. Gleichzeitig vermittelt eine Aneinanderreihung der Vormittags- und Nachmittagsmeßgänge, nach ihren Nummern geordnet, die allmählich absteigende Tendenz der Lufttemperaturkurve. Ideal ausgeprägt sind hier Zusammenhänge zwischen den untersuchten Faktoren, vor allem Luft- und Bodentemperatur sowie Bodenfeuchtigkeit. Diese Zusammenhänge werden auch in der Abbildung 11 nicht verwischt. Während beim Weizensortenversuch der Vegetationshöhe keine ausschlaggebende Bedeutung hinsichtlich der Sorteneigentümlichkeit zukam, ändern sich diese Verhältnisse beim Mais, wie schon oben aus der Sortenbeschreibung hervorgeht. Die Tendenz des Schwankungsverlaufs der Vormittags- und Nachmittagsmeßgänge (siehe Abbildung 11, Zusammenfassung rechts) ist für beide gleichsinnig, die Größe der Schwankungen nimmt dagegen in den Nachmittagsmeßgängen zu. Diese Erscheinung wird bedingt durch größere Verschiedenheit der Sorten in Bezug auf Wuchshöhe und Belaubung, was sich dahingehend auswirkt, daß die Reaktion des täglichen Witterungsverlaufs entsprechend den Sorteneigentümlichkeiten erst nach einer bestimmten Zeitverzögerung ihr Ende erreicht.

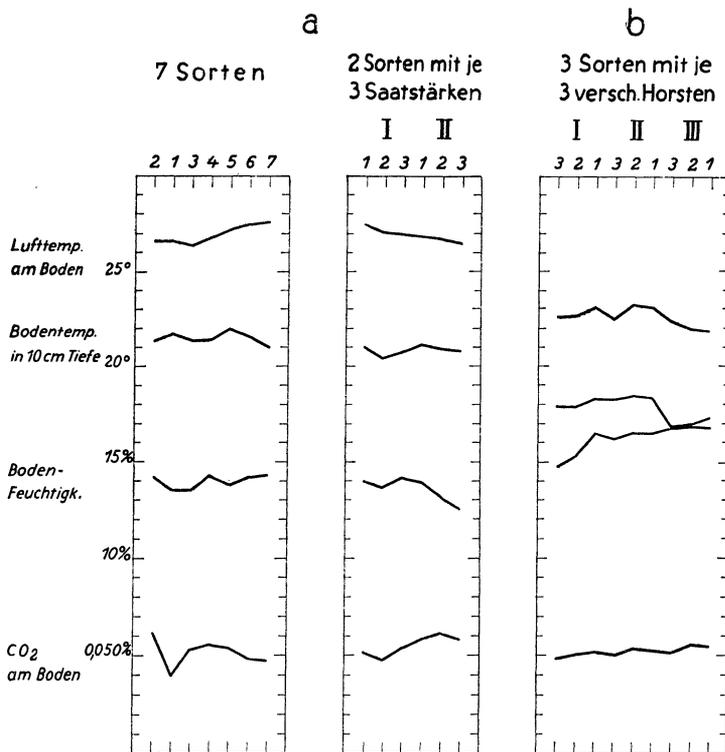


Abb. 12. Klimaverhältnisse: a) im Weizen. — b) im Mais.

Dieser Versuch ist ein weiterer Beitrag zur Klärung der Veränderung klimatischer Verhältnisse in Abhängigkeit von Vegetation, sowie eindeutiger Wechselbeziehungen der untersuchten Faktoren, welche zwar im Mais am klarsten ausgebildet sind, jedoch auch an vorausgehenden Meßversuchen im Weizen (Sorten- und Saat-Stärkenversuch) nachgewiesen werden konnten.

In Abbildung 12 wurden Meßergebnisse im Weizensorten- und Saatstärken- sowie Maisversuch in einer anderen Form zum Vergleich zusammengefaßt. An Stelle von Schwankungen um eine Nulllinie wurde hier der Mittelwert jeder einzelnen Sorte während aller Meßgänge aufgetragen und jene Punkte miteinander verbunden. Weizensorten- und Saatstärkenversuch verglichen, zeigen, daß Kurven der untersuchten, entsprechenden Faktoren in ihrem Gesamtverlauf ungefähr in dem gleichen Intervall bleiben. Die klimatischen Verhältnisse in den beiden Gesamtbeständen, ohne Berücksichtigung der einzelnen Sorten, weisen also durchschnittlich große Ähnlichkeit miteinander auf. Die Tendenz der Kurven ist natürlich verschieden gerichtet und spiegelt Eigentümlichkeiten der Einzelverhältnisse wieder. Der Vergleich der Klimaverhältnisse im Weizen mit denen im Mais ergibt ein wesentlich anderes Bild. Vor allem ist beim Mais die Lufttemperaturkurve in ihrer Gesamtheit stark abgesunken, desgleichen parallel dazu die Bodentemperaturkurve. Ferner steigt die Bodenfeuchtigkeit stark an. Im Gegensatz zum Verlauf des Kohlensäuregehalts in den beiden Weizenversuchen steigt die Kohlensäurekurve im Mais stetig an. Weizen und Mais zeigen in ihrer Gesamtbetrachtung somit ganz erhebliche Unterschiede, welche auf die bereits gemachten Charakteristiken der Pflanzen selbst, ferner auf Pflanzweite und Saatstärke zurückzuführen sind.

Bereits eingangs wurde schon angedeutet, daß wir Beobachtungen und Untersuchungen in den 11 Kulturbeständen zweimal wiederholten, sodaß zur Ermittlung der Durchschnittswerte für jeden einzelnen Meßort 4 Werte zur Verfügung standen. Die Schwierigkeit des Zeitverlaufs wird durch die rückläufige Wiederholung des Meßganges behoben. Durch den rückläufigen Gang bekommen die aus 2 Messungen zusammengefaßten durchschnittlichen Werte eine einheitliche, gleiche, mittlere Zeit. Zu berücksichtigen ist aber noch, daß der Abstand je zweier Messungen wechselnde Größen hat. Um einen Anhaltspunkt für die Wirkungsstärke dieser Erscheinung zu bekommen, wurde der oben erwähnte Meßgang durchgeführt. Wir erhielten 4 Werte je Meßstelle von nicht nur gleichem mittlerem Zeitpunkt, sondern auch mit gleichem mittlerem Abstand der 4 Meßkontrollen. Es wurden auf diese Weise Mittelwerte erreicht, welche in strengerem Sinne als charakterisierend gelten können für die zu untersuchenden Ortszustände. Gleichzeitig prüften wir in diesem Versuch den Kohlensäuregehalt der bodennahen Luft.

#### 4. Korrelationsrechnung.

Verrechnung des Materials nach der Methode Bravais-Gauß auf Korrelation ergab die in Tabelle 1 wiedergegebenen Zahlenwerte.

T a b e l l e 1.

	1	2	3	4	1-2	1-3	4-1	3-2	4-2	4-3	
	B o d e n -		L u f t								
	Feuchtigkeit	Temperatur	Temperatur	CO <sub>2</sub>							
	%		5 cm	%							
Ø	205	117	182	423							
ε	2460	1406	2180	5085	1054	280	2625	774	3689	2905	
1	185	116	181	410	69	4	225	65	294	229	
2	244	121	187	420	123	57	176	66	299	233	
3	214	126	190	465	88	24	251	64	339	275	
4	234	123	186	430	111	48	196	63	307	244	
5	204	118	181	415	86	23	211	63	297	234	
6	188	107	173	360	81	15	172	66	253	187	
7	216	112	181	450	104	35	234	69	338	269	
8	187	117	180	380	70	7	193	63	263	200	
9	207	119	187	475	88	20	268	68	366	288	
10	188	110	176	455	78	12	267	66	345	279	
11	208	113	176	420	95	32	212	63	307	244	
12	185	124	182	405	61	3	220	58	281	223	
V	4280	378	289	12656	17603	3626	3217	11366	91	12769	10775

	I-2	I-3	4-1	3-2	4-2	4-3
	4280	4280	4280	378	378	289
+	378	289	12656	289	12656	12656
	4658	4569	16936	667	13034	12945
-	3626	3217	11366	91	11689	10775
+		+	+	+	+	+
	1032	1352	5570	576	1345	2170
	516	676	2785	288	672	1085
r	0.406	0.608	0.379	0.872	0.307	0.567
r <sup>2</sup>	0.165	0.370	0.143	0.760	0.094	0.322
1-r <sup>2</sup>	0.835	0.630	0.857	0.240	0.906	0.678
m <sub>I</sub>	0.289	0.199	0.292	0.155	0.301	0.260
z	1.40	3.05	1.30	5.63	1.02	2.18
z <sup>2</sup>	1.97	9.30	1.68	31.75	1.04	4.75
+		+	+	+	+	+
b <sub>I</sub>	0.1205	0.1580	0.650	0.763	1.778	3.76
b <sub>II</sub>	1.365	2.340	0.220	0.996	0.053	0.086

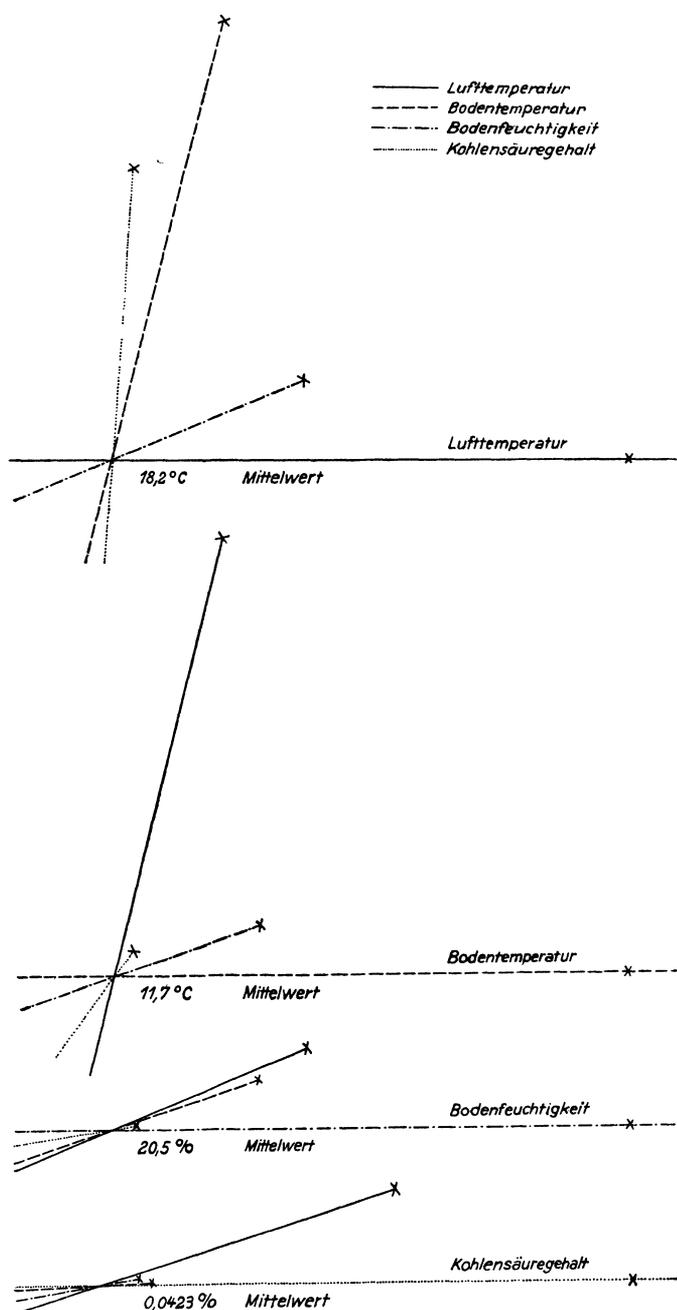


Abb. 13. Beispiel der Beziehungen zwischen den allgemeinen meteorologischen Faktoren während eines Feldmeßganges bei 11 Kulturen u. der Versuchsfeldstation in 4facher Wiederholung.

In Abbildung 13 sind die Beziehungen angedeutet nach Richtung und Stärke der der Reihe nach als supponierte Eigenschaft angenommenen meteorologischen Faktoren. Winkel zwischen der als relativ und der als supponiert betrachteten Eigenschaft geben den Verlauf der dynamischen Reaktionsmittellinie an. Die Länge der relativen Leitlinie veranschaulicht Stärke der Korrelation im Verhältnis zur supponierten Eigenschaft. Letztere ist als 10 cm-Strecke übertragen, so daß eine Länge von je 1 cm der relativen Leitlinie einem Korrelationskoeffizienten von 0.1 entspricht.

- I. Die höchsten Beziehungen gehen von der Lufttemperatur aus, denn alle Korrelationen haben den größten Wert, und zwar ist die Reihenfolge in der Stärke der Relation zur Lufttemperatur, Bodentemperatur, Kohlensäure und Bodenfeuchtigkeit.
- II. Die Beziehung der Bodentemperatur zur Lufttemperatur ist sehr groß, es folgt dann Bodenfeuchtigkeit und in unsicherem Maße erscheint Kohlensäure von der Bodentemperatur beeinflusst zu sein.
- III. Die Beziehungen der Bodenfeuchtigkeit sind weniger stark, am größten sind sie zur Lufttemperatur, folgend Bodentemperatur, dann gering und unsicher zum Kohlensäuregehalt.
- IV. Die Beziehungen der Kohlensäure selbst sind am stärksten zur Lufttemperatur, dann, jedoch äußerst gering, zur Bodenfeuchtigkeit und Bodentemperatur angedeutet.

### 5. Zusammenfassung.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß es gelungen ist, durch den Vorversuch schon Einblicke in bestandsklimatische Besonderheiten zu bekommen, die in solchem Zusammenhang nicht bekannt waren und die ferner einen Beitrag geliefert haben für Arbeitsrichtung und Methodik. Durch Betrachtung

vieler Kulturen war es möglich, ihre Eigentümlichkeiten und das Verhältnis der Abweichung der meteorologischen Faktoren zueinander kennen zu lernen. Wenn auch aus den Beobachtungen noch weitere Schlüsse hätten gezogen werden können, so haben wir bewußt davon Abstand genommen, weil uns das einjährige Ergebnis noch nicht gesichert genug erschien. Wir haben uns lediglich mit einer allgemeinen Betrachtungsweise und Beurteilung begnügt und die Aufstellung von Hypothesen vermieden.

Die Schlüsse, welche für Weiterarbeit gezogen wurden, lassen sich in 4 Punkte zusammenfassen:

1. Im Vordergrund steht die Erforschung der durch physiologische Erscheinungen der Pflanze geschaffenen unmittelbaren meteorologischen Zustände. Wir wollen hierfür den Begriff: p f l a n z e n n a h e s K l i m a prägen. Eigentemperatur der Pflanze, Transpirationsverhältnisse, Kohlensäurekreislauf sind die tätigen Faktoren von grundlegender Bedeutung für das pflanzennahe Klima. Sie bilden den Ausgangspunkt für weitere Studien über das Bestandsklima. Bestimmte Arbeiten zur Kenntnis der Physiologie der Pflanze und ihrer Reaktion auf meteorologische Faktoren, welche nach Richtung und Stärke zu beeinflussen sind, müssen im Vegetationsraum vorausgehen oder in Parallele laufen.
2. Die Beobachtungen an Pflanzen und Messungen in Kulturbeständen müssen nicht nur am Tag, sondern auch nachts durchgeführt werden, um Beziehungen zwischen physiologischen Vorgängen der Pflanze während dieser Zeit und den meteorologischen Erscheinungen in der bodennahen Luft und im Bereich der Pflanze zu klären. Sie dürften neben der eigenen Frage auch Fragen über Stärke von Taubildungen und die mitunter sonderbaren Zustände der meteorologischen Faktoren in den Kulturen während der Morgenstunden berühren.
3. Die Untersuchungen sind zunächst nur auf wenige Kulturpflanzen zu beschränken, um Beobachtungen gleichzeitig und vor allen Dingen auch häufiger und an mehreren Stellen im Bestand durchführen zu können.
4. Im besonderen wären alsdann entsprechende, von verschiedenen meteorologischen und pflanzenbaulichen Gesichtspunkten aus zu betrachtende Standweitenversuche durchzuführen, um die Frage der Klimaänderung und -Verbesserung, welche ja das Endziel der Forschung sein wird, studieren zu können.

## **II. Untersuchungen über Einwirkungen von Windschutzanlagen auf meteorologische Faktoren und auf die Pflanze.**

Mit der Windschutzfrage wird das Problem der Klimaänderung im Lebensbereich der Pflanze berührt. Die Beeinflussung der Windverhältnisse hat nicht allein eine Abänderung dieses Elementes, sondern gleichzeitig eine Umgestaltung der Faktoren Feuchtigkeit, Temperatur und Kohlensäure zur Folge. Für Landwirtschaft und Gartenbau liegt die Bedeutsamkeit des Windschutzproblems in einer verbessernden Umgestaltung des Pflanzenklimas, und zwar nicht nur zur Zeit kritischer Perioden, sondern während der ganzen Vegetationsdauer. Zwei Fragen sind mit Windschutzstudien verknüpft: eine meteorologische und eine pflanzenbauliche. Einmal gilt es zu untersuchen, wie sich meteorologische Faktoren ändern und inwieweit sie durch Schutzanlagen beeinflußt werden können, und das andere Mal liegt der Betrachtung das Verhalten der Pflanze zugrunde.

Unter Berücksichtigung dieser beiden Fragen wurde die Versuchsanordnung so getroffen, daß wir zur differenzierten Betrachtung der ökologischen Verhältnisse auf einem frei liegenden Futterrübenschlach des Universitäts-Versuchsgutes in Nord-Südrichtung 3 Versuchspartellen von je 43,5 qm herausnahmen und sie in Achteckform 1 m hoch mit verschiedenmaschigen Rupfen umgaben (siehe Tafel I, Abbildung 39). Die einzelnen Partellen lagen soweit voneinander entfernt, daß keinerlei gegenseitige Beeinflussung möglich war. Es wurden geschlossene Versuchspartellen gewählt, um zunächst einmal auf kleiner Fläche ein isoliertes Sonderklima zu erhalten und um die schützende Wirkung gegenüber sämtlichen Windrichtungen prüfen zu können.

Die ungeschützten Partellen, welche wir in gleicher Größe abgesteckt hatten, lagen in entsprechender Entfernung zwischen den windgeschützten Partellen und an deren Enden. Der 50 Morgen große Schlag war einheitlich mit Eckendorfer Futterrüben bepflanzt.

Der verschiedenmaschige Rupfen verteilte sich so, daß Partelle I mit weit-, Partelle II mit mittel- und Partelle III mit engmaschigem Rupfen umgeben waren.

Die meteorologischen Untersuchungen erstreckten sich auf Verdunstungsmessungen in 40 cm Höhe, Windbeobachtungen in Vegetationshöhe, Feststellungen der bodennahen Lufttemperatur in 10 cm Höhe sowie des Kohlensäuregehaltes der bodennahen Luft, der Bodentemperatur in 10 cm Tiefe und Bodenfeuchtigkeit sowohl in den windgeschützten als auch ungeschützten Parzellen.

Unsere Beobachtungen und Untersuchungen wurden vom 10. Juli bis 10. Oktober 1935 abwechselnd vormittags und nachmittags zu verschiedenen Zeiten durchgeführt. An Instrumenten benutzten wir Verdunstungsmesser nach v o n d e m B o r n e und M i t s c h e r l i c h, welche im Mittelpunkt der Parzelle standen, ferner Schalenkreuzanemometer und Normalthermometer. Bodenfeuchtigkeits- und Kohlensäureuntersuchungen wurden nach der bereits im Kapitel I angedeuteten Weise durchgeführt.

Die Auswertung des angefallenen Untersuchungs- und Beobachtungsmaterials erfolgte nach zwei Richtungen hin, einmal: Feststellung der Durchschnittswerte sowie Ermittlung der Abweichungen der meteorologischen Faktoren der windgeschützten Parzellen von denen des Freilandes und das andere Mal: Errechnung der allgemeinen Zusammenhänge der meteorologischen Faktoren während der Versuchsdauer.

Aus der Versuchsperiode ergaben sich folgende Mittelwerte aus den ungeschützten Parzellen:

Lufttemperatur: 24.9° C, Bodentemperatur: 19.6° C, Bodenfeuchtigkeit: 16%, Kohlensäuregehalt: 0.044%, Windgeschwindigkeit: 1.03 m/s, Verdunstungsmenge während der Versuchsdauer 147 mm. Die prozentualen Abweichungen der Mittelwerte der windgeschützten Parzellen von den ungeschützten sind in Tabelle 2 gegeben:

Tabelle 2.

Meteorol. Faktoren	Windschutzparzellen		
	I weit-	II mittel-	III engmaschig
Lufttemperatur . .	1.4	1.3	0.8
Bodentemperatur .	1.8	1.7	0.2
Bodenfeuchtigkeit .	4.7	4.7	3.3
Kohlensäuregehalt .	-0.3	-0.3	0.1
Windgeschwindigk.	-74.5	-77.3	-72.2
Verdunstung . . .	-13.0	-16.3	-7.1

Die Beeinflussung der meteorologischen Faktoren in den Windschutzparzellen hat sich nicht in solch steigendem Maße ausgewirkt, wie man sie durch die Anlage fertig zu bringen glaubte, nämlich eine Zunahme der Abweichungen entsprechend den Schutzvorrichtungen weit-, mittel-, engmaschig. Gerade Versuchsparzelle III (engmaschig) mit dem dichtesten Schutzgewebe zeigte bei allen meteorologischen Faktoren die geringsten Beeinflussungen. Vielleicht hat das sehr dichte Gewebe mit seiner größeren Oberfläche bei Niederschlägen, Nebel- und Taubildungen durch stärkere Feuchtigkeitsabsorption Einwirkungen hervorgerufen. Stärkere Schattenwirkungen des Gewebes sind ebenfalls nicht ausgeschlossen. Oder auch pflanzenphysiologische Erscheinungen mögen hier besondere Verhältnisse geschaffen haben. Am günstigsten schneidet Parzelle II ab, und zwar waren hier die Windschutzwirkungen am stärksten und demzufolge auch die Verdunstung am geringsten. Differenzen bestehen zwischen II und I hinsichtlich der Bodentemperatur, welche analog ihre entsprechende Einwirkung auch in der Lufttemperatur bestätigt. In I liegen Luft- und Bodentemperatur am höchsten. Gleiche prozentuale Anteile haben I und II bei den Faktoren: Bodenfeuchtigkeit und Kohlensäure.

Allgemein betrachtet veranschaulichen die Beobachtungsergebnisse, daß sämtliche meteorologische Faktoren ihre Werte in günstigem Sinne für das Pflanzenwachstum ändern, und zwar der der Fragestellung zugrunde liegende Faktor Wind am stärksten und dann der in enger Beziehung zu ihm stehende Faktor Feuchtigkeit (Verdunstung und Bodenfeuchtigkeit). Die Bedeutung des Windschutzes liegt also besonders in einer schützenden Wirkung gegen Austrocknung und in einer Herabsetzung der Verdunstung, was sich bei kontinentaler Luftzufuhr besonders stark auswirkt. Außerdem wird die Wärmehaltung in Boden und Luft gefördert, Schutzwirkungen gegenüber Kaltluft sind merklich.

Weitere, insbesondere quantitative Schlüsse über das Verhältnis der einzelnen meteorologischen Faktoren zueinander, über Ergebnisse des Kohlensäuregehaltes und über das Maß der Klimaänderung lassen sich noch nicht aus einer einjährigen Versuchsperiode ziehen.

Tabelle 3. Meteorologische Beobachtungsergebnisse während des Windschutzversuches an Runkelrüben. Universitäts-Versuchsgut Giessen 1935.

Anzahl Messungen Reihensumme Reihen- durchschnitt	Datum	Mess- tag	Anzahl der Tage	Freiland										Stoffart der Kammer																
				weit-					mittel-					engmaschig																
				G <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	E <sub>1</sub>	F <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	D <sub>2</sub>	E <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	D <sub>3</sub>	E <sub>3</sub>	F <sub>3</sub>	G <sub>4</sub>	B <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	D <sub>4</sub>	E <sub>4</sub>	F <sub>4</sub>			
				Ver- dunstungs- messer 1/10mm	Luft- temperatur 1/10 C	Boden- temperatur 1/10 C	Luft- temperatur 1/10 C	Feuchtigkeit 1/10 0	CO <sub>2</sub> 0/0000	Wind- geschwindigkeit 1/10 ms	Ver- dunstungs- messer 1/10mm	Luft- temperatur 1/10 C	Boden- temperatur 1/10 C	Luft- temperatur 1/10 C	Feuchtigkeit 1/10 0	CO <sub>2</sub> 0/0000	Wind- geschwindigkeit 1/10 ms	Ver- dunstungs- messer 1/10mm	Luft- temperatur 1/10 C	Boden- temperatur 1/10 C	Luft- temperatur 1/10 C	Feuchtigkeit 1/10 0	CO <sub>2</sub> 0/0000	Wind- geschwindigkeit 1/10 ms						
11. 7.		2		60	351	253	158	44	97	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26				
12. 7.		3		—	336	289	139	52	52	26	93	356	309	241	162	44	44	25	382	369	319	156	52	44	23	57				
13. 7.		4		70	301	226	136	38	135	26	—	303	248	241	148	51	0	0	369	303	244	155	44	20	75	376				
15. 7.		6		79	359	308	145	44	127	26	69	361	319	241	144	44	13	10	303	248	244	158	44	33	87	308				
16. 7.		7		20	299	245	122	38	32	26	13	300	233	241	137	35	0	0	303	248	244	158	44	33	10	294				
17. 7.		8		16	278	225	170	40	20	26	17	280	219	241	159	42	0	0	293	241	241	142	34	0	17	277				
19. 7.		10		59	210	195	149	61	200	26	60	209	201	241	160	62	107	107	229	205	205	172	44	50	58	215				
20. 7.		11		29	—	—	—	—	—	26	25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	25				
22. 7.		13		85	—	—	—	—	—	26	68	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	75				
24. 7.		15		53	—	—	—	—	—	26	58	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	50				
25. 7.		16		15	371	319	132	41	68	26	12	373	257	241	143	52	4	4	376	273	273	144	42	8	15	375				
27. 7.		18		43	261	183	144	33	81	26	36	267	193	241	136	41	23	36	271	189	143	143	38	33	35	255				
29. 7.		20		43	209	207	123	45	342	26	12	213	208	241	142	42	97	13	209	193	135	47	70	45	219	209				
31. 7.		22		35	141	154	126	35	128	26	28	147	161	241	127	40	10	27	149	161	141	39	13	32	149	157				
2. 8.		24		40	303	201	113	44	14	26	37	301	201	241	133	41	0	41	290	220	220	116	42	3	52	294				
3. 8.		25		30	—	—	—	—	—	26	15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15				
5. 8.		27		63	291	226	119	44	135	26	60	293	216	241	119	43	27	60	277	201	201	132	52	27	60	274				
7. 8.		29		33	198	175	105	44	81	26	32	206	184	241	126	41	10	14	210	190	190	126	44	23	28	212				
8. 8.		30		35	350	237	119	42	32	26	37	336	272	241	122	39	17	12	328	237	237	123	36	0	25	327				
12. 8.		34		85	—	—	—	—	—	26	68	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	75				
15. 8.		37		35	190	163	209	41	128	26	34	186	170	241	243	37	7	38	175	165	165	224	38	17	30	170				
17. 8.		39		15	205	154	208	55	0	26	14	213	155	241	213	54	0	15	220	163	163	213	56	0	18	222				
20. 8.		42		50	265	189	172	49	102	26	52	273	199	241	184	48	13	53	265	191	182	47	0	0	50	259				
22. 8.		44		32	268	190	175	48	72	26	35	263	189	241	178	45	21	41	270	213	213	173	47	12	32	280				
24. 8.		46		20	262	177	166	48	14	26	32	272	188	241	159	48	2	37	282	199	199	166	45	7	18	281				
28. 8.		50		52	—	—	—	—	—	26	41	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	52				
29. 8.		51		12	157	147	192	42	155	26	15	143	153	241	182	38	43	48	147	153	153	177	47	47	18	157				
3. 9.		56		50	220	155	199	48	0	26	61	224	177	241	194	49	0	54	228	169	169	195	42	0	38	228				
7. 9.		60		45	—	—	—	—	—	26	33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	28				
9. 9.		62		17	130	110	207	49	0	26	13	142	114	241	210	51	0	17	150	111	111	207	51	0	12	156				
12. 9.		65		34	217	133	197	31	97	26	32	210	148	241	188	33	30	41	210	135	135	194	41	17	35	210				
14. 9.		67		16	—	—	—	—	—	26	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17				
18. 9.		71		52	—	—	—	—	—	26	22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	49				
26. 9.		79		62	—	—	—	—	—	26	53	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	59				
8.10.		91		78	146	113	220	34	107	26	41	149	118	241	239	38	37	52	148	122	122	238	30	60	70	118				
10.10.		93		8	143	109	213	63	302	26	6	143	113	241	259	51	150	6	143	109	109	220	52	107	8	144				
Varianz	a) 16311			16219	13594582013	327141516182245	38469110134745	14430769494	38469110134745	26	12316	13632971784	28074	93517540	28074	93517540	26	15730	14084261779	22647168839121	22647168839121	22647168839121	22647168839121	22647168839121	22647168839121	22647168839121	22647168839121			
Schwankung	25.5			13.3	73.7	57.3	36.2	7.8	85.5	26	12.3	76.0	52.7	39.2	6.6	37.3	11.6	73.9	53.5	33.5	6.1	26.5	6.1	26.5	13.1	75.0	49.6	30.1	8.2	39.6



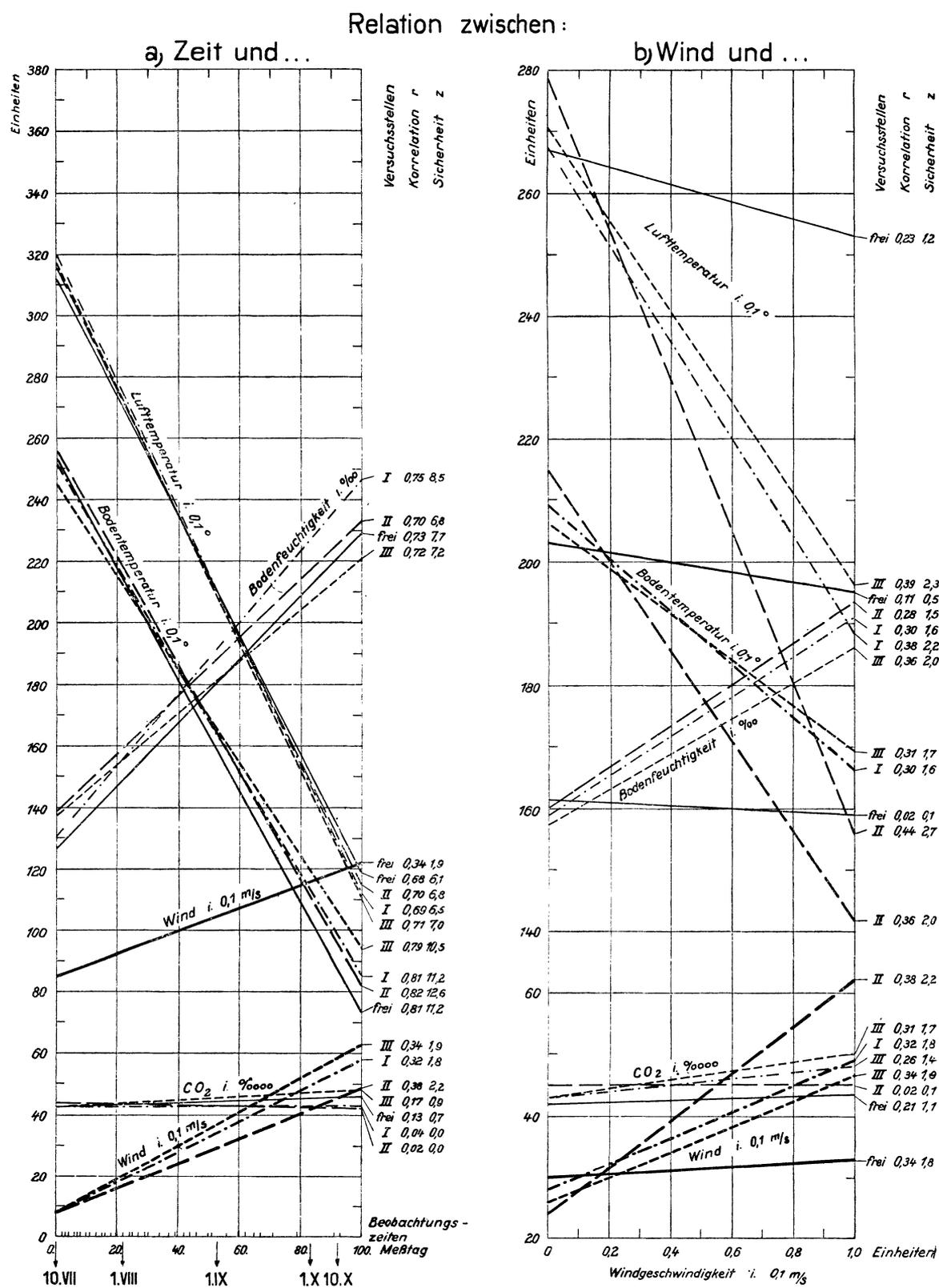


Abb. 14. Windschutzversuch an Futterrüben.

Mit dem Beobachtungsergebnis wurde außerdem noch der Versuch gemacht, nach der Korrelationsmethode allgemeine Zusammenhänge der meteorologischen Faktoren während der Versuchsdauer zu ermitteln. Die Ermittlung der Beziehungen zwischen je zwei Faktoren geschah durch Differenzen- und Varianzenbildung (Schwankungsquadratsummen aller Meß- und Differenzreihen). Aus diesen Werten ergaben sich Produktsummen, sodaß es möglich war, nach der Bravais'schen Formel einmal Korrelationen nach Richtung und Stärke und außerdem nach Gauß stochastische Funktionen zu ermitteln<sup>1)</sup>.

Nach zwei verschiedenen Dimensionen wurde das Material ausgewertet. Einmal galt es festzustellen, wie sich für jeden einzelnen meteorologischen Faktor mit der Zeit die Verhältnisse in den planmäßig variierten Versuchsstellen ändern und das andere Mal, wie sich innerhalb jedes einzelnen Ortes die Faktoren zueinander verhalten.

In den Tabellen 3 und 4 sind die aus dem Rechengang erhaltenen Werte wiedergegeben.

Da die ganze Berechnung geradlinige Beziehungen zur Voraussetzung hatte, gibt die Größe der errechneten Beziehungen einen Maßstab, mit dem unsere Versuchsergebnisse als gerade Linien darstellbar sind. Die Beziehungen sind eindeutig: 1. für die stetig veränderten Einflüsse innerhalb der Versuchstage (93 Tage) und 2. für die durch Versuchsbedingungen am eindeutigsten und meisten variierten Windgeschwindigkeiten. Dadurch ist die Möglichkeit gegeben und die Berechtigung erwiesen, die aufgetretenen Schwankungen der übrigen meteorologischen Faktoren als stochastische Funktionen der Windgeschwindigkeit zu berechnen.

Auf der Abszisse – Abbildung 14 a – sind die Meßtage als supponierte Eigenschaften aufgetragen, dabei wurden die einzelnen Beobachtungszeiten besonders markiert. Auf der Ordinate sind die auf Einwirkung zu untersuchenden relativen Eigenschaften in Einheiten abgesetzt. Die Einheiten bedeuten dementsprechend für Luft- und Bodentemperatur Dezigrade, für Bodenfeuchtigkeit pro Mill Wassergehalt, für Kohlensäure  $\frac{1}{1000}\%$  =  $\frac{1}{10000}$  Volumeneinheit, für Windgeschwindigkeit  $\frac{1}{10}$  m/s.

In den 4 Meßstellen unterscheidet sich die Kohlensäure nur sehr wenig, die Sicherheit (z) ist fast nicht vorhanden (0.0 und 0.9). Temperatur der bodennahen Luft differenziert sich etwas stärker, wobei die Sicherheit der Beziehung sehr groß ist (6.1 und 7.0). Bodentemperatur variiert mehr als Lufttemperatur unter dem wahrscheinlichen Einfluß der Zeit, die Sicherheit ist von allen Beziehungen am größten (10.5 und 12.6). Noch stärker unterscheidet sich die Bodenfeuchtigkeit mit beträchtlicher Sicherheit (6.8 und 8.5). Weitaus am größten sind Unterschiede bei der Windgeschwindigkeit, die Sicherheit erreicht die Grenze zwischen 1.9 und 2.2, sie ist damit angedeutet.

Für die einzelnen Meßfaktoren sind die dynamischen Leitlinien gut zusammengefaßt, man erkennt Unterschiede in dem allgemeinen Abstand und den Schnittwinkeln, welche sie miteinander bilden. Schnittwinkel sind so ausgebildet, daß man große Zusammenhänge erkennen kann, welche in allgemeinsten Form Beziehungen zwischen Lufttemperatur, Bodentemperatur und Bodenfeuchtigkeit charakterisieren. Kurven für Lufttemperatur und Bodentemperatur konvergieren trotz der speziellen Unterschiede der einzelnen Versuchsorte, und zwar mit Temperaturabnahme, die Bodenfeuchtigkeit hingegen nimmt zu.

Entsprechend der Fragestellung hat sich gezeigt, daß von allen Faktoren der Wind weitaus am stärksten variiert. Da aber bei der Zeitrelation für Wind durch ungenügende Sicherheit Beziehungen durchaus nicht eindeutig erfaßt werden konnten, mußten noch stochastische Funktionen berechnet werden als Relation der supponierten Eigenschaft: Wind (siehe Abbildung 14, b).

Das wesentliche Ergebnis der von der Windgeschwindigkeit mathematisch abhängig gemachten Funktionen ist, daß nunmehr funktionelle Leitlinien stark auseinanderscheeren. Der Kohlensäuregehalt scheint am wenigsten durch die Windgeschwindigkeit beeinflußt zu sein. Die Leitlinien der Kohlensäure-Relation spreizen sich ebenso wenig in der Windfunktion wie in der Zeitfunktion. Es fällt aber auf, daß die Sicherheit der Korrelation zwischen Windgeschwindigkeit und Kohlensäuregehalt fast annähernd um das dreifache größer ist als bei der Korrelation Zeit und Kohlensäure. Sie reicht also noch nicht aus, um eine feste Behauptung aufstellen zu können. Besonders beachtenswert ist die Erscheinung, daß für die freie Versuchsreihe die Sicherheit nur 0.1 beträgt, während sie in den Windschutzkammern von 0.1 bis zu 2.0 steigt, wodurch ein Hinweis gegeben wird, daß eine sekundäre Abhängigkeit zu einem der anderen meteorologischen Faktoren besteht, und zwar in diesem Falle dürfte es augenscheinlich die Beziehung Bodenfeuchtigkeit zur Kohlensäure sein, weil sich die Leitlinien in gerade umgekehrter Reihenfolge anordnen.

<sup>1)</sup> B a u r, Die Grundlagen einer Vierteljahrestemperaturvorhersage für Deutschland, Vieweg. Braunschweig 1926: „Die vorteilhafteste Kombination vermittelnder Beobachtungen nach dem Prinzip des kleinsten Fehlerrisikos zu finden, ist also eine Aufgabe der Ausgleichsrechnung.“

Im Gegensatz zur Zeitrelation zeigt die Windrelation ein starkes Auseinanderspreizen der Leitlinien, und zwar liegen die 3 Windschutzkammern mit geringen Schnittwinkeln beieinander, deutlich abgesetzt von der Leitlinie der freien Lage — ausgezogene Kurve —. Stärker ausgeprägt sind Leitlinien der Bodentemperatur. Die Windschutzparzellen I und III nähern sich in den Beziehungen, während Kammer II ein extrem gesteigertes Verhältnis angibt. Die Tatsächlichkeit dieses Verhaltens wird durch die Leitlinie der Lufttemperatur bestätigt, indem II noch weiter nach außen divergiert.

Das vorhandene Zahlenmaterial gestattet analog den Funktionen für Zeit und Wind auch diejenigen von Lufttemperatur, Bodentemperatur, Bodenfeuchtigkeit und Kohlensäure aufzulösen. Hiervon wurde Abstand genommen, weil das Beobachtungsmaterial noch nicht ausreichte, um Schlüsse ziehen zu können, bei denen der rechnerische Arbeitsaufwand im Verhältnis zum Ergebnis steht.

Immerhin kann man aus der Zeit- und Windrelation zum Teil schon recht eindeutige Hinweise für Zusammenhänge entnehmen. Auch hier zeigt sich, daß durch die Windschutzanlagen nicht nur die Windverhältnisse, sondern auch gleichzeitig die übrigen meteorologischen Faktoren geändert werden. Mit steigender Windgeschwindigkeit sinken die Temperaturen in den Kammern schneller als im Freiland. Durch den Mangel an Zirkulation liegen im allgemeinen in den Kammern die Temperaturen der Luft höher. Die Bodentemperaturen sind noch mehr erhöht und sinken mit steigender Windgeschwindigkeit innerhalb der Kammern weniger ab. Das Verhalten der Bodenfeuchtigkeit in den Kammern spiegelt sich in der Einwirkung der herabgesetzten Windgeschwindigkeit auf Verdunstung wider. Der Einfluß der Windgeschwindigkeit auf den Kohlensäuregehalt war in diesem Versuch gering.

Gleichzeitig mit den meteorologischen Beobachtungen wurden auch laufend Vegetationsbeobachtungen angestellt. Die Wachstumsunterschiede der Rüben in den einzelnen Versuchspartellen sind in photographischen Aufnahmen, welche am 9. September gemacht wurden, festgehalten.

Rüben in der Freilandparzelle (Tafel I, Abbildung 35) erreichten eine durchschnittliche Höhe von 30–35 cm. Die Farbe der Rübenblätter war im Gegensatz zu derjenigen in den Schutzpartellen hellgrün. Kleine Blätter, weniger aufgerichtet und mit mehr Neigung nach abwärts kennzeichneten die Freilandrüben.

In allen Windschutzpartellen (Tafel I, Abbildung 36) lagen die durchschnittlichen Höhen der Rüben weit über denjenigen des Freilandes. In Parzelle I konnte eine solche von 65 cm gemessen werden, was eine Verdoppelung der Meßhöhe des Freilandes darstellt. Die Rüben der Parzelle I erreichten außerdem im Vergleich mit den Rüben der Parzelle II und III die absolute Höhe. Saftige, dunkelgrüne Blätter, die ein auffallend stark ausgeprägtes Nervensystem zeigten, mit aufwärts gerichtetem Wuchs, gleichmäßige und stark entwickelte Rüben waren Kennzeichen dieser Parzelle.

In Parzelle II (Tafel I, Abbildung 37) erreichten die Rüben eine Höhe von 58 cm mit ebenfalls gut ausgeprägten Blättern von sattem Grün. Verglichen mit den Rüben der übrigen Partellen war ihr Wuchs auffallend am steilsten. Die Rüben waren bedeutend größer als die des Freilandes, jedoch fanden wir nicht solche Formen wie in I vor.

In Parzelle III (Tafel I, Abbildung 38) wurde mit 55 cm die niedrigste Vegetationshöhe von den drei Windschutzanlagen beobachtet. Die Blätter hatten zwar eine dunkelgrüne Farbe, sie war aber doch etwas heller als in II und I, hingegen trafen wir größere Blätter als in II an. Ihr Wuchs zeichnete sich durch eine gewisse Steilheit aus, die sich wiederum nicht so stark wie in II ausprägte. Rübengröße stand im Verhältnis zur Blattmasse.

Die physiologischen Erscheinungen, welche unsere Schutzanlagen auf den Rübenbestand ausübten, wurden nicht untersucht. Vielleicht haben sich die geänderten Windverhältnisse in den Schutzpartellen auf den Rhythmus des Kohlensäurekreislaufes sowie auf stärkere Erhaltung der Bodenkohlensäure und somit auch auf Änderungen der Assimilationstätigkeit günstig ausgewirkt. Von den Anhängern der Kohlensäuredüngung vertritt ja B o r n e m a n n die Ansicht, daß der Hauptvorteil einer Windschutzwirkung in der stärkeren Erhaltung der Bodenkohlensäure zu suchen ist. Sie, die an und für sich nur in geringer Menge vorhanden ist, wird vor Verwehungen geschützt. Außerdem verspricht er sich durch Windschutz eine stärkere Kohlensäuredüngung, denn durch das weniger starke Verkrusten des Bodens kann in reichlicheren Mengen Atmungskohlensäure aus den Wurzeln ausscheiden, eine lebhaftere Bakterientätigkeit eintreten und auch eine reichlichere Kohlensäureabgabe aus dem Boden stattfinden.

Die nach den verschiedensten Richtungen von L u n d e g a r d h angestellten Kohlensäureuntersuchungen lassen andererseits erkennen, daß höhere Windgeschwindigkeiten auch höhere Kohlensäurewerte besitzen.

Auch stomatäre Transpiration und Regulierung der Spaltweiten sind Faktoren, welche eine wesentliche Rolle spielen und die in den geschützten Partellen ein ganz anderes Verhalten zeigen müssen wie

in der windfreien Lage. In seiner Wachstumsrelation — Kohlendisaureaufnahme : Wasserabgabe — führt Reinau eine Zunahme der organischen Substanz auf eine erhöhte Transpirationstätigkeit zurück.

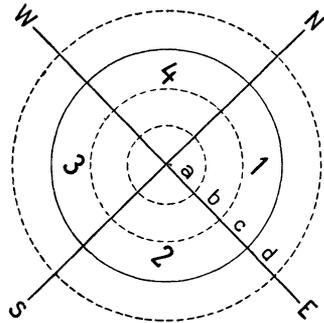


Abb. 15. Abernungsschema.

Die Abernung der Versuchspartellen wurde am 25. Oktober 1935 von der Forschungsstelle vorgenommen. Um außer Beeinflussung der Windgeschwindigkeit auch Einwirkung der Windrichtung auf den Rüben ertrag feststellen zu können, mußten die Partellen in 4, den Himmelsrichtungen entsprechende Quadranten aufgeteilt werden (Abbildung 15). Da gleichzeitig die Frage untersucht werden sollte, wie sich die Erträge mit zunehmender Entfernung von den Schutzwandungen staffeln, so war eine weitere Aufteilung jedes Quadranten in 3 Ringe a, b, c, erforderlich. Ein Ring d, welcher die Außenerträge unmittelbar vor der Windschutzanlage erfassen sollte, wurde noch hinzugenommen. Jeden Ring der einzelnen Quadranten ernteten wir getrennt und führten an Ort und Stelle Ertragsbestimmungen sämtlicher Einzelrüben durch. Insgesamt mußten 1023 Rüben gewogen werden. Diese Wägungszahl verdoppelte sich, denn zur Feststellung des Krautgewichtes wurden nach Ermittlung des Gesamtgewichtes den Rüben das Kraut abgeköpft und die Rüben abermals gewogen. Hier kamen uns die Korant'schen Duplex-Waagen sehr zu statten, mit ihnen konnten schnelle und genaue Wägungen durchgeführt werden.

Von jeder Rübe entnahmen wir außerdem mit der Stechsonde eine Durchschnittsprobe, die im Laboratorium chemisch untersucht wurde. Die chemischen Untersuchungen bezogen sich auf Wassergehalt — Trockensubstanzgehalt im Trockenschrank, ferner auf lösliche und unlösliche Trockensubstanz durch Refraktion. Die lösliche Trockensubstanz wurde weiter auf Zuckergehalt und Melasse bildende Stoffe (Salze) analysiert. Feststellung des Zuckergehaltes erfolgte durch Polarisation.

Auf den Abbildungen 16 a und b sind graphisch sämtliche Durchschnittserträge der diagonalen Quadranten übertragen. Ferner wurden alle Freilandwerte mit aufgezeichnet, sodaß ein zusammenhängendes Ertragsbild des gesamten Rübenschlages vorliegt.

Aus den Darstellungen lassen sich folgende Schlüsse ziehen: In allen Windschutzpartellen liegen die Erträge höher als im Freiland. Die höchsten Erträge wurden in Parzelle I festgestellt, es folgen alsdann diejenigen von Parzelle II und schließlich stärker abfallend die von Parzelle III.

Die Erträge sind innerhalb der Schutzanlagen verschieden. Unmittelbar hinter der Schutzwand (Ring c) wird der Ertrag durch Schattenwirkung gedrückt. Er liegt aber trotzdem im Durchschnitt hier noch höher als im Freiland. Auch an diesen Stellen sind noch genügende Lichtmengen vorhanden für Assimilation, außerdem wirkt sich die höhere Feuchtigkeit günstig aus.

Die Rhythmik ist in allen 3 Kammern gleichsinnig ausgeprägt, und zwar für fast alle selbständig gemessenen Werte am Pflanzenmaterial. Die Amplituden nehmen proportional der Maschendichte ab.

Der Ring d, welcher außen die Kammern umschließt, hat schon eindeutig höhere Erträge als die angrenzenden Freilandpartellen. Für den Ertragsverlauf NW-SE und NE-SW ergibt sich eine augenscheinliche Phasenverschiebung, welche nur bedingt sein kann durch Licht-

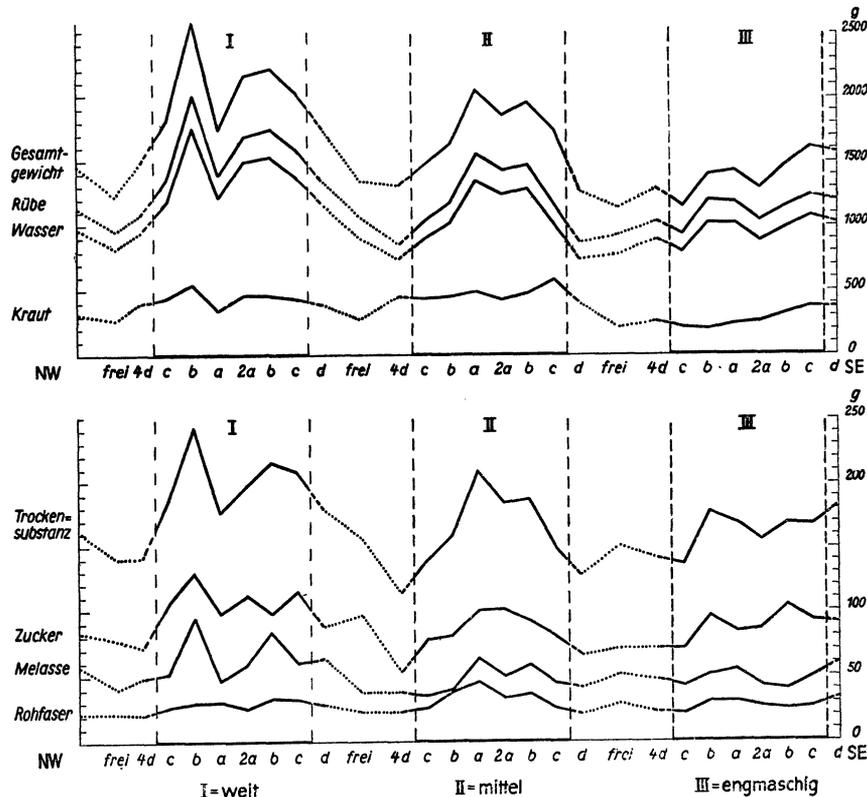


Abb. 16a. Ertrag in NW-SE-Richtung.

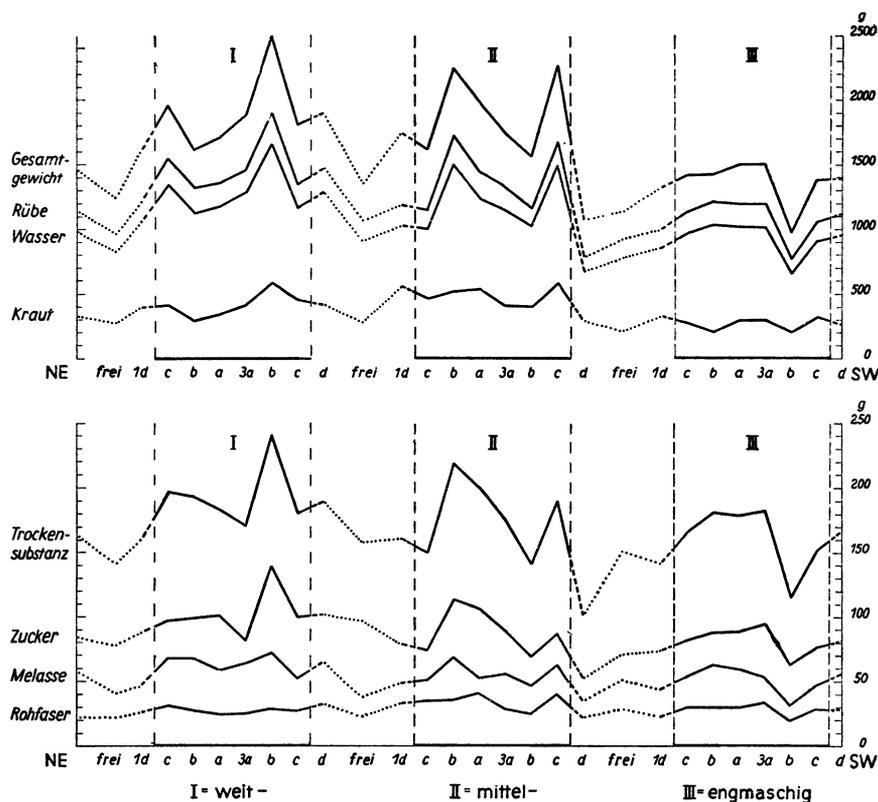


Abb. 16 b. Ertrag in NE-SW-Richtung.

Schattenwirkung in der NS-Achse und durch eine Windschutzwirkung in Richtung des Windes, der überwiegend vorherrschte. Über das Maß der Einwirkung können erst weitere homologe Versuche Aufschluß geben.

Durch die Windschutzanlagen wurden folgende prozentuale Ertragssteigerungen gegenüber dem Freilang erzielt:

	Windschutzanlagen		
	I weit-	II mittel-	III engmaschig
Rübe . . . . .	53	33	8
Trockensubstanz	31	15	7

Ohne Zweifel kommt dem Windschutzproblem in der Praxis eine große Bedeutung zu. Es ist eine unverkennbare, äußerst wichtige Frage, an deren Bearbeitung Landwirtschaft und Gartenbau das allergrößte Interesse haben müssen.

Unsere Versuche lassen erkennen und beweisen schon genügend, daß Klimabearbeitungen erforderlich sind, wenn weitere Steigerungen der Erträge erreicht werden sollen.

Die Windverhältnisse lassen sich verhältnismäßig leicht regulieren. Die Praxis kann Windschutzanlagen mit ihren eigenen Kulturen schaffen, indem sie höhere Kulturen zwischen niederen anbaut, beispielsweise zwischen Frühkartoffeln oder Rüben als Schutzwirkung einen Streifen Ackerbohnen oder Mais, der in bestimmten Abständen zu wiederholen ist. Auch Dauerhecken in Streifen und in bestimmter Richtung an Feldwegen entlang angelegt, bieten äußerst gute Schutzwirkungen. Sie haben den großen Vorteil, daß sie auch im Winter Schutz bieten, und zwar gegen Entzug der Winterfeuchtigkeit und bei Schneeverwehungen. Vollständige Schutzanlagen nach allen Windrichtungen sind in der Praxis nicht erforderlich und aus technischen Gründen schwer durchführbar, es gilt in erster Linie den trockenen und kalten Winden entgegenzuwirken. Bei Windschutzanlagen größeren Stiles und über ganze Gemarkungen verteilt, werden schon durch die verschiedenen Lagen der Parzellen solche Verhältnisse geschaffen, daß man von einer völligen Schutzwirkung sprechen kann.

Je nach Lage und Empfindlichkeit der Kulturen haben sich die Schutzanlagen zu richten. Für den Garten- und Feldgemüsebau werden wieder andere Forderungen an den Windschutz gestellt. Besondere Anlagen von Bretterzäunen, Strohgeflechten, Bespannungen mit Rupfen, Aufstellen von Glasscheiben, von Papierhauben kommen hier in Frage.

Wenn auch durch die oben angedeuteten Methoden der Weg gezeigt wird, wie und in welcher Form sich Windschutzanlagen in der Praxis anlegen lassen, so sind wir noch keineswegs so weit, daß sie schon planmäßig durchgeführt werden können.

Aus unseren Untersuchungen können wir die Behauptung aufstellen, daß das Windschutzproblem erst dann in Angriff genommen werden kann, wenn das pflanzennahe, sowie das Klima in ganzen Beständen und schließlich seine Verbesserungsmöglichkeiten erforscht sein werden. Hier haben zunächst die agrarmeteorologischen Studien einzusetzen. Man wird auf diesem Wege zwangsläufig und direkt das Windschutzproblem meistern können, und finden, welche Ansprüche die einzelnen Kulturpflanzen je nach ihrer Empfindlichkeit stellen, wie weit Schutzwirkungen zu gehen und welche Formen sie anzunehmen haben. Der umgekehrte Weg, von der Fragestellung ausgehend, die Untersuchungen anzustellen, würde zur rückläufigen Behandlung der angedeuteten Kernfragen zwingen.

### III. Studien über den Einfluß der klimatischen Verhältnisse des Standortes auf die Transpiration verschiedener Kulturpflanzen, ein Beitrag zur Erforschung des Gewächshausklimas.<sup>1)</sup>

#### 1. Versuchsanordnung.

Die Kenntnis der Literatur über den Wasserhaushalt der Pflanzen, insbesondere über deren Transpirationsverhältnisse, zeigt, daß eine große Zahl von entgegengesetzten Ergebnissen und Ansichten auf diesem Gebiet bestehen. Wir kamen zu der Überzeugung, daß ein großer Teil dieser Widersprüche sich daraus erklärt, daß die einzelnen Versuchsansteller 1. zu wenig oder nicht die jeweils herrschenden meteorologischen Faktoren beobachteten und 2. daß diese meteorologischen Verhältnisse bei den einzelnen Versuchsanstellern sich wohl unterschieden, daß sie aber trotzdem zu wenig variiert wurden. Dies hatte zur Folge, daß Einzelergebnisse verallgemeinert wurden und sowohl Reaktionsbreite als auch Reaktionsmöglichkeit der Pflanzen nicht in dem Maße erkannt wurden, wie dies für die Kenntnis der physiologischen Vorgänge einerseits und ihrer Oekologie andererseits notwendig wäre.

Zum großen Teil mag der Mangel an meteorologischen Beobachtungen darauf beruhen, daß die Kosten für exakt arbeitendes Instrumentarium sehr hoch sind, und daß das brauchbare Instrumentarium noch nicht eingeführt ist. Außerdem wurde aber auch vielfach die Bedeutung der Erfassung der meteorologischen Faktoren unterschätzt. Z. B. begnügten sich zahlreiche Versuchsansteller bei Transpirationswägungen mit der Feststellung von Temperatur und Feuchtigkeit bei Beginn und Ende der Messung, ohne zwischenzeitliche Ablesung. Oder sie verwischten sich durch Mittelwertbildungen einzelner Ablesungen das eigene Kurvenbild.

Es kam uns also bei unseren Untersuchungen, die allerdings zunächst nur als Voruntersuchungen zu bewerten sind, vor allem darauf an, 1. alle meteorologischen Faktoren soweit irgend möglich in möglichst kurzfristigen Ablesungen festzuhalten, und 2. sehr unterschiedliche Bedingungen zu schaffen, unter denen die Pflanzen die ganze Skala ihrer physiologischen Reaktionsmöglichkeiten und -stärken erschöpfen konnten.

Zur Schaffung möglichst unterschiedlicher Bedingungen verlegten wir unsere Versuche in das Gewächshaus. Da als der primäre Faktor für die Veränderungen von Temperatur und Feuchtigkeit das Licht zu gelten hat, variierten wir das letztere. Wir erwähnen, daß wir mit dieser Methode bereits ein anderes Arbeitsgebiet, nämlich die Erforschung des Klimas in Gewächshäusern, mitberühren. Ein etwa 10 m langes und 3½ m breites, leichtes und bewegliches Gewächshaus wurde durch Glaswände in 3 Kammern unterteilt.

Die einscheibigen Holländer-Normalfenster 0.80 × 1.50 m wurden bei Versuchsserie I in Kammer I mit Gartenblankglas gelassen, in Kammer II wurde dieses Glas mit Fensterglaspapier Uni 0 „glashell“ und in Kammer III mit Uni 5 „Milchglasersatz“ überzogen (Tafel II, Abbildung 41 a, b).

Die drei Kammern wurden gleichartig bestellt, und zwar mit je 3 Sommerformen von Gerste, Weizen und Hafer, sowie mit Schnitt- und Pflücksalat und 2 Sorten Spinat, entsprechend dem Schema in Abbildung 17.

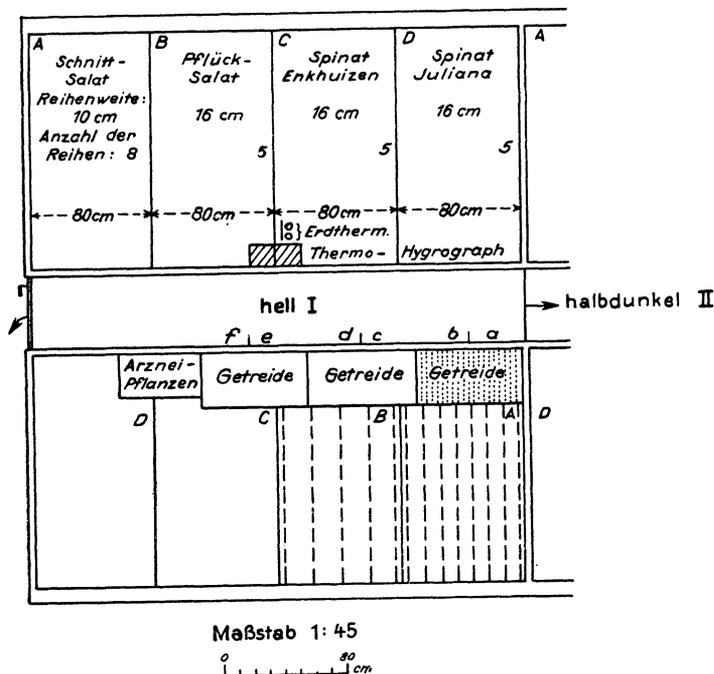


Abb. 17. Schema der ersten Versuchsreihe.

<sup>1)</sup> Dieser Teil stellt eine Gemeinschaftsarbeit dar mit dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Landes-Universität Gießen – Direktor Prof. Dr. Sessous –. Der Sachbearbeiter dieses Institutes – Diplomlandwirt Dr. Ragaller – übernahm die pflanzenphysiologischen Arbeiten und beteiligte sich außerdem an den meteorologischen Beobachtungen.

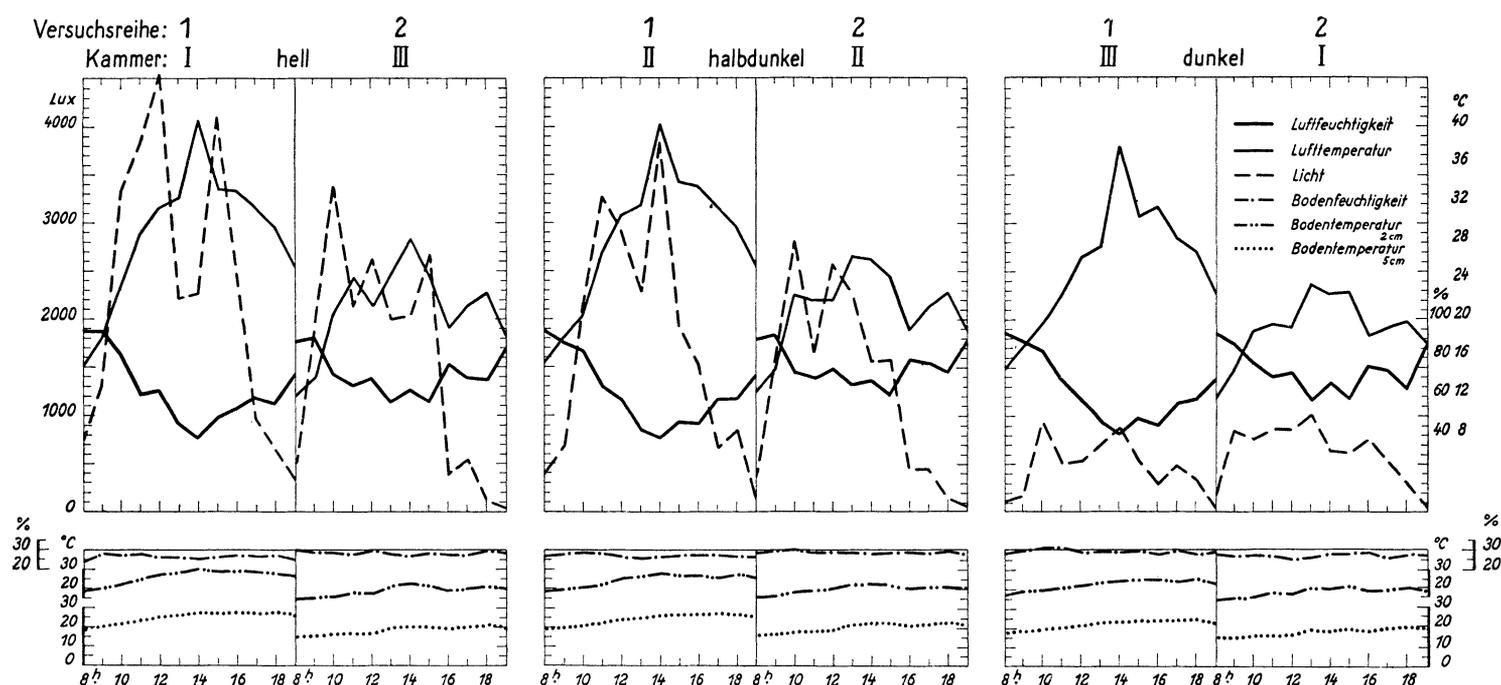


Abb. 18. Meteorologisches Zustandsbild während der Versuchsdauer.

Dabei ist zu bemerken, daß Spinat und Salat direkt in die Grundbeete eingesät wurden, zur Vermeidung etwaiger besonderer unterschiedlicher Lichteinflüsse in diagonaler Verteilung. Bei den Getreidearten erfolgte die Aussaat in Kisten, gleichmäßige Beleuchtung wurde durch tägliches Umstellen erreicht. Die Kistenaussaat bot uns bei der späteren Verarbeitung des Versuchsmaterials bestimmte Vorteile, die noch erwähnt werden. Die Aussaat der 1. Versuchsreihe erfolgte am 27. Juni 1935.

Bestimmte Ergebnisse der 1. Versuchsreihe, von denen später noch zu reden sein wird, veranlaßten uns, bei der 2. Versuchsreihe in der Anordnung der Kammern eine Umstellung insofern vorzunehmen, als wir Kammer I mit III vertauschten. Außerdem trat eine Vereinfachung dadurch ein, daß wir die Sortenzahl je Getreideart von 3 auf 2 verringerten. Dies wurde durch Änderungen in der Transpirationsbestimmungsmethode, auf die wir noch zurückkommen, bedingt. Die Aussaat der 2. Versuchsreihe erfolgte am 2. August 1935.

Es sind zunächst die klimatischen Verhältnisse während der Wachstumszeit beider Versuchsreihen zu schildern. In jeder Kammer wurden ein Thermohygrograph, je 2 Erdthermometer für 2 und 5 cm Tiefe aufgestellt. Außerdem wurden Bodenfeuchtigkeits- und Kohlensäurebestimmungen in den Kammern zu den jeweiligen Meßterminen vorgenommen. Gleichzeitig erfolgte die Erfassung der Helligkeitszustände mit einem Luxmeter.

Um einen Einblick in die Lichtverhältnisse der 3 Kammern zu bekommen, wurde mit einem Quarz-Spektrographen die Durchlässigkeit der Scheiben untersucht. Als Beleuchtungsquelle diente hierbei eine Quecksilberquarzlampe. Die Belichtungszeiten der Absorptionsspektren, von oben nach unten gesehen, sind in Tabelle 5 angeordnet. Die Wiedergabe der Absorptionsspektren der Kammern ist auf Tafel I, Abbildung 40 gegeben.

Tabelle 5.

	Unbelichtetes Hg Spektrum	Hg Spektrum hinter Glas								Unbelichtetes Hg Spektrum
Streifen	I	2	3	4	5	6	7	8	9	
Belichtungszeit in Sekunden	2	1	2	4	16	64	256	1024	2	

Belichtungszeit nach der Reihe 2<sup>n</sup>.

4' 16" | 17' 4"

Die Meßtermine wurden so verteilt, daß es möglich war, die meteorologischen Zustände während des ganzen Tages zu erfassen. Als Verschiebungsintervall wurde eine Stunde genommen. Die Mittelwerte für die einzelnen meteorologischen Faktoren zu den einzelnen Stunden sind nach Versuchsreihen und Kammern geordnet und in Abbildung 18 graphisch ausgewertet.

Allgemein betrachtet ist die Differenzierung zwischen der 1. und 2. Versuchsreihe auf die jahreszeitliche Verschiebung zurückzuführen. Doch ist den Abbildungen zu entnehmen, daß auch noch andere Einwirkungen für die Lichtverhältnisse in den Kammern maßgebend sein mußten. Das ergibt sich aus dem Umstand, daß die Lichtmenge der dunklen Kammer bei Versuchsreihe 2 nicht niedriger lag als in der dunklen Kammer der Versuchsreihe 1, während bei der hellen und halbdunklen Kammer sich starke Unterschiede zeigen. Die Erklärung hierfür ist in der verdunkelnden Wirkung von nahestehenden Bäumen zu suchen. Außerdem hat auch die Hintereinanderschaltung der Kammern, die besser durch eine Parallelschaltung ersetzt worden wäre, wertverschiebend gewirkt. Die örtlichen Verhältnisse ließen jedoch eine andere Anordnung nicht zu. Die Lufttemperatur zeigt in ihren Kurven, gemessen am gegenseitigen Verhältnis der Lichtkurven, viel geringere Unterschiede zwischen den einzelnen Kammern innerhalb jeder Versuchsreihe. Kammer I und II gleichen sich nahezu vollständig und auch Kammer III liegt bei gleichem Kurvencharakter nur wenig tiefer.

Bei der Luftfeuchtigkeit ist die Gleichheit unter den einzelnen Kammern noch ausgeprägter. Es ergibt sich hieraus das für uns nicht erwartete Bild, daß nämlich die Luftfeuchtigkeit in keinem Verhältnis zu den anderen meteorologischen Faktoren steht.

Die absoluten Höhen und Schwankungen der Bodentemperatur in 2 und 5 cm Tiefe sowie der Bodenfeuchtigkeit in 5 cm Tiefe unterscheiden sich zwischen den einzelnen Kammern nur in sehr geringem Maße. Kammer I und II nähern sich auch hier wieder fast vollkommen und Kammer III liegt nur wenig darunter. Diese geringe Differenzierung der Bodenfaktoren, trotz großer Lichtunterschiede, erklärt sich aus der Einwirkung der Vegetationsdecke, die in den ersten beiden Kammern wesentlich dichter und ausgeglichener war (siehe Tafel II, Abbildung 42–44 a, b).

Die Mittelwerte für die einzelnen meteorologischen Faktoren zu den einzelnen Stunden sind in Tabelle 6 zu je einem Gesamtmittel zusammengefaßt.

Beim Faktor Licht wurde noch der Wert außerhalb der Kammer mit angeführt, um ein Differenzierungsverhältnis zu erhalten. Die stündlichen Lichtwerte außerhalb der Kammer sind in Abbildung 18 nicht graphisch ausgewertet worden, um durch eine weitere Lichtkurve nicht die der Kammern zu verwischen.

Werte für den Kohlensäuregehalt der einzelnen Kammern und im Freien, ferner Extremwerte der Lufttemperatur und -feuchtigkeit sind ebenfalls in der Tabelle 6 mit angegeben.

Tabelle 6.

Faktoren	Kammer I, hell	Kammer II, halbdunkel	Kammer III, dunkel
1. Versuchsreihe, Gesamtmittelwerte:			
Licht innerhalb	2409 Lux	1670 Lux	425 Lux
Licht ausserhalb	3774 "	3607 "	1720 "
Lufttemperatur	28.4°	28.0°	25.2°
Luftfeuchtigkeit	64%	63%	63%
Lufttemperatur { Max.	36.4°	36.4°	32.1°
Lufttemperatur { Min.	15.8°	16.3°	15.5°
Luftfeuchtigkeit { höchste	98%	72%	97%
Luftfeuchtigkeit { tiefste	42%	41%	43%
Kohlensäuregehalt	0.063%	0.058%	0.058% im Freien = 0.046%
Bodentemperatur { 2 cm	25.9°	25.3°	22.1°
Bodentemperatur { 5 cm	24.8°	24.7°	21.8°
Bodenfeuchtigkeit	25.9%	27.6%	29.0%

## 2. Versuchsreihe, Gesamtmittelwerte:

	dunkel	halbdunkel	hell
Licht innerhalb	492 Lux	1477 Lux	1534 Lux
Licht ausserhalb	2238 „	2321 „	2128 „
Lufttemperatur	16.9°	20.7°	20.1°
Luftfeuchtigkeit	74%	82%	71%
Lufttemperatur { Max.	23.8°	26.8°	26.7°
{ Min.	9.4°	10.1°	9.9°
Luftfeuchtigkeit { höchste	95%	95%	96%
{ tiefste	61%	59%	55%
Kohlensäuregehalt	0.053%	0.057%	0.059% im Freien = 0.043%
Bodentemperatur { 2 cm	17.9°	19.9°	19.3°
{ 5 cm	17.4°	19.5°	18.7°
Bodenfeuchtigkeit	26.6%	27.5%	28.9%

Die Aussaat der ersten Versuchsreihe erfolgte, wie schon erwähnt, am 27. Juni 1935, bonitiert wurde der zeitliche Verlauf des Aufganges und die prozentuale Stärke, sie sind in Abbildung 19 wiedergegeben.

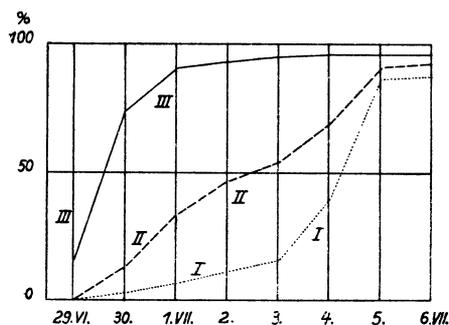


Abb. 19. I = hell, II = halbdunkel, III = dunkel.

Der langsamere Aufgang in Kammer I und II gegenüber III ist nicht etwa auf direkte Lichteinwirkung zurückzuführen, sondern auf größere Bodentrockenheit, die allerdings durch Licht- und Wärmestrahlen verursacht wurde. Es muß hierzu erwähnt werden, daß die Wasserversorgung in den 3 Kammern einheitlich erfolgte, d. h. jeder der 3 Kammern dasselbe Wasserquantum verabreicht wurde. Vorgreifend deuten wir an, daß wir bei der 2. Versuchsreihe die Wasserversorgung den jeweiligen Bedürfnissen anpaßten. Der Erfolg beweist die Richtigkeit der Ansicht, daß der verschiedene Aufgang in der 1. Serie durch die verschiedene Bodenfeuchtigkeit verursacht wurde (siehe Abbildung 20). Das zeigt zugleich auch die Richtigkeit der weiter oben geäußerten Ansicht, daß die Gleichheit der Bodenfeuchtigkeit nach dem Aufgang der Saat durch die Pflanzendecke selbst bestimmt wurde. — Kammer II verhielt sich, wie überhaupt, so auch bezüglich des Aufganges eigenartig: obwohl sie hohe Lichtmengen empfing, wirkte die diffuse Verteilung des Lichtes auf den Boden viel weniger austrocknend als die direkte Einstrahlung bei der hellen Kammer, eine Erscheinung, welche stets sichtbar war.

Ein anderes Bild als der Aufgang bot der weitere Vegetationsverlauf. Die für den Aufgang günstigen Zustände der 3. Kammer erwiesen sich für das weitere Wachstum als ungünstig. Vergeilung, Lagerung, Fäulnis (letztere bei Salat und Spinat) waren die Folgen von schwacher Belichtung, hoher Wassergehalt der Pflanzen deutete in dieselbe Richtung. Die dadurch entstehende Lückigkeit ist aus der beigegebenen Abbildung 42 auf Tafel II deutlich ersichtbar.

Überraschend hingegen war die große Widerstandsfähigkeit der Getreidearten, sie zeigten keinerlei Fäulnis und Ausfall, sondern nur weichere Struktur und damit Neigung zur Lagerung, verbunden mit hellerer Blattfärbung.

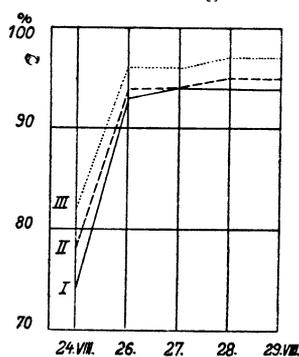


Abb. 20. I = dunkel, II = halbdunkel, III = hell.

Die Vegetation in der halbdunklen Kammer (siehe Tafel II, Abbildung 43 a, b und Abbildung 44 a, b) stand in ihrem Verhalten näher der hellen Kammer wie dies auch schon aus den oben erwähnten meteorologischen Verhältnissen zu erwarten war und aus den Bildern ersichtlich ist. Unterschiede im Habitus der Pflanzen waren mit der Weiterentwicklung kaum offensichtlich, erst die Transpirationsversuche zeigten die Unterschiede. Der Bestand war gleichmäßig während der ganzen Versuchsdauer, keinerlei Lagerung und Fäulnis traten auf.

Dieselben Eindrücke gelten auch für die 2. Versuchsreihe. Nur erfolgte der Aufgang entsprechend der bereits erwähnten gestaffelten Wasserversorgung fast gleichmäßig. Der zeitliche Verlauf des Aufganges und die prozentuale Stärke werden in Abbildung 20 veranschaulicht.

## 2. Transpirationsbestimmungen.

### A. Methode.

Ausgehend von der Vorstellung, daß an Hand einer möglichst großen Zahl von Bestimmungen, die unter den verschiedensten Umständen durchgeführt werden, es möglich sein müßte, mit Hilfe der Korrelationsrechnung quantitativ erfaßbare Gesetzmäßigkeiten über Wirkungsrichtung und Stärke der einzelnen klimatischen Faktoren zu erhalten, wurde die Methodik darauf abgestellt, rasch und vielseitig solch zahlreiche Ergebnisse zu gewinnen. Wir benutzten für diesen Zweck die unter dem Namen „Anwelkmethode Arland“<sup>1)</sup> bekannte Versuchsanstellung für Getreide, die wir kurz beschreiben. In niederen Holzkästen werden in Reihen von etwa 3–4 cm Abstand eine bestimmte Zahl Körner möglichst gleichmäßig ausgelegt und mit Erde bedeckt. Eine eigens konstruierte Klammervorrichtung in Form von Leisten ermöglicht eine Einspannung der herangewachsenen Pflanzen an ihrem natürlichen Standort. Nach der Einklammerung können mit einem Schnitt sämtliche Pflanzen unterhalb der Klammervorrichtung durchschnitten und Rahmen samt Pflanzen an die Waage gebracht werden. Arland dichtet nach dem Schnitt die Schnittflächen mit Paraffin ab, um einen Saft- und Transpirationsverlust an der Wundstelle zu vermeiden. Die Transpiration wird in Form des Gewichtsverlustes in bestimmten Zeitabständen ermittelt. Die Abdichtung der Schnittfläche hat den Nachteil, daß ein Zeitverlust zwischen Schnitt und erster Wägung unvermeidlich ist und auch die Feststellung des anfänglichen Frischgewichtes erschwert wird. Wir gingen von der Vorstellung aus, daß die minimale Fläche der Schnittstelle im Verhältnis zur Transpiration der Gesamtpflanze keinen maßgebenden Einfluß haben kann, zumal nach eigener Beobachtung die Eintrocknung der Schnittfläche sehr rasch erfolgt. Eine Arbeit neuesten Datums von Holz<sup>2)</sup> bestätigt unsere Annahme, indem sie ausdrückt, daß eine Abdichtung von Wundstellen nur bei fleischigen Hygrophyten oder Succulenten notwendig ist. Eine andere hiermit nicht berührte Frage ist die des Einflusses der Wundstelle auf die Transpiration durch Reizwirkung.

Da wir in einem Gang 6 Rahmen mit etwa je 20 Pflanzen zur Untersuchung bringen wollten, mußten wir eine Waage benutzen, die gewichtslos, rasch anzeigend, leicht ablesbar und sehr empfindlich war. Wir benutzten dafür die Korant'sche Waage, nachdem wir sie peinlichst in Vorversuchen geprüft hatten. Wir nehmen vorweg, daß diese Waage trotzdem unseren Anforderungen nicht genügen konnte, und zwar infolge Ungenauigkeit bei geringen Gewichtsunterschieden. Einerseits scheinen die Feuchtigkeitsverhältnisse im Gewächshaus, gegen welche die Waage nicht geschützt werden konnte, die Ursache für unregelmäßiges Arbeiten zu sein, andererseits tritt wahrscheinlich immer eine allmähliche Verschiebung der Achse in ihren Lagern und damit eine Veränderung der Reibung ein. Letzteres äußert sich in ruckweisem Ansprechen und ist ebenfalls durch keinerlei Vorsichtsmaßnahmen zu beheben. Wir erwähnen aber hier schon, daß nicht etwa deshalb die hier gebrachten Ergebnisse anzuzweifeln sind, da wir die Mängel bereits berücksichtigten und an Hand der 2. Versuchsserie, deren Methodik später erläutert wird, Berichtigung und Bestätigung der ersten Ergebnisse erhielten.

Zur Zeit der Wägungsdauer wurden gleichzeitig die meteorologischen Faktoren beobachtet, und zwar Temperatur mit Normalthermometer, Feuchtigkeit mit Dosenhygrometer und das Licht mit einem Luxmeter. Die Lichtbestimmung wurde erst von einem späteren Zeitpunkt an mit eingeschaltet, sodaß auf den nachfolgenden Zeichnungen die Werte hierfür nur teilweise eingetragen sind. Die einzelnen meteorologischen Faktoren wurden in unmittelbarer Nähe der Waage mit den Pflanzen festgestellt.

Die Transpirationsbestimmungen wurden bei der ersten Versuchsreihe nur am Standort, bei der 2. Versuchsreihe sowohl am Standort als auch im Zimmer durchgeführt, letzteres unter verhältnismäßig konstanten Außenbedingungen. Im letzteren Fall haben wir uns bewußt in Gegensatz zu Arland, Holz u. a. gestellt, welche behaupten, daß „für Versuche dieser Art die Pflanzen unbedingt einige Stunden vorher in den betreffenden Raum gebracht werden müssen, damit sie sich den herrschenden Umweltbedingungen anpassen können.“<sup>3)</sup> Nach unseren Beobachtungen bringen die Verhältnisse im Gewächshaus oftmals größere Schwankungen mit sich, als sie der Wechsel zwischen Gewächshaus und Zimmer darstellt. Würde die Behauptung Arlands in ihrer Verallgemeinerung zu Recht bestehen, so wären alle Untersuchungen ökologischer Art, die naturgemäß im Freiland durchgeführt werden, von vornherein unbrauchbar.

<sup>1)</sup> A. Arland, Das Problem des Wasserhaushaltes bei landwirtschaftlichen Kulturpflanzen in kritisch experimenteller Betrachtung. Pflanzenbau, Berlin 1929, Bd. I, S. 1; Bd. II, S. 423.

<sup>2)</sup> W. Holz, Über den Transpirationsverlauf abgeschnittener Blätter. Angewandte Botanik Bd. XVII 1935, S. 349.

<sup>3)</sup> A. Arland, a. a. O. 1929, Bd. II, S. 431.

Grundsätzliche Erörterungen erfordert die von Arland auf ungefähr eine halbe Stunde festgesetzte Wägungsdauer, die von anderen Autoren ebenfalls schon verschiedentlich diskutiert wird. Um die Einstellung, welche Arland zu dieser Festlegung bewog, zu kennzeichnen, zitieren wir<sup>1)</sup>: „Bestimmt man, wie oben beschrieben und wie auch von Stocker getan, den Gewichtsverlust des Objekts in regelmäßig wiederkehrenden Zeitabschnitten von 3 oder 5 Minuten, dann kann man leicht den Zeitpunkt feststellen, zu dem die Pflanze sich nicht mehr normal verhält, sondern mit dem Schluß der Spaltöffnungen beginnt. Die bis zu dem betreffenden Zeitpunkte mit gewissen Schwankungen gleich großen Gewichtsverluste werden sodann bedeutend geringer und pflegen alsbald noch weiter abzufallen. Dieser Absturz ist das Zeichen dafür, daß die unter den gegebenen Umwelteinflüssen richtige Anwelkdauer überschritten ist. Tritt z. B. der Abfall in dem Zeitintervall zwischen der 21. und 24. Minute ein, dann beträgt die zweckmäßige Anwelkdauer unter den gegebenen Umweltbedingungen und bei dem betreffenden Pflanzenmaterial 21 Minuten. Unter diesen Bedingungen empfiehlt es sich aber erst noch festzustellen, ob die zu untersuchenden Objekte nicht trotzdem bei einer Anwelkdauer von 30 Minuten brauchbare Relativwerte liefern, vorausgesetzt natürlich, daß man nicht auf absolute Werte angewiesen ist.“ Zweierlei ist hieraus zu entnehmen: Erstens soll der Gewichtsverlust nach Arland nur bis zum Schluß der Spaltöffnung bestimmt werden und zweitens soll sich dieser Vorgang im Kurvenbild ausdrücken. Wir standen demgegenüber auf folgender Meinung: Die natürlichen Verhältnisse ihres Standortes bringen für die meisten und auch für die in unseren Versuchen verwendeten Pflanzen sehr oft die Notwendigkeit mit sich, sich gegen zu großen Transpirationsverlust durch Spaltenschluß zu schützen. Letzterer ist als natürliche und lebendige Reaktion zu betrachten, außerdem wird er gradweise in Anwendung gebracht und schließlich ist uns die physiologische Tätigkeit der Pflanze mit geschlossenen Stomata noch zu wenig klar, als daß wir uns in gewagte Vorstellungen begeben möchten. Wir haben von vornherein die Behauptung Arlands, daß der Spaltenschluß sich deutlich im Kurvenbild ausdrücke, angezweifelt und unsere später folgenden Abbildungen werden die Richtigkeit unserer Ansicht beweisen. Wir haben die Dauer unserer Versuchsdurchführung wesentlich höher gewählt: In der ersten Versuchsreihe beschränkten wir uns noch auf 1½ Stunden, in der 2. Reihe dehnten wir sie auf 3 Stunden aus und in verschiedenen Einzelmessungen erreichten wir eine Versuchsdauer bis über 7 Stunden.

Wir haben durch die während der ersten Versuchsdurchführung gewonnenen Einblicke schon während dieser Arbeit mehr und mehr die Überzeugung gewonnen, daß die von uns als Ausgangspunkt für die Wahl unserer Methode bestimmende Korrelationsrechnung hier nicht zur Anwendung gebracht werden kann. Die Pflanzen antworten auf die äußeren Verhältnisse in sehr komplizierten Reaktionen, die Vorgänge können also nicht etwa verglichen werden mit physikalischen oder ähnlichen Vorgängen. Wohl lassen sich Beziehungen der meteorologischen Faktoren in den einzelnen Kammern zueinander errechnen, jedoch wird es nicht gelingen, die biologische Seite, auf die es hier besonders ankommt, mit einzubeziehen. Selbst die Mehrfachkorrelationsrechnung, an die wir ursprünglich dachten, wird nicht zum Ziele führen, ganz abgesehen von der ungeheuren Arbeit, die sie verursacht.

## B. U n t e r s u c h u n g s e r g e b n i s s e.

### a) I. V e r s u c h s r e i h e.

Die Transpirationswägungen dieser Versuchsreihe wurden begonnen, als die Pflanzen 18 Tage alt und kräftig entwickelt waren. Die Messungen selbst erstreckten sich über eine Dauer von 10 Tagen und wurden in der Weise durchgeführt, daß die Kammern in der Reihenfolge abwechselten. Wie schon erwähnt betrug die durchschnittliche Dauer einer Untersuchung 1½ Stunden. Die Ablesungen erfolgten in Zeitabständen von durchschnittlich 10 Minuten. Diese Zeitdauer und ihre Schwankungen waren durch die Methode verursacht. Das mit jeder Ablesung zu wiederholende Wechseln der 6 Rahmen, das Einspielen der Waage sowie die Ablesung der meteorologischen Instrumente konnten nicht in kürzerer Zeitdauer und regelmäßiger bewältigt werden. Doch bietet auf der anderen Seite die größere Zahl des zur Untersuchung kommenden Pflanzenmaterials ausgleichende Vorteile.

Aus der großen Zahl von 92 Bestimmungen, die auch sämtlich graphisch dargestellt wurden, haben wir, dem Sinn unserer Fragestellungen entsprechend, Auswahl getroffen und bringen im folgenden 29 gesicherte und in ihrer Deutlichkeit überzeugende Ergebnisse in Kurvenform.

<sup>1)</sup> A. A r l a n d, a. a. O. 1929, Bd. II, S. 432.

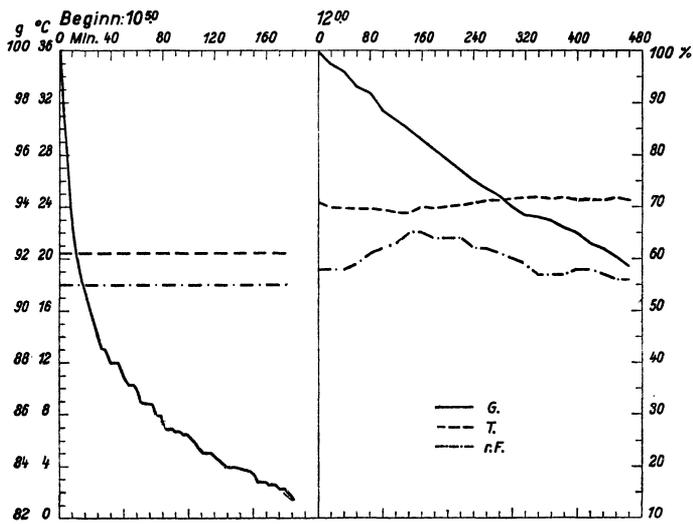


Abb. 21. Dauerwägung.

verläuft außerordentlich konstant. Man könnte vermuten, daß durch die Verwendung einer großen Pflanzenzahl eine Verwischung der eigentlichen Vorgänge eingetreten ist. Unsere späteren Abbildungen ergeben aber noch mehr. Z. B. zeigt Abbildung 29 in ihrer ersten Kurve die Knickbildung erst nach 40 Minuten, während die zweite Kurve desselben Bildes eine stärkere Knickbildung bereits nach 10 Minuten aufweist. Abb. 30, zweite Kurve hat ihren ersten Knick in der 40. Minute, während die erste Kurve dieses Bildes die Knickbildung von Anfang an besitzt und später in einen konstanteren Abfall übergeht. Gleichfalls von Anfang an weist die Kurve 1 der Abbildung 33 Knickbildung auf, wobei die Kurve selbst von Anfang bis Ende der 155 Minuten währenden Messung einen sehr konstanten Verlauf beibehält. Kurve 1 der Abbildung 32 weist wiederum einen sehr konstanten Abfall auf und es dürfte schwer sein, diese Kurve nach der Arlandschen Einstellung zu bewerten. Gänzlich unmöglich aber ist es, die 2. Kurve dieses Bildes in die Arland'sche Betrachtung einzureihen; man sieht an ihr, daß in der Pflanze Gesetzmäßigkeiten herrschen, deren Erkenntnis durch schematische Ansichten nur gehemmt werden würden. Das letztere wird auch noch besonders deutlich an den Kurven der Abb. 31. Damit ist für uns die Frage der Untersuchungsdauer auf eine andere Grundlage geschoben, und auch der Kurvenverlauf führt uns von schematischer Bewertung weg zu einer gänzlich anderen Betrachtungsweise.

Wir beginnen mit der schon berührten Frage über die geeignete Dauer der Transpirationsbestimmung. Wir haben in der Abbildung 21 das Ergebnis einer 3- sowie einer 6stündigen Messung dargestellt. Erstere wurde durchgeführt mit einer Einzelpflanze: Janetzki's Sommerweizen im Zimmer mittels einer Torsionswaage mit 500 Milligramm Meßbereich, Gewichtsfeststellung alle 2 Minuten; die letztere wurde durchgeführt mit 72 Sommerweizenpflanzen ebenfalls im Zimmer, aber mit der Korant'schen Waage, Gewichtsfeststellung alle 15 Minuten. Beide Kurven zeigen wie schwer es ist, aus ihrer Form jenen Punkt zu bestimmen, bei welchem nach Arland der Schluß der Spaltöffnung erfolgt sein soll. Wohl zeigt die erstere der beiden Kurven nach 33 Minuten eine Änderung insofern, als der bis dahin gradlinige Abfall nunmehr mehrfach gebrochen wird. Die zweite Kurve zeigt solche Knickungen nicht und

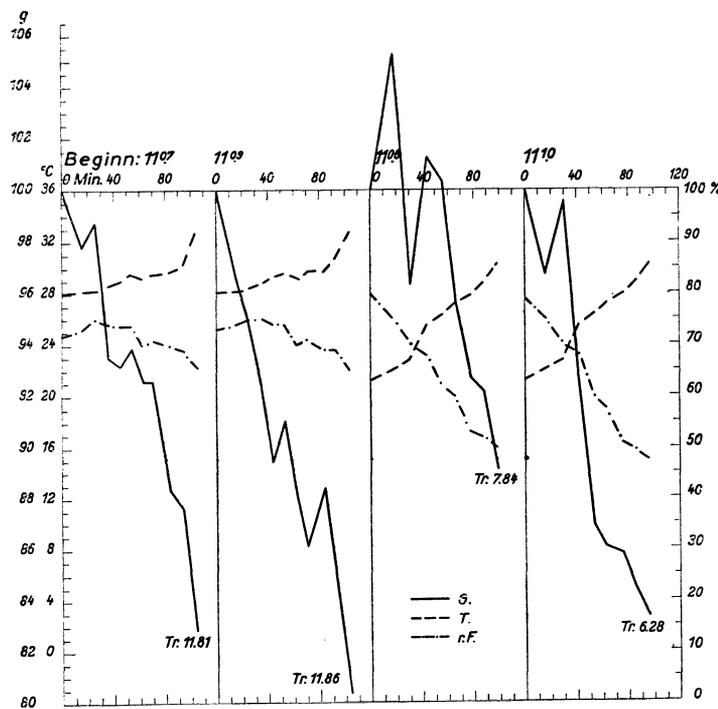


Abb. 22. 1. u. 2. Kurve: Kammer hell, Messung am 16. VII. 35, Gewächshaus, Janetzki's Sommerweizen, Pflanzenzahl 20 und Strubes roter Schlanstedter, Pflanzenzahl 20. 3. und 4. Kurve: Kammer dunkel, Messung am 10. VII. 35, Gewächshaus, Sommergerste Roschützer Imperial, Pflanzenzahl 20 u. Heines vierzeilige Sommergerste, Pflanzenzahl 19.

– Aber auch von der Unmöglichkeit unserer anfänglich geplanten mathematischen Auswertung sind wir, wie bereits erwähnt, durch solche Einblicke überzeugt worden.

Die folgenden Fragestellungen bemühen sich, etwas näher in die Eigengesetzlichkeiten des pflanzlichen Organismus einzuführen. Die eben gebrachten Darlegungen zeigen schon die große Variabilität pflanzlicher Reaktion auf Außenumstände in großen Umrissen. Neben den beim Vergleich der Gewichtskurven mit den Kurven der meteorologischen Faktoren auffallenden Beziehungen im allgemeinen, überrascht an unseren Kurven der ersten Serie vor allem eine Erscheinung, nämlich die Umkehr des Kurvenbildes, mit anderen Worten die Spitzenbildungen, das heißt eine Gewichtszunahme an abgeschnittenen Pflanzen. Wir betrachten zunächst diese Gewichtszunahme sehr kritisch unter der Befürchtung, daß Fehler an der Waage die Ursache sein könnten. Doch hatten wir nach nachträglicher Prüfung derselben, vor-

allem aber nach Abschluß unserer 2. Versuchsserie keine Veranlassung mehr an der tatsächlichen Richtigkeit zu zweifeln. Eine solche Gewichtszunahme kann nur erklärt werden durch eine noch nach dem Schnitt erfolgte Assimilation. Dabei ist von vornherein klar, daß bezüglich der Gewichtsfeststellung die Zunahme durch Assimilation jeweils der Gewichtsabnahme durch Transpiration entgegensteht. Was wir und auch andere in Wirklichkeit messen, ist die Differenz zwischen beiden Vorgängen. Die Literatur spricht zwar auf der einen Seite von einem Zuwachs der Pflanze, der bei allen Wasserverbrauchsbestimmungen berücksichtigt werden müsse, doch wird bei den Transpirationsbestimmungen im besonderen dieser Faktor so gut wie gar nicht berücksichtigt, auch nicht bei den Untersuchungen der Oekologen, die ihre Bestimmungen unter natürlichen Verhältnissen, d. h. zum großen Teil unter starken Lichteinwirkungen ausführen. Solche Gewichtszunahmen durch Assimilation zeigt Abbildung 22.

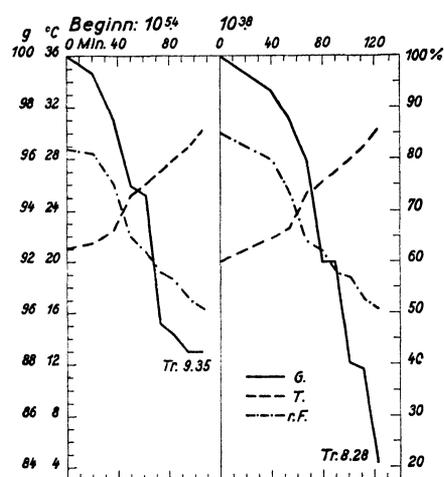


Abb. 23. 1. Kurve: Kammer dunkel, Messung am 10. VII. 35, Gewächshaus, Sommerweizen, Heine's Kolben, Pflanzenzahl 20. 2. Kurve: Kammer dunkel, Messung am 10. VII. 35, Gewächshaus, Strubes roter Schlanstedter Sommerweizen, Pflanzenzahl 20.

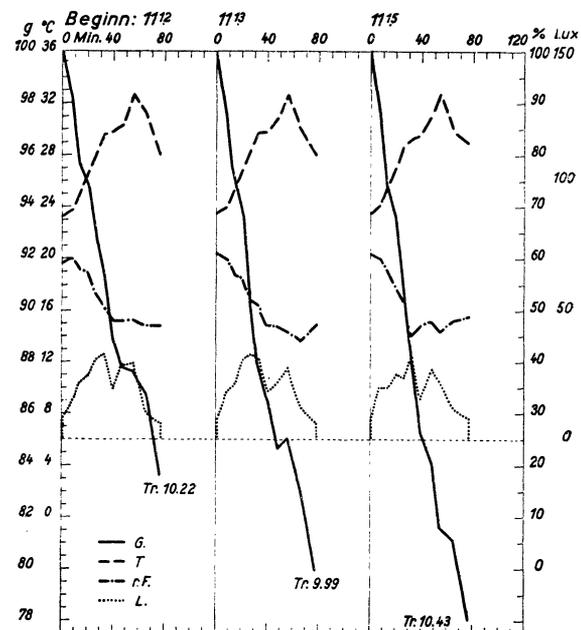


Abb. 24. Alle Kurven: Kammer hell, Messung am 20. VII. 35, Gewächshaus, Sommergerste, Ackermann's Isaria, Roschützer Imperial u. Heines 4zeil., Pflanzenzahl 19, 18, 20.

Daß die Assimilation auch ohne Gewichtszunahme vorhanden sein kann, zeigt deutlich Abbildung 23, bei welcher sie in beiden Kurven in einer Verflachung am Beginn zum Ausdruck kommt.

Es besteht also die Tatsache, daß die meisten der bisherigen Arbeiten über die Transpiration eigentlich auf einer falschen Voraussetzung aufbauen oder wenigstens falsch gewertet werden. Es ist natürlich in diesem Zusammenhange von Bedeutung, festzustellen, welche Beziehungen zwischen den assimilatorischen Vorgängen und den meteorologischen Umständen bestehen. Eine vergleichende Betrachtung der entsprechenden Kurven gibt uns den Einblick. Die Kurven 3 und 4 der Abbildung 22, sowie die beiden Kurven der Abbildung 23 haben fast gleiche meteorologische Bedingungen, d. h. gleichen Temperatur- und Feuchtigkeitsverlauf. Bei den beiden erst genannten (Sommergerste) ist die Spitzenbildung außerordentlich stark, bei den letzten beiden (Sommerweizen) tritt starke Verzögerung im Abfall der Gewichtskurve ein. Temperatur und Feuchtigkeit liegen in einem ganz bestimmten Verhältnis zueinander. Die Temperatur steigt von ungefähr 20 auf 30 Grad, die Feuchtigkeit liegt anfänglich ziemlich hoch bei 85% und sinkt auf etwa 50%. Das scheinen Bedingungen zu sein, die auf die Assimilation günstig wirken. Betrachten wir auf der Abbildung 25 die letzte Kurve, so finden wir fast dieselben meteorologischen Verhältnisse mit derselben Spitzenbildung verbunden. Wir sehen zugleich, daß Gerste und Weizen sich unterscheiden und Gerste offenbar unter den gegebenen Verhältnissen leichter assimiliert als Weizen. Die Abbildung 26 a zeigt uns, daß Gerste auch noch unter ungünstigeren Bedingungen, nämlich niedriger Feuchtigkeit und höherer Temperatur Spitzenbildung erreicht, während z. B. Hafer (siehe Abbildung 26 b) dies unter denselben Bedingungen nur mehr ganz schwach zeigt. Dagegen reichen die Bedingungen, denen die Sommergerste auf Abbildung 24 ausgesetzt war, kaum mehr zu einer Spitzenbildung aus. Im Vergleich zu 26 a steigen die Temperaturen stärker, während die Feuchtigkeit fällt.

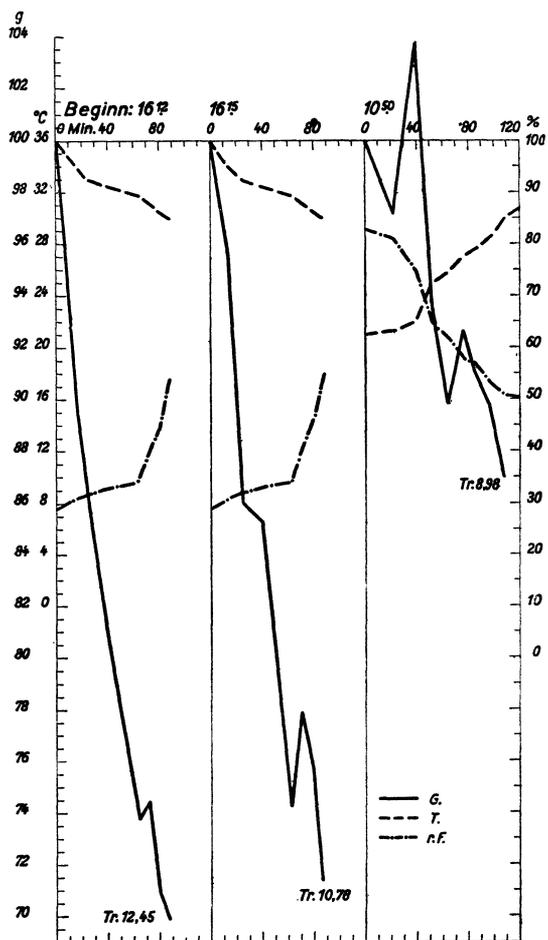


Abb. 25. 1. u. 2. Kurve: Kammer halbdunkel, Messungen am 15. VII. 35, Gewächshaus, Hafer von Lochows Gelb und Beseler II, Pflanzenzahl 20 und 16.

3. Kurve: Kammer dunkel, Messung am 10. VII. 35, Gewächshaus, Janetzki's Sommerweizen, Pflanzenzahl 18.

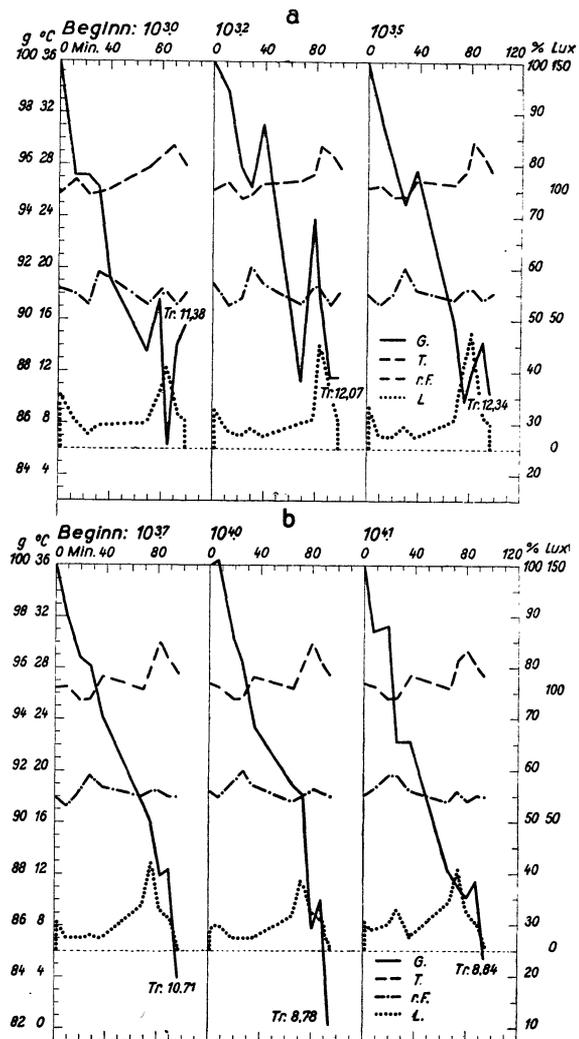


Abb. 26.

- a) 3 Kurven: Kammer hell, Messung am 18. VII. 35, Gewächshaus, Sommergerste, Ackermanns Isaria, Roschützer Imperial, Heines 4zeil., Pflanzenzahl 19, 18, 16.  
 b) 3 Kurven: Kammer hell, Messung am 18. VII. 35, Gewächshaus, Hafer von Lochow's Gelb, Beseler II und Heine's Silber, Pflanzenzahl 19, 17 u. 17.

Daß die Verhältnisse in Bezug auf Spitzenbildung noch komplizierter liegen können, zeigen uns die Kurven der Abbildung 25.

Die 3. Kurve soll nur als Vergleich dienen, die ersten beiden zeigen ebenfalls je eine Spitze im späteren Verlauf, und zwar nach anfänglich sehr starkem Abfall. Zwar fehlt die Lichtkurve, trotzdem ist aus dem Sinken der Temperatur und dem Steigen der Feuchtigkeit mit Sicherheit auf eine Abnahme der Helligkeit zu schließen. Und gerade nach Abnahme der Helligkeit tritt die Spitzenbildung ein. Das Ausschlaggebende für diese Erscheinung kann nur in dem starken Anstieg der Feuchtigkeit gesehen werden. Entweder beruht auch diese Spitzenbildung auf einer Assimilation, die in dem Augenblick ermöglicht wurde, als sich die Feuchtigkeitsverhältnisse besserten, oder aber sie beruht auf der Fähigkeit der Pflanze, unter eben diesem Feuchtigkeitsanstieg Wasser aus der Luft zu gewinnen. Man möchte aus der Erfahrung, daß nämlich Assimilation umso schwerer eintritt je größer der vorhergehende Wasserverlust war, schließen, daß diese Spitzenbildung gegen Ende der Wägung eher für die letztere Erklärung spricht.

Eine für die landwirtschaftliche Sortenkennntnis wichtige Fragestellung wäre die der Unterscheidung von Arten und Sorten vermittels des Verhaltens bei der Transpiration. Diese Frage wurde von verschiedenen Autoren schon behandelt, insbesondere hat Arland hierüber gearbeitet. Er bejaht die Möglichkeit der Sortenunterscheidung auf diesem Wege, jedoch findet er in späteren Bearbeitungen dieses Themas vielfach Gegner, und tatsächlich ist seit seiner 1927 erschienenen grundlegenden Arbeit praktisch kein Fortschritt zu verzeichnen gewesen. Wir haben die Überzeugung, daß die schon eingangs erwähnte Einstellung früherer Bearbeiter durch Verallgemeinerung von Ergebnissen einerseits und andererseits die

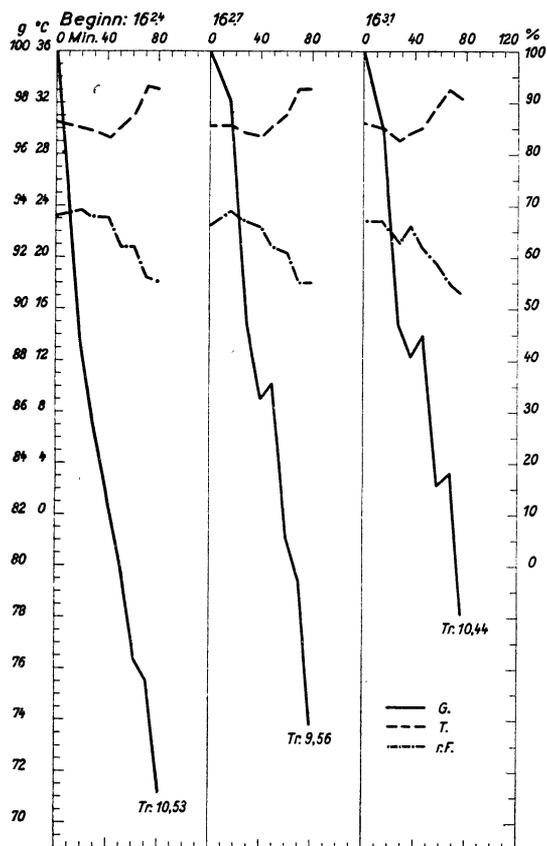


Abb. 27. 3 Kurven: Kammer hell, Messung am 16. VII. 35, Gewächshaus; 3 Hafersorten: v, Lochow's Gelb, Beseler II, Heine's Silber, Pflanzenzahl 18, 17, 18.

sein bezüglich der Sortenunterschiede etwas Sicheres herauszulesen. Das berechtigt aber noch nicht zur Skepsis in der Frage der Sortenunterscheidung, denn wir sehen in der Abbildung 27 dieselben Hafersorten wie in Abbildung 26 b, nur unter anderen meteorologischen Bedingungen. Auf 26 b bewegt sich die Temperatur zwischen 25 und 29 Grad leicht steigend und unregelmäßig im Verlauf, die Feuchtigkeit pendelt durchweg um 55%. Auf Abbildung 27 hingegen steigt die Temperatur von 30 auf 33 Grad und die Feuchtigkeit fällt von 67 auf etwa 53%. Diese Unterschiede genügen, um auf Abbildung 27 deutliche Verschiedenheit im Verhalten der Sorten zu bekommen.

Interessieren wird außerdem noch eine Gegenüberstellung des Einflusses der verschiedenen Kammern auf das Verhalten bei der Transpiration. Da wir bei der ersten Versuchsreihe keine Zimmermessungen durchgeführt haben, ist es schwer, Gegenüberstellungen von Bestimmungen bei gleichen Außenverhältnissen zu treffen. In den folgenden Abbildungen 28 a und b stimmt der Temperaturverlauf ziemlich gut überein, die Feuchtigkeit unterscheidet sich jedoch stärker, aber in einem Sinne, der die Unterschiede eigentlich verwischt und nicht etwa hervorbringt. Die Feuchtigkeit auf Abbildung 28 a liegt nämlich niedriger als in Abbildung 28 b, nach früher Gesagtem würde bei gleich hoher Feuchtigkeit die Spitzenbildung höchst wahrscheinlich stärker hervortreten, als dies so der Fall ist.

Auffallend und erwähnenswert ist, daß bei Abbildung 28 a trotz hoher Temperatur und geringer Feuchtigkeit die Gewichte nicht stark abnehmen und trotz geringer Belichtung starke Spitzenbildung auftritt. Wenn eine Erklärung möglich ist, dann kann sie nur darin liegen, daß die Pflanzen der dunklen Kammern auf geringe Lichtmengen wesentlich stärker reagieren als die Pflanzen der hellen Kammer. Das wäre in Bezug auf Assimilation der wichtigste Einfluß verschiedener Belichtung.

#### b) II. Versuchsreihe.

In dieser Versuchsreihe legten wir Wert darauf zu einer genaueren Wägungsmethode zu kommen, da wir gegenüber einzelnen Ergebnissen der ersten Versuchsreihe selbst mißtrauisch waren. Neben sicherer Gewichtsbestimmung erstrebten wir auch regelmäßige Ablesungsintervalle in möglichst kurzen Zeitabständen. Außerdem verzichteten wir auf die in der ersten Versuchsreihe beschriebene Methode, bei welcher wir die Pflanzen in Rahmen spannten. Es hatte sich nämlich gezeigt, daß diese Rahmen selbst

ungenügende Mitbeobachtung der meteorologischen Faktoren bei der Anzucht und bei der Untersuchung zum großen Teil mit Schuld an der heute bestehenden Verwirrung sind. Unsere Untersuchungen, die, wie schon erwähnt als Voruntersuchungen zu betrachten sind, haben auch diese Fragestellung anzuschneiden versucht. Es liegt in der Natur des Problems und damit auch in unserer Einstellung, daß es sich zunächst für uns nur um eine allgemeine Orientierung handeln konnte und daß die Lösung der Aufgabe: Sortencharakteristiken an Hand von Transpirationsuntersuchungen zu geben, erst am Ende ausgedehnter Untersuchungen über das Gesamtproblem stehen kann. Denn es ist unmöglich auf anderem Wege die Bedingungen kennen zu lernen, unter welchen die Sorten sich am charakteristischsten, d. h. am stärksten unterschiedlich verhalten. Schon die Koppelung der Transpirationsvorgänge mit den Assimilationsvorgängen zeigt, daß diese Frage nur als komplexe Frage behandelt werden kann.

Um das verschiedene Verhalten zweier Getreidearten zeigen zu können, bringen wir in den Abbildungen 26 a und b Sommergerste und Hafer zum Vergleich, und zwar erfolgten die Messungen bei übereinstimmenden Außenverhältnissen im Gewächshaus.

Die Artunterschiede kommen deutlich zum Ausdruck, dagegen dürfte es noch ziemlich schwer

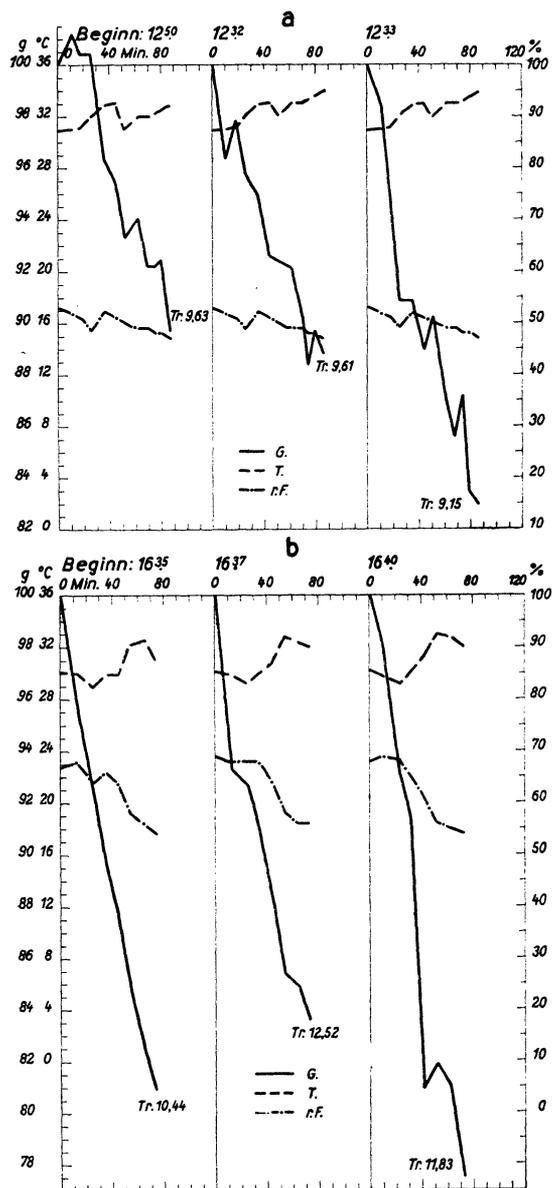


Abb. 28.

a) Kammer dunkel, Messung am 13. VII. 35, Gewächshaus.  
 b) Kammer hell, Messung am 16. VII. 35, Gewächshaus. —  
 In beiden Kammern Sommerweizen, Janetzki's, Strube's  
 roter Schlanstedter, Heine's Kolben, Pflanzenzahl a) 18,  
 19; b) 18, 20, 18.

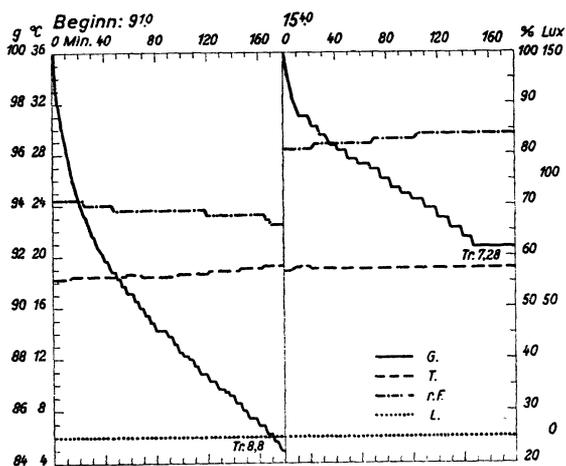


Abb. 29. 1. Kurve: Kammer halbdunkel, Messung am  
 5. IX. 35, Zimmer, Janetzki's Sommerweizen, 7 Pflanzen.  
 2. Kurve: Kammer dunkel, Messung am 3. IX. 35, Zimmer,  
 Janetzki's Sommerweizen, 8 Pflanzen.

einen Fehler bedingten. An ihrer Innenseite ist eine Gummiauflage mit einer leimartigen Masse aufgebracht, um Quetschungen der Pflanzen zu verhindern. Bei Messungen im Gewächshaus zieht infolge der hohen Luftfeuchtigkeit der Leim Wasser an, sodaß indirekt fehlerhafte Gewichtszunahmen sich einstellten. Wir konnten diese Methode umso leichter entbehren, als wir auch von der Massenwägung zur Einzelwägung übergangen, und zwar aus dem Grunde, weil Massenwägungen immer eine Mittelbildung darstellen, die verwischend wirkt. Denn es kam uns jetzt mehr und mehr darauf an, die Physiologie der Vorgänge zu erfassen, unter Verzicht auf die rechnerische Auswertung, die uns anfänglich in der Wahl unserer Methode bestimmte.

Wir verwendeten nunmehr eine Torsionswaage, Meßbereich 1500 Milligramm. Die Torsionswaage verbindet bequeme Handhabung mit allergrößter Genauigkeit, rasches Einspielen und leichtes Ablesen. Die ungünstigen Verhältnisse im Gewächshaus wirken auf sie kaum ein infolge ihrer Kompensierung. Vorversuche zeigten uns die Möglichkeit, Messungen im 2 Minutenabstand durchzuführen. Wir gingen dazu über neben den Bestimmungen im Gewächshaus, welche uns die Reaktion der Pflanze an ihrem Standort zeigen sollten, auch Bestimmungen im Zimmer, unter verhältnismäßig gleichbleibenden Bedingungen auszuführen. Wir erwähnten bereits, daß wir bei den Zimmermessungen direkt vom Gewächshaus an die Waage gingen, ohne also die Pflanzen zuerst sich den neuen Bedingungen anpassen zu lassen. Unsere Ansicht hierüber haben wir bereits eingangs zum Ausdruck gebracht.

Die zweite Versuchsreihe wurde am 20. August ausgesät. Eine erste Wägungsreihe wurde durchgeführt vom 3. bis 17. September, eine 2. vom 15. bis 30. Oktober. Die Anordnung im Gewächshaus war dieselbe wie bei der ersten Versuchsreihe, nur mit geringen Änderungen, auf die wir schon hinwiesen.

Bei dieser 2. Versuchsreihe wurden im ganzen 36 Bestimmungen durchgeführt und graphisch ausgewertet. Der im Verhältnis zur ersten Serie geringeren Zahl steht eine wesentlich längere Untersuchungsdauer — 3 Stunden —, sowie die Ablesung im 2-Minutenabstand gegenüber. Bei den Bestimmungen kam es uns darauf an, die Ergebnisse der ersten Serie nachzuprüfen und durch die erwähnte bessere Differenzierung in der Methode darüber hinaus noch neue Einblicke zu gewinnen. Aus diesen Bestimmungen wählten wir 13 charakteristische Kurvenbilder zur Betrachtung aus.

Die auffallendste Erscheinung bei den Messungen der 2. Reihe sind die immer wiederkehrenden, von uns als Treppenbildung bezeichneten Kurvenbilder, auf die in der Literatur bis jetzt noch nie hingewiesen wurde.

Da es sich bei Abbildung 29 um Zimmermessung handelt, war es möglich, die Helligkeit ziemlich konstant und niedrig zu halten. Auch die Temperatur lag praktisch in derselben Höhe für die ganze Meßdauer. Dagegen liegt die Feuchtigkeitskurve bei der 2. Darstellung um ungefähr 15% höher, wobei die erste leicht fallende Tendenz, die zweite leicht steigende aufweist. Die erste Gewichtskurve zeigt etwa von der 40. Minute an die erwähnte Treppenbildung, die ziemlich gleichmäßig bis zum Schluß anhält. Die 2. Gewichtskurve beginnt mit der Treppenbildung bereits nach der 10. Minute und behält sie ebenfalls bis zum Ende, und zwar mit überraschender Gleichmäßigkeit bei. Da es sich in beiden Fällen um die gleiche Sorte und um Pflanzen gleichen Alters handelt, beruhen die Unterschiede in den Gewichtskurven also lediglich auf dem verschiedenen Feuchtigkeitsgrad der Luft. Da noch dazu die Feuchtigkeit bei der 2. Gewichtskurve höher liegt, sprechen die Tatsachen vollkommen gegen die Behauptung Arlands, nach welchen man veranlaßt wäre, den Beginn der Treppenbildung zeitlich mit dem Schluß der Spaltöffnungen gleich zu setzen. Denn Spaltöffnungsschluß erfolgt nicht bei höherer, sondern bei niedriger Luftfeuchtigkeit.

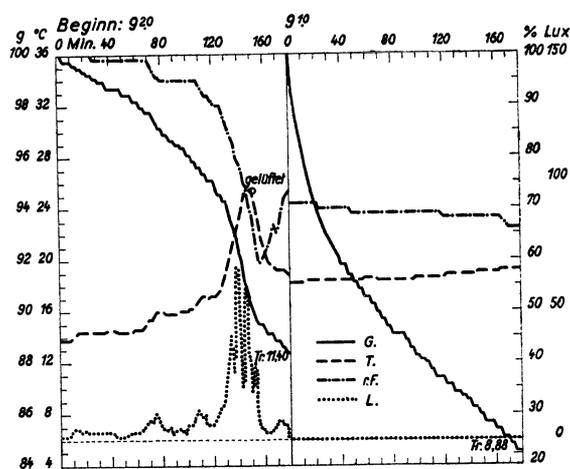


Abb. 30.

1. Kurve: Kammer hell, Messung am 17. IX. 35, Gewächshaus. Strube's roter Schlanstedter Sommerweizen, 3 Pflanz.
2. Kurve: Kammer halbdunkel, 1. Messung am 5. IX. 35, Zimmer, Janetzki's Sommerweizen, 7 Pflanzen.

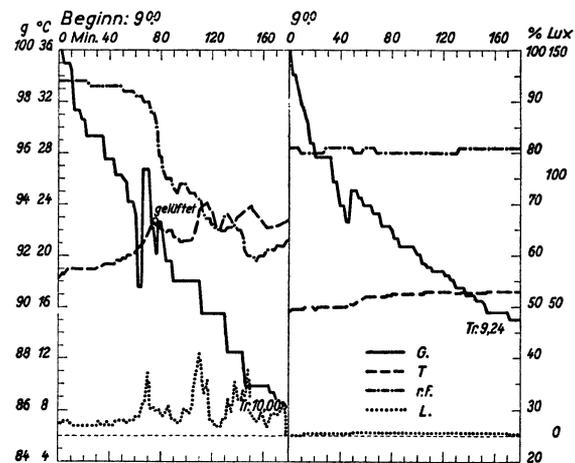


Abb. 31.

1. Kurve: Kammer halbdunkel, Messung am 14. IX. 35, Gewächshaus, 3 Pflanzen.
2. Kurve: Kammer halbdunkel, Messung am 13. IX. 35, Zimmer, 2 Pflanzen. Sorte: Strube's roter Schlanstedter Sommerweizen.

Damit ist aber die Treppenbildung als solche noch keineswegs erklärt. Die Abbildung zeigt uns, daß der anfänglich kontinuierliche Abfall nach einem bereits erfolgten bestimmten Wasserverlust in einen periodischen Abfall, ausgedrückt in Treppenbildung, übergeht, und daß zugleich Temperatur, relative Feuchtigkeit und der noch vorhandene Wassergehalt der Pflanze zu diesem Zeitpunkt in einer bestimmten Relation stehen. Bei höherer relativer Feuchtigkeit zeigt sich die Treppenbildung nicht nur früher, sondern es werden auch die Stufen größer. Diese Umstände beweisen, daß die Treppenbildung dann eintritt, wenn die Dampfspannung der Luft mit der Dampfspannung in den Interzellularen der Pflanze im Gleichgewicht steht. Es wird dann vermutlich durch Temperaturerhöhung in der Pflanze die Dampfspannung in derselben etwas erhöht und damit erneut Transpiration und Kurvenabfall ermöglicht. Nach diesem Ausgleich beginnt derselbe Vorgang von neuem. Wiederum wird aus dieser Erklärung klar, daß Treppenbildung nichts mit Spaltöffnungsschluß zu tun hat.

In Abbildung 30 wird die schon einmal gebrachte 1. Kurve der Abbildung 29 in Vergleich gesetzt mit einem Kurvenbild, das unter gänzlich anderen Umständen zustande kam. Der Helligkeit 0 beim 2. Kurvenbild steht eine starke und sehr schwankende Helligkeit im ersten Kurvenbild gegenüber. Die Temperatur, die auf dem 2. Kurvenbild ziemlich gleichmäßig um 18° liegt, steigt außerordentlich stark bei der ersten Kurve an. Bei der Feuchtigkeit stellt sich umgekehrt einem leichten kaum nennenswerten Abfall ein rapider Absturz von 100 auf ungefähr 60% gegenüber. Diese Umstände bedingen, daß die Gewichtskurve schon von Anfang an Treppenbildung aufweist, und zwar so lange bis ungefähr von der 130. Minute ab die Feuchtigkeitskurve beinahe senkrecht abstürzt. In diesem Punkt verwandelt sich die Treppenbildung in einen kontinuierlichen Abfall, sodaß die Kurve 1 der Abbildung 30 als eine Umkehrung der Kurve 2 derselben Abbildung erscheint. Die starke Helligkeitssteigerung um die 140. Minute kommt assimilatorisch im Kurven-

bild nicht zur Geltung infolge des Verhaltens der Feuchtigkeit. Mit erneutem Feuchtigkeitsanstieg nach der 150. Minute tritt wiederum die Treppenbildung ein.

Abbildung 31, 1. Kurve zeigt ebenfalls Treppenbildung von Anfang an, bei einer Tendenz von Temperatur und Feuchtigkeit ähnlich Kurve 1 von Abbildung 30. Was wir aber an ihr besonders zeigen wollen, ist die Kurvenumkehrung nach der 60. und nach der 75. Minute. Es ist ohne weiteres deutlich, daß diese Umkehr durch die Helligkeitssteigerung bedingt ist und durch Assimilation zustande kommt. Dabei überrascht aber die Tatsache, daß bei zeitlich späterer noch stärkerer Lichteinwirkung keine solche Umkehr mehr eintritt. Es fällt aber eine Treppenbildung mit außerordentlich großen Stufen auf. Daraus wird ersichtlich, daß die Treppenbildung unter bestimmten Umständen nicht nur mit den Transpirationsvorgängen, sondern auch mit den Assimilationsvorgängen verbunden sein kann. Da die Feuchtigkeit nämlich zu diesem Zeitpunkt sinkende Tendenz hat, ist die nächstliegende Erklärung die, daß die periodische Verzögerung im Kurvenabfall durch zeitweise Verwendung des Wassers beim Assimilationsvorgang eintritt. Damit wollen wir nicht leugnen, daß nicht zugleich auch eine Überschneidung von Gewichtszunahme durch die Assimilation und Gewichtsabnahme durch Transpiration am Kurvenbild mitbeteiligt sein können. Die 2. Gewichtskurve der Abbildung 31 gibt einen Anhaltspunkt darüber, wie groß die Lichtintensität sein muß, um noch assimilatorisch im Kurvenbild zum Ausdruck zu kommen. Bei der ersten sehr schwachen Lichtsteigerung nach der 10. Minute tritt schon eine Abfallsverzögerung ein, nach einer etwas stärkeren aber immer noch sehr geringen Helligkeitszunahme nach der 45. Minute, genügt diese, um bereits eine Umkehr des Kurvenlaufs zu verursachen. Wir erwähnen dabei, daß Temperatur und Feuchtigkeit für Assimilation nach unseren Erfahrungen hierbei sehr günstig lagen. Wir haben uns natürlich auch die Frage vorgelegt, ob nicht noch geringere Lichtmengen als sie bei der von uns verwendeten Skala noch meßbar waren, Assimilation hervorrufen können. Durch die biologisch bedingte Koppelung der Transpirations- mit den Assimilationsvorgängen ist natürlich eine Feststellung in dieser Richtung sehr erschwert. Doch zeigen uns Wägungen, bei denen wir das Licht mit 100facher Empfindlichkeit gemessen haben, daß bei starkem Anstieg der Lichtkurve, der auch noch bei unserer für gewöhnlich verwendeten Skala zum Ausdruck gekommen wäre, keine Verzögerung im Kurvenabfall eintrat (siehe Abbildung 34 a). — Wir wollen trotzdem die Frage noch einmal nachprüfen.

Daß auch bei sehr großer Helligkeit ein kontinuierlicher starker Abfall in der Gewichtskurve eintreten kann, zeigt uns noch das erste Kurvenbild der Abbildung 32. Stark steigende Temperatur und noch

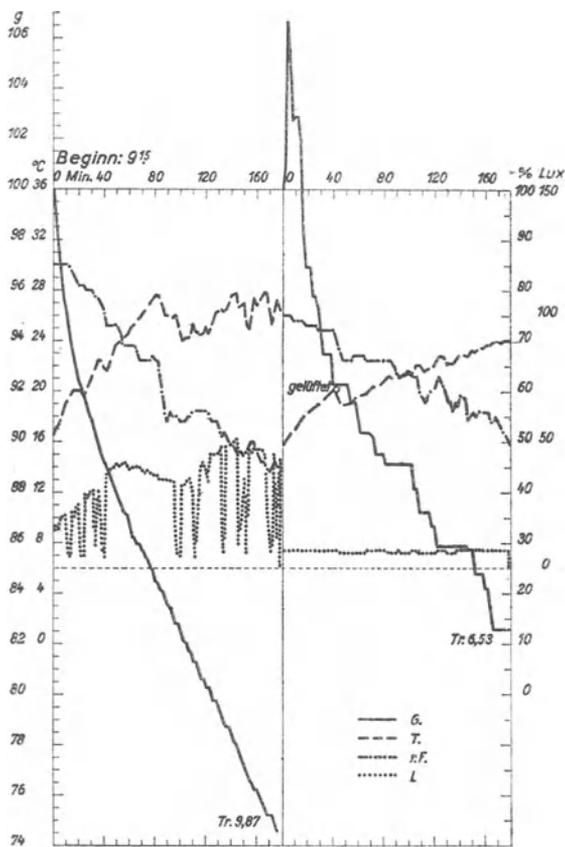


Abb. 32.

1. Kurve: Kammer halbdunkel, Messung am 7. IX. 35, Gewächshaus, Janetzki's Sommerweizen, 6 Pflanzen.

2. Kurve: Kammer dunkel, Messung am 12. IX. 35, Gewächshaus, Strube's roter Schlanstedter Sommerweizen, 6 Pflanzen.

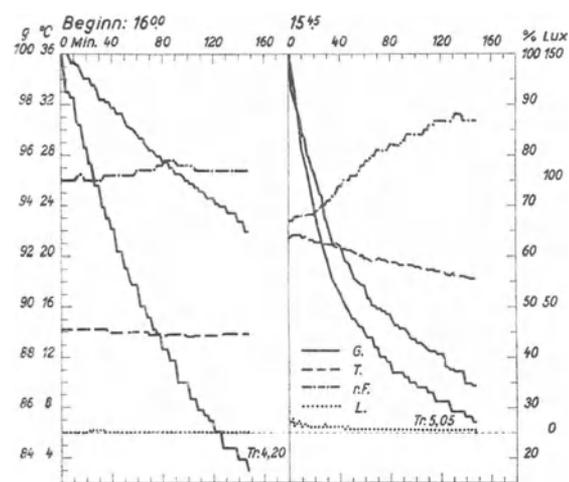


Abb. 33.

1. u. 2. Kurve: Kammer hell, Messung am 9. X. 35, Zimmer, amerikan. brauner Pflücksalat, obere Kurve: 2 Pflanzen, untere Kurve: 1 Blatt.

3. u. 4. Kurve: Kammer dunkel, Messungen am 30. IX. 35, Gewächshaus, Spinat Enkhuizen, obere Kurve: 4 Pflanzen, untere Kurve: 4 Blätter.

stärker fallende Feuchtigkeit verhindern ein Hervortreten der Assimilation. Auch die Treppenbildung kommt nur sehr schwach zum Ausdruck.

Die 2. Kurve derselben Abbildung bringt uns noch eine Bestätigung für die Möglichkeit der Gewichtszunahme schon bei Beginn der Messung, eine Tatsache, die wir bereits bei Besprechung der Ergebnisse der 1. Versuchsreihe kennen lernten. Wie in Abbildung 23 tritt auch hier die Spitzenbildung bei anfänglicher hoher, dann fallender Feuchtigkeit und steigender Temperatur auf. Wir erwähnen noch, daß auch hier das Pflanzenmaterial der dunklen Kammer entnommen war, man gewinnt mehr und mehr den Eindruck, daß die stärkste Spitzenbildung, d. h. die stärkste Reaktionsfähigkeit auf Licht mittels Assimilation bei den Pflanzen der dunklen Kammer vorhanden ist.

Bei Salat und Spinat beschränkten sich unsere Untersuchungen auf 12 Bestimmungen. Da diese in vorgeschrittener Jahreszeit bei geringem Licht und geringer Temperatur gemacht wurden, läßt sich aus den Kurvenbildern nur wenig entnehmen. Abbildung 33 zeigt zwei derselben. Sie weisen einen ähnlichen Charakter auf wie manche Getreidekurven. Auch hier ist die Treppenbildung wieder zu finden. Bei Salat ist sie von Anfang an vorhanden, bei ziemlich hoher Feuchtigkeit und verhältnismäßig niedriger Temperatur, Licht = 0. Bei Spinat tritt sie nach anfänglichem starkem Abfall erst nach einer Stunde ein, bei letzterer Wägung herrschte schwaches Licht, Temperatur fiel von 22 auf 18.5 Grad, die Feuchtigkeit stieg von 68 auf 88%. Es zeigen sich damit Unterschiede an den beiden Pflanzenarten, auf die jedoch aus Mangel an Material nicht näher eingegangen werden kann. Hinzuzufügen ist nur noch, daß sowohl bei Salat als auch bei Spinat zweierlei Gewichtsbestimmungen erfolgten: einmal wurden Blätter mit der Torsionswaage untersucht — untere Kurve —, das andere Mal wurden ganze Pflanzen an die Korant'sche Waage gebracht — obere Kurve —. Es zeigt sich somit aus der Abbildung die an sich schon bekannte Tatsache, daß Blätter allein stärker transpirieren als ganze Pflanzen.

Zum Schluß bringen wir noch die Ergebnisse einer Wägereihe, die wir über 7½ Stunden ausdehnten und bei der wir Pflanzenmaterial der Versuchsreihe 1 aus allen 3 Kammern gleichzeitig und damit unter gleichen Bedingungen im Zimmer verglichen. Wir haben die Ergebnisse nach 2 Gesichtspunkten zusammengestellt und bringen sie in Abbildung 34 a und b.

Abbildung a bringt nebeneinander die 3 Kammern, wobei für jede Kammer Weizen, Gerste und Hafer vertreten sind. Es ist klar zu sehen, daß die Gewichtsverluste am stärksten bei dem Pflanzenmaterial der dunklen Kammer waren. Die halbdunkle Kammer, auf deren eigenartiges Verhalten wir schon hingewiesen haben, benimmt sich indes xerischer als die helle Kammer. Dies gilt gleicher Weise für die 3 Getreidearten. Auf der Darstellung ist zugleich zu entnehmen, daß auch bei dieser außerordentlich langen Dauer des Wägeversuches keine eigentliche Veränderung in der Kurventendenz eintritt. Wir sind überzeugt, daß auch bei noch längerer Durchführung sich nichts an diesem Bild geändert hätte.

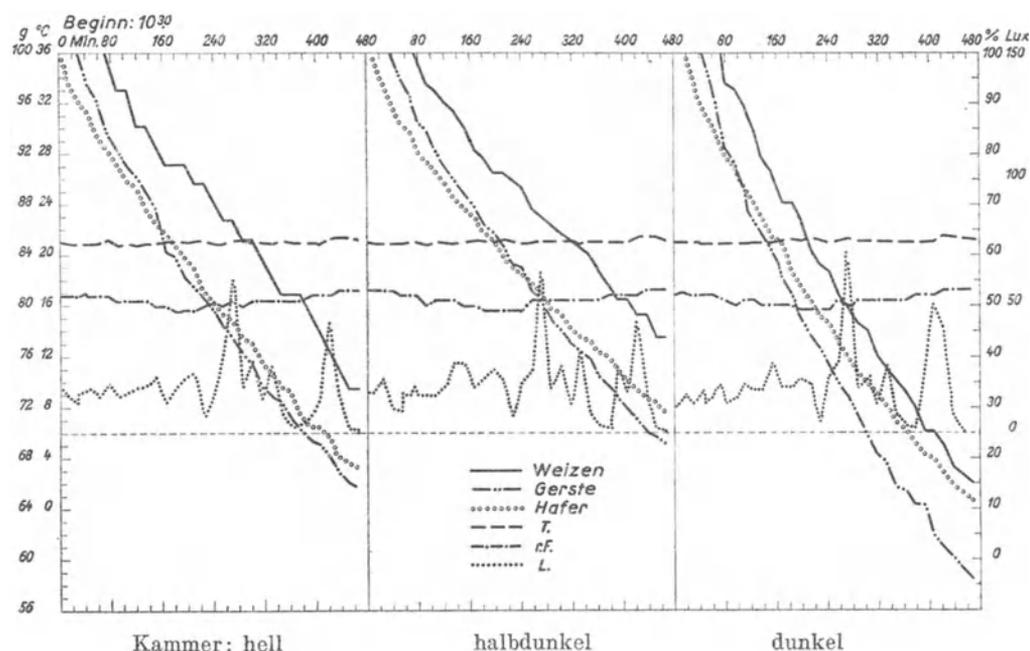


Abb. 34 a.

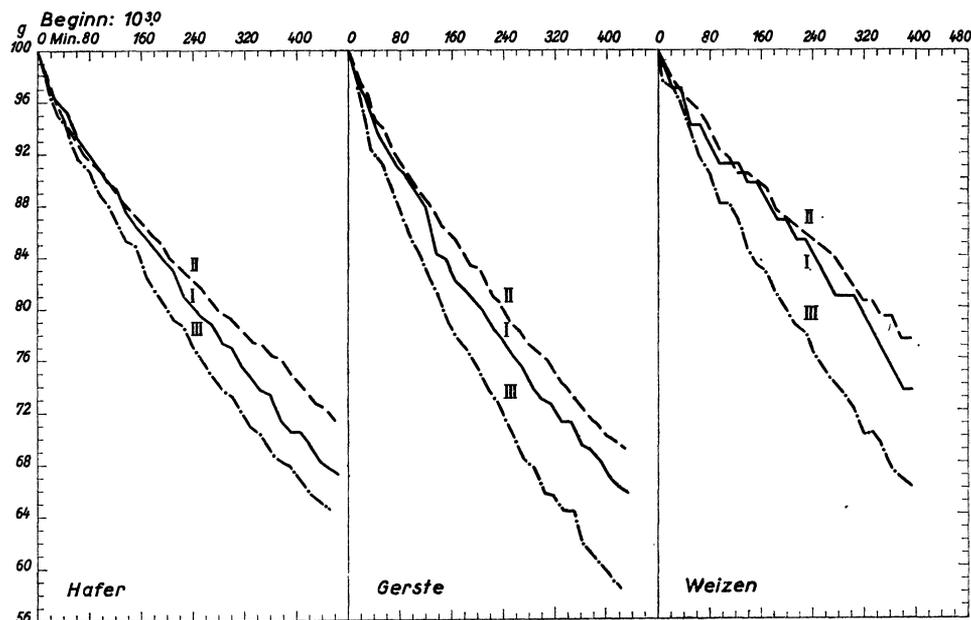


Abb. 34 b. I = hell, II = halbdunkel, III = dunkel.

Die Abbildung b zeigt eine Zusammenfassung nach Getreidearten, sodaß für jede Art die Kurven der 3 Kammern nebeneinander liegen. Dabei ist für jede Kurve derselbe Ausgangspunkt zugrundegelegt. Zweierlei spricht aus dieser Gegenüberstellung. Erstens: den stärksten Gewichtsverlust zeigt Gerste, dann folgt Hafer und zum Schluß Weizen. Nach dieser Staffelung und den neueren Ergebnissen der Forschung über das Xerophytenproblem, wonach – entgegen früherer Ansicht – die Xerophyten die stärkste Transpiration aufweisen, würde sich für die 3 Getreidearten ergeben, daß die Gerste sich xerischer benimmt als die beiden anderen, dann folgt Hafer und schließlich Weizen. Sehr schön kommt auf Abbildung b auch die Tatsache zum Ausdruck, daß die Pflanzen der mittleren Kammer geringere Gewichtsverluste erleiden als diejenigen der hellen Kammer.

In diesem Zusammenhang interessieren die Ergebnisse der Trockensubstanzbestimmungen (Tabelle 7), die wir für sämtliches Pflanzenmaterial jeweils nach Schluß der Transpirations-Untersuchungen durchführten. Diese Trockensubstanzbestimmungen wurden mit dem Korant'schen Schnellwasserbestimmer vorgenommen.

Tabelle 7. Prozentuale Zusammenstellung der Trockensubstanzwerte.

Versuchsserie	Kulturart	Kammern			im Alter von etwa 14 Tagen
		hell	halbdunkel	dunkel	
I.	Weizen, Gerste, Hafer	11.49	11.55	7.78	14 "
II.	Weizen	10.69	9.50	7.19	" " " " 14 "
II.	"	17.17	17.33	10.42	" " " " 70 "
II.	Schnittsalat	4.16	4.10	3.12	" " " " 60 "
II.	Spinat	5.44	5.46	5.15	" " " " 50 "

Die Aufstellung spricht für sich selbst, die halbdunkle Kammer liegt in ihrem Trockensubstanzwert höher als die helle Kammer. Es ist nur noch hinzuzufügen, daß dort, wo die Werte etwas niedriger liegen als in der hellen Kammer, dies nicht der Kammer, sondern der reichlicheren Wasserversorgung zuzuschreiben ist. Wir haben dies bereits bei der Besprechung des Aufbaus angeführt. Umso überzeugender ist die Zahl für die halbdunkle Kammer aus der 2. Versuchsserie für Weizen im Alter von 70 Tagen.

### 3. Schlußbetrachtung.

Die Ergebnisse des Jahres 1935 zeigen uns also in buntem Wechsel zahlreicher Bilder die Vielseitigkeit des Problems des Wasserhaushalts der Pflanzen, und in ihrer Vielseitigkeit zugleich die Gefahr, welche in der Einseitigkeit der Betrachtung und in der Verallgemeinerung von Einzelergebnissen liegen muß. Unsere Einstellung, die Versuchsbedingungen von vornherein nicht zu begrenzen, sondern

so stark als möglich zu variieren, hat sich als richtig erwiesen, indem uns dadurch wertvolle Einblicke in die Eigengesetzlichkeit des pflanzlichen Lebens ermöglicht waren. Erst die Kenntnis der Reaktionsbreite und der inneren Verbindung der physiologischen Vorgänge kann uns die Grundlage liefern für den methodischen Ausbau zu weiteren Versuchen. In diesem Sinne sind unsere Untersuchungen als ergebnisreiche Vorversuche anzusehen.

Es wird uns demnach bei der zukünftigen Arbeit darauf ankommen, ohne Aufgabe der Versuchsbreite bezüglich einzelner Fragestellungen zu bestimmten Untersuchungsmethoden zu gelangen. So wird uns z. B. die Frage der Sortenunterscheidung weiter beschäftigen und, wie wir hoffen, zur Ausbildung einer ganz bestimmten Methode führen. Der Fehler, der bisher gemacht wurde, bestand darin, daß die Methodik infolge Unkenntnis des Gesamtproblems dem Sinn der eigentlichen Fragestellung nicht angepaßt war. Wir erinnern an unsere Ausführungen über die Bedeutung der Mitbeobachtung aller meteorologischen Faktoren und möchten ganz besonders in dieser Richtung noch einen weiteren Ausbau vornehmen, sobald es gelungen ist, brauchbares Instrumentarium zur Untersuchung der Faktoren Wind und Feuchtigkeit zu erhalten. Pflanzentemperaturbestimmungen auf thermoelektrischem Wege, deren Wichtigkeit wir im Verlauf unserer Untersuchungen erkannt haben, werden wir in unsere Beobachtungen mitaufnehmen.

Wir weisen auch nochmals darauf hin, daß alle diese Untersuchungen noch eine weitere Auswirkung insofern finden werden, als sie uns auf das Gebiet der Erforschung des Gewächshausklimas führen. Und zwar nicht nur von der meteorologischen Seite her, sondern aus einer Verbindung von Meteorologie und Physiologie, denn beide dürfen nicht getrennt werden, wenn die Praxis einmal daraus Nutzen schöpfen soll. Nur wenn die Pflanze selbst das Reagens bleibt, wird es gelingen, die Bearbeitung des Gewächshausklimas fruchtbar zu gestalten. Daß uns unser menschliches Ermessen leicht trügt, zeigen die angeführten Ergebnisse über die Eigenart der halbdunklen Kammer. Sie weist Bedingungen auf, die für manche gärtnerischen Kulturen, vor allem für Gurkentreiberei, als sehr günstig betrachtet werden müssen und es ist interessant festzustellen, daß man dies kaum erwartet hätte.

---

### Literaturnachweis.

- Alexandrov, W. G., Über die Transpirationsintensität der Pflanzen. Bericht der Deutschen Botanischen Gesellschaft **45**, 1927, S. 67.
- Arland, A., Krankheitsbefall, Anfälligkeit, Pflanzenernährung und Winterfestigkeit in ihren Beziehungen untereinander und zur Transpiration. Archiv für Pflanzenbau **7**, 1931, S. 79.
- Zur Methodik der Transpirationsbestimmung am Standort. Bericht der Deutschen Botanischen Gesellschaft **47**, 1929, S. 474.
  - Das Problem des Wasserhaushaltes bei landwirtschaftlichen Kulturpflanzen in kritisch experimenteller Betrachtung. Archiv für Pflanzenbau **1**, 1929, S. 1.
  - Das Wasserhaushaltsproblem bei landwirtschaftlichen Kulturpflanzen in kritisch experimenteller Betrachtung. Archiv für Pflanzenbau **2**, 1929, S. 423.
- Bates, Ch., Windbreaks, their influence and value. U. S. Dep. of Agr., Forest Service, Bulletin **86**, Washington 1911.
- Bernbeck, O., Wind und Pflanze. Tharandter Forstliche Jahrbücher **71**, 1920.
- Bornemann, Die Kohlenstoffernährung der Kulturpflanze, Fühlings landwirtschaftliche Zeitung 1921.
- Gradmann, H., Die Windschutzeinrichtungen an den Spaltöffnungen der Pflanzen. Jahrbuch für wissenschaftliche Botanik **62**, 1923.
- Holz, W., Über den Transpirationsverlauf abgeschnittener Blätter. Angewandte Botanik Bd. **17**, 1935, S. 349.
- Iwanoff, L., Zur Methodik der Transpirationsbestimmung am Standort. Bericht der Deutschen Botanischen Gesellschaft **46**, 1928, S. 306.
- Huber, B., Zur Methodik der Transpirationsbestimmung am Standort. Bericht der Deutschen Botanischen Gesellschaft **45**, 1927, S. 611.
- Lebedincev, E., Physiologische und anatomische Besonderheiten der in trockener und in feuchter Luft gezogenen Pflanzen. Bericht der Deutschen Botanischen Gesellschaft **45**, 1927, S. 83.
- Lundegårdh, H., Der Kreislauf der Kohlensäure in der Natur. Fischer, Jena, 1924.
- Maue, W., Ist es bei unseren Kulturgräsern möglich aus einem Pflanzenbestande die hinsichtlich der Transpiration wichtigen Varianten herauszufinden und kann das Transpirationsvermögensverhältnis etwas über den relativen Xeromorphismus und Hygrophytismus aussagen? Angewandte Botanik **9**, 1927.
- Pfleiderer, H., Kritische Untersuchungen zur Methodik der Transpirationsbestimmung an abgeschnittenen Sprossen. Zeitschrift für Botanik, **26**, 1933, S. 305.
- Reinau, E., Praktische Kohlensäuredüngung. Springer, Berlin, 1927.
- Reiß, G., Die Weiterentwicklung der „Anwelkmethode“ und ihre Verwendung zur Beantwortung von Sorten- und Düngungsfragen. Dissertation Leipzig 1930, Archiv für Pflanzenbau **5**, 1930/31, S. 247.
- Scheibe, A., Morphologisch-physiologische Untersuchungen über die Transpirationsverhältnisse bei der Gattung Triticum und deren Auswertung für Pflanzenzüchtung und Kulturpflanzenökologie. Angewandte Botanik **9**, 1927.
- Schratz, E. u. Fritzsche, G., Über die Bedeutung pflanzlicher Temperaturmessungen bei Transpirationmessungen am Standort. Beihefte zum Botanischen Zentralblatt **49**, Erg. Bd.
- Stocker, O., Eine Feldmethode zur Bestimmung der momentanen Transpirations- und Evaporationsgröße. I. und II. Bericht der Deutschen Botanischen Gesellschaft **47**, 1929, 126 und 130.
- Klimamessungen auf kleinstem Raum an Wald-, Wiesen- und Heidepflanzen. Bericht der Deutschen Botanischen Gesellschaft 1923.
- Tschuprow, A., Grundbegriffe und Grundprobleme der Korrelationstheorie. Teubner, Leipzig-Berlin, 1925.
- Wermann, H., Untersuchungen über den Wasserverbrauch von Winterweizensorten mittels der Anwelkmethode. Dissertation 1931, Archiv für Pflanzenbau **10**, 1933, S. 31.
-



Abb. 35. Rüben aus der Freilandparzelle.



Abb. 36. Einzelrübe in Windschutzparzelle I.



Abb. 37. Rüben in Windschutzparzelle II.



Abb. 38. Rüben in Windschutzparzelle III.

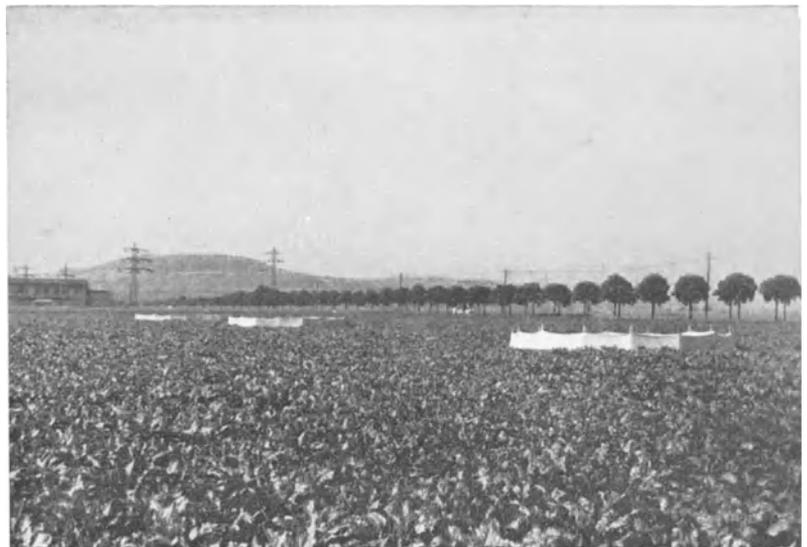


Abb. 39. Versuchsanlage mit 3 Windschutzparzellen.

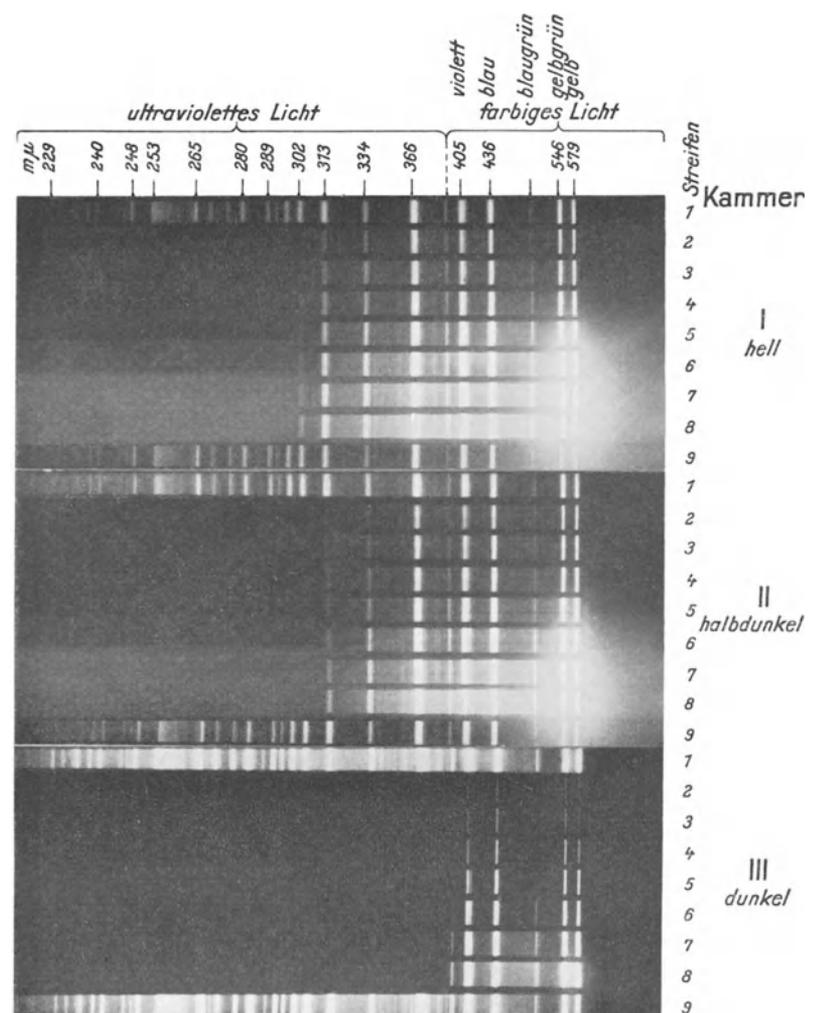


Abb. 40. Absorptionsspektrum der 3 Kammern.

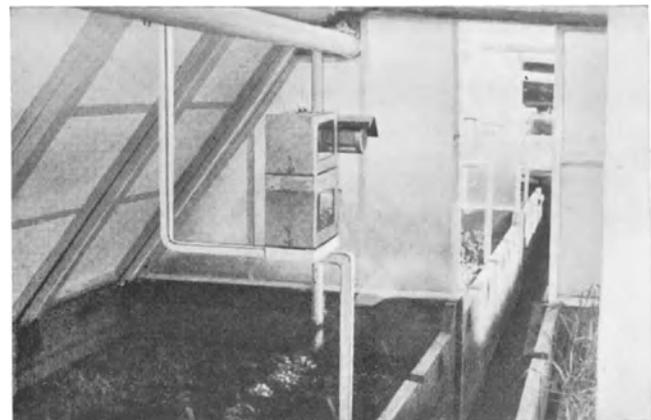
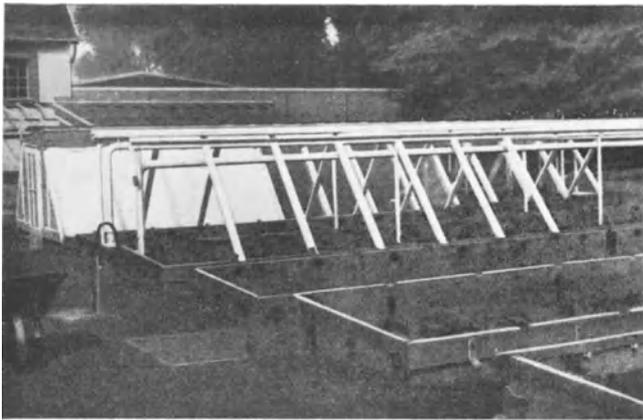


Abb. 41 a, b. Außen- und Innenansicht des Gewächshauses (3 Kammern mit Registrierinstrumenten).



Abb. 42 a, b. Vegetation in der dunklen Kammer.



Abb. 43 a, b. Vegetation in der halbdunklen Kammer.



Abb. 44 a, b. Vegetation in der hellen Kammer.