

Über den Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die Entwicklung und die Gewebedifferenzierung der Pflanzen

Von H. RETTIG, Heidelberg

Mit 2 Abbildungen, 18 Figuren und 5 Kurven

Einleitung

Die Angaben, die sich in der Literatur über den Einfluß veränderter Luftfeuchtigkeit auf Gestalt und Struktur der Pflanzen finden, können uns trotz ihrer großen Anzahl kein klares Bild der Verhältnisse geben. Freilich ist es eine allgemein bekannte Tatsache, daß Pflanzen feuchter Standorte einen anderen anatomischen Typus aufweisen als solche trockener Standorte. Auch weiß man, daß im feuchten Raum bei vielen Xerophyten Rückschläge der xeromorphen Folgeform zur nichtxeromorphen Jugendform erzielt werden können, wie VISCHER bei *Hakea suaveolens*, *Festuca glauca* u. a. gezeigt hat. Inwieweit aber bei diesen Versuchen Luftfeuchtigkeit oder Bodenfeuchtigkeit beteiligt sind, läßt sich nicht sagen.

Beobachtungen in der Natur bedeuten hier gar nichts, denn es wirkt wohl nie die Feuchtigkeit der Luft allein, sondern Licht, Wärme und Ernährungsverhältnisse verbinden sich unauflösbar mit ihr, alles Faktoren, die die gleichen Gewebe beeinflussen und die vielfach ähnlich wirken wie die Feuchtigkeit. So hat HEILBRONN für die Blattaderung bei *Tropaeolum* die gleiche Verengung der Blattnervatur durch hohe Temperatur erhalten, die sonst bei der Trockenpflanze beobachtet wurde. Über die Wirkung des Lichts sind wir hauptsächlich durch die Arbeiten von SCHRAMM, NORDHAUSEN und in jüngster Zeit ALEXANDROV unterrichtet, deren Versuchsergebnisse man dahingehend zusammenfassen kann, daß durch Licht mehr xero-, durch Schatten mehr hygromorphe Strukturen entstehen. Der Zusammenhang zwischen Blattstruktur und Nährsalzen wurde zuletzt von KISSER untersucht, der angibt, daß in den einzelnen reinen Nährsalzlösungen sich beträchtliche Unterschiede in der Größe und Zahl der Spaltöffnungen und der Anzahl der Haare finden. Die meisten stark verdünnten Salzlösungen führten annähernd zu den gleichen Werten, wie sie durch Kultur in destilliertem Wasser erhalten werden.

Der Einfluß der *Bodenfeuchtigkeit* ist wenigstens für eine Pflanze (*Sinapis alba*) von RIPPPEL in einer Weise untersucht worden, die den heutigen Anforderungen genügt. Für den Einfluß der *Luftfeuchtigkeit* ist dies durchaus nicht der Fall. Hier sind wir noch immer angewiesen auf die Arbeiten von KOHL und seinen Vorgängern, und von EBERHARDT, die 40 und 20 Jahre zurückliegen¹⁾. KOHL hat das Verdienst, wenigstens den Versuch gemacht zu haben, möglichst nur einen Faktor zu variieren, während seine Vorgänger zumeist mit einem Komplex von Faktoren arbeiteten. Er schildert seine Versuchsmethode ausführlich für *Tropaeolum* (S. 94):

„In vier mit derselben Bodenerde gefüllte Töpfe wurden *Tropaeolum*samen in gleicher Zahl gesteckt und die Töpfe mit bestimmten Wassermengen in bestimmten Zeitabschnitten begossen, bis die Keimlinge sichtbar wurden. Dann wurden sämtliche mit gleichen Glasglocken überdeckten Töpfe nebeneinander demselben Licht exponiert. Es ist selbstverständlich, daß auch die Temperaturverhältnisse in allen vier Glocken dieselben waren. Variiert wurden nur die Feuchtigkeitsverhältnisse unter den Glocken, indem unter zwei täglich frische Chlorkalziumschälchen unter die beiden anderen mit Wasser gefüllte und mit nassem Fließpapier umwundene Glasgefäße eingebracht wurden; außerdem wurde die Bodenfeuchtigkeit verschieden gehalten, so daß folgende vier Kombinationen vorhanden waren:

1. Feuchter Boden und trockene Atmosphäre,
2. feuchter Boden und feuchte Atmosphäre,
3. trockener Boden und trockene Atmosphäre,
4. trockener Boden und feuchte Atmosphäre.

Bei der Untersuchung der Stengel dieser Pflanzen (KOHL schreibt zwar „Blätter“, gemeint können aber nur Stengel sein) fand er:

	Kutikula	Epidermis radial gestreckt	Hypoderma
1. Boden feucht, Atmosphäre trocken	dick	Außenwände dick	2 Lagen Kollenchym
2. Boden feucht, Atmosphäre feucht	dünn	tangent. gestreckt sehr dünne Außen- und Innenwände	kein Kollenchym

¹⁾ Es kommen aus neuerer Zeit zwei Arbeiten hinzu, die eine von LEBEDINCEW, die erschien, während ich mit meiner Untersuchung beschäftigt war, die zweite, ältere von KISSELBACH, die ich erst nach Abschluß der Arbeit kennen lernte.

	Kutikula	Epidermis radial gestreckt	Hypoderma
3. Boden trocken, Atmosphäre trocken	dick	sehr stark radial gestreckt	Kollenchym vorhanden weniger als bei 1
4. Boden trocken, Atmosphäre feucht	dünn	kubisch	kaum vorhanden

Zusammenfassend für *alle* von ihm untersuchten Pflanzen schreibt dann KOHL (S. 99): „Schon äußerlich machten sich auffallende Unterschiede in der Gestaltung der einzelnen Organe der Versuchspflanzen geltend. Die in feuchter Atmosphäre gewachsenen Individuen zeigten fast immer längere Internodien und Blattstiele und größere Blattspreiten; aber immer waren sämtliche Organe dünner als bei in trockener Atmosphäre gewachsenen Exemplaren. Die Behaarung wurde in feuchter Atmosphäre vermindert, die Farbe der grünen Organe etwas heller; alle Organe, besonders die Blätter, wurden weniger ausmodelliert. Die Ausbuchtungen der Lamina wurden schwächer, Riefen und Kanten der Stengel flacher oder verschwanden ganz.“

Wichtiger sind seine Angaben über die anatomische Struktur. Starke Transpiration soll auf Streckung der Epidermiszellen, auf Verdickung der Außenwände und der Kutikula hinarbeiten. Sie soll ferner die Palissadenzellen fördern und die Kollenchym- und Sklerenchymbildung begünstigen. Endlich soll sie Zahl und Größe der Gefäße vermehren.

20 Jahre nach KOHL hat EBERHARDT die Frage wieder aufgegriffen. Er kultivierte die Pflanzen (z. B. *Lupinus*, *Phaseolus*, *Vicia faba* usw.) in Glocken, deren Luft er als trocken bezeichnet, wenn einige Schalen mit H_2SO_4 im Innern aufgestellt waren, als feucht, wenn die gleichen Schalen mit Wasser gefüllt waren. Die Resultate finden sich in folgender Zusammenstellung:

Äußerlich unterschieden sich die Pflanzen:

<i>trockene Luft</i>	<i>feuchte Luft</i>
Geringe Höhe	große Höhe
Stengel dicker	Stengel dünner
Festigkeit vermehrt	vermindert
Blattfläche und Blattstiel kleiner	größer
Blattdicke vermehrt	vermindert
Zunahme der grünen Färbung	nicht so dunkel
Haare vermehrt	vermindert
Wurzelwachstum vermehrt	vermindert

Anatomische Differenzen:

<i>trockene Luft</i>	<i>feuchte Luft</i>
I. Stengel.	
Epidermiszellen kleiner	größer
Rinde und Mark weniger entwickelt	stärker entwickelt
Kleine Interzellularen	große
Sklerenchymbildung beschleunigt	gehemmt
Kambiumtätigkeit beschleunigt	gehemmt
Korkbildung frühzeitig	gehemmt
Holzbildung vermehrt	vermindert
Gefäßzahl vermehrt	vermindert
Gefäßwand dicker	Verholzung geringer
II. Blatt.	
Palissaden vermehrt und länger	kürzer und geringere Zahl
Interzell. des Blattes kleiner	vermehrt (größer)
Haare des Blattes vermehrt	vermindert
Stomata vermehrt	vermindert
Epidermiszellen weniger gebuchtet	stärker gebuchtet
Epidermiszellen kleiner	größer

Wie man sieht, stimmen die Resultate im ganzen mit denen KOHLS überein; sie wurden auch im wesentlichen mit der gleichen Methode gewonnen. Gegen diese Methodik aber bestehen recht erhebliche Bedenken. Die Versuche lassen nicht erkennen, wie groß der Unterschied der Luftfeuchtigkeit in den Parallelkulturen war, auch fehlen jegliche Angaben über die tatsächliche Transpiration. Ferner erfahren wir nichts über die anderen Faktoren, ob Temperatur und Licht gleich waren. Es ist doch anzunehmen, daß die Wände der feuchten Glocken bei Temperaturabnahme sich mit Wasser beschlugen und dadurch das Licht dämpften. Es wird auch nicht mitgeteilt, wie viele Exemplare untersucht wurden und wie groß unter gleichen Außenbedingungen die individuelle Variation ist. Es konnte noch nicht berücksichtigt werden, daß ein gesetzmäßiger Zusammenhang der Struktur des Blattes mit seiner Insertionshöhe am Stengel besteht, der es unmöglich macht, zwei beliebige Blätter verschiedener Pflanzen zu vergleichen. Diese gesetzmäßige Veränderung der Struktur des Blattes mit seiner Insertionshöhe ist zuerst von SALENSKI (1903) entdeckt worden, aber unbeachtet geblieben. Bekannt geworden ist sie erst nach Wiederentdeckung durch HEUSER (1915) und vor allem durch RIPPEL. Dieser kam bei *Sinapsis alba* zu folgenden Ergebnissen:

Entsprechend dem Unterschied zwischen Jugend- und Folgeform traten auch bei *Sinapsis* von unten nach oben analoge Ände-

rungen auf: Verdichtung der Blattnervatur, Zunahme der Spaltöffnungen, besonders auf der Blattoberseite, abnehmende Wellung der Epidermissseitenwände, abnehmende Größe der Epidermiszellen, Abnahme der Blattdicke, Abnahme der Größe der Palissaden, besonders in der Breite. Alle diese Merkmale traten in trockenem Boden *früher* und intensiver ein, verbunden mit einer Reduktion der Zellgröße und einer allgemeinen relativen Zunahme der Leitungsbahnen. Ferner hatten die Pflanzen trockenen Bodens gegenüber denen feuchten Bodens eine erhebliche Reduktion der mechanischen kollenchymatischen und besonders der verholzten, nicht wasserleitenden mechanischen Elemente erfahren. An *Hedera Helix*, die am natürlichen trockenen bzw. feuchten Standort gesammelt wurden, konnten dieselben Verhältnisse festgestellt werden.

Vergleicht man diese Resultate mit denen KOHLS, so muß man eine sehr auffallende Differenz feststellen, so vor allem bezüglich der Sklerenchym- und Kollenchymbildung, die nach RIPPEL in *feuchtem Boden*, nach KOHL in *trockener Luft* begünstigt wird. So konnte JOST (BENNECKE-JOST II. S. 73/74) sagen: „. . . Feuchte und trockene Luft wirken ganz anders ein als feuchter und trockener Boden. Aus der sehr umfangreichen Literatur ergibt sich, daß Hemmung und Steigerung der Transpiration sehr häufig in der Weise wirken, daß sie ihr eigenes Regulativ erzeugen. Der Bau der Pflanze weist in trockener Luft Einrichtungen zur Transpirationshemmung, in feuchter Luft zur Transpirationförderung auf. . . . Auf diesem ganzen Gebiet sind aber neue Untersuchungen dringend nötig; sie werden möglichst alle Faktoren zu berücksichtigen haben, also z. B. auch das Licht. Denn in den bisherigen Versuchen dürfte in der Regel feuchte Luft mit geringerer Helligkeit verbunden gewesen sein. Auch wird darauf zu achten sein, daß den in feuchter Luft wachsenden Sprossen nicht durch Einschränkung der Transpiration zugleich die Nährsalze entzogen werden, und daß andererseits die in trockener Luft wachsenden genügend Wasser enthalten, um ihre Transpiration zu decken.“

Es war meine Aufgabe, den Einfluß der Luftfeuchtigkeit in exakterer Weise zu prüfen, als es bisher geschah. Wenn es mir nicht gelungen ist, die Frage so zu klären, wie ich gewünscht hätte, so lag das vor allem an den Schwierigkeiten der Versuchsanstellung. Um zu wirklich einwandfreien Resultaten zu kommen, wäre eine konstante künstliche Beleuchtung von hoher Intensität nötig, konstante Temperatur und Luft von gradweise abgestufter, aber im Einzelversuch konstanter Feuchtigkeit. Zur Herstellung einer sol-

chen Apparatur fehlten uns die Mittel. So mußte ich mich mit einer sehr viel primitiveren Versuchsanordnung behelfen.

Die Versuchsmethode

a) *Sinapis alba*

Im Sommer 1926 arbeitete ich mit *Sinapis alba*. Die Aufgabe bestand darin, bei konstantem, aber im einzelnen verschiedenem Wassergehalt des Bodens die Luftfeuchtigkeit zu variieren. Als Boden benutzte ich eine durchgesiebte Komposterde, deren Wasserkapazität ich nach der Methode von MITSCHERLICH feststellte. Sie betrug 54%, d. h. die trockene Erde konnte im Maximum 54% ihres Gewichtes an Wasser aufnehmen. Die Feuchtigkeit des Bodens wurde so abgestuft, daß je 6 der Vegetationsgefäße 60%, 35% und 25% der maximalen Wassermenge enthielten. Jede Pflanze befand sich in einem Glasgefäß von ungefähr 1 Liter Inhalt, das mit einem dreifach durchbohrten Zinkblechdeckel verschlossen war. Durch das mittlere Loch wuchs die Pflanze, aus einem zweiten ragte ein Glasstab, der später als Pfahl diente; ein drittes war mit einem Kork verstopft und diente zum Begießen der Pflanze. Der übergreifende Rand des Deckels war mit einem Streifen Klebeband an der Gefäßwand befestigt, und dieser fast hermetische Abschluß des Bodens gegen die Außenluft ermöglichte eine genaue Kontrolle der von der Pflanze abgegebenen Wassermengen durch häufige Wägungen.

Diese wurden am Anfang einer Versuchsreihe einmal wöchentlich vorgenommen, später, als die Pflanzen größer geworden waren und dementsprechend mehr transpirierten, zweimal in der Woche, und gegen Ende ihrer Entwicklung wurden sie alle zwei Tage mit dem nötigen Wasser versorgt. Dadurch wurden größere Schwankungen im Wassergehalt des Bodens vermieden. Es ist klar, daß die stärker transpirierenden Pflanzen der trockenen Luft den Boden stärker austrocknen mußten als die der feuchten Luft. Niemals aber war die Austrocknung so intensiv, daß eine Bodenfeuchtigkeit erreicht worden wäre, die in der nächst trockeneren Versuchsserie herrschen sollte. Im äußersten Falle enthielt einmal der Boden mit 60% Bodenwasser nur noch 41%, doch muß man bedenken, daß dieser Zustand ja nur einige Stunden bis einen Tag gedauert hat. Zwar wird von TUMANOW angegeben, daß nicht nur andauernde Trockenheit, sondern auch periodisches Welken eine Verdichtung des Nervennetzes in den Blättern hervorrufe, daß aber vorübergehende, so geringe Schwankungen im Bodenwasser die Struktur be-

einflussen, darf man wohl als ausgeschlossen betrachten. Nur eine Wasserkultur würde den Pflanzen dauernd die gleiche Menge Wasser bieten können, doch habe ich die Erfahrung gemacht, daß *Sinapis* für Wasserkulturen ganz ungeeignet ist, eine Beobachtung, die auch von MERKENSCHLÄGER gemacht wurde.

Die anfängliche Befürchtung, daß die schlechte Durchlüftung des Bodens die Entwicklung der Pflanzen störend beeinflussen könne, erwies sich als unbegründet, denn in offenen Blumentöpfen gewachsene Kontrollpflanzen erreichten nur dieselbe Höhe und Dicke wie gleichaltrige Topfpflanzen relativ hoher Bodenfeuchtigkeit.

Es kam nun darauf an, die Pflanzen möglichst hohen Unterschieden in der Luftfeuchtigkeit auszusetzen. Zu diesem Zweck wurden die 18 Senfpflanzen einer Versuchsreihe in zwei Glasschränke von je 0,27 cbm Inhalt ($60 \times 70 \times 65$ cm) verteilt, und zwar so, daß je drei Pflanzen derselben Bodenfeuchtigkeit in trockener und feuchter Luft wuchsen. Hohe Luftfeuchtigkeit erreichte ich dadurch, daß ich den Boden des einen Glasschranks mit nassem Sand beschickte und die Türen gut verschloß. Dagegen bereitete die Herstellung trockener Luft große Schwierigkeiten. Zuerst versuchte ich, mit CaCl_2 und konzentrierter H_2SO_4 , die in Glasschalen aufgestellt wurde, die Luft zu trocknen. Auch KOHL, EBERHARDT und neuerdings LEBEDINCEW, deren Arbeit erschien, als ich mit meinen Versuchen beschäftigt war, arbeiteten so. LEBEDINCEW teilt mit, daß ihre Versuchspflanzen in Vegetationsgefäßen (12×15 cm) wuchsen und sich in Glaskästen von $\frac{1}{2}$ cbm Inhalt, die auf der Südseite des Gewächshauses standen, befanden. Der eine Glaskasten wurde durch CaCl_2 trocken gehalten, im andern durch Aufhängen nasser Leinwand feuchte Luft erzielt. Die relative Luftfeuchtigkeit betrug bei den Versuchen von LEBEDINCEW im feuchten Glaskasten im Durchschnitt 94%, mit Schwankungen von 79 bis 89%, im trockenen Glaskasten 64%, mit Schwankungen von 27 bis 80%. Bei meinen Versuchen führten aber selbst große Mengen CaCl_2 und H_2SO_4 bei der großen Anzahl von Pflanzen, ihrer großen transpirierenden Oberfläche und der Geräumigkeit des Glasschranks nicht zu dem gewünschten Ergebnis. Zudem herrschte zu Anfang der Versuche andauerndes kaltes und sehr nasses Wetter. Die Versuchsreihen I und III konnten daher für die genaue Untersuchung nicht in Frage kommen und fanden zu Vorversuchen Verwendung. Günstiger lagen die Verhältnisse bei Versuchsreihe II. Hier betrug die durchschnittliche relative Luftfeuchtigkeit im trockenen Kasten 75%, mit Schwankungen von 90 bis 46%, im

feuchten 94%, mit Schwankungen von 98 bis 81%. Als dann von Mitte Juli ab das Wetter sehr warm und trocken wurde, ließ ich die Türen des „trockenen“ Glasschranks halb offen stehen und sorgte für eine gute Durchlüftung des Gewächshauses, in dem sich die beiden Schränke befanden, und damit des Schrankes selbst. In dieser Zeit wurden die Reihen IV (24. 7. bis 14. 9.) und VI (27. 7. bis 28. 9.) kultiviert. Bei ihnen betrug die relative Luftfeuchtigkeit im trockenen Kasten 66%, um die Mittagszeit 52%; im feuchten Kasten dagegen war die Luft durchschnittlich zu 95%, um die Mittagszeit im Durchschnitt zu 85% dampfgesättigt.

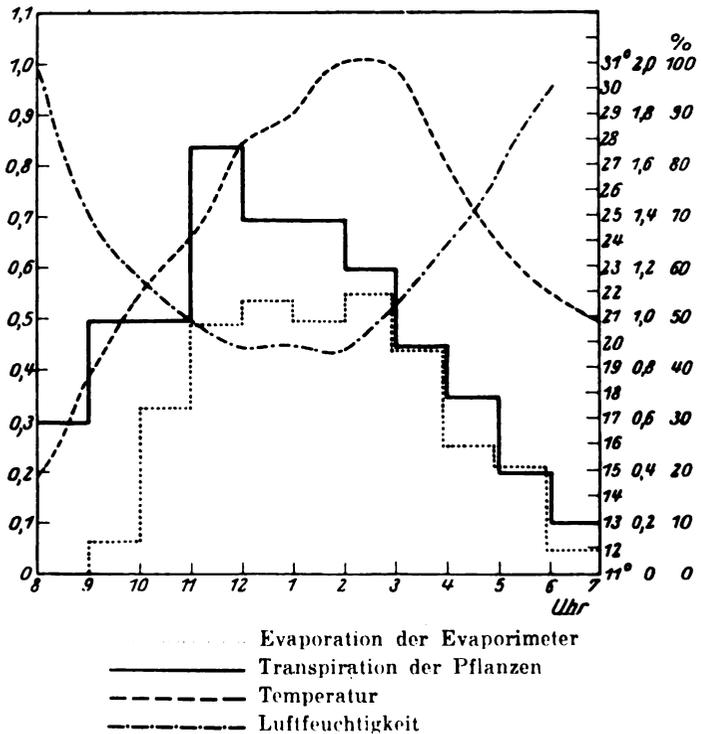
Das Beschlagen der Innenseite des feuchten Kastens suchte ich dadurch möglichst zu vermeiden, daß ich sie öfters mit einem mit Glycerin getränkten Lappen abrieb. Die Temperatur war in beiden Schränken die gleiche: Sie standen auf der Südseite des Gewächshauses nebeneinander und wurden gegen direkte Besonnung geschützt.

Gemessen wurde die Luftfeuchtigkeit durch LAMPRECHTS Hygrometer, die zwischen den Pflanzen aufgestellt oder frei aufgehängt wurden. Auch einen Hygrographen ließ ich im Trockenkasten einige Zeit laufen. Diese Art der Beobachtung ist jedoch sehr ungenau und bringt erhebliche Fehlerquellen mit sich. Zwar wurden die Apparate öfters mit dem ASSMANN'SCHEN Aspirationspsychrometer geeicht, doch zeigte sich bald nach der Eichung, daß sie nur diejenige Luftfeuchtigkeit genau anzeigen, für die sie gerade eingestellt wurden, denn, in die Feucht- und Trockenschränke zurückgebracht, ließen sie bald wieder Unregelmäßigkeiten erkennen. Als sicher kann deshalb nur gelten, daß eine Differenz in der gewünschten Richtung in den beiden Kästen vorlag, aber über ihre Größe kann eine bestimmte Angabe nicht gemacht werden.

Die relative Luftfeuchtigkeit allein kann natürlich noch keine genauen Anhaltspunkte für die Verdunstungskraft liefern, hier spielen auch Licht, Temperatur und Luftbewegung eine wichtige Rolle. War deshalb schon aus technischen Gründen die Kontrolle der Luftfeuchtigkeit durch die Hygrometer zu ungenau, so reicht sie auch zur Untersuchung der rein physikalischen Seite der Verdunstung nicht aus, da sie nicht alle für die Transpiration wichtigen Faktoren anzeigen kann. Da ferner die Ablesung an den Hygrometern nur tags gemacht wurde, nachts aber die relative Luftfeuchtigkeit erheblich höher ist, war es wichtig, neben den Ergebnissen der Wägungen, die die tatsächliche Transpiration der Pflanzen ergaben, auch die Evaporation in den feuchten und trocke-

nen Kästen zu prüfen. Der hierzu benutzte Apparat, das Evaporimeter nach PICHE¹⁾, besteht aus einer ungefähr 20 cm langen, oberseits zugeschmolzenen, graduierten und ungefähr 1 cm breiten Glasröhre, an deren offenes Ende eine Scheibe grünes Filtrierpapier von 3 cm Durchmesser mittels einer Messingdrahtöse gedrückt wurde.

Kurve I. Evaporation der Evaporimeter und Transpiration der Pflanzen. 21. 9. 1926



(Die Zahlen links bedeuten Teilstriche des Evaporimeters, rechts [Mitte] die von den Pflanzen verdunsteten Wassermengen).

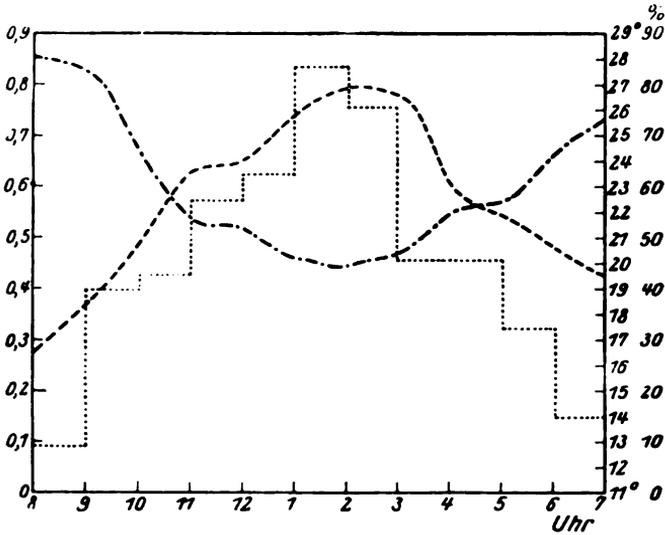
Mit der Öffnung nach unten wurde der mit Wasser gefüllte Apparat frei aufgehängt. Die Filtrierpapierscheibe hatte in der Mitte ein kleines Loch, durch das Luft im selben Maß eindrang, als Wasser verdunstet wurde. Die Skala ermöglichte Ablesungen bis zu $\frac{1}{100}$ cm.

Stündliche Ablesungen an den Evaporimetern und Wägungen der Pflanzen haben gezeigt, daß die Transpiration und die Evaporation annähernd parallel laufen. Die Kurve I zeigt, wie beide

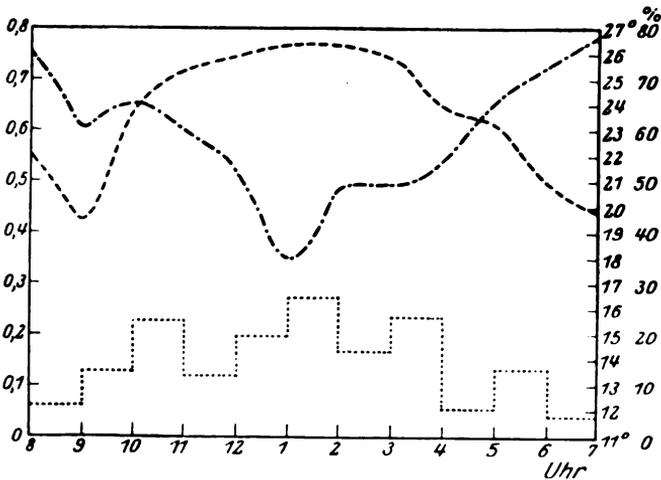
¹⁾ Beschrieben bei HUBER 1924.

morgens rasch ansteigen und nach einigen Schwankungen gegen 3—4 Uhr, wenn die Temperatur den höchsten, die Luftfeuchtigkeit den niedersten Stand erreicht hat, abfallen.

Kurve IIa. Evaporation im Freien. 15. 9. 1926



Kurve IIb. Evaporation im Trockenkasten. 15. 9. 1926.



Den Unterschied der Evaporation im Freien, trockenen und feuchten Kasten für einzelne Tage mögen die Tabelle I und die Kurven II a—c zeigen. Es ist diesen Versuchen zu entnehmen, daß die Evaporation im Trockenkasten zwar viel höher ist als im feuchten.

aber hinter der Evaporation im Freiland doch ganz beträchtlich zurückbleibt; da Temperatur und Feuchtigkeit annähernd übereinstimmen, muß die stärkere Luftbewegung und Belichtung den Vorsprung der Evaporation im Freien bedingen.

Kurve IIc. Evaporation im feuchten Kasten. 15. 9. 1926

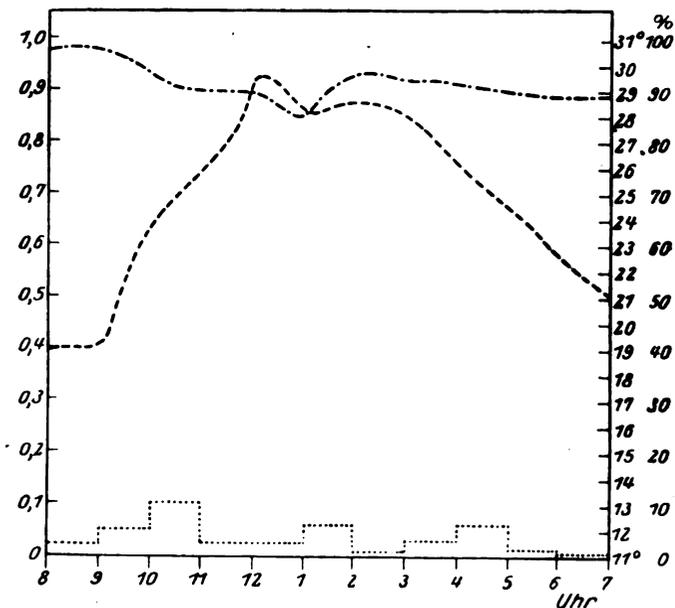


Tabelle I

Evaporation im Freien. im Trockenkasten und Feuchtkasten

Tag des Versuchs = 15. IX. 26

Zeit	Im Freien			Trockenkasten			Feuchtkasten		
	Skalenteile des Evaporimeters	Temp.	Feuchtigkeit	Skalenteile	Temp.	Feuchtigkeit	Skalenteile	Temp.	Feuchtigkeit
8 Uhr		14.5°	85 ⁰ / ₀		22°	75 ⁰ / ₀		19°	98 ⁰ / ₀
9 Uhr	0.09	16.5°	83 ⁰ / ₀	0.06	19.5°	60 ⁰ / ₀	0.02	19°	98 ⁰ / ₀
10 Uhr	0.4	20.5°	66 ⁰ / ₀	0.13	24°	66 ⁰ / ₀	0.05	24°	94 ⁰ / ₀
11 Uhr	0.45	23.6°	53 ⁰ / ₀	0.12	25.5°	60 ⁰ / ₀	0.1	26°	90 ⁰ / ₀
12 Uhr	0.58	24°	52 ⁰ / ₀	0.2	26°	53 ⁰ / ₀	0.02	29.5°	90 ⁰ / ₀
1 Uhr	0.63	26°	46 ⁰ / ₀	0.2	26.5°	45 ⁰ / ₀	0.02	28°	85 ⁰ / ₀
2 Uhr	0.84	27°	45 ⁰ / ₀	0.28	26.5°	50 ⁰ / ₀	0.06	28.5°	92 ⁰ / ₀
3 Uhr	0.76	26.5°	47 ⁰ / ₀	0.17	26°	50 ⁰ / ₀	0	28°	94 ⁰ / ₀
4 Uhr	0.46	23°	55 ⁰ / ₀	0.24	24°	55 ⁰ / ₀	0.03	26°	94 ⁰ / ₀
5 Uhr	0.46	22°	57 ⁰ / ₀	0.06	23.5°	67 ⁰ / ₀	0.06	24.5°	96 ⁰ / ₀
6 Uhr	0.32	20.5°	66 ⁰ / ₀	0.14	21°	73 ⁰ / ₀	0.01	22.5°	96 ⁰ / ₀
7 Uhr	0.15	19.5°	74 ⁰ / ₀	0.05	20°	80 ⁰ / ₀	0	21°	96 ⁰ / ₀
Summe	5.14			1.65			0.37		

Tabelle II

Die Transpirationsintensität der Sinapis-Pflanzen der Reihe IV

Nr. der Pflanze	Bodenfeuchtigkeit	Luftfeuchtigkeit	Blattfläche aller Blätter in cm ²	Menge des abgegebenen Wassers	Menge Wasser auf 1 dm ²	Hiervon die Mittelwerte	Verhältnis der Wassermengen (feuchte Luft = 100)
1	60%	trocken	—	—	—	33.71	100 : 248
2			446	146g	32.74		
3			675	234	34.67		
4		feucht	250	36	14.35	13.60	
5			132	17	12.85		
6			—	—	—		
7	35%	trocken	128.2	47	36.66	34.64	100 : 210
8			142.3	46	32.33		
9			165.6	58	34.94		
10		feucht	97.2	17	17.49	16.46	
11			125.4	—	—		
12			136.2	21	15.42		
13	25%	trocken	92.10	19	20.63	22.41	100 : 141
14			92.8	21	22.75		
15			54.48	13	23.86		
16		feucht	141.1	20	14.18	15.91	
17			62.1	8	13.06		
18			43.9	9	20.50		

Tabelle III

Transpirationsintensität der Sinapis-Reihe VI

Nr. der Pflanze	Bodenfeuchtigkeit	Luftfeuchtigkeit	Blattfläche aller Blätter in cm ²	Menge des abgegebenen Wassers	Menge Wasser auf 1 dm ²	Hiervon die Mittelwerte	Verhältnis der Wassermengen (feuchte Luft = 100)
4	60%	trocken	271.0	74	27.31	28.89	100 : 322
5			338.2	96	29.05		
6			307.2	90	29.30		
1		feucht	374.6	22	5.87	8.992	
2			223.4	20	8.952		
3			263.4	32	12.15		

Nr. der Pflanze	Bodenfeuchtigkeit	Luftfeuchtigkeit	Blattfläche aller Blätter in cm ²	Menge des abgegebenen Wassers	Menge Wasser auf 1 dm ²	Hiervon die Mittelwerte	Verhältnis der Wassermengen (feuchte Luft = 100)
10	35%	trocken	140.12	24	13.06	17.1	100 : 132
11			155.98	33	17.13		
12			170.7	40	21.12		
7		feucht	143.8	13	9.04	12.96	
8			184.6	31	16.79		
9			168.52	22	13.06		
16	25%	trocken	44.14	6	13.59	12.39	100 : 116
17			48.78	5	10.25		
18			63.46	9	14.18		
13		feucht	77.98	7	8.977	10.69	
14			67.42	7	10.38		
15			78.58	10	12.73		

Gehen wir von diesen Beispielen für einzelne Tage zu den Beobachtungen der Evaporation während der ganzen Entwicklung der Pflanzen über, so können dafür Werte aus den Versuchsreihen IV und VI angeführt werden: Die Summe der von den Evaporimetern abgegebenen Wassermengen betrug

1. für die Versuchsreihe IV:

75,1 Teile im Trockenkasten
18,9 Teile im Feuchtkasten } in 36 Tagen;

2. für die Versuchsreihe VI:

75,8 Teile im Trockenkasten
15,6 Teile im Feuchtkasten } in 43 Tagen.

Es herrschen demnach in trockener und feuchter Luft die Evaporationsverhältnisse:

Reihe IV = 100 : 397

Reihe VI = 100 : 486.

Zusammenfassend kann man somit sagen, daß die physikalischen Verhältnisse in dem Trockenkasten eine rund viermal so große Wasserabgabe ermöglichten als in dem feuchten Kasten.

Sobald sich in einer Reihe die ersten Blüten zeigten, wurde sie geerntet, das Frischgewicht und die Längenmaße bestimmt und die Blätter zur Feststellung ihrer Oberfläche auf lichtempfindliches Papier gepaust und in Alkohol konserviert. In den Tabellen II und III sind die Werte der tatsächlichen Transpiration der Versuchspflanzen aus den Reihen IV und VI zusammengestellt. Da die Bestimmung der Blattflächen am Tag der Ernte vorgenommen

wurde, zu einer Zeit, als die untersten Blätter zum Teil schon abgefallen waren, habe ich in den Tabellen diejenigen Wassermengen zur Berechnung herangezogen, die in der letzten Woche vor der Ernte abgegeben wurden. Über die tatsächliche Größe der Blattflächen können uns deshalb diese Tabellen nichts Genaues sagen, sie soll später eingehend besprochen werden. Die Wassermengen wurden auf die Flächeneinheit berechnet (Blattoberseite + Blattunterseite). Betrachtet man die Abhängigkeit der Transpiration von der Luft- und Bodenfeuchtigkeit, so zeigt sich, daß in feuchter Luft der Wassergehalt des Bodens keine Rolle spielt, daß aber in trockener Luft die Pflanze des feuchten Bodens beträchtlich mehr transpiriert. Die stärkere Wasserzufuhr gestattet also stärkere Transpiration; bei geringer Wasserzufuhr kann durch trockene Luft keine beträchtliche Steigerung der Transpiration mehr erzielt werden. Im übrigen zeigen auch diese Verhältniszahlen in beiden Tabellen nicht unbedeutende Verschiedenheiten. So groß jedoch bei meinen Versuchen der Unterschied der Transpirationsintensität bei 60% Bodenfeuchtigkeit ist, so ist doch die Differenz, welche die Evaporimeter anzeigten, nicht immer erreicht. Diese verdampften in der letzten Woche vor der Ernte bei der Versuchsreihe IV im Verhältnis 100 : 479 (100 = feuchte Luft), die Pflanzen hoher Bodenfeuchtigkeit nur im Verhältnis 100 : 248; bei der Versuchsreihe VI im Verhältnis 100:356, die Pflanzen im Verhältnis 100:322.

Was die Wirkung der Bodenfeuchtigkeit anbelangt, so stimmen meine Resultate mit denen ALEXANDROVS und FREYS überein, die bei Mesophyten trockenem Bodens eine geringere Transpirationsintensität feststellten als bei solchen feuchten Bodens.

b) *Sinapis im Wind*

Während ich in den bisher beschriebenen Versuchen erhöhte und herabgesetzte Transpiration durch trockene und feuchte Luft zu erreichen suchte, wurde eine V. *Sinapis*-Reihe unter etwas anderen Bedingungen kultiviert. Die Bodenfeuchtigkeit betrug wieder 60%, 35% und 25% der maximalen wasserfassenden Kraft des Bodens, doch standen die Vegetationsgefäße im Gewächshaus teils vor, teils hinter einem elektrischen Windmotor. Die Evaporimeter zeigten einen Unterschied an von 100 : 260 gegenüber 100 : 397 (Reihe IV) und 100 : 486 (Reihe VI).

Wie die Tabelle IV zeigt, ergab die Bestimmung der tatsächlichen Transpiration, daß nur die Pflanzen mit 25% Bodenfeuchtig-

keit im Winde mehr transpirierten, die mit 35% und 65% dagegen weniger. Wahrscheinlich hatten sich die Stomata in dem andauernden starken Wind geschlossen. Es ist also diese Methode entschieden weniger geeignet als die anderen, und es mag auf die Ausnützung der mit ihr gewonnenen Resultate verzichtet werden.

Tabelle IV

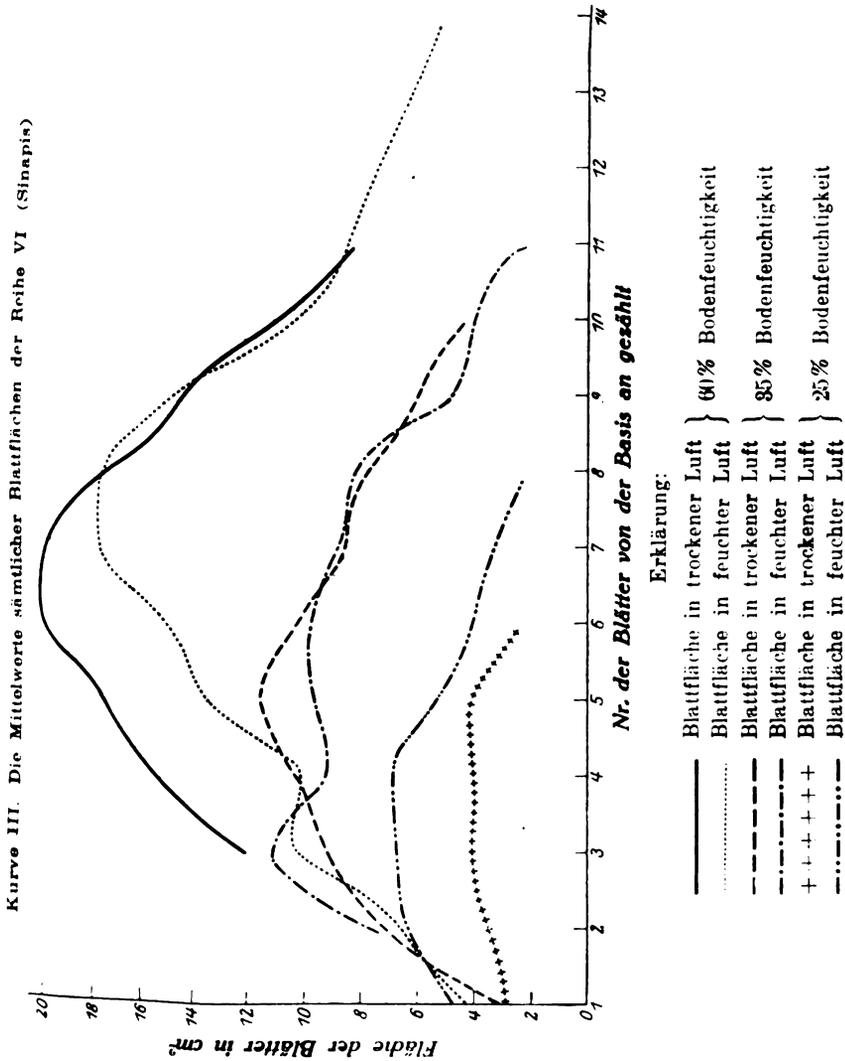
Die Transpirationsintensität der Sinapis-Windmotor-Pflanzen

No. der Pflanze	Bodenfeuchtigkeit	Wind	Blattfläche aller Blätter in cm ²	Menge des abgegebenen Wassers	Menge Wasser auf 1 dm ²	Hiervon die Mittelwerte	Verhältnis der Wassermengen (ohne Wind = 100)
1	60%	ohne	320.4	107	33.4	29.97	100:85
2		Wind	365.4	97	26.55		
3		mit	525.8	134	25.49	25.42	
4		Wind	481.2	122	25.35		
5	35%	ohne	311.0	78	25.08	26.24	100:62
6		Wind	226.2	62	27.4		
7		mit	406.8	66	16.23	16.23	
8		Wind	—	—	—		
9	25%	ohne	114.8	19	16.55	17.75	100:142
10		Wind	110.9	21	18.94		
11		mit	—	—	—	22.3	
12		Wind	134.62	30	22.3		

c) Tropaeolum majus

Im Sommer 1927 setzte ich die Versuche mit der Versuchspflanze, mit der KOHL hauptsächlich gearbeitet hat, *Tropaeolum majus*, fort. Ich hielt mich dabei an die Versuchsanordnung der *Sinapis*-Reihen, mit dem Unterschied aber, daß ich die Bodenfeuchtigkeit nicht mehr abstufte, sondern bei allen Versuchspflanzen auf 35% brachte. Da ich diesmal mit weniger Versuchsexemplaren arbeitete und diese wegen der Trockenheit des Bodens nur eine geringe Oberfläche erreichten, war es mir möglich, den Kasten mit größeren Mengen CaCl₂ trocken zu halten. Im feuchten Kasten war die Luft durchschnittlich zu 95% dampfgesättigt, im trockenem

Kasten zu 25—42%. Um die Mittagszeit zeigten die Hygrometer im Feuchtkasten durchschnittlich 87%, im Trockenkasten durchschnittlich 35% an. Entsprechend diesem hohen Unterschied in



der Luftfeuchtigkeit transpirierten die Evaporimeter im Verhältnis 100 : 1097, die Pflanzen im Verhältnis 100 : 334, während *Sinapis alba* bei derselben Bodenfeuchtigkeit nur im Verhältnis 100 : 248 (Reihe IV) und 100 : 322 (Reihe VI) transpirierte.

Gestalt und Struktur der Feucht- und Trockenpflanzen

A. Morphologisches

Bei *Sinapis alba* machten sich die Unterschiede in der *Bodenfeuchtigkeit* im Habitus der Pflanzen ebenso bemerkbar, wie sie RIPPEL beschrieben hat, also hauptsächlich in der Verzweigung aller Teile der Pflanze und der satt-dunkelgrünen Farbe der Blätter, mit zunehmendem Wassermangel.

Der Einfluß der *Luftfeuchtigkeit* machte sich folgendermaßen geltend: Die Feuchtpflanzen wuchsen schneller, hatten ein etwas etioliertes Aussehen und erzeugten etwas längere Internodien und mehr Blätter. Diese unterschieden sich von den Trockenblättern in erster Linie durch ihre hellgrüne Farbe, eine Erscheinung, die von der Basis gegen die Spitze zu immer mehr abnahm. Die Blattgröße erforderte eine eingehende Untersuchung. Bei der Versuchsreihe IV trat der Einfluß der Bodenfeuchtigkeit klar hervor, dagegen läßt sich, was die Wirkung der Luftfeuchtigkeit anbelangt, nicht mit Bestimmtheit sagen, ob nun im trockenen oder feuchten Raum die Blätter größer geworden sind. Sehr oft waren sie bei allen Bodenfeuchtigkeiten im feuchten Raum kleiner. Anders bei Reihe VI, die, wie später noch erörtert werden soll, als die typische gelten darf. In der Tab. V sind die sämtlichen Einzelmessungen von jeweils drei Pflanzen dieser Reihe aufgeführt. Kurve III stellt graphisch die Mittelwerte aus Tab. V dar. Man sieht auf einen Blick, wie in 60% Bodenfeuchtigkeit die Blätter der trockenen Luft fast stets größer sind als die entsprechenden aus feuchter Luft, während in 25% Bodenfeuchtigkeit gerade der umgekehrte Fall vorliegt. Hier sind die Feuchtblätter größer; bei 35% ergibt sich ein intermediäres Verhalten. Wenn also gewöhnlich in der Literatur angegeben wird, daß die Blätter im feuchten Raum größer werden als im trockenen, so müssen wir für *Sinapis alba* sagen, daß das ohne weiteres nicht allgemein richtig ist, sondern nur bei trockenem Boden in Reihe VI beobachtet wurde, während sich hier bei feuchtem Boden gerade das umgekehrte Verhalten ergab; in Reihe IV trifft diese Erfahrung noch weniger zu.

Neben der Größe mußte auch noch auf andere Eigenschaften der Blätter geachtet werden. Auffallend war, daß die Oberfläche der *Sinapis*-Blätter im feuchten Raum stark gewölbt war, so sehr, daß der Blattrand sich oft sogar etwas einrollte und die Blätter dem Ausbreiten auf eine Fläche großen Widerstand entgegengesetzten oder gar am Rande zerrissen. BRENNER hat bei Sukkulenten (*Sedum*)

und *Sempervivum*-Arten), die er im feuchten Raum kultivierte, festgestellt, daß die Blattoberseite stärker wächst als die Blattunterseite, was zur Folge hatte, daß die Blätter, die zuerst im spitzen Winkel dem Stengel anlagen, sich im Bogen nach unten krümmten. Ob auch bei *Sinapis* die Krümmung der Blätter durch stärkeres Wachstum der Oberseite bedingt ist, soll im anatomischen Teil besprochen werden.

Tabelle V

Die Einzelmessungen der Blattflächen der *Sinapis*-Reihe VI

Boden- feuchtigkeit	Luft- feuchtig- keit	Nr. der Pflanzen	Fläche der einzelnen Blätter															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
60%	trock.	IV.				10.0	13.8	17.7	18.6	16.2	16.8	15.9	16.5	9.98				
		V.			14.2	22.7	24.0	26.4	23.9	18.7	12.9							
		VI.	8.28	9.89	14.01	15.67	17.5	18.7	17.4	14.5	6.41	8.81	6.95	5.39				
	feucht	I.	4.6	6.66	10.6	11.8	14.3	16.7	22.6	22.1	12.3	12.7	10.1	11.2	6.17	5.78	4.83	7.2
		II.		6.32	10.1	10.9	13.3	12.5	16.5	16.6	10.3	7.34	4.7	3.72				
		III.	4.11			7.34	13.3	15.9	14.1	14.9	14.4	11.4	12.4	7.93	6.37	4.90		
35%	trock.	XI.	3.43	6.86	10.63	9.11	11.4	8.03	8.86	8.47	6.46	4.71						
		X.	2.94	5.29	7.05	10.38	11.8	11.3	8.5	7.1	5.63							
		XII.		8.28	9.94	11.4	11.7	12.0	8.91	8.5	6.5	4.29						
	feucht	VII.		5.14	8.03	9.09	7.34	8.81	10.7	9.60	5.22	2.94	2.35					
		VIII.																
		IX.		9.69	14.3	9.72	12.3	11.2	7.05	6.76	4.70	5.34	3.34					
25%	trock.	XVI.	1.15	2.76	3.11	3.67	5.01	3.82										
		XVII.	2.35	2.35	3.04	2.94	3.76	2.15										
		XVIII.	5.09	4.89	6.24	5.58	4.02	2.35										
	feucht	XIII.	4.96	6.37	6.82	7.75	4.65	4.21	3.73	2.69								
		XIV.	4.65	6.56	6.07	6.12	4.60	3.43	2.11									
		XV.	5.78	7.25	6.46	7.05	5.19	4.8	2.55									

Mit steigender Insertionshöhe konnte ich bei allen *Sinapis*-Pflanzen eine fortschreitende Entwicklung der Blattspreiten erkennen in dem Sinne, daß von den einfach geformten herzförmigen **Kotyledonen** ab immer mehr Fiederblättchen auftraten, die Ausbuchtungen der Blattränder immer zahlreicher, die Zähne immer **schärfer wurden**. Auch bei den Pflanzen feuchter Luft trat diese **gesetzmäßige Veränderung** der Blätter ein, doch glichen hier alle

Blätter mehr denen, die der Basis der Pflanzen trockener Luft entstammten. „In feuchter Luft wurden die Blätter weniger ausmodelliert“, wie KOHL für seine Feuchtkulturen angibt.

Die Unterschiede im Habitus bei veränderter Boden- und Luftfeuchtigkeit sollen die Abbildungen 1 und 2 veranschaulichen.

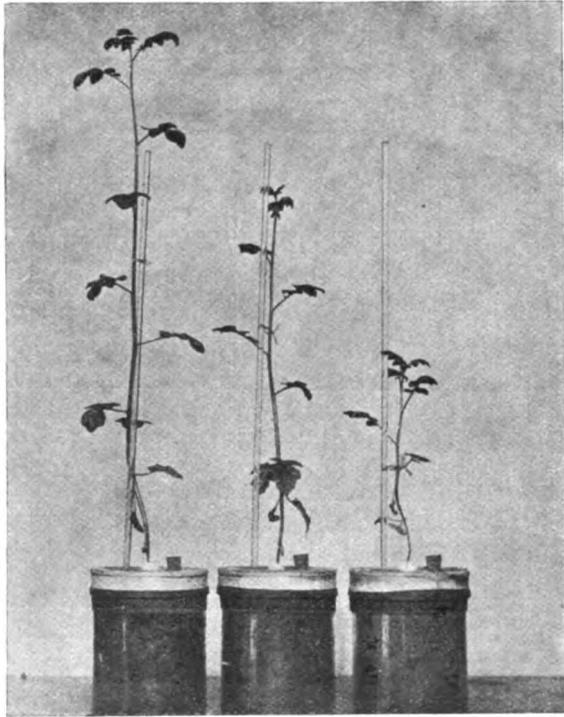


Abb. 1. Pflanzen aus dem feuchten Kasten

Auffallend sind ferner die Unterschiede in der Größe und im Frischgewicht, die in den Tabellen VI a, b, c wiedergegeben sind. Die Zahlen sind Mittelwerte von je drei Pflanzen. Hier wird auch einmal auf die Reihe II zurückgegriffen, weil diese Versuchsreihe später bei der Bestimmung der osmotischen Werte eine Rolle spielt. Die Abstufungen in der Bodenfeuchtigkeit waren hier etwas anders, nämlich 75%, 50% und 25%. Ausnahmslos ergibt sich, daß die Feuchtpflanzen auf allen Böden größer geworden sind als die Trockenpflanzen. In bezug auf das Gewicht aber ergeben sich Unterschiede. Bei hoher Bodenfeuchtigkeit ist das Gewicht fast gleich, sogar einmal größer in trockener Luft; auf mittlerem und

trockenem Boden dagegen ist überall das Gewicht der Feuchtpflanzen oft ansehnlich höher.

Bei der *Kapuzinerkresse*, die nur bei mittlerer Bodenfeuchtigkeit (35%) kultiviert wurde, waren die Größenunterschiede noch bedeutender. Die Zahlen sind wieder Mittelwerte von drei Pflanzen:

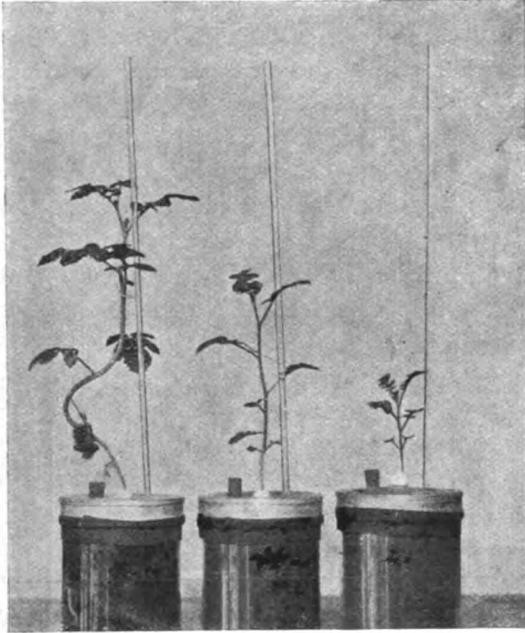


Abb. 2. Pflanzen aus dem trockenen Kasten

In trockener Luft wurden die Pflanzen 2,07 Gramm schwer und 9,7 cm hoch, im feuchten Kasten 4,66 Gramm schwer und 14,5 cm hoch. Die Blattflächen waren in feuchtem Raum zwei- bis dreimal größer als in trockenem, ferner wurden in feuchter Luft in derselben Zeit die doppelte Anzahl Blätter ausgebildet.

Tabelle VI

Länge und Frischgewicht von Sinapis

(Die Zahlen sind Mittelwerte von je drei Pflanzen.)

a) Reihe II.

Luftfeuchtigkeit	75%		50%		25%	
	Länge	Gewicht	Länge	Gewicht	Länge	Gewicht
Trocken	48	19,6	33,3	10,92	21	2,4
Feucht	53	19,8	39,5	15,4	25,5	2,6

10*

b) Reihe IV.

Luftfeuchtigkeit	60 ⁰ / ₀		35 ⁰ / ₀		25 ⁰ / ₀	
	Länge	Gewicht	Länge	Gewicht	Länge	Gewicht
Trocken	45	10.26	24.3	3.16	10.0	1.26
Feucht	49.3	8.34	43.5	3.95	22.0	1.94

c) Reihe VI.

Luftfeuchtigkeit	60 ⁰ / ₀		35 ⁰ / ₀		25 ⁰ / ₀	
	Länge	Gewicht	Länge	Gewicht	Länge	Gewicht
Trocken	40.7	6.4	22.2	3.0	5.3	0.78
Feucht	47.7	7.68	34.7	4.12	16.6	1.63

B. Anatomisches

Bei der Untersuchung der anatomischen Merkmale richtete ich mein Hauptaugenmerk auf diejenigen Gewebe, die mit der Transpiration im engsten Zusammenhang stehen, also hauptsächlich auf die Elemente der Wasserleitung, die Gefäße und auf die Regulatoren der Transpiration, die Spaltöffnungen, und die Epidermiszellen.

I. Der Stengel

Der Stengel von *Sinapis* zeigt den üblichen Dikotylenbau: Im Zentrum befindet sich ein Markkörper, der solide oder zum Teil hohl ist und von einem Gefäßbündelring von typischer Ausbildung umschlossen wird. Vor dem Siebteil liegen verholzte Sklerenchymfasern, dann folgt nach außen die parenchymatische Rinde. An ihr verlaufen zwei mehr oder weniger vorspringende Rippen aus Kollenchym, die dem Blattstielansatz am Stengel rechts und links entsprechen. Ein dritter Kollenchymstrang findet sich dort, wo die Mediane des Blattstiels nicht als Rippe hervortritt; er ist weniger stark entwickelt. Vergleicht man an einem beliebigen Querschnitt die Epidermiszellen, so zeigt sich, daß diese untereinander sehr ungleich sein können, daß sie aber durch besondere Kleinheit an den kollenchymatischen Stellen auffallen. Auch der Sklerenchymbelag der Bündel ist sehr großen Differenzen in bezug auf Zahl, Weite und Wandverdickung seiner Elemente unterworfen. Ebenso, wie die Kollenchymstränge rechts und links des Stengels können auch die Teile des Gefäßbündels große Unterschiede aufweisen. Verfolgt man einen Kollenchymstrang oder ein Gefäßbündel in einer Serie von Querschnitten vom oberen bis zum unteren Ende eines

Internodiums, so findet man, daß sie auch hier stark variieren. So kann z. B. ein Kollenchymstrang nahe dem oberen Knoten aus fast unverdickten Zellen bestehen, während er in der Mitte des Internodiums die typische Struktur mit stark verdickten Zellwänden in den Ecken hat. Unter diesen Umständen ist es nötig, die zu vergleichenden Schnitte der Trocken- und Feuchtpflanzen von einem bestimmten Stück, z. B. der Mitte des Internodiums, zu entnehmen und dann auszugehen von einem der leicht aufzufindenden Kollenchymstränge, und von da aus nach außen und innen rechts und links die anschließenden Gewebe zu vergleichen. Eine derartig ausgeführte Untersuchung erbrachte zwar, was die Wirkung der Bodenfeuchtigkeit anbelangt, voll und ganz die Bestätigung der RIPPELSchen Resultate, zu einem greifbaren Unterschied zwischen Pflanzen trockener und feuchter Luft hat sie aber nicht geführt. Vor allem zeigt sich ein solcher *nicht* in der Größe und Form der Epidermiszellen, in der Dicke der Außenwand, in der Wanddicke der Haare, ferner nicht in der Beschaffenheit des Kollenchyms, im Sklerenchym, in der Größe und Wanddicke der Gefäße und im interfazikulären Holz. Unterschiede, wie sie EEBERHARDT für den Stengel einer Weide angegeben und abgebildet hat, sind — das kann mit Bestimmtheit gesagt werden — absolut nicht vorhanden. Es wäre denkbar, daß durch zahllose Messungen auf statistischem Wege Unterschiede gefunden werden könnten, die Aussicht ist aber so gering, daß sich eine derartige Untersuchung kaum lohnt. Bemerkenswert muß noch werden, daß die Durchführung des von RIPPSEL aufgestellten Grundsatzes, nur Internodien gleicher Ordnungszahl zum Vergleich zu benutzen, nicht immer zweckmäßig erscheint. So wie die Feuchtpflanzen äußerlich in ihrer Entwicklung (Größe) den Trockenpflanzen voraus sind, so sind sie es auch in der inneren Struktur. Es kann vorkommen, daß in einer Feuchtkultur schon lebhaftes sekundäres Dickenwachstum eingesetzt hat, während dieses in der Trockenkultur noch ganz fehlt. Gibt man aber die RIPPELSche Vergleichsmethode auf, so fehlt jedes Kriterium dafür, welche Stelle des Stengels einer Pflanze A mit einer bestimmten Stelle einer Pflanze B verglichen werden kann.

Ebenso verhielten sich die *Tropaeolum*-Kulturen. Der Vergleich der Trocken- und Feuchtpflanzen und die richtige Beurteilung der gefundenen Verhältnisse waren sehr schwer, da die Feuchtpflanzen noch mehr gefördert waren, als es bei *Sinapis* der Fall war. Dies kam daher, daß hier die trockene Luft viel weniger Wasser enthielt als bei den *Sinapis*-Versuchen und schon direkt

entwicklungshemmend wirkte, während bei den *Sinapis*-Reihen nur von einer beschleunigten Entwicklung in feuchter Luft gesprochen werden kann, da dort die Pflanzen „trockener“ Luft in der Atmosphäre des gut durchlüfteten Gewächshauses sich befanden.

Von der Tendenz der Epidermiszellen, sich bei trockener Luft in radialer, bei feuchter in tangentialer Richtung zu strecken, wie von KOHL für *Tropaeolum* angegeben wird, habe ich nichts bemerkt. Ebenso wie in der Form der Epidermiszellen konnte ich auch in der Verdickung ihrer Außenwände und der Stärke ihrer Kutikula einen nennenswerten Unterschied nicht finden. Auch ist der Kollenchymbelag der subepidermalen Schichten bei meinen Trockenpflanzen bestimmt nicht stärker gewesen als bei den entsprechenden Feucht-

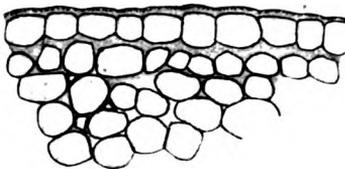


Fig. 3. Epidermis und Rinde in trockener Luft

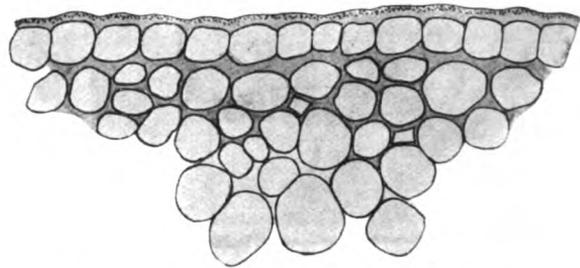


Fig. 4. Epidermis und Rinde in feuchter Luft

pflanzen, wie an einem Querschnitt durch das siebente Internodium zu sehen ist. (Siehe Fig. 3 und 4.)

Überhaupt habe ich hier (ebenso wie beim Senf) festgestellt, daß die kräftigst entwickelten Pflanzen auch die stärksten Wandverdickungen und den stärksten Kollenchymbelag aufzuweisen hatten, selbst wenn das üppigere Wachstum durch hohe Luftfeuchtigkeit erreicht worden war.

Die starke Variation sowohl der einzelnen Gefäßbündel untereinander als auch desselben Bündels im Laufe eines Internodiums zwingen dazu, zur Feststellung der Beschaffenheit der Gefäße nur gleichwertige Bündel an bestimmter Stelle miteinander zu vergleichen. Ein Querschnitt durch die Mitte des dritten Internodiums einer Feucht- und Trockenpflanze von *Tropaeolum* zeigte, daß die Blattspur des nächsthöheren Blattes bei der Trockenpflanze keineswegs stärkere Gefäße in größerer Anzahl besitzt, sondern daß im Gegenteil der schwächere Stengel der Trockenpflanze kleinere Gefäße in geringerer Anzahl aufzuweisen hat als der stärkere Stengel der Feuchtpflanze.

II. Das Blatt

Zur Feststellung der Nervenlänge und Anzahl der Spaltöffnungen wurden nur gleiche Teile der Blätter untersucht. Die Spaltöffnungen wurden sowohl auf der Blattunterseite als auch auf der Blattoberseite bei *Sinapis* am zweiten linken Fiederblättchen bestimmt, die Messung der Nervenlänge wurde am zweiten Fiederblättchen rechts der Mittelrippe ausgeführt. Auch bei *Tropaeolum* wurden nur gleiche Teile rechts und links von der Hauptrippe untersucht. Ebenso wie in ein und demselben Internodium die Beschaffenheit der Gewebe keine konstante ist, so kann auch in demselben Blatt die Anzahl der Stomata und die Maschenweite der Nerven ziemlich ungleich sein. Nach einer Angabe BARANOWS aber stellen Werte, die der Mitte der Blattspreite entnommen sind, zugleich Mittelwerte für das ganze Blatt dar.

a) Länge der Nerven

Ein Stückchen des Blattes wurde mit Chloralhydrat aufgehell und die Nervatur mit Hilfe des ABBÉSchen Zeichenapparates auf weißen Karton aufgezeichnet. Durch Nachfahren der Zeichnung mit einem Meßrädchen wurde die Länge der Nerven, durch Ausschneiden und Wiegen der Zeichnung die Fläche bestimmt. In den Tabellen ist die Länge der Adern in cm auf 1 qcm Blattfläche angegeben.

Die Dichte der Blattnervatur ist an verschiedenen Stellen des Blattes großen Schwankungen unterworfen. Eine Untersuchung, die einmal an der obersten, das andere Mal an der untersten Fieder desselben (5.) Blattes ausgeführt wurde, hat ergeben, daß bei allen Boden- und Luftfechtigkeiten das obere Fiederblatt eine beträchtlich engere Nervatur hat als das untere. Aus diesem Grunde wurden also jeweils an derselben Stelle des Blattes die Nervenlängen bestimmt.

Die Ergebnisse für die Reihe IV sind in Tabelle VII, für Reihe VI in Tab. VIII niedergelegt. Was zunächst einmal die Wirkung der Bodenfeuchtigkeit betrifft, so ergeben beide Tabellen Resultate ganz im Sinne RIPPELS; je trockener der Boden, desto länger die Nerven; das tritt zwar in den Mittelwerten nicht so deutlich hervor, wohl aber, wenn man Blätter gleicher Insertionshöhe auf den verschiedenen Böden vergleicht. In bezug auf die Wirkung der Luftfeuchtigkeit aber verhalten sich die Reihen verschieden. In Reihe IV hat bei 60% und 35% Bodenfeuchtigkeit fast jedes Blatt

Tabelle VII

*Blattflächen und Nervenlängen, gemessen an je einer Pflanze
der Sinapis-Reihe IV*

Nr. des Blattes	60%				35%				25%			
	Blattfläche		Nervenlänge		Blattfläche		Nervenlänge		Blattfläche		Nervenlänge	
	trockene Luft	feuchte Luft										
1	—	—	—	—	—	—	—	—	1.4	2.24	43.62	44.4
2	—	—	—	—	—	—	—	—	1.68	5.6	42.75	49.16
3	13.09	—	47.18	—	4.48	—	—	—	4.2	7.56	49.57	59.5
4	15.08	10.26	48.2	38.52	8.68	13.16	49.5	57.47	4.76	9.24	62.12	65.64
5	21.91	11.53	40.58	57.17	12.6	14.0	—	71.08	7.56	5.88	64.00	69.87
6	22.76	11.95	40.2	42.08	14.56	8.96	57.36	66.98	7.80	4.20	72.18	90.2
7	22.76	16.68	45.62	51.75	15.12	7.0	58.33	77.13	7.3	—	79.06	—
8	24.74	17.2	43.41	45.7	13.44	3.64	63.79	106.8	4.76	—	94.20	—
9	20.49	11.38	48.69	60.94	9.52	3.08	67.10	—	—	—	—	—
10	18.78	9.39	51.92	72.84	7.52	—	75.38	—	—	—	—	—
11	11.38	8.54	60.58	79.98	3.92	—	86.38	—	—	—	—	—
12	—	5.97	—	94.14	—	—	—	—	—	—	—	—
Mit- telw.	18.79	11.43	47.37	60.35	9.99	8.31	65.39	79.9	4.94	5.79	63.44	63.13

der *Feuchtpflanze* eine längere, also engere Nervatur als das entsprechende von *Trockenpflanzen*. Nur bei 25% Bodenfeuchtigkeit ist die Nervatur wenigstens im Durchschnitt gleich. In Reihe VI (Tab. VIII) aber ist gerade umgekehrt in *trockener* Luft die engere Nervatur zu finden. Eine Zusammenstellung des Verhältnisses Nervenlänge feucht Nervenlänge trocken zeigt diesen Gegensatz sehr deutlich.

Bodenfeuchtigkeit	65%	35%	25%
Reihe IV	100 : 78	100 : 828	100 : 98
Reihe VI	100 : 117	100 : 103	100 : 133

In Reihe IV waren, wie man sich erinnern wird, auch in bezug auf die Blattgröße Anomalien aufgetreten. Wenn diese Reihe IV hier nun auch in ihrem Nervennetz andere Verhältnisse aufweist, als man erwarten sollte, so kann ich nur sagen, daß Reihe VI sich so benimmt, wie es im *allgemeinen* gefunden wurde, und deshalb möchte ich sie für die *typischere* halten, ohne daß es mir möglich wäre, erklären zu können, weshalb sich IV anders verhält. Es ist in Reihe VI die Nervatur an etwas anderer Stelle untersucht

Tabelle VIII

*Blattflächen und Nervenlängen von je einer Pflanze
der Sinapis-Reihe VI*

Nr. des Blattes	60 %				35 %				25 %			
	Blattfläche		Nervenlänge		Blattfläche		Nervenlänge		Blattfläche		Nervenlänge	
	trockene Luft	feuchte Luft										
2	—	—	—	—	—	—	—	—	2.55	6.56	53.92	39.79
3	—	—	—	—	—	—	—	—	3.04	6.07	66.03	45.96
4	—	11.75	—	40.7	—	—	—	—	—	—	—	—
5	24.0	14.3	42.65	39.12	11.75	7.34	45.68	45.72	3.76	4.60	69.62	58.58
6	26.44	16.74	44.41	44.66	11.26	8.81	54.15	46.77	2.15	3.43	97.54	70.85
7	23.9	22.62	43.34	41.61	8.5	—	57.05	—	—	—	—	—
8	18.7	22.07	61.34	43.86	7.1	9.59	66.00	55.91	—	—	—	—
9	12.9	21.33	56.12	43.83	—	5.22	—	66.96	—	—	—	—
Mittel	21.19	18.14	49.57	42.3	9.65	7.74	55.59	53.69	2.88	5.17	71.78	53.79

Tabelle IX

Blattfläche und Nervenlänge bei Phaseolus

1. Versuch

Anzahl der Kotedonen	Alter der Pflanzen in Tagen	Länge der Nerven	Blattfläche
0	8	128	5.27
1	8	99.17	17.53
2	8	92.02	30.34
0	11	97.89	19.39
1	11	73.59	27.37
2	11	60.41	41.74
0	15	72.72	29.13
1	15	63.34	50.3
2	15	49.54	109.3
0	21	83.00	15.97
1	21	53.57	72.88
2	21	54.91	71.06

Tabelle X

Desgl., Spitze entfernt, Pflanzen im Schatten, Alter 40 Tage

2. Versuch

Anzahl Kotyle- donen	Nr. der Pflanzen	Blattfläche	Mittel	Nervenlänge	Mittel
0	1	25.21	21.24	62.95	76.06
	2	15.59		82.66	
	3	22.84		72.07	
	4	19.8		80.66	
	5	23.76		81.95	
2	1	183.8	175.9	37.62	38.99
	2	160.8		44.75	
	3	163.1		40.96	
	4	194.9		33.22	
	5	167.1		38.41	

Tabelle XI

Blattfläche und Nervenlänge bei Phaseolus

3. Versuch

Anzahl der Kotyledonen	Alter der Pflanzen in Tagen	Blattfläche in cm ²	Länge der Nerven in cm pro cm ² Blattfläche
2 (etioliert)	5	1.482	80.19
0	5	1.505	84.51
1	5	8.34	118.7
2	5	10.94	108.3
2 (etioliert)	14	2.705	148.9
0	14	7.408	90.43
1	14	58.33	54.68
2	14	107.84	45.74
2 (etioliert)	29	2.258	121.3
0	29	22.2	68.73
1	29	112.1	43.62
2	29	134.0	40.86

worden, doch betreffen die Differenzen ja nicht nur die Nervatur, sondern auch die *Blattgrößen*, die in Reihe IV fast überall in feuchtem Raum kleiner ausgefallen sind als im trockenen. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß LEBEDINCEW, deren Resultate im allgemeinen mit meinen übereinstimmen, bei einer Pflanze (*Phaseolus vulgaris*) auch in einer Versuchsreihe ganz entgegengesetzte Resultate erhalten hat wie in der andern.

Als ich die Erfahrung gemacht hatte, daß in Reihe IV wider Erwarten im feuchten Raum kleinere Blätter und engere Nervatur auftraten, erschien es mir von Interesse, zu prüfen, inwieweit die Blattgröße die Nervatur beeinflusst. Nach den Angaben von SCHUSTER ändert sich die Maschenweite bei der Größenzunahme des Blattes *nicht* erheblich, weil immer wieder neue Nerven angelegt werden. So kann zum Beispiel die Blattlänge von *Vicia Faba* 10mal größer geworden sein, während die Länge der Nerven nur um 37% abgenommen hat. Immerhin zeigt dieses Beispiel, daß die Neuanlage der Nerven mit der Entwicklung der Blattspreite nicht ganz Schritt hält. SCHUSTERS Angaben schienen mir deshalb eine Nachuntersuchung nicht überflüssig zu machen. Ich wählte als Versuchsobjekt die Primärblätter von *Phaseolus*, deren Größe allein durch die Zufuhr von Reservestoffen der Kotyledonen beeinflusst wurde.

Zu diesem Zweck ließ ich *Phaseolus multiflorus* teils mit beiden, teils mit einem, teils auch ganz ohne Kotyledonen wachsen. Die Samen wurden am 3. 5. 27 eingeweicht, am 4. 5. in Torf gesteckt, die Kotyledonen wurden am 9. 5. entfernt. Die Untersuchung erstreckte sich nur auf die beiden Primärblätter und fand zum ersten Male statt am 17. 5. Untersucht wurden Stellen zwischen Mittelrippe und Rand des Blattes. Die Tabelle IX zeigt, daß in allen Stadien der Entwicklung die Blätter um so größer wurden, je mehr organische Nahrung ihnen aus den Kotyledonen zufloß, und daß *stets* die kleinsten Blätter die engste Nervatur aufwiesen. Mit dem Wachstum durch gute Ernährung hält also die Neuanlage von Leitbündeln nicht Schritt. Es überwiegt demnach der Prozeß der Nervendehnung über den der Einschiebung neuer Nerven.

In einem zweiten Versuch (Tabelle X) war die Spitze der Pflanzen entfernt, so daß die Reserven der Kotyledonen ausschließlich den Primärblättern zugute kamen; auch wurden diese Pflanzen im Schatten gehalten, so daß eigene Assimilate der Blätter keine große Rolle spielen konnten. Auch hier wieder haben die kleinsten Blätter die engste Nervatur.

Wenden wir uns zum dritten Versuch (Tabelle XI), der sich von IX durch Entfernen der Stengelspitze unterscheidet, und bei dem zur Kontrolle eine Pflanze ganz im Dunkeln blieb. Hier zeigt sich die gleiche Gesetzmäßigkeit wie in den anderen Versuchen, und insbesondere weist das etiolierte Blatt bei geringster Größe das engste Netz auf. Die Versuche bestätigen also die Erwartung: Die Nervatur folgt nicht ohne weiteres dem Flächenwachstum des Blattes.

Die mitgeteilten Erfahrungen an *Phaseolus* machen es sicher, daß *unter Umständen* ein Kleinbleiben der Blätter zu engerer Nervatur führen kann und machen so die Ergebnisse der IV. *Sinapis*-Reihe etwas verständlicher. Zu einem vollständigen Verständnis fehlt eben die Kenntnis des Faktors, der zum Kleinbleiben der Feuchtblätter geführt hat. Möglich, daß die Feuchtigkeit nur bis zu einem gewissen Grad blattvergrößernd wirkt und oberhalb und unterhalb von diesem wieder zu kleineren Blättern führt, so wie ja auch eine bestimmte Lichtintensität die maximale Blattgröße bestimmt, kleinere und größere Intensitäten aber kleinere Blätter produzieren.

Bei *Tropaeolum* führte die Messung der Nervenlänge zu einem viel eindeutigeren Resultat als bei *Sinapis*. Die Tabelle XII berichtet über Pflanzen, die bei gleicher Bodenfeuchtigkeit im trockenen bzw. feuchten Kasten standen. Das Trockenblatt hatte eine erheblich engere Nervatur als das Feuchtblatt.

Tabelle XII
Nervenlänge und Blattfläche bei Tropaeolum

Blatt-Nr.	Blattfläche in cm ²		Nervenlänge in cm pr. cm ² Blattfläche	
	Pflz. II. trockene Luft	Pflz. XII. feuchte Luft	trockene Luft	feuchte Luft
1	2.846	4.492	58.92	—
2	2.822	6.42	66.62	46.21
3	2.940	5.127	69.42	60.57
4	3.011	5.198	84.25	68.85
5	2.597	4.633	93.23	79.99
6	1.317	4.633	111.9	76.99
7	0.894	4.845	—	—
8	0.541	4.704	—	—
Mittel	2.121	5.07	80.72	66.72

b) *Stomata*

Die Spaltöffnungen wurden zunächst auf der Blattunterseite pro Gesichtsfeld bei starker Vergrößerung ausgezählt und ihre Anzahl für *Sinapis* auf 1 qcm Blattfläche ausgerechnet. Ihre Länge wurde nach der Ellipsengleichung: $I = a \cdot b \cdot \pi$ bestimmt. Die Werte in der Tab. XIII sind Mittelwerte von je 10 Zählungen und Messungen, die an Pflanzen der IV. *Sinapis*-Reihe ausgeführt wurden. Man sieht die Zunahme der Spaltöffnungsanzahl und die Abnahme der Spaltöffnungsgröße des Blattes bei steigender Insertion am Stengel bei jeder Boden- und Luftfeuchtigkeit sehr deutlich. Vergleicht man die Spaltöffnungsanzahl der Feuchtblätter mit der der Trockenblätter, so zeigt sich kein großer Unterschied. Dagegen macht sich in der Fläche der Spaltöffnungen eine auffallende Differenz bemerkbar, indem nämlich die Spaltöffnungen der Feuchtblätter doppelt so groß als die der Trockenblätter sind. Es ist schon oben (S. 144) betont worden, daß die Serie IV nicht als typisch betrachtet werden kann, weil bei ihr die Blätter in *allen* Bodenfeuchtigkeiten in feuchter Luft fast immer kleiner ausfielen. So wie im Nervenbau, macht sich das auch in der Spaltöffnungsanzahl geltend. Die Serie VI, die in bezug auf Blattgröße und

Tabelle XIII
Anzahl und Fläche der Spaltöffnungen bei *Sinapis-Reihe IV.* (Blattunterseite.)

Nr. des Blattes	60%						35%						25%					
	Anzahl Stomata		Ihre Fläche in μ^2		Anzahl Stomata		Ihre Fläche in μ^2		Anzahl Stomata		Ihre Fläche in μ^2		Anzahl Stomata		Ihre Fläche in μ^2			
	trock. Luft	feuchte Luft	trock. Luft	feuchte Luft	trock. Luft	feuchte Luft	trock. Luft	feuchte Luft	trock. Luft	feuchte Luft	trock. Luft	feuchte Luft	trock. Luft	feuchte Luft	trock. Luft	feuchte Luft		
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
3	182	—	368	—	461	—	—	314	—	—	—	—	258	—	274	476		
4	193	211	353	648	411	283	318	491	424	343	493	252	294	252	443	443		
5	220	246	348	641	467	322	271	555	448	434	457	248	434	248	457	457		
6	220	244	318	609	514	378	255	524	544	702	436	236	702	236	436	436		
7	242	288	322	615	593	508	257	569	632	812	425	240	812	240	425	425		
8	349	307	328	554	683	615	241	532	768	—	—	231	—	—	—	—		
9	352	364	318	496	779	755	236	483	—	—	—	—	—	—	—	—		
10	455	395	299	452	966	—	266	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
11	608	461	271	501	1120	—	228	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
12	—	571	(277)	433	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
Mittel	313	343	325	550	666	475	265	526	487	474	252	455	474	252	455	455		

Nervenlänge die typischen Resultate ergeben hat, zeigt dementsprechend auch für die Spaltöffnungsanzahl andere Werte. Tab. XIV lehrt, daß in jedem Einzelfalle das in feuchter Luft entstandene Blatt weniger Stomata pro Flächeneinheit besitzt als das in trockener Luft entstandene gleicher Insertionshöhe. In den Mittelwerten drückt sich dieses Resultat erst recht aus. Der Unterschied zwischen Spaltöffnungszahl bei trockenem und feuchtem Boden ist bei allen Bodenfeuchtigkeiten annähernd der gleiche. In bezug auf die Größe der Spaltöffnungen ergeben die Messungen

Tabelle XIV
Anzahl der Spaltöffnungen bei *Sinapis-Reihe VI*
(Blattunterseite.)

Nr. des Blattes	60 ⁰ / ₀		35 ⁰ / ₀		25 ⁰ / ₀	
	trockene Luft	feuchte Luft	trockene Luft	feuchte Luft	trockene Luft	feuchte Luft
2	—	—	—	—	310 ± 24.7	267 ± 21.2
3	—	—	—	—	478 ± 43.5	312 ± 18.2
4	—	170 ± 20.1	—	—	—	—
5	230 ± 26.3	180 ± 17.4	311 ± 24.3	237 ± 29.2	613 ± 50.8	424 ± 40.4
6	251 ± 17.3	225 ± 15.4	407 ± 29.6	329 ± 13.4	1100 ± 39	757 ± 68.2
7	273 ± 20.8	200 ± 22.3	469 ± 31.5	—	—	—
8	314 ± 19.3	223 ± 16.0	854 ± 50.8	335 ± 19.7	—	—
9	429 ± 29.2	280 ± 32.7	—	516 ± 34.0	—	—
Mittel	299 ± 22.6	213 ± 20.7	510 ± 34	354 ± 24.1	625 ± 39.5	440 ± 37

Tabelle XV
Anzahl und Fläche der Spaltöffnungen bei Blättern gleicher In-
sertion (4.) von *Sinapis-Reihe VI*. (Blattunterseite.)
(Mittelwerte von je 10 Zählungen und Messungen)

Bodenfeuchtigkeit	Luftfeuchtigkeit	Anzahl Spalt- öffnungen pro mm ² Blattfläche	Ihre Fläche in μ^2
60 ⁰ / ₀	trocken	180 ± 22.1	305 ± 40
	feucht	127 ± 26	618 ± 52
35 ⁰ / ₀	trocken	223 ± 22.1	290 ± 16
	feucht	170 ± 5.81	554 ± 61.4
25 ⁰ / ₀	trocken	509 ± 22.67	218 ± 14.4
	feucht	367 ± 30.5	323 ± 31.9

der Reihe VI das gleiche Resultat wie die der Reihe IV. Diese Verhältnisse traten bei zahlreichen Zählungen und Messungen an anderen Pflanzen der Reihe VI immer wieder zutage (vgl. Tab. XV).

Während RIPPPEL sein Hauptaugenmerk auf die Spaltöffnungen der Blattoberseite richtete, habe ich mich bisher auf die Blattunterseite beschränkt. Denn die Untersuchung ist hier bequemer, da sich die untere Epidermis leicht abziehen läßt, die obere nicht. Immerhin schien es des Vergleiches wegen wichtig, auch einige Zählungen auf der Oberseite vorzunehmen. Da sich nur wenige Spaltöffnungen im mikroskopischen Gesichtsfeld befanden, wurden bei jedem Blatt 20 Zählungen ausgeführt. Für die Untersuchung wählte ich Blätter der VI. *Sinapis*-Reihe, die gleich hoch inseriert und möglichst gleichaltrig waren. In der Tab. XVI ist die Anzahl der Stomata im

Tabelle XVI

Anzahl der Spaltöffnungen auf der Blattoberseite der *Sinapis*-Reihe VI. Pro mikroskop. Gesichtsfeld

60% = je 8. Blatt, 35% = je 7. Blatt, 25% = je 5. Blatt

Bodenfeuchtkt.	Luftfeuchtkt.	1. Zählung	2. Zählung	Mittelwert
60%	trocken	7.0 ± 1.41	6.26 ± 0.88	6.63 ± 1.15
	feucht	5.4 ± 1.0	4.44 ± 1.19	4.92 ± 1.09
35%	trocken	9.3 ± 0.85	7.27 ± 0.94	8.28 ± 0.89
	feucht	4.5 ± 1.3	3.86 ± 0.84	4.18 ± 1.07
25%	trocken	10.0 ± 1.0	10.6 ± 1.6	10.3 ± 1.3
	feucht	8.3 ± 0.96	11.95 ± 1.39	10.12 ± 1.18

Gesichtsfeld des Mikroskops wiedergegeben. Man sieht, daß auch auf der Blattoberseite die Trockenpflanzen mehr Spaltöffnungen haben als die Feuchtpflanzen. Am deutlichsten ist der Unterschied bei 35% Bodenfeuchtigkeit, dagegen ist der wahrscheinliche Fehler bei 25% Bodenfeuchtigkeit sehr groß, da hier noch viele Spaltöffnungen in Bildung begriffen sind, die eine genaue Zählung sehr erschweren.

Bei *Tropaeolum* konnte ich eine erhöhte Spaltöffnungszahl in trockener Luft nicht feststellen. Hier schwanken die Werte ziemlich stark, wie die Tab. XVII zeigt. Es ist aber zu erwarten, daß bei Benutzung eines größeren Materials auch hier die gleichen Verhältnisse gefunden würden wie bei *Sinapis*.

Tabelle XVII

*Anzahl der Spaltöffnungen der Tropaeolum-Pflanzen
(Blattunterseite.)*

Nr. des Blattes	Blattfläche in cm ²		Anzahl Stomata im Gesichtsfeld	
	Pflz. II. trockene Luft	Pflz. XII. feuchte Luft	trockene Luft	feuchte Luft
1	2.846	4.492	8.9 ± 2.17	—
2	2.822	6.42	9.7 ± 1.35	—
3	2.940	5.127	12.3 ± 1.67	10.8 ± 1.72
4	3.011	5.198	14.5 ± 2.5	15.2 ± 1.28
5	2.597	4.633	16.6 ± 1.03	23.1 ± 1.7
6	1.317	4.633	26.6 ± 1.49	25 ± 1.8
7	0.894	4.845	—	21.5 ± 3.0
8	0.541	4.704	—	—

c) Die Epidermiszellen

Ebenso wie in der Fläche der Spaltöffnungen zeigte sich in der Größe der Epidermiszellen bei *Sinapis* in trockener und feuchter Luft ein erheblicher Unterschied. Untersuchungen sowohl auf der Blattoberseite, als auch auf der Blattunterseite haben ergeben, daß bei 60% und 35% Bodenfeuchtigkeit die Feuchtblätter viel größere Epidermiszellen haben als die Trockenblätter. Dagegen ist bei 25% Bodenfeuchtigkeit die Fläche der Zellen annähernd die gleiche. Ferner ist mit dem Trockenerwerden des Bodens eine Abnahme der Zellgröße zu beobachten. Aus der Tab. XVIII läßt sich berechnen, daß sich die Zellgrößen der Trockenpflanzen bei 60%, 35% und 25% Bodenfeuchtigkeit verhalten wie 100 : 83 : 50. Ebenso deutlich zeigte sich die Abnahme der Wellung der Außenwände. Doch hat diese beiden letzten Punkte bereits RIPPEL hinreichend erörtert.

Um zahlenmäßig die Verhältnisse festzustellen, habe ich an Flächenschnitten der oberen Epidermis ein bestimmtes Gebiet mit dem Zeichenapparat aufgezeichnet und die durch Wiegen der Zeichnung bestimmte Fläche durch die Anzahl der Epidermiszellen und Nebenzellen der Schließzellen bestimmt. Aus den Verhältniszahlen der Tabelle XVIII ergibt sich, daß die Unterschiede in der Zellgröße bei 25% Bodenfeuchtigkeit am geringsten sind.

Besser noch als die Tabelle mögen die Fig. 5 a bis f und 6 a bis f die Verhältnisse erläutern. (Siehe S. 169—171.)

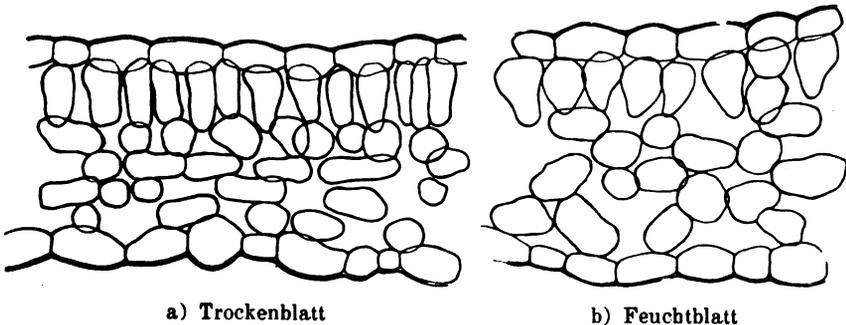
Tabelle XVIII

*Größe der Epidermiszellen bei Sinapis-Blättern der Reihe VI
(Oberseite.)*

Bodenfeuchtigkeit	Luftfeuchtigkeit	Nr. des Blattes	Blattfläche	Größe d. Ep.-Zellen in mm ²	Verhältnis d. Zellgrößen (trock.= 100)
60%	trocken	8	17.38	0.004683	100
	feucht	8	16.55	0.006816	146
35%	trocken	7	8.5	0.003859	100
	feucht	7	10.67	0.006144	159
25%	trocken	5	3.76	0.002325	100
	feucht	5	7.051	0.002573	111

Vergleicht man die Epidermiszellen der Blattunterseite mit denen der Blattoberseite, so zeigt sich, daß bei allen Blättern die unteren Epidermiszellen kleiner sind. Die Fig. 5 und 6 (S. 169) lassen erkennen, daß das Größerwerden der Zellen in feuchter Luft auf der

Fig. 8. Blattquerschnitt durch Sinapis
8. Blatt, 60% Bodenfeuchtigkeit



Oberseite intensiver eingetreten ist als auf der Unterseite, und man darf daraus wohl schließen, daß hierin der Grund für die Krümmung der Feuchtblätter zu suchen ist. Zur restlosen Klärung dieser Frage sind jedoch die *Sinapis*-Blätter wegen ihrer sehr geringen Dicke schlecht geeignet.

Auch die Feuchtblätter der *Tropaeolum*-Kulturen haben größere Epidermiszellen als die Trockenblätter (vgl. hierzu Fig. 7 a und b). (Siehe S. 172.) Hier zeigt es sich auch deutlich, daß die Wellung der Wände bei den Feuchtblättern stärker ist, was bei *Sinapis* nicht so stark in Erscheinung trat.

Tabelle XIX.

Größe der Palissadenzellen, gemessen an Blättern gleicher Ordnungszahl (5.) der *Sinapis-Reihe VI*

Bodenfeuchtigkeit	Luftfeuchtigkeit	Größe der Palissaden	
		lang	breit
60° ₀	trocken	50	27.2
	feucht	53.6	38.5
35° ₀	trocken	41	19.2
	feucht	56.6	35.3
25° ₀	trocken	46.6	16.4
	feucht	44.5	21.4

d) Das Mesophyll

An dem Blattquerschnitt sieht man, daß das Zellgefüge der Feuchtblätter lockerer ist als bei den Trockenblättern. Die Zellen an sich sind etwas größer. Am meisten fallen aber die Palissaden auf, die in feuchter Luft ganz anders gebaut sind als in trockener (s. Fig. 8 a und b). Sie sind gedrungener, oben breiter als unten, etwa kreiselförmig, während sie in trockener Luft langgestreckt, palissadenförmig sind. Messungen der Zellen nach zwei Dimensionen hin haben zu folgendem Ergebnis geführt: (vgl. Tab. XIX; die Zahlen bedeuten Teilstriche des Mikrometers und stellen Mittelwerte von 6 Messungen dar. Untersucht wurde jeweils das 5. Blatt einer Feucht- und Trockenpflanze der VI. *Sinapis-Reihe*.) Was die Wirkung der Bodenfeuchtigkeit anbelangt, so wurde schon von RIPPPEL angegeben, daß die Abnahme der Größe der Palissadenzellen beim Trockenerwerden des Bodens in der Breite intensiver ist als in der Länge. Während die Länge der Palissaden etwas schwankt (im allgemein dürfte sie aber bei den Feuchtpflanzen etwas größer sein), sieht man überall deutlich, daß bei den Feuchtpflanzen die Palissaden viel breiter sind. Dies war auch bei den Flächenschnitten durch die obere Epidermis zu sehen und ist in den Fig. 5 a bis f auch zum Ausdruck gekommen. Es kommen demnach bei den Feuchtpflanzen weniger Palissaden und damit auch weniger (wandständige) Chlorophyllkörner auf die Flächeneinheit. Hierdurch ist die hellere Farbe der Feuchtblätter bedingt, die nach der Stengelspitze zu immer dunkler wird, da mit steigender Insertion der Blätter am Stengel alle Zellen, also auch die Palissaden, kleiner werden.

e) *Der osmotische Wert des Zellsaftes*

Die bisherigen Ausführungen zeigen schon, daß die Luftfeuchtigkeit sich nicht prinzipiell von der Bodenfeuchtigkeit in ihrer Wirkung auf die Pflanzenstruktur unterscheidet. Das Maßgebende wird also wohl der Wassergehalt der Gewebe sein (vgl. WALTER, 1926), wie er aus der Differenz von Aufnahme und Abgabe resultiert. Um diese Vermutung zu prüfen, wurden die osmotischen Werte der Feucht- und Trockenpflanzen bestimmt. Bei *Sinapis* geschah das auf plasmolytischem, bei *Tropaeolum* auf kryoskopischem Weg. Am günstigsten erwiesen sich bei *Sinapis* die Epidermiszellen von der Mittelrippe der Blattunterseite. Als plasmolysierende Flüssigkeit wurde Rohrzuckerlösung verwendet, die in Abstufungen von 0,1 Mol. zu jedem Versuch frisch angefertigt und bei Bedarf noch weiter abgestuft wurde. Die Untersuchungen wurden an gleichaltrigen Blättern derselben Insertionshöhe vorgenommen. Im Laufe der Entwicklung wurde bei Reihe IV dreimal, bei Reihe VI zweimal, bei Reihe II viermal der osmotische Wert bestimmt. Die Einzelresultate finden sich in der Tabelle XX:

Tabelle XX
Die osmotischen Werte bei *Sinapis*
a) Reihe IV

Bodenfeuchtigkeit	Luftfeuchtigkeit	1. Versuch	2. Versuch	3. Versuch	Mittel
60%	trocken	0.45	0.45	0.45	0.45
	feucht	0.45	0.45	0.45	0.45
35%	trocken	0.5	0.6	0.675	0.592
	feucht	0.5	0.6	0.525	0.542
25%	trocken	0.7	0.85	0.825	0.792
	feucht	0.625	0.7	0.65	0.623

b) Reihe VI

60%	trocken	0.525	0.525	—	0.525
	feucht	0.475	0.475	—	0.475
35%	trocken	0.65	0.575	—	0.613
	feucht	0.6	0.55	—	0.575
25%	trocken	0.75	0.85	—	0.8
	feucht	0.7	0.65	—	0.675

Übereinstimmend lassen die gewonnenen Zahlen erkennen, daß vor allem einmal durch den *Wassergehalt des Bodens* die Konzentration des Zellsaftes bestimmt wird. Überall ist sie auf feuchtem Boden *erheblich geringer* als auf trockenem. In Versuchsreihe II, wo eine viel größere Bodenfeuchtigkeit verwendet wurde als in den Reihen IV und VI (nämlich 75% gegen 60%), ist demnach der kleinste osmotische Wert gefunden worden (siehe Tab. XXI). In zweiter Linie wird dann der osmotische Wert durch die *Luftfeuchtigkeit* beeinflußt. Fast überall haben die Feuchtpflanzen den kleineren osmotischen Wert. Je trockener aber der Boden wird, desto deutlicher ist diese Differenz, während sie auf feuchtem Boden weniger hervortritt.

Tabelle XXI

Die osmotischen Werte der Sinapis-Reihe II

Bodenfeuchtigkeit	Luftfeuchtigkeit	1. Versuch	2. Versuch	3. Versuch	4. Versuch	Mittel
75%	trocken	0.35	0.35	0.4	0.4	0.375
	feucht	0.35	0.35	0.4	0.35	0.363
50%	trocken	0.4	0.45	0.6	0.45	0.475
	feucht	0.4	0.45	0.45	0.4	0.425
25%	trocken	0.7	0.75	0.95	0.65	0.768
	feucht	0.45	0.65	0.8	0.55	0.613

Bei *Tropaeolum* wurde der osmotische Wert auf kryoskopischem Weg bestimmt. Verglichen wurde eine Topfpflanze, die in der Gewächshausluft wuchs, mit einer solchen, die in eine feuchte Glocke geleitet wurde, ferner eine Pflanze mit 35% Bodenwasser aus dem trockenen Kasten mit einer aus dem feuchten Kasten. Da bei den beiden letzten Pflanzen die Blattspreiten der anatomischen Untersuchung dienen, wurden hier nur der Sproß und die Blattstiele untersucht. Die Pflanzen wurden mit 50 Atmosphären Druck ausgepreßt und der Preßsaft auf 2° unter den Gefrierpunkt unterkühlt. Jede Messung wurde dreimal ausgeführt, und der gefundene Mittelwert für die Berechnung in Anwendung gebracht (siehe Tabelle XXII). Überall hatte Luftfeuchtigkeit ein Sinken des osmotischen Wertes zur Folge. Allerdings sind die Unterschiede nicht so groß wie bei *Sinapis*.

Tabelle XXII
Die osmotischen Werte von Tropaeolum

Art der Pflanze	Untersuchte Organe	Gefrierpunkts-erniedrigung	Atm. Druck	Entspr. Mol Rohr-Zucker-lösung
Normale Topfpflanze . . .	8 Blätter der Basis, Spitze und Mitte	0.76°	9.202	0.3783
Topfpflanze unter feuchter Glocke . . .	„	0.707°	8.561	0.352
Dieselbe normale Topfpflanze	Spitze	0.873°	10.57	0.4346
Dieselbe Topfpflanze unter feuchter Glocke	„	0.727°	8.778	0.3619
Pflanze VIII im trockenen Kasten	Sproß und Blattstiele	0.885°	10.72	0.4406
Pflanze V im feuchten Kasten	„	0.83 °	10.05	0.4123

f) Der Stärkegehalt

Auf die Bestimmung der Aschen- und Trockensubstanz mußte ich verzichten, da die Versuchspflanzen hauptsächlich der anatomischen Untersuchung dienten. Über die Menge der Assimilate sei nur so viel gesagt, daß die Feuchtpflanzen der *Tropaeolum*-Reihe massenhaft Endodermisstärke im Stengel enthielten, während die Trockenpflanze gar keine oder nur sehr wenig aufzuweisen hatte. Der Stärkegehalt nimmt von der Spitze nach der Basis ab, ist aber bei den Feuchtpflanzen noch selbst unterhalb der Primärblätter deutlich vorhanden. Bei den Trockenpflanzen dagegen ist schon im dritten Internodium keine Spur von Stärke mehr zu sehen. Die mit Stärke angehäufte Endodermis ist auch im Blattstiel vorhanden, und zwar bei den Feuchtblättern in größerer Menge als bei den Trockenblättern.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Pflanzen von *Sinapis alba* und von *Tropaeolum majus* wurden unter Einwirkung verschiedener Bodenfeuchtigkeit Luft von verschiedener Feuchtigkeit ausgesetzt. In Beziehung auf die Bodenfeuchtigkeit wurden die Erfahrungen RIPPERS, soweit sie Nachuntersuchung fanden, bestätigt. Die Einwirkung der Luftfeuchtigkeit ist geringer, liegt aber in der gleichen Richtung wie die der Bodenfeuchtigkeit. Im Bau des Stengels wurden freilich wenig Unterschiede gefunden, wohl aber bei den Blättern. In trockener Luft wird das Blatt kleiner, das Nervennetz enger, die Zahl der Spaltöffnungen nimmt zu, die Größe der gewöhnlichen Epidermiszellen und die der Schließzellen nimmt ab, ebenso die Palissadenzellen, vor allem in der Breite: endlich steigt der osmotische Wert der Zellen mit Zunahme der Trockenheit der Luft. Diese Xeromorphie der Trockenblätter ist auf trockenem Boden besonders deutlich.

Eine Serie von *Sinapis* verhielt sich auffallenderweise in mancher Hinsicht etwas anders: in *feuchtem* Raum blieben die Blätter kleiner, hatten engeres Nervennetz und die *gleiche* Zahl Spaltöffnungen wie in trockener Luft. Es besteht die Möglichkeit, daß übergroße Feuchtigkeit wie Trockenheit wirkt, die Blattgröße also herabsetzt. Andererseits konnte durch Versuche an der Bohne gezeigt werden, daß eine durch verminderte Nährstoffzufuhr entstandene Kleinblättrigkeit zu engerem Nervennetz führen kann.

Die tiefgreifenden Veränderungen der anatomischen Struktur, die KOHL und EBERHARDT durch Kultur in feuchter bzw. in trockener Luft erhalten haben, konnten nirgends auch nur andeutungsweise beobachtet werden. Damit ist das Kuriosum, daß trockene Luft ganz anders als trockener Boden wirke, im wesentlichen beseitigt, und es kann angenommen werden, daß der Wassergehalt der Gewebe entscheidend ist für ihre Gestalt und Struktur. Wenn früher nicht diesem Wassergehalt, sondern der Transpiration, d. h. dem Vorgang der Wasserabgabe, eine besonders wichtige Rolle zugeschrieben wurde, so muß diese Ansicht unbedingt verworfen werden, denn es hat sich gezeigt, daß auf feuchtem Boden, wo die Transpiration am größten ausfällt, und wo auch die Transpirationswerte bei trockener und feuchter Luft am weitesten differieren, die Struktur der Pflanzen viel weniger Unterschiede aufweist als auf trockenem Boden. Wie sich die Ergebnisse KOHLS und EBERHARDTS erklären lassen, kann zur Zeit nicht gesagt werden.

Erst nach Abschluß meiner Arbeit erhielt ich Kenntnis von Versuchen, die KISSELBACH 1916 publiziert hat. Das Original ist mir unzugänglich; Herr Dr. WALTER war so freundlich, mir einen Bericht über den Auszug der Arbeit zu geben, der sich bei TICHOMIROV findet; er lautet:

Die Versuche wurden in den Jahren 1911 und 1912 mit *Zea Mays*-Rassen ausgeführt, die in zwei Gewächshäusern kultiviert wurden. Das eine Gewächshaus wurde tags stark ventiliert, die Luft war trocken; im anderen wurde Wasser verstäubt, um die Luft feucht zu halten. Die Temperaturunterschiede betragen tags 0,6 bis 1,7° C, nachts 2,8° C. Das feuchte Gewächshaus besaß immer die niedrigere Temperatur. Die Pflanzen im Feucht- und Trockenhaus zeigten *weder morphologische noch anatomische Unterschiede*. Sie transpirierten im trockenen Gewächshaus 40 bis 70% stärker als im feuchten (pro Flächeneinheit). Nach dem Übertragen der Feuchtpflanzen ins trockene Haus und umgekehrt transpirierten die ersteren 40—56% stärker. Also auch in bezug auf das Transpirationsvermögen ließen sich keine Unterschiede feststellen.

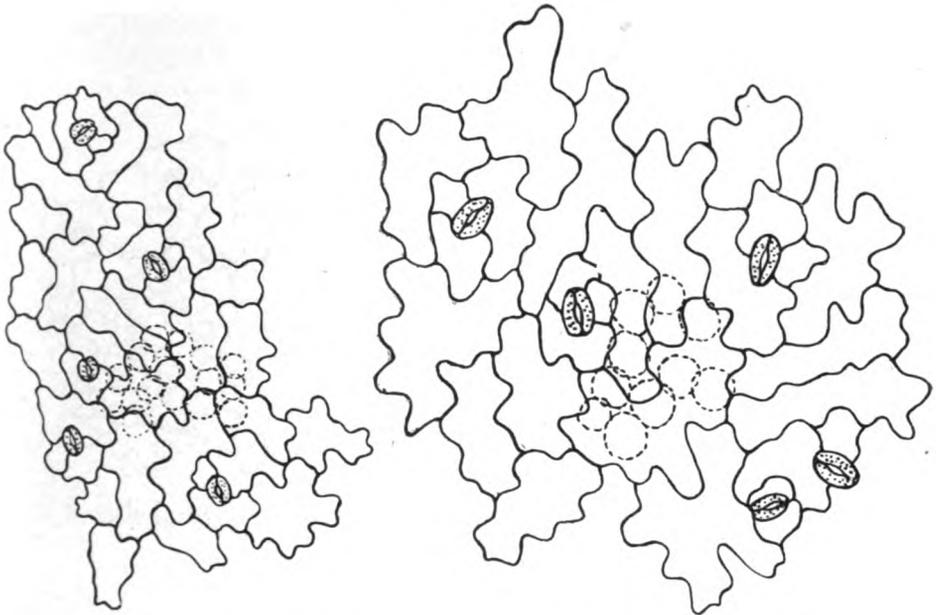
Zum Schluß erfülle ich die angenehme Pflicht, Herrn Professor Dr. JOST für Anregung, Interesse und Unterstützung, sowie Herrn Privatdozenten Dr. WALTER für seine freundlichen Ratschläge verbindlichst zu danken.

Literatur

- ALEXANDROV, W.: Über die Transpirationsintensität der Pflanzen. Berichte der deutsch. Botan. Ges. 1927, Bd. XLV. — ALEXANDROV: Über Plastizität der Blattstruktur krautartiger Pflanzen. MEZ. Arch. XII (1925). — BARANOW, P. A.: De la méthode quantitative anatomique de l'étude des plants I. Distribution des stomates. Bull. Univ. Asie Centr. Taschkent 7, 30. Ref. Botan. Centralbl. 1925/26, 6, 325. — BENECKE-JOST: Pflanzenphysiologie. Bd. II. Jena 1924. 4. Aufl. — BRENNER: Untersuchungen an einigen Fettpflanzen. Flora 87. 1926, S. 387. — EBERHARDT, Ph.: Influence de l'air sec et de l'air humide sur la forme et la structure des végétaux. — FREY, Lucy: Influence of soil moisture on transpiring power of plants. Travaux de la Soc. des Naturalistes Leningrad (russisch mit englischem Résumé). 1923, 47—53. — HEILBRONN, A.: Über experimentelle Beeinflussung der Blattnervatur. Biolog. Zentralbl. 1926. — HEUSER, W.: Untersuchungen über den anatomischen Bau des Weizenblattes je nach der Höhe seines Standortes am Halm unter dem Einfluß äußerer Bedingungen. Kühn-Archiv VI. 1915. — HUBER, B.: Eine einfache Methode zur Messung der Verdunstungskraft. Berichte der d. Bot. Ges. 1924, 42, 19. — KISSELBACH, T.: Transpiration as a factor in crop production, Bull. Agr. Exp. Station of Nebraska. 1916. Nr. 6. — KISSER, J.: Untersuchungen über den Einfluß der Nährsalze auf die Wasserabgabe, Wasseraufnahme, relative Sproß- und Wurzelmasse, und die

Blattstruktur. Arch. f. wiss. Biologie. 1927. Bd. 3, Hft. 4. — KOHL, F. G.: Die Transpiration der Pflanzen. Braunschweig (H. Bruhn). 1886. — LEBEDINCEW, Elis.: Physiologische und anatomische Besonderheiten der in trockener und in feuchter Luft gezogenen Pflanzen. Berichte d. deutsch. Bot. Ges. 1927, Bd. XLV, H. 2. — MERKENSCHLÄGER: Sinapis, eine Kulturpflanze und ein Unkraut. Landwirtschaftl. Jahrb. f. Bayern. 1924, Hft. 6/7. — MITSCHERLICH: Bodenkunde für Land- und Forstwirte. S. 135. Berlin 1923. — NORDHAUSEN, M.: Über Sonnen- und Schattenblätter. Ber. d. deutsch. Bot. Ges. 1903, 21. — NORDHAUSEN, M.: Über Sonnen- und Schattenblätter. Ber. d. deutsch. Bot. Ges. 1912, 30. — RIPPEL, A.: Der Einfluß der Bodentrockenheit auf den anatomischen Bau der Pflanzen. Beihefte z. Bot. Zentralbl. 1919, Bd. XXXVI, 1. — SALENSKY: 1904 zitiert nach Walter 1926. — SCHRAMM, R.: Über die anatomischen Jugendformen der Blätter einheimischer Holzpflanzen. Flora N. F. 4. 1911. — SCHUSTER, W.: Die Blattaderung des Dikotylenblattes und ihre Abhängigkeit von äußeren Einflüssen. Ber. d. deutsch. Bot. Ges. 1908, Bd. XXXVI. — TICHOMIROW, W.: Zur Frage über den Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die Pflanzen der Trockengebiete. Mitt. d. Saratower Landw. Instituts. 1927, Bd. 3. — TUMANOW, J. J.: Ungenügende Wasserversorgung und das Welken der Pflanzen als Mittel zur Erhöhung ihrer Dürre-resistenz. Planta. 1927, Bd. 3, H. 2/3. — VISCHER, W.: Experimentelle Beiträge zur Kenntnis der Jugend- und Folgeform xerophiler Pflanzen. Flora N. F. VIII. 1915. — WALTER, H.: Die Anpassung der Pflanzen an Wassermangel. Naturwissensch. und Landwirtsch. 1926, Hft. 9. — WALTER, H.: Referat über Maximow. Zeitschr. f. Bot. 1926, 18, 593.

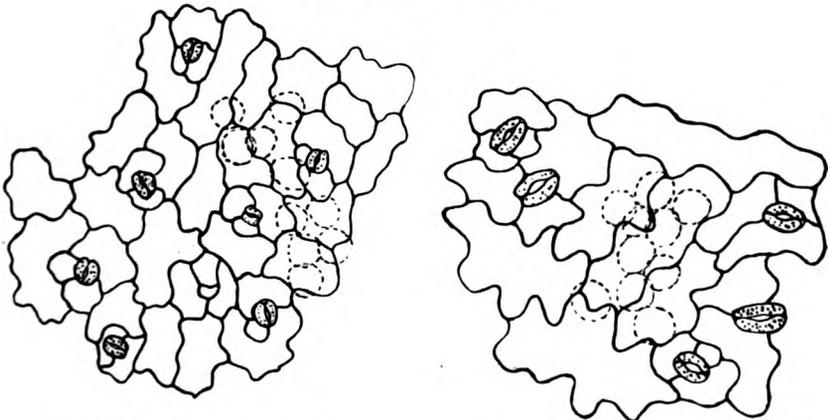
Fig. 5. Sinapis: obere Epidermis
60% Bodenfeuchtigkeit



a) 8. Blatt in trockener Luft

b) 8. Blatt in feuchter Luft

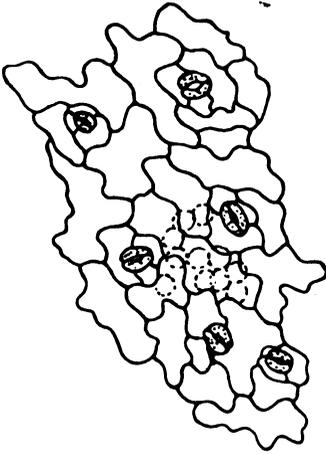
35% Bodenfeuchtigkeit



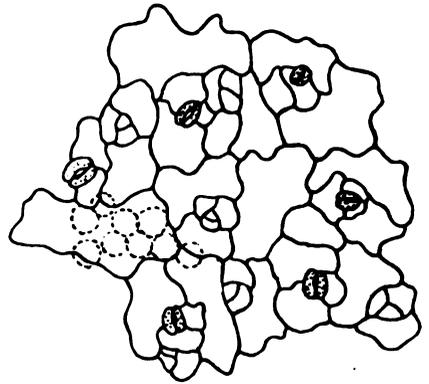
c) 6. Blatt in trockener Luft

d) 6. Blatt in feuchter Luft

Fig. 5. Sinapis: obere Epidermis
25% Bodenfeuchtigkeit

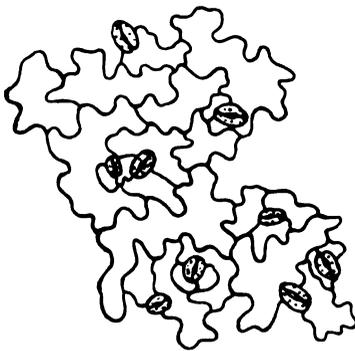


e) 5. Blatt in trockener Luft

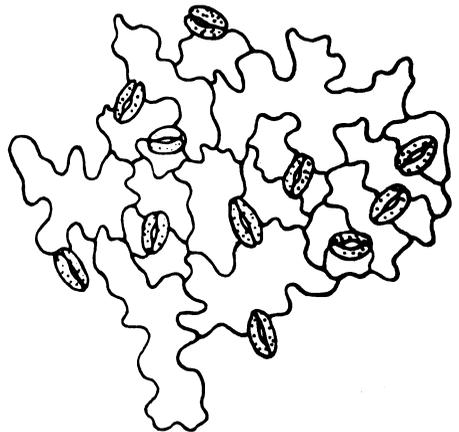


f) 5. Blatt in feuchter Luft

Fig. 6. Sinapis: untere Epidermis
60% Bodenfeuchtigkeit



a) 8. Blatt in trockener Luft

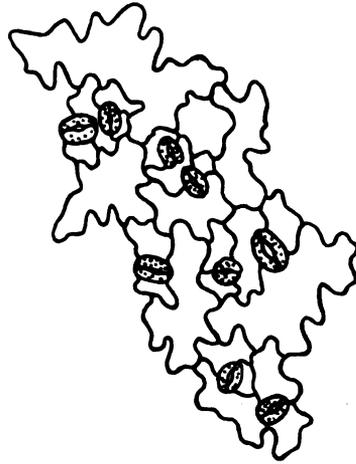


b) 8. Blatt in feuchter Luft

Fig. 6. Sinapis: untere Epidermis
35% Bodenfeuchtigkeit

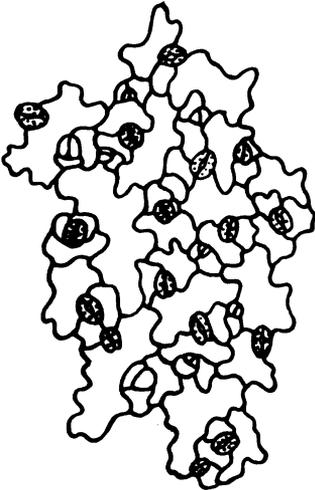


c) 7. Blatt in trockener Luft

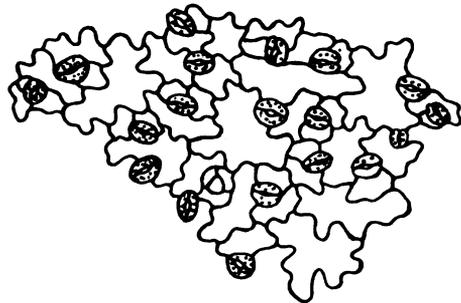


d) 7. Blatt in feuchter Luft

25% Bodenfeuchtigkeit

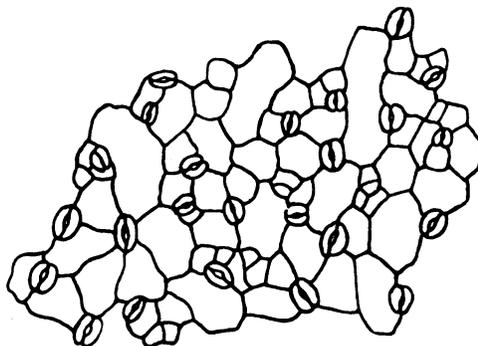


e) 5. Blatt in trockener Luft

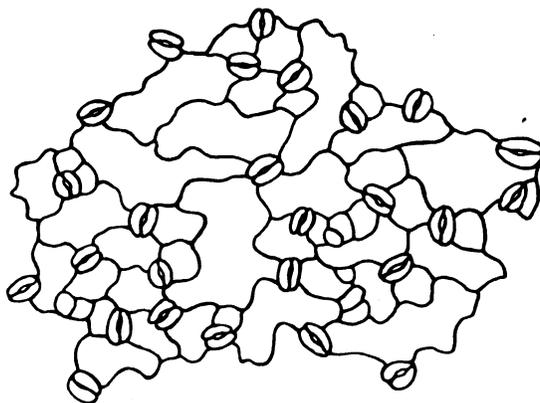


f) 5. Blatt in feuchter Luft

Fig. 7. Epidermis von Tropaeolum



a) Epidermis eines Trockenblattes



b) Epidermis eines Feuchtblattes

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Botanisches Archiv. Zeitschrift für die gesamte Botanik](#)

Jahr/Year: 1929

Band/Volume: [25](#)

Autor(en)/Author(s): Rettig H.

Artikel/Article: [Über den Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die Entwicklung und die Gewebedifferenzierung der Pflanzen 128-172](#)