

Thermotropismus bei Wurzeln.

Von OTTO TREITEL (Heidelberg).

Die Krümmungen von Wurzeln, die in feuchten Sägespännen einem passenden Temperatur-Abfall ausgesetzt sind, waren von WORTMANN (1) für thermotropische erklärt worden. Sie wurden weiter von J. af KLERCKER (2) und neuerdings von HOOKER (3) studiert. Letzterer zeigt, dass bei gleichem Temperatur-Gefälle in Agar eingeschlossene Wurzeln solche Krümmungen nicht ergeben, obwohl sie in diesem Medium wachstums- und reaktionsfähig bleiben. Er nahm deshalb an, dass ungleiche Feuchtigkeit in den Sägespännen die Ursache der Krümmung sei, dass es sich also um hydro- und nicht um thermotropische Krümmungen handelt. Später haben sich dann COLLANDER und SIERP diesem Problem zugewendet und übereinstimmend gezeigt, dass nach 1/4 oder 1/2 Stunde immer negative, von der Wärmequelle abgewandte Krümmungen auftreten und erst später wenigstens bei gewissen Temperaturen die viel stärkeren positiven Krümmungen sichtbar werden.

COLLANDER (4) hat gegen die Deutung HOOKERs manche Bedenken und glaubt den Thermotropismus dieser Wurzeln erwiesen zu haben. SIERP (5) bestätigt HOOKER insofern, als er zeigt, dass in ganz nassen Sägespännen, gerade wie in Agar, die Krümmungen ausbleiben. Er wünscht im übrigen mit Recht genauere Untersuchungen über die Feuchtigkeitsverhältnisse in den Sägespännen.

I. TEIL. ÜBERSICHT DER RESULTATE.

Unter Verwendung der WORTMANN-COLLANDERSchen Anordnung habe auch ich bei einem Temperaturgefälle von 5° pro cm Wurzeln der Schnabelerbse in feuchten Sägespännen gehalten und bestätigt, dass zuerst schwache negative, später stärkere positive Krümmungen auftreten, die ersteren bei 20° schon nach 10 und sogar 5 Minuten. Wurzeln von 3 bis 3,5 cm Länge erwiesen sich als am besten geeignet. Um man die verschiedene Feuchtigkeit in der Umgebung der Wurzeln auszuschliessen, habe ich die Wurzeln in trockenen Sägespännen und in trockenem Kieselguhr dem gleichen Temperaturgefälle ausgesetzt und auch unter diesen Umständen nach 10 u. 15 Minuten negative Krümmungen erhalten. Da zweifellos diese Wurzeln auf der wärmeren Seite mehr transpirierten, so könnte der Wasserverlust allein nur zu positiven Krümmungen führen. In der kurzen Zeit trat aber eine Erschlaffung der Wurzeln überhaupt nicht auf und dem entsprechend zeigten sich die Wurzeln am Schluss des Versuches geotropisch reizbar, wenn sie in feuchten Sägespännen horizontal gelegt wurden.

Ob aber wirklich die Luft-Feuchtigkeit in der Umgebung der Wurzeln ganz gleich war, das wissen wir nicht. Es könnte ganz wohl auf der wärmeren Seite durch die Transpiration der Wurzeln eine erhöhte Feuchtigkeit bestehen und auf diese könnten die Wurzeln reagieren. Deshalb wurde versucht, die Wurzeln mit für Wasser undurchlässigen Medien zu überziehen. Benützt wurde Paraffinöl, Vaseline, Olivenöl, Lanolin. Der Lanolin-Überzug wurde beim Wachstum zerrissen, Paraffin und Vaseline setzten das Wachstum ziemlich beträchtlich herab, Olivenöl aber erwies sich als brauchbar. Mit Olivenöl überzogene Wurzeln blieben nun aber im Temperatur-Gefälle, abgesehen von gelegentlich auftretenden schwachen positiven Krümmungen, völlig gerade. Zum gleichen Resultat führte die Verwendung von Colloidum-Kappen, die über die Wurzeln gezogen wurden. Damit scheint nun bewiesen, dass die negative Krümmung der Wurzeln in den Versuchen von COLLANDER und SIERP nicht thermotropischer Natur sein kann. Ob es sich um negativen Hydrotropismus handelt, müsste erst genauer untersucht werden, da bisher bei Wurzeln nur positive hydrotropische Krümmungen bekannt sind. Werden Wurzeln in trockenen Sägespännen in der Nähe einer feuchten Wand aufgestellt, so

beobachtete ich Krümmungen von dieser Wand weg, doch besteht hier grosse Unsicherheit in der Deutung der Ergebnisse, da es sich ja auch um sog. SACHSsche Krümmungen handeln könnte.

Bei längerer Einwirkung des Temperatur-Gefälles treten wie gesagt *p o s i - t i v e* Krümmungen auf. Auch sie bleiben aus, wenn die Wurzeln mit Kollodium-Kappen versehen sind. Da auch bei einseitiger Einwirkung von *F e u c h t i g - k e i t* in der gleichen Zeit positive Krümmungen von gleicher Grösse auftreten wie im Temperatur-Gefälle, darf vermutet werden, dass die positiv thermotropischen Bewegungen wenigstens zum Teil mit Feuchtigkeits-Differenzen zusammenhängen. Allein es könnte sich doch sehr wohl auch um Schädigung der Wurzeln auf der wärmeren Seite handeln. Bemerkenswerter Weise hat sich nämlich gezeigt, dass während der Krümmung *k e i n* Wachstum stattfindet.

Es gibt aber auch zweifellos *t h e r m o t r o p i s c h e* Krümmungen bei den Wurzeln der Schnabelerbse. Wurden in die Sägespäne des Temperatur-Gefälles kleine Gläschen von 1 cm Weite und 5 cm Höhe gebracht und mit Wasser gefüllt, so krümmten sich in sie eingetauchte Wurzeln schon nach einer halben Stunde positiv und nach 5 Stunden hatte diese Krümmung nur zugenommen. Hier erfolgt aber die Krümmung unter deutlichem Wachstum. Es machte wenig aus, wenn statt eines Gefälles 5° pro cm in den Sägespänen das Gefälle 25° pro cm verwendet wurde.

Die gleichen Versuche mit *l u f t*-erfüllten Gläsern ausgeführt, ergaben wie früher, *n u r n e g a t i v e* *K r ü m m u n g e n*. Die Temperatur-Verhältnisse in dem mit Wasser gefüllten Zylinder wurden mit dem Thermo-element gemessen. Es war ein deutliches und *k o n s t a n t e s* Wärmegefälle nachzuweisen.

In weiteren Gefässen, z.B. in einem Becherglas von 7 cm Durchmesser, treten Wärmeströmungen auf und verhindern ein solches Gefälle. Daher versteht man es, dass in einem weiten Gefäss ebenso wie in dem von SIERP verwendeten Sägespäne-Brei sich keine thermotropischen Krümmungen bilden. In Agar freilich müssten sich solche ergeben.

Leider musste ich aus äusseren Gründen meine Versuche abbrechen und konnte so weder diese Frage lösen, noch dem Hydrotropismus näher treten, was beides nötig wäre, wenn eine völlige Aufklärung des Thermotropismus der Wurzel erfolgen soll.

II. Teil. DIE EINZELNEN VERSUCHE.

I. METHODE.

Bei den Versuchen wurde die COLLANDERSche Anordnung verwendet.

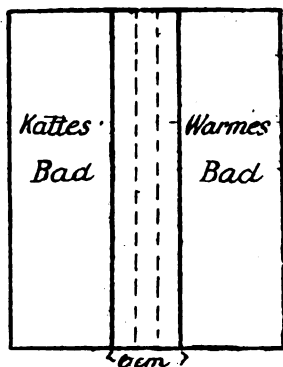


Fig. 1. Querschnitt d. Versuchsgefässes. Die gepunkteten Linien stellen die Wurzelreihen dar.

Ein quaderförmiges Gefäss (Fig. 1) aus Zinkblech mit den Kanten 15 cm, 24 cm und 20 cm ist durch 2 Scheidewände in 3 Abteilungen geteilt. Die mittlere Abteilung hat eine Breite von 6 cm. Von den 2 seitlichen Abteilungen enthält die eine Abteilung kaltes Wasser, die andere enthält warmes Wasser. Im warmen Ende wurde das Wasser mit Hilfe eines Thermoregulator auf konstanter Temperatur gehalten.

II. TROPISTISCHER VORGANG BEI EINSEITIGER ERWÄRMUNG.

In die mittlere Kammer der COLLANDERSchen Anordnung bringt man feuchte Sägespäne. Man setzt in die Sägespäne Wurzeln von Schnabelerbse ein, die in 2 Reihen mit Abstand 2 cm angeordnet sind.

Die Wurzeln der 1. Reihe sind der Temperatur t_1 , die der zweiten Reihe der Temperatur t_2 ausgesetzt. Die Temperaturen werden mit Thermometern gemessen.

1. Versuch. - 4 Wurzeln waren in der 1. Reihe und 4 Wurzeln waren in der zweiten Reihe. Es war $t_1 = 22^{\circ}$ und $t_2 = 30^{\circ}$.

Nach halbstündiger Erwärmung waren sämtliche Wurzeln

von dem wärmeren Bade weggekrümmt, d.h. negativ gekrümmt.

2. Versuch. - Drei Wurzeln waren in der 1. Reihe und 3 Wurzeln in der zweiten Reihe. Es war $t_1 = 20^\circ$ und $t_2 = 28^\circ$.

Nach einseitiger Erwärmung von $1/4$ Stunde waren alle Wurzeln negativ gekrümmt.

3. Versuch. - 3 Wurzeln waren in der 1. Reihe und 3 Wurzeln in der 2. Reihe. Es war $t_1 = 22^\circ$ und $t_2 = 30^\circ$.

Nach einseitiger Erwärmung von $1/4$ h. waren alle Wurzeln negativ gekrümmt.

4. Versuch. - 3 Wurzeln waren in der 1. Reihe und 3 Wurzeln in der 2. Reihe. Es war $t_1 = 23^\circ$ und $t_2 = 31^\circ$.

Nach einseitiger Erwärmung von $2 1/4$ h. waren alle Wurzeln, mit Ausnahme von einer Wurzel der 2. Reihe, welche positive Krümmung zeigte, negativ gekrümmt.

Bei dem Temperaturgefälle 5° pro cm und bei 20° C. Temperatur beträgt die Reaktionszeit für Wurzeln von Schnabelerbsen 5 Minuten (Beobachtung bei 9 Wurzeln).

Ermittlung der Temperaturverhältnisse in der mittleren Kammer der COLLANDERSchen Anordnung.

Um die Temperaturverhältnisse in der mit Sägespänen gefüllten Kammer der COLLANDERSchen Anordnung zu ermitteln, wurden thermo-elektrische Messungen gemacht.

Man verbindet die eine Klemme einer mit Spiegelablesung versehenen Tangenten-Busssole mit einem Neusilberdraht und die andere Klemme mit einem Eisendraht. Die beiden Drähte sind an ihrem freien Ende zusammengelötet. Dadurch entsteht ein geschlossener Kreis für den elektrischen Strom, der bei der Erwärmung Eisen - Neusilber erzeugt wird. Man bringt man im Innern der mittleren Kammer der COLLANDERSchen Anordnung die Lötstelle an verschiedene Stellen, was wegen der geringen Dicke des Drahtes mit grosser Genauigkeit möglich ist, und erhält dann bei einseitiger Erwärmung der Anordnung verschiedene Ausschläge bei der Tangentenbusssole. Diese Ausschläge dienen zur Berechnung der Temperaturen. Das kalte Bad hatte beim Versuche die mit dem Thermometer gemessene Temperatur 23° C., das warme Bad hatte die Temperatur 48° C. Brachte man die Lötstelle in das kalte Bad, so erhielt man den Ausschlag 243 mm, beim warmen Bad erhielt man Ausschlag 298 mm. Auf $48^\circ - 23^\circ = 25^\circ$ C. kommen also $298 - 243 = 55$ Teilstriche der Skala, d.h. 1 Teilstrich entspricht $25:55 = 0,45^\circ$.

Bei unserm Versuch ergab sich, wenn man die zu den Teilstrichzahlen zugehörigen Temperaturen graphisch berechnet:

Temperatur in 0,5 cm Entfernung vom kalten Bad:	245 Teilstriche	=	$23,9^\circ$	Cels.
" " 2,2 " " " "	251 " "	=	$26,7^\circ$	"
" " 3,8 " " " "	261 " "	=	$31,3^\circ$	"
" " 5,5 " " " "	281 " "	=	$40,3^\circ$	"

In der 1. Wurzelreihe ¹⁾ bei 25° Cels. ist das Temperatur-Gefälle = $1,5^\circ$ pro cm.

" " 2. " " 29° " " " " = $2,9^\circ$ " "

" " 3. " " 36° " " " " = $5,3^\circ$ " "

Bei unsern Versuchen wurden die Wurzelkrümmungen durch Temperaturgefälle von $1,5^\circ$ bis $5,3^\circ$ pro cm hervorgerufen. Bei einer Wurzeldicke von 1,5 mm wird also die Krümmung in Sägespänen durch Temperatur-Differenzen von $0,2^\circ$ bis $0,8^\circ$ auf beiden Wurzelseiten hervorgerufen. - COLLANDER (6) fand als kleinsten noch deutlich wirkenden Temperatur-Abfall bei Wurzeln von Erbsen $0,2^\circ$.

III. VERSUCHE IN TROCKENEN SÄGSPÄNEN UND IN TROCKENEM KIESELGUR.

Um zu erkennen, ob bei einseitiger Erwärmung von Wurzeln von Schnabelerbsen auch ohne Bodenfeuchtigkeit Krümmungen stattfinden, wurden die Versuche so gemacht, dass an Stelle der feuchten Sägespäne in der mittleren Kammer der Versuchs-Anordnung trockene Sägespäne genommen wurden.

Das kalte Bad der Versuchs-Anordnung hatte die Temperatur 18° Cels., das warme Bad hatte die Temperatur 47° Cels.

1) Bei den folgenden Versuchen wurde in 3 Wurzelreihen beobachtet (s. Fig. 2).

Man setzt in die Sägespäne Wurzeln ein, die in 2 Reihen mit Abstand 2 cm angeordnet sind (s. Fig. 1). In der ersten Reihe herrscht die Temperatur 20° , in der zweiten die Temperatur 30° .

Nach 10 Minuten waren von 11 Wurzeln der 1. Reihe 6 negativ gekrümmt, 4 Wurzeln hatten die Krümmung 0 und 1 Wurzel hatte positive Krümmung.

Nach 15 Minuten waren von 12 Wurzeln der 2. Reihe 7 negativ gekrümmt und 5 Wurzeln hatten die Krümmung 0.

Die Wurzeln, welche 15 Minuten lang sich in trockenen Sägespänen befanden, wurden nicht geschädigt, da nach Herausnahme der Wurzeln aus den Sägespänen noch geotropische Krümmungen induziert werden konnten.

Die Versuche zeigen also, dass bei einseitiger Erwärmung auch negative Krümmungen auftreten, wenn trockene Sägespäne benützt werden.

Die Verschiedenheit der Bodenfeuchtigkeit auf beiden Seiten der Wurzeln kann bei Entstehung der Krümmungen nicht massgebend sein, aber es kann doch infolge von verschiedener Luftfeuchtigkeit auf beiden Seiten der Wurzeln Krümmung erfolgen.

Quantitative Werte für negative Wurzelkrümmungen bei Benützung von trockenen Sägespänen.

Die quantitativen Werte (Mittelwerte) für die negativen Krümmungen von Wurzeln von *Lupinus albus*, die in trockenen Sägespänen waren, ergaben sich bei einseitiger Erwärmung aus folgenden Versuchsreihen:

COLLANDERsche Anordnung. In der mittleren Kammer sind trockene Sägespäne.

a. Temperatur des kalten Bades: 15° C.

" " warmen " 46° C.

Halbstündige einseitige Erwärmung.

Temperatur in 1. Reihe (siehe Figur 2):	20° Cels.	Krümmung =	$-4,2^{\circ}$.
" " 2. "	28° "	"	$-9,0^{\circ}$.
" " 3. "	38° "	"	$-3,2^{\circ}$.

b. Temperatur des kalten Bades: 14° C.

" " warmen " 46° C.

Halbstündige einseitige Erwärmung.

Temperatur in 1. Reihe:	19° Cels.	Krümmung =	$-6,8^{\circ}$.
" " 2. "	27° "	"	$-7,2^{\circ}$.
" " 3. "	38° "	"	0° .

c. Temperatur des kalten Bades: 14° C.

" " warmen Bades 46° C.

7 Wurzeln befanden sich in der 2. Reihe (s. Fig. 2).

+ Viertelstündige einseitige Erwärmung.

Temperatur in 2. Reihe: 27° C. Krümmung = 0° .

++ Die einseitige Erwärmung dauert 20 Minuten.

Temperatur in 2. Reihe: 27° C. Krümmung = $-4,9^{\circ}$.

Die Reaktionszeit für die durch einseitige Erwärmung erzeugten negativen Krümmungen bei *Lupinus albus*-Wurzeln, die sich in trockenen Sägespänen befinden, beträgt bei 27° C. und Temperatur-Gefälle 5° pro cm = 20 Minuten.

Quantitative Werte für negative Wurzelkrümmungen bei Benützung von trockenem Kieselgur.

Man kann vermuten, dass auch bei Benützung von trockenen Sägespänen doch noch neben der Luft-Feuchtigkeit in den Sägespänen Feuchtigkeit vorhanden ist. Um sicher zu sein, dass keine Feuchtigkeit des Materials vorhanden ist, nimmt man trockenen Kieselgur. Man findet auch hier Wurzelkrümmungen und ist daher sicher, dass die Bodenfeuchtigkeit bei Krümmungs-Erscheinungen nicht massgebend ist.

COLLANDERs Anordnung. In der mittleren Kammer ist trockener Kieselgur.

Wurzeln von *Lupinus albus* werden verwendet.

Temperatur des kalten Bades: 14° C.

" " warmen " 46° C.

Halbstündige einseitige Erwärmung.

Temperatur in 1. Reihe (s. Fig. 2): 18° Cels. Krümmung = -8° .
 " " 2. " 28° " " = -11° .
 " " 3. " 39° " " = 0° .

Trockener Kieselgur wirkt wie trockenes Sägemehl. Die auftretenden Krümmungen sind also nicht infolge von verschiedener Bodenfeuchtigkeit auf beiden Seiten einer Wurzel entstanden.

IV. ÜBERZUG DER WURZELN MIT OLIVENÖL ODER MIT COLLODIUMKAPPEN

Um nun auch den Einfluss festzustellen, den die Feuchtigkeit der Luft bei Krümmung der Wurzel hat, wurden die Wurzeln mit einer wasser-undurchlässigen Schicht überzogen. Dann konnte Luftfeuchtigkeit nicht mehr auf die Wurzeln einwirken.

Wachstumsversuche bei Wurzeln mit verschiedenen wasser-undurchlässigen Schichten ergaben in der feuchten Kammer folgende Resultate.

a) Durchschnittlicher Zuwachs beim Wachstum von 8 Wurzeln nach 16 h.		Zuwachs nach weiteren 24 h.
Wurzel ohne Überzug:	1,3 cm	1,4 cm
Wurzel mit Paraffinöl-Schicht	0,9 cm	1,0 cm
Wurzel mit Vaseline-schicht	1,1 cm	0,6 cm
b) Durchschnittlicher Zuwachs beim Wachstum von 8 Wurzeln nach 18 h.		Zuwachs nach weiteren 24 h.
Wurzel ohne Überzug	1,35 cm	1,0
Wurzel mit Olivenölschicht	1,3 cm	0,9
Wurzel mit Lanolinschicht	1,4 cm	1,0

Der Lanolin-Überzug zerriss beim Wachstum, sodass die Wurzel schliesslich nicht mehr von Lanolin bedeckt war. Lanolin ist also als Überzug der Wurzel ungeeignet, obwohl kein Wachstumsunterschied gegenüber unbedeckten Wurzeln vorhanden ist.

Von den übrigen Wasser-undurchlässigen Substanzen ist Olivenöl so beschaffen, dass keine Veränderung des Wachstums gegenüber unbedeckten Wurzeln stattfindet. Es kann daher ein Olivenöl-Überzug verwendet werden, um die Wirkung einseitiger Erwärmung bei Ausschluss der Luftfeuchtigkeit festzustellen.

Ein Versuch mit Olivenöl-Überzug bei Wurzeln von *Lupinus albus* ergab bei einseitiger Erwärmung, dass die Wurzeln keine Krümmung zeigten.

COLLANERs Anordnung. In der mittleren Kammer sind trockene Sägespäne.

Mit Olivenöl überzogene Wurzeln werden verwendet.

Temperatur des kalten Bades: 17° Cels.

" " warmen " 45° "

Halbstündige einseitige Erwärmung.

Temperatur in 1. Reihe (siehe Figur 2): 21° C. 4 Wurzeln hatten die Krümmung 0, 1 Wurzel war schwach positiv gekrümmt.

Temperatur in 2. Reihe: 30° C. - 4 Wurzeln hatten Krümmung 0, 1 war schwach negativ gekrümmt.

Temperatur in Reihe 3: 37° C. - 5 Wurzeln hatten die Krümmung 0.

Diese Versuche ergaben, dass einseitige Erwärmung die in trockenen Sägespänen befindlichen Wurzeln fast nicht beeinflusst, wenn dafür gesorgt ist, dass einseitige Wirkung von Luft-Feuchtigkeit ausgeschlossen ist. Die vereinzelt auftretenden schwachen Krümmungen sind vermutlich thermotropisch (siehe VIII).

Vollständige Ausschaltung des Einflusses von Luftfeuchtigkeit auf Wurzeln.

Um noch sicherer den Einfluss der Luft-Feuchtigkeit auszuschalten, wurden die Wurzeln von *Lupinus albus* statt mit Olivenöl mit Collodium-Kappen bedeckt. Dabei wurde besonders darauf geachtet, dass die benützten Collodium-Kappen trocken waren.

COLLANDERs Anordnung. In der mittleren Kammer ist trockener Kieselgur. Mit Collodium-Kappen versehene Wurzeln von *Lupinus albus* werden verwendet.

Temperatur des kalten Bades: 14° Cels.

" " warmen " 45° Cels.

Halbstündige einseitige Erwärmung.

Temperatur in 1. Reihe: 19° C. - 4 Wurzeln hatten die Krümmung 0.

" " 2. " 29° C - 3 " " " " 0, eine Wurzel war schwach positiv gekrümmt ¹⁾.

Temperatur in 3. Reihe: 39° C. - 1 Wurzel hatte die Krümmung 0, 1 Wurzel war schwach positiv gekrümmt ¹⁾.

Ist die Einwirkung der Luft-Feuchtigkeit auf die Wurzeln mit Sicherheit ausgeschaltet, so findet bei einseitiger Erwärmung keine Krümmung der Wurzeln statt. Man muss daher annehmen, dass die negativen Wurzelkrümmungen in den Versuchen v. COLLANDER und SIERP nicht thermotropisch sind, sondern durch einseitige Feuchtigkeit erzeugt werden.

V. GEEIGNETE LÄNGE DER WURZELN.

Es wurde untersucht, bei welcher Länge der Wurzeln von *Lupinus albus* bei einseitiger Erwärmung in bestimmter Zeit eine starke Krümmung erfolgt.

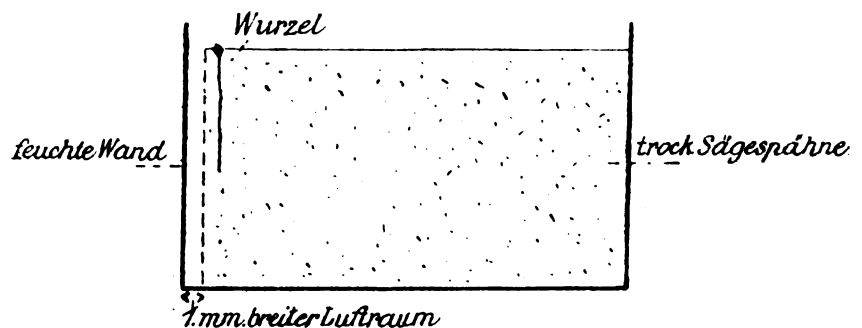
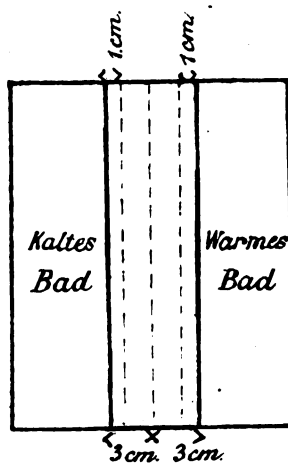


Fig. 2. - Punktierter Linien von links nach r.:
1., 2., 3. Wurzelreihe.

Fig. 3.

COLLANDERs Anordnung. In der mittleren Kammer sind trockene Sägespäne.

a) Temperatur des kalten Bades: 15° C.

" " warmen " 45° C.

In der Mitte der mittleren Kammer war die Temperatur 28° C. Die dort befindlichen Wurzeln waren 2,8 bis 3,5 cm lang. Nach einseitiger Erwärmung, die $1/2$ h. dauerte, war die Krümmung der Wurzeln = $-9,6^{\circ}$.

b) Temperatur des kalten Bades: 16° C.

" " warmen " 46° C.

In der Mitte der mittleren Kammer war die Temperatur = 28° C. Die dort befind-

¹⁾ Die schwachen positiven Krümmungen sind thermotropisch.

lichen Wurzeln waren 1,9 bis 2,2 cm lang. Nach einseitiger Erwärmung, die $1/2$ h dauerte, war die Krümmung der Wurzeln = $-2,6^\circ$.

c) Temperatur des kalten Bades: 15°C .

" " warmen " 46°C .

In der Mitte der mittleren Kammer war die Temperatur = 29°C . - Die Hälfte d. dort befindlichen Wurzeln war 2,1 - 2,4 cm lang und zeigte nach halbstündiger einseitiger Erwärmung die Krümmung = $-4,3^\circ$. Die andere Hälfte war 3,0 - 3,3 cm lang und zeigte nach halbstündiger einseitiger Erwärmung die Krümmung = $-0,2^\circ$.

Wurzeln mit Längen 3,0 - 3,5 cm sind für die Versuche besonders geeignet.

VI. NEGATIVER HYDROTROPISMUS ODER SACHS-SCHE KRÜMMUNGEN.

Einer senkrechten feuchten Wand gegenüber befindet sich in 1 mm Abstand eine Gazeschicht. Hinter der Gazeschicht sind trockene Sägespäne (siehe Fig. 3). *Lupinus albus*-Wurzeln wurden an der Gazeschicht senkrecht in die Sägespäne gesteckt. Nach halbstündiger Einwirkung von einseitiger Feuchtigkeit bei der Temperatur 21°C zeigten die Wurzeln die Krümmung = -6° . Diese durch einseitige Feuchtigkeit erzeugten Wurzelkrümmungen sind negativ hydrotropisch oder SACHSsche Krümmungen (Beobachtung bei 13 Wurzeln).

VII. POSITIVE KRÜMMUNGEN, WELCHE BEI EINSEITIGER ERWÄRMUNG UND POSITIVE KRÜMMUNGEN, WELCHE BEI EINSEITIGER FEUCHTIGKEIT ERZEUGT WERDEN.

a) Um auch positive Krümmungen bei einseitiger Erwärmung zu erhalten, wurde bei COLLANDERS Anordnung längere Zeit wie in den früheren Versuchen einseitig erwärmt. Ferner wurde das kalte Bad aus Eisstücken hergestellt; das warme Bad hatte die Temperatur 37°C .

In der mittleren Kammer der COLLANDERSchen Anordnung waren feuchte Sägespäne. Wurzeln von *Lupinus albus* wurden verwendet. Siebenstündige einseitige Erwärmung.

Temperatur in der 1. Reihe (s. Figur 2) = 10°C . Krümmung = -8° . Temperatur in der 2. Reihe = 22°C . Krümmung = $+4^\circ$. Temperatur in der 3. Reihe = 30°C . Krümmung = $+10^\circ$.

b) Es wurde dieselbe Versuchsanordnung wie bei VI. verwendet. Nach sechsstündiger Einwirkung von einseitiger Feuchtigkeit bei Temperatur 17°C zeigten die Wurzeln von *Lupinus albus* die Krümmung = $+2^\circ$. (Es wurden 10 Wurzeln beobachtet.)

Nach 6-stündiger einseitiger Erwärmung ergab sich bei einem andern Versuch für 6 Wurzeln in der ersten Reihe Krümmung = -9° und in der 2. Reihe Krümmung = $+2^\circ$. Die Temperaturen waren in der 1. Reihe = 9° und in der 2. Reihe = 20°C .

Diese durch einseitige Feuchtigkeit erzeugten Wurzelkrümmungen sind positiv hydrotropisch.

Aus a) folgt, dass nach 6-stündiger Einwirkung von einseitiger Erwärmung bei der Temperatur 20°C die Wurzeln die Krümmung = $+2^\circ$ haben.

Aus III., VI. und VII ergibt sich, dass sowohl bei durch einseitige Erwärmung erzeugten Krümmungen wie bei durch einseitige Feuchtigkeit erzeugten Krümmungen die Wurzelkrümmungen nach kürzerer Zeit negativ und nach längerer Zeit allmählich positiv werden. Auch der Grössenordnung nach sind nach gleicher Zeit bei gleicher Temperatur die Wurzelkrümmungen gleich gross bei durch einseitige Erwärmung erzeugten Krümmungen und bei durch einseitige Feuchtigkeit erzeugten Krümmungen.

Dies bestätigt die frühere Vermutung, dass die in Sägespänen durch einseitige Erwärmung erzeugten Wurzelkrümmungen durch einseitige Feuchtigkeit erzeugt werden, also nicht thermotropisch sind (siehe IV).

Die negativen Krümmungen bei einseitiger Erwärmung sind vielleicht SACHSsche Krümmungen oder vielleicht auch negativ hydrotropische Krümmungen. Die positiven Krümmungen bei einseitiger Erwärmung sind vielleicht positiv hydrotropisch oder vielleicht auch durch Schädigung hervorgerufen.

Als Reaktionszeit für positiv hydrotropische Krümmungen der *Lupinus albus*-Wurzeln bei 18°C und Temperaturgefälle 6° pro cm ergibt sich 5 Stunden, da nach 4

Stunden die Krümmungen negativ, nach 6 Stunden positiv sind (Beobachtung bei 15 Wurzeln).

Ausschaltung der Feuchtigkeit durch Benützung von Collodium-Kappen ergab nach sechsstündiger einseitiger Erwärmung in COLLANDERS Anordnung bei fast allen Wurzeln Krümmung = 0° .

Dabei waren in der mittleren Kammer feuchte Sägespäne, ferner war die Temperatur des kalten Bades 0° C., die Temperatur des warmen Bades 36° C.

Temperatur in 1. Reihe 10° C. 3 Wurzeln hatten die Krümmung = 0° .

" " 2. " 21° 3 " " " " 0°

" " 3. " 30° 2 " " " " 0° , 1 Wurzel war positiv gekrümmt¹⁾.

Damit ist nicht nur bei durch einseitige Erwärmung hervorgerufenen negativen Krümmungen in Sägespänen, sondern auch bei positiven Krümmungen bewiesen, dass es nicht thermotropische Krümmungen sind (s. IV).

7 von den 9 Versuchswurzeln zeigten, nachdem man sie nach dem Erwärmungsversuch mehrere Stunden lang wagrecht in feuchte Sägespäne legte, positiv geotropische Krümmungen. Die Collodium-Kappe schädigt also die Wurzel nicht.

VIII. THERMOTROPISCHE KRÜMMUNGEN.

Es wurde wieder COLLANDERS Anordnung verwendet. In der mittleren Kammer waren

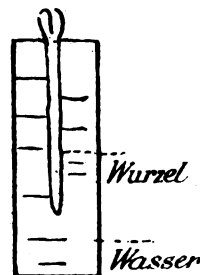


Fig. 4.

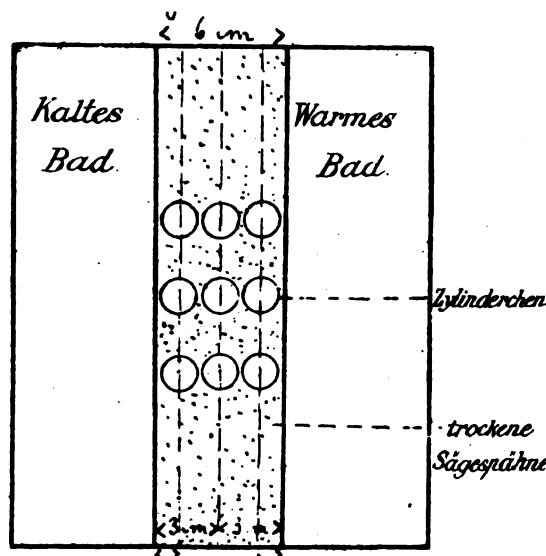


Fig. 5.

trockene Sägespäne. Um hydrotropische Krümmungen auszuschalten, wurden die Wurzeln von Schnabelerbse in mit Wasser gefüllte Glaszylinderchen von 1 cm Durchmesser und von 5 cm Höhe gesteckt. Die Zylinderchen wurden mit Papier bedeckt, so dass die Wurzeln befestigt werden konnten (s. Fig. 4). Man brachte die Zylinderchen mit den Wurzeln so in die Sägespäne der mitt-

leren Kammer der COLLANDERSchen Anordnung, dass 3 Reihen entstanden (Fig. 5).

Temperatur des kalten Bades: 16° Cels.

" " warmen " 45° "

a). Halbstündige einseitige Erwärmung (Beobachtung bei 18 Wurzeln).

Temperatur in 1. Reihe: 20° C. Krümmung = $+3^{\circ}$.

" " 2. " 29° " $+5^{\circ}$.

" " 3. " 37° " $+1^{\circ}$.

b). Fünfstündige einseitige Erwärmung (Beobachtung bei 9 Wurzeln).

1) Nach den Untersuchungen des 2. Abschnittes sind wegen des Temperaturgefälles in den Sägespänen thermotropische Krümmungen zu erwarten. Wenn daher infolge von Benützung der Collodium-Kappen hydrotropische Krümmungen ausgeschlossen sind, so können die dann noch auftretenden schwachen Krümmungen nur thermotropisch sein (s. auch IV). Diese thermotropischen Krümmungen sind im allgemeinen positiv, was mit den Ergebnissen des VIII. Abschnittes übereinstimmt.

Temperatur in 1. Reihe:	20° Cels.	Krümmung = + 14° .
" " 2. "	29° "	" + 10° .
" " 3. "	37° "	" + 37° .

Die Versuche zeigen, dass Krümmungen durch einseitige Erwärmung bei Wurzeln entstehen, ohne dass Feuchtigkeits-Differenzen auf beiden Seiten der Wurzeln vorhanden sind. Es gibt also rein thermotropische Krümmungen bei Wurzeln.

Die verwendeten Wurzeln zeigten nach 5 Stunden einen Zuwachs von 3,3 mm, nach 1 Stunde also 0,7 mm.

Nach IV. gilt für den in einer feuchten Kammer erfolgenden Zuwachs nach 1 h. der Wert 13:16 mm = 0,8 mm. Das Wachstum der thermotropisch gekrümmten Wurzeln ist daher normal; im Gegensatz dazu steht, dass die bei einseitiger Erwärmung in feuchten Sägspänen gekrümmten Wurzeln fast kein Wachstum zeigen.

Thermotropische Krümmungen bei grosser Temperaturdifferenz.

Da im allgemeinen bei geotropischen Krümmungen der Krümmungswinkel weit grösser ist als bei den hydrotropischen und den thermotropischen Krümmungen, so wurde versucht, durch Steigerung des Wärmeunterschieds auf beiden Seiten der Wurzeln stärkere Krümmungen zu erzielen.

Die COLLANDERSche Anordnung wurde so abgeändert, dass die mittlere Abteilung nur 1 cm breit wurde. Dann hatten die mit Wasser gefüllten Zylinderchen gerade noch Platz. Man brachte Wurzeln von Schnabelerbse in die Zylinderchen.

Temperatur des kalten Bads:	21° Cels.
" " warmen "	46° "

Dreistündige einseitige Erwärmung.

Temperatur in der Wurzelreihe: 27° Cels. Krümmung: + 11°. Bei den Wurzeln entstehen trotz der grossen Temperatur-Differenz von 25° auf beiden Seiten der Zylinderchen nur Krümmungen von derselben Grössenordnung wie bei den früheren Versuchen mit geringeren Temperatur-Verschiedenheiten.

Richtung der thermotropischen Wurzelkrümmungen.

Bei den thermotropischen Versuchen erhielten wir folgende Krümmungswinkel: + 3°, + 5°, + 1°, + 14°, + 10°, + 37°, + 14°, + 19°, + 8°, + 14°, + 11°, + 7°, + 11°.

Die thermotropischen Wurzelkrümmungen sind positiv.

Da von COLLANDER (7) nur positive thermotropische Krümmungen bei Sprossen beobachtet wurden, so ist das Ergebnis bei Wurzeln damit in Übereinstimmung.

Alle thermotropischen Krümmungen sind also positiv.

Wachstum von in Wasser befindlichen Wurzeln.

Um die Wachstumsverhältnisse für Wurzeln, welche von Wasser umgeben sind, zu prüfen, wurden 7 Wurzeln von Schnabelerbse mit Tuschemarken versehen. Dieselben wurden von der Wurzelspitze ausgehend in Abständen von je 2 mm bis 1 cm Entfernung von der Wurzelspitze angebracht. Dadurch entstanden bei jeder Wurzel fünf Zonen.

Die Wurzeln wurden hierauf senkrecht in Wasser gesetzt und blieben während des Versuchs im Dunkelzimmer. Sie zeigten nach 22 Stunden bei 22° Zimmertemperatur einen durchschnittlichen Zuwachs von 7 mm. Die ursprünglich 2 mm langen Wurzelzonen waren länger geworden. Die Messungen der kleinen Zonenlängen erfolgten mit dem Nonius. Auf die einzelnen Wurzelzonen verteilte sich das Wachstum folgendermassen:

Die 1. Zone zeigte nach 22 Stunden den Zuwachs
(0+0+0+1+3+4+2) : 7 mm = 10 : 7 mm = 1,4 mm.

Die zweite Zone zeigte nach 22 Stunden den Zuwachs
(1+1+6+4+6+5+1) : 7 mm = 24 : 7 mm = 3,4 mm.

Die dritte Zone zeigte nach 22 Stunden den Zuwachs
(0,5+1+1+1+1+1) : 7 mm = 6,5 : 7 mm = 0,9 mm.

Die vierte Zone zeigte nach 22 Stunden den Zuwachs

$$(0,5+0+0+0+0+1+1) : 7 \text{ mm} = 2,5 : 7 \text{ mm} = 0,4 \text{ mm.}$$

Die fünfte Zone zeigte nach 22 Stunden den Zuwachs 0 mm.

Das Wachstum der im Wasser befindlichen Wurzel an der Spitze hört also am Ende der 4. Zone auf. Das Haupt-Wachstum findet in der 2. Zone statt.

Die Krümmungsmechanik bei thermotropischen Krümmungen.

Um den Zusammenhang der Krümmungs-Erscheinungen bei einseitiger Erwärmung von in Wasser befindlichen Wurzeln mit dem Wachstum festzustellen, wurden an den Wurzeln wieder im Abstand von 2 mm Tuschemarken angebracht. Man benützte COLLANDERsche Anordnung und mit Wasser gefüllte Zylinderchen in trockenen Sägespänen der mittleren Kammer. In den Zylinderchen befanden sich Wurzeln von Schnabelerb-
sen (siehe Fig. 5).

a. Temperatur des kalten Bades: 16° Cels.

" " warmen " 46° "

Vierstündige einseitige Erwärmung.

Temperatur in 1. Reihe: 19° Cels. Krümmung = +14°.

" " 2. " 28° " " +19°.

" " 3. " 37° " " + 8°.

Für die 3 Wurzeln der 1. Reihe ergab sich am Ende des Versuchs:

1. Wurzel: In der 5. Zone ist die Wurzel gekrümmt, und zwar ist die Zone auf der konvexen Seite 2,2 mm, auf der konkaven 1,8 mm lang.

2. Wurzel: In der 3. Zone ist die Wurzel gekrümmt, und zwar ist die Zone auf der konvexen Seite 2,5 mm, auf der konkaven 2,1 mm lang.

3. Wurzel: In der 3. Zone ist die Wurzel gekrümmt, und zwar ist die Zone auf der konvexen Seite 2,1 mm, auf der konkaven 1,8 mm lang.

Für die zweite Wurzel der 3. Reihe ergab sich am Ende des Versuchs:

In der 3. und 4. Zone ist die Wurzel gekrümmt. Die konvexe Seite der 3. und 4. Zone ist 4,8 mm lang; die konkave Seite der 3. und 4. Zone ist 4,5 mm lang.

b. Temperatur des kalten Bades: 18° Cels.

" " warmen " 46° "

Vierstündige einseitige Erwärmung.

Temperatur in 1. Reihe: 22° Cels. Krümmung = + 14°.

" " 2. " 28° " " + 11°.

" " 3. " 40° " " + 7°.

Für die drei Wurzeln der 1. Reihe ergab sich am Ende des Versuchs:

1. Wurzel: In der 3. und 4. Zone ist die Wurzel gekrümmt. Die konvexe Seite der 3. und 4. Zone ist 4,7 mm lang; die konkave Seite der 3. und 4. Zone ist 4,0 mm lang.

2. Wurzel: In der 4. und 5. Zone ist die Wurzel gekrümmt. Die konvexe Seite der 4. und 5. Zone ist 4,5 mm, die konkave der 4. und 5. Zone ist 4,0 mm lang.

3. Wurzel: In der 3. Zone ist die Wurzel gekrümmt. Die konvexe Seite der 3. Zone ist 2,2 mm, die konkave Seite der 3. Zone ist 1,9 mm lang.

Für die 3 Wurzeln der 2. Reihe ergab sich am Ende des Versuchs:

1. Wurzel: Krümmung bei der 5. Marke.

2. " " " " 4. "

3. " " " " 5. "

Die Beobachtungen ergeben, dass die thermotropischen Krümmungen der Wurzeln in der 3., 4. oder 5. Zone, d.h. im wachsenden Teile der Wurzel nahe der Wachstumsgrenze stattfinden.

Bei den thermotropischen Krümmungen spielen im Gegensatz zu den früheren Krümmungsvorgängen in Sägespänen Wachstums-Verschiedenheiten auf beiden Seiten der Wurzel eine Rolle. Auf der konvexen Seite ist nach dem Krümmungs-Vorgang eine grössere Wachstums-Zunahme festzustellen als auf der konkaven Seite, wo teilweise sogar eine Kontraktion beobachtbar ist.

Die in Sägespänen bei einseitiger Erwärmung und bei Ausschaltung der Luft-Feuchtigkeit manchmal auftretenden schwachen Wurzelkrümmungen müssen thermotro-

pisch sein (s. IV. und VI.). Da aber die in Sägespänen einseitig erwärmten Wurzeln kaum Wachstum zeigten, so kann es sein, dass nicht deutlich thermotropische Wurzelkrümmungen bei Ausschaltung der Luft-Feuchtigkeit in Sägespänen auftreten. Die manchmal auch in Sägespänen auftretenden thermotropischen Krümmungen können also hauptsächlich nur Turgor-Verschiedenheiten und nicht Wachstums-Verschiedenheiten ihre Entstehung verdanken.

Es ist daher anzunehmen, dass bei den thermotropischen Krümmungen der in Wasser befindlichen Wurzeln fast nur Wachstum und fast kein Turgor wirksam ist.

Berechnung der thermotropischen Wurzelkrümmungen.

Mit Hilfe der Dicke der Wurzel 1,5 mm und der Längen-Änderungen der Zone an der Krümmungs-Stelle lässt sich der Winkel berechnen, der die Wurzelkrümmung angibt. Für die thermotropisch gekrümmten Wurzeln der 1. Reihe ergibt die Berechnung 15° , die Messung ergab 14° . Dieser gemessene Wert stimmt mit dem berechneten Wert überein, wodurch die Richtigkeit der Krümmungs-Messungen bestätigt ist.

Einseitige Erwärmung von Wurzeln, die von einer Luftschicht umgeben sind.

Bei den bisherigen Untersuchungen handelt es sich um einseitige Erwärmung v. Wurzeln, die entweder von einer Sägemehl-Schicht oder von einer Wasserschicht umgeben sind. Es soll nun untersucht werden, wie die einseitige Erwärmung auf mit einer Luftschicht versehene Wurzeln wirkt.

Man füllte daher die Zylinderchen bis zu 1 cm über dem Grund mit Wasser, so dass die Wurzeln der Schnabelerbsen in den Zylinderchen vom Wasser nicht bedeckt sind. Brachte man die Zylinderchen in die Sägespäne der mittleren Kammer der COLLANDERSchen Anordnung, so erhielt man folgende Werte:

a. Temperatur des kalten Bades: 17° Cels.
 " " warmen " 45° "

Halbstündige einseitige Erwärmung.

Temperatur in 1. Reihe	20° Cels.	Krümmung	- 11° .
" " 2. "	28° "	"	- 17° .
" " 3. "	36° "	"	- 23° .

b. Temperatur des kalten Bades: 16° Cels.
 " " warmen " 46° "

Einstündige einseitige Erwärmung.

Temperatur in 1. Reihe	19° Cels.	Krümmung	- 8° .
" " 2. "	29° "	"	- 16° .
" " 3. "	37° "	"	- 10° .

Der Vergleich mit den Versuchen über Krümmungen in Sägespänen zeigt, dass hier auch nach kurzer Zeit negative Krümmungswinkel entstehen, die bei längerer Einwirkung kleiner werden.

Es muss also bei einseitiger Erwärmung einer Wurzel, die im Innern eines Zylinderchens von einer Luftschicht umgeben ist, sich um eine Krümmung handeln, die durch die Verschiedenheit der absoluten Luft-Feuchtigkeit an den verschiedenen warmen Zylinderwänden hervorgerufen ist.

Thermotropismus kommt nicht infrage, weil infolge von Strömungen der Wärme in der Luft auf beiden Seiten der Wurzel die Temperatur-Differenz nicht konstant bleibt und weil strahlende Wärme nicht wirksam ist.

IX. ERMITTLUNG DER TEMPERATURVERHÄLTNISSE IM WASSER DER MITTLEREN KAMMER DER COLLANDER'SCHEN ANORDNUNG.

Um die Temperaturverhältnisse der durch Benützung von Zylinderchen abgeänderten COLLANDERSchen Anordnung genau zu ermitteln, wurden thermo-elektrische Messungen gemacht. Die mittlere Kammer der COLLANDERSchen Anordnung war dabei nur 1 cm breit, sodass die mit Wasser gefüllten Zylinderchen gerade noch Platz hatten.

Man verfährt ähnlich wie in I. Statt der Tangentenbusssole benützt man jedoch, um Ablesungen von grosser Genauigkeit zu erhalten, ein Drehspulen-Galvanometer mit Spiegel-Ablesung. Nach einseitiger Erwärmung der COLLANDERSchen Anordnung bringt man die Lötstelle Eisen-Neusilber an verschiedene Stellen des mit dest. Wasser gefüllten Zylinderchens. Destilliertes Wasser wurde verwendet, um die Bildung eines bei gewöhnlichem Wasser möglichen Elements zu verhindern. Man erhält dann verschiedene Ausschläge des Drehspulen-Galvanometers.

Brachte man die Lötstelle in das kalte Bad, so erhielt man den Ausschlag 115,3 mm, Messung mit dem Thermometer ergab $31,7^{\circ}$. Wurde die Lötstelle in das warme Bad gebracht, so ergab sich der Ausschlag 293 mm bei Temperatur $46,4^{\circ}$.
 $293 \text{ mm} - 115,3 \text{ mm} = 177,7 \text{ mm}$ entsprechen also $46,4^{\circ} - 31,7^{\circ} = 14,7^{\circ}$.

1 mm entspricht $(14,7:177,7)^{\circ} = 0,083^{\circ}$.
 1° entspricht $(177,7:14,7) \text{ mm} = 12,1$. — $1:100^{\circ}$ entspricht $12,1:100 \text{ mm} = 0,1 \text{ mm}$.

Da die Ablesungen bei den Ausschlägen des Galvanometers bis auf 1:10 mm genau sind, so erhält man die Temperatur-Messungen mit einer Genauigkeit von 1:100 $^{\circ}$.

Der Versuch führte zu folgenden Zahlenwerten:

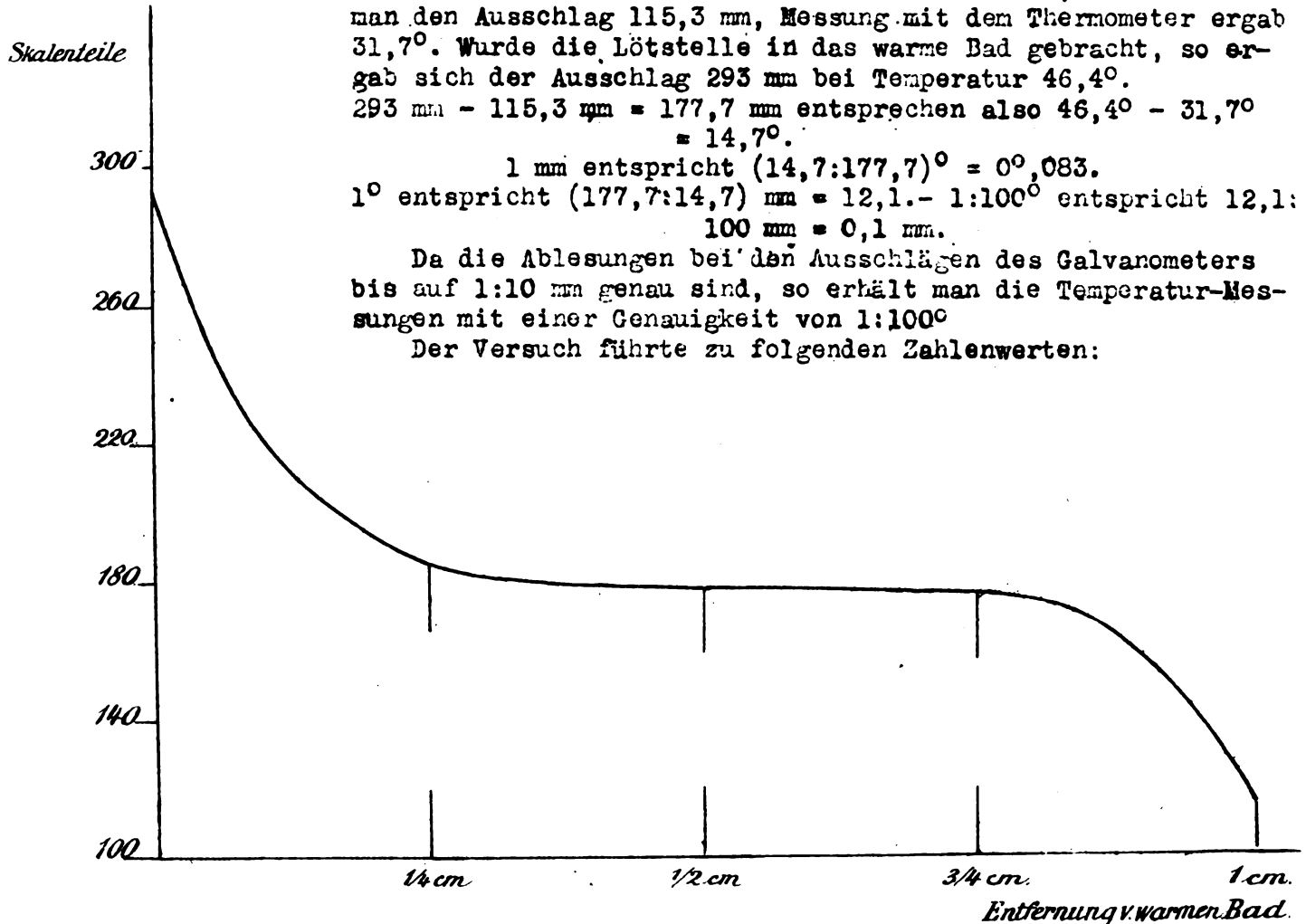


Fig. 6.

Temperatur des kalten Bades 115,3 Skalenteile = $31,7^{\circ}$ Cels.

" im Zylinderchen in der Entfernung $1/4 \text{ cm}$ vom kalten Bad 175 Skt. = $36,71^{\circ}$.

" " " " " " " $1/2 \text{ "}$ " " " 177,9 " $36,90^{\circ}$

" " " " " " " $3/4 \text{ "}$ " warmen " 184,6 " $37,45^{\circ}$

" " warmen Bades = 293 Skalenteile = $46,4^{\circ}$ Cels.

Die graphische Darstellung in Fig. 6 gibt ein Bild über die Temperatur-Verteilung im Wasser des Zylinderchens.

Die thermotropische Wurzelkrümmung kommt in einem mit Wasser gefüllten Zylinderchen von 1 cm Durchmesser dadurch zustande, dass im Wasser des Zylinders ein schwaches Temperatur-Gefälle vorhanden ist.

Bei der thermotropischen Wurzelkrümmung ist Wärme, welche durch Leitung auf der einen Wurzelseite mehr als auf der anderen Seite zugeführt wird, wirksam.

Im Wasser des Zylinders ist bei 0,5 cm Entfernung die Temperatur-Differenz $0,74^{\circ}$. Da die Wurzeln von Erbsen 1,5 mm dick sind, so ist die die Wurzelkrümmung hervorrufende Temperatur-Differenz noch kleiner.

Bei unsern thermotropischen Versuchen werden die Wurzelkrümmungen im Wasser

durch eine auf beide Wurzelseiten wirkende Temperatur-Differenz von höchstens $0^{\circ},22$ hervorgerufen.

Die thermotropischen Krümmungen im Wasser werden also bei unsern Versuchen durch auf beide Wurzelseiten wirkende Temperatur-Differenzen hervorgerufen, die kleiner sind als die kleinste Temperatur-Differenz $0^{\circ},2$, welche bei einseitiger Erwärmung von in feuchten Sägespänen befindlichen Wurzeln zur Krümmung führt (s.I).

SIERP (8) fand, dass Wurzeln in Sägemehl-Brei bei einseitiger Erwärmung der COLLANDERSchen Anordnung keine Krümmung zeigen.

Da auf beiden Seiten der Wurzeln keine Feuchtigkeits-Unterschiede vorhanden sind, so kann man keine hydrotropischen Krümmungen erwarten. Dass auch thermotropische Krümmungen in Sägemehl-Brei nicht auftreten können, ergibt sich aus den folgenden Versuchen.

Man machte die mittlere Kammer der COLLANDERSchen Anordnung so weit, dass ein Becherglas von 7 cm Durchmesser hineingestellt werden konnte. Das Becherglas wurde mit dest. Wasser gefüllt und die COLLANDERSche Anordnung wurde einseitig erwärmt. Dann wurden an verschiedenen Stellen des Wassers im Becherglas die Temperaturen mit Hilfe des Drehspulen-Galvanometers gemessen. Man erhielt folgende Werte für die Wasser-Temperaturen:

Nr. des Vers.	Temperatur in Entfern. 1,5 cm v. kalten Bad. Skalenteile.	Temperatur in Entfern. 3,5 cm v. kalten Bad Skalenteile	Temperatur in Entfern. 5,5 cm v. kalten Bad Skalenteile
1	33,7	22,5	3,8
2	-11,0	1,2	4,1

Sowohl beim 1. wie beim 2. Versuch ergab sich nicht ein Temperaturgefäll, wie es in den 1 cm dicken Zylindern vorhanden war.

Bei der Temperatur-Verteilung des 1. Versuchs müssen die Wurzeln gerade umgekehrt thermotropisch beeinflusst werden wie bei der Temperatur-Verteilung des 2. Versuchs. An den einzelnen Stellen des mit Wasser gefüllten Zylinders von 7 cm Dicke ist ein fortwährendes Schwanken der Temperatur vorhanden, d.h. es finden Wärmeströmungen im Wasser des Zylinders statt. Daher kann bei solch veränderlichen Temperatur-Differenzen keine thermotropische Krümmung bei Wurzeln, die sich im Wasser dieses Zylinders befinden, eintreten. Erst bei kleiner Dicke des Zylinders entsteht ein konstantes Temperatur-Gefälle, es ist zu wenig Platz für Ausbildung von Wärmeströmungen vorhanden und es treten dann thermotropische Wurzelkrümmungen auf.

Die von SIERP benutzte mittlere Kammer der COLLANDERSchen Anordnung war 6 cm breit. Wird diese grosse Kammer mit Sägemehl-Brei oder mit Wasser gefüllt und werden Wurzeln hineingebracht, so treten bei einseitiger Erwärmung Wärmeströmungen auf und es wirkt keine konstante Temperatur-Differenz auf die Wurzeln. Thermotropische Krümmungen können nicht auftreten.

Würde strahlende Wärme wirksam sein können, so hätte man bei einseitiger Erwärmung von in Wasser befindlichen Wurzeln Wurzelkrümmung beobachten müssen, wenn sich auch die Wurzeln in keinem konstanten Temperatur-Gefälle befinden.

Da bei einseitiger Erwärmung die Wurzeln, welche von einer dicken Wasserschicht umgeben sind, ungekrümmt bleiben, so werden thermotropische Krümmungen nur durch geleitete, nicht durch strahlende Wärme erzeugt.

Die von mir ausgeführten Versuche wurden im bot. Institut der Universität Heidelberg gemacht. Die dabei notwendigen thermo-elektrischen Messungen wurden im physikal. Institut der Universität Heidelberg vorgenommen. Herrn Prof. Dr. JOST, der mir bei Ausführung der Versuche ratend und helfend zur Seite stand, bin ich zu grossem Dank verpflichtet. Ferner bin ich Herrn Geheimerat LENARD dafür dankbar, dass er mir die Hilfsmittel des physikalischen Instituts zur Verfügung stellte.

Beiträge zur Kenntnis der Gattung Platanus.

Von EMMA BRETZLER (Frankfurt a. Main).

I. EINLEITUNG UND ALLGEMEINE BETRACHTUNGEN.

Die Platanen nehmen als willkommene Schattenspender im schattenbedürftigen Süden eine hervorragende Stelle ein, wie sie auch jetzt noch in Griechenland dieselbe Rolle wie bei uns die "Dorflinde" spielen. Sie werden schon bei VIRGIL, HERODOT, THEOPHRAST, PLINIUS und andern alten Schriftstellern erwähnt, und auch im Alten Testament singt ihr Lob im Buche der Weisheit. Im Mittelalter findet man vielfache Angaben über sie in den Kräuter-Büchern (7, 27, 35), die zum Teil ganz gute Abbildungen und Beschreibungen von ihnen geben.

Die Arbeiten, die sich wissenschaftlich mit der Gattung *Platanus* beschäftigen, sind in den Abhandlungen von JANKO (18) und JAENNICKE (17) zusammengestellt, den wichtigsten, die wir darüber besitzen. Sie bringen das bis zu ihrer Zeit über die Systematik der Platanen gesagte in kritischer Verarbeitung. Die beiden Forscher betrachten die Platanen vorwiegend vom morphologischen Standpunkt aus. Sie suchen morphologische Unterschiede zwischen den einzelnen *Platanus*-Arten festzustellen und sie dadurch zu charakterisieren. Es handelt sich dabei vor allen Dingen um die 3 bei uns vorkommenden Arten *Platanus occidentalis* L., *Pl. orientalis* L. und *Pl. acerifolia* Willd. Bis zur Entdeckung Amerikas kannte man nur *Pl. orientalis*, als deren Heimat die Balkanländer, Kleinasien und Westasien angegeben werden. *Pl. occidentalis* wurde erst im Jahre 1640 aus Amerika nach Europa eingeführt, wo sie weiterhin neben *Pl. orientalis* vorkam (8, 16, 18). - Ausser diesen beiden Arten finden wir in Mitteleuropa sehr häufig die oben erwähnte 3. Art, *Pl. acerifolia*, über deren Heimat sich die Gelehrten nicht einig sind. Die einen suchen sie in Süd-Italien, andere in Sizilien oder in Lycien. Aber keine dieser Auffassungen ist recht befriedigend, denn nirgendwo ist *Pl. acerifolia* mit Bestimmtheit wild wachsend gefunden worden (1, 16, 17, 19).

Man ist sich überhaupt nicht klar, ob sie als eine echte Art anzusprechen ist, ob sie nicht vielmehr nur eine Varietät von *Pl. orientalis* oder *Pl. occidentalis* darstellt. Zuerst hielt man sie für eine Varietät von *Pl. orientalis*, dann für eine Kulturform von *Pl. occidentalis*. Schliesslich kam JAENNICKE und sagte, *Pl. acerifolia* ist weder eine Varietät von *Pl. orientalis* noch eine Kulturform von *Pl. occidentalis*, sondern ein Bastard zwischen der östlichen und westlichen Art, ohne jedoch einen Beweis dafür zu bringen. Nach ihm hat sich meines Wissens niemand mehr eingehender mit der Stellung von *Pl. acerifolia* zu den beiden andern Formen befasst.

Von den weiteren Untersuchungen über die Platanen sind die von SCHÖNLAND (43) und NICOLOFF (34) am wichtigsten. Ihr Hauptaufgabe erblicken sie in der Behandlung ihrer Entwicklungsgeschichte. Während SCHÖNLAND in der Hauptsache die äussere Entwicklung der Blüten gibt und dabei die innere Ausgestaltung mehr oder weniger unberücksichtigt lässt, verfolgt NICOLOFF die Entwicklung des Embryosackes und zwar an *Pl. orientalis*. SCHÖNLAND untersuchte hauptsächlich *Pl. occidentalis*, verglich jedoch in gewissen Entwicklungsstadien *Pl. orientalis* und *Pl. acerifolia*.

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: 1924

Band/Volume: [7](#)

Autor(en)/Author(s): Treitel Otto

Artikel/Article: [Thermotropismus bei Wurzeln 375-388](#)