

## Über das Wachsthum negativ heliotropischer Wurzeln im Licht und im Finstern.

Von

Francis Darwin.

(Mit 5 Holzschnitten.)

Die gegenwärtig geltende, in der Hauptsache von PYRAME DE CANDOLLE aufgestellte Erklärung der heliotropischen Krümmung kann in Kürze dahin zusammengefasst werden: das Längenwachsthum wird durch Dunkelheit begünstigt, durch Licht verlangsamt; wenn demnach ein wachsendes Organ, etwa ein Internodium, seitlicher Beleuchtung unterworfen ist, so wird die beleuchtete Seite in ihrem Wachsthum verlangsamt, die Schattenseite begünstigt, und folglich krümmt sich das Internodium nach der Seite hin, von welcher das Licht kommt.

Dieser Theorie entsprechend müsste man erwarten, dass ein negativ heliotropisches Organ rascher im Licht als im Finstern wachse. Wenn dagegen gezeigt werden kann, dass ein solches Organ im Licht sein Wachsthum verlangsamt, so ist jene Theorie jedenfalls auf den negativen Heliotropismus und dann sehr wahrscheinlich auch auf den positiven nicht anwendbar.

Die einzigen Erfahrungen, welche Thatsachen zur Entscheidung dieses Problems liefern, sind die von SCHMITZ und MÜLLER-THURGAU. SCHMITZ<sup>1)</sup> zeigte, dass die wachsenden Sprosse von Rhizomorpha negativ heliotropisch sind und doch rascher im Finstern, als im Licht wachsen; er wandte dieses Ergebniss jedoch nicht auf die Theorie des Heliotropismus an. MÜLLER-THURGAU<sup>2)</sup> stellte fest, dass die negativ heliotropischen Wurzeln von Chlorophytum und Monstera Lennei ebenfalls durch das Licht in ihrem Wachsthum gehindert werden, wobei er auf die Unverträglichkeit dieser Thatsache mit der herrschenden Theorie des Heliotropismus hinweist.

Meine Untersuchungen wurden an Keimpflanzen von Sinapis alba

1) Linnæa 4843, pag. 512.

2) Flora 4876, pag. 95.

gemaecht, deren Wurzeln als negativ heliotropisch bekannt sind<sup>1)</sup>. Bei einer Untersuchung über die Beziehung zwischen Wachstum und Heliotropismus muss, wie ersichtlich, ein Material verwendet werden, wo die Region des raschesten Wachstums mit der Region der heliotropischen Krümmung zusammenfällt; dass dies der Fall ist, wurde von WOLKOFF<sup>2)</sup> und MÜLLER-TURGAU<sup>3)</sup> für negativ heliotropische Wurzeln bewiesen. Die Wurzeln von *Sinapis alba* sind nun ein besonders werthvolles Material, weil sie weit empfindlicher für das Licht zu sein scheinen, als die Mehrzahl der negativ heliotropischen Organe. Es mag der Mühe lohnen, ein Beispiel davon zu geben, bei welchem niedrigem Beleuchtungsgrade die Reaction noch eintritt. Ein Gefäß mit Wasser, in welchem die Sinapswurzeln wuchsen, wurde in einen Kasten gestellt, dessen seitliche Öffnung mit Seidenpapier bedeckt war. Der Kasten wurde an ein Nordfenster gestellt, an einem trüben, wolkeigen Tage (24. Juni 11 Uhr), und in wenig mehr als drei Stunden zeigten die Wurzeln deutlich negativen Heliotropismus. Die Wurzeln krümmten sich auch vom Licht weg, wenn die Öffnung des Kastens mit einem Blatt Schreibpapier bedeckt war und der Kasten 6 Schritt vom Nordfenster entfernt stand. Bei einer andern Gelegenheit, am 3. Juli, waren die Keimpflanzen im Dunkelzimmer einige Stunden lang gewachsen, und zeigten keine Krümmung; das Licht wurde dann in dem Grade zugelassen, dass eine Tasenuhr deutlich abgelesen werden konnte, und 6 von 8 Keimwurzeln wurden dabei deutlich negativ heliotropisch.

Zweierlei einfache Methoden wurden angewendet, um den Effect von Licht und Finsterniss auf die Geschwindigkeit des Wachstums festzustellen. Die erste bestand darin, dass die Wurzeln jede 10 mm über der Spitze markirt wurden, worauf man die Längenzunahme nach einer gewissen Anzahl von Stunden durch Messung der Wurzeln mit einer Millimeterskala bestimmte. Die Samen wurden in Sägemehl ausgesät, einige Tage nachher die Keimpflanzen zu gleicher Zeit herausgenommen und, nachdem die Wurzeln 10 mm über der Spitze markirt waren, in Brunnenwasser weiter cultivirt, indem jede Pflanze durch ein Loch im Kork des Wassergefäßes gesteckt und mittelst eines Baumwollenbausehes dort festgehalten wurde. Je eines der angewandten cylindrischen Gläser wurde durch einen Überzug von schwarzem Papier verdunkelt, so dass die Wurzeln allein sich in der Finsterniss befanden, während der übrige Theil der Pflanze dem Licht ausgesetzt blieb und sich also unter denselben Bedingungen befand, wie diejenigen Pflanzen, welche in dem durchleuchteten Glasylinder wuchsen. Um eine von allen Seiten gleichmäßige Beleuchtung zu erzielen, standen beiderlei Gefäße während der Dauer eines Experiments auf einer Scheibe, welche um eine verticale Achse in ungefähr

1) SACHS, Lehrbuch IV. Aufl., pag. 804.

2) SACHS, Lehrbuch IV. Aufl., pag. 840.

3) l. c.

20 Minuten einmal rotirte. — Die Temperaturdifferenz des Wassers in den beiden Gefäßen erreichte niemals einen ganzen Grad, und gewöhnlich war das Wasser in dem verdunkelten Gefäß  $\frac{2}{10}$  oder  $\frac{3}{10}^{\circ}$  C. kälter, als in dem durchleuchteten Gefäß; es ist daher gewiss, dass eine etwaige Begünstigung der Wachstumsgeschwindigkeit im Finstern nicht dieser Temperaturdifferenz zugeschrieben werden kann. Das folgende Beispiel wird genügen, um die Natur des Resultats zu zeigen:

Am 20. Juni wurden 42 Wurzeln 10 mm über der Spitze markirt und, nachdem sie von 12 Uhr Mittags bis 6 Uhr 35 Min. Abends gewachsen waren, gemessen. Die folgenden Zahlen geben die Längenzuwachse während dieser 6 Stunden und 35 Minuten.

Zuwachs für je eine Wurzel in 6 Stunden 35 Minuten

im Licht	im Dunkeln
2,5 mm	7,5
3,5	5,5
3	9
5	8
4	8
3,5	8
2,5	5,5
6	6
4	6
5	5
4,5	4,5
3	7,5
6	6
3	7
7,5	5
4,5	8
4	9,5
3,5	7,5
5	9
6	7
	6
	8,5

Der mittlere Zuwachs der 20 im Licht gewachsenen Wurzeln beträgt 4,3 mm, der mittlere Zuwachs der 22 im Dunkeln gewachsenen Wurzeln ist 7,0 mm, das heißt also, das Wachstum im Licht verhält sich zu dem im Finstern wie 100 : 162,8.

Die Besichtigung obiger Zahlen zeigt, dass in dem Wachstum der Wurzeln eine große Ungleichheit herrscht, sowohl im Licht wie im Finstern. In der That wuchs in drei oder vier Fällen eine Wurzel nicht einmal um 1 mm, während die andern bei demselben Experiment benutzten Wurzeln ganz ordentlich wuchsen. Diese Unregelmäßigkeit scheint davon abzuhängen, dass die Wurzeln so außerordentlich leicht verletzt oder im Wachstum gehindert werden, wenn man sie in die Hand nimmt und abtrocknet;

es war nämlich nöthig, das Eintrocknen des Lackes, mit welchem sie markirt wurden, abzuwarten, bevor die Wurzeln in das Wasser eingetaucht wurden, und obgleich das Hartwerden des Laekes stattfand, während die Wurzeln zwischen nassem Filtrirpapier lagen, so konnten sie daselbst doch nicht für mehr als drei oder vier Minuten gelassen werden, ohne ihr normales Wachsthum zu stören.

Es ist unnöthig, die Einzelheiten aller Experimente hier aufzuzählen, da die Ergebnisse derselben dem oben gegebenen Beispiel durchaus entsprechen. Alles in Allem wurden 207 Wurzeln gemessen, wovon 104 im Licht, 403 im Finstern gewachsen waren. Der mittlere Zuwachs für sämtliche Wurzeln war:

	im Licht		im Finstern
	3,82 mm		6,26 mm
oder 100		zu	163.9

Für die zweite Beobachtungsreihe wurde der von SACUS construirte und von VIXES<sup>1)</sup> bei seiner Untersuchung über das Wachsthum von *Phycomyces* benutzte Apparat verwendet. Das Glasgefäß, in welchem die Wurzeln wuchsen<sup>2)</sup>, stand auf einer horizontalen, von verticaler Achse getragenen Scheibe, welche mittelst eines Uhrwerks in 35 Minuten eine Rotation vollendete. Auf diese Weise werden die Wurzeln allseitig gleich stark beleuchtet, und heliotropische Krümmungen vermieden<sup>3)</sup>. Das Längengewachsthum einer gegebenen Wurzel wird mit einem horizontalen Mikroskop gemessen, in welchem sich ein Ocularmikrometer befindet. Verfinstert wurden die Pflanzen durch einen undurchsichtigen Pappdeckelcylinder, den man über das ganze Gefäß setzte, so dass die Abwechslung von Licht und Finsterniss herbeigeführt werden konnte, ohne das Glasgefäß zu berühren, welches sich in continuirlicher Rotation befand. Auf diese Weise waren also die äußeren Bedingungen für das Wachsthum im Finstern und im Licht möglichst gleichartig<sup>4)</sup>. Bei mehreren dieser Versuche wurde die Temperatur während der Verdunklungsperioden erniedrigt, dadurch dass die übergestülpten Pappdeckelcylinder mit nassem Filtrirpapier umgeben wurden.

Die Resultate waren folgende: in einer gewissen Anzahl von Fällen schien der Gang des Wachsthums nicht beeinflusst durch den Wechsel von Licht und Finsterniss, und in Einem Fall war das Wachsthum sogar deutlich verlangsamt im Finstern; doch beweist die Gesamtheit der Beobach-

1) Arbeiten des bot. Instituts. Bd. II, pag. 134.

2) Es ist besser, die Wurzeln einen oder zwei Tage in Wasser zu cultiviren, bevor sie zu dem Versuch verwendet werden, um so viel als möglich die häufig vorkommenden spontanen Nutationskrümmungen zu vermeiden.

3) Arbeiten des bot. Instituts. Bd. II, pag. 215.

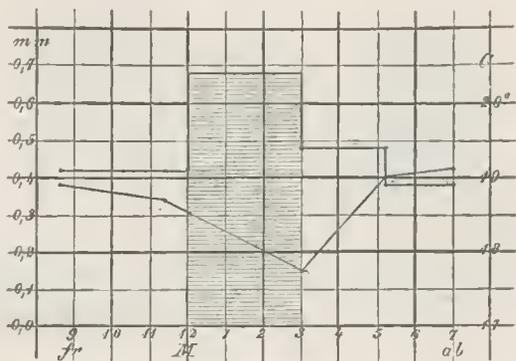
4) Bei mehreren Experimenten wurde ein anderes Mikroskop verwendet, wobei die Pflanzen von der rotirenden Scheibe während der Dunkelperioden weggenommen werden mussten.

tungen mit Sicherheit, dass das Wachstum der Wurzeln durch Licht gehindert, durch Dunkelheit begünstigt ist.

Als Beispiele für die erhaltenen Resultate mögen folgende angeführt werden:

Am 14. Juli 1. Exp.

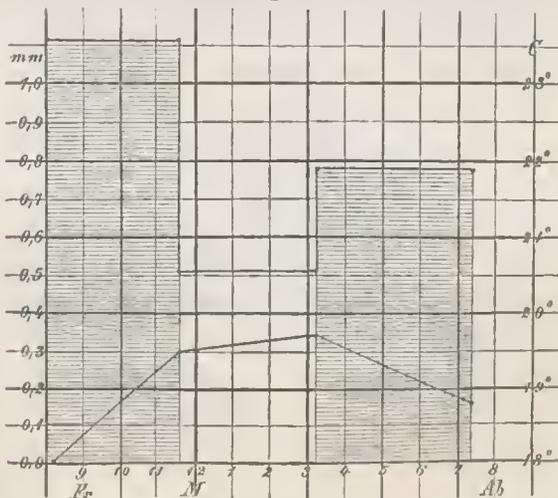
Fig. 1.



Beobachtungsstunden.	Zuwachs in mm.	Temperatur °C.	Bemerkungen.
8 <sup>h</sup> 54 <sup>m</sup> Vm.	—	18,9	Dunkelperiode von Mittag bis 3 Uhr, im Übrigen beleuchtet.
14 24	1,05	18,7	
12	—	—	
3	2,03	17,8	
5 10	1,05	19,0	
7 0	0,70	19,4	

Am 14. Juli 2. Exp.

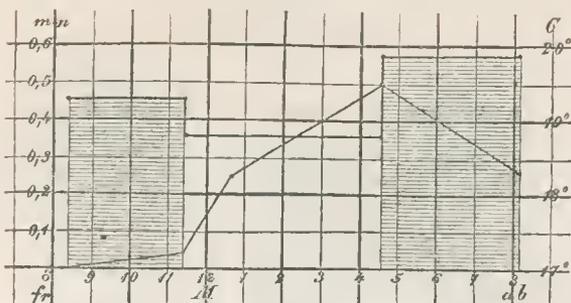
Fig. 2.



8 <sup>h</sup> 13 <sup>m</sup> Vm.	—	18,0	Dunkel von 8 <sup>h</sup> 13 <sup>m</sup> Vorm. bis 11 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup> und dann von 3 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup> Nachm. bis 7 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup> .
11 43	3,9	19,5	
3 17	1,8	19,7	
7 22	3,2	18,8	
	3,2	18,8	

Am 16. Juli 3. Exp.

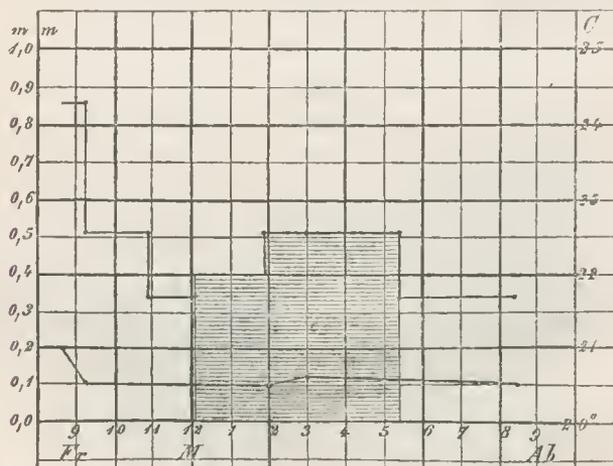
Fig. 3.



Beobachtungs- stunden.	Zuwachs in mm.	Temperatur °C.	Bemerkungen.
8h 25 <sup>m</sup> Vm.	—	17,0	Dunkel von 8h 25 <sup>m</sup> Vorm. bis 11h 20 <sup>m</sup> und dann von 4h 39 <sup>m</sup> Nachm. bis 8h 9 <sup>m</sup> .
11 20	1,3	17,2	
12 30	—	18,2	
4 35—39	1,9	19,5	
8 9	2,0	18,3	

Am 24. Juli 4. Exp.

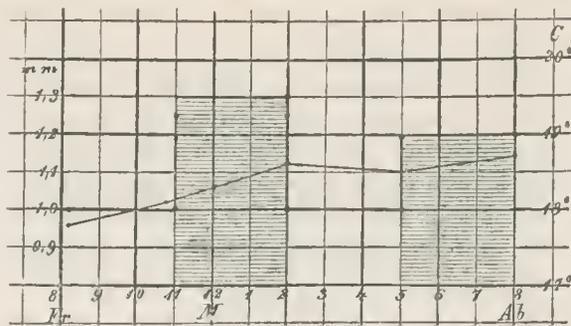
Fig. 4.



8h 38 <sup>m</sup> Vm.	—	21,0	Dunkel von 12h 9 <sup>m</sup> bis 5h 25 <sup>m</sup> .
9 13	0,5	20,5	
10 58	0,9	20,15	
12 8—9	0,4	20,5	
1 56	0,7	20,5	
3 5	0,6	20,5	
5 25—30	1,2	20,6	
6 40	—	—	
8 25 Nm.	1,0	20,5	

Am 4. Juli 5. Exp.

Fig. 5.



Beobachtungsstunden.	Zuwachs in mm.	Temperatur °C.	Bemerkungen.
8h 45m Vin.	—	17,8	Dunkel von 11h 40m Vorm. bis 2h 5m Nachm. und von 5h bis 8h 5m Nachm.
11 10	3,0	18,1	
2 5	3,8	18,6	
5 5	3,0	18,5	
8 5	3,6	18,7	

Die Resultate der obigen fünf Beobachtungsreihen sind hier in gewohnter Art graphisch dargestellt<sup>1)</sup>. In einigen derselben verlaufen die Temperaturcurven in entgegengesetztem Sinne wie die des Wachstums, und beweisen so, dass die beobachteten Veränderungen des letzteren nur durch den Beleuchtungswechsel bewirkt sein können. So correspondirt in Fig. 4 die Dunkelperiode von 12<sup>h</sup> Mittags bis 3<sup>h</sup> mit einem Sinken der Temperatur, wogegen während der vorhergehenden und folgenden Lichtperioden die Temperatur steigt. In gleicher Weise hat in Fig. 2 die Lichtperiode in der Mitte des Tages eine höhere Temperatur, als die beiden Dunkelperioden Morgens und Abends.

Bei Fig. 4 haben wir einen Wechsel im Gange des Wachstums bei sehr geringer Veränderung der Temperatur. Endlich in Fig. 5 sind die Temperaturveränderungen größer, können aber nicht als hinreichend betrachtet werden, um den scharf markirten Wechsel im Gange des Wachstums zu erklären. Aus den mitgetheilten Experimenten muss mit Gewissheit geschlossen werden, dass ein Organ negativ heliotropisch sein kann, und dass doch sein Wachstum durch Dunkelheit begünstigt, nicht aber verlangsamt wird. Die gewöhnliche Lehre vom Heliotropismus ist daher durchaus unhaltbar, soweit sie negativ heliotropische Organe betrifft. Ob

1) Der stündliche Zuwachs ist also constant zwischen zwei Beobachtungsreihen dargestellt. Die Temperaturcurven sind des Contrastes wegen in anderer Art verzeichnet, die wirklichen Temperaturen, welche bei den Beobachtungen notirt wurden, sind unter einander durch gerade Linien verbunden.

man berechtigt ist, dieses Argument auf positiv heliotropische Organe zu übertragen, ist eine andere Frage.

Zum Schluss möchte ich constatiren, dass die Ansicht über den Heliotropismus, welche durch meine Experimente gestützt zu werden scheint, die von SACHS ausgesprochene ist<sup>1)</sup>, durch welche diese Phänomene mit denen des Geotropismus zusammen den Reizerscheinungen zugezählt werden. Die Frage: »warum gerade nur gewisse Organe, ja selbst einzelne Theile einer Zelle nur durch bestimmte äußere Einflüsse in dieser Weise angeregt werden, andere Theile aber anders«, erlaubt keine andere Antwort als die: »dass sich die lebende Pflanzensubstanz derart innerlich differenzirt, dass einzelne Theile mit spezifischen Energien ausgerüstet sind, ähnlich, wie die verschiedenen Sinnesnerven der Thiere«.

---

1) Arb. d. bot. Inst. in Würzburg. Bd. II. 1879. pag. 282.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Arbeiten des Botanischen Instituts in Würzburg](#)

Jahr/Year: 1882

Band/Volume: [2](#)

Autor(en)/Author(s): Darwin Francis

Artikel/Article: [Über das Wachstum negativ heliotropischer Wurzeln im Licht und im Finstern  
521-528](#)