

**Zeitschrift:** Mémoires de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles. Botanique = Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Freiburg. Botanik

**Herausgeber:** Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles

**Band:** 4 (1926-1947)

**Heft:** 2: Über den Einfluss einer partiellen Erwärmung des Stengels auf die Wasserversorgung

**Artikel:** Über den Einfluss einer partiellen Erwärmung des Stengels auf die Wasserversorgung

**Autor:** Koller, P. Joachim

**Kapitel:** IV: Einfluss der Erwärmung auf die Absorptionsgeschwindigkeit nicht transpirierender Sprosse

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-306868>

#### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 15.02.2026

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

## IV. Einfluß der Erwärmung auf die Absorptionsgeschwindigkeit nicht transpirierender Sprosse

### a) Methode.

Die Versuchsanordnung ist dieselbe wie in Abschnitt III, nur befindet sich das Wasser mit der beblätterten Sproßpartie in einer Blechküvette, welche mit Gasbrennern erwärmt wird unter beständigem Rühren. Das Potometer ist wiederum möglichst gut isoliert und das Stengelstück zwischen Potometer und Wasserniveau mit einer Stanniolhülle gegen Wasserabgabe geschützt.

### b) Versuche.

1. *Maurandia scandens* Gray II, mit Wurzel; Sproß 90 cm lang mit 25 Blättern.

Bei Versuchsbeginn befinden sich die Blätter seit 3,5 Stunden unter Wasser.

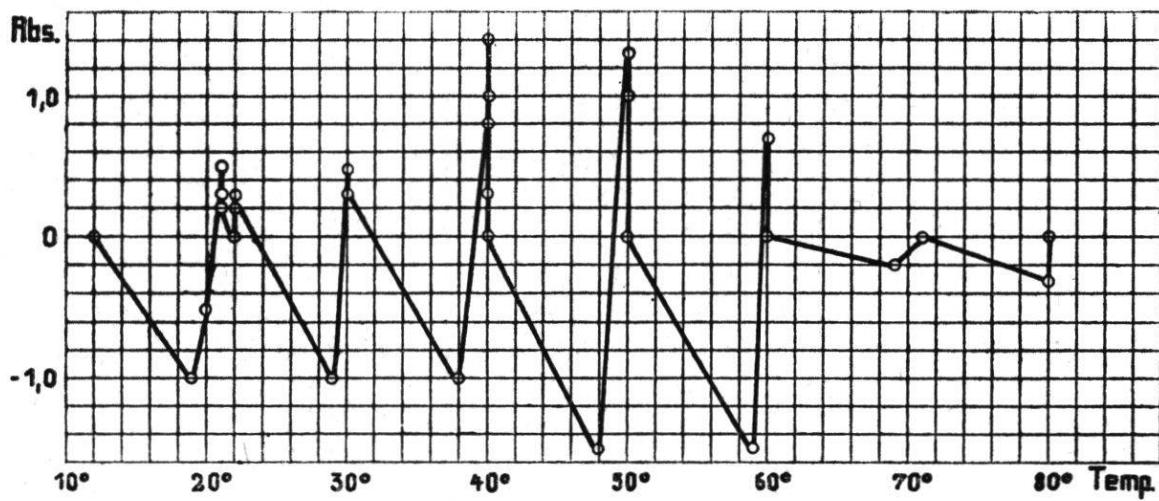
Tab. 2.

17. März 14 Uhr.

Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C	Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C	Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C
0	12	0,5	30	0	50
0 a	12	0,3	30	0	50
— 1,0 b	19	0,5	30	— 1,5 k	59
— 0,5	20	0,3	30	0,7	60
0,5	21	— 1,0 f	38	0	60
0,3	21	0,8	40	0	60
0,2	21	1,4 g	40	— 0,2	69
0,2	21	1,0	40	0	71
0,3	21	0,3	40	0	71
0,2 c	21	0	40	0	71
0	22	0	40	— 0,3	80
0,3	22	0	40	0	80
0,2	22	— 1,5 h	48	0	80
— 1,0 d	29	1,3 i	50		
0,5 e	30	1,0	50		

Unterhalb des Praemortalzustandes finden wir bei rascher Temperaturerhöhung ein Zurückgehen der Absorptionsgeschwindigkeit (a-b, c-d, e-f, g-h, i-k), bei langsamer Erwärmung oder Temperaturkonstanz wieder Ansteigen der Absorptionsgeschwindigkeit (b-c, d-e, f-g, h-i). Zur Erklärung haben wir uns daran zu erinnern, daß sich gleichzeitig 2 Prozesse abspielen: einsteils Wasseraufnahme durch die nicht gesättigten lebenden Zellen und eventuellen Unterdruck in den toten Leitbahnen, andernteils Ausdehnung eventueller Gasblasen und des sich erwärmenden Wassers. Bei rascher Erwärmung überwiegt im allgemeinen die Ausdehnung die Wasseraufnahme, so daß die Absorption negativ wird. Bei langsamer Erwärmung oder Temperaturkonstanz herrscht im allgemeinen die Aufnahme vor, so daß positive Absorption eintritt. Diese Vorgänge zeigt die graphische Darstellung besonders deutlich. Nachdem über  $60^{\circ}$  alle lebenden Zellen abgetötet wurden, hört nun auch jede nennenswerte Absorption auf.

Auf welche Weise die negativen Absorptionswerte bei dieser Versuchspflanze mit offenbar intakter Wurzelzustände gekommen sind, wurde nicht näher untersucht.



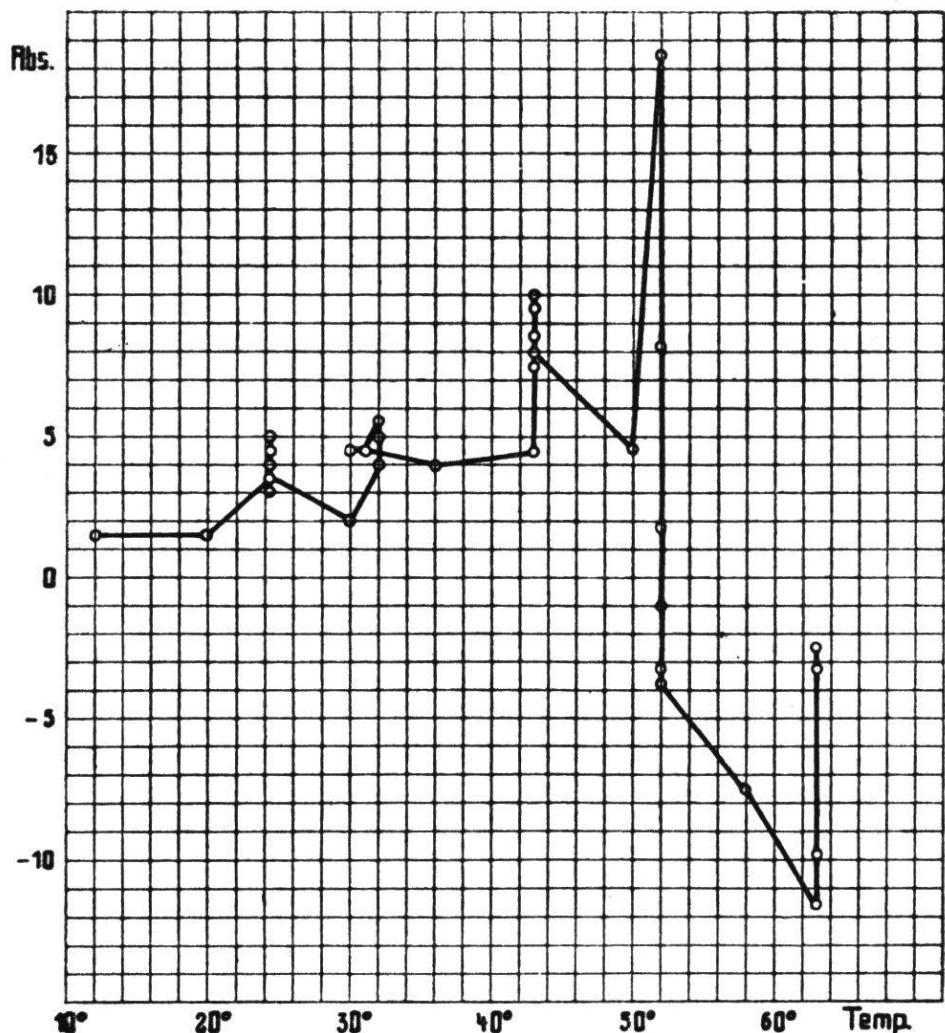
Kurve 3.  
*Maurandia scandens* II, bewurzelt.

2. *Maurandia scandens* Gray III, ohne Wurzel, Sproß 80 cm lang mit 28 Blättern.

Eine Stunde nach Entfernung der Wurzel beträgt die Absorption pro 5 Minuten, Blätter in Luft, 24,0 mm bei Sd 3,0. Daraufhin werden die Blätter unter Wasser getaucht; nach 3 Stunden ist die Absorption pro 5 Minuten auf 1,5 mm zurückgegangen.

Tab. 3. — 18. März 14 Uhr.

Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C	Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C	Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C
24,0		2,0 d	30	7,5	43
1,5	12	4,0	32	7,5	43
1,5	12	5,0	32	8,0 g	43
1,5 a	12	5,5	32	4,5 h	50
1,5 b	20	5,5	32	18,5	52
3,5	24	5,0	32	8,2	52
3,5	24,5	5,5	32	1,8	52
4,0	24,5	4,5	31	— 1,0	52
4,5	24,5	4,5 e	30	— 3,2	52
5,0	24,5	4,0	36	— 3,8	52
4,0	24,5	4,5 f	43	— 7,5	58
4,0	24,5	9,5	43	— 11,6	63
3,5	24,5	10,0	43	— 9,8	63
3,0	24,5	9,5	43	— 3,2	63
3,0	24,5	8,5	43	— 2,4	63
3,5 c	24,5	7,5	43		

Kurve 4. — *Maurandia scandens* III, ohne Wurzel.

Auch hier spielen sich bei der Erwärmung gleichzeitig 2 Prozesse ab: Wasseraufnahme durch die lebenden Zellen mit positiver Saugkraft und evtl. Unterdruck in den toten Leitungsbahnen einerseits und anderseits physikalische Ausdehnung des Wassers. Wird die Temperatur relativ rasch erhöht (Tab. 3: a-b, c-d, e-f, g-h), heben sich hier die beiden Komponenten entweder gegenseitig auf, so daß die Kurve dann horizontal verläuft, oder die Absorptionsgeschwindigkeit fällt. Bei langsamer Erwärmung oder bei Temperaturkonstanz überwiegt im allgemeinen die Absorption (Tab. 3: b-c, d-e, f-g).

Bei Temperaturkonstanz konstatieren wir im allgemeinen eine umso stärkere Absorptionsgeschwindigkeit, je höher die Badtemperatur ist:

Zone	Badtemperatur in °C	Durchschnittliche Absorption pro 5 Min. in mm
a	12	1,5
b-c	24,5	3,8
d-e	32	5,1
f-g	43	8,0

Es wird dies jedenfalls zusammenhängen mit der Abnahme der Viskosität bei steigender Temperatur. Durch das Fehlen der Wurzel ist diese Reaktion hier besonders deutlich geworden.

Bei 52° erfolgt ein starkes praemortales Ansteigen, das, wie am Schluß dieses Kapitels ausgeführt wird, wahrscheinlich durch die erhöhte Permeabilität des Protoplasmas für Wasser bedingt ist. Darauf stellt sich ein tiefes letales Sinken der Absorptionsgeschwindigkeit ein infolge Absterbens der Zellen. Nach Aufhebung der Semipermeabilität des Protoplasmas wird der Zellsaft durch den Wanddruck zum Aus treten gebracht. Ist endlich die Wand entspannt, so strebt die Absorptionsgeschwindigkeit naturgemäß dem Nullwert zu, was aus der graphischen Darstellung besonders deutlich zu entnehmen ist.

3. *Maurandia scandens* Gray IV, blattloses Stengelstück ohne Wurzel, 70 cm lang; die 40 cm lange Spitzenpartie im Heizbad. Das im Heizbad befindliche Stengelende ist verschlossen (mit Plastilin gefülltes Glashütchen, das aus dem Heizbad herausragt).

Wie Tab. 4 und noch deutlicher die hier nicht wiedergegebene Kurve zeigen, deckt sich das Verhalten von *Maurandia scandens* IV im Prinzip mit dem vorhergehenden Versuchsexemplar. Hervorgehoben sei, daß die praemortale und die letale Reaktion hier ebenfalls sehr deutlich sind, obschon es sich nur um ein blattloses Stengelstück handelt.

Tab. 4.  
23. März 8 Uhr.

Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C	Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C	Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C
0	12	0,3	25	— 0,9	54
0	12	0,2	25	11,9	54
0	12	— 1,5	34	10,8	54
— 0,2	21	— 0,7	38	0,6	54
— 1,0	24	0,5	38	— 1,1	54
— 0,2	25	0,7	38	— 1,3	54
0	25	0,7	38	— 1,7	54
0,4	25	0,6	38	— 2,2	59
0,3	25	0,6	38	— 3,6	62
0,2	25	0,6	38	— 2,2	62
0,2	25	— 1,2	47	— 1,7	62

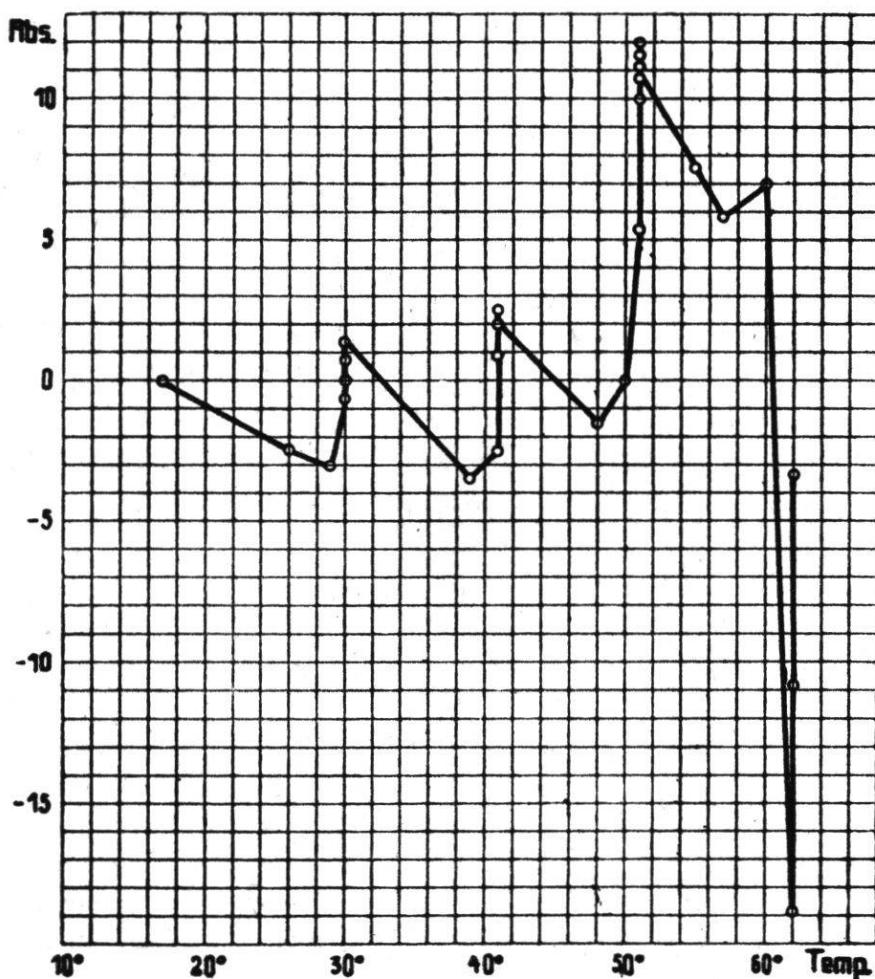
4. *Phaseolus multiflorus Lam. I*, blattloses Stengelstück ohne Wurzel, 70 cm lang. Die 40 cm lange Spitzenpartie im Heizbad. Das im Heizbad befindliche Stengelende ist wie bei *Maurandia scandens IV* verschlossen. Der Versuch wurde am Vorabend eingestellt und dabei die 40 cm lange Spitzenpartie unter Wasser von Zimmertemperatur getaucht.

Tab. 5.  
27. Mai 9 Uhr.

Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C	Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C	Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C
0	17	1,2 c	30	10,0	51
0	17	— 3,5 d	39	11,2	51
0 a	17	— 2,5	41	12,0 h	51
— 2,3	26	0,9	41	11,7	51
— 3,0 b	29	1,8	41	10,9	51
— 0,7	30	2,0	41	7,5	55
0	30	2,5	41	5,9	57
0,7	30	2,0 e	41	7,0	60
1,3	30	— 1,5 f	48	— 18,9 i	62
1,3	30	0 g	50	— 10,8	62
1,2	30	5,3	51	— 3,3 k	62

Besonders deutlich ist hier erkennbar (vor allem aus der graphischen Darstellung Kurve 5), daß die Absorptionsgeschwindigkeit bei rascher Temperaturerhöhung fällt (Tab. 5 : a-b, c-d, e-f) und bei langsamer Erwärmung oder Temperaturkonstanz wieder ansteigt (Tab. 5 : b-c, d-e,

f-g). Bei etwa 50° erfolgt der praemortale Anstieg (Tab. 5 : g-h) und hierauf das letale Fallen (Tab. 5 : h-i), das bis zur Abtötung aller Zellen immer weiter geht. Sind die Wände der lebenden Zellen entspannt, so strebt die Absorptionsgeschwindigkeit dem Nullwert zu (Tab. 5 : i-k). Die Erklärung ist dieselbe wie bei *Maurandia scandens III*.



Kurve 5.

*Phaseolus multiflorus I*, blattloses Stengelstück, ohne Wurzel.

5. *Phaseolus multiflorus Lam. II*, mit Wurzel und 5 Blättern, Stengel 65 cm lang; die 40 cm lange Spitzenpartie im Heizbad.

Zuerst wird die Absorptionsgeschwindigkeit gemessen bei Transpiration der Blätter in Luft, dann gelangt das Sproßende mit allen Blättern unter Wasser. Am folgenden Tag wird das Heizbad erwärmt bis zur Abtötung des Sprosses.

Befinden sich die Blätter in Luft (Tab. 6 : a-b), so beträgt die Absorption pro 5 Minuten 14,0 mm bei Sd 2,6. Werden die Blätter zum Teil in Wasser getaucht, so nimmt die Absorptionsgeschwindigkeit zunächst zu (von 14,0 bis 16,0), wohl infolge der Abkühlung, und hierauf

rasch ab (von 16,0 bis 5,1). Bei vollständigem Untertauchen wiederholt sich dieser Vorgang (Ansteigen von 5,1 auf 10,0 und Fallen auf 7,5). Nach 100 Minuten beträgt die Absorptionsgeschwindigkeit noch 1,3 mm (Tab. 6 : c).

Tab. 6.  
28. Mai 15 Uhr.

	Absorption pro 5 Min. in mm
Blätter in Luft Sd 2,6	14,0 a
	14,0
	14,0 b
Blätter z. T. in Wasser	16,0
	5,1
Blätter ganz in Wasser	10,0
	7,5
	7,5
	6,3
	5,5
	5,0
	4,0
	3,0
	2,5
	2,5
	2,5
	2,0
	2,0
	2,0
	1,8
	1,6
	1,5
	1,5
	1,3
	1,3 c

Tab. 6a.  
29. Mai 9 Uhr.

	Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C
	0	15,5
	0	15,5
	0	15,5
	0,2	23
	0,3	26
	0,2	27
	0,3	28
	— 0,6	37
	0	39
	0,5	40
	0,2	41
	— 0,4	47
	0	50
	0	52
	0	54
	— 0,2	56
	— 0,5	58
	— 1,0	59
	— 0,7	61
	— 0,7	63
	— 0,3	65

Am folgenden Morgen ist die Absorptionsgeschwindigkeit auf 0 gesunken, die Erwärmung daher ohne größeren Einfluß, bis besonders nach der Abtötung über 54° die Absorptionsgeschwindigkeit dauernd negative Werte aufweist. Die schwache Reaktion dieser Pflanze hängt, abgesehen von der weitgehenden Wassersättigung bei Beginn der Erwärmung, offenbar auch damit zusammen, daß dieses Versuchsexemplar bewurzelt war.

6. *Fuchsia spec. II*, ohne Wurzel, Sproß 80 cm lang mit 15 Blättern.

Tab. 7.

25. Mai 15 Uhr.

	Absorption pro 5 Min. in mm
Blätter in Luft Sd 2,7	14,0
	14,0
	14,0 a
Blätter in Wasser	11,0
	24,5 b
	8,5
	5,0
	4,0
	3,5
	2,5
	2,5
	2,5
	2,5
	2,0
	1,8
	1,8
	1,6
	1,5
	1,4
	1,4
	1,3
	1,2
	1,0 c

Tab. 8.

26. Mai 9 Uhr.

	Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C
	1,0	15
	1,3	15
	1,0	15
	— 0,3	18
	0	23
	1,8	25
	2,0	26
	1,5	26,5
	0,8	27
	0,8	28
	0,2	31
	0	36
	0	40
	0	43
	0,2	47
	1,8	50
	4,8	51
	6,0	51
	5,2	51
	0,7	52
	— 1,7	54
	— 5,0	56
	— 4,0	58
	— 10,0	59
	— 25,5	61
	— 11,5	63

4 Stunden nach Entfernung der Wurzel wird die Absorptionsgeschwindigkeit gemessen bei Transpiration der Blätter in Luft. Darauf werden die Blätter unter Wasser getaucht, wobei nach anfänglichem Fallen ein starkes Steigen der Absorptionsgeschwindigkeit zu beobachten ist (Tab. 7 : a-b), vermutlich infolge der Abkühlung, indem das Badwasser unter Zimmertemperatur war. Nach 90 Minuten ist die Absorptionsgeschwindigkeit auf 1,0 gefallen (Tab. 7 : c) und weist am folgenden Morgen noch den gleichen Wert auf.

Nun erfolgt Erwärmung bis zur Abtötung. Bemerkenswert ist hier das praemortale Ansteigen bei 51° und besonders das hernach ein-

tretende letale Fallen. Mit zunehmender Entspannung der Zellwände strebt die Absorption zuletzt dem Nullwert zu.

7. *Fuchsia spec. III*, blattloses Stengelstück ohne Wurzel, 70 cm lang, das 45 cm lange Sproßende im Heizbad. Das im Heizbad befindliche Stengelende ist wie bei *Maurandia scandens IV* verschlossen (Glasbüchsen mit Plastilin, aus dem Heizbad herausragend). Der Versuch wurde 4 Stunden vor Beginn der Messung eingestellt.

Tab. 9.

25. Mai 15 Uhr.

Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C	Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C	Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C
0	15	2,0	30	2,5	41
0	15	2,0	30	2,0 e	41
0 a	15	2,0	30	— 11,5	49
— 7,0	25	1,5	30	— 15,2 f	53
— 8,5 b	29	1,3 c	30	— 5,2	53,5
— 2,5	30	— 9,5 d	38	— 4,5 g	53,5
— 0,5	30	— 6,0	41	— 9,0	55
0,5	30	— 1,0	41,5	— 14,0	56,5
1,5	30	0,5	41,5	— 20,5	56,5
2,0	30	1,5	41,5	— 33,0	56
2,0	30	1,5	41,5	— 28,0	56
2,0	30	2,0	41	— 22,0	56

Deutlich ist hier das Fallen der Absorptionsgeschwindigkeit bei rascher Temperaturzunahme (Tab. 9 : a-b, c-d, e-f) und das Steigen bei langsamer Erwärmung oder Temperaturkonstanz (Tab. 9 : b-c, d-e, f-g). Bei etwa 54° erfolgt Abtöten und negative Absorption. Es muß auffallen, daß die Reaktion dieses blattlosen Stengelstückes nicht schwächer ist als bei der vorhergehenden beblätterten Pflanze.

8. *Fuchsia spec. IV*, mit Wurzel, Sproß 1 m lang mit 24 Blättern.

Tab. 10.

21. Juli 15 Uhr.

Tab. 11.

22. Juli 9 Uhr.

	Absorption pro 5 Min. in mm	Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C
Blätter in Luft Sd 0,8	42,0	4,5	19
	42,0	4,5	19
Blätter in Wasser	37,0	4,5	19
	25,0	1,5	25
	13,0	4,5	28
	10,0	5,0	29
	10,0	5,5	30
	8,5	5,0	30,5
	8,5	5,0	30,5
	8,5	5,0	30,5
	8,5	4,5	31,5
	8,5	4,5	32
	8,5	4,5	32
	8,0	4,0	36
	8,5	4,8	40
	8,0	5,5	43
	7,5	4,5	46
	7,0	3,5	50
	6,5	2,5	54
	7,0	2,0	57
	6,5	1,5	59
	6,0	0	62
	5,5	0	65

Transpirieren die Blätter in Luft (Sd 0,8), so erreicht die Absorptionsgeschwindigkeit 42,0 mm ; ohne Transpiration fällt die Absorptionsgeschwindigkeit in 100 Minuten auf 5,5 mm. Am folgenden Morgen beträgt sie noch 4,5 mm. Die Erwärmungsreaktion endigt mit dem Absinken der Absorption auf 0.

9. *Abies alba Miller II*, 65 cm langes Aststück mit Seitenzweigen und ca. 1000 Nadeln ; basaler Durchmesser ohne Rinde 8 mm.

Am 22. Oktober nachmittags beträgt die Absorption des in Laboratoriumsluft (Sd 0,4) transpirierenden Sprosses pro 5 Minuten 1,7 mm. Am Abend wird die beblätterte Astpartie unter Wasser getaucht und am folgenden Morgen das Heizbad erwärmt.

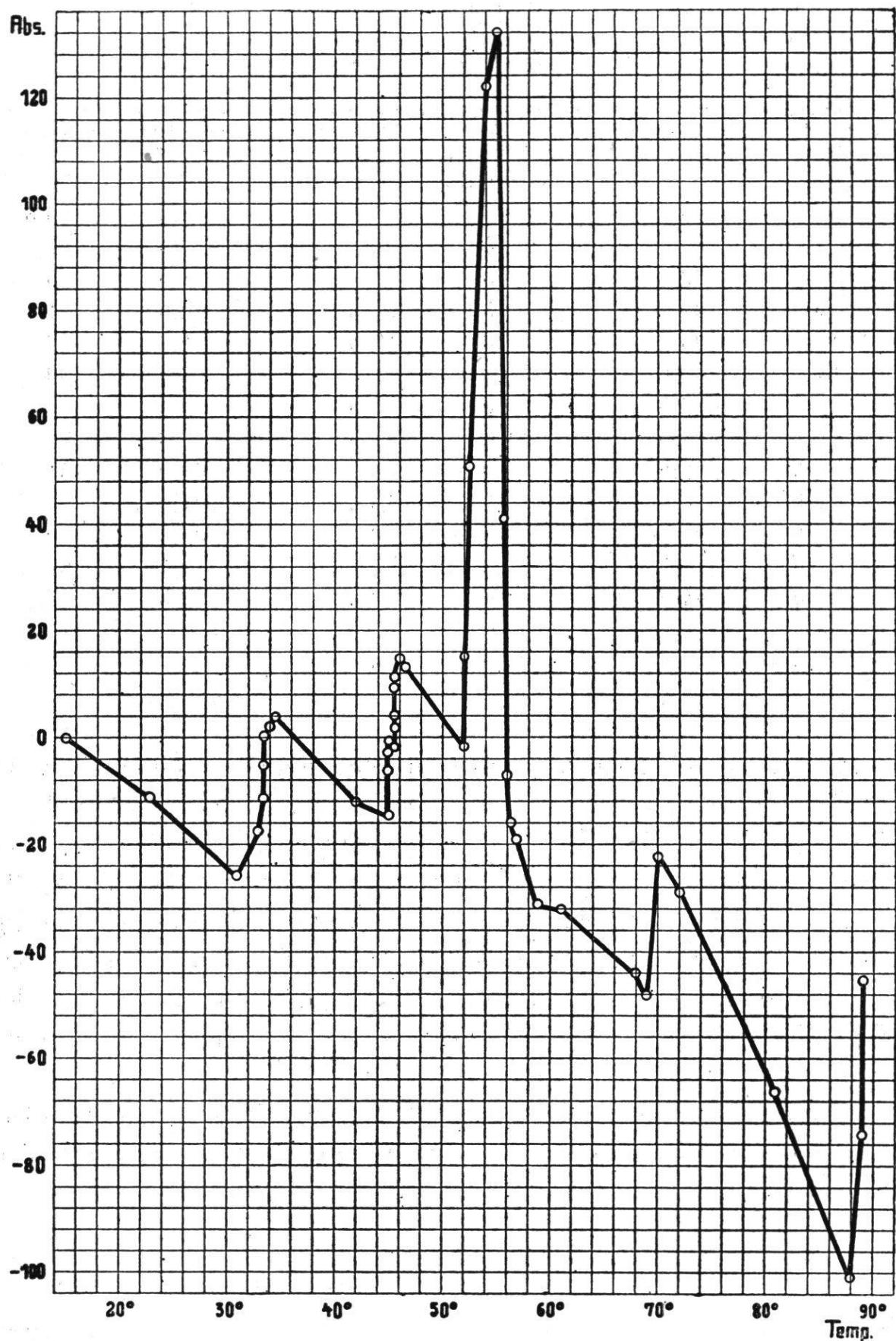
Tab. 12.  
23. Okt. 8 Uhr.

Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C	Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C	Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C
0	15	— 14,5 d	45	— 7,0	56
0	15	— 6,0	45	— 16,0	56,5
0 a	15	— 3,0	45	— 19,0	57
— 11,0	23	— 0,5	45	— 31,0	59
— 25,5 b	31	— 1,5	45,5	— 32,0	61
— 17,5	33	1,8	45,5	— 44,0	68
— 11,5	33,5	4,0	45,5	— 48,0	69
— 5,0	33,5	9,0	45,5	— 22,0	70
0,3	33,5	11,3	45,5	— 29,0	72
1,5	33,5	15,0 e	46	— 66,0	81
2,5	34	13,7	46,5	— 101,0 h	88
3,5	34	— 1,5 f	52	— 74,0	89
4,0	34,5	15,5	52	— 45,0	89
3,0	34,5	51,0	52,5	— 52,0	95
4,5	34,5	122,0	54	— 30,5	97
4,5 c	34,5	132,0 g	55		
— 12,0	42	40,5	55,5		

Wiederum finden wir, wie aus der graphischen Darstellung (Kurve 6) besonders deutlich zu entnehmen ist, bei rascher Temperaturerhöhung Fallen (Tab. 12: a-b, c-d, e-f) und bei langsamer Erwärmung oder Temperaturkonstanz Steigen der Absorptionsgeschwindigkeit (Tab. 12: b-c, d-e). Sehr stark ausgeprägt ist bei ca. 54° der praemortale Anstieg (Tab. 12: g), der beim Absterben der lebenden Zellen in fast ebenso starke negative Absorptionswerte übergeht (h). Sind die Wände der anfänglich lebenden Zellen entspannt, so strebt die Absorptionsgeschwindigkeit wiederum dem Nullwert zu.

Dieses Beispiel zeigt, daß die Reaktion auch bei Koniferen außerordentlich stark sein kann, obschon im Holz nur die Markstrahlen lebend sind.

10. *Abies alba Miller III*, 75 cm langes Aststück, ohne Seitenzweige und Nadeln; Durchmesser am basalen Ende mit Rinde 11 mm (ohne Rinde 9,5 mm), Durchmesser am apikalen Ende mit Rinde 7 mm. Basales, entrindetes Ende im Potometer; apikales Ende offen. Ganzes Aststück in Gummischlauch. 50 cm tauchen in das Wasser des Heizbades. 15 cm am apikalen und 10 cm am basalen Ende ragen über das Wasser empor.

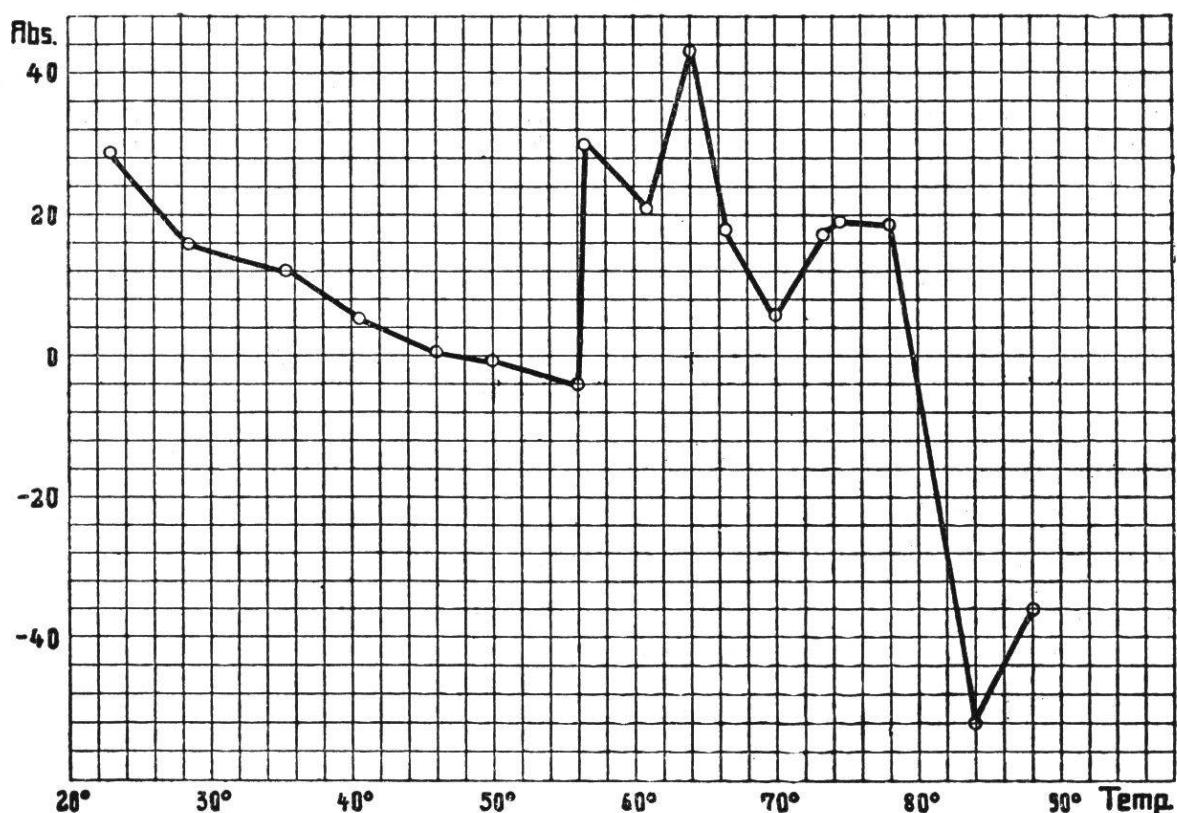


Kurve 6.

*Abies alba II*, berindet, mit Seitenzweigen und Nadeln.

Tab. 13.  
19. Sept. 15 Uhr.

Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C	Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C	Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C
29	23	— 4	56	17	73,5
16	28,5	30	56,5	19	74,5
12	35,5	21	61	19	78
5,5	40,5	43	64	— 52	84
0,5	46	18	66,5	— 36	88
— 0,5	50	6	70		



Kurve 7.  
*Abies alba III*, berindet, ohne Seitenzweige und Nadeln.

Bis zu 60° lässt rasche Erwärmung die Absorptionskurve fallen und langsame Temperaturerhöhung steigen. Bei rascher Erwärmung ist die Wirkung der Wärmeausdehnung des Wassers und der Luft stärker als die Saugkraft der lebenden Astzellen und der Unterdruck in den Tracheiden. Bei langsamer Temperaturzunahme ist es umgekehrt. Das Ansteigen der Absorptionsgeschwindigkeit von 61°-64° dürfte praemortal sein für den im Wasserbad befindlichen Astteil, das Ansteigen von 70°-75° praemortal für die Teile außerhalb des Bades. Die praemortale Reaktion ist allerdings bedeutend schwächer als bei *Abies II*. Es mag

dies damit zusammenhängen, daß bei *Abies II* die Seitenzweige nicht entfernt worden waren, also die erwärmte Zone bedeutend größer war als bei *Abies III*.

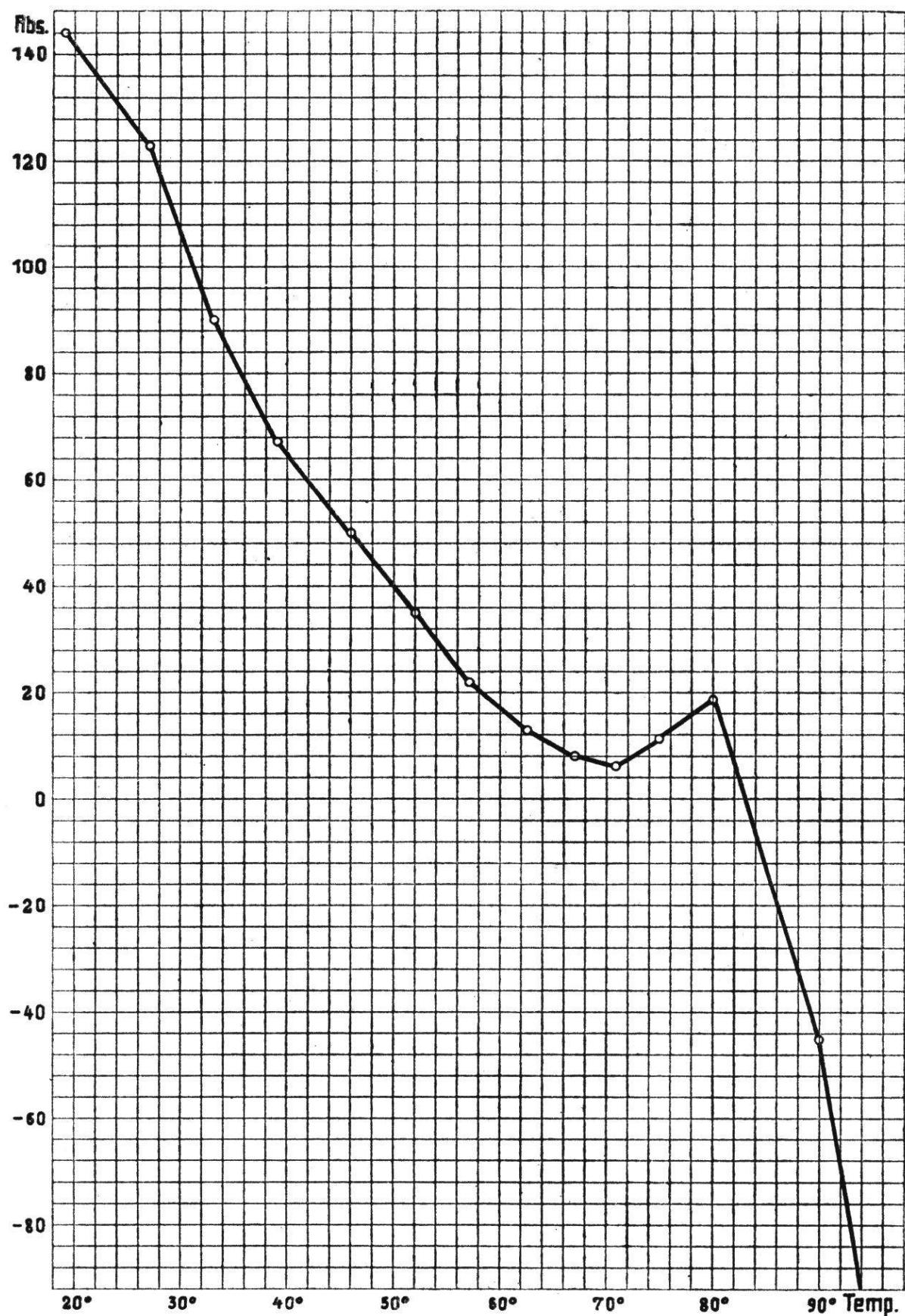
*Abies alba Miller IIIa.* Dasselbe Aststück wie vorhin, aber nach dem Abtöten, sowie nach Abkühlung auf Zimmertemperatur und 2 Tage langem Liegen an der Luft.

Tab. 14.  
21. Sept. 14 Uhr.

Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C	Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C	Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C
144	19	35	52	11	75
123	27	22	57	19	80
90	33	13	62,5	— 45	90
67	39	8	67	— 105	95
50	46	6	71	— 101	97

Ein Vergleich der beiden Kurven zeigt, welch starke Absorption im toten Ast durch Entquellung der Wand und Unterdruck in den Tracheiden möglich ist. Die Kurve des toten Astes weist bei Erwärmung ständiges Fallen auf mit Ausnahme von 2 kleinen Anstiegen (zwischen 70° und 80°, sowie bei 95°), die sich durch langsameres Erwärmen erklären. Dadurch wird der praemortale Charakter von *Abies III* noch wahrscheinlicher.

11. *Abies alba Miller IV*, 70 cm langes Aststück, ohne Seitenzweige und Nadeln, vollständig entrindet. Durchmesser am basalen Ende ohne Rinde 9,5 mm, am apikalen Ende ohne Rinde 7 mm. Basales Ende im Potometer, apikales offen. Ganzes Aststück in Gummischlauch. 50 cm tauchen in das Wasser des Heizbades. 10 cm am apikalen und 10 cm am basalen Ende ragen aus dem Wasser.

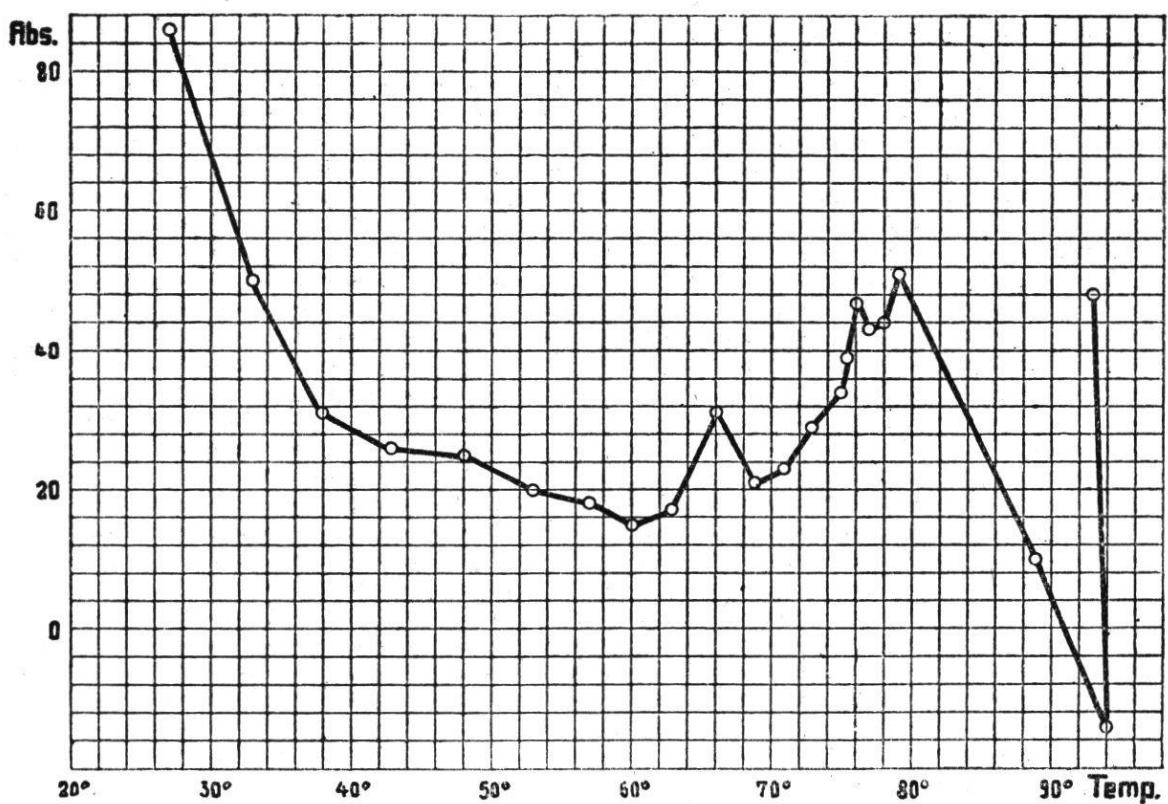


Kurve 8.

*Abies alba IIIa*, tot, berindet, ohne Seitenzweige und Nadeln.

Tab. 15.  
20. Sept. 8 Uhr.

Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C	Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C	Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C
86	27	17	63	43	77
50	33	31	66	44	78
31	38	21	69	51	79
26	43	23	71	10	89
25	48	29	73	— 14	94
20	53	34	75	48	93
18	57	39	75,5		
15	60	47	76		



Kurve 9.

*Abies alba* IV, entrindet, ohne Seitenzweige und Nadeln.

Die stärkere Anfangsabsorption des entrindeten Astes ist wie vorhin auf die während der Entrindung erfolgte Verdunstung zurückzuführen.

Die Absorptionskurve zeigt einen ähnlichen Verlauf wie bei *Abies III*, was gegen die Bedeutung der Rinde beim praemortalen Ansteigen spricht und die Auffassung wahrscheinlich macht, daß es sich um eine Reaktion der Markstrahlen handelt.

Eine Wiederholung der Versuche III und IV mit andern *Abies*-ästen ergab ein ähnliches Resultat.

12. *Taxus baccata* L., 70 cm langes Aststück mit Seitenzweigen und ca. 1500 Nadeln; basaler Durchmesser ohne Rinde 6 mm.

Tab. 16.  
23. Okt. 8 Uhr.

Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C	Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C	Absorption pro 5 Min. in mm	Temperatur des Heizbades in °C
4,0 <sup>1</sup>		— 1,6	38	10,5	58,5
4,0		— 1,7	43	9,5	59
4,0	15	— 1,8	48	8,0	59,5
4,0	15	— 1,2	49	6,0	60
4,0 <sup>2</sup>	15	— 1,0	49	5,0	61
3,8 <sup>3</sup>	15	— 1,8	50	3,5	61,5
3,5 <sup>4</sup>	15	— 1,4	50	2,5	62
3,2 <sup>5</sup>	15	— 1,3	50	1,0	63
3,0 <sup>6</sup>	15	— 1,7	51	0	63,5
2,6 <sup>7</sup>	15	— 1,8	53	0	64,5
2,4 <sup>8</sup>	15	— 2,2	55	0	65
2,0 <sup>9</sup>	15	— 0,5	55	0	65
1,6 <sup>10</sup>	15	0	55	0	65,5
1,6	15	0	55	0	66
— 0,3	20	0	55	— 2,0	67
— 0,5	27	59,0	55	— 3,0	68
— 0,2	29	45,5	55	— 3,5	69
— 0,2	30	34,0	55	— 4,5	70
— 0,7	31	25,5	55	— 5,0	70
— 0,7	31	19,5	55	— 5,5	71
— 0,4	32	16,0	56	— 6,5	72
— 0,8	32,5	13,5	57	— 8,0	73
— 0,8	33	12,0	58	— 8,0	73,5
— 0,9	34	12,0	58		

Bei Transpiration in Luft (Sd 0,6) beträgt die Absorption pro 5 Minuten 4,0 mm, unter Wasser getaucht fällt die Absorptionsgeschwindigkeit in 4,5 Stunden auf 1,6 mm. Inwieweit dieses Sinken auf Ausfall der Transpiration, also auf zunehmender Wassersättigung, und inwieweit es auf Verstopfung der Schnittfläche beruhte, wurde nicht untersucht.

<sup>1</sup> Nadeln in Luft Sd 0,6.

<sup>2</sup> Nadeln  $\frac{1}{2}$  Std. in Wasser.

<sup>3</sup> Nadeln 1 Std. in Wasser.

<sup>4</sup> Nadeln  $1\frac{1}{2}$  Std. in Wasser.

<sup>5</sup> Nadeln 2 Std. in Wasser.

<sup>6</sup> Nadeln  $2\frac{1}{2}$  Std. in Wasser.

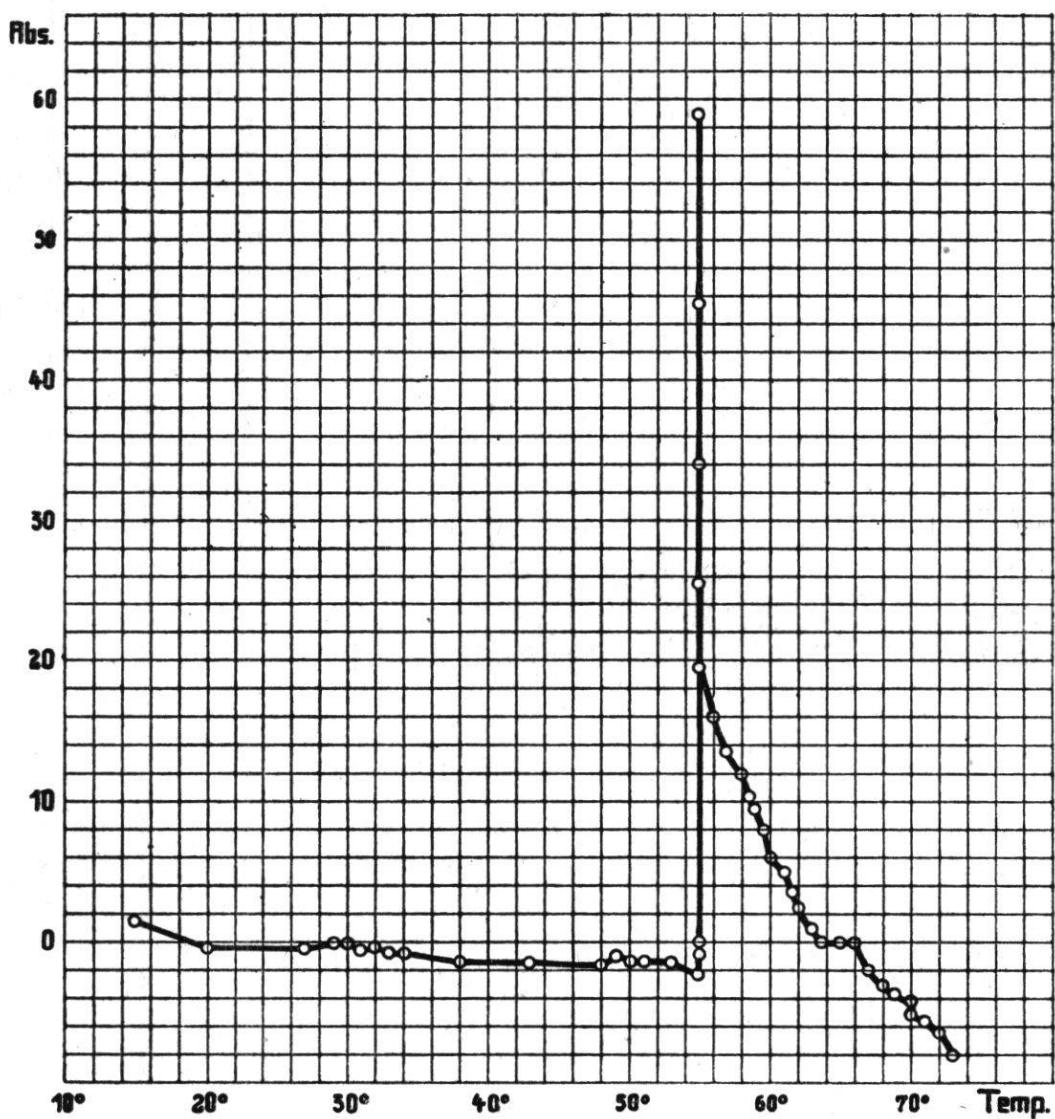
<sup>7</sup> Nadeln 3 Std. in Wasser.

<sup>8</sup> Nadeln  $3\frac{1}{2}$  Std. in Wasser.

<sup>9</sup> Nadeln 4 Std. in Wasser.

<sup>10</sup> Nadeln  $4\frac{1}{2}$  Std. in Wasser.

Auffallend ist hier besonders bei 55° (Tab. 16) das plötzliche und starke praemortale Ansteigen der Absorptionsgeschwindigkeit, dem ein letales Sinken folgt (Kurve 10).



Kurve 10.

*Taxus baccata*, berindet, mit Seitenzweigen und Nadeln.

### Zusammenfassung.

Es wurden Versuche ausgeführt mit *Maurandia* (mit und ohne Wurzel), *Phaseolus* (mit und ohne Wurzel), *Fuchsia* (mit und ohne Wurzel), *Abies*- und *Taxus*-zweigen.

1. Wie zu erwarten war, ist bei Zimmertemperatur die Absorption bei gleichzeitiger Transpiration größer als ohne Transpiration.

<i>Maurandia III</i> ,	ohne Wurzel:	Abs.geschw.	mit Transp.	= 24,0
»	ohne Wurzel:	»	ohne	» z. B. n. 3 Std. = 1,5
<i>Phaseolus II</i> ,	mit Wurzel :	»	mit	= 14,0
»	mit Wurzel :	»	ohne	» z. B. n. 1 Std. = 2,0
<i>Fuchsia II</i> ,	mit Wurzel :	»	mit	= 14,0
»	mit Wurzel :	»	ohne	» z. B. n. 1 Std. = 1,8

2. Ohne Wurzel ist die Reaktion bedeutend stärker als mit Wurzel, was mit den am leblosen Modell angestellten Versuchen und Überlegungen übereinstimmt (Abschn. II, S. 59/60, 63).

3. Da blattlose Stengelstücke (*Maurandia*, *Fuchsia*, *Phaseolus*) nicht schwächer reagieren als beblätterte Sprosse, erfolgen die Reaktionen hauptsächlich in den Stengeln. Es dürfte dies zusammenhängen mit dem großen Filtrationswiderstand der Blätter.

4. Erwärmung unterhalb der praemortalen Zone. Da die lebenden Sproßzellen noch ungesättigt sind, nehmen sie Wasser auf ; die von der Potometerkapillare angezeigte Absorption ist daher positiv. Während rascher Erwärmung kann in der Zeiteinheit die physikalische Ausdehnung größer sein als die Absorption, so daß letztere im extremen Fall negativ wird, bei Gleichheit beider Komponenten 0 wird, jedenfalls aber abnimmt. Bei langsamer Erwärmung oder Temperaturkonstanz ist die physikalische Ausdehnung geringer oder hat vollständig aufgehört, so daß nun die fortdauernde Wasseraufnahme wieder zur Geltung kommt und zu einem Ansteigen der Absorptionsgeschwindigkeit führt.

5. Erwärmung in der praemortalen Zone. Das hier beobachtete starke Ansteigen der Absorptionsgeschwindigkeit ist, soweit untersucht, als Folge der Permeabilitätszunahme des Protoplasmas für Wasser aufzufassen (vgl. S. 95-97).

6. In der letalen Zone fällt die Absorptionsgeschwindigkeit rasch und stark ab, indem aus den abgetöteten Zellen Zellsaft durch den Wanddruck ausgepreßt wird, bis die Wände soweit entspannt sind, daß der Widerstand nicht mehr überwunden werden kann. Wird hierauf die Erwärmung fortgesetzt, so tritt physikalische Ausdehnung ein, während bei Temperaturkonstanz und Abtötung aller Zellen die Absorption dem Nullwert zustrebt.

Befindet sich am Anfang der letalen Temperaturzone ein Teil der lebenden Zellen noch im praemortalen Zustand, während ein anderer seine Semipermeabilität schon verloren hat, so nehmen im gleichen Sproß bei Temperaturkonstanz die einen Zellen Wasser auf, während andere gleichzeitig Zellsaft ausscheiden ; je nach dem Vorherrschen des einen oder anderen Prozesses ist die Absorption positiv oder negativ.

c) Erklärungsversuch der Temperatureinwirkung auf die Absorption untergetauchter lebender Sprosse.

Die Wasseraufnahme bei fehlender Transpiration kann beruhen auf physikalischen und physiologischen Faktoren (URSPRUNG 1918, 36, 514).

α) Physikalische Faktoren.

Nach PAPPENHEIM (1892, S. 21) nimmt frisches Tannenholz beim Untertauchen unter Wasser noch tagelang Wasser auf, was dieser Autor — unter Nichtberücksichtigung der Saugkraft lebender Zellen — ausschließlich auf Druckdifferenzen zwischen Außenluft und Binnenluft zurückführt. Einen rein physikalischen Vorgang stellt z. B. die Absorption von *Abies IIIa* dar (S. 82). Außer durch Transpiration kann die Luft der toten Leitbahnen auch durch Atmung verdünnt werden.

Bei der Erwärmung haben wir den Einfluß auf die Gasblasen und Flüssigkeitssäulen der toten Leitbahnen zu untersuchen. Beide vergrößern bei Temperaturzunahme ihr Volumen, aber das Gas in viel stärkerem Maße als die Flüssigkeit. Bleibt der Druck konstant, so gilt für das

Wasser : Vol. bei  $4^\circ$  = 100, bei  $100^\circ$  = 104,

Gas : Vol. bei  $4^\circ$  = 100, bei  $100^\circ$  = 135.

Der Einfluß der Temperatur auf die Viskosität ist S. 58 nachzusehen. Die Bedeutung der Viskosität für die Geschwindigkeit der Absorption ergibt sich aus der POISEUILLE'schen Formel  $Q = \frac{\pi}{8 \eta} \cdot \frac{PR^4}{L} \cdot T$ .

Dieses Verhalten des Inhaltes der toten Leitbahnen macht das Zurückgehen und sogar Negativwerden der Absorption bei Erwärmung unterhalb der praemortalen Zone verständlich.

Wir wenden uns zur Frage, ob die sog. « praemortale » Absorptionszunahme physikalisch erklärbar ist. Die vergleichbaren Versuche von URSPRUNG (1918, S. 520) hatten ergeben, daß in seinen toten untergetauchten Zweigen die Absorption mit steigender Temperatur beständig abnimmt. Mein Versuch mit *Abies IIIa* (S. 82) erlaubt denselben Schluß ; wohl sind 2 kleine, durch langsameres Erwärmen physikalisch erklärbare, Anstiege vorhanden, aber mit einem typischen praemortalen Anstieg derselben Spezies, wie wir ihn S. 80 (Kurve 6) finden, sind sie nicht zu verwechseln. Im Gegensatz dazu zeigt der S. 62 (Kurve 2) untersuchte tote Zweig *Abies I* nach anfänglichem Fallen ein sehr starkes Steigen. Die Verhältnisse liegen hier aber wesentlich anders. Der Sproß befindet sich an der Wasserstrahlpumpe. Die bewegende

Kraft strebt also nicht dem Nullwert zu, sondern ist die sich gleich bleibende Pumpensaugung. Der ansteigende Kurvenast ist somit die Folge der langsameren Erwärmung bei abnehmender Viskosität und konstanter Saugung; außerdem liegen die in Betracht fallenden Temperaturen im letalen Bereich. Der ansteigende Kurvenast von *Abies I* vermag daher den praemortalen Anstieg nicht zu erklären.

β) Physiologische Faktoren.

1. Soll auch der Einfluß der Erwärmung auf die Atmung keineswegs unterschätzt werden (vgl. URSPRUNG 1918, S. 520), so vermag er doch den Verlauf der Absorptionskurve unterhalb, innerhalb und oberhalb der praemortalen Zone offenbar nicht zu erklären.

2. Wichtiger ist der Einfluß auf die osmotischen Zustandsgrößen. Die Versuche über die Einwirkung der Temperatur auf die Saugkraft der Zellen im normalen Zustand ( $Sz_n$ ) und bei Grenzplasmolyse ( $Sz_g$ ) an nicht untergetauchten Sprossen übergehe ich, da sich hier in der Regel mit der Temperatur noch andere Faktoren ändern, von denen  $Sz_n$  und  $Sz_g$  abhängen.

Über den Einfluß der Erwärmung auf die Saugkraft ( $Sz_n$ ) bei fehlender Transpiration liegen Versuche von GAMMA (1932, S. 521 ff.) mit Submersen vor. Sie führten zu folgenden Resultaten:

<i>Elodea canadesis</i>				<i>Ranunculus flaccidus</i>			
nach Std.	Temp. °C	$Sz_n$	$Sz_g$	nach Std.	Temp. °C	$Sz_n$	$Sz_g$
—	27	2,0	12,7	—	14	3,3	13,5
2	33	2,0	11,9	1	17	4,0	13,5
16	35	2,6	11,9	2	21	4,6	12,7
18	36	1,3	12,7	4	28	4,6	12,7
21	37	0,7	13,5	5	30	4,0	13,5
24	38	+	14,3	6	34	2,0	15,1
				7	35	+	+
<i>Myriophyllum verticillatum</i>							
nach Std.	Temp. °C	$Sz_n$	$Sz_g$				
—	16	2,6	11,9				
1	20	3,3	11,1				
2	26	4,0	11,1				
3	30	4,0	11,1				
4	32	4,6	10,4				
6	35	5,3	9,6				
7	36	4,0	10,4				
8	37	2,0	11,1				
9	38	1,3	11,9				
12	42	0,7	12,7				

BÄCHER hatte (1920, S. 69) für  $Sz_g$  bei *Elodea canadensis* gefunden:

nach Tg.	Temp. °C	$Sz_g$ Atm.	Länge cm
—	8	11,2	5
2	15	10,6	5,3
2	20	9,85	5,6
2	25	9,1	6,2
2	30	8,8	7
2	34	8,0	8,2
2	37	8,6	8,2
1	39	9,1	8,2

Hieraus folgt: Unterhalb des praemortalen Temperaturgebietes ist Erwärmung verbunden mit  $Sz_n$ -Zunahme und  $Sz_g$ -Abnahme.

Innerhalb des praemortalen Temperaturgebietes ist Erwärmung verbunden mit  $Sz_n$ -Abnahme und  $Sz_g$ -Zunahme.

Um zu erfahren, wie sich die Saugkraft ( $Sz_n$ ) meiner Versuchspflanzen beim Eintauchen in warmes Wasser verhält, wurden von Herrn Prof. BLUM einige Messungen ausgeführt, die er mir gütig überlassen hat.

Unverletzte Blätter von *Phaseolus vulgaris* wurden so in Leitungswasser von verschiedener Temperatur getaucht, daß die Schnittfläche des Stieles über die Wasserfläche hervorragte. Je 2 Blätter wurden im Garten abgeschnitten, das eine in Wasser von 17°-20°, das andere in Wasser von 32°-50° C gebracht und in verschiedenen Zeitintervallen die Saugkraft der Spreite mit der Streifenmethode gemessen.

Je nach den Außenfaktoren waren die Anfangswerte der Saugkraft verschieden. Bei längerem Liegen in Wasser geht  $Sz_n$  naturgemäß zurück. Scheinbare Ausnahmen in der folgenden Tabelle sind auf individuelle Unterschiede zurückzuführen, mußte doch für jede Messung ein anderes Blatt benutzt werden.

Tab. 17.

Unter Wasser seit	Wasser-temp. °C	Blatt Sz <sub>n</sub> Atm.	Wasser-temp. °C	Blatt Sz <sub>n</sub> Atm.	Sz <sub>n</sub> -Änderung in warmem Wasser in %	Bemerkungen
Anfang		9,0				
1 1/4 Std.	17	4,0				
2 1/2 Std.	17	2,0				
3 1/2 Std.	17	2,7				
Anfang		12,0				
1 Std.	17	4,7	32	6,1	+ 30 %	
2 Std.	17	5,3	32	6,1	+ 15 %	
6 Std.			32	6,1		
Anfang		12,0				
60 Min.	18	4,7				
70 Min.			35	6,1	+ 30 %	
120 Min.	18	5,3				
130 Min.			35	7,5	+ 42 %	
6 Std.			35	5,3		
Anfang		6,7				
30 Min.	19	4,0	40	4,7	+ 18 %	turgeszent
70 Min.	19	4,7				
80 Min.			40	6,1	+ 30 %	turgeszent
5 Std.	19	5,3	40	5,3	± 0 %	etwas schlaff
Anfang		17,1				
30 Min.			45	7,5		turgeszent
60 Min.	20	7,5				
80 Min.			45	4,7	— 37 %	etwas schlaff
120 Min.	20	6,1				
140 Min.			45	5,3	— 13 %	noch schlaffer
5 Std.	20	6,7				
Anfang		17,1				
10 Min.			50	8,2		turgeszent
20 Min.			50	5,3		schlaff werdend
30 Min.			50	3,4		
35 Min.	20	7,5			— 55 %	
80 Min.	20	6,7				
Anfang		13,7				
15 Min.			50	4,7		
20 Min.	19	6,7			— 30 %	Beginn des Schlaffwerdens
30 Min.			50	1,3	— 81 %	schlaff
45 Min.				nicht mehr meßbar.		
50 Min.	19	6,1				

In Wasser von 32° und 35° ist  $Sz_n$  um 15-42 % höher als in Wasser von Zimmertemperatur.

In Wasser von 40° ist  $Sz_n$  in den ersten 80 Minuten um 18-30 % höher, nach 5 Stunden sind die  $Sz_n$ -Werte gleich.

Bei 45° und 50° ist die Saugkraft tiefer als bei Zimmertemperatur.

Dieses Resultat deckt sich im Prinzip mit dem Befund GAMMA's an Submersen.

### 3. Diskussion der $Sz_n$ - und $Sz_g$ -Änderung.

#### αα) Verhalten der $Sz_n$ - und $Sz_g$ -Änderung unterhalb der praemortalen Zone.

Mit steigender Temperatur nimmt  $Sz_n$  zu und fällt  $Sz_g$ .

Es sind physikalische und physiologische Faktoren in Betracht zu ziehen.

Da beim Fehlen von Außenkräften  $Sz_n = Si_n - W_n$ , ist der Einfluß der Erwärmung auf  $Si_n$  und  $W_n$  zu untersuchen.

$Si_n$  zeigt eine physikalische und physiologische Temperaturabhängigkeit. Der physikalische Einfluß der Erwärmung läßt sich in erster Annäherung darstellen durch die Beziehung  $P_t = P \left(1 + \frac{t}{273}\right)$  (vgl. URSPRUNG 1937, S. 1259, 1268).

Nach  $P_t = P_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right)$  ist die Saugkraft von 1,0 Mol<sub>g</sub> Rohrzucker

bei 0° = 24,826
bei 10° = 25,729
bei 40° = 28,451

Nach Versuchen von MORSE (1914) ist die Saugkraft von 1,0 Mol<sub>g</sub> Rohrzucker

bei 0° = 24,826
bei 10° = 25,693
bei 40° = 27,701

Nach  $P_t = P_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right)$  ist die Saugkraft von 0,6 Mol<sub>g</sub> LiCl

bei 18° = 28,3652
bei 30° = 29,535

LiCl wurde von MORSE bei 30° direkt gemessen, LiCl bei 18° von mir hieraus berechnet.

Um festzustellen, ob dieser rein physikalische Einfluß ausreicht zur Erklärung der beobachteten  $Sz_n$ -Änderung unterhalb der praemortalen Zone, berechnen wir in beiden Fällen den prozentualen  $Sz_n$ -Anstieg.

Bei Erwärmung von 1 Mol <sub>g</sub> Rohrzucker um 10° beträgt der Si <sub>n</sub> -Anstieg 3,5 %						
»	0,6 Mol <sub>g</sub> LiCl	um 12°	»	Si <sub>n</sub>	»	4,1 %
»	<i>Elodea</i>	um 8°	»	Sz <sub>n</sub>	»	30 %
»	<i>Ranunculus</i>	um 14°	»	Sz <sub>n</sub>	»	40 %
»	<i>Myriophyllum</i>	um 19°	»	Sz <sub>n</sub>	»	100 %
»	<i>Phaseolus</i>	um 15°	»	Sz <sub>n</sub>	» bis	30 %
»	<i>Phaseolus</i>	um 17°	»	Sz <sub>n</sub>	» bis	42 %

Unterhalb der praemortalen Zone verläuft zwar bei Erwärmung die Sz<sub>n</sub>-Änderung im gleichen Sinne wie die rein physikalische Saugkraftzunahme des Zellsaftes, die Reaktion der Pflanze ist jedoch unverhältnismäßig viel stärker, so daß der in Betracht gezogene rein physikalische Prozeß nicht genügt.

Bei Si<sub>n</sub>-Änderungen sind natürlich auch Osmoregulationen in Betracht zu ziehen. Doch müßte eine Bildung osmotisch wirksamer Substanz nicht nur Sz<sub>n</sub> erhöhen, sondern gleichzeitig auch Sz<sub>g</sub>, während tatsächlich Sz<sub>n</sub> steigt und Sz<sub>g</sub> fällt.

Eine andere Erklärungsmöglichkeit beruht auf dem Verhalten des Wanddruckes, dessen Bedeutung für Sz<sub>n</sub> aus der Gleichung Sz<sub>n</sub> = Si<sub>n</sub> — W<sub>n</sub> hervorgeht.

Setzen wir in der Saugkraftgleichung willkürliche Werte ein

$$\begin{aligned} \text{Sz}_n &= \text{Si}_n - \text{W}_n \\ 4 &= 10 - 6 \end{aligned}$$

und lassen wir die Wandspannung sukzessive kleiner werden bis 0, so wird dadurch bei gleichem Si<sub>n</sub> die Größe Sz<sub>n</sub> allmählich von 4 auf 10 Atm. ansteigen. Auf diese Weise ist selbst bei Abnahme von Si<sub>n</sub> eine Zunahme von Sz<sub>n</sub> denkbar. Eine solche Entspannung der Wand erscheint möglich durch Einwirkung von Wuchsstoffen und durch Wachstum. Vor allem durch Versuche mit der Haferkoleoptile ist man zu der Vorstellung gelangt (vgl. URSPRUNG 1937, S. 1499), daß der Wuchsstoff die Plastizität der Wand erhöhe. Daß die untersuchten Submersen bis zur Erreichung des praemortalen Zustandes Wachstum zeigen, ist für *Elodea* von BÄCHER in dem oben erwähnten Versuche festgestellt worden.

Auffallen muß jedoch, daß bei Erwärmung unterhalb der praemortalen Zone mit dem Ansteigen von Sz<sub>n</sub> ein Fallen von Sz<sub>g</sub> verbunden ist. Wie läßt sich nun mit dem Ansteigen oder Konstantbleiben von Si<sub>n</sub> ein Sinken von Sz<sub>g</sub> kombinieren? Dies erscheint denkbar durch zunehmendes Plastischwerden der Wand, wie das folgende Schema zeigt:

$Sz_n = Si_n - W_n$	$Sz_g$				
Ausgangszustand 4 = 10 — 6	12 starke Kontrakt. d. Wand bei Plasmolyse				
Wanddruck sinkt 7 = 10 — 3	11 schwache " "	" "	" "		
Wand entspannt 10 = 10 — 0	10 keine " "	" "	" "		

Ist die Wand entspannt, so daß ihre Kontraktion bei Plasmolyse aufgehört hat, so ist  $Sz_g = Si_n = Sz_n$  geworden. Mit zunehmender Plastizität fällt hiebei der Wanddruck von 6 Atm. auf 0 ; gleichzeitig steigt  $Sz_n$  von 4 auf 10 Atm. und sinkt  $Sz_g$  von 12 auf 10 Atm.



### ββ) Verhalten der $Sz_n$ - und $Sz_g$ -Änderung in der praemortalen Zone.

$Sz_n$  fällt und  $Sz_g$  steigt.

Für das auffallende praemortale Ansteigen von  $Sz_g$  ist man wohl zunächst geneigt, Osmoregulationen anzunehmen ; indessen wäre mit der Bildung osmotisch wirksamer Substanz eine Erhöhung nicht nur von  $Sz_g$  sondern auch von  $Sz_n$  zu erwarten. Da aber  $Sz_n$  fällt, könnte man auch an einen Verlust der Semipermeabilität und einen Austritt osmotisch wirksamer Stoffe denken, dann müßten jedoch wiederum  $Sz_g$  und  $Sz_n$  in gleichem Sinne sich ändern.

Eine weitere Möglichkeit besteht in der  $W_n$ -Änderung. Durch Zunahme von  $W_n$  ist bei Konstanz von  $Si_n$  eine Abnahme von  $Sz_n$  und eine Zunahme von  $Sz_g$  denkbar nach dem Schema

$Sz_n = Si_n - W_n$	$Sz$	
Wand entspannt 10 = 10 — 0	10 Wand plastisch, keine Kontraktion bei Plasmolyse	
Wanddruck steigt 7 = 10 — 3	11 Wand etwas elastisch, schwache Kon- traktion bei Plasmolyse	
Wanddr. st. weiter 4 = 10 — 6	12 Wand elastisch, stärkere Kontraktion bei Plasmolyse	

Da im praemortalen Zustand, wie BÄCHER zeigte, das Wachstum aufhört, erscheint eine Abnahme der Plastizität und eine Zunahme der Wandspannung verständlich. Damit wäre aber mit dem Fallen von  $Sz_n$  ein Steigen von  $Sz_g$  verbunden.

### γγ) Verhalten der $Sz_n$ - und $Sz_g$ -Änderung in der letalen Zone.

Hier liegen die Verhältnisse einfach, indem mit dem Absterben des Protoplasmas und dem Verlust der Semipermeabilität Zellsaft durch den Wanddruck zum Austreten gebracht wird.

#### 4. Temperaturabhängigkeit der Wasserabsorption lebender Zellen unterhalb der praemortalen Zone.

Nach den oben angeführten Messungen steigt  $Sz_n$  mit Erhöhung der Temperatur. Wie bekannt, fällt die Viskosität mit zunehmender Temperatur. Wie DE HAAN (1933, S. 303) für Temperaturen zwischen  $+5^\circ$  und  $+22^\circ$  nachwies, steigt bei Temperaturerhöhung die Wasserpermeabilität des lebenden Protoplasmas und beschleunigt die Wasseraufnahme der lebenden Zellen. Die Erscheinung wird der Beschleunigung der Quellung und der Erhöhung des Quellungsgrades des Protoplasmas zugeschrieben (vgl. ferner KRABBE 1896; VAN RYSELBERGHE 1902; DELF 1916; HUBER und HÖFLER 1930; GELLHORN 1929, S. 70, 133; URSPRUNG 1937, S. 1190; WARTIOVAARA 1942).

Unterhalb der praemortalen Zone ist somit mit steigender Temperatur eine Beschleunigung der Wasseraufnahme der lebenden Zellen zu erwarten.

#### 5. Temperaturabhängigkeit der Wasserabsorption lebender Zellen in der praemortalen Zone.

Wie oben gezeigt wurde, fällt  $Sz_n$  in der praemortalen Zone ab. Das praemortale Ansteigen der Wasserabsorption kann somit nicht auf erhöhter Saugkraft beruhen. Da auch die Viskosität kein entsprechendes Verhalten zeigt, ist der Filtrationswiderstand zu untersuchen. Ceteris paribus erfolgt die Wasseraufnahme lebender Zellen naturgemäß um so rascher, je kleiner der Filtrationswiderstand ist.

Der Filtrationswiderstand lebender Zellen setzt sich zusammen aus dem Filtrationswiderstand der Zellwand und des Protoplasmas. Die Filtration durch die Zellwand scheint, von Quellungserscheinungen abgesehen, nach ähnlichen Gesetzen vor sich zu gehen, wie das Strömen durch Kapillaren (URSPRUNG 1918, S. 523; 1937, S. 1190). Da meine Absorptionskurven in der praemortalen Zone aber einen ganz anderen Verlauf zeigen, ist die Permeabilität des Protoplasmas zu verfolgen.

STILES und JORGENSEN (1917) fanden für Gewebescheiben aus Kartoffelknollen und Mohrrüben eine Beschleunigung der Wasseraufnahme zwischen  $10^\circ$  und  $30^\circ$ . Bei  $40^\circ$  erfolgte zuerst eine starke praemortale Steigerung der Absorptionsgeschwindigkeit und hierauf wegen des Absterbens der Zellen eine Flüssigkeitsabgabe. Es ergab sich also bei diesen lebenden Geweben eine ähnliche praemortale Temperaturabhängigkeit, wie bei der Absorption von URSPRUNG's Sprossen (1918, S. 524) und der meinigen.

Bei dem Verhalten von *Sz<sub>n</sub>* und der Viskosität dürfen wir heute m. E. schließen, daß der praemortale Absorptionsanstieg auf ein entsprechendes Sinken des Filtrationswiderstandes lebender Zellen für Wasser zurückzuführen ist.

Anschließend an das S. 73/74 beschriebene Verhalten eines *Phaseolus*-stengels und an die S. 91 erwähnten Messungen an *Phaseolus*-blättern, wurden noch einige Absorptionsmessungen mit *Phaseolus*-blättern ausgeführt.

Bringen wir ein  $6 \times 6$  mm großes Blattstücklein von *Phaseolus* unter den Hebelapparat in Wasser von verschiedener Temperatur, so konstatieren wir in Wasser von  $18^\circ$  ein starkes Ansteigen der Blattdicke bis zur Wassersättigung und hierauf ein annäherndes Konstantbleiben. In Wasser von höherer Temperatur bis gegen  $40^\circ$  geht die Dickenzunahme im Prinzip gleich vor sich, nur erfolgt die Absorption rascher, was ich der erhöhten Saugkraft der Zellen, der geringeren Viskosität des Wassers und der gesteigerten Permeabilität des Protoplasmas zuschreibe (vgl. S. 95, 4.).

Bei ca.  $45^\circ$  folgt auf anfänglich starkes Ansteigen ein tiefes Fallen, und in Wasser von etwas höherer Temperatur (beginnend bei  $46^\circ$ - $50^\circ$ ) sinkt die Blattdicke von Anfang an. Der steigende Ast der Kurve ist bedingt durch die Wasserabsorption der lebenden Blattzellen; der fallende Ast der Kurve oder die von Anfang an sinkende Kurve kommt zustande durch den Saftaustritt nach Aufhebung der Semipermeabilität.

Legen wir das Objekt nicht in Wasser von konstanter Temperatur, sondern in solches, das stetig weiter erwärmt wird, so läßt sich der praemortale Absorptionsanstieg auch auf diesem Wege sichtbar machen. In einer nicht veröffentlichten Versuchsreihe von Herrn Prof. BLUM wurde z. B. gefunden:

Tab. 18.

Zeit	Wassertemperatur °C	Blattdicken- änderung in Teilstrichen	Zeit	Wassertemperatur °C	Blattdicken- änderung in Teilstrichen
16.39	29		16.48	42	+ 390
16.40	31	+ 17	16.49	42,5	+ 390
16.41	33,5	+ 120	16.50	43,5	+ 389
16.42	36	+ 230	16.51	44,5	+ 389
16.43	38	+ 310	16.52	45,5	+ 389
16.44	39	+ 328	16.53	46,5	+ 389
16.45	40	+ 330	16.54	47,5	+ 389
16.46	41	+ 360	16.55	48,5	+ 389
16.47	41,5	+ 390			

Zeit	Wassertemperatur °C	Blattdicken- änderung in Teilstrichen	Zeit	Wassertemperatur °C	Blattdicken- änderung in Teilstrichen
16.56	49,5	+ 389 !!	17.01	55	+ 100
16.56 1/2	50	+ 420	17.02	56,5	+ 50
16.57	50,25	+ 300	17.03	58	— 5
16.58	51,5	+ 220	17.04	59,5	— 60
16.59	52,5	+ 170	17.05	61	— 150
17.00	53,5	+ 150	17.06	63	— 200

Das praemortale Ansteigen bei 50° kurz vor dem letalen Fallen ist deutlich zu erkennen. Man darf annehmen, daß auch der Stengel von *Phaseolus* bei ähnlicher Behandlung den praemortalen Absorptionsanstieg zeigen wird. Ähnlich, wenn auch ohne starken praemortalen Anstieg, reagierte der Hauptnerv von *Phaseolus* in Paraffinöl.

Da weder Sz<sub>n</sub> noch die Viskosität ein entsprechendes Verhalten aufweisen, glaube ich die Erklärung für die starke praemortale Absorptionssteigerung auch bei *Phaseolus* in einer entsprechenden Permeabilitätszunahme des Protoplasmas für Wasser suchen zu dürfen.

## 6. Die Wasserabsorption lebender Zellen in der letalen Zone.

Nach Verlust der Semipermeabilität des Protoplasmas wird Zellsaft durch den Wanddruck ausgepreßt, bis die Wand entspannt ist. Die Wasserabsorption wird somit negativ und strebt dem Nullwert zu.

Daß hohe Temperatur das Protoplasma zum Absterben bringt, ist längst bekannt (vgl. z. B. die Hitzekoagulation bei LEPESCHKIN S. 113, 182; BĚLEHRÁDEK 1935, S. 185).

Wenn ich mich auch ausschließlich mit dem Einfluß von Temperaturen über ca. 20° beschäftigte, so sei doch auch an die Bedeutung tieferer Temperaturen kurz erinnert. Eine Gruppe für sich bilden die Pflanzen, die über 0° erfrieren. Versuche, in denen die Stengel partiell auf entsprechende Temperatur gebracht wurden, liegen meines Wissens nicht vor, doch wurde das Verhalten geprüft, wenn die ganze Pflanze der betreffenden Temperatur ausgesetzt war (SPRANGER 1941, S. 90).

Zusammenfassend ergibt sich, daß mit Erhöhung der Temperatur unterhalb der praemortalen Zone die Wasserpermeabilität des Protoplasmas ansteigt. In der praemortalen Zone ist dieser Anstieg der Wasserpermeabilität besonders stark. In der sich anschließenden letalen Zone dehnt sich die Permeabilität auch aus auf die gelösten osmotisch wirksamen Stoffe des Zellsaftes, womit die Semipermeabilität verloren geht.