Über die Einwirkung von Äthyläther auf die Zuwachsbewegung.

Von H. Schroeder.

I. Einleitung

Die Literatur über die Einwirkung von Äther auf die Lebenserscheinungen pflanzlicher Organismen ist, seit zuerst 1847 F. W. Clemens[1]) über die Ätherisierung von Mimosa pudica berichtete, derart angeschwollen, daß ich mich im Folgenden auf die Aufzählung derjenigen Arbeiten beschränken muß, die in unmittelbarem Zusammenhang mit dem in der Überschrift genannten Thema stehen, d. h. also auf solche, in denen Versuche über die Einwirkung von Äther auf die Zuwachsbewegung und zwar während der Dauer der unmittelbaren Berührung mit dem Narkotikum mitgeteilt werden[2]).

Hierüber macht — soweit ich finden kann — die ersten Angaben Claude Bernard, der sowohl die vorübergehende Hemmung des Keimungsprozesses[3]) als die Sistierung der schon eingeleiteten Keimung[4]) — also des Wachstumes — beobachtete. Mit seinen Befunden scheinen sich im wesentlichen die Resultate Siragusas[5]) zu decken, der gleichfalls eine Verhinderung der Keimung ohne Verlust der Keimfähigkeit konstatierte und des weiteren angibt, daß das Wachstum ober- und unterirdischer Organe gelähmt werde. Die ersten exakten Messungen verdanken wir Elfving[6]). Er fand an Sporangienträgern von Phycomyces nitens, daß, wenn überhaupt eine Wirkung

---

1) Zitiert nach Rothert, Jahrbücher für wiss. Botanik, Bd. XXXIX (1904), pag. 3.

2) Die vorliegende Arbeit wurde ursprünglich in der Absicht unternommen, die Beeinflussung tropistischer Reizvorgänge durch Narkotika kennen zu lernen. Dabei erwies es sich als unumgängliche Vorbedingung die Einwirkung auf die Zuwachsbewegung genau zu analysieren und diese stellte sich als weniger einfach heraus, als es die vorliegende Literatur erwarten ließ. Ich habe darum vorderhand darauf verzichtet, die Untersuchung im beabsichtigten Umfange weiterzuführen und mich damit begnügt, lediglich die Resultate der Versuche über die Wirkung auf das Wachstum an dieser Stelle mitzuteilen.

3) Leçons sur les phénomènes de la vie, Tome I, pag. 269, 270. Paris 1878.

4) Ebenda, pag. 271.

5) F. P. C. Siragusa, L'anestesia nel regno vegetale. Palermo 1879. Zitiert nach einem Referat von Penzig in Just's Jahresbericht 1879, Bd. I, pag. 295.

6) Über die Einwirkung von Äther und Chloroform auf die Pflanzen. Öfersigt af Finska Vetensk. Soc. Förh., Bd. XXVIII.

eintrat, stets eine Verlangsamung bzw. Stillstand der Zuwachsbewegung sich ergab.

In den Mitteilungen Johannsens[1]) wird dann zuerst von einer „erregenden" Wirkung gesprochen, dabei aber hauptsächlich die Periode der Nachwirkung sowie die Beeinflussung von Ruhezuständen ins Auge gefaßt. Die Ätherperiode selbst betrachtet wieder Townsend[2]). Dieser fand für die Keimung bei geringen Gaben Beschleunigung, bei größeren Hemmung, dazwischen eine Dosis, die anscheinend wirkungslos war, wo also — wie er schließt — die beiderlei Wirkungen des Äthers, die erregende und die lähmende sich die Waage halten. Townsend hat endlich auch beobachtet, daß die unter dem Einfluß kleiner Äthergaben den normal behandelten Kontrollpflanzen vorausgeeilten Keimlinge späterhin von diesen eingeholt, ja überholt wurden, daß also die anfängliche Beschleunigung mit der Zeit in eine Hemmung umschlägt. Das Wachstum von Wurzeln und Blättern nach der Keimung findet er durchweg verzögert. Ganz neuerdings gibt endlich Burgerstein[3]) an, daß „durch eine geringe der Luft zugesetzte Äthermenge das Längenwachstum des Hypokotyls beschleunigt, durch eine größere dagegen verzögert werde".

II. Experimenteller Teil.

Eigene Versuche klärten mich nun dahin auf, daß die vereinzelt schon von Townsend bemerkte Tatsache einer anfänglichen Beschleunigung der Zuwachsbewegung mit daran anschließender Verzögerung als der allgemeine Ausdruck für die Wirkung des Äthers auf das Wachstum angesehen werden muß. Auch für stärkere Dosen läßt sich diese temporäre Zunahme der Zuwachsgeschwindigkeit leicht dartun, sofern nur genügend kurze Beobachtungsintervalle gewählt werden, wie die im folgenden mitgeteilten Versuche ohne weiteres ergeben.

Zur Methodik bemerke ich. Die Messung der Geschwindigkeit der Zuwachsbewegung erfolgte mit dem Horizontal-Mikroskop, und ist der stündliche Zuwachs in Teilstrichen der Skala mitgeteilt, von denen bei der gewählten Anordnung 22 auf 1 mm gehen. Die Objekte — Keimlinge von Avena[4]) — befanden sich in kleinen Glaszylindern,

1) Z. B.: Das Ätherverfahren beim Frühtreiben. Jena, I. Auflage 1900; II. Auflage 1906.

2) Annals of Botany, Vol. XI (1897), pag. 509 und Botanical Gazette, Vol. XXVII (1899), pag. 458.

3) Verhandlungen der K. K. Zoolog.-botan. Gesellschaft zu Wien, Jahrgang 1906, pag. 243.

4) Großer, weißer von Lugowo.

die 3 ccm Wasser bzw. Ätherwasser der jeweils angegebenen Konzentration enthielten, wobei ein Luftraum von ca. 100 ccm blieb. Fixiert wurden sie mittels einer durch das Endosperm geführten Nadel, die in einer mit Blei beschwerten Korkplatte steckte. Um jegliche Verschiebung unmöglich zu machen, wurde noch eine Pinzette von geeigneter Länge zwischen diese Korkscheibe und den Verschlußkorken geklemmt. Letzterer war zur Verhütung einer Ätherabsorption mit Stanniol unterlegt. Temperaturschwankungen wurden dadurch ausgeschlossen, daß die Zylinder in einen Wasserthermostaten nach Ostwald mit empfindlichem Regulator versenkt wurden, dessen Temperatur 20,4° C bis auf $^1/_{10}$° konstant blieb. Der ganze Apparat wurde auf einem an den sehr soliden Mauern der Dunkelkammer des hiesigen Institutes befestigten Wandtisch aufgebaut und nur zu den Ablesungen Licht angezündet.

Die geschälten Samen wurden durchgängig 48 Stunden bei Zimmertemperatur geweicht, danach 24—36 Stunden in Sägemehl bei ca. 20° C (Warmhaus) vorgekeimt, dann längere Zeit, in der Regel 16 Stunden, in dem Apparat belassen, ehe mit den Messungen begonnen wurde. Es wurde alsdann zunächst der Zuwachs unter normalen Bedingungen festgestellt, darauf der in der Ätherperiode usw., so daß jeder der im folgenden mitgeteilten Versuche mit ein und derselben Pflanze durchgeführt ist.

Versuch 1.

Gabe: 0,25 % (Vol.) Ätherwasser.

I. Normal	II. 0,25 % Äther	III. Normal	IV. 0,25 % Äther	V. Normal
10,5	13,5	12,5	15,0	4,5
8,0	27	3,0	16,0	4,5
10,5	20	10,0	—	—
—	nach $13^1/_2$ St.	6,5	—	—
—	17	—	—	—
—	17 [1])	—	—	—

Also eine ganz unzweifelhafte Beschleunigung der Zuwachsbewegung.

Versuch 2.

Gabe: 0,5 % Ätherwasser.

I. Normal	II. 0,5 % Äther	III. Normal
13,0	27,0	20,0
12,0	18,0	10,0
—	27,0	—
—	24,0	—

1) Beim Öffnen ganz schwacher Äthergeruch.

Versuch 3.

Gabe: 1 % Ätherwasser.

I. Normal	II. 1 % Äther	III. Normal
16,0	32,0	14,0
18,0	21,0	3,0
—	20,5	—
—	11,0	—

Sehr starke aber nur transitorische Beschleunigung.

Versuch 4.

Gabe: 2 % Ätherwasser.

I. Normal	II. 2 % Äther	III. Normal
7,0	17,5	13,0
8,0	20,5	7,5
11,0	13,0	6,0

Nach 12 Stunden: 16,0; 17,0; 20,0.

Versuch 5.

Gabe: 5 % Ätherwasser.

I. Normal	II. 5 % Äther	III. Normal
27,0	37,0	Es wurde, nachdem innerhalb 1 Stunde nach Entfernung des Äthers ein Zuwachs nicht festzustellen war, versehentlich die Gasflamme unter dem Thermostaten abgestellt, so daß im Laufe der Nacht eine starke Abkühlung eintrat.
21,0	6,5	Am nächsten Tage betrug der stündliche Zuwachs 8—10 Teilstriche.
	6,0	
	2,0	
	— 1	

Versuch 6.

Gabe: 5 % Ätherwasser.

I. Normal	II. 5 % Äther	III. Normal
18,0	24,0	0
18,0	2,0	0
	8,0	0
	0,5	0
	4,5	Über Nacht (12 Stdn.) 26 = 2,2 pro Stunde
		1,0
		4,0
		Die Plumula war inzwischen durchgebrochen und ihr Zuwachs betrug in den beiden letzten Stunden: 2,0, 7,0.

Es stellt also die Koleoptile nach dem Durchbruch der Plumula ihr Wachstum nicht sofort ein.

Demnach bei 5 % Ätherwasser eine ganz kurze Beschleunigung, der eine lang andauernde Hemmung bzw. Stillstand folgt.

Versuch 7.

Gabe: 6 % Ätherwasser.

I. Normal	II. 6 % Äther	III. Normal
17,0 17,0	4,5 [1]) } 10,0 5,5 [1]) } 0 1,0	0 2,0 4,0 7,0 4,5 Nach 12 Stunden: 7,0 10,0

Versuch 8.

Gabe: 7 % Ätherwasser.

I. Normal	II. 7 % Äther	III. Normal
14,0 12,0	8,0 [1]) } 10,0 2,0 [1]) } 0	0 Nach 24 Stunden: 9,0

Versuch 9.

Gabe: 8 % Ätherwasser.

I. Normal	8 % Äther
13,0 6,0 11,0	Es trat sofortiger Stillstand des Wachstums ein bzw. erfolgte eine kleine Verkürzung — wohl Aufheben des Turgors. Nach 3 Stunden wurde der Äther entfernt, Erholung konnte aber nicht mehr beobachtet werden. Nach 2 Tagen war die Pflanze welk und abgestorben.

Die Versuche ergeben ganz übereinstimmend für Dosen von 1 % bis 5 % Ätherwasser eine anfängliche mehr oder minder starke Beschleunigung der Zuwachsbewegung, der eine Verzögerung bis unter die normale Größe folgt. Der Abfall tritt um so rascher ein, je größer die gebotene Äthergabe war. Es konnte auf diese Weise ein vollkommener Wachstumsstillstand mit späterer Erholung erzielt werden und betrug die Dauer der Sistierung bis zu 4 Stunden. Für kürzere Intervalle hat schon Elfving[2]) bei Sporangienträgern von Phycomyces nitens einen transitorischen Wachstumsstillstand festgestellt.

Bei 6 % und 7 % Ätherwasser tritt der Abfall sofort ein. Doch war sogar bei 7 %, sofern nur die erste halbe Stunde der Ätherperiode berücksichtigt wird, eine wenn auch geringe Beschleunigung meßbar; bei 6 % auch dann schon eine Verzögerung.

8 % Ätherwasser endlich führten augenblicklich den Tod herbei.

1) Zuwachs in der halben Stunde.

2) l. c.

Nur bei den kleinsten Dosen konnte eine der Erregung folgende Hemmung nicht gemessen werden, hier mußte die Entscheidung durch länger fortgesetzte Versuche getroffen werden. Bei diesen bietet das sichere Abschließen, zumal bei schwankender Temperatur erhebliche Schwierigkeiten, die nach meiner Meinung auch Burgerstein nicht vollkommen überwunden hat.

Meine ersten Versuche litten, besonders bei schwächeren Gaben, darunter. Immerhin lehrten dieselben, daß 1 % und ½ % Ätherwasser bei länger fortgesetzten Versuchen eine Abnahme des Gesamtzuwachses bewirken. Denn 48 Stunden geweichte und dann 3 Tage in Ätheratmosphäre gehaltene Keimlinge von Avena sativa erreichten bei 1 % Ätherwasser eine Durchschnittslänge von 1,35 cm (Mittel aus 30 Pflanzen), bei ½ % Ätherwasser 3,425 cm (20 Pflanzen), während bei geringeren Dosen sowie der ätherfreien Kontrolle die in der gleichen Zeit erreichte Gesamtlänge 5,55—6,34 cm betrug.

Bei den folgenden Versuchen weichte ich die Keimlinge jeweils 48 Stunden und ließ sie darauf 2—4 Tage in Sägemehl keimen, bis die Koleoptile eine Länge von 2½—3 cm erreicht hatte. Alsdann wurden von je 10 Stück Wurzel, Korn und die Stengelbasis mit Filtrierpapier umwickelt und in hohe Standzylinder versenkt unter Zugabe von 50 ccm Wasser bzw. Ätherwasser, so daß die Wurzeln und Teile des Kornes eintauchten, der Keimling aber sich in der Luft bzw. dem feuchten Papier befand. Auch hierbei diente mit Stanniol unterlegter Kork als Abschluß. Die Ätherlösungen wurden in der Regel zweimal, mindestens aber einmal täglich erneuert. Die Messungen erfolgten gleichfalls täglich und wurden mit einem Maßstabe vorgenommen[1]). Die Resultate ergeben die folgenden Tabellen:

(Tabellen siehe nächste Seite.)

Durch Umrahmung der Zahlen soll darauf hingewiesen werden, daß die Zuwachsgeschwindigkeit in dem betreffenden Intervall eine größere war, als die der ätherfreien Kontrollpflanzen. Um gleichzeitig ein Bild über die Größe der individuellen Schwankungen zu erhalten, wurden von jeder Konzentration jeweils zwei Zylinder (jeder mit zehn Keimlingen) aufgestellt. Die mitgeteilten Zahlen sind die Durchschnittswerte aus beiden Serien; erfolgte der Ausschlag derart, daß die Zuwachsgeschwindigkeit der einen Reihe über, die der anderen unter der Norm lag, so ist die betreffende Angabe durch einen * gekennzeichnet.

1) Es wurde jeweils die Strecke von dem Korn bis zur Spitze der Koleoptile bzw. später des ersten Laubblattes gemessen und daraus der Zuwachs berechnet.

Tabelle I.

Durchschnittliche Zuwachsgröße in Zentimeter innerhalb 24 Stunden in aufeinanderfolgenden Tagen.

Ätherdosis	0	1/2		1/4		1/10	1/50 % (Vol.)
1. Tag	1,03	0,92		1,06 *		1,12	1,23
2. Tag	2,38	1,54		2,00		2,29 *	2,33 *
3. Tag	1,88	0,90		1,45		1,57	1,97 *
4. Tag	1,50	0,60		0,99		1,44	1,47 *
5. Tag	1,06	0,31		0,80		0,91	1,16
6. Tag	1,58	0,57		1,23		1,38	1,57 *
7. Tag	0,65	0,66 [1])	0,51	0,85 [1])	0,85	0,54	0,77
8. Tag	0,27	1,02	0,32	0,69	0,45	0,36	0,24
9. Tag	0,02	0,23	0,23	0,26	0,14	0,05	0,09
10. Tag	—	0,08	0,09	—	0,08	—	—
Anfangslänge	2,62	2,71	2,45	2,65	2,59	2,71	2,72
Endlänge	12,97	9,58	8,50	11,92	11,64	12,35	13,57
Gesamtzuwachs	10,35	6,87	6,05	9,27	9,05	9,64	10,85

[1]) Die entsprechenden Vertikalreihen von da ab in reinem Wasser.

Setzt man — wie dies in der folgenden Tabelle geschehen ist — die Zuwachsgröße der Kontrollpflanzen gleich 100, so erhält man ein noch anschaulicheres Bild der Ätherwirkung.

Tabelle II.

Ätherdosis	0	1/2	1/4	1/10	1/50 %
1. Tag	100	89,32	102,9*	108,7	119,4
2. Tag	100	64,71	84,03	96,22*	97,90*
3. Tag	100	47,86	77,13	83,51	104,7*
4. Tag	100	40,00	66,00	96,00	98,60*
5. Tag	100	29,25	75,30	85,85	109,4
6. Tag	100	36,08	77,85	87,34	99,37*
7. Tag	100	90,77	124,9	83,07	118,5

Das Zeichen * hat die gleiche Bedeutung wie bei der vorausgehenden Tabelle.

Vor allem lassen die mitgeteilten Zahlen die für meine Auffassung des Äthereingriffes bedeutungsvolle Tatsache erkennen, daß auch bei Gaben von 1/4 und 1/10 Vol % Ätherwasser die anfängliche Beschleunigung sich in eine Hemmung verwandelt, sofern nur die Versuchs-

dauer genügend ausgedehnt wird. Wenn man also sich mit nur einer Messung begnügt, so hängt das Resultat auch hier offensichtlich nicht nur von der verabreichten Ätherdosis, sondern auch von der Dauer der Einwirkung ab und man wird für ein und dieselbe Dosis bei kurzem Intervall Erregung, bei längerem Hemmung finden müssen; dazwischen einen Zeitpunkt anscheinender Wirkungslosigkeit, an dem die ursprüngliche Beschleunigung und die darauffolgende Verzögerung sich die Wage halten. In diesem Sinne dürfte auch die zitierte[1]) Angabe Townsends von einer Konzentration, bei der sich beiderlei Wirkungen, die erregende und die hemmende, aufheben, zu deuten sein. Sie äußern sich also nicht gleichzeitig, sondern sukzessive. Auf die Vernachlässigung des Zeitfaktors wird auch manche Unstimmigkeit in der Literatur zurückzuführen sein.

Des weiteren ergibt sich mit großer Schärfe die Tatsache, daß die schädigende Wirkung des Äthers eine progressive — mit der Zeitdauer der Berührung zunehmende — ist. Denn die Zuwachsgröße fiel z. B. bei $^1/_2$ % Ätherwasser von 89,32 % der Norm, am ersten Tage, sukzessive auf 29,25 % am fünften und ein ähnlicher allmählicher Abfall zeigte sich, wenn auch schwächer bei Gaben von $^1/_4$ und $^1/_{10}$ % Äther. Der anfänglichen Beschleunigung folgt bei $^1/_{10}$ % die Hemmung derart langsam, daß am ersten Tage sich eine größere Zuwachsgeschwindigkeit ergibt als bei den ätherfreien Pflanzen; selbst am zweiten Tage bleiben bei dieser Dosierung die Keimlinge nicht oder nur unbedeutend hinter den Kontrollpflanzen zurück, denn eine Serie zeigt sogar noch eine größere Zuwachsgeschwindigkeit als der Durchschnitt der letzteren, und erst am dritten Tage ist die Verlangsamung evident. Ganz in Übereinstimmung damit ist bei $^1/_4$ % Ätherwasser am Ende des ersten Tages kaum eine Wirkung erkennbar — unbedeutende Beschleunigung, dabei der Zuwachs der einen Serie größer, der der anderen kleiner als normal — dann setzt hier schon am zweiten Tage der Abfall ein, der naturgemäß einen höheren Betrag erreicht, als der bei $^1/_{10}$ % Ätherwasser gefundene. Bei $^1/_{50}$ % endlich ist die Zuwachsgeschwindigkeit bald größer, bald geringer als die der Norm, und außerdem schlagen die Einzelserien häufig nach verschiedenen Seiten aus, ohne daß irgend eine Gesetzmäßigkeit darin zu erkennen wäre. Man wird mithin annehmen dürfen, daß unter den gegebenen Bedingungen (absolute Giftmenge, Temperatur usw.) diese Gabe keinerlei Einwirkung mehr äußert.

---

1) Seite 157.

Vom fünften und sechsten Tage ab lassen die Resultate an Einheitlichkeit zu wünschen übrig, was auf den Einfluß der großen Wachstumsperiode zurückgeführt werden muß. Das Blattwachstum der normalen Pflanzen klang allmählich aus und die durch den Äther zurückgehaltenen folgten dem nicht ganz gleichmäßig. Ein Blick auf Tabelle I lehrt aber, daß dieser Rückgang bei allen Pflanzen doch annähernd zu der gleichen Zeit eintrat, nämlich ungefähr am siebenten Beobachtungstage, ohne Rücksicht auf die bis dahin erreichte Blattgröße, so daß die ausgewachsenen Blätter, wie die Zahlen der vorletzten Horizontalreihe der gleichen Tabelle beweisen, bei den lähmenden Ätherdosen ($^1/_2$, $^1/_4$, $^1/_{10}$ %) kürzer blieben als die normalen. Es trat also nicht etwa ein Ausgleich in dem Sinne ein, daß die ätherisierten Objekte wohl langsamer wuchsen, aber ihr Wachstum über einen längeren Zeitraum ausdehnten als die nicht ätherisierten. Auch Entfernen des Äthers nach 6 Tagen änderte daran nichts mehr; es war somit eine, wenn auch unbedeutende formative Beeinflussung unzweifelhaft vorhanden.

Ich habe die mitgeteilten Versuche noch weiter fortgeführt und die Zuwachsgeschwindigkeit auch des zweiten Laubblattes gemessen, doch sind die Resultate nicht mehr ohne weiteres miteinander vergleichbar. Es machte sich der Einfluß der großen Wachstumsperiode in noch höherem Maße fühlbar als vorher, zumal da auch der Entwicklungszustand der einzelnen Versuchsreihen infolge der vorausgegangenen Behandlung ein ungleicher war. Bei Abschluß der Versuche nach insgesamt 13 Tagen hatten die zweiten Blätter die folgende Länge:

Äthergabe	0	$^1/_2$	$^1/_4$	$^1/_{10}$	$^1/_{50}$
	14,45 cm	6,00 [1]) 9,77 [2])	10,72 11,28 [2])	12,95 11,91 [1])	14,96 15,42 [1])

1) Vom 9. Tage an ohne Äther. — 2) Vom 6. Tage an ohne Äther.

Gegen obige Versuchsanstellung ließe sich möglicherweise ein Einwand erheben. Bekanntlich verteilt sich ein gelöster Körper zwischen zwei Lösungsmittel derart, daß die räumlichen Konzentrationen desselben in diesen beiden Lösungsmitteln nach Eintritt des Gleichgewichts in einem bestimmten Verhältnis stehen, das als Teilungskoëffizient bezeichnet wird [1]). Entsprechend wird sich auch der Äther zwischen dem Wasser und den Zellen des Keimlings verteilen [2]), wobei wir von den Komplikationen, die durch strukturelle und chemische Differenzen

1) Vgl. z. B. Nernst, Theoretische Chemie, IV. Auflage, pag. 482.
2) Siehe Overton, Studien über die Narkose, Jena 1901.

hervorgerufen werden für unsere Betrachtungen absehen wollen. Es wird dabei unter allen Umständen eine Abnahme der Konzentration der wässerigen Lösung eintreten müssen, die aber, sofern die Masse der eingebrachten Organismen im Vergleich zur Ätherwassermenge sehr gering ist, nur einen minimalen Betrag erreicht und vernachlässigt werden kann. Aber auch nur dann, und es fragt sich, ob diese Voraussetzung bei den besprochenen Versuchen erfüllt ist; anderenfalls wird der Verteilungszustand, der den zugesetzten Ätherwasserkonzentrationen entspricht, erst nach mehrmaligem Erneuern der Lösung erreicht werden können und die beobachtete progressive Wirkung wäre nur eine scheinbare, während in Wahrheit die Zuwachsbewegung der jeweils vorhandenen Ätherkonzentration entspräche.

Schien mir auch eine derartige Deutung nicht eben wahrscheinlich, so wollte ich doch nicht versäumen, ihre eventuelle Berechtigung durch einen Versuch zu prüfen. Ich wiederholte darum die Dauerversuche bei gleicher Vorbehandlung der Objekte und möglichst identischen Außenbedingungen[1]), mit dem Unterschied, daß anstatt 50 ccm Ätherwasser jedesmal 250 ccm, also das fünffache, geboten wurden. Nachfolgend die Resultate:

Tabelle III.

Durchschnittszuwachs in Zentimeter für die 24stündige Periode.

Ätherdosis	0	$^1/_2$	$^1/_{10}$	$^1/_{20}$ Vol. %
1. Tag	0,710	0,625	0,930	0,865
2. Tag	1,122	0,750	1,075	1,085
3. Tag	1,128	0,605	1,395	1,075
4. Tag	1,060	0,403	0,822	0,885
5. Tag	1,050	0,367	1,000	0,965
6 Tag	0,924	0,292	0,691	0,741
7. Tag	0,844	abgebrochen	0,899	0,782
Endlänge	9,69	5,842	9,532	9,173
Anfangslänge	2,85	2,80	2,64	2,775
Gesamtzuwachs	6,84	3,042	6,892	6,398

1) Die Temperatur war der Jahreszeit entsprechend niedriger als bei den früheren Versuchen.

Tabelle IV.

Relativer Zuwachs für die 24stündige Periode.

Der Zuwachs der Kontrollpflanzen gleich 100 gesetzt.

Ätherdosis	0	$^1/_2$	$^1/_{10}$	$^1/_{30}$ Vol. %
1. Tag	100	88,03	131,00	121,83
2. Tag	100	66,84	95,81	96,70
3. Tag	100	54,63	123,67	95,30
4. Tag	100	38,02	77,56	83,49
5. Tag	100	34,95	95,22	91,90
6. Tag	100	31,62	74,78	80,02
7. Tag	100	—	106,28	92,65

Es zeigt sich also, daß der oben skizzierte Einwand nicht zutrifft. Obwohl die fünffache absolute Giftmenge vorhanden war, ist die Wirkung genau ebenso eine progressive wie bei den früheren Versuchen. Speziell die Reihe mit $^1/_2$ % Ätherwasser stimmt über Erwarten gut mit der entsprechenden Serie der Tabelle III überein. Auch bei $^1/_{30}$ % ist die zunehmende Verzögerung deutlich ausgesprochen, sie ist gleicherweise bei $^1/_{10}$ % erkennbar, doch kommen bei dieser Konzentration einige Unregelmäßigkeiten vor, deren Ursache mir unbekannt ist. Bezüglich der Ergebnisse des siebenten Beobachtungstages ist das oben (Seite 164) über den Einfluß der großen Wachstumskurve gesagte zu berücksichtigen.

Man könnte noch an eine weitere Erklärungsmöglichkeit für die mit der Zeit fortschreitende Hemmung denken, wenn man die Annahme machen wollte, daß der Äther nur langsam, gleichviel auf welchem Wege, und infolge welcher Widerstände[1]) zu den Zellen speziell der Streckungszone gelangt. Die beobachtete Wirkung wäre dann nur scheinbar eine zeitlich progressive, in Wahrheit entspräche die Geschwindigkeit der Zuwachsbewegung durchaus den jeweils in dem Innern der Zellen vorhandenen Giftkonzentrationen. Ich glaube aber nicht, daß man unter dieser Voraussetzung eine befriedigende Erklärung meiner Re-

1) Ich verzichte darauf, diese das Eindringen möglicherweise erschwerenden Momente im einzelnen anzuführen (Kutikula, Aufnahme lediglich von Seiten der Wurzel und nur langsames Emporsteigen usw.) und füge nur bei, daß nach Overton die Hautschicht des Protoplasten den Äther derart rasch passieren läßt, daß Plasmolyse durch Ätherlösungen nicht veranlaßt werden kann. Dem Plasma selbst darf also dabei eine Anteilnahme nicht zugeschrieben werden.

sultate zu geben vermag. Denn es trat bei allen Dosierungen von $^1/_2$ bis zu 5 % Ätherwasser die stimulierende Wirkung unmittelbar nach der Applikation, also innerhalb der ersten Stunde, in vollem Umfange zutage, ebenso bei 8 % sofort die Hemmung; nur bei $^1/_4$ % stand in einem Falle die Erregung in der ersten Stunde nicht auf der gleichen Höhe wie in der zweiten. Dann blieb sie aber gerade bei dieser Gabe für volle 17 Stunden nahezu von der gleichen Größe. Wurde der Äther entfernt, so klang die Erregung sofort aus, nicht dagegen die Lähmung, war letztere eingetreten, so bedurfte es einer oft recht erheblichen Erholungsperiode bis wieder normales Wachstum stattfand. Bei den über längere Perioden ausgedehnten Versuchen endlich nimmt z. B. für $^1/_2$ % Ätherwasser die Hemmung immer steigend, volle 5 und 6 Tage lang, zu. Alle diese Tatsachen sprechen für ein baldiges Erreichen des Gleichgewichtszustandes und es scheint demnach unzulässig, die gefundene progressive Wirkung auf ein langsames Ansteigen der Ätherkonzentration im Innern der Gewebezellen zurückzuführen.

Überblickt man die Versuche in ihrer Gesamtheit, so ergibt sich für alle Dosen, die überhaupt eine nachhaltige Wirkung äußern, zunächst eine mehr oder minder starke Beschleunigung der Zuwachsbewegung, der aber dann bei größeren Gaben früher, bei schwächeren später, eine Verlangsamung bis unter das normale Maß folgt, so daß das Endergebnis durchweg eine Hemmung sein wird, die aber oft erst nach sehr langer Einwirkungsdauer meßbar ist. Nicht ausgeschlossen erscheint es vielleicht, daß bei ganz geringen Gaben nur eine kurze chokartige Beschleunigung eintritt, der lediglich ein Rückgang zur Norm ohne weiteres Absinken folgt. Doch ist ein derartiges Verhalten nicht experimentell festgestellt. Ganz starke Dosen schädigen natürlich so rasch, daß eine eventuelle Erregung nicht mehr nachweisbar wird und extrem schwache Dosen zeigten innerhalb der üblichen Beobachtungszeiten keinerlei Wirkung.

Das Gesagte gilt streng genommen nur für das vorliegende Objekt, doch glaube ich, allerdings bei Beschränkung auf die Beeinflussung der Zuwachsbewegung, die Verallgemeinerung im obigen Sinne wagen zu dürfen, obwohl die Resultate an Blättern — also Organen von begrenztem Wachstum gewonnen — wurden.

III. Folgerungen und Ausblicke.

Über die naheliegende Frage, ob die mitgeteilte Gesetzmäßigkeit auch für die Beeinflussung anderer Lebenserscheinungen pflanzlicher

Organismen durch Äther gelten, vermag ich aus der vorliegenden Literatur nur wenig Positives zu entnehmen.

Kosinski[1]) fand, wie später ich[2]) selbst, daß die Menge der durch die Atmungstätigkeit von Aspergillus niger gebildeten Kohlensäure unter dem Einfluß stärkerer Äthergaben mit der Zeit progressiv abnimmt, dagegen ist aus seinen für geringe stimmulierende Dosen mitgeteilten Zahlen eine Abnahme der gefundenen Erregung nicht zu konstatieren. Ausgeschlossen ist natürlich nicht, daß bei längerer Versuchsdauer dieses Absinken doch noch in Erscheinung getreten wäre.

Von einer erregenden Wirkung des Äthers (und Chloroforms) auf die Kohlensäure-Assimilation berichtet eine Dissertation von W. Kegel[3]). Dieser gibt an, daß Konzentrationen von beiläufig 5,5—10 %[4]) (Vol.) Ätherwasser den aus der Schnittfläche eines belichteten Elodeasprosses austretenden Blasenstrom für einige wenige Minuten ungemein beschleunigen, wogegen geringere Gaben lediglich eine Verlangsamung eventuell Sistierung zur Folge hatten. Ganz schwache Dosen waren auch hier unwirksam. Kegel erblickt darin den äußeren Ausdruck einer entsprechenden Verschiebung der Assimilationstätigkeit, nimmt also den Blasenstrom als unmittelbares Maß der Kohlensäurezerlegung, trotz der Verschiedenheit des umgebenden Mediums — Wasser und halb bis nahezu ganz gesättigte wässerige Ätherlösung. Wäre seine Annahme zutreffend, so widersprächen seine Befunde, obwohl auf eine differente Partialfunktion sich beziehend, meinen obigen Folgerungen. Denn nach diesen dürften niemals allein die starken Dosen erregen und danach erst lähmen, die schwachen aber ausschließlich und vom ersten Augenblicke an eine verzögernde Wirkung äußern. Im Gegenteil müßte bei letzteren die stimulierende Wirkung, wenn auch vielleicht weniger intensiv, so doch länger andauernd sein als bei ersteren. Es schien mir darum von allem Anfange an wahrscheinlich, daß die von Kegel beschriebene Beschleunigung des Blasen-

---

1) Jahrbücher für wissensch. Botanik, Bd. XXXVII (1902), pag. 137.

2) Ebenda, Bd. XLIV (1907), pag. 409.

3) „Über den Einfluß von Chloroform und Äther auf die Assimilation von Elodea Canadensis“. Dissertation. Göttingen 1905.

4) Kegel teilt seine Dosen in Gewichtsprozenten mit; sie sind hier, um die Einheitlichkeit der Angaben in der vorliegenden Abhandlung zu wahren, in Volum-Prozente umgerechnet.

stromes durch kräftigere Ätherdosen[1]) physikalisch-chemisch gedeutet werden müsse. Ein Passus in der Arbeit von Kegel ist durchaus geeignet diese Annahme zu bestärken; es heißt daselbst[2]): „Die höheren Konzentrationen (0,7—0,6 % Chloroform, 7—6 % Äther[3]) bewirken nach pag. 44 sehr schnell eine völlige Desorganisation der Zelle. Trotzdem ließ sich die beschleunigte Blasenausscheidung in einigen näher untersuchten Fällen noch mehrere Minuten beobachten, nachdem die mikroskopische Untersuchung schon sichere Anzeichen für die völlige Abtötung der Chlorophyllkörner ergeben hatte usw.“

Einige von mir in der gedachten Hinsicht angestellte Versuche mögen dartun, daß meine Annahme, es handele sich im vorliegenden Falle um ein physikalisches Geschehen, zutrifft.

Zunächst beobachtete ich einen 3—4 Minuten andauernden lebhaften Blasenstrom in 8 Vol % Ätherbarytwasser, bei einem Sproß, der unmittelbar vorher in Barytwasser der gleichen Konzentration aber ohne Äther keine Gasausscheidung mehr gezeigt hatte. Im Hinblick auf die jüngst von Nathansohn[4]) gefundene physiologische Kohlensäurespeicherung bei Elodea erscheint der Versuch nunmehr nicht mehr völlig einwandfrei. Ich stellte darum noch folgendes fest:

1. Die Steigerung des Blasenstromes tritt auch in reinem Äther ein.

Ein Sproß mit ca. zehn entfalteten Wirteln stieß im Wasser 34 Gasblasen pro Minute aus; nach Übertragung in reinen Äther begann nach 25 Sekunden ein ungemein lebhafter Strom unzählbarer Blasen. Dieselben wurden mit weit größerer Kraft herausgeschleudert als im Wasser und stiegen infolgedessen auch trotz des leichteren Mediums sehr viel rascher zur Oberfläche als vorher. Nach $2^1/_2$ Minuten nahm die Geschwindigkeit sichtbar ab, nach 3 Minuten waren es noch 66 pro Minute, nach 5 Minuten 30; nach 6 Minuten 20, nach 8 Minuten 6, nach 10 Minuten gleichfalls 6 und nach 12 Minuten versiegte der Strom definitiv. Ein weiterer Versuch ergab ein durchaus übereinstimmendes Resultat.

2. Brachte ich einen Sproß in eine 1 %ige Lösung von Cyankalium, so wurde die Gasausscheidung sofort unterbrochen, wurde er

---

1) Die folgenden Ausführungen beziehen sich zunächst nur auf die Ätherversuche Kegels, doch dürften für seine Resultate mit Chloroformwasser die gleichen Erwägungen gelten.

2) l. c. pag. 51, 52.

3) Gewichtsprozente entsprechend 10—8,5 Volum-Prozent Äther.

4) Berichte über die Verhandl. der Königl. Sächs. Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Mathem.-Physische Klasse, Bd. LIX (1907), pag. 211.

dann nach 15 Minuten in 10 % Ätherwasser übergeführt, so trat nach rund 1 Minute eine überaus lebhafte Gasausscheidung auf, die etwa 5 Minuten langsam abnehmend anhielt, um dann sehr rasch in etwa 2 Minuten zu verlöschen. Der gleiche Erfolg konnte auch nach 25 Minuten langem Verweilen in der Cyankaliumlösung verzeichnet werden.

3. Betrachtet man ein abgetrenntes Blatt eines lebhaft assimilierenden Elodeasprosses unter dem Mikroskop in Wasser, so bemerkt man eine große Anzahl parallel gerichteter dunkler Längsstreifen, die die lufterfüllten Interzellularen markieren. Setzt man Äther zu, so entweicht die Luft in Blasen aus der Wundfläche und wird durch Flüssigkeit ersetzt. Die dunklen Längsstreifen verschwinden — abgesehen von einzelnen abgeschnürten Inseln — und das ganze Blatt wird durchscheinend. In vielen Fällen kann man das Nachrücken der Flüssigkeit hinter dem austretenden Luftfaden direkt beobachten. Damit stimmt auch die Tatsache überein, daß die Sprosse nach der Ätherbehandlung, in reinem Wasser zu Boden sinken, während sie vorher zur Oberfläche emporstiegen.

Der beschleunigte Blasenstrom ist mithin nicht der Ausdruck einer gesteigerten Assimilationstätigkeit, sondern wird im wesentlichen durch Austreiben der Gase aus den Interzellularen zu erklären sein. Es handelt sich also um einen physikalisch-chemischen und nicht um einen physiologischen Prozeß. Wie der Vorgang sich im einzelnen abspielt, gehört nicht hierher. Gesättigtes Ätherwasser wird dabei prinzipiell genau in der gleichen Weise wirken wie der reine Äther, da nach Ostwald für gesättigte Lösungen das Verhältnis der Löslichkeiten und der Teilungskoëffizient identisch werden müssen[1]). Bei weiterem Verdünnen der Lösungen wird schließlich der Punkt erreicht an dem der physikalische Faktor zurück und nur noch die physiologische Hemmung der Assimilation in die Erscheinung tritt[2]). Es dürfte somit aus den Befunden Kegels ein Einwand gegen meine Folgerungen nicht herzuleiten sein.

---

1) Lehrbuch der allgemeinen Chemie, II. Auflage, Bd. I, (1891), pag. 811.

2) Es ließen sich diese Erörterungen, die zeigen wie wenig geeignet diese Methode für das Studium der Assimilationserregung unter diesen Umständen ist, noch weiter ausdehnen. Einmal wird auch der Partialdruck des an dem Blasenrande verdunstenden Äthers dazu beitragen den Gasdruck in den Interzellularen zu erhöhen und dadurch wirken. Ferner könnte man sich fragen, ob der Äther erst nach dem Tode der Zellen (Schließzellen der Spaltöffnungen?) den Weg in die

Bei Mikroorganismen fand Rothert[1]) neben einer lediglich durch die Konzentration des Äther- oder Chloroformwassers bedingten Anästhese (Empfindungslosigkeit für äußere Reize), für einige Formen eine ausgesprochen progressive Lähmung des Bewegungsvermögens, kommt also auch seinerseits zu dem Schlusse, daß in letzterem Falle die Wirkung nicht von der Konzentration des Narkotikums allein abhänge, sondern daß auch die Einwirkungsdauer zu berücksichtigen sei. Indem ich diese Übereinstimmung konstatiere, muß ich aber auch darauf hinweisen, daß Rothert bei einem Bakterium termo bei schwachen Ätherdosen eine dauernde Begünstigung der Entwicklung fand, die aber erst nach einiger Zeit hervortrat[2]), was — wie einige anderweitige Beobachtungen — auf eine Giftgewöhnung hindeutet. Ob hier ein prinzipieller Gegensatz vorhanden, muß dahingestellt bleiben, auch Rothert selbst weist auf den Widerspruch diesen zuletzt erwähnten Befundes mit der von ihm gefundenen vorbeschriebenen progressiven Wirkung hin ohne eine Erklärung desselben zu versuchen.

Es dürften zum Schlusse noch ein paar Worte darüber gerechtfertigt erscheinen, ob die hier beobachtete Fähigkeit des Äthers die Zuwachsbewegung progressiv zu verlangsamen bzw. bei stärkeren Dosen transitorisch zu unterdrücken mit seiner Qualität als Narkotikum im ursächlichen Zusammenhang stehe. In dieser Form gestellt verlangt die Frage zunächst eine Umgrenzung des Begriffes „Narkose", da man darunter eine jede reversible Lähmung eines vitalen Vorganges durch chemische Einflüsse verstehen kann, oder aber lediglich das Ausschalten des Empfindungs- bzw. Bewegungsvermögens. Doch ist es für das Wesen der Sache durchaus gleichgültig, für welche der beiden obigen Definitionen man sich entscheiden will; denn abgesehen von allen Wortbedeutungen bleibt zu entscheiden, ob es dieselben Eigenschaften des Äthers sind, die durch einen identischen Eingriff auf das Plasma bei kleineren Gaben Empfindungslosigkeit, bei größeren eine Lähmung

---

Interzellularen findet; wofür wohl die raschere Wirkung größerer Gaben spricht. Doch wurden alle diese Möglichkeiten nicht weiter experimentell geprüft, da es für meine Zwecke genügte, den Vorgang als einen rein physikalischen zu charakterisieren.

1) Über die Wirkung des Äthers und Chloroforms auf die Reizbewegung der Mikroorganismen. Jahrbücher f. wissensch. Botanik, Bd. XXXIX (1904), pag. 1—70.

2) l. c. pag. 21.

des Bewegungsvermögens und endlich bei weiterem Verstärken (mit der Zeit) außerdem noch Wachstumsstillstand herbeiführen. Overton nimmt für die Narkose, worunter er bei Pflanzenzellen anscheinend[1]) den Stillstand der Plasmaströmung versteht, an, sie hänge allein ab von der Konzentration, nicht von der Zeit. Genügt dies um zu der Auffassung zu zwingen, der progressiven Wirkung auf das Wachstum liege ein anderer Mechanismus zugrunde als der Lähmung von Strömungen, Bewegungs- und Empfindungsvermögen? Ich glaube nicht. Denn in der angeführten Arbeit fand Rothert auch die Hemmung der freien Ortsbewegung progressiv — also eine Funktion der Zeit und der Konzentration — und außerdem wird von Winterstein auch für tierische Organismen Overtons Ansicht bestritten. Es erscheint darum zweckmäßig darauf aufmerksam zu machen, daß ein derartig differenter Mechanismus wohl möglich, daß aber die entgegenstehende Auffassung einer identischen Wirkung keineswegs experimentell widerlegt ist.

Des weiteren sei noch darauf hingewiesen, daß eine Erregung mit anschließender Hemmung auch bei der Einwirkung anderer Außenfaktoren auf Lebenserscheinungen häufig zu beobachten ist. Ich erinnere nur an die ungemein exakten Versuche von Gabrielle L. C. Matthaei[2]) über den Einfluß der Temperatur auf die Kohlensäureassimilation. Auch für diese findet beim Übergang zu Wärmegraden, die auf die Dauer die Assimilationsgröße herabsetzen, zunächst eine vorübergehende Steigerung derselben statt. Also auch hier kommt dem Zeitfaktor eine ganz ausschlaggebende Bedeutung zu. In wieweit die äußere Übereinstimmung der Ausdruck für gleichartige Vorgänge innerhalb des Protoplasten ist, läßt sich zurzeit noch nicht sagen, so lange uns ein entscheidendes Kriterium darüber fehlt, was einfach auf Rechnung der Reaktionsbeschleunigung chemischer Umsetzungen (enzymatischer Wirkungen), was Regulationserscheinungen bzw. Abwehrmaßregeln des Organismus und was direkte Schädigungen durch Gift bzw. erhöhte Temperatur.

---

1) Er hat es nämlich leider unterlassen mitzuteilen, was er in diesem Falle „Narkose“ nennt.

2) Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Vol. 197, pag. 47—105.

Vergl. auch: F. F. Blackman, Optima and Limiting Factors. Annals of Botany, Vol. XIX (1905), pag. 281 und

Jost, Reaktionsgeschwindigkeit im Organismus. Biolog. Centralbl., Bd. XXVI (1906), pag. 225.

IV. Zusammenfassung der Versuchsresultate.

Die Wirkung des Äthers auf die Zuwachsbewegung ist eine Funktion von Konzentration und Einwirkungsdauer[1]). Und zwar äußert sich der Eingriff zunächst in einer Beschleunigung der Zuwachsbewegung, der späterhin eine Verlangsamung bis unter den normalen Betrag folgt. Diese Hemmung ist um so beträchtlicher und tritt um so eher ein, je größer die gebotene Ätherdosis war. Bei extrem starken Dosen erfolgt augenblicklich Wachstumsstillstand bzw. der Tod. Ganz schwache Dosen äußern keinerlei meßbare Wirkung.

Durch 5 % Ätherwasser konnte für Avenakeimlinge ein vorübergehender Wachstumsstillstand — wie ihn Elfving für Phycomyces fand — beobachtet werden.

Es ist darum die Angabe von Wachstumerregenden und -hemmenden Ätherdosen — und das dürfte auch für andere Narkotika gelten — ohne gleichzeitige Mitteilung der Einwirkungsdauer ungenügend.

Bonn, 21. April 1908.

Über den Geotropismus der Aroideenluftwurzeln.

(Eine Entgegnung auf die gleichnamige Arbeit von K. Gaulhofer.)

Von **K. Linsbauer.**

K. Gaulhofer hat kürzlich unter dem obigen Titel eine Abhandlung in den Sitzungsberichten der Wiener Akademie[2]) veröffentlicht, welche der Hauptsache nach gegen den II. Teil meiner in der Flora (1907, Bd. 97) erschienenen Untersuchung „Wachstum und Geotropismus der Aroideenluftwurzeln“ gerichtet ist. Da die Arbeit nach ihrem Wortlaute den Anschein erwecken muß, als wären die von mir angeführten Beobachtungsresultate mehr oder minder unrichtig, bin ich zu einer ausführlicheren Erwiderung gezwungen.

Ehe ich auf die Differenzen in unseren Befunden eingehe, möchte ich aber auf einige Mißverständnisse hinweisen, die sich in Gaulhofers Arbeit finden. Er erhebt zunächst den Vorwurf, daß ich, obwohl es

---

1) Es soll hiermit nicht gesagt sein, daß andere Faktoren nicht eingreifen. Aber diese beiden waren es, die in vorliegender Studie allein geprüft wurden. Über den Einfluß erhöhter Temperatur vergl. z. B.: B. Zehl, Die Beeinflussung der Giftwirkung durch Temperatur usw. Zeitschr. f. allgem. Physiologie (Verworn), Bd. VIII (1908), pag. 140.

2) Mathem.-naturw. Klasse, Bd. CXVI, Abt. I, pag. 1669 ff. Ein Separatum dieser Arbeit kam mir durch die Güte des Verfassers anfangs Mai l. J. zu.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Flora oder Allgemeine Botanische Zeitung

Jahr/Year: 1909

Band/Volume: 99

Autor(en)/Author(s): Schroeder Heinrich

Artikel/Article: Über die Einwirkung von Äthyläther auf die Zuwachsbewegung. 156-173