

Über die Wachstumsreize.

Experimentelle Beiträge.

Von

Prof. Dr. A. J. Nabokich,

Odessa, Universität.

Mit 6 Abbildungen im Text.

Vorwort.

In den nachfolgenden Studien habe ich versucht, einen Abschluß jener ziemlich vielzähligen Versuche zu machen, welche in den fünf Jahren 1904—1908 von mir ersonnen und ausgeführt worden sind, unter tätiger Mithilfe meiner Schüler, zum Zwecke des Studiums der Wachstumsprozesse der höheren Pflanzen. Die verwendete Zeit erwies sich leider als nicht hinreichend, um die Bearbeitung der Fragen, welche mich interessierten, in einigermaßen erschöpfender Weise zu vollenden. Das in großen Mengen angesammelte Datenmaterial erforderte jedoch eine kritische Durchsicht, ohne welche die weitere Untersuchung des Gegenstandes wenig produktiv sein könnte. Die vorliegende Arbeit erscheint somit als das Resultat einer solchen vorläufigen Übersicht über die glaubwürdigsten der mir zur Verfügung stehenden Daten. Der Schwerpunkt derselben konzentriert sich daher in dem faktischen Material, während viele der von mir jetzt verfochtenen Positionen nur als temporäre Hypothesen anzusehen sind, welche mich nur insofern interessierten und noch interessieren, als sie bei der nachfolgenden Erforschung des Problems als Richtschnur dienen können. Daher habe ich mich bemüht, meine Erörterungen nach Möglichkeit bis auf wenige notwendige Erläuterungen zu den Tafeln der Versuche einzuschränken.

Gleichzeitig mit der Verfassung der vorliegenden Studien erforschte ich eingehend die Literatur über die mich interessierenden Fragen. Dieselbe verlangt dringend einer kritischen Übersicht, da sie an vollständig widersprechenden Fakten und Schlußfolgerungen einen Überfluß offenbart. Der Mangel an Zeit und Mitteln erlaubte es mir nicht, jetzt schon eine Übersicht über die Beobachtungen anderer Autoren zu drucken. Ich hoffe, diese wesentliche Lücke bei den weiteren Veröffentlichungen meines Versuchsmaterials aus-

zufüllen; einstweilen aber bin ich genötigt, mich nur auf ein verkürztes Register der Arbeiten zu beschränken, welche die wesentlichsten Hinweise auf die Wirkung des Wassers, des Sauerstoffes und der salzartigen Substanzen enthalten.

Zugleich fühle ich mich verpflichtet, allen meinen Mitarbeitern hier meine tiefste Dankbarkeit für ihre uneigennützigte Beteiligung an der Arbeit auszudrücken. Ich habe meiner eigenen Mühe nicht geschont in der Ausführung der Massenversuche, doch waren meine Bemühungen lange nicht ausreichend, um die Bearbeitung des erwählten Themas einigermaßen vorwärts zu bringen. Zu ganz besonderer Dankbarkeit fühle ich mich Herrn M. J. Pestrjakoff verbunden, dank dessen Energie und Ausdauer es gelungen ist, viele vorläufige Versuche in der schweren Periode des Jahres 1905 auszuführen, welche mit meiner Übersiedlung nach Odessa zusammenfiel. Noch mehr fühle ich mich in der Ausführung meiner eigenen Versuche in den Jahren 1906, 1907 und 1908 Herrn J. E. Ostrowsky verbunden, welcher bei allen meinen Untersuchungen in der erwähnten Periode mit ungewöhnlicher Wißbegierde und Pünktlichkeit mir zur Seite stand.

**Das Agrikultur-chemische Laboratorium der
Kaiserl. Neurussischen Universität.**

I.

Über die sekundäre Wassereinwirkung auf die Pflanze.

Schon lange ist es bekannt, daß die Samen verschiedener Pflanzen infolge des Mangels an gelöstem Sauerstoff im Wasser nicht keimen, so z. B. die Erbsensamen. Jedoch geht die Keimung schon in fließendem Wasser oder bei künstlicher Aëration ganz normal vonstatten.

Andererseits ist festgestellt worden, daß mit der Verminderung des Sauerstoffgehaltes in der Luft die Wachstumsenergie der meisten Pflanzen verstärkt wird. Das Optimum des Wachstums der jungen Pflanzen wird in einem Gasgemisch beobachtet, welches mehrere male weniger Sauerstoff enthält als die Luft.

Die Kombination der erwähnten Versuchsergebnisse führt uns zu dem Schlusse, daß das die Pflanze benetzende Wasser infolge seiner schwachen Sauerstofflöslichkeit die Rolle eines Regulators der Wachstumsprozesse spielt. Je nach den Versuchsbedingungen, der Diffusionsgeschwindigkeit des Sauerstoffes, der Dicke der isolierenden Wasserschicht und dem Sauerstoffbedürfnis des Objektes, kann man bald eine Hemmung, bald eine Verstärkung der Wachstumsenergie unter dem Einflusse der Benetzung erwarten.

In allen in der Natur vorkommenden Fällen der Benetzung der wachsenden Organe mit Wasser, z. B. bei Taufall, Nebel- oder Regenniederschlägen, bei der Selbstbenetzung infolge der Guttation und auch bei künstlicher Bespritzung, Begießung und Überschwemmung der Pflanzen müssen wir Veränderungen in der Wachstumsenergie erwarten, und zwar nicht nur infolge der veränderten Ver-

dunstung oder Aufnahme der nötigen Feuchtigkeit, sondern auch infolge einer Änderung der Einwirkungsbedingungen des atmosphärischen Sauerstoffes auf die Pflanze. In meinem Aufsätze über das anaërobe Wachstum wurde schon bewiesen, daß das Eintauchen der Hypokotyle von *Helianthus annuus* ins Wasser eine Vergrößerung der Wachstumsenergie fast um das anderthalbfache herbeiführt. Damals versuchte ich, diese Erscheinung auf Grund verschiedenartiger Kontrollversuche durch die Sauerstoffeinwirkung zu erklären.¹⁾ Die früheren Versuche könnten jedoch manchem Zweifel Raum geben und veranlaßten mich daher, denselben Gegenstand von neuem zu untersuchen.

In einigen Versuchen erhielt ich um zwei- bis dreifach größere Zuwächse im Wasser als in feuchtem Raume. Solch ein Ergebnis der Versuche kann man nicht nur allein dem Einflusse des Sauerstoffes mit geringem Partialdruck zuschreiben. Meine Versuche zeigten auch, daß das Wachstumsoptimum in einem künstlichen Gasmisch, das keine schädlichen Stoffe enthielt, bei einem Sauerstoffgehalt von 1—3% beobachtet wird, wobei die Hypokotyle der Sonnenblume hier fast anderthalbmal so stark wachsen als in einem Gemisch, das 20—21% Sauerstoff enthält. Andererseits ist die Sauerstofflöslichkeit im Wasser so gering, daß ein Wasservolumen bei 760 mm Druck und 20° C 37 mal weniger Sauerstoff enthält als das gleiche Luftvolum. Nach dem Sauerstoffgehalt, der höchstens nur 0,57% sein kann, zu urteilen, kann das Wasser mit der Luft, die bis 20 mm Druck verdünnt ist, verglichen werden. Die Versuche, welche in einer solchen Verdünnung ausgeführt wurden, wiesen manchmal eine bedeutende Wachstumshemmung der Sonnenblume (ibid. p. 167 und 171) auf. Die starke Wirkung des Eintauchens auf das Wachstum der Keimlinge mußte also durch irgend eine andere Ursache als den Sauerstoff hervorgerufen werden. Dem Anscheine nach könnte man in diesem Falle eine gemeinsame Einwirkung von mehreren Nebeneinflüssen vermuten.

Die Kultivierung der Hypokotyle in feuchter Atmosphäre, auch wenn sie mit Wasserdampf gesättigt ist, schließt die Möglichkeit eines Wasserverlustes durch die Pflanze nicht aus. Die Dimensionszunahme der Keimlinge kann außerdem in den Zellen ein Bedürfnis nach Zufuhr neuer Wassermengen hervorrufen. Die feuchte Atmosphäre schließt die Befriedigung dieses Bedürfnisses aus, daher stammt auch die Wachstumshemmung. Bei der Anstellung der Versuche über die Wassereinwirkung muß man also den erwähnten Umstand berücksichtigen.

Die zweite Beeinflussung des Wachstums der Keimlinge konnte auch durch schädliche gasförmige Beimischungen der Laboratoriumsluft verursacht werden. Wenn auch in den Versuchen keine horizontale Nutation der Erbsenpflanze beobachtet wurde, so ist doch nicht zu vergessen, daß die Versuche in einem Raume angestellt wurden, der mit Gas beleuchtet wurde. Eine bedeutende Beimischung

¹⁾ Nabokich, A. J., Über die temporäre Anaërobiose der höheren Pflanzen. T. 1. St. Petersburg 1905. p. 162—176. [Russisch.] — Landw. Jahrb. 1908. Bd. 38. p. 51.) [Deutsch.]

des Leuchtgases hemmt aber das Wachstum der Sonnenblume. Ich habe mich davon durch eine ganze Reihe von Versuchen überzeugt. Es ist jedoch sehr wahrscheinlich, daß kleine Gasmengen umgekehrt eine Verstärkung des Hypokotylenwachstums herbeiführen. In den parallel angestellten Versuchen über das Wachstum im Wasser und in der Luft würde also die Beeinflussung beider Art vorkommen können; der Teil der Keimlinge, der sich in feuchter Luft befindet, würde unter der Einwirkung der schädlichen gasförmigen Beimischungen im Wachstum gehemmt werden, während sich das Wachstum des zweiten Teils im Wasser verstärken würde, weil nur ein kleinerer Teil des Leuchtgases, dessen Löslichkeit im Wasser nur schwach ist, in Lösung geht.

Schließlich ist auch die Möglichkeit der Reizwirkung verschiedener chemischer Verbindungen, die im Wasser enthalten sind, nicht ausgeschlossen; Ammoniak, Säuren, Bleispuren u. s. w. sind, wie es in einer separaten Studie weiter unten gezeigt wird, allein für sich schon fähig, das Wachstum der Sonnenblume scharf zu verstärken; in feuchter Atmosphäre kann aber eine solche Einwirkung gewiß nicht vorkommen.

Unter dem Einflusse verschiedenartiger zusammenwirkender Faktoren würde also ein scharfer Unterschied in der Wachstumsenergie eingetauchter und freier Keimlinge beobachtet werden. Die Untersuchung über die Abhängigkeit des Wachstums von gelöstem Sauerstoff verlangt also eine besondere Rücksicht und Genauigkeit bei der Ausführung der Versuche, welche auf den ersten Blick einfach und leicht erscheinen.

Die Versuche und die Kultur der Keimlinge wurden in einer besonderen Abteilung des Laboratoriums ausgeführt, wo keine Gasleitung vorhanden war, und zwar in einem inneren dunklen Zimmer, wo die Temperatur während ganzer Wochen infolge der geeigneten Lage zwischen warmen Räumen und der Abwesenheit einer eigenen Heizung im Zimmer fast keine Veränderungen aufwies, wie es aus dem täglichen Bulletin der Temperatur nach dem Maximum-Minimum-Thermometer zu ersehen ist. Die beständige Ventilation des Raumes durch die Außenluft von der Straße wurde durch eine Tag und Nacht funktionierende Wasserpumpe erzielt. Die Pumpe trieb frische Luft ins Zimmer und diese verbreitete sich alsdann auch in die beiden übrigen Zimmer der Abteilung. Die hereinkommende Luft wurde stets bis zur Zimmertemperatur erwärmt, indem sie in engen Glasröhren unter der Decke eine Strecke von ungefähr 15 Metern zurücklegen mußte.

Das zum Abwaschen der Keimlinge und für die Versuche nötige Wasser wurde aus dem gewöhnlichen kalkreichen Wasser der Wasserleitung zubereitet durch vorsichtige Destillation in einem gläsernen Apparate, welcher mit einem Asbestnetz bedeckt wurde und keine Metall- oder Gummiteile besaß. Um ein Überspringen noch nicht destillierter Wassertropfen zu verhüten, wurde ein gebogenes Röhrchen eingeschoben, wie es in den Apparaten zur Ammoniakdestillation bei der Stickstoffbestimmung nach Kjeldal gemacht wird.

Durch das erwähnte Verfahren wurden alle schädlichen gasförmigen und gelösten Beimischungen beseitigt.

Um den Wasserbedarf der wachsenden Keimlinge zu bestimmen, wurden besondere Versuche angestellt. Die 60 mm langen Hypokotyle der Sonnenblume, von den Cotyledonen befreit, wurden vor dem Versuche und nach je $3\frac{1}{2}$ und 22 Stunden des Wachstums in einer Wasserschicht abgewogen. Um den Wasserverlust durch Verdunstung zu vermeiden, wurden die Hypokotylabschnitte vor jeder Abwägung aus dem Wasser der Reihe nach herausgenommen und nach dem raschen Absaugen der sich ansetzenden Tropfen mittelst Filterpapier in einer feuchten Kammer aufbewahrt. Die Vorbereitung einer jeden Portion zu je 15 Stück verlangte nur einige Minuten.

Die Ergebnisse der zwei Versuche sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Wasseraufnahme durch die Hypokotylabschnitte
der Sonnenblume.

Versuche	I	II
Gewicht von 15 lebendigen Hypokotylabschnitten von <i>Helianthus annuus</i> , vor dem Versuche	5,020 g	4,885 g
Wasser aufgesogen nach $3\frac{1}{2}$ stündigem Wachstum	0,145 g	0,140 g
Dasselbe nach 22stündigem Wachstum in Wasser	0,498 g	0,510 g
Wasser aufgesogen nach $25\frac{1}{2}$ stündigem Wachstum	0,643 g	0,650 g
Dasselbe in % des lebendigen Gewichts	12,8 %	13,3 %
Dasselbe in Gramm auf ein Stück berechnet	0,043 g	0,044 g

Aus den angeführten Versuchsergebnissen ersieht man, daß das Wachstum der Sonnenblume von einer bedeutenden Wasseraufnahme begleitet wird, welche 1 g Wasser pro Tag auf je 30 Hypokotylabschnitte erreicht. Die Versuche über die Einwirkung von gelöstem Sauerstoff wurden daher in folgender Weise angestellt.

Für einen jeden Versuch wurden vier gleiche Portionen aus 70 mm langen Hypokotylabschnitten genommen. Die erste Portion wurde in eine feuchte Atmosphäre gebracht und auf einer durchlöcherten Korkplatte auf eine solche Weise befestigt, daß die Cotyledonen der Keimlinge oberhalb der Platte blieben, während die

abgeschnittenen Enden der Keimlinge durch die Löcher hindurch in einen Kristallisator mit destilliertem Wasser reichten; die zweite Portion wurde in feuchter Atmosphäre frei auf befeuchtetes Filterpapier gelegt; die dritte Portion wurde in einer Kuvette in eine 5—10 mm dicke Wasserschicht getaucht; die vierte wurde in feuchter, bis 25 oder 160 mm verdünnter Luft in einem 3 Liter großen Destillationskolben untergebracht.

Zuwüchse der 70 mm langen *Helianthus annuus*-Abschnitte.

Portionen zu je 24 Stück	Während 8 Stunden 19° 0 — 18° 6 C		Während 20 Stunden 19° 0 — 18° 5 C	
	mm	%	mm	%
In feuchter Kammer, die Enden in Wasser getaucht	5,3	100	9,6	100
In Wasserschicht	7,3	138	12,7	132
In Luft, bis 25 mm verdünnt	6,3	119	9,6	100
In feuchter Kammer auf Papier	4,8	91	8,8	92

Zuwüchse der *Helianthus annuus*-Abschnitte während 20 Stunden. Nach der Messung von 350 Exemplaren.

Portion	No. d. Versuche n. T° C.	19° 5	19° 6	18° 7	18° 8	Durchschnitt
	Charakter d. Portionen	— 18° 8	— 18° 7	— 19° 0	— 19° 0	
a	In feuchter Kammer, untere Enden in Wasser getaucht	8,67 mm 100	9,23 mm 100	7,4 mm 100	7,4 mm 100	100
b	In feuchter Kammer, auf feuchtem Filterpapier	99	92	104	128	104
c	In einer Wasserschicht, 1 cm dick	147	147	143	170	152
d	In feuchter Luft, verdünnt bis 160 mm; Kolben	121	128	151	146	137

Mir schien es interessant zu sein, dieselben Erscheinungen an parallelen, kurz und lange andauernden Kulturen der Sonnenblume zu verfolgen und die Wachstumsenergie der Sonnenblume bei demjenigen Partialdruck des Sauerstoffes der Luft, welchen der in Wasser gelöste Sauerstoff hat, zu bestimmen. Schließlich war auch die Prüfung der Versuche an irgend einer anderen Pflanze

von Bedeutung. Auf alle diese Fragen geben die nachfolgenden Versuchsergebnisse, welche unter den gleichen Vorsichtsmaßregeln wie die früheren erhalten wurden, die Antwort.

Zuwüchse der 70 mm langen *Helianthus annuus*-Abschnitte.

Portionen zu je 16 Stück	Während 9 Stunden 19° 0 — 18° 6 C		Während 22 Stunden 19° 0 — 18° 5 C	
	mm	%	mm	%
In feuchter Kammer, die Enden in Wasser getaucht	3,6	100	9,2	100
In Wasserschicht	7,4	206	13,5	146
In Luft, bis 20 mm verdünnt	6,0	166	11,4	124
In Luft, bis 160 mm verdünnt	6,5	180	12,4	135

Zuwüchse der 50 mm langen Hypokotylabschnitte von *Vicia Faba equina*. 18° 6 — 19° 0 C.

Portionen zu je 10 Stück	In feuchter Kammer	In Wasserschicht	In Luft verdünnt bis 25 mm
Zuwachs während 8½ Stunden	2,1	3,5	3,3
Zuwachs in %	100	167	157

Die angeführten Versuche wurden unter Befolgung aller oben erwähnten Vorsichtsmaßregeln zur Beseitigung der verschiedenen Nebeneinflüsse angestellt; dennoch rief das Eintauchen der Keimlinge ins Wasser, sowie auch die Verdünnung der Luft mit der Pumpe, eine Vergrößerung der Wachstumsenergie fast um das anderthalbfache hervor.

Dem Gesagten möchte ich noch hinzufügen, daß die Versuche von meinem Mitarbeiter Herrn Sarandinaki nochmals wiederholt wurden und ein ähnliches Resultat ergaben. Daher halte ich es jetzt für möglich, die Schlußfolgerung zu ziehen, daß die Wachstumserhöhung im Wasser durch die sekundäre Einwirkung des gelösten Sauerstoffes auf die Zellen verursacht wird.

Es ist mir gelungen, dieselbe Frage auch durch die Versuche mit künstlichem Regen und natürlicher Guttation der Keimlinge

zu erläutern. Die Versorgung der Keimlinge mit Wasser fand in diesen Versuchen normal auf dem Wege der Wasseraufnahme durch das Wurzelsystem statt; die Pflanzen befanden sich in absolut feuchter Atmosphäre und nichtsdestoweniger verstärkte die Benetzung jäh die Entwicklung der Keimlinge.

Die Versuche mit künstlichem Regen wurden in einem besonders konstruierten Apparate angestellt, bei dessen Einrichtung mir eine große Hilfe von meinen Mitarbeitern Iwanoff und Borgward geleistet wurde. Dieselben Herren waren auch bei der Ausführung der Versuche beteiligt.

Bei der Ausführung der Versuche im Apparate zum Studium der Regeneinwirkung auf das Wachstum wurden die Pflanzen in einen Tontopf mit durchlöchertem Boden eingepflanzt und auf einen runden kleinen Tisch mit einer nach dem Zentrum hin gesenkten Oberfläche und einem Abflußrohr gestellt. Der Sand wurde so grob gewählt, daß die Wasseransammlung darin unmöglich war. Der Topf mit 3—5tägigen Keimlingen ohne Häutchen, von gleicher Größe, wurde stets in der Weise schief gestellt, daß die bespritzte Hälfte etwas über die nicht bespritzte hervorragte; damit wurde sehr leicht eine gleichmäßige Benetzung des Wurzelsystems aller Keimlinge erzielt. Die nicht bespritzte Hälfte wurde zum Schutze vor Wassertropfen durch eine Schutzplatte abgesondert. Der erwähnte Tisch wurde mit einem Kasten, der mit feuchtem Filterpapier ausgelegt wurde, bedeckt. An der einen Kastenwand wurde eine kleine Öffnung gemacht, durch welche ein Strahl feiner Regentropfen vom Pulverisator her eindrang. Der Doppelpulverisator wurde durch eine Wasserpumpe in Tätigkeit gesetzt; das dazu nötige Wasser trat in dieselben aus zwei miteinander verbundenen 10 Lit.-Ballons ein und hatte stets die Temperatur des Versuchsraumes. Der Tropfenstrahl wurde mittelst zweier Schraubeklemmen an der Pumpe und zweier Schraubenspitzen am Pulverisator reguliert. Es gelang leicht, nicht nur einen beständigen Strahl sehr feiner Wassertropfen zu erhalten, sondern auch denselben derart auf die Pflanzen zu richten, daß der Luftstrom an die Kastenwand anprallte und nur die Tropfen, welche infolge ihres eigenen Gewichtes hinuntersanken, sich auf die Pflanzen niederetzten. Man kann also sagen, daß in den Versuchen ein „Regen ohne Wind“ vorlag. Der ganze Apparat wurde von außen dicht mit schwarzem Tuche bedeckt. Im Kasteninnern wurde ohne Zweifel eine mit Feuchtigkeit gesättigte Atmosphäre geschaffen: die auf den Pflanzen sitzengebliebenen Tropfen verdampften nicht, die Kotyledonen der Keimlinge sowie auch die Kastenwände wurden leicht mit Myzel bewachsen. Das Bespritzen fand periodisch statt, mit Unterbrechungen während der Nacht und manchmal auch mittags. Die fallenden Tropfen flossen leicht von den Hypokotylen ab, deren Oberfläche ölig ist und sich daher schwierig befeuchten läßt. Der durch den Regen erzielte Erfolg wird in der folgenden Gesamttabelle der Versuche demonstriert; in dieser Tafel ist auch der Kontrollversuch mit Messungen der Keimlinge beider Hälften eines Topfes angeführt, welche der Bespritzung nicht unterzogen wurden.

Versuche mit künstlicher Bespritzung
von *Helianthus annuus*. Temperatur 18° C.

No. d. Versuche	Wachstumsdauer vor d. Versuche in Tagen	Versuchsdauer	Bespritzungsdauer in Stunden	Anzahl der Keimlinge		Länge der Keimlinge in cm		Unterschied zu Gunsten der Bespritzung	
				nicht bespritzt	bespritzt	bespritzt	nicht bespritzt	cm	%
Kontroll- Versuch	4	121	0	122	125	15.6	15.9	+ 0.3	+ 2
1	3 ¹ / ₂	102	25	134	100	12.2	9.5	+ 2.7	+ 22
2	4	48	21	129	144	13.3	12.0	+ 1.3	+ 10
3	4	79	23	113	147	8.6	7.5	+ 1.1	+ 13
4	4	120	41	103	110	13.6	10.8	+ 2.8	+ 21
5	5	97	45	112	120	13.0	11.0	+ 2.0	+ 16
6	5	119	46	97	99	12.6	10.2	+ 2.4	+ 19
7	5	96	29	160	163	11.6	8.9	+ 2.7	+ 24
Mittelzahl	4 ¹ / ₂	94	33	121	126	12.0	10.0	+ 2.0	+ 17

Wie aus der Tafel zu ersehen ist, stimmen die Versuchsergebnisse miteinander gut überein. Die von der Oberfläche bewässerten Keimlinge verlängerten sich während 4—5 Versuchstagen um 10—30 mm mehr, als die von unten ununterbrochen bewässerten Keimlinge. Dieses Resultat wäre kaum durch irgend eine andere Ursache zu erklären, als nur durch die Einwirkung des Sauerstoffes.

Die Fähigkeit der jungen Keimlinge zur Guttation, d. h. zur Ausscheidung von Wassertropfen durch ihre oberirdischen Teile, gestattet eine andere Modifikation der Versuche zur Aufklärung derselben Frage.

Die Tauchversuche lassen manchen Zweifel über ungenügende Wasserversorgung der Keimlinge bestehen. In den Versuchen mit dem Regenfalle wird aber dieser Umstand beseitigt: die Pflanzen beider Portionen erhielten hier in gleichem Maße Wasser aus einem und demselben Sandboden, der ununterbrochen bewässert wurde. Doch wäre es schwer zu behaupten, daß die Temperatur der bespritzten und nicht bespritzten Hälften der Keimlinge die gleiche war; auch könnte man befürchten, daß die Verdunstung auf der nicht bespritzten Hälfte der Keimlinge nicht ganz aufgehoben wurde.

In den Guttationsversuchen kann man auch diesen wahrscheinlich ganz überflüssigen Zweifel beseitigen. In der mit Wasserdampf gesättigten Atmosphäre guttierten die Keimlinge von Weizen, Gerste und Hafer außerordentlich stark, wobei das ausgeschiedene

Wasser an den Blättchen und der Plumula hinunterfloß und diese Organe benetzte. Die Benetzung konnte aber vermieden werden durch Entfernung der Guttationstropfen mit Filterpapier. Die Bestreuung mit Filterpapier störte natürlich die freie Sauerstoffdiffusion nicht, das Guttationswasser aber wurde dabei aufgesogen. Die Durchnässung ging so rasch vor sich, daß die Bestreuung 2—3 mal täglich gewechselt werden mußte. Es ist schwer, vorauszusetzen, daß das zerriebene Filterpapier irgend einen Einfluß auf die Versuchsergebnisse ausüben könnte. Die Kontrollversuche mit den Keimlingen der nicht guttierenden Erbsenpflanze zeigten in der Tat die Unschädlichkeit der Bestreuung. Anstatt der Bestreuung wurde außerdem auch das vielmal wiederholte Entfernen der Tropfen mittelst Filterpapier angewendet. In allen Versuchen verlangsamte das Ausbleiben der Benetzung mit Guttationswasser das Wachstum sehr scharf. Dies erhellt aus den folgenden das Gesamtmaterial umfassenden Tafeln, in welchen die Versuche mit Keimlingskulturen in verdünnter Atmosphäre mit geringem Partialdruck des Luftsauerstoffes als Kontrollversuche angegeben sind. Bei der Ausführung der Versuche waren die Herren Ostrowsky und Mordowsky behilflich.

Guttationsversuche.

Versuchsnummer	Verfahren der Entfernung der Tropfen	Keimlingsalter vor d. Versuche in Tagen	Versuchsdauer, in Stunden	Keimlingzahl, guttierte und nicht guttierte K.	Länge d. Keiml. ohne Guttationstropfen in cm		Länge d. Keiml. mit Guttationstropfen in cm		Längenüberschuß der guttierten Keimlinge in %		
					Blatt	Coleoptyl	Blatt	Coleoptyl	Blatt	Coleoptyl	
<i>Gerste, Hordeum vulgare.</i>											
9	Die Hälfte der Keimlinge jedes Topfes wurde mit kleinen Stückchen von Filterpapier bestreut, welches 2—3 mal täglich infolge starker Durchnässung durch das Guttationswasser durch neues Papier ersetzt wurde.	5	120	29+29	7,8	6,0	9,5	6,5	+ 22	+ 8	
10		6	168	27+31	7,9	6,1	10,1	6,5	+ 28	+ 3	
<i>Roggen, Secale cereale.</i>											
11		4	79	27+32	5,3	4,5	7,6	6,0	+ 43	+ 33	
12		4	48	26+28	4,8	4,3	5,8	5,1	+ 21	+ 19	
13		4	96	29+30	7,8	5,0	9,4	5,0	+ 20	+ 0	
14		4	57	28+26	4,1	3,6	5,1	4,8	+ 24	+ 33	
<i>Hafer, Arena sativa.</i>											
15		6	96	30+33	6,7	5,3	7,6	5,7	+ 13	+ 7,5	
16		6	98	35+38	7,7	4,1	8,8	4,1	+ 14	+ 0	
17		5	120	33+56	4,7	4,5	8,8	6,3	+ 87	+ 40	
18		6	50	37+43	4,1	4,3	4,6	4,8	+ 12	+ 12	

Guttationsversuche.
Banatka (Weizen), *Triticum vulgare*.

Versuchsnummer	Verfahren der Entfernung der Tropfen	Keimlingalter vor dem Versuche, in Tagen	Versuchsdauer in Tagen	Pflanzenanzahl, guttierte und nicht guttierte Pfl.	Länge d. Keiml. mit und ohne Guttations-tropfen in cm		Längenüberschuß der guttierten Keimlinge in %	
					Blatt	Coleoptyl	Blatt	Coleoptyl
1	Tropfen wurden mit Fließpapier siebenmal täglich entfernt.	4	6	21+24	7,2	5,5	+ 20	+ 24
2		6	5	10+11	8,2	5,2	+ 28	+ 25
3		6	5	18+18	6,8	5,0	+ 31	+ 18
4		5	5	24+24	7,5	4,8	+ 20	+ 4
5		4	5	21+24	5,3	4,4	+ 32	+ 23
6		6	5	19+19	8,3	4,4	+ 16	+ 13
7		5	4	41+41	3,5	3,9	+ 83	+ 21
8		4	5	20+22	6,6	4,4	+ 30	+ 27

Kontrollversuche.

Pflanzen	Alter vor d. Versuche in Tagen	Versuchsdauer in Tagen	Pflanzen-Anzahl im Versuche	Luftdruck in cm				
				760 cm		400—250 cm		
				Blatt	Coleoptyl	Blatt	Coleoptyl	
Weizen <i>Triticum vulgare</i>	4	5 $\frac{1}{2}$	23+23		6,7	4,7	8,7	5,9
Roggen <i>Secale cereale</i>	4	5	50+47		5,8	5,1	7,5	5,0
Hafer <i>Avena sativa</i>	5	5	49+51		6,6	5,0	8,6	5,4
Erbsen <i>Pisum sativum</i>	4	2	195+145	Bestreut mit Stückchen von Fließpapier 7,6 cm		nicht bestreut 7,4 cm		

Aus den angeführten Ergebnissen ersieht man, daß die Benetzung der Keimlinge durch das Guttationswasser das Wachstum meistens noch in höherem Grade förderte, als es in den Versuchen mit künstlicher Bespritzung gefunden worden war. Diese ist auch

ganz begreiflich, weil das Guttationswasser die Keimlinge sozusagen ununterbrochen begießt. Neue Tropfen bildeten sich schon 10—30 Minuten nach dem Hinunterfließen der sich früher angesetzten, und dieser Prozeß geht Tag und Nacht vor sich, sobald sich die Pflanzen nur unter der Glasglocke in feuchter Atmosphäre befinden. Man darf aber bei der Beurteilung der mitgeteilten Beobachtungen nicht vergessen, daß die Pflanzen der nicht bespritzten Hälfte eines jeden Topfes ihrerseits ebenso stark guttierten. In diesen Versuchen wurde nur die Benetzung vermieden; im Keimlingsinnern waren also die Zellen mit Wasser durchtränkt und daher konnten die Pflanzen keinen Mangel an Wasser leiden.

Die Frage über die Einwirkung des flüssigen Wassers auf die Pflanze muß also in dem Sinne beantwortet werden, daß außer einem unmittelbaren Einflusse des Wassers als eines Nährstoffes auf die Pflanze und außer einer indirekten Wirkung durch die Regulation der Transpirationsprozesse noch ein Einfluß des die oberirdischen Pflanzenteile benetzenden Wassers als Isolator von ungünstigem Partialdruck des Luftsauerstoffes ausgeübt wird.

Die Aufklärung der erwähnten Seite dieser Frage scheint mir auf die Notwendigkeit einer Durchsicht des ganzen Gebietes derjenigen Anpassungen hinzuweisen, welche bei den verschiedenen Pflanzen inbezug auf Regen, Tau und Guttationswasser beobachtet werden. Es unterliegt keinem Zweifel, daß wir bis jetzt nicht verstanden haben, den Einfluß dieser Erscheinungen auf das Pflanzenleben richtig zu schätzen. In der Gartenkultur wurde aber der Nutzen einer starken Bespritzung schon längst anerkannt, und der praktische Landwirt kennt schon längst die wohltuende Wirkung des Regens auf das Gedeihen der Saat, welche sich durch keine der bekannten Bodenbewässerungen ersetzen läßt. Der Biologe, Botaniker muß jetzt nach meiner Ansicht die Frage an die Tagesordnung stellen, in welchem Grade bei verschiedenen Pflanzen die Benetzung der Wachstumszonen vermieden wird, und ob nicht ein Wasserabfluß von den ausgewachsenen assimilierenden Organen zu den jungen sich entwickelnden Pflanzenteilen beobachtet wird.

II.

Über die Vacuumstarre der höheren Pflanzen.

Eine plötzliche Sistierung des Wachstums höherer Pflanzen nach der Entfernung des atmosphärischen Sauerstoffes wurde schon oftmals von vielen Forschern beobachtet. Der Stillstand der Wachstumsprozesse wurde dabei nicht von einem sofortigen Absterben der Zellen begleitet, weshalb die Erscheinung auch den Namen Vacuumstarre erhielt, wobei vorausgesetzt wurde, daß sich die Pflanzen in Abwesenheit des Sauerstoffes bis zum Absterben in einem Starrezustande befinden.

In meinen Aufsätzen über das anaerobe Wachstum wies ich auf die Unrichtigkeit der angeführten Voraussetzung hin, indem ich durch eine Reihe von Versuchsbeispielen zeigte, daß die Vacuumstarre bei einigen Objekten nur temporär ist und die Pflanzen über kurz oder lang in sauerstoffreiem Medium mit derselben Energie wie in der Luft zu wachsen anfangen. Außerdem wurde von mir bewiesen, daß es gelingt, die Erneuerung der Wachstumsprozesse in Abwesenheit des Sauerstoffes künstlich durch eine Temperaturerhöhung der Umgebung, durch die Auswahl der jungen Objekte für die Versuche oder durch die Ernährung der Keimlinge mit kleinen Quantitäten von Zucker zu beschleunigen. In allen Versuchen wurde jedoch sofort nach der Entfernung des Sauerstoffes eine Wachstumssistierung beobachtet, welche bald sehr kurze Zeit (nur einige Stunden), bald außerordentlich lange (bis 3—4 Tage) anhielt.

Die beschriebene Erscheinung äußerte sich in den Kulturen sehr ungleich und caprice und erschwerte ungemein die Anstellung der vergleichenden Versuche zwecks Erforschung der Physiologie des anaeroben Wachstums. Trotz all der Bemühungen im Laufe der ersten Jahre der Arbeit über die temporäre Anaerobiose der höheren Pflanzen gelang es mir nicht, den erwähnten Wachstumsstillstand zu beseitigen. Die temporäre Vacuumstarre blieb für mich also sowohl in Bezug auf ihren Ursprung als auch auf den Charakter ihres Verlaufes während des anaeroben Pflanzenlebens eine gänzlich rätselhafte Erscheinung. Ich entschloß mich daher, diese Erscheinung näher zu studieren und ein Verfahren zur Beseitigung des Wachstumsstillstandes in sauerstoffreiem Medium zu suchen.

Als Ausgangspunkt für neue Versuche diente mir die Beobachtung, daß in den Kulturen, wo der Wachstumsstillstand lange andauerte, die Wiedererwachung des Wachstums gewöhnlich mit dem Beginn der Vermehrung der Mikroorganismen im Substrate zusammenfiel. Während der anfänglichen Versuche über das anaerobe Wachstum befürchtete ich sehr die Tätigkeit der Bakterien in der Voraussetzung, daß dieselben die Ursache sowohl der Wachstumshemmung als auch des Absterbens der Pflanzen seien. Die Versuche ergaben jedoch ein gerade entgegengesetztes, für mich ganz unerwartetes Resultat, welches darauf hinwies, daß die Bakterien vielmehr das Wachstum der Pflanzen in sauerstoffreiem Medium fördern. Die Voraussetzung, daß die Bakterien Sauerstoff ausscheiden, hielt ich damals für unwahrscheinlich. Vor kurzem ist es aber in meinem Laboratorium Herrn Lebedeff gelungen, zu zeigen, daß die Wasserstoffbakterien bei der Kohlensäureassimilation Sauerstoff ausscheiden, und zweifellos wird daher auch diese Tatsache in Zukunft bei der Anstellung vieler Versuche berücksichtigt werden müssen. Doch wurde das anaerobe Wachstum von mir auch in unbedingt sterilen Kulturen der höheren Pflanzen konstatiert. In anbetracht dieses wesentlichen Umstandes könnte man voraussetzen, daß das Wachstum durch die von den Bakterien beim Stoffwechsel produzierten Stoffe beeinflusst werde. Diese Voraussetzung führte mich auch auf den Gedanken, die Abhängigkeit des Wachs-

tums von der Anwesenheit kleiner Quantitäten Ammoniak, organischer Säuren und Salze derselben im Substrate zu studieren. Dieses Studium schien mir umso interessanter zu sein, als ich mich schon in den Versuchen von 1901 des öfteren der Untersuchung des Einflusses einiger Salze (NaCl, KNO₃ u. a.) auf das Wachstum zuwenden mußte. Dann erwies es sich damals bei der Untersuchung der Abhängigkeit des anaeroben Wachstums vom Zucker als notwendig, die isoosmotische Lösung eines solchen Salzes, welches selbst keinen Einfluß auf die Wachstumsenergie ausübte, ausfindig zu machen. Doch ist es mir nicht gelungen, solche Salze aufzufinden. Ich gewann im Gegenteil die Überzeugung, daß meine Objekte gegen die Anwesenheit verschiedener Salze in der Lösung außerordentlich empfindlich waren.

Durch meine neuen Versuche hoffte ich die energischsten Erreger des Wachstums zu finden und die optimalen Konzentrationen derselben zu bestimmen. Die beabsichtigte Untersuchung ist nun dank der gemeinsamen Mitwirkung der Praktikanten meines Laboratoriums zu einer speziellen Untersuchung der Abhängigkeit des normalen Wachstums von den Ionen verschiedener Salze geworden. Zu gleicher Zeit ist es auch gelungen, die oben aufgestellte Frage über die künstliche Beseitigung der Vacuumstarre zu lösen.

Die Lösungen des basischen (NH₄)₃PO₄ in Konzentrationen von $\frac{1}{1000}$ bis $\frac{1}{100}$ N erwiesen sich als außerordentlich günstig für das Wachstum der Hypokotyle der Sonnenblume, sowohl an der Luft als auch in sauerstoffreiem Medium. Die Versuche wurden in folgender Weise angestellt. Zunächst wurden auf dem Blasertische doppelte Destillationskölbchen hergestellt, die Ableitungsröhre des einen von ihnen wurde an den Hals des anderen angeschmolzen, in die beiden Kölbchen wurden alsdann 100—150 ccm Wasser und Ammoniakphosphat-Lösung eingegossen, in die Substrate jedes Kölbchens eine gleiche Anzahl von abgemessenen Hypokotylabschnitten von *Helianthus annuus* hineingelegt, die Eingußöffnungen der Kolben zugeschmolzen und aus den letzteren die Luft mittelst einer Ölpumpe bei Erwärmung vollständig entfernt. Durch die Ölpumpe wurde ein Vacuum bis 0,1—0,2 mm erzielt. Um die unerwünschte Vermischung der Substrate zu vermeiden, wurde in den hinteren Kolben stets Wasser, in den vorderen die Salzlösung eingegossen. Parallel wurde oft eine gleiche doppelte Kultur in Wasser und in der Ammoniumphosphat-Lösung an der Luft angestellt und die fünfte Portion der gleichzeitig zubereiteten und ausgewählten Keimlingstücke sofort nach der Zuschmelzung der Kolben mit dem Vacuum gemessen. In einigen Fällen wurde die Kolbenanzahl mit gleichartigen Keimlingen verdoppelt, um das Wachstum während zwei Kulturperioden von verschiedener Dauer beobachten zu können.

Nachfolgend führe ich einige Beispiele aus den Protokollen meiner Versuche an und zwar derjenigen Versuche, in welchen alle Keimlingsportionen einer vorherigen temporären Einwirkung des Vacuums unterworfen und durch Wasser oder die Lösung injiziert wurden.

Beispiel I.

Hypokotylabschnitte von neuntägigen *Helianthus annuus*, zu je 36 Stück in der Portion.

Portionscharakter	Kontrollportion vor dem Versuche	Im Vacuum nach 5 ¹ / ₂ Stunden		Im Vacuum nach 21 Stunden	
		Wasser	(NH ₄) ₃ PO ₄ 0,01 N	Wasser	(NH ₄) ₃ PO ₄ 0,01 N
Mittlere Länge eines Keimlings in mm	61,7	62,0	66,2	65,8	66,9
Mittlerer Zuwachs eines Keimlings in mm	—	+ 0,3	+ 4,8	+ 4,1	+ 5,2

Beispiel II.

Hypokotylabschnitte von zehntägigen *Helianthus annuus*, zu je 30—40 Stück in der Portion.

Portionscharakter	Kontrollportion vor dem Versuche	Nach 2 Stunden			Nach 4 Stunden			Nach 20 Stunden	
		In d. Luft, Wasser	Wasser	(NH ₄) ₃ PO ₄ 0,01 N	In d. Luft, Wasser	Wasser	(NH ₄) ₃ PO ₄ 0,01 N	Wasser	(NH ₄) ₃ PO ₄ 0,01 N
Mittlere Länge eines Keimlings in mm	60,9	62,5	60,7	63,5	65,6	61,3	66,4	63,2	67,0
Mittlerer Zuwachs des Keimlings in mm	—	1,6	0,0	2,6	4,7	0,4	5,5	2,3	6,1

Beispiel III.

Achttägige *Helianthus annuus*, zu je 16 Stück in der Portion.

Portionscharakter	Kontrollport. vor dem Versuche	Nach 10 Stunden		Nach 24 Stunden			
		Im Vacuum		Im Vacuum		In der Luft	
		Wasser	(NH ₄) ₃ PO ₄ 0,01 N	Wasser	(NH ₄) ₃ PO ₄ 0,01 N	Wasser	(NH ₄) ₃ PO ₄ 0,01 N
Mittlere Länge eines Keimlings (mm)	58,3	60,9	65,5	67,6	67,0	70,0	74,2
Mittlerer Zuwachs eines Keimlings (mm)	—	2,6	7,2	9,3	8,7	11,7	15,9

Durch die angeführten Beispiele wird der eigentümliche Charakter der Wachstumserscheinungen sehr schön illustriert, welcher

in den Versuchen mit der anaeroben Kultur in Wasser und in der Ammoniumphosphatlösung beobachtet wird. Die Entfernung des Sauerstoffes ruft einen sofortigen Wachstumsstillstand hervor, welcher wenigstens 4—6 Stunden andauert, wonach das Wachstum normal vor sich geht. Phosphorsaures Ammonium beseitigt diesen Stillstand vollständig, indem es ein solch starkes Wachstum der Objekte im Vacuum verursacht, daß die Zuwüchse im Vacuum die Zuwüchse in der Luft unter denselben gleichen Bedingungen übertreffen. Doch wird das Wachstum unter der Einwirkung des reizenden Stoffes bald geschwächt und gänzlich gehemmt, so daß bei einer lange anhaltenden Kultur in sauerstoffreiem Medium die gleichen Zuwüchse in Wasser und in der Lösung des Ammoniumphosphates beobachtet werden.

Sechstägige 40 mm lange Hypokotyle
von *Helianthus annuus*

(nach Bemessung von 3000 Exemplaren).

Nummer der Reihenfolge nach	Versuchsdauer in Stunden	Mittlerer Zuwachs im Vacuum in mm		Mittlerer Zuwachs in der Luft in mm		Wachstumsverstärkung im Ammonium in % Wasser = 100	
		Wasser	(NH ₄) ₃ PO ₄ 0,03 N	Wasser	(NH ₄) ₃ PO ₄ 0,03 N	im Vacuum	in der Luft
1	1/2	0,0	3,0	0,7	1,0	∞	143
2	1	0,0	5,1	1,2	1,7	∞	142
3	2	0,0	8,2	1,6	4,2	∞	262
4	4	0,0	8,3	2,7	7,9	∞	292
5	7	1,2	9,7	4,8	11,1	800	210
6	10	2,8	10,6	6,7	13,5	378	201
7	14	4,3	10,1	9,4	17,2	211	187
8	18	8,1	10,9	11,0	17,7	136	161
9	24	9,2	10,1	12,9	18,6	109	152
10	30	10,7	11,8	13,9	19,8	110	141

Die gemachten Schlüsse werden auch durch die Resultate einer speziellen Versuchsreihe bestätigt, welche von mir gemeinsam mit Herrn Slobodtschikoff ausgeführt wurde und den Zweck hatte, Material für die graphische Darstellung des Wachstumsganges in der Zeit unter dem Einflusse der Reizung durch phosphorsaures Ammonium zu sammeln; in allen Versuchen dieser Reihe wurden doppelte Kulturen gleichzeitig in der Luft und in sauerstoffreiem Medium mit sechstägigen Keimlingen von *Helianthus annuus*, welche in 40 mm lange Abschnitte geschnitten wurde, angestellt. Um die Fehler bei der Bestimmung des Wachstums, welches im phosphorsauren Ammonium überraschend energisch vor sich geht, zu ver-

meiden, wurde das Schneiden der Portionen für jede Kultur appart ausgeführt, wobei die Portionen der Reihenfolge nach sofort nach dem Schneiden in das Kölbchen gebracht und nach der Anmerkung der Zeit den betreffenden Manipulationen unterworfen wurden. Das Öffnen der Kolben und die Messung der Keimlinge wurde auch der Reihenfolge nach ausgeführt. Für jede in der Tafel angegebene Versuchsdauer wurden zwei bis drei vollständig parallel angestellte Versuche gemacht. Da sich die Angaben der letzteren voneinander nur innerhalb der Grenze der Bemessungsfehler unterschieden, so erlaube ich mir in der Tafel ausschließlich die mittleren für die Versuche von gleicher Dauer berechneten Zahlen anzuführen. Außer den mittleren Zuwüchsen sind in der Tafel auch die Berechnungen in Prozenten angegeben (s. S. 22).

Die vergleichenden Versuche über das Wachstum überhaupt und über das anaerobe Wachstum im besonderen, sind zu schwierig, als daß die Resultate derselben durch mathematisch richtige Kurven ausgedrückt werden könnten. So kommen einige unerwartete Abweichungen in den Serien I und IV zum Vorschein, wenn man die halbstündigen Zuwüchse nach der angeführten Tafel berechnet. Wenn man aber diese Zuwüchse mit den zunächst gelegenen Zuwüchsen verbindet, so erhält man die folgenden Angaben in Bezug auf den Wachstumsgang unter verschiedenen Bedingungen.

Wachstumsgang der Hypokotyle
von *Helianthus annuus*.

Beobachtungs- perioden in Stdn.	In der Luft				Im Vacuum			
	Wasser, Zuwüchse in mm berechnet		(NH ₄) ₃ PO ₄ Zuwüchse in mm berechnet		Wasser, Zuwüchse in mm berechnet		(NH ₄) ₃ PO ₄ Zuwüchse in mm berechnet	
	für die ganze Periode	für 1/2 Stde.	für die ganze Periode	für 1/2 Stde.	für die ganze Periode	für 1/2 Stde.	für die ganze Periode	für 1/2 Stde.
1 1/2	1,2	0,40	1,7	0,57	0,0	0,00	5,1	1,70
1	0,4	0,20	2,5	1,25	0,0	0,00	3,1	1,55
5	3,2	0,32	5,9	0,65	1,2	0,12	1,5	0,15
3	1,9	0,32	2,4	0,40	1,6	0,27	0,8	0,13
4	2,7	0,40	2,7	0,34	1,5	0,20	0,0	0,00
4	1,6	0,20	0,5	0,06	3,8	0,47	0,0	0,00
6	1,9	0,24	0,9	0,07	1,1	0,09	0,0	0,00
6	1,0	0,08	1,2	0,10	1,5	0,12	0,0	0,00
30	13,9	—	19,8	—	10,7	—	10,5	—

Aus den angeführten durch die Berechnung erhaltenen Angaben ersieht man, daß die Zuwüchse der Hypokotyle in der Luft 0,6 mm pro Stunde ausmachen, und daß das Wachstum im Laufe der ersten drei Tage ziemlich gleichmäßig vor sich geht, um nachher

bedeutend schwächer zu werden. In phosphorsaurem Ammonium der Luft verstärkt sich das Wachstum, wenn auch nicht sofort nach dem Eintauchen der Keimlinge, so jedoch schon nach 1—1½ Stunden sehr bedeutend; diese Verstärkung ist aber nur eine zeitweilige, so daß eine starke Wachstumsverminderung schon während der ersten Tage der Kultur in der Lösung beobachtet wird. Das gleiche wird auch bei der Einwirkung des Ammoniums in Abwesenheit des Sauerstoffes beobachtet, doch wirkt dasselbe in diesem Falle rascher und energischer, ein Umstand, welcher durch zwei Ursachen bedingt wird. Die Hauptursache besteht, wie es die speziell angestellten Kontrollversuche zeigten, in einer Injektion der Keimlinge während der Entfernung der Luft durch Erwärmung. Das Ammonium dringt im Vacuum in die ganze Zellenmasse jedes Keimlings auf einmal hinein, während die Keimlinge nach dem Eintauchen in die Lösung an der Luft nicht sofort benetzt werden und es einiger Zeit bedarf, bis die Lösung in das Keimlingsinnere eindringt. Die zweite Ursache der Wachstumsverstärkung ist dem Anschein nach das Vacuum selbst. Es ist interessant, daß das Wachstum später sogar im Wasser, trotz der anfänglichen Hemmung, sehr energisch und eine zeitlang sogar stärker als in der Wasserkultur bei Anwesenheit der Luft, vor sich geht, schließlich aber doch geschwächt und sistiert wird. Der Wachstumsgang in verschiedenen Momenten der Anaerobiose ist also demjenigen an der Luft in der Lösung stimulierender Stoffe gleich, wahrscheinlich infolge der Ansammlung der letzteren während des anaeroben Stoffwechsels.

Man kann also mit Sicherheit die Möglichkeit eines ebenso starken Wachstums in sauerstofffreiem Medium, wie es an der Luft bei Anwesenheit der Atmungsprozesse beobachtet wird, konstatieren. Offenbar wird die Energie, welche bei den Atmungsprozessen frei wird, im Überfluß erzeugt; vielleicht ist sie sogar gar nicht notwendig für diejenige Arbeit, welche bei der Verlängerung der Hypokotyle während der Wachstumsprozesse geleistet wird. In Bezug auf diese Tatsache sind die anaeroben Versuche im phosphorsauren Ammonium besonders lehrreich. In den ersten Stunden der Einwirkung des reizenden Stoffes in sauerstofffreiem Medium werden Zuwüchse beobachtet, welche drei- und manchmal noch mehrmal so groß sind als diejenigen an der Luft. Man kann sagen, daß das Wachstum für einen aufmerksamen Beobachter sichtbar wird, weil es von scharfen geotropischen Krümmungen begleitet wird.

Zum Schluß möchte ich noch einige Fragen, welche bei der Beurteilung der beschriebenen Resultate unwillkürlich auftauchen, zu beantworten versuchen.

Vor allem wäre es sehr interessant, die Natur der Einwirkung des Phosphorammoniumsalses zu erklären. Ist letzteres als ein für das Wachstum notwendiger Nährstoff zu betrachten, oder spielt es nur die Rolle eines Reizstoffes, welcher durch einen das Plasma reizenden Stoff anderer Konstitution ersetzt werden kann?

Die angeführten Ergebnisse geben meiner Meinung nach schon die Antwort auf diese Frage. Der Wachstumsverlauf unter dem Einflusse des $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ weist sehr deutlich auf die stimulierende Rolle dieses Stoffes hin. Man kann auch in Wirklichkeit

das phosphorsaure Ammonium leicht durch Lösungen stimulierender Stoffe mit einer anderen chemischen Zusammensetzung erfolgreich ersetzen. Ich teile hier die Resultate der Versuche mit, welche mit den Lösungen von KH_2PO_4 , H_3PO_4 , H_2SO_4 und dem Gemische verschiedener Stoffe in den optimalen, das Wachstum in Anwesenheit der Luft stimulierenden Konzentrationen der letzteren ausgeführt wurden. Das Gemisch wurde nach folgendem durch die Vorversuche festgestellten Rezepte zubereitet:

Wasser	2000	g
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	— 0,032	g
$(\text{NH}_4)\text{NO}_3$	— 0,160	g
KCl	— 0,149	g
$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	— 0,264	g
$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	— 0,00002	g

Die Versuchsergebnisse sind in der folgenden Tafel zusammengestellt.

Wachstum der zehntägigen Hypokotyle
von *Helianthus annuus*, während 6 Stunden.
(Nach Bemessung von 400 Exemplaren.)

Portionscharakter der Keimlinge	Kontrolle vor dem Versuche	In der Luft		Im Vacuum	
		Wasser	Stimulant	Wasser	Stimulier- Stoff
0,001 N KH_2PO_4					
Mittlere Länge des Keimlings in mm	61,4	66,3	66,6	63,2	63,0
Mittlerer Zuwachs in mm	—	4,9	5,2	1,8	1,6
0,003 N H_3PO_4					
Länge, mm	61,0	65,6	68,9	63,4	67,1
Zuwachs, mm	—	4,6	7,9	2,4	6,1
0,001 N H_4PO_4					
Länge, mm	61,0	66,0	69,7	62,9	66,7
Zuwachs, mm	—	5,0	8,7	1,9	5,7
Gemisch					
Länge, mm	61,0	64,4	67,3	62,2	66,7
Zuwachs, mm	—	3,4	7,3	1,2	5,7

Wir ersehen hieraus also, daß die Ausschließung des Ammoniums und die Ersetzung der Phosphorsäure durch Schwefelsäure die Beseitigung der Vacuumstarre nicht verhindern; andererseits wird die Ernährung mit phosphorsaurem Kalium, das fast keine stimulierende Wirkung ausüben vermag, auch von keiner Beseitigung der Vacuumstarre begleitet, während das Gemisch der optimalen Konzentrationen verschiedener stimulierender Stoffe einen Einfluß ausübt, welcher demjenigen der $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$, H_2SO_4 und H_3PO_4 gleichkommt.

Schließlich ist es noch notwendig, darzulegen, inwiefern die Resultate, welche an der Sonnenblume erhalten wurden, auf andere Objekte anzuwenden sind. In dieser Richtung wurden von mir nur wenige Versuche unternommen, welche zeigten, daß die Reizung der Keimlinge durch chemische Agenten lange nicht immer eine Wachstumsäußerung in sauerstoffreiem Medium garantiert; es gibt jedoch Pflanzen, welche bei der stofflichen Reizung ebensolche Erscheinungen aufweisen, welche bei *Helianthus annuus* beobachtet wurden. Ich führe hier als Illustration zu beiden Fällen zwei typische Versuchsbeispiele an.

Hypokotyle von *Phaseolus vulgaris*, 40 mm Länge.

Portionen zu je 20 Keimlingen	In der Luft		Im Vacuum	
	Wasser	$(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$	Wasser	$(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$
Mittlere Zuwüchse				
1) während 4 Stunden	0,9	1,1	0,0	2,2
2) während 6 Stunden	0,4	1,2	0,7	2,1

Stengel von *Vicia Faba equina*, 51,4 mm Länge.

Je 15 Keimlinge in der Portion	In der Luft				Im Vacuum			
	Während 6 St.		Während 20 St.		Während 6 St.		Während 20 St.	
	Wasser	Gemisch	Wasser	Gemisch	Wasser	Gemisch	Wasser	Gemisch
Mittlere Länge des Keimlings, mm	55,5	56,9	62,7	63,8	50,8	50,6	52,9	51,3
Mittlerer Zuwachs, mm	4,1	5,5	11,3	12,4	0,4	0,2	1,5	0,9

In meinem weiter oben zitierten Aufsätze über die temporäre Anaerobiose habe ich versucht, den eigenartigen Verlauf des Wachstums in sauerstoffreiem Medium, welches nicht sofort beginnt, jedoch stets mit dem Tode der Hypokotylabschnitte endigt, durch Stimulation und Vergiftung durch die Produkte des anaeroben Stoff-

wechsels zu erklären. Es will mir scheinen, daß die oben erörterten Versuche einen neuen überzeugenden Beweisgrund zugunsten einer solchen Auffassung der anaeroben Wachstumserscheinungen darstellen. Hiermit zugleich entsteht unwillkürlich die Voraussetzung, daß die Modifikationen des normalen Wachstums an der Luft einen ähnlichen Ursprung besitzen, daß vielleicht die verschiedenartigen chemischen Verbindungen, welche sich in den Zellen während der Prozesse der Ernährung und des Stoffwechsels anhäufen, das Plasma stimulieren und bald eine Verstärkung, bald eine Hemmung des Wachstums hervorrufen. Zur Klarlegung dieses Umstandes wurden Versuche mit Expressionssäften aus den Keimlingen der Sonnenblume angestellt. Die Expressionssäfte wurden sowohl aus ganzen Hypokotylen mit Cotyledonen ohne Wurzeln, als auch aus einzelnen Teilen der Hypokotyle zubereitet.

Die Hypokotylabschnitte wurden im Mörser mit einer Wassergabe zerrieben. Der auf diese Weise entstandene Brei wurde sodann mittelst Wasserpumpe durch Watte und Papier filtriert. Dieses Filtrat, welches gewöhnlich durch Kochen seiner Eiweißstoffe entledigt wurde, diente in verschiedenen Verdünnungen als Substrat für die Kultur neuer Hypokotyle.

In meinen Versuchen wurden die Expressionssäfte aus lebendigen Hypokotylen und aus solchen, welche nach dreitägigem Aufenthalt im Vacuum abgestorben waren, miteinander verglichen. Aus je 500 Keimlingen der einen wie der anderen Kategorie wurden, nach der Verdünnung, 300 ccm durchsichtige Flüssigkeit gewonnen; aus dieser Flüssigkeit wurden dann die verschiedenen Konzentrationen der Lösungen zu je 200 ccm pro Portion und 20 Keimlinge zubereitet.

Zuwüchse des *Helianthus annuus*
nach 14 Stunden bei 21° C.

H ₂ O	Expressionssaft aus lebenden Keimlingen			Expressionssäfte aus abgestorb. Keimlingen		
	von 250 Expl.	von 40 Expl.	von 3 Expl.	von 250 Expl.	von 40 Expl.	von 3 Expl.
18,9 u. 16,0	8,3	13,0	17,3	11,0	15,2	17,6
100	44	69	108	58	80	110

Die Versuche des Herrn Borghard, welcher die Untersuchung dieser Frage auf sich nahm, ergaben noch bedeutendere Modifikationen des Wachstums unter dem Einfluß der verschiedenen Expressionssäfte, wie es zum Beispiel aus den Daten des folgenden Versuches zu ersehen ist, in welchem die Konzentrationen der Lösungen nicht nach Zahl der expressierten Keimlinge reguliert wurden, sondern nach dem Inhalte der Trockensubstanz in den erhaltenen Expressionssäften.

Zuwüchse des *Helianthus annuus*
nach 13 Stunden bei 21° C.

H ₂ O	Expressionssäfte mit 80 mg Trocken- substanz aus:				
	Kotyle- donen	Spitzen	Wachs- tumszon.	Basis	Wur- zeln
18,4	14,6	16,3	17,6	16,2	15,5
100	80	89	96	88	84

H ₂ O	Kotyle- donen mit 80 mg	Expressionssäfte aus der Wachstumszone der Hypokotyle mit			Wur- zeln 80 mg
		80 mg	10 mg	4 mg	
18,3	14,7	16,6	20,8	22,4	16,4
100	82	93	117	125	92

Die mitgeteilten Resultate der Versuche zeigen sehr deutlich, daß die pflanzlichen Zellen Stoffe enthalten, welche die überraschende Fähigkeit besitzen, die Wachstumsenergie zu modifizieren. Ähnliche Stoffe spielen wahrscheinlich auch die Rolle der sogenannten inneren Faktoren der Pflanzenentwicklung.

III.

**Über die Einwirkung der salzartigen Stoffe
auf das Wachstum.**

In einem früher publizierten Aufsätze wurde schon auf die Umstände hingewiesen, welche mich veranlaßten, die Abhängigkeit des Wachstums von den salzartigen Stoffen zu erforschen. Zu dem damals Gesagten möchte ich noch hinzufügen, daß die von mir ausgearbeitete Kulturmethode der gleichartigen Keimlingsabschnitte in flüssigem Substrate sich als besonders wertvoll für die Erklärung des betreffenden Problems erwies. Bei der Anstellung der Versuche wurde schon vorausgesehen, daß die angewandte Methode die Untersuchung der direkten Einwirkung eines beliebigen Stoffes auf die wachsenden Zellen gestatten werde, während diese Untersuchung ja in den Versuchen mit den Wurzeln durch Umwandlungen, welche salzartige Stoffe auf dem Wege von den Wurzelhaaren bis zu den Keimlingsgipfeln erfahren, erschwert wird. Die Ausführung der Versuche stieß jedoch, trotz der Einfachheit der angewandten Methode, auf ernste Schwierigkeiten. Man brauchte nämlich täglich einige Hunderte gleichartiger Keimlinge. Viele

Kilogramme Samen wurden gekauft, und trotzdem mußte man sich immer wieder neuen Einkäufen der Samen zuwenden und also zu verschiedener Zeit mit den Samen von ungleichem Ursprung und ungleicher Qualität arbeiten. Dies äußerte sich sehr ungünstig an den Versuchsergebnissen, weil die absoluten Zuwachsgrößen variierten und dadurch die nach den Zuwüchsen in reinem Wasser berechneten Prozente, welche die relative Vergrößerung und Verminderung der Wachstumsenergie unter dem Einfluß der untersuchten Substanzen ausdrückten, geändert wurden. Andererseits begünstigte die ununterbrochene Kultur der Sonnenblume die Ansammlung der schädlichen Pflanzenparasiten im Versuchsraume des Laboratoriums. Besonders störte die Versuche diejenige eigentümliche Krankheit der Keimlinge, welche man mit „roter“ Fäulnis der Hypokotyle bezeichnen könnte. Es war daher stets erforderlich, nicht nur den Sand und die Gefäße, sondern auch den ganzen Keimraum zu sterilisieren. Großen Schwierigkeiten begegnete man auch von Seiten der schädlichen Tiere, sowie der Qualität des zur Verwendung gelangten Sandes, Wassers, Salzes und der Laboratoriumsluft. Manchmal litten die Versuche im Laufe ganzer Wochen durch Ratten und Mäuse, welche aus der Wasserleitung in den Versuchsraum eindringen, indem sie Bleiröhren, den Fußboden, die Türen des Versuchszimmers und der Schränke, worin sich die Pflanzen befanden, zernagten. Der Sand wurde sorgfältig vor und nach der Sterilisation gewaschen; das Wasser wurde in einem Destillierapparate aus Glas zubereitet; die Salzlösungen wurden sorgfältig aus denselben Säuren und Alkalien mit bestimmten Titer hergestellt, deren Wirkung parallel untersucht wurde; in anderen Fällen wurden möglichst reine Präparate von Kahlbaum verwendet; das Versuchszimmer wurde ununterbrochen gelüftet; in den Versuchen wurden 3—15 verschiedene Konzentrationen gleichzeitig geprüft, und nicht nur viele in einem Topfe gezüchtete und sorgfältig ausgewählte Hypokotylabschnitte von gleichem Alter verwendet, sondern auch zwei parallel verlaufende Kulturen in reinem Wasser ange stellt, um den Fehler infolge zufälliger Abweichungen in der Kontrollportion zu vermindern. Trotz allen diesen Vorsichtsmaßregeln wechselten nicht selten die Serien der gut verlaufenen Versuche, welche bei der Wiederholung dieselben sich gleichmäßig ändernden Zahlenreihen ergaben, mit Perioden einer ganz fruchtlosen Arbeit ab, während welcher sich die Zuwüchse in den Kulturen plötzlich verminderten und unregelmäßig wurden, indem sie bald in dieser bald in jener Richtung variierten. Manchmal gingen ganze Monate der Arbeit verloren, ehe es wieder gelang, die Hindernisse zu überwinden und die Arbeit während der neuen günstigeren Periode vorwärts zu rücken. Die Untersuchung zog sich daher in die Länge und kann trotz der Unmasse der verwandten Arbeit und Zeit bis jetzt nicht als beendet betrachtet werden.

Indem ich die salzartigen Stoffe vom Standpunkte der Dissociationstheorie aus betrachtete, stellte ich mir die Aufgabe, die nähere spezifische Rolle der einzelnen Kationen und Anionen in der Erscheinung, welche nach dem Eintauchen der Keimlinge in

die Lösungen verschiedener Konzentrationen verschiedenartiger Stoffe beobachtet wird, klar zu legen.

Um diese Aufgabe zu lösen, wandte ich mich der Methode der vergleichenden Versuche mit verschiedenen freien Säuren und Alkalien, sowie auch mit Salzen verschiedener Metalle irgend einer Säure oder mit den Salzen verschiedener Säuren irgend eines Metalles zu. Von vornherein konnte man erwarten, daß die zu erhaltenden Zahlen in Abhängigkeit von der Natur des Kations und Anions unter übrigen gleichen Bedingungen variieren werden und daß die Wachstumskurven für verschiedene Konzentrationen eines jeden zu untersuchenden Stoffes ein verschiedenes Aussehen haben werden. In der Tat bestätigten die Versuche mit aequimolekularen Lösungen mehrerer Verbindungen das Vorhandensein starker Unterschiede in der Wachstumsäußerung in Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung der Verbindungen und erlaubte zugleich stets die spezifische Rolle verschiedener Metalle und Säurenreste abzuschätzen.

Die beschriebene Untersuchungsmethode erwies sich jedoch als ungenügend für die vollständige Beantwortung der aufgestellten Frage. Die Wirkung der Katione und Anione kam zwar zum Vorschein, doch konnte man nicht die Rolle eines jeden einzelnen von ihnen richtig abschätzen, weil man stets sogar in den Versuchen mit freien Säuren auf die Beobachtung des Gesamteffektes der beiden Ionen angewiesen war. Außerdem zeigten die Versuche, daß das Wachstum der Objekte in einem jeden Stoffe in Abhängigkeit von der Temperatur, der Wirkungsdauer, der Lösungskonzentration, dem Zustande und Alter der Keimlinge, dem Charakter der vorherigen Erziehung der Pflanzen und verschiedenen anderen Umständen variiert. Infolgedessen war es sehr riskant, sich in den Schlußfolgerungen ausschließlich auf die absoluten und relativen Zuwachsgrößen der Keimlinge zu basieren, um so mehr, als die Größen der negativen und positiven Abweichungen, d. h. die Grade der Verstärkung und Hemmung des Wachstums durch den Stoff schon in Abhängigkeit von den absoluten Zuwachsgrößen im Wasser variierten: durch die bedeutenden Zuwächse im Wasser glichen sich die Unterschiede in verschiedenartigen Lösungen aus, während das schwache Wachstum im Wasser dagegen äußerlich sehr starke Änderungen des Wachstums unter dem Einflusse der verschiedenen Konzentrationen und der Zusammensetzung der Verbindungen hervorrief. Nur die vergleichenden Versuche, welche auf einmal mit einer großen Anzahl von gleichartigen, gleichzeitig gezüchteten Pflanzen und verschiedenen Konzentrationen einer ganzen Reihe von Stoffen gemacht werden, würden also eine Basis für die richtigen Schlüsse verschaffen, sonst könnte man leicht unverzeihliche Fehler begehen.

Die Ausführung solcher vergleichenden Versuche stößt in der Praxis auf fast unüberwindliche Schwierigkeiten in Bezug auf das nötige Material und die Zeit, welche für die Anstellung der Experimente und die Bemessungen erforderlich ist. In einem Topfe konnte man nicht mehr als 500 gleichartige Keimlinge er-

ziehen, andererseits wachsen die letzteren so energisch, daß der Zeitverlust bei den Messungen u. a. Manipulationen bedeutende Fehler bei der Wachstumsbestimmung herbeiführt.

Die Mitarbeit einiger Personen half nicht genug, weil bei dem Schneiden und der Bemessung der Keimlinge ein gewisser Fehler stets begangen wird, welcher für verschiedene Personen ungleich ist. Die Frage über den Charakter der Zusammenwirkung der Kationen und Anionen blieb sogar nach der Vermeidung der erwähnten Bestimmungsfehler unbeantwortet, wodurch die Beurteilung der Ergebnisse der vergleichenden Versuche mit verschiedenen salzartigen Stoffen erschwert wurde.

Es erschien also notwendig, eine andere Methode der Versuchsanstellung zur Beantwortung der aufgestellten Frage ausfindig zu machen. Ich verwandte dazu die Methode der vergleichenden Versuche mit den Lösungen zweier Salze, welche einzeln und gemischt untersucht wurden. Auf diesem Wege hoffte ich die Gesetze der kombinierten Einwirkungen klar zu legen und mit ihrer Hilfe die spezifische Rolle jedes einzelnen Kations und Anions abzuschätzen.

Diese Versuche, wo die Kombinationen zweier Verbindungen zur Untersuchung gelangten, verdienten schon deshalb meine Aufmerksamkeit, weil hier die Einwirkung der Ionen H und OH, deren Beseitigung aus der Versuchssphäre mir notwendig zu sein schien, falls die Rolle der Kationen und Anionen verschiedener salzartiger Stoffe erklärt werden sollte, nicht in Betracht gezogen zu werden braucht.

Die Versuche wurden mit Erfolg gekrönt und zugleich sind auch die Ergebnisse begreiflich geworden, welche nach der oben erwähnten ersten Methode erhalten wurden.

Kombinationen zweier Salze.

Helianthus annuus.

60 mm lange Hypokotylabschnitte von 9—12tägigen etiolierten Keimlingen; je 25—30 Stück in der Portion. Zuwüchse nach 20 Stunden bei 17—19° C sind in mm (oben) und ‰ (unten), die Lösungskonzentrationen in Bruchteilen der Konzentration der normalen (also ein Gr.-Mol. in Lit. enthaltenden) Lösung angegeben.

I.

	H ₂ O	NH ₄ NO ₃ 0,0005	(NH ₄) ₂ SO ₄ 0,0005	NH ₄ NO ₃ u. (NH ₄) ₂ SO ₄
a)				
	mm	mm	mm	mm
	15,6	16,4	20,9	22,2
	100	105	134	142

II.

H ₂ O	Ba(NO ₃) ₂ 0,01	(NH ₄)NO ₃ 0,0035	Ba(NO ₃) ₂ u. (NH ₄)NO ₃
b)			
17,3	7,6	23,6	8,4
100	44	136	48

III.

H ₂ O	Ba(NO ₃) ₂ 0,000005	(NH ₄)NO ₃ 0,0035	Ba(NO ₃) ₂ u. (NH ₄)NO ₃
a)			
17,3	17,9	23,6	23,4
100	103	136	135

IV.

H ₂ O	Ba(NO ₃) ₂ 0,00005	NaNO ₃ 0,02	Ba(NO ₃) ₂ u. NaNO ₃
b)			
17,1	17,8	13,8	14,3
100	104	81	83

V.

H ₂ O	KCl 0,0005	(NH ₄) ₂ SO ₄ 0,0005	KCl u. (NH ₄) ₂ SO ₄
a)			
22,0	23,8	24,2	26,8
100	108	110	122

VI.

H ₂ O	KCl 0,0005	CaSO ₄ 0,0005	KCl u. CaSO ₄
b)			
20,1	21,5	18,1	18,2
100	107	90	92

VII.

	H ₂ O	K ₂ HPO ₄ 0,002	NH ₄ NO ₃ 0,003	K ₂ HPO ₄ u. (NH ₄)NO ₃
a)	17,7	19,5	23,2	24,2
	100	113	135	145

VIII.

	H ₂ O	Ca(NO ₃) ₂ 0,01	NaNO ₃ 0,02	Ca(NO ₃) ₂ u. NaNO ₃
c)	18,2	13,3	14,9	13,3
	100	74	82	74

IX.

	H ₂ O	Ba(NO ₃) ₂ 0,01	NaNO ₃ 0,02	Ba(NO ₃) ₂ u. NaNO ₃
c)	15,5	6,8	12,8	7,3
	100	44	83	47

X.

	H ₂ O	Ca(NO ₃) ₂ 0,01	NaNO ₃ 0,02	Ca(NO ₃) ₂ u. NaNO ₃
c)	17,6	12,4	15,5	12,4
	100	70	89	70

XI.

	H ₂ O	Ba(NO ₃) ₂ 0,01	BaNO ₃ 0,01	Ba(NO ₃) ₂ u. BaNO ₃
c)	17,1	7,3	16,2	7,7
	100	43	94	45

XII.

H ₂ O	(NH ₄) ₂ C ₂ O ₄	(NH ₄) ₂ SO ₄	K ₂ HPO ₄	C ₂ O ₄ (NH ₄) ₂ u. (NH ₄) ₂ SO ₄ K ₂ HPO ₄	
		0,001	0,001	0,025	
26,0	26,2	28,4	21,4	29,0	23,6
101	101	109	82	111	89

XIII.

H ₂ O	(NH ₄) ₂ CO ₃	KCl	(NH ₄) ₂ CO ₃ u. KCl
		0,0005	0,01
28,9	30,2	15,8	16,5
100	104	54	57

XIV.

H ₂ O	(NH ₄) ₂ C ₂ O ₄	C ₂ H ₅ OH	C ₂ H ₅ OH	(NH ₄) ₂ C ₂ O ₄ u. C ₂ H ₅ OH C ₂ H ₅ OH (0,01) (0,5)	
		0,0001	0,01	0,5	
23,8	25,7	23,9	20,4	26,2	20,8
100	109	101	87	110	88

XV.

H ₂ O	C ₂ H ₅ OH	C ₆ H ₁₂ O ₆	LiNO ₃	C ₂ H ₅ OH u. C ₆ H ₁₂ O ₆	C ₂ H ₅ OH u. LiNO ₃
		0,01	0,01	0,1	
32,8	33,1	32,7	13,1	32,0	13,6
100	101	99	40	98	41

XVI.

H ₂ O	KH ₂ PO ₄	(NH ₄) ₂ SO ₄	KH ₂ PO ₄ u. (NH ₄) ₂ SO ₄
		0,001	0,001
9,1	12,2	13,4	14,5
100	Anf. d. Absterb. 133	146	Anf. d. Absterb. 158

XVII.

9 Stunden; 21° C; 22 Keimlinge.

H ₂ O	NaCl		CaCl ₂	CaCl ₂ u.	
	0,01	0,05	0,01	NaCl 0,01	NaCl 0,05
b u. c)					
7,1	6,01	3,3	3,2	3,8	3,0
100	86	46	45	53	42

H ₂ O	NaCl	CaCl ₂	NaCl u. CaCl ₂
	0,01	0,01	
c)			
7,4	5,9	3,2	3,5
100	80	43	47

XVIII.

22 Stunden; 21° C; 20 Keimlinge.

H ₂ O	MgCl ₂	NaCl	NH ₄ CNS	NH ₄ CNS u.	
	0,001	0,05	0,001	MaCl ₂	NaCl
b)					
12,8	11,0	4,8	15,8	9,7	5,6
100	86	38	123	76	44

H ₂ O	CaCl ₂	MgCl ₂	NaCl	CaCl ₂ u.	
	0,01	0,001	0,05	MgCl ₂	NaCl
c)					
13,5	5,0	11,1	4,8	5,7	4,7
100	37	82	36	42	35

XIX.

22 Stunden; 21° C; je 20 Keimlinge in der Portion.

15,4	NH ₄ CNS	NaCl	KH ₂ PO ₄	NH ₄ CHS	NH ₄ CNS
100	0,001	0,05	0,0015	u. NaCl	u. KH ₂ PO ₄
a u. b)					
15,4	18,9	3,6	16,8	9,6	20,5
100	122	56	109	63	133

H ₂ O	MgCl ₂	CaCl ₂	NH ₄ CNS	MgCl ₂ u.	
	0,001	0,01	0,001	CaCl ₂	NH ₄ CNS
b u. c)					
15,4	12,8	7,2	18,9	7,6	14,2
100	83	47	122	49	92

H ₂ O	CaCl ₂	NaCl	NH ₄ CNS	KH ₂ PO ₄	CaCl ₂ u.	CaCl ₂ u.	CaCl ₂ u.
	0,01	0,05	0,001	0,0015	NaCl	NH ₄ CNS	KH ₂ PO ₄
b u. c)							
15,4	7,2	8,6	18,9	16,8	6,6	9,5	10,6
100	47	56	122	109	42	61	69

Die angeführten Versuche zeigen sehr deutlich diejenige Gesetzmäßigkeit, welche bei dem Wachstum der Hypokotyle von *Helianthus annuus* im Falle der gemeinsamen Einwirkung zweier salzartigen Stoffe auf die Pflanze zum Vorschein kommt. Der summarische Effekt der Einwirkung ändert sich in Abhängigkeit von dem Charakter der beiden Stoffe. In den Fällen, wo die beiden Stoffe fähig sind, das Wachstum zu verstärken (Versuchskategorie a), beobachtet man einen vollständig summarischen Effekt; jeder Stoff stimuliert die Hypokotyle positiv, unabhängig von dem anderen Stoffe, und die letzteren wachsen außerordentlich energisch. Ganz anders gestaltet es sich, wenn einer der Stoffe das Wachstum hemmt (Kategorie b) oder wenn beide Stoffe für die Pflanze schädlich sind (Kategorie c). Die gemeinsame Einwirkung solcher Verbindungen kommt nicht zum Vorschein, sondern es geht das Wachstum der Objekte in dem Gemische solcher Stoffe mit der gleichen Energie vor sich, wie in der Lösung des giftigen oder des giftigeren Stoffes. Man beobachtet also keine Summierung der schädlichen Einwirkung und keine Schwächung der letzteren in Anwesenheit der Verbindungen, welche die Entwicklung der Hypokotyle positiv stimulieren.

Diese Regel betrachte ich nur als eine erste Annäherung zur Wahrheit. Sie interessierte mich hier nur insofern, als sie eine Orientierung in solch einer unendlich komplizierten Erscheinung, wie die Wachstumsmodifikation unter dem Einflusse der salzartigen Stoffe, gestattet. Später werde ich die Frage einer eingehenden Betrachtung auf Grund der speziellen Prüfungsversuche unterwerfen.

Das erwähnte Ergebnis der Versuche mit den Kombinationen zweier Salze läßt die zweite Frage aufkommen, ob die Ionen der einzelnen Salze auch denselben zwei Regeln folgen. So könnte

man im Falle eines das Wachstum verstärkenden Salzes fragen, ob seine beiden Ionen das Wachstum positiv stimulieren; andererseits könnte es vorkommen, daß in einem das Wachstum hemmenden Salze der schädlich wirkende Ion gemeinsam mit dem minder schädlichen oder sogar positiv wirkenden Ion anwesend wäre.

Die experimentelle Prüfung der angeführten Voraussetzung würde in dem Falle möglich sein, wenn es gelingen sollte, diejenigen Konzentrationen der Säuren und Alkalien ausfindig zu machen, deren Hydroxyl- und Wasserstoff-Ione in Bezug auf die Pflanze neutral wären und deren Kation und Anion noch einen stimulierenden Einfluß auf das Wachstum in der einen oder der anderen Richtung ausüben könnten. Dem Anscheine nach gelingt es, die erwähnte Bedingung zu befriedigen. In der Lösung von Alkalien und Säuren in der Konzentration unter 0,001 N wird der ganze Effekt der Verbindungen hauptsächlich durch die Basis oder den Säurenrest bedingt, so daß man nach dem Ergebnisse des Versuches mit Alkalien und Säuren den Effekt der denselben entsprechenden Salze vorausbestimmen kann.

Ich führe hier einige Beispiele aus den Protokollen der Versuche an, welche von mir in großer Anzahl ausgeführt wurden und wobei die oben erwähnten Regeln bestätigt wurden.

Kombinationen der Basen und Säuren.

XX.

22 Stunden bei 25° C; je 30 Keimlinge in der Portion.

H ₂ O	C ₂ H ₂ O ₄ 0,0003	NH ₄ OH 0,0003	(NH ₄) ₂ C ₂ O ₄ 0,0003	(NH ₄)HC ₂ O ₄ 0,0003
30,9	32,3	31,9	33,0	32,7
100	104	103	107	106

XXI.

24 Stunden bei 20° C; je 25 Keimlinge in der Portion.

H ₂ O	H ₃ PO ₄		NH ₄ (OH)		(NH ₄) ₂ HPO ₄	
	0,0020	0,0010	0,0015	0,0010	0,0020	0,0013
18,1	19,9	20,0	18,6	19,8	21,1	21,1
100	110	110	103	109	116	116

XXII.

16 Stunden bei 20° C; zu je 25 Keimlingen in der Portion.

H ₂ O	H ₃ PO ₄ 0,0013	NaOH 0,001	NH ₄ (OH) 0,001	Na ₂ HPO ₄ 0,0013	(NH ₄) ₂ HPO ₄ 0,0013
14,4	16,7	13,8	16,1	14,0	18,0
100	116	95	112	97	125

XXIII.

11 Stunden bei 21° C; zu je 20 Keimlingen in der Portion.

H ₂ O	H ₃ PO ₄		NaOH		Na ₃ PO ₄	Na ₂ HPO ₄
	0,003	0,001	0,003	0,001	0,003	0,003
9,8	12,1	10,5	8,9	8,4	9,0	8,8
100	123	107	89	86	92	88

XXIV.

7 Stunden bei 22° C; zu je 20 Keimlingen in der Portion.

H ₂ O	NH ₄ OH 0,0025	KOH 0,0025	H ₂ CrO ₄ 0,0025	(NH ₄) ₂ CrO ₄ 0,0025	K ₂ CrO ₄ 0,0025
8,2	7,9	7,6	9,6	8,0	7,5
100	96	93	117	97	92

XXV.

9 Stunden bei 24° C; zu je 38 Keimlingen in der Portion.

H ₂ O	H ₃ PO ₄			NaOH			Na ₂ HPO ₄		
	0,003	0,002	0,001	² / ₃ 0,003	² / ₃ 0,002	² / ₃ 0,001	0,003	0,002	0,001
	t o t e u n s c h ä d l i c h								
20,3	0	21,0	22,3	18,2	18,6	18,7	19,7	19,9	20,4
100	0	103	110	89	91	92	97	98	101

XXVI.

9 Stunden bei 24° C; zu je 29 Keimlingen in der Portion.

H ₂ O	H ₃ PO ₄			NaOH			Na ₂ HPO ₄		
	0,0015	0,001	0,0005	² / ₃ 0,0015	² / ₃ 0,001	² / ₃ 0,0005	0,003	0,002	0,001
u n s c h ä d l i c h									
19,3	20,2	22,2	21,0	17,8	17,9	17,9	18,4	18,9	19,0
100	105	115	109	92	93	93	96	98	99

XXVII.

16 Stunden bei 19° C; zu je 20 Keimlingen in der Portion.

H ₂ O	H ₃ PO ₄			NH ₄ OH			(NH ₄) ₃	(NH ₄) ₂	(NH ₄)
	0,001	0,00067	0,00033	0,003	0,00067	0,00033	PO ₄	HPO ₄	H ₂ PO ₄
10,6	11,3	10,9	10,2	11,4	11,2	10,0	0,001	0,001	0,001
100	124	120	112	124	123	110	11,3	11,6	11,8
							124	128	130

H ₂ O	H ₃ PO ₄			NH ₄ OH			(NH ₄) ₃	(NH ₄) ₂	(NH ₄)
	0,003	0,002	0,001	0,003	0,002	0,001	PO ₄	HPO ₄	H ₂ PO ₄
8,7	11,5	14,1	1,28	12,8	12,7	12,0	0,003	0,003	0,003
100	108	125	113	113	112	106	12,7	15,4	15,7
							112	136	139

XXVIII.

17 Stunden bei 18,5° C; zu je 20 Keimlingen in der Portion.

H ₂ O	H ₃ PO ₄			KOH			K ₃	K ₂	KH ₂
	0,001	0,00067	0,00033	0,001	0,00066	0,00033	PO ₄	HPO ₄	PO ₄
10,5	11,9	11,7	10,9	9,4	8,9	8,8	0,001	0,001	0,001
100	113	111	104	89	85	84	8,8	10,4	11,6
							84	99	110

H ₂ O	H ₃ PO ₄			KOH			K ₃	K ₂	KH ₂
	0,003	0,002	0,001	0,003	0,002	0,001	PO ₄	HPO ₄	PO ₄
9,3	8,4	10,4	10,1	6,5	7,0	7,4	0,003	0,003	0,003
100	90	112	109	70	75	80	7,8	7,7	9,8
							84	83	105

XXIX.

12 Stunden bei 21° C; zu je 20 Keimlingen in der Portion.

H ₂ O	H ₃ PO ₄			NaOH			Na ₃ PO ₄	Na ₂ HPO ₄	NaH ₂ PO ₄
	0,003	0,002	0,001	0,003	0,002	0,001	0,003	0,002	0,001
10,0	12,3	11,2	10,6	8,4	8,9	9,4	8,9	9,1	11,0
100	123	112	106	84	89	94	89	91	110

XXX.

12 Stunden bei 21° C; zu je 20 Keimlingen in der Portion.

H ₂ O	H ₂ C ₂ O ₄	NaOH	(NH ₄)OH	Na ₂ C ₂ O ₄	(NH ₄) ₂ C ₂ O ₄
	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
8,3	10,5	7,6	9,7	7,4	12,1
100	126	91	117	90	145

XXXI. Nach 7 Stunden bei 17—18° C.

Versuche des Herrn Rogowsky.

Nach der Bemessung von 1035 Keimlingen.

Laugen-Konzentration	Zuwachs H ₂ O	H ₃ PO ₄	(NH ₄)OH	(NH ₄) ₂ HPO ₄
0,0015	12,6	119	106	121
0,0008	10,7	127	119	146
0,0005	10,3	113	108	117
0,0001	10,6	111	115	126

Laugen-Konzentration	Zuwachs H ₂ O	H ₃ PO ₄	NaOH	Na ₂ HPO ₄
0,0015	12,1	132	99	101
0,0015	11,2	137	97	97
0,0015	11,5	119	92	92

Die Säurenkonzentrationen sind entsprechend $\frac{1}{3}$ größer als die gebrauchten Alkalien-Konzentrationen.

XXXII. Nach 17.—18 Stunden bei 21° C.

Versuche des Herrn Sarandinaki.

Nach der Bemessung von über 1400 Keimlingen.

H ₂ O mm	H ₂ SO ₄	NH ₄ (OH) 0,0005	Na(OH)	(NH ₄) ₂ SO ₄ 0,0005	Na ₂ SO ₄
13,7	114	110	83	118	90
15,8	119	105	78	121	84
15,0	120	107	93	128	99
17,7	113	103	89	111	97

H ₂ O	H ₂ SO ₄	Ca(OH) ₂ 0,0005	CaSO ₄	H ₂ O	H ₂ SO ₄	Mg(OH) ₂ 0,0001	MgSO ₄
18,1	105	87	87	17,8	105	88	90
16,3	121	78	80	18,0	105	89	88

H ₂ O	HNO ₃	Ca(OH) ₂ 0,0002	Ca(NO ₃) ₂	H ₂ O	HNO ₃	Mg(OH) ₂ 0,0002	Mg(NO ₃) ₂
19,4	107	90	90	22,7	102	86	85
19,9	103	86	87	21,8	104	90	91

Die oben beschriebenen Resultate erfordern einige Bemerkungen. Wie aus den Versuchen zu ersehen ist, wird in den meisten Fällen ein fast vollständiges Zusammentreffen der Zuwachsgrößen im Salze entweder mit der Summe der Zuwächse in der Lauge und der Säure oder mit der Zuwachsgröße in der Lauge beobachtet, je nachdem, ob die Lauge auf die Entwicklung der Hypokotyle positiv oder negativ einwirkt. Die Ausscheidung der Kohlensäure durch die Pflanzen, welche nicht zu beseitigen ist, brachte zweifellos die Hydroxyl-Ione aus der Versuchssphäre hinaus, und man war daher gezwungen, mit den Kombinationen der freien Säuren und der kohlensauren Salze zu experimentieren. Infolgedessen gelang es vielleicht, auch eben die so gut mit den oben festgestellten Regeln übereinstimmenden Resultate zu erhalten. Es wäre aber unrichtig, auf Grund unserer Versuche vorauszusetzen, daß der Wasserstoff-Ion und das Hydroxyl selbst keine Rolle in der Modifikation der Wachstumsenergie spielen, falls sie sich in der Lösung in bedeutenderer Konzentration ansammeln.

Man kann annehmen, daß jede Base und jede Säure nach demselben Gesetze wie die Kombinationen zweier Salze oder die Kombinationen des Kations und Anions in einzelnen Salzen einwirken, wobei der Effekt der Basen durch den Charakter der Base und des Hydroxyls, der Effekt der Säuren durch den Charakter des Wasserstoffs und des Säurenrestes bestimmt wird. Vom Standpunkte dieser neuen Voraussetzung aus betrachtet, schien es sehr interessant zu sein, solch eine Versuchsanstellung ausfindig zu machen, welche gestatten würde, die spezifische Rolle der Wasserstoff- und Hydroxyl-Ione aufzudecken. Dieses gelingt in den Versuchen mit starken Konzentrationen der salzartigen Stoffe.

Es handelt sich darum, daß die freien Säuren in Konzentrationen über 0,001 N die Keimlinge nach einigen Stunden leicht töten. Die Alkalien sind, wahrscheinlich infolge der Bildung der kohlen-sauren Verbindungen, nicht so schädlich wie die Säuren. Dennoch tötet das Ammoniumhydroxyd die Keimlinge in Konzentrationen über 0,007 N, die Ätz-Kali und Natron in Konzentrationen über 0,01 N. Man kommt natürlich auf die Frage, welcher von den die Säuren und Basen zusammensetzenden Ionen die Keimlinge tötet? Wenn die Base oder der Säurenrest einen schädlichen Agent darstellen sollten, so würden die Lösungen der ihnen entsprechenden neutralen Salze ihrerseits die Pflanzen töten müssen. Würde dagegen der Tod durch H oder OH verursacht, so würden die neutralen Salze unschädlich sein und die Säuren und basischen Salze die Keimlinge zugrunde richten, wie es bei den freien Säuren und Alkalien der Fall ist.

Die Versuche geben eine ganz bestimmte Antwort auf diese Fragen.

XXXIII.

9 Stunden bei 21° C; zu je 20 Keimlingsabschnitten in der Portion.

H ₂ O	H ₂ SO ₄		NaOH		NaHSO ₄	Na ₂ SO ₄	
	0,01	0,005	0,01	0,005	0,01	0,01	0,005
	tödlich		unschädlich		tödlich	unschädlich	
8,2	2,2	3,6	5,2	6,3	4,2	8,0	8,1
100	27	44	63	76	51	98	99

XXXIV.

18 Stunden bei 21° C; zu je 20 Keimlingsabschnitten in der Portion.
H₂O = 11,6 = 100.

H ₂ SO ₄			Na(OH)		
0,002	0,001	0,0005	0,002	0,001	0,0005
tödlich	Anfang des Absterbens	unschädlich	unschädlich		
5,7	11,1	12,6	9,4	9,9	10,5
49	95	109	81	85	90

NaHSO ₄		Na ₂ SO ₄	
0,002	0,001	0,002	0,001
Absterben	Unschädlich	Unschädlich	
11,4	12,3	11,4	11,4
99	105	99	99

XXXV.

19 Stunden bei 21° C; zu je 20 Keimlingen in der Portion.
Parallelversuche.

Konzentrationen N				
0,05	0,025	0,010	0,005	0,0025
H ₂ SO ₄ Vollständiges Absterben				
0	0	0	0	40
NH ₄ OH Absterben				
Tödlich				Unschädlich
0	0	10	110	135
(NH ₄)HSO ₄ Vollständiges Absterben				
0	0	0	0	50
(NH ₄) ₂ SO ₄ Unschädlich				
Anfang des Absterbens				
35		84	120	132
				138

XXXVI.

19 Stunden bei 21° C; zu je 22 Keimlingen in der Portion.
Parallelversuche.

Konzentrationen N					
0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0025
H ₂ C ₂ O ₄ Vollständiges Absterben					
0	0	0	0	0	0
NaOH					
	Absterben			Unschädlich	
0	0	16	50	56	72
NaHC ₂ O ₄ Vollständiges Absterben					
0	0	0	32	46	90
Na ₂ C ₂ O ₄ Unschädlich					
—	55	76	81	91	—

XXXVII.

16 Stunden bei 19° C; zu je 20 Keimlingen in der Portion.

H ₂ O	NH ₄ OH			KOH			H ₃ PO ₄		
	0,05	0,025	0,010	0,05	0,025	0,01	0,05	0,025	0,01
	Tödlich	Anfang d. Absterb.		Tödlich	Anfang d. Absterb.		Tödlich		
100	0	0	10	0	0	51	0	0	0

H ₂ O	(NH ₄) ₃ PO ₄			(NH ₄) ₂ HPO ₄			(NH ₄)H ₂ PO ₄		
	0,05	0,025	0,010	0,05	0,025	0,01	0,05	0,025	0,01
	tödlich	Anfang d. Absterbens	Unschädlich	Unschädlich			tödlich	Anfang d. Absterb.	Unschädlich
100	3	20	85	48	78	113	65	129	155

H ₂ O	K ₃ PO ₄			K ₂ HPO ₄			KH ₂ PO ₄		
	0,05	0,025	0,01	0,05	0,025	0,01	0,05	0,025	0,01
	Anfang d. Absterbens	Unschädlich		Unschädlich			Absterben	Unschädlich	
100	31	57	75	53	60	66	107	109	112

Die angeführten Versuche zeigen genügend deutlich die Rolle des Wasserstoffions bei derjenigen summarischen Einwirkung, welche durch freie Säuren und saure Salze ausgeübt wird. Wir sehen überall, daß die Entfernung der H und OH aus der Lösung eine vollständige Unschädlichkeit des Salzes zur Folge hat, insofern sein Anion und Kation an und für sich die Pflanze nicht beschädigen. Im Gegenteil ruft das Zurückbleiben des Wasserstoffes, wie es z. B. in den Fällen der sauren Salze vorkommt, unvermeidlich eine Wachstumshemmung und das Absterben der Keimlinge hervor. Dem Anscheine nach verursacht der Wasserstoff-Ion besonders leicht das Absterben der Pflanzen, während die Ionen NH₄, PO₄, SO₄, K, Na, C₂O₄ und wahrscheinlich auch OH verhältnismäßig ungeschädlich sind, sonst würden die neutralen Salze ihrerseits die Keimlinge zugrunde richten. Von den erwähnten Kationen und Anionen fällt nur NH₄ durch seine etwas erhöhte Aktivität auf, und dementsprechend sind die ammoniakalischen Salze verschiedener

Säuren bei hohen Konzentrationen schädlicher als die Salze von Natrium und Kalium. Ich habe nicht die Möglichkeit, das Verhalten der Pflanzen zu den Ammoniumsalzen überhaupt und zu der Ammoniumlauge im Besonderen sofort eingehend zu betrachten. Diese Aufgabe ist sehr kompliziert und bedürfte einer speziellen Erörterung. Ich weise hier aber darauf hin, daß im Gegenteil zu NaOH und KOH das Ammoniumhydroxyd relativ schwach dissoziiert aber zugleich fähig ist, sehr energisch von den pflanzlichen Zellen absorbiert zu werden, so daß in schwachen Lösungen aus NH_4OH oder Ammoniumsalzen der Kation nach einiger Zeit fast gänzlich aus der Lösung verschwindet und in das Keimlingsinnere übergeht. Auf diese Erscheinung wiesen mehrere Forscher hin und für die Sonnenblume wurde sie durch zahlreiche Versuche, welche in meinem Laboratorium von Herrn Dabachoff ausgeführt wurden, bestätigt.

Unabhängig von der physiologischen Rolle des Radikals NH_4 sind die Lösungen der Ammoniumsalze aller Säuren fähig, das Wachstum der Hypokotyle sehr bedeutend zu verstärken, jedoch nur so lange, bis sich in der Salzlösung eine so große Anzahl von NH_4 -Ionen ansammelt, daß in der entsprechenden Lösung von NH_4OH schon keine Verstärkung, sondern eine Hemmung des Wachstums eintritt. Das heißt: das Ergebnis der Versuche mit Ammoniumsalzen in verschiedenen Konzentrationen fällt mit dem Ergebnis der Versuche mit den entsprechenden äquivalenten Lösungen von Ammoniumhydroxyd zusammen. Es ist möglich, daß dieses durch die Anwesenheit der Kohlensäure, welche die Versuche mit Salzen den Versuchen mit freier Alkalie ähnlich macht, bedingt wird.

Ich führe hier aber folgende interessante Experimente mit den Gemischen einer und derselben optimalen Konzentration einer freien Säure mit verschiedenen Quantitäten von Ammoniumhydroxyd an. Die in dieser Weise ausgeführten Versuche beweisen überzeugend, daß der positive Effekt unter dem Einfluß des Gemisches der beiden Stoffe so lange erhalten bleibt, bis die Lösung der Alkalie selbständig, ähnlich wie diejenige der Säure, eine Wachstumsverstärkung herbeizuführen imstande ist. Wenn aber zum Versuche eine schädliche Konzentration der Alkalie verwendet wird, so wird sofort eine Wachstumshemmung im Gemische beobachtet, wobei der Übergang von den positiv wirkenden Konzentrationen sehr jäh ist. Eine starke Stimulation des Wachstums seitens der freien Säure bewahrt sich ununterbrochen sogar in solchen Ammoniumlösungen, welche schon keine Verstärkung des Wachstums hervorrufen, verschwindet aber, in Übereinstimmung mit den oben angeführten Regeln der gemeinsamen Einwirkung der salzartigen Stoffe auf das Wachstum, sofort gänzlich, wenn das Ammoniumhydroxyd anfängt, die Keimlinge zu schädigen. Solch ein Ergebnis der Versuche mit Alkaliüberschuß scheint mir, in Anbetracht der oben erwähnten Beobachtungen über die neutralen Salze, überzeugend die Behauptung zu beweisen, daß der positive Effekt der Säuren nicht durch den Wasserstoff, sondern durch ihre Anione hervorgerufen wird. Die Versuche sind gemeinsam mit Herrn Rogowsky aus-

geführt und nachher von mir selbst und auch von Herrn Gezewitsch wiederholt worden. Ich führe einige Beispiele an:

Versuche mit Alkalieüberschuß.

I.

Nach 5 Stunden; 16° C; $H_2O = 9,2 = 100$; $H_3PO_4 = 120$.

Konzentrationen (NH_4)OH	0,0038	0,0050	0,0063	0,0075
Zuwachs in der Alkalie	104	107	98	84
Zuwachs im Gemisch von Alkalie und H_3PO_4 0,001	129	123	96	90

II.

Nach 6 Stunden; 17° C; $H_2O = 10,6$ mm = 100; $H_3PO_4 = 126$.

Konzentrationen (NH_4)OH	0,0050	0,0057	0,0063
Zuwüchse in der Alkalie	108	103	98
Zuwüchse im Gemische von Alkalie und H_3PO_4 0,001	124	124	99

III.

Nach 8 Stunden; $H_2O = 9,9 = 100$; $H_3PO_4 = 125$.

Konzentrationen NH_4 OH	0,0075	0,0063	0,0050	0,0025
Zuwüchse in der Alkalie	44	74	79	100
Zuwüchse im Gemisch von Alkalie und H_3PO_4 0,001	68	75	99	127

IV.

Nach 7 Stunden; 18° C; $H_2O = 6,8 = 100$; $HNO_3 = 131$.

Konzentrationen (NH_4)OH	0,0075	0,0063	0,0050	0,0025
Zuwüchse in der Alkalie	59	60	87	116
Zuwüchse im Gemisch von Alkalie und HNO_3 0,001	69	82	97	129

Einige Bemerkungen möchte ich noch in Bezug auf die Anteilnahme des Wasserstoff-Ions an der Pflanzenabtötung machen. Es handelt sich darum, daß die genaue Wachstumsbestimmung in den Versuchen mit Pflanzenabtötung schwierig auszuführen ist, weil sich die Keimlinge nach der Verminderung des Turgordruckes bedeutend verkürzen. Außerdem stören die jähen Sprünge im Wachstumsgange einzelner Exemplare bei der Bestimmung der Zuwüchse in den Zwischenkonzentrationen. Infolge der individuellen Abweichungen wächst ein Teil der Keimlinge fast gar nicht, während der andere Teil in derselben Lösung so starke Zuwüchse aufweist, daß diese im Falle freier Säuren und einiger sauren Salze oft größer sind als in der Kontrollportion der Keimlinge im Wasser. Diese Erscheinung ist so lehrreich, daß ich sie durch einige Beispiele aus den Versuchsprotokollen illustrieren möchte.

Zuwüchse der 60 mm langen Hypokotylabschnitte
von *Helianthus annuus*.

H₂O; 19 Stunden.

15.0; 18.5; 16.5; 12.5; 18.5; 14.5; 16.0; 17.5; 15.0; 15.0; 16.0; 15.5; 15.0 etc.

NaHC₂O₄; 0,005 N; 19 Stunden.

9.0; 0.5; 5.0; 7.5; 15.0; 22.0; 3.0; 4.0; 10.0; 3.5; 15.0; 0.5; 11.5 etc.

H₂O; 12 Stunden.

9.5; 10.0; 9.0; 10.0; 8.5; 11.5; 9.5; 8.5; 9.0; 9.0; 8.5 etc.

H₂SO₄, 0.001 N; 12 Stunden.

7.0; 14.0; 6.0; 9.5; 9.5; 11.0; 4.0; 14.0; 7.0; 13.5; 6.0; 10.5; 6.0 etc.

H₂O; 16 Stunden.

14.5; 17.0; 19.5; 16.5; 20.5; 20.0; 18.5; 16.0; 16.0; 18.0; 17.5 etc.

(NH₄)H₂PO₄; 0.015 N.

9.0; 15.0; 18.5; 16.5; 21.5; 11.5; 7.0; 5.0; 17.5; 20.0; 8.0; 22.0; 8.5; 19.0 etc.

Die Wachstumssprünge der einzelnen Exemplare, welche in den Übergangskonzentrationen zu den tödlichen Konzentrationen der Säuren und sauren Salze beobachtet werden, hängen scheinbar von der Einwirkung des Wasserstoffions auf die Keimlinge ab. Dem Anscheine nach ist dieser Ion sonderbarerweise befähigt, die Keimlinge in den Lösungen der salzartigen Stoffe naher Konzentrationen bald abzutöten, bald unbeschädigt zu lassen.

Oben sahen wir, daß es gelingt, die Wirkung der neutralen Salze in den Konzentrationen von 0,001 N und schwächer nach dem Wachstumsverlauf in den entsprechenden Lösungen der Alkalien und Säuren vorauszusagen.

Diese Erscheinung kann man nur durch die Voraussetzung erklären, daß in den erwähnten schwachen Lösungen H und OH keine Rolle bei der Wachstumsmodifikation spielen werden, daß diese Modifikation durch die Kationen und Anionen verursacht wird. Oben sahen wir jedoch, daß das Absterben der Keimlinge in Säuren und sauren Salzen durch die Anwesenheit des Wasserstoffions verursacht wird, denn die neutralen Salze und Alkalien sind fast unschädlich. Diese beiden Tatsachen können nur durch die Voraus-

setzung erklärt werden, daß die Wirkung des Wasserstoffions schon in nahen Konzentrationen jäh variiert.

Wenn alle diese Bemerkungen richtig sind, so könnte man erwarten, daß die sogenannten starken Säuren die Keimlinge bei ungefähr einer und derselben äquimolekularen Konzentration abtöten werden, bei welcher gleiche Quantitäten der H-Ione aller starken Säuren in der Lösung vorhanden sind. In der Tat kann diese Voraussetzung durch Versuche bestätigt werden, welche außerdem darauf hinweisen, daß die tödlichen Konzentrationen der Säuren direkt in die Konzentrationen übergehen, welche die Wachstumsenergie scharf verstärken.

Das Zusammenfallen der tödlichen Konzentrationen, verschiedener Säuren mit den Konzentrationen derselben, die eine Verstärkung der Wachstumsenergie hervorrufen, könnte vielleicht Veranlassung zur Voraussetzung geben, daß nicht nur das Absterben der Pflanzen, sondern auch die positive Stimulation ihres Wachstums durch die Einwirkung des Wasserstoff-Ions hervorgerufen wird. Die Versuche mit Überschüssen an Alkalien und mit Kombinationen der äquimolekularen Lösungen aus Alkalien und Säuren machen, wie es mir scheint, diese Voraussetzung wenig wahrscheinlich. Die angeführten Versuche sind jedoch nicht genügend, um die positive Stimulation durch den Wasserstoffion endgültig zu verneinen. Es kann möglich sein, daß diese Stimulation gemeinsam mit dem positiven Effekt des Anions existiert.

Zuwüchse von *Helianthus annuus* (60 mm lang).

21° C. 6 Stunden, 20 Hypokotylabschnitte.

H ₂ O	H ₂ SO ₄		H ₃ PO ₄	
	0,01	0,001	0,01	0,001
	tödlich	unschädlich	tödlich	unschädlich
4,9	1,0	8,5	1,0	7,9
100	21	170	21	158

21° C. 9½ Stunden, 13 Hypokotylabschnitte.

H ₂ O	H ₂ SO ₄			HCl		
	0,01	0,0075	0,005	0,01	0,0075	0,005
	tödlich			tödlich		
8,2	2,2	3,0	3,6	2,0	3,2	4,6
100	27	37	44	25	39	56

21° C. 18 Stunden, 20 Hypokotylabschnitte.

H ₂ O	H ₂ SO ₄			H ₃ PO ₄			H ₂ O
	0,002	0,001	0,0005	0,002	0,001	0,0005	
	tödlich	Absterben	un- schädlich	Absterben		un- schädlich	
11,6	5,7	11,1	12,6	12,7	14,1	11,8	10,9
10,6	49	95	109	116	129	108	100

Zuwüchse von *Helianthus annuus* (60 mm lang).Nach 8¹/₂ Stunden bei 21° C.H₂O = 8,5 u. 8,1 mm = 100.

(Nach Bemess. von 465 Exemplaren.)

Konzentrationen			Konzentrationen		
0,005	0,0025	0,001	0,005	0,0025	0,001
HNO ₃			HCl		
1,8	4,3	10,1	2,1	3,9	9,7
tödlich		Absterbe- zeichen	tödlich		Absterbe- zeichen
21	51	119	25	46	115
H ₂ SO ₄			H ₂ C ₂ O ₄		
2,6	5,2	9,6	4,7	6,3	13,2
tödlich		Spuren v. Absterben	tödlich		Spuren von Absterben
32	64	118	58	78	163
H ₂ CrO ₄			H ₃ PO ₄		
5,2	8,4	11,0	6,4	11,8	12,1
tödlich	halbtödlich	Absterbe- zeichen	tödlich	Anfang des Absterbens	Schwache Absterbe- zeichen
64	104	136	74	139	143

Man kann nicht leugnen, daß das angeführte Ergebnis der vergleichenden Versuche mit all dem oben Gesagten gut übereinstimmt.

Dem möchte ich noch beifügen, daß die sogenannten schwachen Säuren, vom Standpunkte der Dissoziationstheorie aus betrachtet, unschädlicher als die starken sein müssen. Wir sehen dies teilweise an Chrom- und Phosphorsäuren, welche bei der Konzentration 0,0025 N schon fähig sind, das Hypokotylwachstum etwas zu verstärken, ohne die Keimlinge nach 8½ Stunden vollständig abzutöten. Noch schärfer äußert sich diese Erscheinung, wie die Versuche von Frau Krepisch zeigten, in den Lösungen von Borsäure.

Im Folgenden wird das Gesamtergebnis der sich hierauf beziehenden Beobachtungen angeführt, welches die Unschädlichkeit der Borsäure im Vergleich mit den oben betrachteten Säuren beweist.



Nach 18 Stunden bei 23° C.

(Nach Bemess. von 1400 Hypokotylabschnitten.)

Konzentrationen	H ₂ O	0,00005	0,0002	0,0005	0,001	0,01
Zuwüchse	100	99	98	97	95	63

Um die Frage über die Rolle des Wasserstoffions bei der Modifikation des Wachstums der Sonnenblume vollständig klarzulegen, sehe ich mich veranlaßt, bei einigen Versuchen mit verschiedenen Phosphaten zu verweilen.

Die aufmerksame Betrachtung der oben angeführten Versuche mit phosphorsauren Verbindungen weist darauf hin, daß der Effekt der Salze nicht immer mit dem Effekte, welcher durch die entsprechenden Konzentrationen freier Alkalien oder Säuren hervorgerufen wird, zusammenfällt, sondern etwas größer als der letztere ist. Diese Erscheinung ist in Verbindung mit dem Charakter der Dissoziation der phosphorsauren Verbindungen zu bringen. Die Chemie lehrt es, daß der Wasserstoffion in den Lösungen der ungesättigten Phosphate nicht vollständig frei wird, sondern in der Lösung gemeinsam mit den Ionen H₂PO₄ und HPO₄, jedoch in kleineren Mengen, auftritt. Wenn die letzteren ebenso unschädlich sind wie der Ion PO₄, so sind wir berechtigt, vorauszusetzen, daß die Entwicklung der Hypokotyle der Sonnenblume in denjenigen Lösungen der sauren Phosphate, welche dem absoluten Wasserstoffgehalte nach ebenso schädlich wie die entsprechenden

Mengen freier Phosphorsäure sein müßten, normal vor sich gehen werde.

Um diese Voraussetzung zu prüfen, wurden mehrere Kollektivversuche ausgeführt, wobei Natriumphosphate von mir, Kaliumphosphate von Herrn Gezewitsch und Ammoniumphosphate von Herrn Mordowsky untersucht wurden. Die Versuche wurden gleichzeitig angestellt, wobei sie sehr deutlich die relative Unschädlichkeit der Mono- und Biphosphate in den Konzentrationen zeigten, welche, der Wasserstoffmenge nach, die Keimlinge vollständig abtöten könnten. So hemmten die Lösungen von Monophosphaten von 0,003 bis 0,05 N in allen Versuchen nur schwach das Wachstum (NaH_2PO_4) oder verstärkten es sogar (KH_2PO_4 und $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$). Hier werden die Zahlen nicht angeführt, weil das erhaltene Material in einem besonderen Aufsätze publiziert werden wird. Doch möchte ich einige Resultate einer speziellen Versuchsserie mit den Gemischen von Alkalien und den doppelten Mengen freier Säuren anführen. Diese Versuche sind deshalb interessant, weil hier die Erscheinung der Abschwächung der schädlichen Wirkung des Wasserstoffions in Anwesenheit eines anderen Kations und die oben betrachtete Erscheinung der Keimlingsabtötung durch den Wasserstoffion, wenn er sich in einer tödlichen Konzentration ansammelt, gemeinsam hervortreten.

Die Alkalienmenge, welche zur Säurenlösung zugesetzt wurde, wurde im Verhältnis $1 : \frac{2}{3} : \frac{1}{3}$ reguliert, um in jedem Versuche eine und dieselbe zu untersuchende Konzentration der Mono-, Bi- und Triphosphate zu erhalten. Dementsprechend wurde der Kontrollversuch in freier Alkalie in drei im angegebenen Verhältnis abnehmenden Konzentrationen angestellt, um die selbständige Einwirkung des Kations abschätzen zu können. Zu den erhaltenen Lösungen der drei Phosphate wurde danach noch ein Volum Phosphorsäure zugesetzt, so daß in den Gemischen eine gleiche Menge der PO_4 -Ione, jedoch eine ungleiche Wasserstoffmenge (je nach der Menge der Katione) vorhanden waren. Schließlich wurde ein paralleler Versuch mit der Lösung freier Phosphorsäure, die die gleiche Menge von PO_4 wie die Gemische enthielt, angestellt. Für die Untersuchung einer jeden Konzentration der Phosphate wurden die Keimlinge für die Lösungen der Alkali, Säure, Wasser und die Phosphate von einem und demselben Topfe verwendet und alle Kulturen gleichzeitig angestellt, wobei die Zeit für die Anstellung und Bemessung jeder einzelnen Portion in Betracht gezogen wurde.

Aus der Tabelle Seite 52 ersieht man, daß alle Konzentrationen der Triphosphate von 0,01 bis 0,001 N in Anwesenheit der Phosphorsäure unschädlich sind. Das Diphosphat mit Phosphorsäure wird erst bei der Konzentration 0,0025 N und das Monophosphat erst in den Lösungen, welche nicht stärker als 0,001 N sind, unschädlich; bei dieser Konzentration wird auch die Phosphorsäure selbst unschädlich.

Versuche mit Säurenüberschuß von *Helianthus annuus*
in Gemischen aus Phosphaten und Phosphorsäure.

Zuwüchse nach 16—17 Stunden bei 19° C; H₂O = 100.

Charakter des Kations und die Konzentrat. der Phosphate	Lebensfähigkeit der Keimlinge und Zuwüchse in Lösungen						
	2 H ₃ PO ₄	ROH ^{2/3}	ROH ^{1/3}	ROH	1 H ₃ PO ₄ und R ₃ PO ₄	R ₂ HPO ₄	RH ₂ PO ₄
NH ₄ } 0,01 N	tödlich	tödlich	unschädlich		unschädlich		tödlich
	0	9	55	121	139	88	37
K } 0,01 N	tödlich		unschädlich		unschädlich		tödlich
	0	51	55	70	85	20	0
NH ₄ } 0,005	tödlich		unschädlich		unsch. Abst.		tödlich
	20	115	125	122	122	105	41
K } 0,005	tödlich		unschädlich		unschädlich		Absterb.
	9	80	82	84	94	15	33
NH ₄ } 0,0025	Absterb.		unschädlich		unschädlich		Absterb.
	45	136	116	113	153	137	71
K } 0,0025	Absterb.		unschädlich		unschädlich		Absterb.
	32	72	86	98	94	138	84
NH ₄ } 0,001	unschädlich		unschädlich		unschädlich		
	114	119	108	103	126	132	133
K } 0,001	unschädlich		unschädlich		unschädlich		
	120	85	87	92	90	109	129

Die Abschwächung der schädlichen Einwirkung des Wasserstoffions durch die Katione NH₄ und K tritt also sehr deutlich hervor.

Andererseits sehen wir, daß, in Übereinstimmung mit den oben angeführten Regeln der gemeinsamen Wirkung verschiedener Ione, die Triphosphate einen positiven Effekt nur in dem Falle hervorrufen, wenn der Kation in der Lösung in der positiv wirkenden Konzentration verwendet wird, und daß sie stets einen negativen Effekt hervorrufen, wenn der Kation selbst das Wachstum hemmte. Eine Ausnahme von dieser Regel stellen die schwachen Konzentrationen der sauren Salze dar; doch scheint es mir, daß ich der Wahrheit nahe sein würde, wenn ich eine Beziehung dieser Ausnahme zu dem Charakter der Dissoziation der phosphorsauren Verbindungen, bei welcher gemeinsam mit den Ionen K und PO₄ sich auch die Ione H₂PO₄ und HPO₄ ansammeln und ein Molekülteil noch undissoziiert bleibt, voraussetze.

Die Einwirkung verschiedener phosphorsaurer Verbindungen stimmt also mit den von mir festgestellten Gesetzmäßigkeiten gut überein.

IV.

Über die Wirkung der salzartigen Stoffe auf das Wachstum der Pflanzen.

Fortsetzung.

In dem vorhergehenden Aufsätze versuchte ich die drei folgenden Regeln der gemeinsamen Einwirkung der Stoffe auf das Hypokotylwachstum der Sonnenblume festzustellen:

1) In der Lösung aus zwei chemischen Verbindungen, die die Wachstumsenergie zu vergrößern befähigt sind, wird ein summarischer positiver Effekt beobachtet.

2) In der Lösung aus zwei entgegengesetzt wirkenden Stoffen bewirkt die schädliche Verbindung einen hemmenden Effekt der Lösung.

3) In der Lösung aus zwei schädlichen Verbindungen wird eine Wachstumshemmung, entsprechend dem schädlicheren der beiden Stoffe, beobachtet.

Die Regeln wurden empirisch, d. h. auf Grund der Versuchsergebnisse aufgestellt, und früher hauptsächlich als Arbeitshypothesen betrachtet, mit deren Hilfe verschiedene Fälle der Wachstumserscheinungen in den Lösungen chemischer Verbindungen theoretisch vorausgesehen und durch gesetzmäßige Einwirkungen seitens der einzelnen Ione, die diese Lösungen zusammensetzen, erklärt werden konnten.

In dem vorliegenden Aufsätze möchte ich dieselben Regeln in ihrer Beziehung zueinander betrachten und gleichzeitig mit Hilfe neuer Ergänzungsversuche ihre Bedeutung für das Leben der pflanzlichen Zelle klarlegen.

Als ich vor einigen Jahren die Untersuchung der Frage über die Einwirkung der salzartigen Stoffe auf das Wachstum begann, hatte ich keine vollständig bestimmten Anhaltspunkte, welche zur Orientierung in den erhaltenen verschiedenartigen Resultaten hätten mithelfen können. Die Aufgabe der anfänglichen Versuche bestand in einer vergleichenden Untersuchung der Einwirkung verschiedener Stoffe auf den Wachstumsgang, die Zusammenstellung der erhaltenen Ergebnisse erlaubte aber nicht, eine Gesetzmäßigkeit allgemeinen Charakters festzustellen. Die Behandlung der Frage rückte jedoch vorwärts, als ich die Gruppierung verschiedener Stoffe nach ihrer physiologischen Wirkung vornahm und bei der Versuchsanstellung die Verbindungen und die Konzentrationen der Stoffe, welche die Wachstumsenergie der Hypokotyle der Sonnenblume vergrößern oder verkleinern, zu unterscheiden begann.

Die Versuche mit verschiedenen Gemischen aus Stoffen erwähnten Charakters führten eben zur Feststellung der oben ange-

fürten Regeln, mit denen die Mehrzahl der erhaltenen Resultate übereinstimmte, so daß die Möglichkeit geschaffen wurde, die Resultate vieler Experimente vorausszusehen.

Das nähere Studium der Versuchsergebnisse führt jedoch zu dem Schlusse, daß der Charakter der positiven und negativen Stoffeinwirkung eine untergeordnete Rolle in der Äußerung der betrachteten Gesetzmäßigkeiten spielt. Es handelt sich darum, daß nur in den Versuchen mit zwei positiv wirkenden Verbindungen gleichstarke Lösungen der Salze zur Verwendung kamen, die Kombinationen der beiden übrigen Typen wurden dagegen gewöhnlich aus Lösungen ungleicher Konzentrationen zubereitet, wobei die eine der Verbindungen in Bezug auf ihre Fähigkeit die Wachstumsenergie der Hypokotyle zu modifizieren, die andere sehr stark übertraf. Das Gesagte bezieht sich nicht nur auf diejenigen Fälle, welche zur Feststellung der dritten Regel dienten, sondern auch auf die Mehrzahl der Versuche mit den Kombinationen entgegengesetzt wirkender Stoffe.

Man kann demnach denken, daß, wenn in den Versuchen mit Gemischen aus zwei Stoffen, die dem einem der Komponenten entsprechenden Effekte beobachtet wurden, dieser Komponente gerade diejenige Verbindung darstellte, welche zugleich auch das aktivste Element des Gemisches war, und daß nur in schwachen (kompensierten) Lösungen beide Salze ihre Wirkung gleichzeitig äußern.

Zu gleichem Schlusse führt auch die Untersuchung der physiologischen Bedeutung der betrachteten Gesetzmäßigkeiten.

In der Tat, man kann leicht zeigen, daß die oben angeführten Regeln drei gänzlich verschiedene Typen der physiologischen Wirkung der gemischten Lösungen bezeichnen.

A priori scheint es am wahrscheinlichsten zu sein, daß in der gemischten Lösung jeder der Komponenten unabhängig von dem anderen einwirken wird, und daß das Gemisch einen Effekt, der der algebraischen Summe der beiden verwendeten Stoffe entspricht, hervorrufen wird. Dieser Voraussetzung entsprachen jedoch nur die Versuche mit schwachen Konzentrationen von zwei positiv wirkenden Verbindungen. In den Gemischen der entgegengesetzt wirkenden Stoffe wurde eine Einwirkung nach einem anderen physiologischen Typus beobachtet: der Effekt der positiv wirkenden Verbindung in der gemischten Lösung wurde unterdrückt, der schädliche Stoff wies die Fähigkeit auf, die Einwirkung des entgegengesetzt wirkenden Komponenten zu neutralisieren, als ob der letztere gänzlich aus der Lösung als ein unlöslicher Niederschlag ausgeschieden wäre. In den Lösungen zweier schädlicher Stoffe wurden gleichfalls die Erscheinungen der Neutralisation beobachtet und wiederum in einer eigentümlichen Modifikation. In diesem Falle wurde unter dem Einflusse des stark wirkenden schädlichen Stoffes der Effekt des anderen, das Wachstum hemmenden Stoffes, unterdrückt; im Gemische wurde also, im Gegensatz zum früher erwähnten Falle (wo der das Wachstum hemmende Stoff die Wirkung der positiven Verbindung gänzlich unterdrückte und die schädliche Wirkung des Gemisches

verstärkte), der eine Komponent durch den anderen unschädlich gemacht.

In gemischten Lösungen werden also ungleiche Fälle der Beziehungen der einzelnen Salze zu einander beobachtet; die Neutralisation positiv und negativ wirkender Stoffe findet dagegen gleich leicht statt. Die Voraussetzung, daß irgend eine chemische Verbindung, wenn diese in der Lösung in einer vorherrschenden Menge vorhanden ist, die Fähigkeit besitzt, die Wirkung der übrigen Komponenten des Gemisches zu unterdrücken, gestattet alle Beziehungen der erwähnten physiologisch voneinander verschiedenen Fälle von einem und demselben Standpunkte aus zu betrachten. Man kann nämlich voraussetzen, daß zwei Stoffe nur solange unabhängig voneinander wirken, als diese Stoffe in der Lösung in kompensierten Mengen vorhanden sind; das Vorherrschen des einen Stoffes in der Lösung wird dagegen schon eine allmähliche Unterdrückung des Effekts des anderen, untergeordneten hervorrufen, wobei sowohl das Wachstum positiv stimulierende sowie auch dasselbe hemmende Stoffe vorherrschen können.

Die oben angeführten Regeln der gemeinsamen Wirkung der Stoffe können also als spezielle Fälle dieser allgemeinen Gesetzmäßigkeit betrachtet werden.

Obwohl die Versuchsergebnisse das Gesagte nicht immer bestätigen, weil in einigen Fällen gleiche und sogar schwächere Konzentrationen der angewandten Verbindungen eine vorherrschende Rolle spielten, und die Summierung der einzelnen Effekte auch in Lösungen ungleicher Konzentration beobachtet wurde, scheint es mir jedoch, daß man unter dem Begriff von einem vorherrschenden Stoffe, welcher fähig ist, die Wirkung des anderen, untergeordneten mehr oder minder zu beseitigen, bei der physiologischen Forschung stets nicht ausschließlich die Menge einer jeden Verbindung der angegebenen Konzentration verstehen müßte. Der Grad der physiologischen Wirkung der chemischen Verbindungen wird auch von der Natur jedes einzelnen Stoffes und den Eigenschaften des Plasmas der Pflanze abhängen. In den Versuchen können demnach auch schwache Konzentrationen mancher Stoffe eine vorherrschende Rolle spielen; die kompensierten Lösungen mit einer scharf ausgeprägten Wirkung eines jeden Komponenten können also auch aus verschiedenen Mengen und Konzentrationen eines jeden verwendeten Stoffe zusammengesetzt werden.

Die angeführte unitare Auslegung der Ergebnisse meiner Beobachtungen über die Wirkung der Salze auf das Wachstum kann man sehr leicht der experimentellen Prüfung unterwerfen, wenn man bei der Versuchsanstellung die Aufmerksamkeit hauptsächlich auf die Beziehung der Konzentrationen zueinander und auf die physiologische Wirkung der untersuchten Verbindungen lenkt.

Indem ich zur Beschreibung der neuen Versuche übergehe, möchte ich vor allem bei der Untersuchung der Gemische entgegengesetzt wirkender Stoffe verweilen. Die Kombinationen dieser Art lassen sich am leichtesten eingehend studieren, weil für die Versuche

eine große Anzahl verschiedener Verbindungen mit einer scharf ausgeprägten Fähigkeit, das Wachstum der Sonnenblume nach der einen oder anderen Richtung zu modifizieren, zur Verfügung stehen. Dieser Umstand gibt die Möglichkeit, Resultate zu erhalten, die in genügendem Grade von den Zufälligkeiten bei der Versuchsanstellung und bei der Bestimmung der Wachstumsenergie unabhängig sind.

Als einen positiv stimulierenden Stoff wählte ich schwefelsaures Ammonium, welches in Konzentrationen von 0,001—0,01 normaler einvalentiger Lösung fähig ist, die Wachstumsenergie im Vergleich mit dem Wachstum in der parallel angestellten Wasserkultur um 20—40 % zu vergrößern. Für einige Versuche wurden außerdem NH_4Cl , NH_4CNS und KCl in Lösungen verschiedener Konzentrationen verwendet. Von den das Wachstum hemmenden Salzen wurden eingehend MgCl_2 , $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, LiNO_3 , KNO_3 , NaCl , ZnCl_2 und CoCl_2 in verschiedenen Konzentrationen untersucht; außerdem wurden Ergänzungsversuche mit Lösungen von BaCl_2 , $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ und KCl angestellt.

Bei der Versuchsanstellung wurde die Bedingung der Methodengleichheit nicht nur in den Grenzen der vergleichenden Kulturen eines jeden Versuches, sondern auch in den Versuchen der ganzen zu beschreibenden Untersuchungsserie nach Möglichkeit streng erfüllt. Aus diesem Grunde wurde die sorgfältigste Aufmerksamkeit auf die Gleichartigkeit der Einpflanzung und Erziehung der jungen Keimlinge der Sonnenblume, welche zu den Versuchen dienten, gerichtet. Das Keimen fand in flachen Töpfen aus ungebranntem Ton in grobem gewaschenem Sand und im dunklen Zimmer mit einer beständigen Temperatur von ungefähr 20°C statt. In jeden Topf auf eingestampften Sand wurden gewöhnlich 800—900 ausgewählte, gleichzeitig eingekaufte Samen eingepflanzt. Die dichte Einpflanzung der Samen mit dem spitzigen Ende nach unten, und die regelmäßige alltägliche Begießung garantierte eine gleichzeitige Aufkeimung und gleichmäßige Entwicklung der Keimlinge. Zur Kultur dienten ausgewählte Exemplare im Alter von sieben Tagen; von diesen Exemplaren wurden die Hypokotyle mit den Kotyledonen genommen, deren Länge genau 60 mm, von der Krümmung bei den Kotyledonen nach unten bis zur Schnittfläche bemessen, betrug. Die erhaltenen Hypokotylabschnitte wurden gewöhnlich in Portionen zu je 22 Exemplaren in flache Porzellanküvetten, deren Dimensionen gleich $3 \times 12 \times 15 \text{ cm}$ und Volum gleich 350 ccm waren, gebracht.

Für einen jeden Versuch wurden stets vier einfache oder doppelte Kulturen angestellt: 1) Wasser; 2) das positiv wirkende Salz; 3) das Wachstum hemmende Salz und 4) das Gemisch aus beiden Salzen. Die Kulturen mit den Hypokotylabschnitten wurden in den Lösungen bei 20°C während 12—22 Stunden gehalten, wonach die Keimlinge mit Hilfe eines am Tische befestigten Linienstahles, der bis 0,5 mm geteilt war, bemessen wurde. Für 22 Keimlinge jeder Portion wurden gewöhnlich 200 ccm Salzlösung verwendet. Die Lösungen der Konzentration von 0,05 oder 0,1 N wurden vorher zubereitet und in geschlossenen Gefäßen, die mit Büretten ver-

bunden waren, aufbewahrt. Die Büretten gestatteten ohne Hindernisse rasch und genau Lösungen einer beliebigen schwachen Konzentration zu bereiten, die in der zur Kultur verwendeten Lösung eine genau bestimmte Salzmenge enthielten.

Auf 22 gleichgroße Keimlingsabschnitte kam also bei 20° C 200 ccm Lösung, wobei die einfachen Lösungen beider Salze diejenige Menge (Milligramm) des untersuchten Stoffes enthielten, welche auch in der parallelen gemischten Lösung vorhanden war. Die Kultur der Keimlinge in den Versuchen wurde nach Möglichkeit gleichdauernd ausgeführt, doch wurde die Erfüllung dieser Bedingung manchmal durch meine Dienstpflicht gestört und mußte man öfters den Versuch auch absichtlich entweder beschleunigen oder verlangsamen, weil andernfalls die Keimlinge in einigen Lösungen abstarben oder zu stark die Salze aufnahmen; andererseits waren auch die Zuwüchse nicht genügend groß usw.

Das Bestreben, die Bestimmung der Wachstumsenergie nach Möglichkeit genauer auszuführen und eine möglichst große Anzahl einzelner Experimente miteinander vergleichbar zu machen, wurde durch die Notwendigkeit einer mathematischen Verarbeitung des erhaltenen Materials hervorgerufen. Es handelt sich darum, daß, wenn die beiden Stoffe in der gemischten Lösung fähig wären, eine selbständige Wirkung mit der gleichen Energie, die der gegebenen Menge der Stoffe in der einfachen Lösung entspricht, auszuüben, man nach dem Wachstumsgange in einfachen Lösungen beider Stoffe die Wachstumsenergie im Gemische dieser Stoffe theoretisch berechnen könnte.

Setzen wir voraus, daß wir es mit entgegengesetzt wirkenden Stoffen zu tun haben, von denen der eine (a) eine Erhöhung der Wachstumsenergie im Vergleich mit dem Wachstum im Wasser um 35%, und der andere (b) eine Wachstumshemmung um 40% hervorzurufen vermag. Wenn die beiden Stoffe im Gemische unabhängig voneinander und nacheinander wirken, so wird die Wachstumsenergie im Wasser, in einfachen Lösungen und im Gemische folgendermaßen ausgedrückt:

$$\text{H}_2\text{O} = 100; a = 135; b = 60; a - b = 81.$$

Die Methode der Berechnung der Wachstumsenergie für a und b ist ohne jegliche Erklärung begreiflich; in den Versuchen werden wir in Bezug auf einfache Lösungen stets die Ergebnisse direkter Messungen benutzen, welche im Vergleich mit dem Zuwachs im Wasser (100) durch Prozente ausgedrückt werden. Die Berechnung der theoretischen Größe des Zuwachses für das Gemisch wird ebenso begreiflich, wenn wir darauf hinweisen, daß der Zuwachs, welcher nach der Wirkung des einen Stoffes erhalten wird (135 oder 60), entsprechend der Wirkung des anderen Stoffes umgerechnet werden muß, d. h. entweder um 40% verkleinert (wenn der zweite Stoff das Wachstum hemmte), oder um 35% vergrößert (falls als zweiter Komponent ein positiv stimulierender Stoff verwendet wird). Die beiden Methoden der Berechnung geben die

gleichen Größen des theoretischen Zuwachses im Gemisch, wie es aus dem Folgenden zu ersehen ist:

$$1) a - b = 135 - \frac{135 \times 40}{100} = 81$$

$$2) b + a = 60 + \frac{60 \times 35}{100} = 81$$

Die Zusammenstellung der theoretischen Zuwüchse, welche nach der erwähnten Methode berechnet werden, mit den tatsächlichen faktischen Zuwüchsen, welche in den Versuchen auf dem Wege direkter Bemessungen der Pflanzen aus der gemischten Lösung erhalten werden, erleichtert bedeutend das Verständnis für die Ergebnisse eines jeden Experimentes.

Die gemischten Lösungen aus entgegengesetzt wirkenden Stoffen müssen in Übereinstimmung mit der zweiten der von mir aufgestellten Regeln eine Wachstumshemmung entsprechend dem hemmenden Effekte des schädlichen Komponenten hervorrufen. Wie früher auseinandergesetzt wurde, begegnen wir hier der Erscheinung der Wechselwirkung zwischen den Elementen des Gemisches, wobei der negativ wirkende Stoff die Fähigkeit besitzen muß, den Effekt des positiven Elementes der Lösung zu neutralisieren, wenn er in einer physiologisch vorherrschenden Konzentration vorhanden ist. Im Gegenteil, wenn der positiv stimulierende Stoff vorherrschen würde, so könnte man erwarten, daß die Erscheinung der entgegengesetzten Regel folgen wird: Gemische werden einen Effekt aufweisen, welcher dem einen positiven Komponenten entspricht, und die Wirkung des hemmenden Stoffes wird neutralisiert werden.

In beiden Fällen muß ein scharfes Auseinandergehen der Größen der tatsächlichen Zuwüchse im Gemische und der theoretischen Zuwüchse beobachtet werden, weil bei der Berechnung der letzteren die Wirkung der beiden Lösungskomponenten beachtet wurde. Die Unterschiede zwischen den Zuwüchsen erster und zweiter Art werden aber ihre Größe und ihr Vorzeichen allmählich verändern entsprechend dem Übergang der Vorherrschaft, je nach dem Wechsel der Lösungen von dem positiven Stoffe zum hemmenden. In den Übergangsfällen, d. h. für alle mehr oder minder kompensierten Gemische beider Stoffe, sind wir berechtigt, ein nahes Zusammentreffen der tatsächlichen Zuwüchse mit den theoretischen zu erwarten. Dies ist auch begreiflich, weil dem Sinne der oben angeführten Betrachtungen nach die beiden Stoffe in den kompensierten Lösungen die Möglichkeit besitzen, ihren spezifischen Einfluß auf die Keimlinge auszuüben.

Die arithmetischen Unterschiede zwischen den tatsächlichen und berechneten Zuwüchsen im Gemische können also als Anzeiger der Wechselwirkung zwischen den Bestandteilen der Lösung dienen, wenn die von mir entwickelten Betrachtungen der Wahrheit entsprechen.

In der Tat bestätigen die Versuche die Richtigkeit der oben angeführten Voraussetzungen vortrefflich. Demnach führe ich in

den Tabellen, welche die erhaltenen Ergebnisse enthalten, gleichzeitig mit den absoluten und relativen Zuwachsgrößen auch die Größen der theoretisch berechneten Zuwüchse und die arithmetischen Unterschiede zwischen den tatsächlichen und theoretischen Zuwüchsen im Gemische an. Um die erhaltenen Versuchsergebnisse übersichtlich zu machen, teile ich außerdem in den Tabellen die arithmetischen Unterschiede zwischen den Zuwüchsen in den Gemischen und in der das Wachstum hemmenden Lösung mit. Diese Unterschiede, in Millimetern ausgedrückt, dürfen nicht größer als die unvermeidlichen Fehler, welche bei der Wachstumsbestimmung gemacht werden, sein, in dem Falle, wenn der hemmende Stoff in der Lösung vorherrschend ist und die Erscheinung der zweiten zu prüfenden Regel entspricht. Ich wies aber darauf hin, daß die Abweichungen von dieser Regel desto bedeutender sein können, je energischer der andere positive Komponent des Gemisches seine Wirkung ausübt. Wir können also erwarten, daß die betrachteten Abweichungen in demjenigen Momente durch die größten Zahlen ihren Ausdruck finden, wo, wie früher erwähnt, unter dem Einfluß des neuen vorherrschenden Stoffes sich eine Nichtübereinstimmung der theoretischen und mit den tatsächlichen Zuwüchsen scharf ausprägt.

Die Richtigkeit all der früher gemachten Voraussetzungen und Hinweise wird so vollständig durch die angeführten Tabellen (siehe Tabellen 1—8, Seite 60—63), wo die Versuchsergebnisse mit entgegengesetzt wirkenden Stoffen zusammengestellt sind, bestätigt, daß es nur übrig bleibt, einige Worte in Bezug auf die spezifischen Eigentümlichkeiten der Wirkung mancher Salze hinzuzufügen.

Von den zehn geprüften Salzen, welche ganz zufällig ohne eine besondere Auswahl angewandt wurden, begegnen wir keinem einzigen, welches im Gemische mit kleineren Mengen von schwefelsaurem Ammonium nicht unserer zweiten Regel der gemeinsamen Stoffeinwirkung auf das Wachstum folgte, während sich dieselben Salze in einfachen Lösungen in ihrem Einflusse auf die Pflanze scharf voneinander unterschieden. Außerdem erwiesen sich all die geprüften Stoffe als gleich fähig, den Effekt des schwefelsauren Ammoniums gänzlich zu neutralisieren, sobald ihre Konzentrationen die Konzentration des positiv stimulierenden Stoffes 10—15 Mal übertrafen (siehe die Tabellen Seite 59—62).

Wenn sich auch einige Unterschiede in den Beziehungen derjenigen Konzentrationen zueinander, welche die Vorherrschaft des einen Stoffes bedingen, beobachten ließen, so waren dieselben doch sehr unbedeutend. So fiel $MgCl_2$ unter den anderen Salzen durch seine Fähigkeit etwas auf, die Wirkung des schwefelsauren Ammoniums zu neutralisieren; dieses letztere blieb dagegen ziemlich fest in seiner selbständigen Wirkung gegen die Angriffe von $ZnCl_2$. Andererseits konnte $(NH_4)_2SO_4$ in relativ schwachen Lösungen den Effekt von $NaCl$ und KNO_3 unterdrücken, während $LiNO_3$, $Ni(NO_3)_2$ und andere Salze nur bei größeren Konzentrationen des schwefelsauren Ammoniums nachgaben.

Tabelle I. Chlormagnesium.

No. d. Versuche nach d. Reihenf.	Versuchsdauer in Stunden	H ₂ O			(NH ₄) ₂ SO ₄		MgCl ₂			(NH ₄) ₂ SO ₄ u. MgCl ₂		Abweichungen von der Regel, mm	Unterschiede zw. tatsächl. u. theoret. Zu- wüchsen, ‰	Theoretischer Zuwachs im Gemisch, ‰
		= 100	Kon- zentrat.	mm	‰	Kon- zentrat.	mm	‰	mm	‰				
1	13 ¹ / ₂	15,6	0,01	19,9	127	0,0025	13,6	87	19,3	123	+ 5,7	+ 13	110	
2	14	15,9		20,9	131		14,2	89	19,7	123	+ 5,5	+ 7	116	
3	22	20,6	0,0025	25,0	122	0,0025	17,1	83	20,8	101	+ 3,7	+ 8	101	
4	16	22,0		26,2	131		14,0	70	19,6	98	+ 5,6	+ 6	92	
5	13 ¹ / ₂	15,6	0,0025	18,7	119	0,0025	13,6	87	16,4	105	+ 2,8	+ 1	104	
6	14	15,9		20,0	125		14,2	89	16,7	105	+ 2,5	- 6	111	
7	12	13,4	0,0025	17,3	129	0,005	11,5	86	13,6	101	+ 2,1	- 10	111	
8	13	14,5		18,0	124		11,7	81	13,9	96	+ 2,2	- 4	100	
9	16	22,0	0,0075	26,2	131	0,0075	14,2	71	16,7	83	+ 2,5	- 9	92	
10	14	18,5		23,4	127		0,01	15,5	84	16,0	86	+ 0,5	- 21	107
11	14	15,0	0,010	21,2	141	0,010	12,4	83	13,0	86	+ 0,6	- 31	117	
12	16	22,0		26,2	131		0,015	13,3	67	14,4	70	+ 0,1	- 18	88
13	14	17,5	0,025	22,7	130	0,025	12,0	68	12,0	68	+ 0,0	- 20	88	

Tabelle II. Chlormagnesium.

No. d. Versuche nach d. Reihenf.	Versuchsdauer in Stunden	H ₂ O			(NH ₄) ₂ SO ₄		MgCl ₂			(NH ₄) ₂ SO ₄ u. MgCl ₂		Abweichungen von der Regel, mm	Unterschiede zw. tatsächl. u. theoret. Zu- wüchsen, ‰	Theoretischer Zuwachs im Gemisch, ‰
		= 100	Kon- zentrat.	mm	‰	Kon- zentrat.	mm	‰	mm	‰				
14	13	14,5	0,01	20,0	138	0,005	11,7	81	15,8	109	+ 4,1	- 3	112	
15	14	18,5		24,3	131		15,9	92	21,2	114	+ 4,3	- 7	121	
16	13	14,5	0,005	19,0	131	0,005	11,7	81	14,4	100	+ 2,4	- 6	106	
17	14	18,5		23,8	129		16,9	92	17,4	94	+ 0,5	- 25	119	
18	14	18,5	0,01	24,3	131	0,01	15,5	84	16,8	92	+ 1,3	- 18	110	
19	14	18,5	0,005	23,8	129		15,5	84	16,0	86	+ 0,5	- 22	108	
20	20	20,1	0,0025	28,6	143	0,0025	17,9	89	22,1	110	+ 4,2	- 17	127	
21	14	18,5		23,4	127		0,005	16,9	92	17,1	93	+ 0,2	- 24	117
22	20	15,0	0,0025	21,2	141	0,01	12,4	83	13,0	86	+ 0,6	- 41	117	
23	16	22,0		26,2	131		0,025	14,0	70	12,9	64	- 1,1	- 28	92
24	20	19,6	NH ₄ CNS 0,005	21,7	111	0,005	17,1	87	15,8	81	- 1,3	- 15	96	
25	14	15,1		18,0	120		13,8	92	13,4	90	- 0,4	- 20	110	
26	20	19,0	NH ₄ CNS 0,005	21,6	114	0,005	17,0	88	15,0	79	- 2,0	- 21	100	

Tabelle III. Chlorbarium und salpetersaures Barium.

No. d. Versuche nachd. Reihenr.	Versuchsdauer in Stunden	HO ₂ = 100 mm	Positives Salz			Negatives Salz			Gemisch		Abweichung von der Regel, mm	Unterschiede zw. theor. u. tatsächl. Zu- wachsen, ‰	Theor. Zuwachs im Gemisch, ‰				
			Stoff u. Konzentration	mm	‰	Stoff u. Konzentration	mm	‰	mm	‰							
27	22	20,6	(NH ₄) ₂ SO ₄ 0,0025	25,0	122	BaCl ₂ 0,0025	9,3	45	23,9	116	Bodensatz + 14,6	Bodensatz + 61	55				
28	20	20,0		28,6	145		12,5	63	28,5	142				+ 16,0	+ 52	90	
29	21	14,5	NH ₄ CNS 0,001	17,7	122	Ba(NO ₃) ₂ 0,001	9,7	67	13,6	94	+ 3,9	+ 8	82				
30	14	13,1		14,6	112		8,9	68	13,2	101				+ 4,3	+ 25	76	
31	14	13,1	KCl 0,0005	14,1	108	Ba(NO ₃) ₂ 0,001	8,9	68	8,7	67	— 0,2	— 7	74				
32	21	14,5		16,1	111		9,7	67	10,6	73				+ 0,9	— 0	73	
33	15	11,4	NH ₄ CNS 0,002	15,0	131	Ba(NO ₃) ₂ 0,002	7,8	70	10,3	90	+ 2,5	— 2	92				
34	13	13,2		14,7	112		8,6	66	8,8	67				+ 0,2	— 7	74	
35	13	14,2	0,002	16,5	116		10,0	70	11,4	80	+ 1,4	— 1	81				
36	13	13,2	0,002	14,7	112	0,002	4,8	70	10,0	76	+ 0,7	— 2	78				
37	14	12,8	NH ₄ CNS 0,0025	15,8	124	BaCl ₂ 0,0025	7,0	66	10,0	78	+ 1,5	— 4	82				
38	14	12,8		15,8	124		0,0075	8,5	55	7,5				58	+ 0,5	— 10	68
39	14	12,8		15,8	124		0,015	9,3	38	5,4				42	+ 0,6	— 5	47

Tabelle IV. Chlorkobald und Chlorkalium.

No. d. Versuche nachd. Reihenr.	Versuchsdauer in Stunden	H ₂ O = 100 mm	(NH ₄) ₂ SO ₄			Negatives Salz			Gemisch		Abweichung von der Regel, mm	Unterschiede zw. theor. u. tatsächl. Zu- wachsen, ‰	Theor. Zuwachs im Gemisch, ‰
			Konzentrationen	mm	‰	Konzentrationen	mm	‰	mm	‰			
CoCl ₂													
40	13 ¹ / ₂	15,5	0,0025	20,7	134	0,0025	11,0	71	16,5	107	+ 5,5	+ 12	95
41	20	20,0		28,6	143		11,6	58	21,7	108	+ 10,1	+ 25	83
42	14	15,1	NH ₄ CNS 0,005	18,0	120	0,005	8,9	59	13,0	86	+ 4,1	+ 15	71
43	20	19,6		21,7	111		10,5	53	15,3	79	+ 4,8	+ 20	59
44	12	13,4	0,0025	17,3	129	0,005	8,7	64	12,3	92	+ 3,6	+ 9	83
45	14	15,7		20,1	128	0,01	9,4	60	11,6	74	+ 2,2	— 3	77
46	13 ¹ / ₂	15,5		20,7	134		8,0	52	10,0	64	+ 2,0	— 6	70
KCl													
47	22	20,6	0,0025	25,0	122	0,0025	18,9	92	26,2	127	+ 7,3	+ 15	112
48	12	13,4		17,3	129	0,005	13,3	99	16,7	124	+ 3,4	— 4	128
49	13 ¹ / ₂	15,5		20,7	134	0,025	13,5	87	14,3	92	+ 0,8	— 24	116
50	13 ¹ / ₂	15,5		20,7	134	0,05	10,7	69	11,9	77	+ 1,2	— 15	92

Tabelle V. Salpetersaures Nicel.

No. d. Versuche nach d. Reihenf.	Versuchsdauer in Stunden	H ₂ O	(NH ₄) ₂ SO ₄		Ni(NO ₃) ₂			(NH ₄) ₂ SO ₄ u. Ni(NO ₃) ₂		Abweichungen von der Regel, mm	Unterschiede zw. tatsächl. u. theoret. Zu- wachsen, ‰	Theoretischer Zuwachs im Gemisch, ‰		
		= 100 mm	Konzen- tra-tionen	mm	‰	Kon- zen- tra-tionen	mm	‰	mm				‰	
51	15	18,0	0,0025	23,4	130	0,001	11,8	65	17,5	97	+ 5,7	+ 13	84	
52	15	15,5		19,7	127		0,0025	7,7	49	12,8	83	+ 5,1	+ 21	62
53	16	18,3		22,5	123			9,0	49	13,4	73	+ 4,4	+ 14	59
54	15	13,8		19,1	139	0,0025	6,0	43	11,6	84	+ 5,6	+ 24	60	
55	15	15,5		19,9	129		7,0	45	11,3	73	+ 4,3	+ 15	58	
56	12	13,4		17,3	129	0,005	7,0	52	9,2	68	+ 2,2	+ 1	67	
57	16	15,5		19,7	127		5,2	33	6,3	40	+ 1,1	- 2	42	
58	15	13,8		19,1	139	0,0075	5,0	36	6,3	46	+ 1,3	- 4	50	
59	15	15,5		19,9	129		5,4	35	7,5	49	+ 2,1	+ 4	45	
60	15	13,8		19,1	139	0,015	3,8	28	3,8	28	+ 0,0	- 11	39	
61	15	15,5		19,9	129		5,0	32	5,0	32	+ 0,0	- 9	41	
62	16	15,5		19,7	127	0,025	3,6	23	3,6	23	+ 0,0	- 10	33	
63	20	19,6		NH ₄ CNS 0,005	21,7		111	0,005	8,0	41	11,6	60	+ 3,6	+ 14

Tabelle VI. Salpetersaures Litium.

No. d. Versuche nach d. Reihenf.	Versuchsdauer in Stunden	H ₂ O	(NH ₄) ₂ SO ₄		LiNO ₃			(NH ₄) ₂ SO ₄ LiNO ₃		Abweichungen von der Regel, mm	Unterschiede zw. tatsächl. u. theoret. Zu- wachsen, ‰	Theoretischer Zuwachs im Gemisch, ‰		
		= 100 mm	Kon- zen- tra-tionen	mm	‰	Kon- zen- tra-tionen	mm	‰	mm				‰	
64	13	15,7	0,0025	20,6	131	0,0025	14,8	94	19,3	123	+ 4,5	+ 0	123	
65	13 ^{1/2}	16,8		21,0	125		0,0025	15,2	90	19,4	116	+ 4,2	+ 4	112
66	16	18,3		22,5	123			0,0025	14,8	81	21,6	118	+ 6,8	+ 18
67	16	17,5		22,1	126	0,0025	15,7		90	20,6	117	+ 4,9	+ 4	113
68	12	13,4		17,3	129		0,005	11,4	85	15,6	115	+ 4,2	+ 5	110
69	16	17,5		22,1	126	0,0075	14,0	80	19,0	108	+ 5,0	+ 7	101	
70	20	15,0		21,2	141		0,01	11,1	74	16,1	107	+ 5,0	+ 3	104
71	16	17,5		22,1	126	0,015	11,6	66	15,2	87	+ 3,6	+ 4	83	
72	16	17,5		22,1	126		0,025	10,1	58	13,0	74	+ 2,9	+ 1	73
73	14	17,5		22,7	130	0,025		9,6	56	12,3	70	+ 2,7	- 3	73
74	13	15,7		18,9	120		0,05	6,4	41	6,8	43	+ 0,4	- 6	49
75	13 ^{1/2}	16,8		19,2	114	6,9		41	7,4	44	+ 0,5	- 3	47	

Tabelle VII. Zinkchlorid.

No. d. Versuche nachd. Reihenfr.	Versuchsdauer in Stunden	H ₂ O = 100 mm	(NH ₄) ₂ SO ₄			ZnCl ₂			Gemisch		Abweichung von der Regel, mm	Unterschiede zw. theor. u. tatsächl. Zuwächsen, ‰	Theor. Zuwachs im Gemisch, ‰
			Konzentrationen	mm	‰	Konzentrationen	mm	‰	mm	‰			
76	14	14,5	0,01	20,0	138	0,001	12,2	84	15,0	103	+ 2,8	- 13	116
77	14	14,5	0,005	19,0	131		12,2	84	16,1	111	+ 3,9	+ 1	110
78	14	14,5	0,0025	18,0	124	0,05	12,2	84	16,3	112	+ 4,1	+ 8	104
79	20	15,0		21,2	141		10,9	73	15,0	100	+ 4,1	- 3	103
80	15	16,0	0,0025	19,7	124	0,01	11,5	72	14,6	92	+ 3,1	+ 3	89
81	14	16,0		20,5	128		10,4	65	14,6	91	+ 4,2	+ 8	83
82	15	16,0	0,0025	19,7	124	0,05	10,0	63	12,5	78	+ 2,5	+ 1	77
83	14	16,0		20,5	128		9,2	58	11,6	72	+ 2,4	- 2	74
84	15	17,5	0,0025	22,7	130	0,01	9,6	56	12,3	70	+ 2,7	- 3	73
85	15	16,0		19,7	124		8,6	54	10,0	63	+ 1,4	- 4	67
86	14	16,0	0,0025	20,5	128	0,01	8,2	52	9,6	60	+ 1,4	- 6	66

Tabelle VIII. Chlornatrium und salpetersaures Kalium.

No. d. Versuche nachd. Reihenfr.	Versuchsdauer in Stunden	H ₂ O = 100 mm	(NH ₄) ₂ SO ₄			NaCl und KNO ₃			Gemisch		Abweichung von der Regel, mm	Unterschiede zw. theor. u. tatsächl. Zuwächsen, ‰	Theor. Zuwachs im Gemisch, ‰
			Konzentrationen	mm	‰	Konzentrationen	mm	‰	mm	‰			
NaCl													
87	16	12,9	0,0025	17,7	138	0,0025	11,5	89	16,7	129	+ 5,2	+ 6	123
88	16	18,0		21,9	122	0,005	15,4	86	21,7	121	+ 6,3	+ 16	105
89	22	18,5	0,0025	22,7	130	0,025	11,6	66	13,1	75	+ 1,5	- 11	86
90	20	15,0		21,2	141		11,3	75	12,3	82	+ 1,0	- 24	106
91	16	18,0	0,0025	21,9	122	0,0375	12,2	68	13,2	73	+ 1,0	- 10	83
92	16	18,0		21,9	122		9,8	55	14,4	58	+ 0,6	- 9	67
93	16	18,0	0,0025	21,9	122	0,05	7,6	42	7,0	39	- 0,4	- 12	51
KNO ₃													
94	14	18,0	0,0025	22,8	127	0,0025	18,0	100	22,7	127	+ 4,7	+ 0	127
95	15 ¹ / ₂	18,3		22,5	123		17,8	93	22,6	124	+ 4,8	+ 10	114
96	14	18,0	0,0025	22,8	127	0,015	13,9	77	16,2	90	+ 2,3	- 8	98
97	14	18,0		22,8	127	0,025	14,2	79	13,8	76	- 0,4	- 24	100
98	14	18,0	0,0025	22,8	127	0,0375	12,3	68	11,1	62	- 1,1	- 24	86
99	14	18,0		22,8	127	0,05	10,0	55	9,9	54	- 0,1	- 16	70

Mir scheint es, daß die Unterschiede der erwähnten Art zu unwesentlich sind, um eingehender behandelt zu werden.

Jetzt gehe ich zu einigen Hinweisen inbezug auf die erste Regel der gemeinsamen Stoffwirkung über, d. h. zur Frage über die Lösungen, welche aus zwei das Wachstum positiv stimulierenden Stoffen zusammengesetzt werden.

Bei den vorherigen Besprechungen wies ich schon darauf hin, daß die in den Versuchen beobachtete Summierung der positiven Effekte sich ihrem Wesen nach nicht von dem Falle der Wirkung der entgegengesetzten Stoffe unterscheiden wird, wo die Gemische aus physiologisch gleichwertigen Mengen beider Stoffe zusammengesetzt werden. In der Tat kann man in den Tafeln der Versuche mit entgegengesetzten Stoffen eine Menge von Beispielen finden, wo die beiden Stoffe des Gemisches bei der Gleichartigkeit der Konzentrationen der einzelnen Komponenten unabhängig voneinander und mit der ihnen entsprechenden Energie wirkten, so daß die tatsächlichen Zuwüchse im Gemisch mit den theoretischen gut übereinstimmten. Ich sehe keinen Grund, warum zwei positiv wirkende Stoffe einem anderen Gesetze zu folgen brauchen, falls sie in der Lösung in mehr oder minder kompensierten Mengen vorhanden sind. Inzwischen ist man gezwungen, in den Versuchen mit stimulierenden Stoffen dieser Art gleich starke Konzentrationen beider Stoffe anzuwenden, weil nur bei solchen Konzentrationen eine bedeutende Vergrößerung der Wachstumsenergie der Sonnenblume beobachtet wird. Überhaupt sei darauf hingewiesen, daß es mir trotz der großen Anzahl der untersuchten Stoffe gelang, nur sehr wenige chemische Verbindungen aufzufinden, deren Lösungen die Fähigkeit besaßen, die Wachstumsenergie der Hypokotylen der Sonnenblume jäh zu erhöhen. Bei einer sehr starken Verdünnung stellen wahrscheinlich die Salze vieler Metalle Erreger des Wachstums dar; die Arbeit mit solchen Lösungen ist jedoch für einen vorsichtigen Forscher wenig anziehend: die erhaltenen positiven Effekte waren stets zu unbedeutend, als daß man mit ihnen ohne Besorgnisse inbezug auf die Sicherheit der Resultate operieren könnte.

Als besonders energisch wirkende Erreger des Wachstums erwiesen sich freie Säuren, Ätzammoniak und die Ammoniaksalze sämtlicher Säuren. Eine positive Wirkung wurde auch bei einigen Kaliumsalzen beobachtet; sie war jedoch nur sehr schwach. Die Auswahl der für die Versuche passenden Stoffe war also außerordentlich beschränkt und zwar deshalb, weil die Pflanzen eine ungemein große Empfindlichkeit gegen erhöhte Konzentrationen aller angeführten Salze aufwiesen. Die Säuren töteten die Keimlinge schon in Lösungen von ungefähr 0,001 N Konzentrationen sehr schnell; das Ätzammoniak und einige Ammoniaksalze riefen, in höheren Konzentrationen als 0,005 N angewandt, eine derartig große Erhöhung des Turgordrucks in den Zellen hervor, daß die Hypokotyle durch Querspalten in viele Teile zerrissen wurden, weshalb das Wachstum der Mehrzahl der Zellen aufhörte. Die Kaliumsalze begannen schon in Konzentrationen von 0,002—3 N

die Entwicklung der Hypokotyle zu hemmen. Außerdem erhöhten freie Säuren und ammoniakalische Salze, sogar in sehr kleinen Mengen angewandt, die Wachstumsenergie so stark, daß die Fähigkeit der Zellen, ihre Dimensionen zu vergrößern, dem Anschein nach gänzlich versagte. In den Gemischen der Säuren wurde daher nur eine sehr schwache Summierung der Effekte beobachtet und die Gemische der anderen Verbindungen ergaben nicht immer in genügendem Grade genaue Resultate.

Jedenfalls stehen die neuen Versuche mit den gemischten Lösungen der positiv wirkenden Stoffe durchaus nicht im Widerspruch mit den früher beschriebenen und bestätigen, im Gegenteil die Richtigkeit der ausgesprochenen Voraussetzungen. Dieses erhellt ohne weitere Erklärungen aus der Tabelle IX, in welcher die neuen Experimente mit positiv wirkenden Stoffen zusammengestellt sind. Wir ersehen hier, daß die Gemische stets einen positiven Effekt hervorrufen, der nicht selten der Summe der Effekte der einzelnen Komponenten der Lösung entspricht.

Die Versuche mit den Gemischen freier Säuren, welche in der Tabelle X zusammengestellt sind, demonstrieren die Regel der Effektsummierung nicht so klar. Dieser Umstand muß ganz auf Kosten derjenigen Schwierigkeiten gesetzt werden, denen der Experimentator bei der Arbeit mit Säurenlösungen begegnet. Die Gemische der Säuren entsprechen ihrer Zusammensetzung nach durchaus nicht den einfachen Lösungen derselben, weil sich in ihnen eine doppelte Menge der Wasserstoffione ansammelt, welche eben ein schnelles Absterben der Keimlinge hervorrufen. Außerdem erhöhen, wie früher erwähnt, sogar sehr schwache Lösungen freier Säuren die Wachstumsenergie der Hypokotyle so energisch, daß die doppelte Menge des reizenden Stoffes schon keinen entsprechenden Effekt hervorzurufen vermag. In allen geprüften Kombinationen zweier Säuren erschienen die Absterbezeichen bei der Pflanze in der Kultur schon nach einigen Stunden, während in dieser Zeit auch in einfachen Lösungen die Erhöhung der Wachstumsenergie 35—40 % erreichte. Dabei ist es gar nicht überraschend, daß man in den Gemischen der Säuren nur etwas größere Effekte der Reizung als in den einfachen Lösungen erhalten konnte. Die angeführten Versuche mit Säuren sind außerdem auch deshalb interessant, weil wir in ihnen in Übereinstimmung mit den Versuchen meines vorhergehenden Aufsatzes für die starken Säuren von neuem einen und denselben Effekt beobachteten, und dieses nicht nur in einfachen, sondern auch in gemischten Lösungen. Diese Beobachtung könnte ich auch durch viele andere Versuche bestätigen. Sie scheint mir für die Beantwortung der Frage über diejenigen Agentien wichtig zu sein, welche die Wirkung jeder gegebenen einfachen oder gemischten Lösung der Salze bestimmen. Früher beschrieb ich eine große Anzahl von Versuchen, mit deren Hilfe ich nachzuweisen versuchte, daß die Wirkung der Stoffe auf die Wirkung der dieselben zusammensetzenden Ionen, welche sich in solchen Beziehungen zueinander befinden, wie die Komponenten der Lösung zweier Salze, zurückgeführt werden kann. Das allge-

meine Gesetz dieser Beziehungen scheint mir durch die neuen Versuche mit genügender Bestimmtheit erhellt zu sein und werde ich später noch Gelegenheit haben, es durch andere nicht minder überzeugende Experimente zu demonstrieren. Die Anwendung dieses Gesetzes auf die Wirkung der einzelnen Ionen läßt sich nicht so leicht auf experimentellem Wege prüfen, weil wir keine physische Möglichkeit haben, Lösungen zu erhalten, welche Ionen einer und derselben Ladung enthalten.

Tabelle IX.

Gemische der positiv wirkenden Stoffe.

a) 15 Stunden; $H_2O = 11,4$ mm.

NH_4Cl 0,002	KH_2PO_4 0,001	NH_4Cl KH_2PO_4
15,0	11,4	14,7
131	100	129

b) 20 Stunden; $H_2O = 20,0$ mm.

KCL 0,0025	$(NH_4)_2SO_4$ 0,0025	KCL $(NH_4)_2SO_4$
22,6	28,6	29,7
113	143	148

c) 13 Stunden; $H_2O = 17,0$ mm.

NH_4CNS 0,001	KNO_3 0,001	NH_4CNS KNO_3
19,3	17,9	20,7
114	105	121

d) 14 Stunden; $H_2O = 13,1$ mm.

KCL 0,0005	NH_4CNS 0,001	KCL NH_4CNS
14,1	14,6	16,2
108	112	124

e) 21 Stunden; $H_2O = 14,5$ mm.

NH_4CNS 0,001	KH_2PO_4 0,001	NH_4CNS KH_2PO_4
17,7	15,0	17,4
122	100	120

f) 14 Stunden; $H_2O = 13,1$ mm.

NH_4CNS 0,001	KH_2PO_4 0,001	NH_4CNS KH_2PO_4
14,6	13,4	15,7
112	102	120

g) 14 Stunden; $H_2O = 13,1$ mm.

KCL 0,0005	$(NH_4)_2SO_4$ 0,0005	KCL $(NH_4)_2SO_4$
14,1	15,7	16,6
108	120	127

h) 21 Stunden; $H_2O = 14,5$ mm.

NH_4CNS 0,001	KCL 0,0005	NH_4CNS KCL
17,7	16,1	16,2
122	111	112

Wir sind also gezwungen, uns auf indirekte Beweise zu beschränken. Einer dieser Beweise kann eben auf die Fähigkeit schwacher Säuren in äquimolekularen Lösungen eine gleiche Wachstumserhöhung der Sonnenblume unter dem Einfluß der Anionen hervorzurufen, basiert werden.

In der Tat, wenn die Anionen starker Säuren einen und denselben Effekt ergeben, so werden auch die äquimolekularen Lösungen der Ammoniaksalze derselben Säuren, da sie eine gleiche Menge gleichstarker Anionen enthalten, auch eine ähnliche Wachstumserhöhung der Hypokotyle hervorrufen. Dieser Schluß kommt demjenigen Falle am nächsten, in welchem der Ammonium-Ion und die Anione der Säuren, da sie gleichstarke Wachstumserreger darstellen, in ihrer gemeinsamen Wirkung unserer ersten Regel folgen, d. h. die Entwicklung der Hypokotyle unabhängig voneinander stimulieren.

Tabelle X.

Gemische der freien Säuren.

7 Stunden; 21° C; H₂O = 7,0 mm; die Konzentration 0,0005 N.

H ₂ C ₂ O ₄	H ₂ SO ₄	HCl	H ₃ PO ₄
9,5 136	9,5 136	9,8 140	8,4 120
Gemisch mit H ₂ C ₂ O ₄	H ₂ SO ₄	HCl	H ₃ PO ₄
	9,7 139	10,2 146	9,0 129
Gemisch mit HCl	H ₂ C ₂ O ₄	H ₂ SO ₄	H ₃ PO ₄
	10,2 146	9,9 141	9,4 135
Gemisch mit H ₂ SO ₄	H ₂ C ₂ O ₄	HCl	H ₃ PO ₄
	9,7 139	9,9 141	10,4 149

Die Summierung der Effekte einer und derselben Menge des Kations und der gleichwertigen Anione muß auch à priori für verschiedene Salze eine gleiche Erhöhung der Wachstumsenergie hervorrufen. Diese Voraussetzung bleibt übrigens auch in dem Falle unverändert, wenn man die positive Wirkung der Säuren und Ammoniaksalze gänzlich dem vorherrschenden Einfluß des Kations zuschreibt, welcher die Wirkung der Ione der entgegengesetzten Ladung neutralisiert: die äquimolekularen Lösungen der Säuren

und Ammoniaksalze derselben müssen freilich, da sie eine gleiche Menge der Ione H und NH_3 enthalten, auch gleiche Effekte hervorrufen.

Die Versuche, welche speziell zur Prüfung der angeführten Voraussetzungen angestellt wurden, erwiesen eine vollständige Übereinstimmung der Ammoniaksalze in Bezug auf ihre Fähigkeit, das Wachstum der Sonnenblume zu modifizieren. Bei der Ausführung der Experimente wurde die sorgfältigste Aufmerksamkeit auf die Vorbereitung der Kultur gelenkt, welche eine genau bestimmte Menge des zu untersuchenden Salzes enthalten mußte. Zu diesem Zwecke wurden die Salze aus geprüften Lösungen von Ätzammoniak und freien Säuren kurz vor jedem Versuche hergestellt. Die Ergebnisse der vier vergleichenden Experimente sind in der Tabelle XI, welche ohne weitere Erklärungen verständlich ist, zusammengestellt.

A priori kann man voraussetzen, daß auch die Salze der starken Säuren anderer Metalle ebenfalls mit der gleichen Energie wirken werden. Zur Prüfung dieser Voraussetzung wurden von mir nur Versuche mit Natriumsalzen, welche gewöhnlich auch wirklich nahe Effekte, jedoch nicht so vollständig gleiche wie Ammoniumsalze, ergaben, angestellt. Leider wurden die Versuche gerade während derjenigen Periode der Keimlingspflege, die, wie in meinem früheren Aufsätze erwähnt, mit bedeutenden Schwierigkeiten verknüpft war, ausgeführt, und ich werde daher meine Schlüsse nicht auf diese Versuchsserie basieren.

Die Frage über die Wirkung der das Wachstum hemmenden Salze, zu denen auch sämtliche Verbindungen des Natriums gehören, würde jedoch die ernsteste Aufmerksamkeit in dem Falle verdienen, wenn man die positive Wirkung der Säuren auf die Hypokotyle den Anionen derselben zuschreiben wollte.

Tabelle XI.

Ammoniumsalze der starken Säuren.

20° C nach der Bemessung von 500 Hypokotylabschnitten.

Bedingungen der Versuche	H_2O mm u. %	NH_4Cl mm u. %	NH_4NO_3 mm u. %	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ mm u. %
19 Stunden Konzentr. — 0,002	15,8 100	21,4 135	20,4 129	20,2 129
20 Stunden Konzentr. — 0,002	17,3 100	21,5 124	21,8 126	22,4 130
23 Stunden Konzentr. — 0,002	16,6 100	21,4 129	22,5 135	21,1 127
20 Stunden Konzentr. — 0,004	17,3 100	21,3 123	21,6 125	21,9 127
Mittelzahl %	—	129	129	128

Die einfachste Erklärung des hemmenden Effektes der voneinander verschiedenen Salze würde eben in der Voraussetzung bestehen, daß die Ionen derselben unserer zweiten Regel der Stoffeinwirkung in Lösungen folgen. Im vorhergehenden Aufsätze versuchte ich schon diese Voraussetzung durch Versuche mit Gemischen von Alkalien und Säuren zu beweisen. Man kann aber noch eine Methode zur Beweisführung desselben Gedankens benutzen. Ich meine die Untersuchung der spezifischen Wirkung der Salze.

In der Tat, wenn voneinander verschiedene Kationen die Fähigkeit besitzen, in den Lösungen über die Anionen zu dominieren, so kann man auf Grund unserer früheren Erfahrungen in Bezug auf die Eigenschaften der letzteren die Schlußfolgerung ziehen, daß in den Lösungen der verschiedensten chemischen Verbindungen die vorherrschende Rolle der Kation bei den meisten Konzentrationen erhalten würde. Andererseits sind wir berechtigt zu erwarten, daß freie Alkalien und Salze mancher Säuren sämtlicher Metalle auf die Pflanze mit einer ihrem Kation entsprechenden Energie einwirken werden, und daß, wenn die Metalle nach dem Grade ihrer Wirkung auf die Keimlinge angeordnet werden, ihre Verbindungen auch gleiche Reihen bilden müssen.

Die Versuche bestätigen diese Voraussetzung vollständig. Ich führe hier nur einige Beispiele aus der großen Anzahl der von mir und meinen Mitarbeitern gemachten vergleichenden Experimente (Tab. XII, XIII, XIV, XV, XVI, XVII u. XVIII) an, aus denen man ersieht, daß nicht nur Chlorverbindungen und salpetersaure Salze vieler Metalle, sondern auch die ihnen entsprechenden freien Basen sich der Energie ihrer Wirkung auf die Keimlinge nach in gleiche Reihen ordnen lassen, und daß die erhaltene Reihenfolge bei drei voneinander verschiedenen Konzentrationen der untersuchten Stoffe gleich bleibt; im letzten, 18. Versuche gelang es sogar, dieselbe Reihenfolge in Bezug auf die fünf voneinander verschiedenen Stoffgruppen auf einmal zu beobachten.

Die beschriebene vollständige Übereinstimmung der erhaltenen Ergebnisse kann in keinem Falle nur einem Zufalle zugeschrieben werden. Ich denke daher, daß in den Lösungen in Wirklichkeit eine Zusammenwirkung der Ionen stattfindet, wobei einige Ione vorherrschen und die Wirkung der anderen unterdrücken. Speziell in Bezug auf die Salzlösungen der meisten Metalle kann man denken, daß ihre Kationen in diesem Falle über die Anione dominieren, indem sie den Effekt der letzteren vollständig neutralisieren.

All die oben beschriebenen Erscheinungen der Zusammenwirkung der Salze in gemischten Lösungen können auf eine gesetzmäßige Zusammenwirkung der dieselben zusammensetzenden Ione zurückgeführt werden.

Tabelle XII. 14 1/2 Stunden; 21° C.

Stoffe	Konzentrationen						Wasser
	Zuwüchse in mm und %						
	0,001	0,005	0,015	0,001	0,005	0,015	
KCl	19,0	16,6	12,9	112	98	76	H ₂ O = 17,0 = 100
KNO ₃	18,4	18,2	14,1	108	107	83	
LiNO ₃	16,2	15,7	8,6	94	92	50	
Ca(NO ₃) ₂	13,4	7,9	3,9	78	46	23	
MgCl ₂	12,0	10,8	8,5	80	72	56	H ₂ O = 15,0 = 100
SrCl ₂	11,4	8,9	4,3	76	59	28	
BaCl ₂	7,6	5,2	2,3	50	35	15	

Tabelle XIII. Versuche von Herrn Pestrejakoff.
22 Stunden; 18–20 C; ungefähr 1800 Keimlinge.

Stoffe	Zuwüchse in %		
	0,01 N	0,001 N	0,0001 N
NH ₄ NO ₃	114	117	101
KNO ₃	91	100	98
NaNO ₃	84	96	98
LiNO ₃	83	94	92
Ca(NO ₃) ₂	65	92	97
Ba(NO ₃) ₂	41	78	96

Tabelle XIV. Konz. — 0,001 N; 18 Stunden; 20°5 C.
Versuche des Herrn Sarandinaki.

Stoffe	1. H ₂ O = 17,8 mm		2. H ₂ O = 18,7 mm		Mittelzahl
	mm	%	mm	%	
KCl	19,0	107	19,6	105	106
NaCl	16,0	90	19,0	101	96
MgCl ₂	15,0	84	16,7	89	87
SrCl ₂	13,9	78	15,7	84	82
CoCl ₂	13,4	75	15,6	83	79
ZnCl ₂	12,3	69	14,4	77	73
BaCl ₂	11,3	63	12,6	67	65
NiCl ₂	10,1	57	11,9	63	60
PbCl ₂	—	—	8,5	45	45
HgCl ₂	tödlich				

Tabelle XV. Konz. 0,001 N.

Katione der angew. Stoffe	Chlorverbindung		Salpeters. Salze		Freie Basen	
	20 Stdn. mm	H ₂ O = 17,2 %	13 Stdn. H ₂ O = 13,2 mm	%	12 Stdn. H ₂ O = 10,5 mm	%
HN ₄	21,6	125	17,5	134	12,9	123
K	17,1	99	14,7	113	10,7	102
Na	15,7	91	12,1	92	10,3	99
Sr	12,5	73	11,4	86	8,8	84
Ba	10,0	58	10,8	83	7,5	72

Tabelle XVI. Konz. 0,0005 N.

Katione der ange- wandten Stoffe	Salpeters. Salze		Freie Basen	
	13 Stund. mm	H ₂ O = 13,2 %	12 Stund. mm	H ₂ O = 11,0 %
NH ₄	15,4	118	13,2	120
K	14,6	112	11,0	100
Na	12,8	98	10,0	97
Sr	11,8	91	9,7	86
Ba	11,5	88	8,2	75

Tabelle XVII. Konz. 0,005 N.

Katione der ange- wandten Stoffe	Chlorverbindung		Freie Basen	
	14 St.; H ₂ O = 16,8 mm		14 St.; H ₂ O = 17,0 mm	
	mm	%	mm	%
NH ₄	19,9	118	17,1	101
K	14,2	85	15,5	91
Na	13,4	80	13,1	78
Li	12,7	75	10,6	63
Sr	11,8	70	10,4	62
Ca	9,5	57	10,0	60
Ba	7,1	42	8,0	47

Tabelle XVIII. Konz. 0,005 N.
18 Stunden; H₂O = 100.

Katione der angew. Stoffe	Freie Basen	S a l z e			
		schwefelsaure	salpetersaure	Chlorverb.	oxalsaure
NH ₄	107	134	111	123	122
K	93	104	93	98	97
Na	89	97	89	99	97
Li	76	88	72	84	86
Ca	70	72	61	58	86
Sr	54	70	51	44	72

Die gemachte Voraussetzung hat jedenfalls denjenigen Vorzug, daß von einem gemeinsamen Standpunkt aus sehr verschiedenartige Fälle der Wachstumsmodifikation, durch Lösungen der Salze hervorgerufen, erklärt werden können und dem Forscher gestattet, die Wirkung vieler chemischer Verbindungen sowohl in einfachen Lösungen verschiedenartiger Konzentrationen, als auch in deren Gemischen miteinander vor auszusehen.

Es bleibt noch übrig, die Versuche, welche zum Studium der Gemische, die durch zwei das Wachstum hemmende Stoffe gebildet werden, angestellt wurden, zu betrachten.

Früher wurde schon darauf hingewiesen, daß die Fähigkeit die Wachstumsenergie der Sonnenblume zu vergrößern oder zu verkleinern, keinen wesentlichen Einfluß auf diejenigen Beziehungen der Stoffe zueinander ausübt, welche in gemischten Lösungen beobachtet werden. Wir können daher voraussetzen, daß die Gemische der hemmenden Stoffe in ihrem Einflusse auf die Pflanze in gleichem Grade von dem quantitativen Verhältnis der dieselben zusammensetzenden Komponenten abhängen werden, wie auch die Lösungen entgegengesetzt wirkender Substanzen. Dieses wird auch durch die Versuche bestätigt, wenn man jedes einzelne Paar der Verbindung nach der oben dargelegten Methode untersucht, indem man die Gemische aus verschiedenen Quantitäten beider Substanzen zusammensetzt. In kompensierten Konzentrationen kann man dann eine mehr oder minder unabhängige Wirkung der Komponenten des Gemisches beobachten, während es in den Lösungen mit physiologisch vorherrschenden Quantitäten der einen der Substanzen gelingt, wiederum eine Unterdrückung der Tätigkeit der zweiten schwächeren Verbindung zu konstatieren.

Um diese Erscheinungen anschaulich hervorzurufen, bediente ich mich des früheren Verfahrens der Zusammenstellung der faktisch in dem Gemische enthaltenen Zuwüchse mit den theoretischen Größen derselben, welche letztere aufs neue in der Voraussetzung

berechnet wurden, daß beide Komponenten in der gemischten Lösung nacheinander mit derselben Energie wirken, wie auch in den einfachen Lösungen derselben. Aus dem Vorhergesagten erhellt, daß die Übereinstimmung solcher Größen mit den faktischen Zuwüchsen auf eine unabhängige Tätigkeit der Bestandteile der gemischten Lösung hindeutet, während die Nichtübereinstimmung derselben als Merkmal der Beseitigung des einen der Effekte infolge der Wechselwirkung zwischen den Komponenten der Lösung dienen wird. Da wir es in den Versuchen mit zwei das Wachstum hemmenden Verbindungen zu tun haben, so ruft die Neutralisation des einen der Bestandteile, gleichviel welcher von ihnen in der Lösung vorherrscht, unvermeidlich einen günstigeren Einfluß der gemischten Lösung auf die Pflanze hervor, als es bei der unabhängigen Wirkung beider Komponenten der Fall sein würde. Die faktischen Zuwüchse werden daher in allen nicht kompensierten Lösungen stets die theoretischen übertreffen, und die Differenzen zwischen ihnen unveränderlich positiv sein.

Zur Erläuterung der betrachteten Auslegung der Daten führe ich folgendes Beispiel für die Berechnung der Größe des theoretischen Zuwachses an, und zwar für die Substanzen a und b, von denen a im Vergleich mit dem Wachstum im Wasser eine Hemmung des Wachstums um 30 %, b — um 47 % hervorruft, und a—b das Wachstum um 49 % aufhält; dann ist $H_2O = 100$; $a = 70$; $b = 53$; $a-b = 51$. Bei vollständig unabhängiger Einwirkung von a und b sollte das Gemisch derselben jedoch ergeben:

$$a - b = 70 - \frac{70 \times 47}{100} = 53 - \frac{53 \times 30}{100} = 37$$

Der faktische Zuwachs = 51, der theoretische Zuwachs = 37; die Differenz zwischen ihnen = $51 - 37 = +14$.

Die Resultate der Versuche, welche in den Tabellen XIX—XXIII gruppiert sind, illustrieren oben Besagtes sehr deutlich. In der Mehrheit der untersuchten Gemische sehr verschiedenartiger Zusammensetzung haben wir beständig positive Differenzen zwischen den Größen der faktischen und theoretischen Zuwüchse beobachtet, und diese Differenzen waren um so bedeutender, je mehr sich die Zuwüchse in dem Gemische den Zuwüchsen des einen der Komponenten in einfacher Lösung näherten, d. h. je energischer die vorherrschende Verbindung den Effekt des zweiten untergeordneten Elementes der Lösung unterdrückte. Leider trägt die Berechnung der theoretischen Zuwüchse und die Vergleichung derselben mit den faktisch in den Versuchen mit schädlich wirkenden Substanzen erhaltenen wenig zur genaueren Erklärung der Wechselwirkungen zwischen den Bestandteilen der Lösungen bei. Denn bei sehr starken oder sehr schwachen Modifikationen der Wachstumsenergie vermindern sich die absoluten Größen der Differenzen zwischen den faktischen und den theoretischen Zuwüchsen derart stark, daß es als unangebracht erscheint, nach den Abänderungen derselben über den Charakter der Erscheinungen in den Gemischen zu urteilen. Andererseits geben die fortwährend positiven Differenzen uns nicht

Tabelle XIX.
Magnesiumchlorid und Cobaldchlorid.

No. d. Versuche nachd. Reihen.	Versuchsdauer in Stunden	H ₂ O = 100 mm	Erstes Salz		Zweites Salz			Gemisch		Abweichung von der Regel, mm	Differenz d. fakt. u. theoret. Zuwächse, %	Theor. Zuwachs d. Gemisches, %											
			Verbd. u. Kon- zentr.	mm	%	Verbind. u. Konzen- trationen	mm	%	mm				%										
100	13	13,8	MgCl ₂ 0,005	11,7	85	Ni(NO ₃) ₂ 0,005	6,5	47	7,3	53	+ 0,8	+ 13	40										
101	13	13,1												11,5	88	7,1	54	7,9	58	+ 0,8	+ 10	48	
102	14	15,6												11,7	75	Srcl ₂ 0,02	6,2	40	7,7	49	+ 1,5	+ 19	30
103	14	15,6												11,7	75	Ca(NO ₃) ₂ 0,005	9,2	59	10,4	66	+ 0,8	+ 22	44
104	14	15,6												11,7	75	0,02	4,8	31	6,2	40	+ 1,4	+ 17	23
105	14	15,6	0,020	9,2	59	Ca(NO ₃) ₂ 0,005	9,2	59	9,9	64	+ 0,7	+ 29	35										
106	14	15,6												9,2	59	0,02	4,8	31	7,5	48	+ 2,7	+ 30	18
107	12	12,0	CoCl ₂ 0,005	6,3	52	NaNO ₃ 0,005	11,4	95	6,7	56	+ 0,3	+ 7	49										
108	13 ^{1/2}	15,2												6,9	45	0,01	14,0	92	9,1	60	+ 2,2	+ 19	41
109	13 ^{1/2}	15,2												6,9	45	0,025	11,5	75	7,7	51	+ 0,8	+ 17	34
110	13 ^{1/2}	15,2		6,9	45	0,05	8,6	57	5,8	39	- 1,1	+ 13	26										

Tabelle XX. Cobaldchlorid.

No. d. Versuche nachd. Reihen.	Versuchsdauer in Stunden	H ₂ O = 100 mm	Erstes Salz CoCl ₂		Zweites Salz			Gemisch		Abweichung von der Regel, mm	Differenz d. fakt. u. theoret. Zuwächse, %	Theor. Zuwachs d. Gemisches, %																				
			Kon- zentr- ationen	mm	%	Verbind. u. Konzen- trationen	mm	%	mm				%																			
111	13	13,8	0,005 N	5,9	44	0,005	13,2	96	12,2	89	+ 6,3	+ 47	42																			
112	13	13,1												7,8	60	12,6	96	11,8	90	+ 4,0	+ 32	58										
113	14	17,9												9,0	50	16,0	89	13,7	76	+ 4,7	+ 31	45										
114	14	17,9												9,0	50	KNO ₃ 0,01	14,4	80	12,1	67	+ 3,1	+ 27	40									
115	14	17,9												9,0	50		0,025	13,3	74	11,2	63	+ 2,2	+ 26	37								
116	14	15,2	Cobaldchlorid	6,9	45	0,05	8,6	56	8,3	54	+ 1,4	+ 29	25																			
117	14	15,2												0,075	7,0	46	6,6	43	- 0,3	+ 22	21											
118	14	15,2												0,10	6,1	40	4,6	30	- 1,5	+ 12	18											
119	21	15,6												0,0025	10,3	66	6,2	40	- 1,3	+ 8	32											
120	13	13,4												6,7	49	3,6	27	- 1,9	+ 7	20												
121	13	14,1												Ca(NO ₃) ₂ 0,005	6,5	46	6,6	47	3,8	27	- 2,7	+ 5	22									
122	14	17,9																						9,0	50	11,8	66	6,7	37	- 2,3	+ 11	26
123	14	17,9																						9,0	50	0,01	9,6	53	5,8	32	- 3,2	+ 13
124	14	17,9	9,0	50	0,025	6,3	35	4,4	25	- 1,9	+ 8	17																				

Tabelle XXI. Strontiumchlorid und Bariumchlorid.

No. der Versuche	Versuchsdauer in Stunden	H ₂ O = 100 mm	Erstes Salz SrCl ₂			Zweites Salz			Gemisch		Abweichungen von der Regel, mm	Differenz d. fakt. u. theoret. Zuwächse, ‰	Theor. Zuwachs d. Gemisches, ‰	
			Konzentration.	mm	%	Verbindungen und Konzentrationen	mm	%	mm	%				
125	21	14,5	0,002	0,001	11,8	82	Ba(NO ₃) ₂ 0,002 0,001	9,7	67	9,9	69	+ 0,2	+ 14	55
126	13	13,2		9,0	68	8,6		66	7,3	55	- 1,3	+ 10	45	
127	20	19,3		14,0	72	12,2		63	9,5	50	- 2,7	+ 5	45	
128	20	19,3		14,0	72	BaCl ₂ 0,002		11,4	60	10,6	55	- 0,8	+ 11	43
129	13	13,2		9,0	68			9,3	70	8,8	67	- 0,2	+ 19	48
130	21	15,6	0,0025	11,2	71	Ni(NO ₃) ₂ 0,005 0,0025	5,7	38	5,3	33	- 0,4	+ 6	27	
131	13	13,4	0,005	7,1	53		5,3	39	4,7	35	- 0,6	+ 14	21	
132	13	14,1		8,6	60		5,1	36	4,2	30	- 0,9	+ 8	22	
133	14	15,6	0,020	6,2	40	Ca(N ₃ O) ₂ 0,02	4,8	31	4,6	30	- 0,2	+ 18	12	
134	14	15,6		6,2	40		4,8	31	4,6	30	- 0,2	+ 18	12	
135	12	12,0	BaCl ₂ 0,005	6,3	53	Ni(NO ₃) ₂ 0,005	6,3	53	5,2	44	- 1,1	+ 16	28	

Taf. XXII. Lithiumnitrat.

No. der Versuche	Versuchsdauer in Stunden	H ₂ O = 100 mm	Erstes Salz LiNO ₃			Zweites Salz BaCl ₂			Gemisch		Abweichungen von der Regel, ‰	Differenz d. fakt. u. theoret. Zuwächse, ‰	Theor. Zuwachs d. Gemisches, ‰
			Konzentrationen	mm	%	Konzentrationen	mm	%	mm	%			
136	12 ¹ / ₂	14,4	0,05	5,1	35	0,005	6,9	48	4,0	28	- 1,1	+ 11	17
137	12 ¹ / ₂	14,4		5,1	35	0,02	6,3	44	4,2	29	- 0,9	+ 14	15
138	12 ¹ / ₂	14,4		5,1	35	0,01	4,3	30	3,2	22	- 1,1	+ 11	11
139	12 ¹ / ₂	14,4	0,02	8,6	70	0,02	4,3	30	3,9	27	- 0,4	+ 6	21
140	12 ¹ / ₂	14,4	0,01	11,3	78		4,3	30	4,1	28	- 0,2	+ 5	23
141	12 ¹ / ₂	14,4	0,005	11,9	83		4,3	30	4,9	34	+ 0,6	+ 9	25
NiCl ₂													
142	13	14,2	0,05	5,1	36	0,0025	7,7	54	5,8	40	+ 0,7	+ 21	19
143	13	14,2		5,1	36	0,005	6,8	47	5,9	41	+ 0,8	+ 24	17
144	13	14,2		5,1	36	0,01	6,6	46	4,5	31	- 0,6	+ 14	17
145	13	14,2	0,02	8,2	57		6,6	46	4,7	32	- 1,9	+ 6	26
146	13	14,2	0,01	10,3	72		6,6	46	6,0	42	- 0,6	+ 9	33

Tabelle XXIII. Calciumchlorid.

No. d. Versuche nachd. Reihenfr.	Versuchsdauer in Stunden	H ₂ O = 100 mm	Erstes Salz CaCl ₂			Zweites Salz KNO ₃			Gemisch		Abweichung von der Regel, mm	Differenz d. fakt. u. theoret. Zuwüchse, %	Theor. Zuwachs d. Gemisches, %
			Kon- zentra- tionen	mm	%	Kon- zentra- tionen	mm	%	mm	%			
147	13	16,1	0,03	5,3	33	0,01	15,2	94	7,6	47	+ 1,3	+ 18	29
148	13	16,1		5,3	33	0,02	12,3	76	6,7	42	+ 1,4	+ 17	25
149	13	16,1	0,015	7,1	44	0,02	12,3	76	9,8	61	+ 2,7	+ 28	33
150	13	16,1	0,03	5,3	33	0,04	11,1	69	5,6	35	+ 0,3	+ 12	23
151	13	16,1	0,005	10,9	68	0,01	15,2	94	12,9	80	+ 2,0	+ 16	64
152	13	16,1	0,015	7,1	44	0,04	11,1	69	6,6	41	+ 0,5	+ 11	30
153	13	16,1	0,03	5,3	33	0,10	4,8	30	5,1	32	- 0,3	+ 22	10
154	13	16,1	0,005	10,9	68	0,04	11,1	69	9,0	56	- 1,9	+ 9	47

die Möglichkeit, zu bestimmen, welche von den beiden verwendeten Verbindungen und in welcher Konzentration die vorherrschende Rolle erhält, während in den Versuchen mit entgegengesetzt wirkenden Substanzen der Wechsel des Differenzvorzeichens als Merkmal sowohl der kompensierten Konzentrationen der gemischten Lösungen, als auch der Natur der vorherrschenden Substanz dient. Zur Lösung dieser letzteren Frage kann man sich indessen unseres zweiten Verfahrens der unmittelbaren Vergleichung der Zuwachsgrößen in dem Gemische mit den Zuwachsgrößen in der Lösung derjenigen Verbindung, welche in jedem Versuche am meisten schädlich wirkte, bedienen. Tatsächlich, die Differenzen zwischen den soeben genannten Größen werden positiv in allen denjenigen Fällen sein, wenn der Zuwachs in dem Gemische sich dem Zuwachse in der einfachen Lösung der schwächer wirkenden Substanz nähert; umgekehrt, werden dieselben negativ sein, wenn die Hemmung des Wachstums in dem Gemische die Hemmung desselben in der Lösung des stärker wirkenden Komponenten übertrifft; die Größe der Differenz fällt schließlich bis zu Null, wenn in den Versuchen eine vollständige Übereinstimmung der Zuwüchse in dem Gemische mit denselben in der schädlicheren Lösung wahrgenommen wird. Eben dieser letzte Fall, wo die Differenz gleich Null ist, entspricht der buchstäblichen Forderung unserer dritten Regel über das gemeinsame Einwirken wachstumshemmender Substanzen. In den Tabellen der Versuche ist daher die Rubrik der positiven und negativen Differenzen dieser Art als „Abweichungen von der Regel“ benannt.

Die Entstehung der negativen Differenzen kann man nur damit erklären, daß in dem Versuche beide Verbindungen ihren spezifischen Einfluß selbständig ausüben konnten; sie deuten folglich auf eine mehr oder minder unabhängige Wirkung der Substanzen und zugleich auch auf die physiologisch kompensierten Konzentrationen beider Komponenten der gemischten Lösung hin. Die Entstehung

der positiven Differenzen wird ebenfalls verständlich, wenn man als vorherrschenden Komponenten die Substanz mit dem schwächer ausgedrückten Vermögen zur Wachstumshemmung der Hypokotyle annimmt, gleichwie wir in den Versuchen mit entgegengesetzten Substanzen alle Fälle der erhöhten Effekte dem vorherrschenden Einflusse der positiven Verbindung zuschrieben. Der Vorherrschaft desselben schwach wirkenden Komponenten, die jedoch nicht in vollem Maße hervortritt, sind scheinbar auch einige Fälle von Null-Differenzen zuzuschreiben, während sich die übrigen Versuche, in denen sich die Differenzen zwischen den Zuwüchsen in dem Gemische und in der Lösung der meistschädlichen Substanz ebenfalls zu Null näherten, indem sie die Größe des unvermeidlichen Fehlers in der Berechnung des Wachstums nicht übertrafen, durch die Vorherrschaft der starkwirkenden Verbindung, welche den Effekt des schwachen Komponenten gänzlich unterdrückt, erklären lassen.

Die vorgeschlagene Auslegung der Daten findet nach meiner Ansicht ihre volle Rechtfertigung in dem Umstande, daß es in keinem der Versuche mit schädlich wirkenden Substanzen gelungen ist, Effekte wahrzunehmen, welche die Grenzen der Wirkung der einen der Substanzen überschritten oder den Summareffekt beider Verbindungen übertroffen hätten. In allen Fällen der Neutralisation, wie bedeutend dieselbe nicht sei, blieb die negative Wirkung der Lösung doch erhalten, indem sie sich dem negativen Effekte der einen der Verbindungen näherte. Ebendasselbe Verhältnis der Effekte der gemischten Lösung zu den Effekten der dieselbe bildenden Komponenten wurde auch in den Versuchen mit entgegengesetzten Substanzen wahrgenommen. Wir haben eben gesehen, daß in allen Fällen positiver Wirkung solcher Gemische der Effekt derselben nie den Effekt des positiven Komponenten übertraf, sondern sich demselben nur in diesem oder jenem Maße annäherte; diesem entsprechend ging die Hemmung des Wachstums in dem Gemische im Falle schädlicher Wirkung der entgegengesetzten Substanzen nicht über die Grenzen der Wirkung des negativen Komponenten der Lösung hinaus. Solch ein Resultat der Versuche mit verschiedenen Gemischen veranlaßt mich, in einer jeden Lösung vorherrschende und untergeordnete Komponenten zu suchen und folglich anzunehmen, daß wir in allen Fällen der Wechselwirkung der Substanzen es mit einer einseitigen Neutralisation der einen Verbindung durch die andere zu tun haben und durchaus nicht mit solch einer Abänderung der Wirkung dieses oder jenes Komponenten, welche den gemischten Lösungen unerwartete Eigenschaften verleiht.

Sehen wir uns jetzt die angeführten Fälle der Wechselbeziehungen zwischen den Komponenten schädlich wirkender Gemische etwas näher an, indem wir uns auf die Resultate unserer Versuche stützen.

Ein sehr lehrreiches Beispiel der Vorherrschaft der schwachwirkenden Verbindung bieten die gemischten Lösungen aus salpetersaurem Kalium und Kobaldchlorid (Tab. XX, Vers. 111—118). In schwachen übereinstimmenden Konzentrationen dieser Substanzen

ruft die Salpeterlösung nur eine unbedeutende Hemmung des Wachstums hervor, während das Cobaldchlorid die Wachstumsenergie um 50% vermindert; die Gemische derselben sind jedoch ebenso unschädlich, wie die einfachen Lösungen des salpetersauren Kalium. Dementsprechend sind unsere „Abweichungen von der Regel“ hier sehr bedeutend und positiven Vorzeichens, und die Differenzen zwischen den faktischen und den theoretischen Zuwüchsen deuten auf eine fast volle Beseitigung des schädlichen Effektes des Cobaldchlorides hin.

Diese Erscheinungen lassen sich, meiner Ansicht nach, am leichtesten dadurch erklären, daß in dem Gemisch das salpetersaure Kalium die maßgebende Rolle spielt. Mit der Erhöhung der Konzentration des Salpeters jedoch erfährt das gegenseitige Verhältnis der Substanzen der Lösung zueinander eine allmähliche Veränderung. Der Zuwachs in dem Gemische beginnt sich mehr und mehr dem Zuwachse in der meistschädlichen Substanz zu nähern, die vorherrschende Wirkung des KNO_3 gibt nach; zugleich mit diesem vermindert sich auch die Neutralisation des Effektes des Cobaldchlorides, bis das letztere, bei einer Konzentration des Salpeters von ca. 0,1 N, die Möglichkeit erhält, unabhängig seinen Einfluß auf die Pflanze auszuüben. In diesem letzteren Falle fällt der Zuwachs in dem Gemisch so stark, daß er fast dem theoretischen gleich wird, und die Größe der Abweichungen von der Regel wiederum, wie auch zu erwarten war, zunimmt, jedoch in negativer Richtung. Eine ebensolche Abänderung des Verhältnisses der Komponenten zueinander wird auch in dem Gemisch aus Salpeter und Calciumchlorid wahrgenommen, obgleich das Calcium in allen Konzentrationen seinen spezifischen Einfluß auf die Pflanze energischer ausübt als das Kobald.

Die Versuche mit Calcium sind in der Tabelle XXIII zusammengestellt, und zwar in der Weise, daß das Gemisch eine allmähliche Bereicherung an Salpeter erfährt: in dem Versuch 147 enthielt die Lösung auf 100 Teile Calcium nur 33 Teile Salpeter, während in dem Versuche 154 auf dieselbe Quantität Calcium schon 800 Teile Salpeter kamen. Wenn man die Übergangsgemische 150—151, welche entsprechende Übergangseffekte ergaben, nicht in Betracht zieht, so zerfallen die übrigen Lösungen naturgemäß in zwei Gruppen mit ungleicher Arbeitsfähigkeit einer jeden der Verbindungen. In der Tat, in den Versuchen 147—149 sind die Abweichungen von der Regel positiv, und die Gemische ergeben ziemlich hohe Effekte, d. h. unbedeutende Mengen Salpeter machen hier, wie auch in den Versuchen mit Cobald, das Calciumchlorid leicht unschädlich; umgekehrt genießt in den Versuchen 152—154 mit einem Übergewicht an Salpeter der zweite Komponent schon einige Selbständigkeit; und in derjenigen Lösung, in welcher die Vorherrschaft des Salpeters am schärfsten hervortritt, nimmt die unabhängige Wirkung beider Substanzen derart stark zu, daß die faktischen Zuwüchse mit den theoretischen fast übereinstimmen.

Die Gemische aus salpetersaurem Kalium und chlorsauren Cobald- und Calciumsalzen hängen somit in ihrem Einflusse auf

die Pflanzen, ebenso wie auch die Gemische aus entgegengesetzt wirkenden Substanzen, von dem Verhältnis der Konzentrationen der Gemischkomponenten ab; doch die dominierende Rolle spielen hier sonderbarerweise diejenigen Substanzen, welche in der Lösung in kleinen Mengen vorhanden sind. Diese besondere Eigentümlichkeit schädlichwirkender Verbindungen wurde von mir auch in Gemischen vieler anderer Substanzen wahrgenommen. So rief in gemischten Lösungen aus salpetersaurem Lithium und Nickelchlorid die Verstärkung der Konzentration der vorherrschenden Substanz (NiCl_2) eine aktivere Wirkung des zweiten untergeordneten Elementes der Lösung hervor (Tab. XXII, Vers. 142—146). Eine ähnliche Erscheinung wurde auch in Gemischen aus salpetersaurem Lithium und Baryumchlorid beobachtet, nur daß hier als vorherrschende Substanz augenscheinlich das salpetersaure Lithium auftrat, bei dessen Konzentrationserhöhung die Wirkung des Calcium etwas zunahm (Tab. XXII, Vers. 136—141). Ebenso verminderte sich der vorherrschende Einfluß des salpetersauren Natriums in dem Gemisch mit Cobaldchlorid, sobald das quantitative Übergewicht des Salpeters in der Lösung zunahm (Tab. XIX, Vers. 110). Schließlich ist noch darauf hinzuweisen, daß die Vorherrschaft des MgCl_2 gleichzeitig mit der Zunahme der Quantität des zweiten Komponenten — $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ — ebenfalls zunahm (Tab. XIX, Vers. 103—106).

In allen aufgereihten Fällen, mit Ausnahme der Gemische aus Cobaldchlorid und Kaliumsalpeter, rief die Veränderung der Konzentration der Komponenten der gemischten Lösung doch nur so unbedeutende Veränderungen in dem Einflusse des Gemisches auf die Pflanze hervor, daß man die meisten der erwähnten Versuche auch als Beweise für unsere dritte Regel über gemeinsames Wirken der Substanzen anführen kann, laut welcher der Zuwachs in dem Gemisch zweier negativer Substanzen mit dem Zuwachs in der Lösung derjenigen Verbindung übereinstimmt, welche das Wachstum am energischsten hemmt. Selbst wenn sogar die strengsten Anforderungen an die Regel gestellt werden, indem man die Differenzen zwischen den Zuwüchsen von über 1 mm als Ausnahme aus derselben annimmt, so beobachten wir doch in den Versuchen, in denen diese Ausnahmen absichtlich durch jähe Änderungen der Konzentrationen hervorgerufen wurden, in 15 von 26 Fällen Zuwüchse, welche mit den Zuwüchsen des meistschädlichen Komponenten jeder Lösung nahe übereinstimmen, wie es aus der folgenden Datendisposition ersichtlich ist:

Gemische	Anzahl der Versuche	
	im ganzen	laut Regel
$\text{MgCl}_2 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	4	2
$\text{CoCl}_2 + \text{NaNO}_3$	4	2
$\text{CaCl}_2 + \text{KNO}_3$	7	3
$\text{BaCl}_2 + \text{LiNO}_3$	6	4
$\text{NiCl}_2 + \text{LiNO}_3$	5	4
Summa	26	15

Ein noch günstigeres Resultat ergaben die übrigen unserer Versuche, in welchen beide schädlich wirkende Substanzen in schwachen nahe übereinstimmenden Konzentrationen verwendet wurden, jedoch stets in solcher Weise, daß eine der Substanzen das Vermögen besaß, die Wachstumsenergie energischer zu hemmen als die andere. Dieses schuf scheinbar auch die notwendigen Bedingungen für die Vorherrschaft der starkwirkenden Verbindung, da, nach den oben angeführten Daten, die Vorherrschaft in Gemischen schädlich wirkender Substanzen den schwächsten Konzentrationen verschiedener Verbindungen zufällt. Wie dem nicht sei, die in den Tabellen XIX und XXI gruppierten Versuche verliefen fast ohne Ausnahme nach unserer Regel, d. h. die starkwirkende Substanz unterdrückte hier ganz den Effekt des zweiten schwachen Komponenten:

Gemische	Anzahl der Versuche	
	im ganzen	laut Regel
MgCl ₂ + Ni(NO ₃) ₂	2	2
BaCl ₂ + Ni(NO ₂) ₂	1	1
SrCl ₂ + Ni(NO ₃) ₂	3	3
SrCl ₂ + Ba(NO ₃) ₂	3	2
SrCl ₂ + BaCl ₂	2	2
SrCl ₂ + Ca(NO ₃) ₂	2	2
Summa	13	12

Durch diese neuen Daten wird die früher ausgesprochene Behauptung, daß in Gemischen aus schädlich wirkenden Substanzen meist Wachstumseffekte zu erwarten sind, die den Effekten des einen stark wirkenden Komponenten entsprechen, nach meiner Ansicht in genügendem Maße begründet. Wenn in den Versuchen auch Abweichungen wahrgenommen wurden, so waren diese Abweichungen, wie auch in den Versuchen mit entgegengesetzten Substanzen, vorauszusehen, wenn man dabei das quantitative Verhältnis beider Verbindungen in der gemischten Lösung in Betracht zog. Ebenso wenig kann die Bedeutung unserer Regel durch den Umstand erschüttert werden, daß wir inmitten der verschiedenartigen Verbindungen einem Substanzenpaare begegneten, welches sich zur Äußerung der betrachteten Wechselbeziehungen als wenig geeignet erwies. Ich spreche von dem Gemische aus Cobaldchlorid mit verschiedenen Konzentrationen des salpetersauren Calcium, welche fortwährend der unabhängigen summarischen Wirkung beider Substanzen auf die Pflanze entsprechende Effekte ergaben (Tab. XX, Vers. 119—124).

Aus den Versuchen mit entgegengesetzt wirkenden Verbindungen könnte man in Erinnerung zurückrufen, daß das Paar (NH₄)₂SO₄ und ZnCl₂ in der Mehrheit der Konzentrationen die Wachstums-

energie ebenfalls entsprechend dem selbständigen unabhängigen Einflüsse beider Substanzen modifizierte. Diese beiden Fälle erschienen jedoch als seltene Ausnahmen unter den Lösungen der verschiedenartigsten Konstitution, und dabei trat die unabhängige Wirkung der Komponenten noch nicht einmal in vollem Maße hervor. Hiermit möchte ich die Betrachtung der Versuche mit schädlich wirkenden Substanzen schließen.

Bevor ich jedoch die Darlegung meiner Beobachtungen über gemischte Lösungen abbreche, fühle ich mich gedrungen, einige Bemerkungen zu der Frage über diejenigen Ionen zu machen, welche in dem Gemische die vorherrschende Rolle gewannen und dadurch die oben dargelegten Änderungen in der Wirkung der übrigen Ionen jeder Lösung hervorriefen.

Wir haben oben gesehen, daß die Kationen der Salze der meisten Metalle ihre spezifische Wirkung auf die Pflanze derart scharf äußerten, daß die Teilnahme an der Reizung des Plasmas der mit den Kationen verbundenen Anionen mindestens zweifelhaft erscheint. Da in Gemischen aus schädlich wirkenden Substanzen eben derartige Kationen vorhanden sind, so könnte man annehmen, daß wir es in allen Fällen der Neutralisation irgend eines schädlichen Salzes durch ein anderes mit einer vorherrschenden Wirkung nur eines einzigen Kationen auf alle übrigen Ionen der Lösung zu tun haben, nicht ausgenommen auch den Kation der untergeordneten Verbindung. Dasselbe kann man auch inbezug auf solche Gemische aus entgegengesetzt wirkenden Substanzen in Anwendung bringen, in denen die negative Verbindung, indem sie die Vorherrschaft in dem Gemische gewann, den Effekt des positiven Salzes neutralisierte. Im Falle der Vorherrschaft dieses letzteren in dem Gemische aus entgegengesetzten Verbindungen wird die Frage über die vorherrschenden Ionen komplizierter, da scheinbar sowohl der Kation als auch der Anion der positiv wirkenden Salze befähigt sind, das Wachstum der Hypokotyle unabhängig voneinander zu modifizieren. Es ist sehr wahrscheinlich, daß hier beide Ionen mit gleichem Rechte den Effekt des schädlichen Kationen unterdrücken.

Bei der Erörterung dieser Fragen ist ferner der Umstand zu beachten, daß die Fähigkeit zur Vorherrschaft durchaus nicht eine ausschließliche Eigenschaft derjenigen Substanzen ist, die aus Ionen mit bestimmten physikalisch-chemischen Eigenschaften bestehen, obgleich diese letzteren allerdings einige Bedeutung besitzen. Die Hauptrolle in der Äußerung der Wechselwirkungen spielt jedoch scheinbar die Quantität eines jeden Ionen in der Lösung, so daß die Veränderung des Konzentrationsverhältnisses der einzelnen Ionen gewöhnlich auch die Modifikation ihrer Befähigung zur Pflanzenreizung nach sich zieht. Diese Modifikationen der Eigenschaften im Zusammenhange mit den Schwankungen in dem quantitativen Bestande der gemischten Lösungen können so weit gehen, daß es inbezug auf die verschiedenartigsten Paare salzartiger Substanzen gelingt bald die Vorherrschaft des einen, bald die des anderen Kationen über alle übrigen Ionen des Gemisches zu beobachten.

Ich kann jedoch nicht umhin, zu bekennen, daß derartige Hinweise auf die Tätigkeit der einzelnen Ionen sehr wenig zu den oben dargelegten Daten über die Wechselwirkungen der Substanzen in gemischten Lösungen hinzufügen. Nach meiner Ansicht haben dieselben nur insofern einen Wert, als sie die Möglichkeit geben, von einem gemeinsamen Standpunkte aus das Verhalten der pflanzlichen Zellen sowohl zu den einfachen, als auch zu den gemischten Lösungen salzartiger Substanzen zu verstehen.

V.

Die Einwirkung salzartiger Substanzen.

(Schluß.)

In der Absicht einer umständlicheren Erläuterung der gegenseitigen Beziehungen zwischen den Komponenten der gemischten Lösungen habe ich den Versuch gemacht, die Gemische von Ammoniumsulfat und Magnesiumchlorid in allen typischsten Kombinationen der verschiedenen Konzentrationen dieser Salze zu studieren: dabei bediente ich mich des oben dargelegten Verfahrens der Untersuchung von Gemischen zweier Salze. Außerdem erschien es mir wünschenswert, einige meiner früheren Experimente mit Gemischen zweier positiv wirkenden Verbindungen zu ergänzen, da die Frage über die gegenseitigen Beziehungen der Substanzen dieser Kategorie zueinander nicht genügend bis in die Details verhandelt worden war. Ferner ist es mir, dank der energischen Mithilfe meiner Schüler, gelungen, nähere Kenntnis zu erhalten über das Verhalten der Komponenten in Gemischen zweier schädlich wirkender Substanzen, und ebenso einige Gemische aus drei Substanzen zu untersuchen, die mir als besonders interessant zur Lösung der Frage über den Charakter der Wechselwirkungen zwischen den Kationen und Anionen in einfachen Lösungen schienen. Schließlich habe ich den Versuch gemacht, einige ergänzende Experimente zur Paralisation der positiven Effekte verschiedener Ammoniumsalze durch schädlich wirkende Verbindungen zu unternehmen, zwecks Klarlegung der Ursachen dieser Paralisation.

Die Übersicht über die aufgereihten Gruppen von Versuchen bildet den Inhalt der vorliegenden abschließenden Studien.

Die erste Serie der neuen Versuche wurde mit solchen Lösungen von Ammoniumsulfat und Magnesiumchlorid unternommen, in denen die Quantität des $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ stets dieselbe blieb, während die Quantität des MgCl_2 in weiten Grenzen variierte. Analoge Versuche mit der Konzentration 0.0025 N von $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ wurden von mir auch früher ausgeführt (Tab. I u. II, Seite 60). Jetzt jedoch beabsichtigte ich dieselben nicht nur zu ergänzen, sondern auch noch einmal an neuem Material zu kontrollieren in einer anderen Periode massenhafter Versuche mit *Helianthus annuus*.

Tabelle XXIV. Ammoniumsulfat und Magnesiumchlorid.

No. d. Versuche nach d. Reihenf.	Versuchs dauer in Stunden	H ₂ O = 100		(NH ₄) ₂ SO ₄ 0,0025		MgCl ₂		Gemisch		Abweichungen von der Regel, mm	Differenz d. fakt. u. theoret. Zuwüchse, ‰	Theor. Zuwachs d. Gemisches, ‰
		mm	mm	%	Konzentrationen	mm	%	mm	%			
155	14 ¹ / ₂	17,5	21,0	120	0,05	8,2	46	7,6	44	- 0,4	- 11	55
156	14 ¹ / ₂	17,5	21,0	120	0,0375	9,7	56	9,7	56	+ 0,1	- 11	67
157	14	17,5	22,7	130	0,025	12,0	68	12,0	68	+ 0,0	- 20	88
158	14 ¹ / ₂	17,5	21,0	120	0,0125	12,1	69	12,7	72	+ 0,5	- 11	83
159	14 ¹ / ₂	17,5	21,0	120	0,00625	12,9	74	13,6	78	+ 0,6	- 11	89
160	13 ¹ / ₂	16,3	20,5	127	0,005	14,25	87	15,4	96	+ 1,2	- 15	111
161	15	17,3	23,1	134	0,0025	14,5	84	18,4	106	+ 4,0	- 6	112
162	14 ¹ / ₂	17,5	21,0	120	0,002	13,8	79	15,9	91	+ 2,1	- 4	95
163	14 ¹ / ₂	17,5	21,0	120	0,001	15,2	87	18,0	103	+ 2,8	- 2	105
164	14 ¹ / ₂	17,5	21,0	120	0,0005	16,2	93	19,7	112	+ 3,5	+ 1	111
165	14 ¹ / ₂	17,5	21,0	120	0,0003	16,8	96	20,2	115	+ 3,4	0	115

Dieses schien mir aus dem Grunde wünschenswert, weil ich im Falle der Übereinstimmung der neuen Daten mit den früheren dadurch die volle Überzeugung von der Richtigkeit der Resultate der ganzen nachfolgenden Serie von Experimenten gewann, zu deren mehrfacher Wiederholung oft keine Möglichkeit vorhanden war. Der Vergleich ergab in der Tat übereinstimmende Resultate (siehe Tab. I, II und XXIV). Schwache Konzentrationen von MgCl₂ wirkten wiederum unabhängig von (NH₄)₂SO₄ und modifizierten den spezifischen Effekt dieses letzteren nicht, so daß die Zuwüchse in schwachen Gemischen vollkommen mit der algebraischen Summe der Zuwüchse in den einfachen Lösungen beider Salze übereinstimmten. Starke Konzentrationen von MgCl₂ dagegen unterdrückten den Effekt des (NH₄)₂SO₄ derart stark, daß die Zuwüchse in gemischten Lösungen mit denjenigen in einfachen Lösungen von MgCl₂ übereinstimmten, d. h. ich nahm wiederum die volle Unterordnung konzentrierter Gemische unter unsere zweite Regel über das Zusammenwirken salzartiger Substanzen auf die Pflanze wahr.

Nachdem ich mich also von der Zuverlässigkeit der von mir angewandten Untersuchungsmethode überzeugt hatte, wandte ich mich der Untersuchung der Wirkung verschiedener Mengen Magnesiumchlorid auf eine stärkere Lösung von Ammoniumsulfat zu. Die Konzentration des letzteren von zirka 0,0025 N ergab sich als wenig befähigt, den Effekt auch nur kleiner Mengen von MgCl₂ zu unterdrücken, während ich die Absicht hegte, die ganze Kette der Wechselwirkungen zwischen beiden Salzen zu verfolgen: von der vollen Vorherrschaft in der gemischten Lösung der positiven Verbindung bis zur vollen Vorherrschaft der negativen. Es ist

mir dieses in der Tat gelungen, und zwar in den Versuchen mit 0,01 N Ammoniumsulfat. Solch eine Lösung unterdrückt leicht den schädlichen Effekt aller schwächeren Lösungen von $MgCl_2$, von 0,0025 N an und schwächer. Umgekehrt gewannen um zehn Mal stärkere Konzentrationen von $MgCl_2$ (0,025 N und höher) ihrerseits die Oberhand in dem Gemische und neutralisierten voll und ganz die Wirkung des Ammoniumsalzes.

Tabelle XXV. Ammoniumsulfat und Magnesiumchlorid.

No. d. Versuche nachd. Reihenf.	Versuchsdauer in Stunden	$H_2O = 100$ mm	$(NH_4)_2SO_4$ 0,01		$MgCl_2$			Gemisch		Abweichungen von d. Regel, mm	Differenzen d. fakt. u. theoret. Zuw. d. Gem., %	Theor. Zuwachs d. Gemisches, %
			mm	%	Konzentrationen	mm	%	mm	%			
166	14	15,7	22,4	144	0,050	8,1	51	9,2	58	+ 1,1	- 16	74
167	14	15,7	22,4	144	0,0375	9,2	58	10,2	65	+ 1,0	- 19	84
168	14	15,7	22,4	144	0,025	10,65	69	11,5	73	+ 0,9	- 26	99
169	14	15,7	22,4	144	0,010	12,1	77	16,35	104	+ 4,2	- 7	111
170	14	15,7	22,4	144	0,0075	12,35	80	17,65	112	+ 5,3	- 4	116
171	14	15,7	22,4	144	0,005	14,15	90	19,05	121	+ 4,9	- 9	130
172	14	15,7	22,4	144	0,0025	14,1	90	22,0	140	+ 7,9	+ 10	130
173	14	15,7	22,4	144	0,00125	14,65	93	24,5	156	+ 9,9	+ 22	134
174	14	15,7	22,4	144	0,00075	14,55	92	24,25	154	+ 9,7	+ 21	133
175	14	15,7	22,4	144	0,0005	14,65	93	22,0	140	+ 7,4	+ 6	134
176	14	15,7	22,4	144	0,00025	14,0	90	22,1	141	+ 8,1	+ 11	130

Die beigegefügte Tabelle der Experimente illustriert ausgezeichnet das Gesagte (Tabelle XXV). Wir ersehen aus derselben, daß in den schwachen Lösungen von $MgCl_2$ eine scharfe Vorherrschaft der faktischen Zuwüchse über die theoretischen wahrzunehmen ist, die bis zur Übereinstimmung der Zuwüchse in dem Gemisch mit denjenigen in den einfachen Lösungen von Ammoniumsulfat wächst; während in den starken Konzentrationen von $MgCl_2$ die Zuwüchse in dem Gemisch bei weitem nicht die theoretische Größe erreichten, indem sie mit den Zuwüchsen in der reinen Lösung dieses schädlichen Salzes übereinstimmten.

Ein derartiges Resultat der Versuche veranlaßte die Frage, ob es nicht vielleicht gelänge, gerade entgegengesetzte Modifikationen der Zuwüchse zu erhalten, wenn man sich bei permanenten Quantitäten von $MgCl_2$ verschiedener Mengen von Ammoniumsulfat bediente. In der neuen Serie der Versuche mit $MgCl_2$ 0,01 N und verschiedenen Dosen $(NH_4)_2SO_4$ ist es mir in der Tat gelungen, aufs neue beide Grenzen der Wechselwirkungen zwischen den Salzen zu konstatieren, und zwar ließ sich in den starken Konzentrationen — im Gegensatze zum vorhergehenden Falle — eine

positive und in den schwachen eine negative Abweichung der faktischen Zuwüchse in dem Gemische von den theoretischen wahrnehmen, so daß die Gemische wiederum laut dem Effekte entweder nur des einen Ammoniums Salzes oder nur des einen Magnesiumsalzes der gemischten Lösung (Tab. XXVI) wirkten. Die volle Vorherrschaft der starken Konzentrationen von $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ war um so mehr lehrreich, als in starken Lösungen von Ammoniums Salzen stets eine Hemmung des Wachstums im Vergleiche zum Wachstum im Wasser beobachtet worden war; ich hatte es folglich mit Gemischen zweier schädlich wirkender Substanzen zu tun, welche sich meist unserer dritten Regel unterordnen, indem sie Effekte ergeben, welche der Wirkung des einen am meisten schädlichen Salzes entsprechen. Und da Ammoniums Salze gewöhnlich mehr dem Wachstum schaden als Magnesiumchlorid in hier angewandter Konzentration, so entspricht seine Vorherrschaft in gemischter Lösung tatsächlich den Anforderungen unserer dritten Regel.

Nun war mir noch die nähere Untersuchung des dritten Typus gemischter Lösungen übrig geblieben, in denen beide Verbindungen in übereinstimmenden, jedoch abwechselnden Konzentrationen vorhanden waren.

Die Untersuchung derartiger Gemische erforderte die Verwendung großen Fleißes, da die Wechselwirkung in den Lösungen mit äquivalenten Quantitäten von Ammoniumsulfat und Magnesiumchlorid bei Veränderung der Konzentration des Gemisches vielfachen Modifikationen unterworfen wurde, die man den zufälligen Abweichungen der Zuwüchse der einzelnen Kulturen hätte zuschreiben können. Um Zweifel solcher Art vorzubeugen, hielt ich es für notwendig, die Versuche mit einigen Konzentrationen mehrere Male zu wiederholen, wie es aus der Zusammenstellung der Daten in den Tabellen XXVII, XXVIII und XXIX zu ersehen ist.

Die Durchsicht der Tabellen führt zu folgenden Schlußfolgerungen.

In starken Konzentrationen der Gemische, sofern dieselben die Keimlinge nicht plasmolisierten, nahm das Magnesiumchlorid, als starker Schädiger, die vorherrschende Rolle auf sich; diese Vorherrschaft des MgCl_2 führte zu einiger Abschwächung der Schädlichkeit der gemischten Lösung, da das Ammoniumsulfat in entsprechenden starken Konzentrationen an und für sich das Wachstum hemmte. In der Konzentration von ca. 0,0375 N änderte sich das gegenseitige Verhältnis der Salze; das Ammoniumsulfat erhielt hier die Fähigkeit, das Wachstum positiv zu beeinflussen, und fing gleichzeitig an, auf die Pflanze derart energisch einzuwirken, daß die Zuwüchse in dem Gemische schon der algebraischen Summe der Zuwüchse in beiden einfachen Lösungen entsprachen; bei der weiteren Verdünnung des Gemisches, und zwar in der Konzentration der Salze von ca. 0,025 N, nahm das Ammonium scheinbar sogar das Übergewicht über das Magnesium. In drei von fünf Versuchen beobachtete ich eine bedeutende Abschwächung der Schädlichkeit der gemischten Lösung (+ 7; + 10; + 10), was nur durch die Vorherrschaft des positiven Salzes dem negativen

Tabelle XXVI. Ammoniumsulfat und Magnesiumchlorid.

No. d. Versuche nachd. Reihenf.	Versuchsdauer in Stunden	H ₂ O = 100 mm	(NH ₄) ₂ SO ₄			MgCl ₂ 0,01		Gemisch		Abweichungen von d. Regel, mm	Differenz d. fakt. u. theoret. Zuw. d. Gem., %	Theor. Zuwachs d. Gemisches, %
			Konzentrationen	mm	%	mm	%	mm	%			
177	16	19,2	0,15	4,9	25	15,0	78	5,0	26	+ 0,1	+ 6	20
178	16	19,2	0,125	7,1	37	15,0	78	6,7	35	- 0,4	+ 6	29
179	16	19,2	0,10	9,5	49	15,0	78	8,6	44	- 0,9	+ 6	38
180	15	17,6		9,1	52	13,4	76	8,0	46	- 1,1	+ 6	40
181	16	19,2	0,075	10,1	74	15,0	78	13,1	68	- 1,0	+ 10	58
182	15 ^{1/2}	18,4	0,05	17,45	94	14,2	77	16,0 ₅	87	+ 1,8	+ 14	73
183	16	19,2	0,0375	20,9	109	15,0	78	18,7	97	+ 3,7	+ 12	85
184	15 ^{1/2}	18,4	0,025	24,45	132,5	14,2	77	18,7	101	+ 4,5	- 1	102
185	15	17,6	0,01	25,2	143	13,4	76	17,5	99	+ 4,1	- 11	110
186	14 ^{1/2}	18,5	0,005	25,0	140	14,4	80	16,5 ₅	92	+ 2,1	- 20	112
187	14	18,5	0,0025	23,4	127	15,5	84	16,0	86	+ 0,5	- 21	107
188	15	17,6	0,001	20,9	119	13,4	76	15,0	85	+ 1,6	- 5	90

Tabelle XXVII. Ammoniumsulfat und Magnesiumchlorid.

No. d. Versuche nachd. Reihenf.	Versuchsdauer in Stunden	H ₂ O = 100 mm	Konzentrationen der Salze	(NH ₄) ₂ SO ₄		MgCl ₂		Gemisch		Abweichungen von d. Regel, mm	Differenz d. fakt. u. theoret. Zuw. d. Gem., %	Theor. Zuwachs d. Gemisches, %
				mm	%	mm	%	mm	%			
189	14 ^{1/2}	18,5	0,1	9,8	53	5,8	31	3,4	18	- 2,4	+ 2	16
190	14 ^{1/2}	18,5	0,05	15,5	84	9,1	49	8,6	47	- 0,5	+ 6	41
191	14 ^{1/2}	16,4		14,6	89	7,5	46	7,2	44	- 0,3	+ 3	41
192	15	17,5	0,0375	15,6	89	7,0	40	8,05	46	+ 1,0	+ 10	36
193	14 ^{1/2}	16,4		17,9	109	8,9	54	9,8	59	+ 0,9	0	59
194	15	17,4	0,025	19,2	112	8,95	51	10,0	57	+ 1,1	0	57
195	14 ^{1/2}	18,5		23,7	128	9,7	52	13,6	74	+ 3,9	+ 7	67
196	14	16,5	0,015	19,4	117	10,6	64	11,95	73	+ 1,3	- 2	75
197	14 ^{1/2}	16,4		18,8	114	9,7	59	13,7	83	+ 4,0	+ 10	67
198	15	17,5	0,020	21,3	128	10,7	61	13,5	77	+ 2,8	- 1	78
199	16	17,8		23,25	131	10,9	62	14,6	83	+ 3,7	+ 2	81
200	14 ^{1/2}	16,4	0,015	21,0	128	11,7	71	15,1	92	+ 3,4	- 9	101
201	14	16,5		23,05	139	11,75	71	15,7	95	+ 4,0	- 4	99

Tabelle XXVIII. Ammoniumsulfat und Magnesiumchlorid.

No. d. Versuche nach d. Reihenf.	Versuchsdauer in Stunden	H ₂ O = 100 mm	Kon- zentra- tionen der Salze	(NH ₄) ₂ SO ₄		MgCl ₂		Gemisch		Abweichungen von der Regel, mm	Differenz der fakt. u. theoret. Zuwüchse, ‰	Theor. Zuwachs d. Gemische, ‰
				mm	‰	mm	‰	mm	‰			
202	15	17,5	} 0,010	24,0	137	12,6	72	16,5	94	+ 3,9	- 5	99
203	14	16,5		22,4	136	12,2	74	14,55	88	+ 2,3	- 13	101
204	14	18,5		24,3	131	15,5	84	16,8	92	+ 1,3	- 18	110
205	14 ^{1/2}	17,6		25,2	143	13,4	76	17,5	99	+ 4,1	- 11	110
206	15 ^{1/2}	17,0	} 0,005	24,75	145	14,3	84	19,8	116	+ 5,5	- 6	122
207	15	17,4		24,1	138	15,15	87	21,0	120	+ 5,9	- 0	120
208	15	17,4	} 0,0025	24,2	139	14,15	81	18,65	107	+ 4,5	- 6	113
209	15	17,1		22,05	129	14,8	87	18,2	106	+ 3,4	- 6	112
210	14 ^{1/2}	18,5	} 0,002	22,2	120	16,2	86	18,9	102	+ 2,7	- 1	103
211	16	17,8		23,15	131	13,85	78	18,3	104	+ 4,5	+ 2	102
212	14 ^{1/2}	18,5	} 0,001	21,95	118	15,8	85	18,1	98	+ 2,3	- 2	100
213	16	17,4		19,55	112	17,35	99	18,95	109	+ 1,6	- 2	111

Tabelle XXIX. Ammoniumsulfat und Magnesiumchlorid.

No. d. Versuche nach d. Reihenf.	Versuchsdauer in Stunden	H ₂ O = 100 mm	Konzen- trationen der Salze	(NH ₄) ₂ SO ₄		MgCl ₂		Gemisch		Abweichungen von der Regel, mm	Differenz der fakt. u. theoret. Zuwüchse, ‰	Theor. Zuwachs d. Gemische, ‰
				mm	‰	mm	‰	mm	‰			
214	15	17,0	0,1	8,5	50	4,6	27	2,8	17	+ 1,8	+ 4	13
215	15	17,0	0,05	15,7	92	7,95	47	8,2	48	+ 0,3	+ 5	43
216	15	16,9	0,0375	18,5	110	8,9	52	9,9	58	+ 1,0	+ 0	58
217	15	17,0	0,025	21,8	128	10,3	60	14,85	87	+ 4,5	+ 10	77
218	15	17,4	0,020	22,1	127	11,2	64	13,9	80	+ 2,7	- 1	81
219	15 ^{1/2}	17,0	0,015	22,5	133	12,7	75	16,2	95	+ 3,5	- 6	101
220	15 ^{1/2}	17,0	0,010	24,0	141	13,2	78	16,0	95	+ 2,8	- 15	110
221	15	17,0	0,00625	22,6	133	12,2	72	17,45	103	+ 5,2	- 3	106
222	15	17,0	0,003125	22,0	130	13,0	77	17,2	101	+ 4,2	- 5	106
223	15	17,0	0,00156	18,75	110	15,6	91	17,45	101	+ 1,8	+ 1	100
224	15	17,0	0,000781	18,23	107	15,45	90	16,85	99	+ 1,4	+ 2	97
225	15	17,0	0,00039	17,3	102	14,9	88	17,0	100	+ 2,1	+ 9	91

gegenüber zu erklären ist, da kein Grund vorliegt, an der Glaubwürdigkeit der Daten zu zweifeln. Die Vorherrschaft des Ammoniums Salzes schwand indessen bald; schon in der Konzentration von 0,02 N wurde eine vollkommen unabhängige Wirkung beider Substanzen beobachtet, und in den Konzentrationen von 0,015—0,005 N gewann das Magnesiumchlorid aufs neue die Oberhand und erhöhte bedeutend die schädliche Wirkung des Gemisches auf die Pflanze. Alle Experimente zeigen übereinstimmend, daß in der Lösung von zirka 0,01 N die faktischen Zuwüchse bedeutend niedriger als die theoretischen waren; und dieses ist nur durch die Unterdrückung des positiven Effektes des Ammoniumsulfates durch das schädliche Salz zu erklären möglich. Bei der weiteren Verdünnung des Gemisches schwand wiederum die Vorherrschaft des Magnesiums; in sehr schwachen Gemischen ist es sogar wiederholt gelungen, aufs neue eine erhöhte Aktivität des Ammoniumsulfates zu beobachten.

Es ist somit gelungen, für äquivalente Gemische beider Verbindungen ein ziemlich kompliziertes Bild der Wechselwirkungen zu konstatieren. In den Lösungen von 0,1 bis 0,0004 N beobachtete ich einen zweimaligen Übergang der Vorherrschaft vom Magnesiumchlorid zum Ammoniumsulfat und drei verschiedene Konzentrationen mit kompensierter Wirkung der Komponenten des Gemisches auf die Pflanze.

Dieses Resultat der Versuche halte ich für wichtig zur Lösung der Frage über die Wechselwirkungen zwischen den Ionen in einfachen Lösungen. In den verschiedenen Konzentrationen salzartiger Substanzen wird das quantitative Verhältnis der Ionen entgegengesetzter Ladung zueinander, wie bekannt, keinerlei Modifikationen unterworfen und dieses könnte Veranlassung geben zur Behauptung, daß der Charakter der Wechselbeziehungen zwischen den Kationen und Anionen selbst unverändert bleibe. Wir wissen jetzt, daß mit den Veränderungen der Konzentrationen der Lösungen zugleich wesentliche Störungen des physiologischen Gleichgewichtes der dieselben bildenden Ionen zu erwarten sind, und dieses muß wiederum wesentliche Störungen in der allmählichen Veränderung der Zuwüchse in den Lösungen hervorrufen.

Zur anschaulicheren Darstellung der Resultate der oben beschriebenen Versuche bediente ich mich ebenfalls der graphischen Methode. Die Daten der Tabellen XXV, XXVI und XXIX habe ich auf die hier beigefügten Graphen 1, 2 und 3 übertragen, mit deren Hilfe es ohne Mühe gelingt, sich in dem Charakter der Wirkung aller oben untersuchten Gemische von Ammoniumsulfat und Magnesiumchlorid zu orientieren.

Bei der Durchsicht dieser Graphen ist nicht außer acht zu lassen, daß dieselben kombinierte Graphen der Zuwüchse in den Lösungen sowohl der einzelnen Salze als auch der Gemische derselben darstellen. Die Graphen wurden laut folgenden Regeln zusammengestellt.

Zur Bestimmung der Aufführungspunkte der Ordinaten, auf

welche in Prozenten die Größen der Zuwüchse in verschiedenen Lösungen aufgetragen wurden, wurden auf der Axe der Abszissen die Konzentrationen der einfachen Lösungen beider Salze aufgetragen, und zwar wurden im Falle wechselnder Konzentrationen einer Verbindung dieselben auf Entfernungen proportional den Differenzen der aufeinander folgenden Konzentrationen disponiert; im Falle unveränderlicher Konzentrationen einer Verbindung jedoch wurden zur Aufführung der Ordinaten dieselben Punkte benutzt, welche den verschiedenen Konzentrationen des wechselnden Salzes entsprachen. Ebenso wurden die Ordinaten für die Zuwüchse im Wasser, in gemischten Lösungen und für den theoretischen Zuwachs in dem Gemische den Punkten der Konzentrationen des einen wechselnden Salzes entsprechend disponiert. Die oberen Enden der abgesteckten Ordinaten wurden miteinander durch Linien verbunden zur Bestimmung des Charakters des Wachstums in den dazwischen liegenden nicht untersuchten Konzentrationen. Die Verbindungslinien wurden für die Zuwüchse im Wasser, in einfachen Lösungen, in gemischten Lösungen und für den theoretischen Zuwachs in Gemischen in verschiedener Weise ausgeführt. Es ist ohne besondere Erläuterungen verständlich, daß die Abstände zwischen den Linien der faktischen und theoretischen Zuwüchse, die durch die Auflegung der Graphen aufeinander entstehen, eben den in den Tabellen angeführten Differenzen der faktischen und theoretischen Zuwüchse entsprechen. Nach dem Auflegen der Graphen aufeinander schraffierte ich diese Abstände entweder mit dem Zeichen „plus“ (+), wenn die faktischen Zuwüchse die theoretischen übertrafen, oder mit dem Zeichen „minus“ —, wenn die umgekehrte Disposition der Linien vorlag, und die faktischen Zuwüchse den theoretischen an Größe nachstanden. Auf diesem Wege ist es gelungen, den oben beschriebenen Charakter der Wechselwirkungen zwischen den Substanzen der Gemische ziemlich relief auf den Graphen wiederzugeben, umsomehr, als es in allen Fällen der Zusammentreffung oder bedeutenden Annäherung der Linien der faktischen und theoretischen Zuwüchse sogleich möglich war, die Momente der unabhängigen Wirkung der Salze zu erkennen und den Bestand der entsprechenden kompensierten Lösungen zu bestimmen.

Um der unnötigen Anhäufung der Daten auf den Graphen aus dem Wege zu gehen, kombinierte ich durch Auflegen aufeinander nur diejenigen einzelnen Graphen der Zuwüchse in einfachen und gemischten Lösungen, welche gleichzeitigen Versuchen entsprachen.

Das Studium der beigelegten Graphen läßt einige, nach meiner Ansicht sehr wesentliche Schlußfolgerungen über die Wirkung salzartiger Substanzen auf die Pflanze ziehen.

In schwachen Konzentrationen verschiedener Verbindungen ist schon im voraus eine so bedeutende Abschwächung der Effekte der dieselben bildenden Ionen zu erwarten, daß die Lösung der Salze, ihrer Wirkung auf die Pflanze nach, sich von reinem Wasser nicht unterscheiden wird. Es ist jedoch notwendig, stets im Auge

zu behalten, daß eine derartige physiologische Neutralität der Lösungen auch einen ganz anderen Ursprung haben kann.

In der vorhergehenden Darlegung haben wir gesehen, daß die Kationen und Anionen der Mehrheit der salzartigen Substanzen eine entgegengesetzte Wirkung auf die Pflanze ausüben. So ist es schwer, die positive Wirkung der HCl , HNO_3 , H_2SO_4 , $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, HCNS , $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ und H_3PO_4 , infolge der zweifellosen Toxizität des Kations H , anders zu erklären, als durch die Voraussetzung einer Befähigung der Anionen dieser Säuren zur Erhöhung der Wachstumsenergie der Hypokotyle von *Helianthus annuus*. Zu gunsten dieser Voraussetzung sprachen auch alle Versuche mit Gemischen verschiedener Säuren und Ammoniumlauge. Die Ammoniumsalze ergaben gewöhnlich bedeutendere positive Effekte als die Ammoniumlauge, und die Beseitigung des Kationes H verminderte keineswegs die positiven Effekte von Seiten des Säurekomponenten der Gemische. Die Erhöhung des Wachstums durch Ammonium- und Kalilauge weist scheinbar darauf hin, daß auch der Anion OH befähigt ist, das Wachstum positiv zu beeinflussen. Die Aufklärung des Charakters der physiologischen Wirkung dieses Anions begegnete übrigens ernststen Schwierigkeiten infolge der Ausscheidung durch die lebenden Objekte der CO_2 , in deren Gegenwart die Konzentration der Anionen OH jähren Änderungen unterworfen wurde. Andererseits zeigten die Versuche mit Lösungen verschiedener Laugen und Salze der Alkali-, Erdalkali- und Schwermetalle zweifelsohne, daß die Kationen Cs , Rb , Na , Li , Mg , Ca , Sr , Ba , Co , Ni , Al , Pb , Zn und Hg eine derart stark deprimierende Wirkung auf den Gang des Wachstumes ausübten, daß in ihrer Gegenwart die positiven Effekte aller untersuchten Anionen verschwanden. Eine schwächere toxische Wirkung wurde nur bei dem Kationen K beobachtet, doch wird man ihn dem Anscheine nach, wie etwas weiter unten gezeigt werden wird, zu den übrigen schädlich wirkenden Kationen zuzählen müssen.

Die Versuche haben somit, wenn man das eigenartige Verhalten des Kationen NH_4 außer acht läßt, einen vollen Gegensatz zwischen den physiologischen Wirkungen der Ionen verschiedener Ladung offenbart: die Kationen erscheinen dem Anscheine nach als typische Paralisatoren des Wachstums, während die Anionen die Eigenschaft besitzen, denselben Prozeß zu fördern. In den Fällen einer mehr oder weniger unabhängigen Wirkung der beiden Gruppen von Ionen kann man daher eine solche Kompensation der positiven Effekte durch die negativen erwarten, daß die Lösungen salzartiger Substanzen im Vergleiche zum Wasser ihre Wirkung auf die Pflanze nicht zum Vorscheine bringen werden, obgleich die salzbildenden Ionen ihre ganze Aktivität zur Reizung des Protoplasten anwenden.

Zweifellose Beispiele solcher verdeckten Wirkung der Salze geben die oben untersuchten Gemische aus Ammoniumsulfat und Magnesiumchlorid.

Wie aus der Graphe der Zuwüchse in den Lösungen äquivalenter Mengen beider Substanzen zu ersehen ist, erhöhte sich die

Aktivität jedes Salzes nach Maßgabe der Erhöhung der Konzentrationen von 0,004 bis 0,01 N sehr schnell, während die gemischte Lösung unveränderlich seine Neutralität bewahrte und sich seiner Wirkung nach von reinem Wasser nicht unterschied (Graphe 3). Diese Beobachtung könnte ich mit einer ganzen Reihe anderer Versuche mit analogen Gemischen aus $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{MgCl}_2$ bekräftigen. In Lösungen mit beständigen Mengen von Magnesiumchlorid wurden die Gemische physiologisch neutral nur bei Anwesenheit mehr oder minder bedeutender Mengen von Ammoniumsulfat, wobei der Effekt des MgCl_2 — in der Konzentration 0,01 N, mit gleichem Erfolge durch alle Konzentrationen des $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ von 0,01 bis 0,025 N inklusive neutralisiert wurde. Die Graphe 2 gibt für diese Erscheinung eine vollständig genügende Erklärung. In allen stärkeren Lösungen des Ammoniumsulfates wurde eine derart starke Abnahme der Zuwüchse proportional der Erhöhung der Konzentration beobachtet, daß kein Grund vorliegt, von solchen Lösungen eine Neutralisation des schädlichen Effektes des Magnesiumchlorids, resp. eine Bildung physiologisch-neutraler Gemische zu erwarten. Umgekehrt wurde in allen Konzentrationen des Ammoniumsulfates von 0,025 bis 0,01 N eine fast gleiche und sehr starke Erhöhung der Energie des Wachstums der Hypokotyle beobachtet, sodaß die Aufhebung eines bestimmten negativen Effektes des Magnesiumchlorids als vollkommen verständlich erscheint. Ich halte es für wichtig, ebenso auf den Umstand hinzuweisen, daß die Aufhebung der positiven Effekte des einen Salzes durch die negativen Effekte des anderen eben unter den Bedingungen einer am meisten unabhängigen Wirkung beider Verbindungen auf die Pflanze beobachtet wurde. Dieses ist aus allen Graphen bei der Betrachtung der Wechselbeziehungen zwischen den Kurven der faktischen und theoretischen Zuwüchse in Gemischen deutlich zu ersehen. In den Momenten der Bildung inaktiver Gemische trafen beide Kategorien der Kurven fast zusammen, während bei den Modifikationen der Wachstumsenergie eine jähe Unterdrückung des Effektes des einen der Salze beobachtet wurde. Inaktive Lösungen entstanden folglich durch die energischste unabhängige Wirkung ihrer Komponenten auf das Plasma der Pflanze.

Auf Grund der erwähnten Beobachtungen halte ich es für vollkommen wahrscheinlich, daß der entgegengesetzte Charakter der Kationen und Anionen ebenso in einfachen Lösungen die Bildung inaktiver Konzentrationen fördern wird. Auf jeden Fall muß die wissenschaftliche Erklärung des Wachstumsganges in verschiedenen Konzentrationen salzartiger Substanzen mit der Möglichkeit einer vorzeitigen Verschwindung der Effekte infolge entgegengesetzter Wirkung der Ionen rechnen.

Bei der Betrachtung der Graphen ist Obacht zu geben auf den unregelmäßigen Charakter der Wachstumskurven sowohl in gemischten, als auch in einfachen Lösungen salzartiger Substanzen verschiedener Konzentrationen. Und zwar hat es sich aus den Versuchen zweifelsohne ergeben, daß man auf eine Erhaltung solcher Konzentrationskurven, welche in ihrem ganzen Verlaufe

bestimmten mathematischen Anforderungen entsprechen, nicht zu hoffen ist, obgleich es a priori auch sehr wahrscheinlich erscheint, daß die Abhängigkeit der Energie der Reizung von der Menge des Reizstoffes einem bestimmten Gesetze, ausgedrückt durch diese oder jene Formel, untergeordnet sein muß. Die in der Tat beobachteten Kurven entsprechen dieser Bedingung jedoch nicht. So nähert sich zum Beispiel die Kurve des $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ an ihrem Anfange, d. h. in starken Konzentrationen von 0,15 bis 0,025 N, der geraden Linie, weiter jedoch hebt sie sich und fällt ziemlich unregelmäßig nach dem Typus der Kurven einer anderen Ordnung (Graphen 2 und 3). Unregelmäßig wird das Tempo des Wachstums auch durch die verschiedenen Konzentrationen des MgCl_2 modifiziert. In schwachen Lösungen beobachtete ich wiederholt eine Verzögerung in der Abschwächung der schädlichen Wirkung, so daß nicht selten schwächere Lösungen eine bedeutendere Hemmung des Wachstums hervorriefen als die nächsten höheren Konzentrationen desselben schädlichen Salzes (Graph. 1 und 3). Ein derartiger Wechsel der Effekte in schwachen Lösungen negativ wirkender Salze kann dem Anscheine nach sogar als typisch für diese Kategorie von Verbindungen gelten. Sowohl in meinen eigenen Versuchen, als auch in den Versuchen meiner Mitarbeiter hatten wir oft Gelegenheit, diese Erscheinung der Zunahme der Schädlichkeit schwacher Lösungen zu beobachten. Als Beispiel führe ich aus den Versuchen des Herrn Sarandinaki folgende Tabelle der Zuwüchse in aufeinander folgenden Konzentrationen des Na_2SO_4 an:

Helianthus annuus.

Zuwüchse in % nach 18 Stunden bei 21° C.

Na_2SO_4 .

Konzentrationen	V e r s u c h e									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,001 N	104	97	94	94	90	92	96	99	99	98
0,0005 N	89	95	91	89	89	91	92	84	91	96
0,0001 N	—	—	—	96	90	98	108	92	100	106

Der eigenartige Verlauf der Wachstumskurven in einfachen Lösungen kann nach meiner Ansicht als neuer indirekter Beweis der von mir vermuteten Erscheinung einer zweiseitigen Neutralisation der entgegengesetzten Effekte der Kationen und Anionen, sowie der früher ausführlich erörterten Befähigung einzelner Kationen und Anionen zur Aufhebung der Effekte der anderen Ionen der Lösungen dienen. Die Voraussetzung von dem Vorhandensein dieser komplizierten Wechselbeziehungen zwischen den Kationen

und Anionen salzartiger Substanzen erklärt sehr einfach die Entstehung der Unregelmäßigkeiten im Verlaufe der Kurven. Die teilweise Unterdrückung der Effekte etlicher Ionen unter dem vorherrschenden Einflusse der anderen, sowie die wechselseitige Neutralisation der Effekte entgegengesetzter Ionen müssen natürlich unregelmäßige Abänderungen der Zuwüchse beim Wechsel der Konzentrationen hervorrufen, besonders wenn der Charakter der Wechselbeziehungen zwischen den Kationen und Anionen selbst Veränderungen unterworfen ist. Jedenfalls werden die Anomalien der Wachstumskurven in gemischten Lösungen voll und ganz durch ähnliche Wechselbeziehungen zwischen ihren Komponenten verursacht. Dieses geht aus den angeführten Tabellen und graphischen Tafeln zu deutlich hervor, als daß es notwendig wäre, hier wiederum zur Frage über die Wechselwirkungen zwischen beiden Salzen zurückzukehren. Ich weise nur auf das merkwürdige Zusammentreffen hin, daß die Kurven in Gemischen, ähnlich den Kurven in einfachen Lösungen, ebenfalls bald Sprünge in aufeinanderfolgenden Konzentrationen (Graph. 3), bald ein Zusammenfallen mit der geraden Linie (Graph. 1 und 3), bald eine Depression in Verbindung mit der Verdünnung der Lösungen (Graph. 2) zeigten.

Mit Hilfe der oben erwähnten Tatsachen und Erwägungen ist es, meiner Meinung nach, möglich, auch jene eigentümlichen Wachstumserscheinungen genügend zu erklären, welche in Lösungen der Kaliumsalze beobachtet wurden.

Die Kaliumsalze rufen oft, zum Unterschiede von den Salzen anderer Metalle, eine gewisse Zunahme des Wachstums hervor. Dieser Umstand könnte Veranlassung geben zur Behauptung, daß der Kation K befähigt sei, das Wachstum zu fördern, ohne denselben Antagonismus zu den Anionen zu offenbaren, wie die große Mehrheit der anderen Kationen. Die Erhöhung des Wachstums zeigte sich jedoch nur in Lösungen des Kaliummonophosphates stark, während das Diphosphat und die Kaliumsalze anderer Säuren schon nur eine verhältnismäßig schwache Verstärkung dieses Prozesses hervorriefen, und zudem lange nicht unter allen Bedingungen ihrer Wirkung auf die Pflanze. Dergleichen Verschiedenheiten würden schwer zu verstehen sein, wenn man dem Kationen die Fähigkeit, das Wachstum zu fördern, zuschreiben wollte, denn dann würden wir in Salzen, deren Anionen das Wachstum fördern, überhaupt keine negativen Resultate wahrnehmen, und zudem würden die positiven Resultate in Lösungen verschiedener Salze dann auch energischer und gleichmäßiger zu Tage treten. In den Fällen der Hemmung des Wachstums durch Kaliumsalze wurde außerdem dieselbe Zunahme der schädlichen Wirkung mit der Verdünnung der Lösung beobachtet, auf welche oben bei Salzen mit wesentlich schädlichen Kationen ($MgCl_2$ und Na_2SO_4) hingewiesen wurde, und welche sich leicht durch die Voraussetzung der Vorherrschaft in schwachen Konzentrationen der Kationen über die Anionen erklären läßt. Die Untersuchung der vereinten Wirkung eines Ammoniumsalzes mit Kaliumverbindungen führt wiederum zu der Folgerung, daß wir es in Lösungen der letzteren mit entgegengesetzten

Einflüssen der Kationen und Anionen auf die Keimlinge zu tun haben. In der vorhergehenden Abhandlung wurde schon dargelegt, daß die Summierung der Effekte zweier entgegengesetzt wirkender Salze vorzugsweise in schwachen Konzentrationen beider Verbindungen beobachtet wurde, wo allem Anscheine nach die unabhängige

Tabelle XXX. Ammoniumsulfat und Kaliumphosphat.

No. d. Versuche nach d. Reihenf.	Versuchsdauer in Stunden	H ₂ O	Kon- zentrationen der Salze	(NH ₄) ₂ SO ₄		KH ₂ PO ₄		Gemisch		Abweichungen von der Regel, mm	Differenz d. fakt. u. theoret. Zuwächse, ‰	Theor. Zuwachs d. Gemisches, ‰
		= 100 mm		mm	‰	mm	‰	mm	‰			
226	15	17,2	0,05	15,4	90	16,8	97	14,0	81	- 1,4	- 6	87
227	15	17,2	0,0375	19,3	112	17,8	103	17,0	98	- 2,5	- 17	115
228	15	17,2	0,025	24,1	140	18,3	106	21,2	123	- 4,0	- 25	148
229	15	17,2	0,015	24,0	139	18,9	110	23,1	134	- 2,6	- 19	153
330	15	17,2	0,010	24,6	143	19,0	110	24,4	142	- 2,0	- 15	157
331	15	18,0	0,0075	24,6	137	19,8	110	24,7	138	- 1,7	- 13	151
332	15	17,2	0,0050	23,5	137	21,1	122	26,7	155	+ 0,3	- 9	164
333	15	17,2	0,0025	23,0	134	18,8	109	25,0	145	- 0,6	- 1	146
234	15	17,2	0,0020	22,7	126	18,4	103	23,3	130	+ 0,1	+ 0	130

Tabelle XXXI. Kaliumsalze und Ammoniumsulfat.

16 Stunden bei 21° C; H₂ = 17,1 = 100.

No. d. Versuche nach d. Reihenf.	(NH ₄) ₂ SO ₄ 0,0016		Zweites Salz				Gemisch		Abweichungen von der Regel, mm	Differenz d. fakt. u. theoret. Zuwächse, ‰	Theor. Zuwachs d. Gemische, ‰
	mm	‰	Salz	Konzentrationen	mm	‰	mm	‰			
235	20,6	120		0,0032	18,2	106	19,9	116	- 1,8	- 11	127
236	20,6	120	KBr	0,0016	19,0	111	22,7	133	+ 0,2	+ 0	133
237	20,6	120		0,0008	18,1	106	23,3	136	+ 1,7	+ 9	127
238	20,6	120		0,0032	17,3	101	19,2	112	- 1,6	- 9	121
239	20,6	120	KI	0,0016	18,7	110	21,1	123	- 1,1	- 10	132
240	20,6	120		0,0008	18,6	109	22,4	131	+ 0,3	+ 0	131

Wirkung der Anionen des Gemisches am meisten gesichert ist. In den neuen Versuchen mit KH₂PO₄, KBr und KI ist es in der Tat gelungen, den erwähnten Umstand gänzlich bestätigt zu finden, wie aus den Tabellen XXX und XXXI zu ersehen ist. Es ist jedoch notwendig, zu bemerken, daß die die Grenzen der Wirkung

Tabelle XXXII. Kaliumsalze und Ammoniumsulfat.

No. d. Versuche nachd. Reihenf.	H ₂ O = 100 bei 23° C; nach 16 Stunden mm	(NH ₄) ₂ SO ₄ 0,0016		Zweites Salz				Gemisch		Abweichungen von d. Regel, mm	Differenz d. fakt. u. theoret. Zuw. d. Gem., %	Theor. Zuwachs d. Gemisches, %
		mm	%	Salz	Kon- zentra- tionen	mm	%	mm	%			
241	19,6	22,1	113	KBr	0,0100	17,7	90	20,4	104	+ 2,7	+ 2	102
242	19,6	22,1	113		0,0016	19,3	98	23,2	118	+ 3,5	+ 7	111
243	19,6	22,1	113		0,0008	19,3	98	23,5	120	+ 4,2	+ 9	111
244	19,6	22,1	113		0,0005	19,5	89	23,7	121	+ 4,2	+ 9	112
245	23,8	25,9	109	K ₂ C ₂ O ₄	0,0062	21,4	90	24,8	104	+ 3,3	+ 6	98
246	23,8	25,9	109		0,0016	21,9	92	24,9	105	+ 3,0	+ 5	100
247	23,8	25,9	109		0,0008	21,2	99	26,1	110	+ 4,9	+ 13	97
248	23,8	25,9	109	KNO ₃	0,0062	19,9	83	22,0	92	+ 2,1	+ 2	90
249	23,8	25,9	109		0,0016	22,8	96	24,5	103	+ 1,7	— 2	105
250	23,8	25,9	109		0,0008	20,0	84	26,4	111	+ 6,4	+ 19	92
251	19,6	22,1	113	KI	0,0100	15,5	79	16,2	82	+ 0,7	— 7	89
252	19,6	22,1	113		0,0016	16,2	82	17,8	91	+ 1,6	— 2	93
253	19,6	22,1	113		0,0008	19,5	99	23,7	121	+ 4,2	+ 9	112
254	19,6	22,1	113		0,0005	18,8	96	25,1	129	+ 6,3	+ 21	108

Tabelle XXXIII. Ammoniumsulfat und Natriumchlorid.

No. der Ver- suche nach der Reihenf.	H ₂ O = 100 nach 15 Stdn. mm	Konzen- trationen beider Salze	(NH ₄) ₂ SO ₄ %	NaCl ₂ %	Gemisch %	Abweichung von der Regel mm.	Differenz d. fakt. u. theoret. Zuw. d. Gem., %	Theoret. Zuw. d. Gem., %
255	14,6	0,0500	103	59	55	— 0,5	— 6	61
256	19,0	0,0375	108	62	60	+ 2,5	— 7	67
257	18,6	0,0250	123	69	86	+ 3,2	+ 1	85
258	18,0	0,0100	135	82	120	+ 6,7	+ 9	111
259	21,5	0,005	140	85	113	+ 5,9	— 6	131
260	19,5	0,0025	132	99	142	+ 8,4	+ 11	131
261	18,0	0,0010	119	98	123	+ 4,6	+ 6	117

des Ammoniumsulfates übersteigenden positiven Effekte der Gemische auch in denjenigen Fällen beobachtet wurden, wenn die Kaliumsalze in einfacher Lösung das Wachstum unterdrückten. In der Tabelle XXXII sind einige von den Versuchen angeführt, in denen eine derartige Wirkung der Gemische zu Tage trat. Es stellt dieses jedoch nichts Ausnahmsweises vor. Ich weise auf die Versuche mit den Gemischen $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{MgCl}_2$ (Tab. XXV, Graph. 1), $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{KCl}$ (Tab. IV) u. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{NaCl}_2$ (Tab. XXXIII) hin, wo in schwachen Lösungen ebenfalls die Effekte der Gemische den positiven Effekt des Ammoniumsalzes übertrafen, obgleich die entsprechenden Konzentrationen der zweiten Verbindung die Entwicklung der Hypokotyle hemmte. In schwachen Konzentrationen der Salze befinden sich die entgegengesetzt wirkenden Kationen und Anionen, dem Anscheine nach, in dem Zustande eines solchen in-

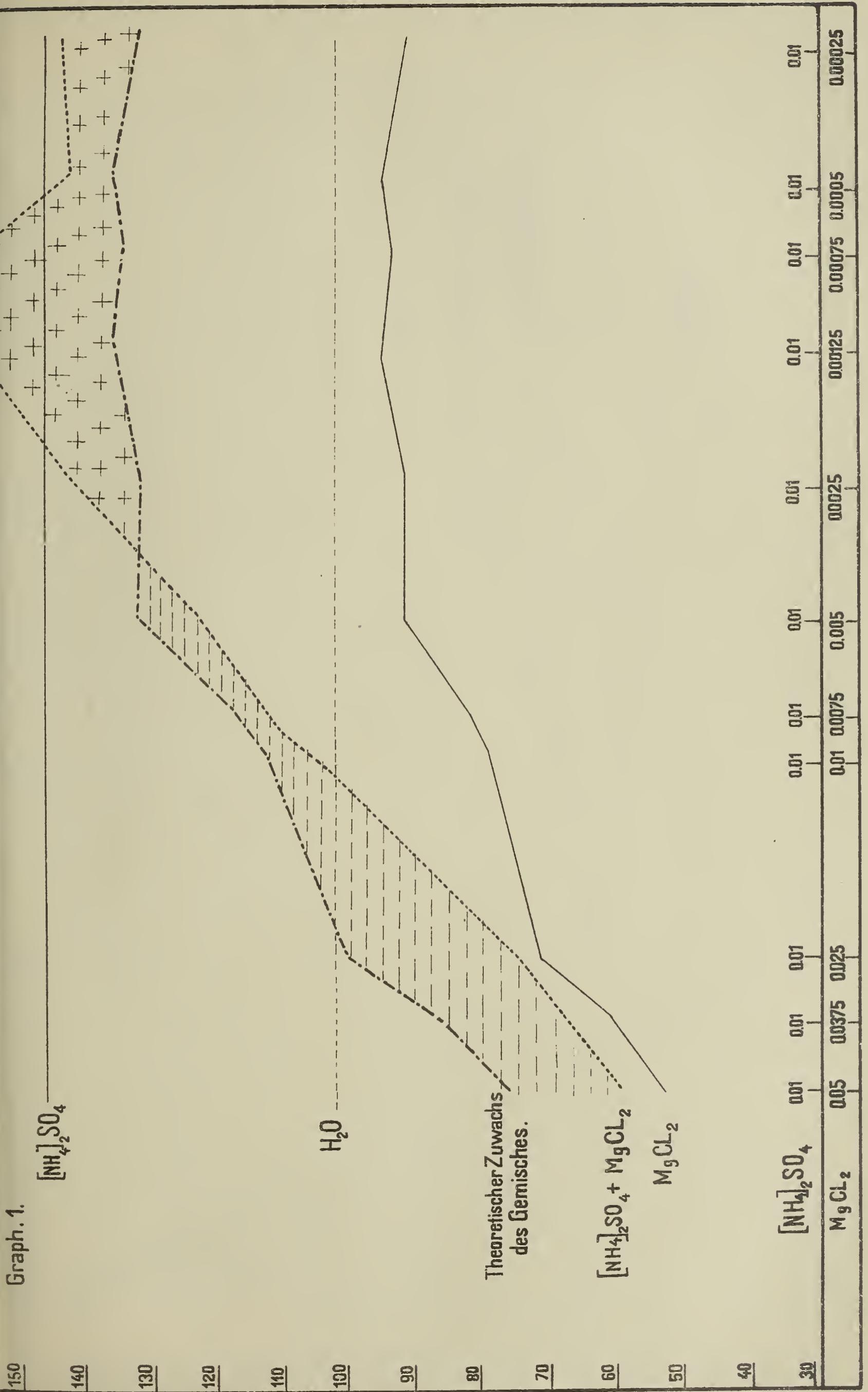
Tabelle XXXIV. Magnesiumsulfat und Nickelchlorid.

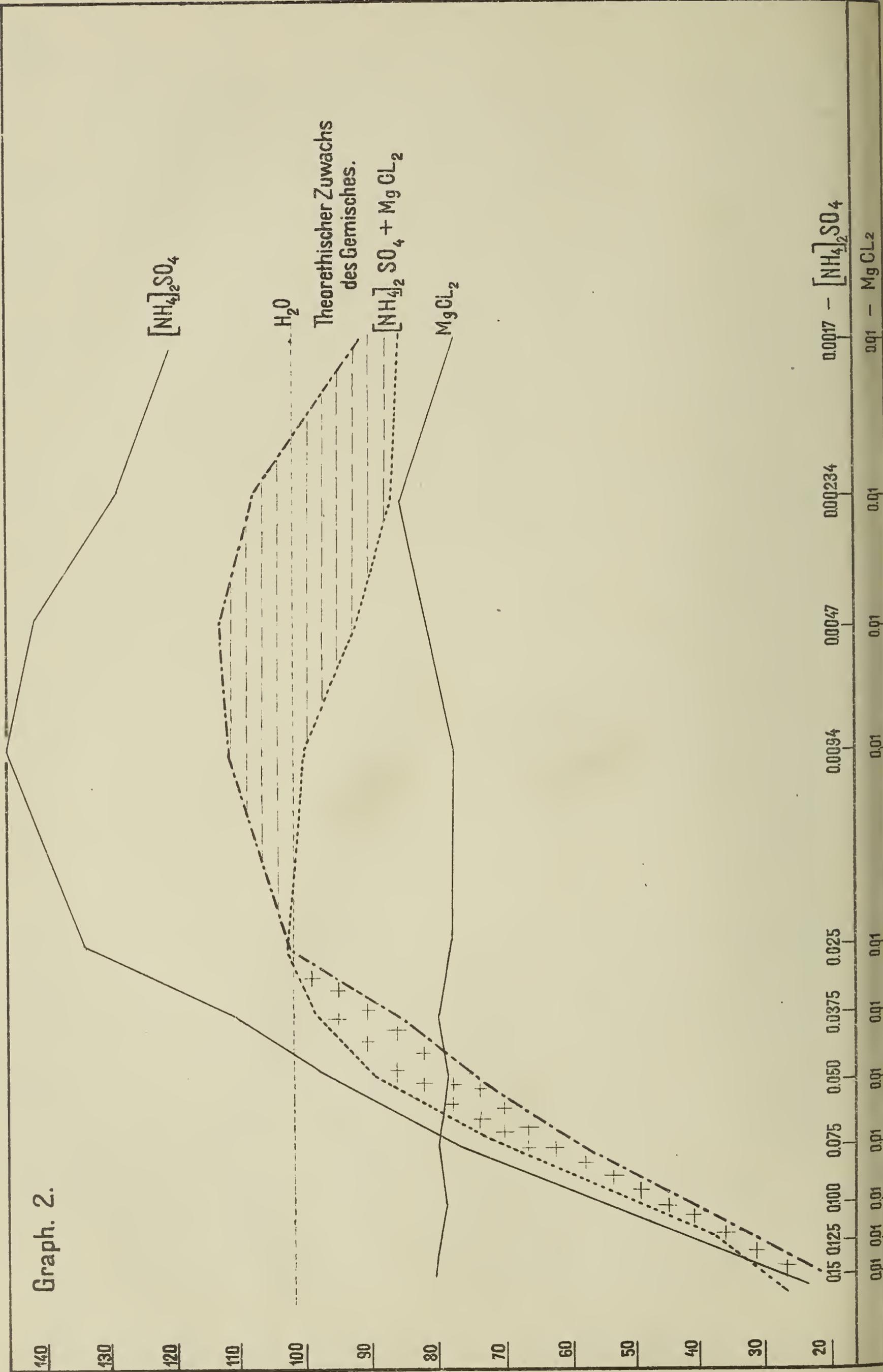
No. d. Versuche nach d. Reihenr.	Versuchsdauer in Stunden	H_2O = 100			MgSO_4 0,0125			NiCl_2		Gemisch		Abweichungen von der Regel, mm	Differenz d. fakt. u. theoret. Zuwächse, %	Theor. Zuwachs d. Gemische, %
		mm	mm	%	Konzentrationen	mm	%	mm	%					
262	14 $\frac{1}{2}$	23,5	15,5	66	0,05	3,6	15	3,2	14	+ 0,4	+ 4	10		
263	14 $\frac{1}{2}$	23,5	15,5	66	0,0375	4,3	18	4,8	20	+ 0,5	+ 8	12		
264	14 $\frac{1}{2}$	23,5	15,5	66	0,025	4,9	21	5,1	22	+ 0,2	+ 8	14		
265	14 $\frac{1}{2}$	23,8	15,8	66	0,020	5,9	25	5,9	25	+ 0,0	+ 9	16		
266	14 $\frac{1}{2}$	23,8	15,8	66	0,015	6,5	27	7,8	33	+ 1,3	+ 15	18		
267	14 $\frac{1}{2}$	23,8	15,8	66	0,010	7,8	33	8,9	37	+ 1,1	+ 15	22		
268	14 $\frac{1}{2}$	19,6	15,3	78	0,005	9,5	48	13,4	68	+ 3,9	+ 31	37		
269	14 $\frac{1}{2}$	19,6	15,3	78	0,0025	12,0	62	15,2	78	+ 3,2	+ 30	48		

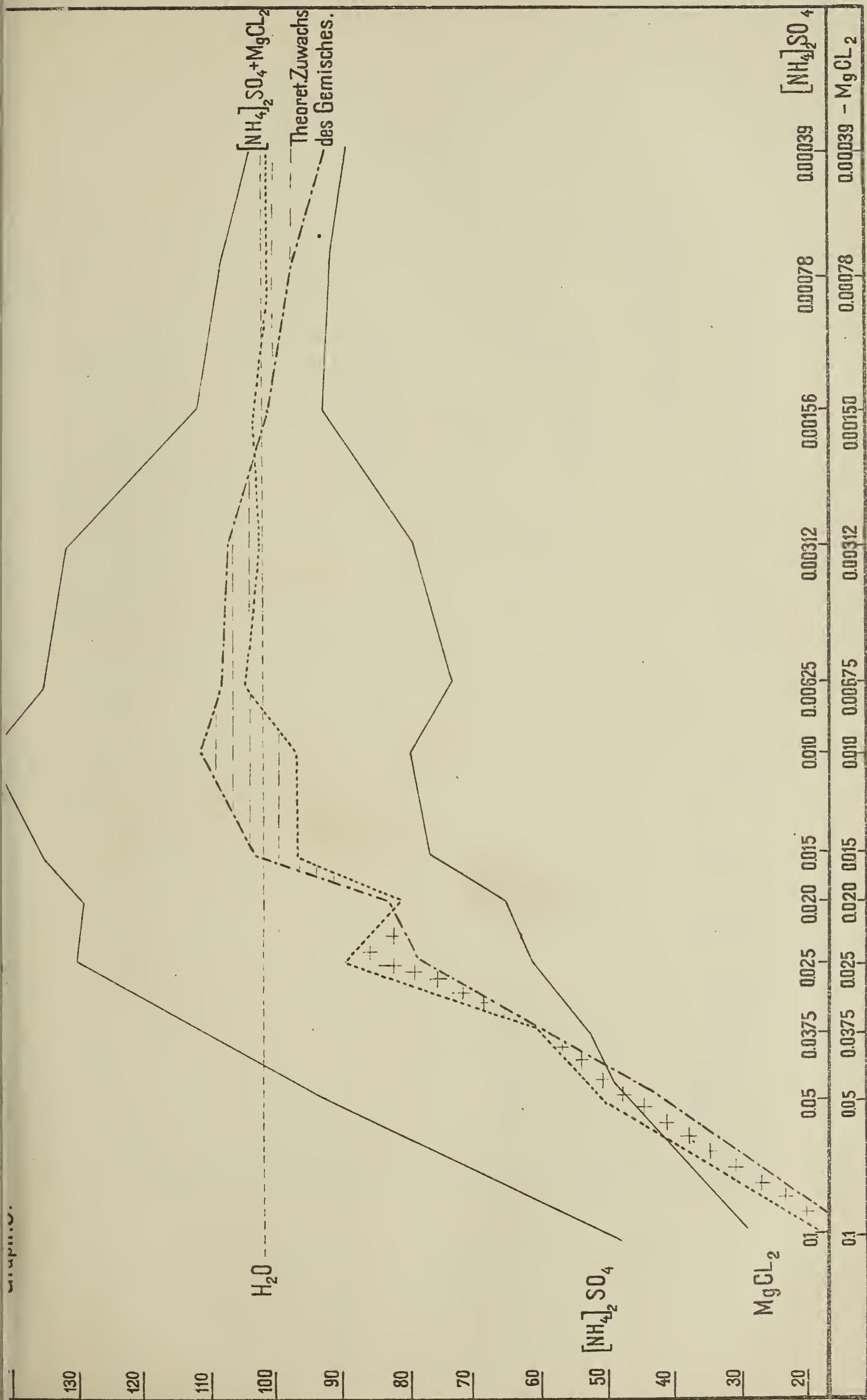
stabilen Gleichgewichtes, so daß hier, je nach den Bedingungen, bald der Prozeß der Unterdrückung des Anionen durch den Kationen, bald umgekehrt, die Paralisation der Kationen durch die Anionen hervortritt. Im ersten Falle sehen wir eine verstärkte Verminderung des Wachstums durch schwächere Lösungen, im zweiten — positive Effekte der schwachen Konzentrationen.

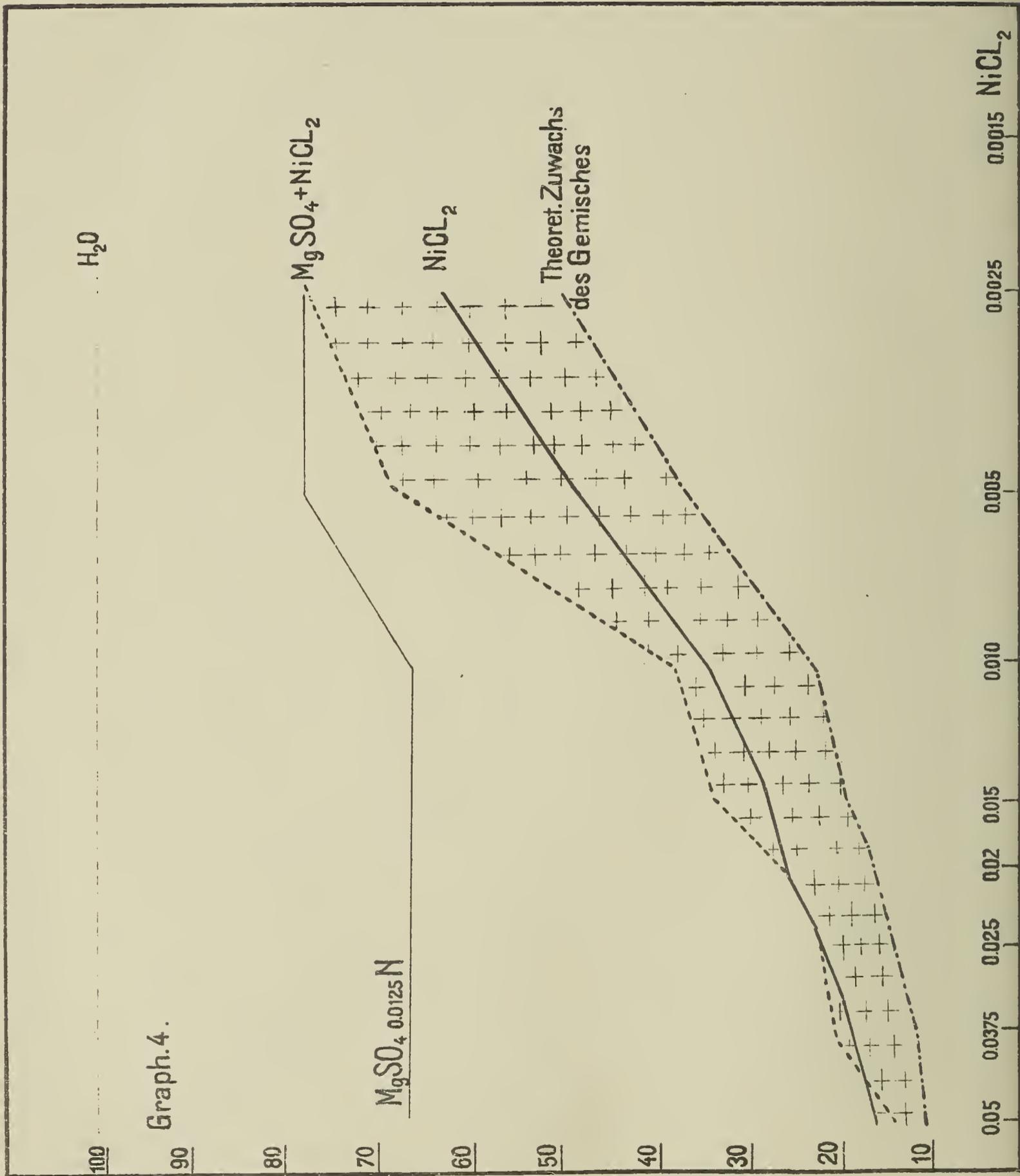
Die erhöhte Aktivität gemischter Lösungen erscheint von diesem Standpunkte aus um so mehr verständlich, als der Überschub an positivwirkenden Ionen in der Lösung hier natürlich leicht die Paralisation der schädlich wirkenden Kationen fördern kann, im Einklange mit dem früher festgesetzten Zusammenhange der Paralisationserscheinungen mit der Menge der in der Lösung vorherrschenden Ionen. Es ist möglich, daß in Gemischen anderer Salze eine derartige Befreiung der Anionen oder Kationen aus der Macht eines des anderen auch in Lösungen stärkerer Konzentrationen vor sich geht. Dann werden die Effekte der Gemische na-

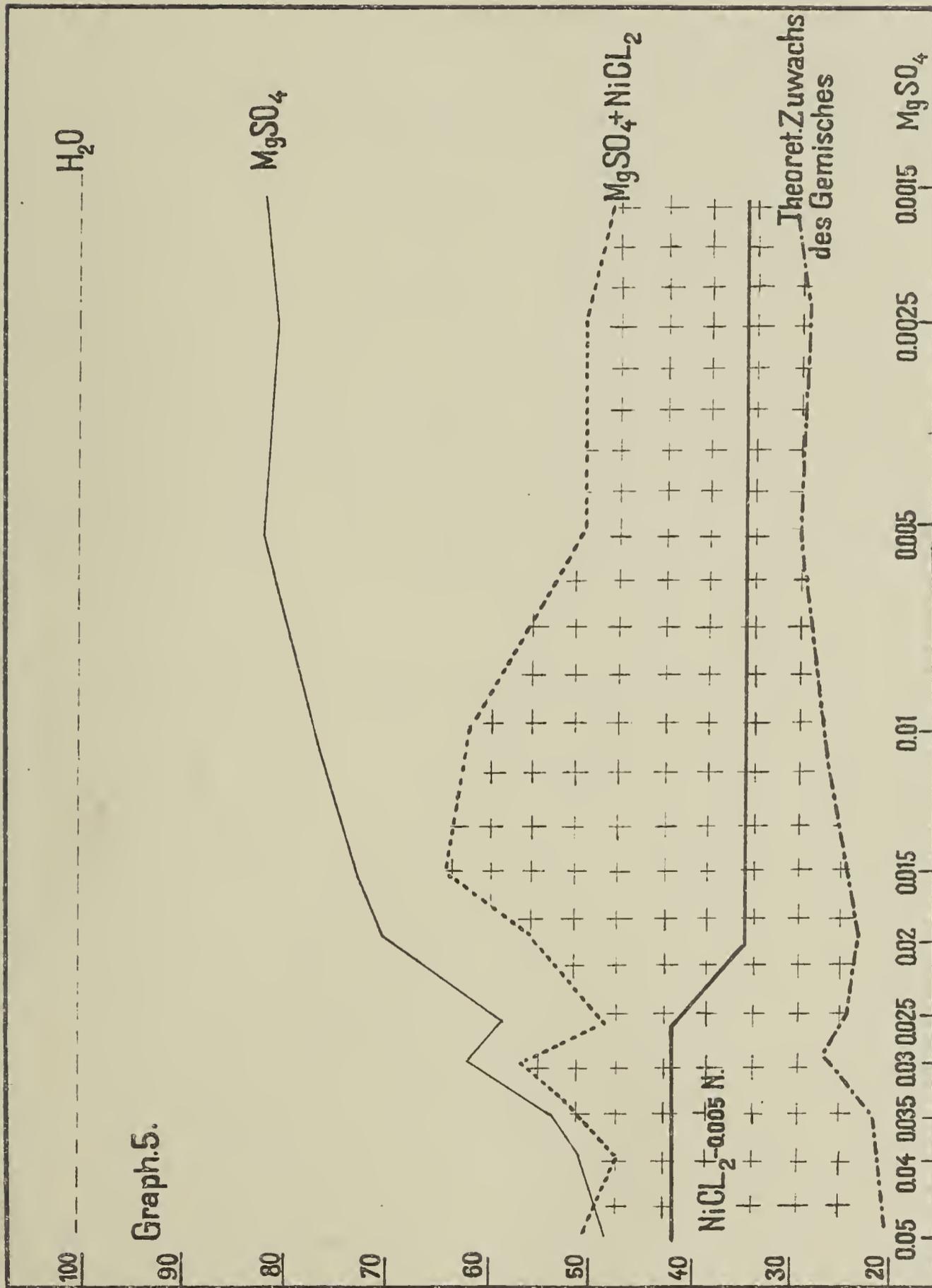
Graph. 1.

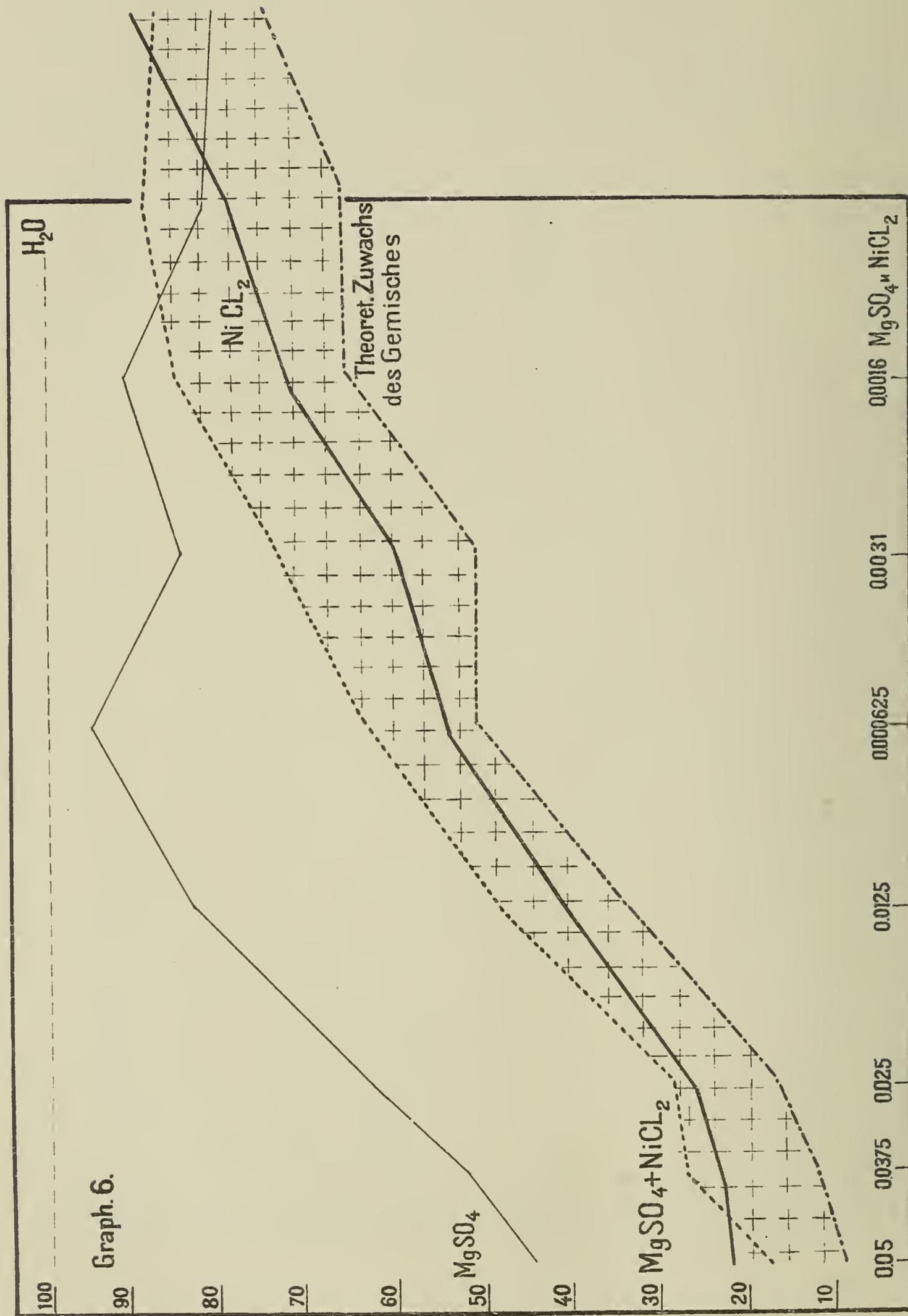












türlich, den Effekten der einfachen Lösungen nicht so entsprechen, wie es in der großen Mehrheit unserer Versuche mit der Sonnenblume beobachtet wurde.

Tabelle XXXV. Magnesiumsulfat und Nickelchlorid.

No. d. Versuche nach d. Reihenf.	Versuchsdauer in Stunden	H ₂ O	Konzentra- tionen der Salze	MgSO ₄		NiCl ₂		Gemisch		Abweichungen von der Regel, mm	Differenz d. fakt. u. theoret. Zuw. d. Gem., ‰	Theor. Zuwachs d. Gemische, ‰
		= 100 mm		mm	%	mm	%	mm	%			
270	14½	18,1	0,05	7,9	44	3,8	21	3,3	18	+ 0,5	+ 9	9
271	14½	18,1	0,0375	9,2	52	4,1	23	4,8	27	+ 0,7	+ 15	12
272	14½	18,1	0,025	11,4	63	4,7	26	5,1	28	+ 0,4	+ 12	16
273	14½	20,1	0,0125	16,6	83	8,2	41	9,8	49	+ 1,6	+ 15	34
274	14½	20,1	0,00625	19,2	95	11,0	55	12,9	64	+ 1,9	+ 12	52
275	14½	20,1	0,00312	17,0	85	12,3	61	15,1	75	+ 2,8	+ 23	52
276	14½	22,1	0,00516	20,4	92	16,1	73	19,1	86	+ 3,0	+ 19	67
277	14½	22,1	0,00078	18,2	82	17,7	80	19,9	90	+ 2,2	+ 24	66
278	14½	22,1	0,00039	18,4	83	19,9	90	19,5	88	+ 1,1	+ 23	75

Tabelle XXXVI. Magnesiumsulfat und Nickelchlorid.

No. d. Versuche nach d. Reihenf.	Versuchsdauer in Stunden	H ₂ O	MgSO ₄		NiCl ₂ 0,005		Gemisch		Abweichungen von der Regel, mm	Differenz d. fakt. u. theoret. Zuw. d. Gem., ‰	Theor. Zuwachs d. Gemisches, ‰	
		= 100 mm	Kon- zentra- tionen	mm	%	mm	%	mm				%
279	14½	20,2	0,05	9,7	48	8,4	42	10,1	50	+ 1,7	+ 30	20
280	14½	20,2	0,04	10,1	50	8,4	42	9,5	47	+ 1,1	+ 26	21
281	14½	20,2	0,035	10,7	53	8,4	42	10,2	51	+ 1,8	+ 29	22
282	14½	20,2	0,030	12,5	62	8,4	42	11,6	57	+ 3,2	+ 31	26
283	14½	20,2	0,025	11,7	58	8,4	42	9,9	49	+ 1,5	+ 25	24
284	14½	17,7	0,020	12,3	69	6,0	34	9,8	55	+ 3,8	+ 22	23
285	14½	17,7	0,015	12,7	72	6,0	34	11,3	64	+ 5,3	+ 40	24
286	14½	17,7	0,010	13,4	76	6,0	34	10,0	57	+ 4,0	+ 31	26
287	14½	17,7	0,005	14,5	82	6,0	34	8,9	50	+ 2,9	+ 22	28
288	14½	17,7	0,0025	14,2	80	6,0	34	8,8	50	+ 2,8	+ 23	27
289	14½	17,7	0,0015	14,3	81	6,0	34	8,5	48	+ 2,5	+ 20	28

Jetzt will ich auf die Resultate einer eingehenden Untersuchung eines Paares schädlich wirkender Salze näher eingehen.

Dieselbe wurde unter meiner Leitung von Herrn Friesen ausgeführt, und zwar nach dem Vorbilde der oben beschriebenen Versuche mit einem Paare entgegengesetzt wirkender Substanzen.

Die Resultate dieser Versuche sind in den Tabellen XXXIV, XXXV und XXXVI sowie in den Graphen 4, 5 und 6 zusammengestellt. Aus der Tabelle XXXIV ersehen wir, daß in Gemischen mit gleichbleibenden Mengen des Magnesiumsulfates und wechselnden Dosen des Nickelchlorides eine Übereinstimmung der Zuwüchse entweder mit den Zuwüchsen in einfacher Lösung des NiCl_2 , wenn letzteres in dem Gemische vorherrschte, oder mit den Zuwüchsen in der Lösung des MgSO_4 , falls die Konzentration des NiCl_2 bis zu 0,0025 N vermindert wurde, beobachtet wurde. Ein derartiges Resultat der Experimente würde an die oben beschriebenen Fälle des allmählichen Überganges der Vorherrschaft von einem Komponenten des Gemisches zu dem anderen vollkommen erinnern, wenn die Zuwüchse in mittleren Gemischen aus MgSO_4 und mittleren Mengen NiCl_2 der unabhängigen Wirkung beider Salze entsprächen und ihrer Größe nach mit den theoretischen Zuwüchsen übereinstimmten. In diesen mittleren Lösungen wurde jedoch eine so bedeutende Unschädlichmachung der einen Verbindung durch die andere beobachtet, daß wir keine Möglichkeit haben, hier den Moment des Überganges der Vorherrschaft aufzufangen, wie dieses leicht in den Gemischen $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{MgCl}_2$ gelang. Dem ähnliche Erscheinungen wurden auch in allen anderen untersuchten Gemischen von Magnesiumsulfat und Nickelchlorid angetroffen. Die Tabelle XXXV enthält die Resultate der Beobachtungen über das Wachstum in Lösungen gleichbleibender Quantitäten NiCl_2 mit wechselnden Dosen MgSO_4 . In diesem dem vorhergehenden entgegengesetzten Typus von Gemischen näherten sich die Zuwüchse wiederum entweder den Zuwüchsen an der vorherrschenden Lösung MgSO_4 oder den Zuwüchsen in NiCl_2 , wenn letzteres in dem Gemische quantitativ das Übergewicht besaß, während die dazwischen liegenden Konzentrationen wiederum eine scharfe Unschädlichmachung des einen Salzes durch das andere erfuhren, so daß in allen Lösungen die faktischen Zuwüchse die theoretischen bedeutend übertrafen. In der Tabelle XXXVI sind die Daten für äquivalente Gemische beider Salze angeführt. Hier wurde ebenfalls in allen Lösungen eine Unschädlichmachung des einen Salzes durch das andere beobachtet, und zwar in den mittleren Lösungen wiederum eine bedeutendere als in den äußeren, wo die Effekte des Gemisches mit den Effekten des einen vorherrschenden Salzes übereinstimmten.

Somit haben sich das Magnesiumsulfat und das Nickelchlorid als Salze erwiesen, für die es im Gegensatze zu vielen anderen Paaren salzartiger Substanzen nicht gelungen ist, kompensierte Lösungen mit unabhängiger Wirkung beider Verbindungen zu entdecken. Analoge Wechselbeziehungen zwischen Salzen wurden auch in einigen von meinen Versuchen beobachtet, zum Beispiel in den Gemischen $\text{LiNO}_3 + \text{BaCl}_2$, $\text{LiNO}_3 + \text{NiCl}_2$ (Tab. XXII) und $\text{CaCl}_2 + \text{KNO}_3$ (Tab. XXIII), doch gelang es hier dennoch Konzentrationen anzutreffen, in welchen beide Salze wenigstens zum Teil

ihre Befähigung, das Wachstum der Hypokotyle zu hemmen, offenbarten. Da in Lösungen mit scharf ausgeprägter Vorherrschaft des $MgSO_4$ oder des $NiCl_2$ die Wachstumseffekte nahe übereinstimmen mit dem Effekte der vorherrschenden Verbindung, welcher durch den Kation hervorgerufen wurde, der Effekt des untergeordneten Salzes jedoch gänzlich beseitigt wurde, so könnte man meinen, daß

Tabelle XXXVII. Magnesiumchlorid und Natriumnitrat.

No. der Versuche nach Reihenfolge	$H_2O = 100$ mm	Konzentrationen der Salze	$MgCl_2$ %	$NaNO_3$ %	Gemisch %	Abweichungen von der Regel mm	Differenz d. fakt. u. theoret. Zuw. d. Gem. %
290	21,4	0,05	48	45	30	— 3,3	+ 8
291	21,4	0,0375	53	52	38	— 2,1	+ 10
292	21,4	0,025	46	56	46	— 0,0	+ 20
293	19,3	0,0125	74	83	72	— 0,4	+ 11
294	19,3	0,00625	88	89	82	— 1,2	+ 4
295	20,7	0,00312	87	98	91	+ 0,7	+ 6

Tabelle XXXVIII. Natriumchlorid und Lithiumnitrat.

No. der Versuche nach Reihenfolge	$H_2O = 100$ mm	NaCl		$LiNO_3$ 0,01 %	Gemisch %	Abweichungen von der Regel %	Differenz d. fakt. u. theoret. Zuw. d. Gem. %	Theoret. Zuw. des Gemisches %
		Konzentrationen	%					
294	14,6	0,0500	59	79	46	— 1,9	— 1	47
295	19,0	0,0375	62	77	53	— 1,7	+ 2	48
296	18,6	0,0250	69	75	61	— 1,4	+ 9	52
297	18,0	0,0100	82	73	72	+ 0,1	+ 14	58
298	21,5	0,0050	85	75	75	+ 0,0	+ 11	64
299	19,5	0,0025	99	77	81	+ 0,7	+ 5	76
300	18,0	0,0010	98	73	80	+ 1,1	+ 9	71

in mittleren Gemischen mit mehr ausgeglichenen Mengen der Kationen und Anionen beider Salze die positiv wirkenden Anionen in den Vordergrund treten, deren Befreiung aus der Macht der Kationen eben eine Erhöhung der Wachstumsenergie hervorrief. Schon weiter oben bei der Analyse der Wechselbeziehungen zwischen den Komponenten in Gemischen von Ammoniumsulfat mit $MgCl_2$, $NaCl$, KBr , KCl , KNO_3 und KJ wies ich auf die Möglichkeit derartiger Erscheinungen in gemischten Lösungen hin.

Zu dem Gesagten füge ich hinzu, daß es in den Versuchen des Herrn Friesen gelungen ist, ein paar schädlich wirkende Substanzen mit entgegengesetztem Charakter der Wechselbeziehungen zwischen denselben eingehend zu untersuchen. Nämlich in den Gemischen $\text{MgCl}_2 + \text{NaNO}_3$, ähnlich wie in den von mir untersuchten Gemischen $\text{CoCl}_2 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, erwiesen sich beide Salze als soviel unabhängig voneinander in allen Konzentrationen, daß die Effekte der Gemische fast mit den Größen der theoretisch berechneten Zuwüchse übereinstimmten. Die Daten dieser Versuche sind von mir in der Tabelle XXXVII zusammengestellt, welche ohne weitere Erklärungen verständlich ist. In den Versuchen des Herrn Gezewiez wurde ebenfalls ein Paar schädlicher Substanzen ($\text{NaCl} + \text{LiNO}_3$) beobachtet, in welchen die volle Vorherrschaft des LiNO_3 allmählich, nach Maßgabe der Erhöhung der Konzentrationen des NaCl , durch die vollkommen unabhängige Wirkung beider Salze auf die Pflanze ersetzt wurde (Tab. XXXVIII).

Bis hierher ließ ich mich in meinen Erwägungen über die Wirkung der Ionen von der Voraussetzung leiten, daß die Ionen einfacher Lösungen denselben Gesetzen unterworfen seien wie die Komponenten zweifacher Gemische. Diese Voraussetzung hat jedoch ebensoviel Grund unter sich wie die Voraussetzung von der Unterwerfung komplizierterer, zum Beispiel dreifacher, Gemische unter dieselben Regeln, welche von mir für Gemische aus zwei salzartigen Substanzen festgesetzt worden waren. Wenn es gelingen sollte, zu zeigen, daß es möglich ist, aus den dreifachen Gemischen richtige Schlußfolgerungen über die Wirkung zweifacher Gemische zu ziehen, so würde die Voraussetzung von der Anwendbarkeit derselben Gesetze auf die folgende noch einfachere Kombination der Ionen freilich viel an Wahrscheinlichkeit gewinnen.

Die eingehende Untersuchung dreifacher Gemische war ursprünglich nicht die Aufgabe der vorliegenden Studien. Ich verfüge daher nur über einige wenige vorläufige Versuche, welche teils von mir, teils von meinen Mitarbeitern, den Herren Gezewicz und Friesen, ausgeführt wurden. Diese Versuche geben dennoch die Möglichkeit, einige bestimmte Schlußfolgerungen über den Charakter der Wechselbeziehungen zwischen den Komponenten dreifacher Gemische zu ziehen.

In meinen eigenen Versuchen mit dreifachen Gemischen kombinierte ich eine zuvor zubereitete zweifache Lösung äquivalenter Mengen von Ammoniumsulfat und Magnesiumchlorid in verschiedenen Konzentrationen mit Natriumnitrat in der beständigen Konzentration 0,025 N. Der Effekt der verwendeten zweifachen Lösung wurde von mir bedingungsweise als Effekt einer einfachen Lösung angenommen, ähnlich wie in den Versuchen mit zweifachen Gemischen die kombinierten Effekte des Kationen und Anionen jedes Salzes stets als ordinäre Effekte des Salzes betrachtet wurden und den Salzen die Fähigkeit zugesprochen wurde, in Wechselwirkung miteinander zu treten, obgleich die Urheber derselben zweifellos die einzelnen Ionen waren.

Tabelle XXXIX. Dreifache Gemische.

No. d. Versuche nachd. Reihenr.	Versuchsdauer in Stunden	H ₂ O = 100 mm	(NH ₄) ₂ SO ₄ + MgCl ₂			NaNO ₃ 0,025		Dreifach. Gemisch		Abweichungen von der Regel, mm	Differenz d. fakt. u. theoret. Zuw. d. Gem., %	Theor. Zuwachs d. Gemisches, %
			Konzentra- tionen	mm	%	mm	%	mm	%			
301	15	17,3	0,05	9,1	53	12,1	70	4,9	29	- 4,2	- 8	37
302	15	17,3		14,3	83	12,1	70	9,8	57	- 2,3	- 1	58
303	15	17,5		13,0	75	12,0	69	8,9	51	- 2,1	- 1	52
304	15½	18,0	0,0189	12,8	71	11,7	65	8,9	49	- 2,8	+ 3	46
305	15	17,5		14,3	82	12,1	69	11,2	64	- 0,9	+ 7	57
306	15½	18,0		13,6	76	11,7	65	10,6	59	- 1,1	+ 10	49
307	15	17,4	0,0125	13,5	77	12,1	70	11,2	65	- 0,9	+ 11	54
308	16	19,5		17,0	86	14,6	74	14,1	71	- 0,5	+ 7	54
309	15	17,3		15,0	87	12,1	70	12,0	69	- 0,1	+ 8	61
310	15½	18,0	0,0125	15,7	87	11,7	65	11,7	65	- 0,0	+ 8	57
311	15	17,4		15,6	89	12,1	70	11,4	66	- 0,7	+ 4	62

Tabelle XXXX. Dreifache Gemische.

No. d. Versuche nachd. Reihenr.	Versuchsdauer in Stunden	H ₂ O = 100 mm	(NH ₄) ₂ SO ₄ + MgCl ₂			NaNO ₃ 0,025		Dreifaches Gemisch		Abweichungen von der Regel, mm	Differenz d. fakt. u. theoret. Zuw. d. Gem., %	Theor. Zuwachs d. Gemisches, %
			Konzentra- tionen	mm	%	mm	%	mm	%			
312	15½	18,0	0,0094	16,6	92	11,7	65	11,9	66	+ 0,2	+ 6	60
313	15	17,4		17,4	100	12,1	70	12,6	72	+ 0,5	+ 2	70
314	16	19,8		18,0	91	14,6	74	14,4	72	- 0,3	+ 5	67
315	15	17,5	0,00625	17,0	97	12,1	69	11,5	66	- 0,6	- 1	67
316	16	19,8		19,8	100	14,6	74	15,3	77	+ 0,7	+ 3	74
317	16	17,3		16,7	97	12,1	69	12,6	73	+ 0,5	+ 4	68
318	15	17,8	0,003125	17,6	99	11,9	67	11,7	66	- 0,2	+ 0	66
319	15	17,4		16,5	95	12,1	70	11,0	63	- 1,1	- 2	65
320	16	19,8		19,6	99	14,6	74	14,8	75	+ 0,2	+ 2	73
321	15	17,4	0,00156	16,6	95	12,1	70	11,2	64	- 0,9	- 2	66
322	16	19,8		20,0	100	14,6	74	14,3	72	- 0,3	- 2	74

Tabelle XXXXI. Das dreifache Gemisch: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{NaCl} + \text{LiNO}_3$.
Zuwüchse in Millimetern, die Mittleren aus zwei Kulturen.

No. d. Versuche nach d. Reihenft.	Versuchsdauer in Stunden	H_2O = 100		LiNO_3		$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$		NaCl		$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ + LiNO_3		$\text{NaCl} + \text{LiNO}_3$		$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4, \text{NaCl}$ + LiNO_3	
		mm	Kon- zentra- tionen	mm	Abweichgn. v. d. Regel mm	mm	Abweichgn. v. d. Regel mm	mm	Abweichgn. v. d. Regel mm	mm	Abweichgn. v. d. Regel mm	mm	Abweichgn. v. d. Regel mm	mm	Abweichgn. v. d. Regel mm
323	15	18,2	0,05	7,15	+ 6,2	20,3	+ 2,7	14,9	+ 6,2	9,9	+ 2,7	8,25	+ 1,1	8,75	+ 1,6
324	15	18,5	0,0375	8,45	+ 7,4	21,1	+ 3,4	14,85	+ 7,4	11,85	+ 3,4	9,1	+ 0,7	11,45	+ 3,0
325	15	17,0	0,025	8,55	+ 6,5	20,15	+ 5,5	12,7	+ 6,5	14,0	+ 5,5	9,5	+ 0,9	12,4	+ 3,9
326	15	17,9	0,010	12,95	+ 8,1	21,0	+ 7,5	14,5	+ 8,1	20,45	+ 7,5	13,2	+ 0,3	17,45	+ 4,5
327	16	20,8	0,005	17,0	+ 6,4	24,5	+ 9,3	16,4	+ 6,4	26,3	+ 9,3	17,2	+ 0,8	24,7	+ 8,3

No. d. Versuche nach d. Reihenft.	Versuchsdauer in Stunden	$\text{H}_2\text{O} = 100$		Kon- zentrationen	%	Differenz d. fakt. u. theoret. Zuwüchse d. Gemische, %	%	Differenz d. fakt. u. theoret. Zuwüchse d. Gemische, %	%	Differenz d. fakt. u. theoret. Zuwüchse d. Gemische, %	%	Differenz d. fakt. u. theoret. Zuwüchse d. Gemische, %
		mm	mm									
323	15	18,2	0,05	39,5	135	+ 1,5	54,5	+ 1,0	45,5	+ 15,5	48,0	+ 5,0
324	15	18,5	0,0375	45,5	130,5	+ 9,0	64,0	+ 4,5	49,0	+ 12,5	62,0	+ 13,5
325	15	17,0	0,025	52,0	134,5	+ 18,5	82,5	+ 13,0	56,0	+ 17,0	73,0	+ 22,0
326	15	17,9	0,010	72,0	133,5	+ 8,0	114,0	+ 18,0	74,5	+ 15,0	97,9	+ 20,0
327	16	20,8	0,005	82,0	131,0	+ 14,5	122,0	+ 14,5	83,0	+ 18,0	119,0	+ 34,0

Die Versuche rechtfertigten voll und ganz die Erwartung, daß sich die Elemente der komplizierten Gemische ihrerseits den früher festgesetzten gesetzmäßigen Wechselbeziehungen zwischen einander unterwerfen. Es ist mir nämlich gelungen, auch in dreifachen Gemischen die gewöhnlichen Veränderungen der Wechselwirkungen im Zusammenhange mit den Veränderungen in dem quantitativen Verhältnisse der Bestandteile der Lösung wahrzunehmen. Wie aus den hier beigefügten Tabellen der Versuche (Tab. XXXIX und XXXX) zu ersehen ist, bewahrte das zweifache Gemisch seinen selbständigen Einfluß auf die Pflanze in Konzentrationen, welche denjenigen des Natriumnitrats nahe kommen, während die Vorherrschaft des NaNO_3 unvermeidlich die volle Beseitigung der Effekte der $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{MgCl}_2$ nach sich zog, im Einklange mit den Anforderungen unserer dritten Regel, welche für Gemische aus negativ wirkenden Verbindungen die Vorherrschaft des einen starkwirkenden Komponenten voraussetzt.

Somit hat sich die Kombination aus sechs verschiedenen Ionen als fähig erwiesen, dieselben gesetzmäßigen Wechselwirkungen zu entfalten, welche von mir für zweifache Gemische festgesetzt worden waren.

Zu demselben Schlusse führen auch die Daten aus den Versuchen des Herrn Gezewicz, welchem ich die Untersuchung des Wachstumsganges in dem dreifachen Gemisch: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{NaCl}_2 + \text{LiNO}_3$ (Tab. XXXXI) übertragen hatte.

Das dreifache Gemisch aus diesen Salzen kann man als ein zweifaches Gemisch aus gleichbleibenden Mengen Ammoniumsulfat und der zweifachen Lösung ($\text{NaCl} + \text{LiNO}_3$) ansehen. Diese letztere hemmte das Wachstum in allen ihren Konzentrationen, während das $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ eine schroffe Wachstumserhöhung hervorrief. Wir hatten es in den Versuchen folglich mit einem zweifachen Gemisch entgegengesetzt wirkender Verbindungen zu tun. Wir wissen, daß für ein derartiges Gemisch, im Zusammenhange mit dem quantitativen Verhältnis beider Komponenten zueinander, Übergänge von der vollen Vorherrschaft des schädlichen Salzes bis zur vollen Beseitigung desselben Komponenten zu erwarten sind. In den Versuchen wurde auch in der Tat dieser Übergang der Vorherrschaft von einem Komponenten zum anderen beobachtet, wie es aus der folgenden Zusammensetzung der Daten zu ersehen ist:

Lösungen	$\text{NaCl} + \text{LiNO}_3$	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	$\text{NaCl}_2 + \text{LiNO}_3$ und $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
	49	135	48
Zuwüchse	49	131	62
	56	135	73
in %	75	134	98
	83	131	119

Ein vollkommen analoges Resultat ergibt sich auch in dem Falle, wenn man das verwendete dreifache Gemisch als aus äquivalenten Mengen $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{NaCl}]$ und mit wechselnden Konzentrationen des LiNO_3 zusammengesetzt betrachtet. Die gemischte Lösung aus Ammoniumsulfat und Natriumchlorid rief eine Erhöhung der Wachstumsenergie um 12—19% hervor, während die Lösung des Lithiumsalzes in allen untersuchten Konzentrationen das Wachstum hemmte. Das Gemisch war folglich eine Kombination entgegengesetzt wirkender Verbindungen, und für eine solche haben wir, nach den Beobachtungen über zweifache Gemische zu urteilen, wiederum mit Recht Übergänge der Vorherrschaft vom negativen zum positiven Komponenten zu erwarten. Das Experiment bestätigt voll und ganz diese Mutmaßung:

Lösungen	LiNO_3	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{NaCl}$	LiNO_3 und $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{NaCl}$
	40	112	48
Zuwüchse	46	114	62
	52	119	73
in %	72	117	98
	82	118	119

Dasselbe dreifache Gemisch kann man schließlich auch als ein zweifaches Gemisch, aus dem schädlich wirkenden Natriumchlorid und der Lösung $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{LiNO}_3$ bestehend, ansehen, welche letztere in starken Konzentrationen das Wachstum hemmte, in den schwachen jedoch die Energie der Entwicklung erhöhte. Entsprechend unseren Regeln über die Wechselwirkung der Komponenten in gemischten Lösungen, müssen wir in den starken Konzentrationen dieser dreifachen Lösung eine Übereinstimmung der Zuwüchse in derselben mit den Zuwüchsen in der Lösung des starkwirkenden schädlichen Komponenten erwarten, in den schwachen Konzentrationen jedoch — den Übergang der Vorherrschaft von der negativen Verbindung zur positiven. Sowohl die eine als auch die andere Erscheinung wurden in der Tat in den Versuchen beobachtet, wie aus der folgenden neuen Zusammenstellung der Daten zu ersehen ist:

Lösungen	NaCl	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{LiNO}_3$	NaCl und $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{LiNO}_3$
	82	55	48
Zuwüchse	80	64	62
	75	83	73
in %	82	114	98
	79	122	119

In den Versuchen des Herrn Friesen wurde das dreifache Gemisch aus äquivalenten Mengen Ammoniumnitrat, Magnesiumsulfat und Nickelchlorid untersucht (Tab. XXXXII). Das Nickelchlorid erwies sich in allen bedeutenderen Konzentrationen als ein derartig starkwirkender Komponent, daß er leicht die Effekte der übrigen Salze unterdrückte, in welche Kombinationen die letzteren mit dem ersteren nicht eingingen. Deshalb erwiesen sich die Größen der Zuwüchse in den Lösungen: NiCl_2 , $\text{NiCl}_2 + \text{NH}_4\text{NO}_3$, $\text{NiCl}_2 + \text{MgSO}_4$ und $\text{NiCl}_2 + \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{MgSO}_4$ in der Mehrheit der Fälle als so nahe miteinander übereinstimmend, daß es möglich war, die Wirkung des dreifachen Gemisches mit gleichem Erfolge

Tabelle XXXXII.

Das dreifache Gemisch: $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{MgSO}_4 + \text{NiCl}_2$.

No. d. Versuche nach d. Reihenfolge	$\text{H}_2\text{O} = 100$ nach 15 Stdn.	Konzentration der Salze	NH_4NO_3 0 0	MgSO_4 0 0	NH_4NO_3 + MgSO_4 , 0 0	Differenz d. fakt. u. theoret. Zuwüchse, 0 0	NiCl_2 , 0 0	NiCl_2 + NH_4NO_3 , 0 0	NiCl_2 + MgSO_4 0 0	NiCl_2 + MgSO_4 + NH_4NO_3 , 0 0	Abweichungen von d. Regel d. dreif. Gem. mm	Differenz d. fakt. u. theoret. Zuwüchse, 0 0	Theor. Zuwachs d. dreif. Gem. %
328	16,8	0,0350	111	52	50	— 8	24	28	23	24	+ 0,1	+ 11	13
329	16,8	0,0300	112	61	58	— 10	29	27	32	30	+ 0,2	+ 10	20
330	17,5	0,0250	108	70	73	— 3	26	32	29	35	+ 1,5	+ 16	19
331	19,5	0,0150	130	82	88	— 19	34	40	39	47	+ 2,5	+ 14	33
332	19,5	0,0100	128	83	90	— 16	39	53	46	45	+ 1,3	+ 4	41
333	18,0	0,0050	124	79	99	+ 1	43	44	51	63	+ 3,6	+ 21	42
334	18,0	0,0025	122	84	116	+ 14	57	57	58	72	+ 1,8	+ 13	59
335	21,9	0,0015	126	90	118	+ 5	60	79	82	87	+ 5,8	+ 19	68
336	20,7	0,0005	117	87	100	— 2	74	83	90	90	+ 3,4	+ 15	75

nach einer beliebigen Kombination der Komponenten miteinander voraus zu sagen.

Eine analoge Erscheinung wurde auch in meinen Versuchen mit vielfachen Gemischen aus Chloriden beobachtet. Wie aus der Tabelle XXXXIII zu ersehen ist, wurden die Chloride in gemischter Lösung leicht unschädlich gemacht, jedoch stets auf eine solche Weise, daß der schädlichste Komponent jedes Gemisches die Wirkung der Lösung bestimmte, indem er die Effekte der übrigen Komponenten vollständig paralyisierte. Dieser Umstand gibt mir die Überzeugung, daß die Paralisationserscheinungen nicht in einen ursächlichen Zusammenhang mit der Verminderung der Dissoziation der verwendeten Verbindungen zu bringen sind, obgleich in den Gemischen aus Salzen mit gemeinsamem Anion eine Formierung nichtdissoziierter Moleküle auch zu erwarten war. Die Übereinstimmung der Zuwüchse in gemischten Lösungen mit den Zuwüchsen in den Lösungen des einen starkwirkenden Komponenten ist vom

Standpunkte der Dissoziationstheorie aus wenig verständlich, umsomehr, als die Versuche mit stark verdünnten äquivalenten Lösungen der Elektrolyten angestellt wurden, in welchen nur eine sehr unbedeutende Veränderung des Dissoziationsgrades der einzelnen Substanzen eintreten konnte. Das Vorhandensein der Paralysationserscheinungen in Gemischen aus Salzen mit verschiedenen Anionen zwingt mich noch mehr, daran zu zweifeln, daß es gelingen sollte, die Übereinstimmung der Effekte in gemischten Lösungen mit den Effekten in einfachen Lösungen durch Veränderungen in dem Bestande der Ionen des komplizierten Substrates zu erklären. Man

Tabelle XXXXIII. Gemische aus Chloriden.

14 Stunden, 20,5° C, H₂O = 18,0 = 100. Konzentrationen der Salze — 0,005 N.

Salze	mm	%	Abweichungen von der Regel, mm	Differenz d. fakt. u. theoret. Zuwächse d. Gem., ‰	Theor. Zuwachs d. Gem., ‰
KCl	17,7	98	—	—	—
KCl + NaCl	18,4	102	+ 1,4	+ 10	92
NaCl	17,0	94	—	—	—
KCl + NaCl + LiCl	15,0	84	+ 0,7	+ 14	74
LiCl	14,3	80	—	—	—
KCl + NaCl + LiCl + MgCl ₂	13,0	72	— 0,4	+ 17	55
MgCl ₂	13,4	74	—	—	—
KCl + NaCl + LiCl + MgCl ₂ + MgCl ₂ + CaCl ₂ . .	12,6	70	+ 0,2	+ 32	38
CaCl ₂	12,4	69	—	—	—
KCl + NaCl + LiCl + MgCl ₂ + CaCl ₂ + BaCl ₂ . .	10,8	60	+ 1,1	+ 40	20
BaCl ₂	9,7	54	—	—	—
MgCl ₂ + CaCl ₂ + BaCl ₂ . .	9,6	53	— 0,1	+ 25	28

könnte hier allerdings vermuten, daß in den Gemischen doppelte oder Komplexsalze entstehen, die physiologisch passiv und zur Dissoziation wenig befähigt sind, doch stößt auch diese Vermutung auf ernste Widerlegungen. Denn dieselbe erklärt nicht, wie auch im vorhergehenden Falle, die Übereinstimmung der Effekte der Gemische mit den Effekten der vorherrschenden Verbindung; die geringfügigkeit der Konzentrationen der untersuchten Elektrolyten erlaubt es aber nicht, zu erwarten, daß sich in den Lösungen die nichtdissoziierten Moleküle in großen Mengen anhäufen sollten. Noch weniger vereinbar mit der erwähnten Vermutung ist der Um-

stand, daß wir, infolge der Erscheinungen der gegenseitigen Paralysation, inbezug auf jedes Paar Salze in den Gemischen zwei typische Komplexe mit entgegengesetztem quantitativen Verhältnis der Komponenten suchen müssen, zum Beispiel — $5 \text{MgCl}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ und $\text{MgCl}_2 + 5 (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Endlich ist nicht außer acht zu lassen, daß die Beseitigung der Effekte des einen Salzes durch die Effekte

Tabelle XXXIV. Paralysation des Ammoniumrhodanat.
14 Stunden; 20°C ; $\text{H}_2\text{O} = 19,8$ und $18,1 = 100$.

NH_4CNS 0,0025	Zweites Salz			Gemisch		Abweichungen von der Regel, mm	
	Konzentrationen	mm	%	mm	%		
$\text{NH}_4\text{CNS} = 21,9 = 111$	NaNO_3	0,05	8,9	45	9,0	47	+ 0,1
		0,025	12,3	62	12,9	66	+ 0,4
		0,015	13,8	69	14,3	72	+ 0,5
	$\text{Co}(\text{NO}_3)_2$	0,05	3,1	16	3,5	18	+ 0,4
		0,025	5,3	27	6,3	32	+ 1,0
		0,015	5,6	28	7,3	37	+ 1,7
$\text{NH}_4\text{CNS} = 22,0 = 120$	KNO_3	0,05	9,6	53	9,7	54	+ 0,1
		0,025	12,3	68	14,7	81	+ 2,4
		0,015	14,4	79	16,4	91	+ 1,2
	$\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$	0,05	3,2	18	4,1	23	+ 0,9
		0,015	6,1	34	8,2	46	+ 2,1
		0,015	7,9	44	10,2	56	+ 2,3
	RbCl	0,05	9,7	54	10,3	57	+ 0,6
		0,025	12,2	68	16,1	89	+ 3,9
		0,015	15,1	83	20,2	112	+ 5,1

des andern wenig von dem qualitativen Bestande der Lösungen abhängt. Wir haben oben gesehen, daß sich die verschiedenartigsten Gemische schädlichwirkender Salze untereinander und durcheinander unschädlich machten. Ebenso wurde das Ammoniumsulfat durch alle untersuchten Salze paralysiert. In den Tabellen XXXIV und XXXV sind die neuen Versuche gruppiert, welche sehr anschaulich dartun, daß, wie das $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, auch das NH_4NO_3 und NH_4CNS leicht durch verschiedene Salze paralysiert werden.

Nach allen dargelegten Tatsachen und Erwägungen müssen wir also anerkennen, daß die oben erwähnten Wechselwirkungen zwischen den Komponenten gemischter Lösungen nicht so viel durch die physikalisch-chemischen Eigenschaften der einzelnen Verbindungen bestimmt werden, als durch die Masse der vorherrschenden Verbindung in jeder Lösung. Dieser Umstand ist meiner Ansicht nach bei dem Versuche einer theoretischen Erklärung der Paralytationserscheinungen zu allererst in Betracht zu ziehen.

Die einfachste und wahrscheinlichste Erklärung des oben dargelegten Verhaltens der Pflanzen den Lösungen verschiedener salzartiger Substanzen gegenüber kann man vom Standpunkte des be-

Tabelle XXXV. Aluminiumchlorid und Ammoniumsalze.
21° C; 14 Stunden; H₂O = 16,8 mm = 100.

No. d. Versuche nachd. Reihenf.	Ammoniumsalze			Al ₂ Cl ₆			Gemisch		Abweichungen von d. Regel, o/o	Differenz d. fakt. u. theoret. Zuw., o/o	Theor. Zuwachs d. Gemisch., o/o
	Konzentrationen	mm	%	Konzentrationen	mm	%	mm	%			
337	(NH ₄) ₂ SO ₄ 0,0025	21,8	130	0,05	5,9	35	6,9	41	+ 1,0	— 5	46
338		21,8	130	0,025	8,9	53	8,9	54	+ 0,0	— 15	69
339		21,8	130	0,0125	10,3	61	11,6	69	+ 1,3	— 10	79
340	NH ₄ NO ₃ 0,0025	21,6	129	0,05	6,0	35	7,4	44	+ 1,5	— 1	45
341		21,6	129	0,025	8,9	53	10,0	60	+ 1,1	— 8	68
342		21,6	129	0,0125	10,3	61	11,8	70	+ 1,5	— 9	79
343	NH ₄ CNS 0,0025	21,2	126	0,05	6,1	36	7,2	43	+ 1,4	— 2	45
344		21,2	126	0,025	8,9	53	9,9	60	+ 1,0	— 7	67
345		21,2	126	0,9125	10,3	61	11,7	70	+ 1,4	— 7	77

kannten Weber-Fechnerschen Gesetzes aus geben, insofern der Einfluß der Ionen auf das Wachstum als auf eine Reizung des lebendigen Protoplasten durch dieselben hinausläuft.

Laut diesem Gesetze müssen die Effekte der Reizung, infolge der allmählichen Ermüdung des Protoplasten, mit der Erhöhung der Konzentration des Reizstoffes immer weniger und weniger den Mengen der wirkenden Substanz entsprechen, so daß wir zum Beispiel bei der Veränderung der Konzentration des Reizstoffes nach der geometrischen Progression eine Veränderung der Wachstumsenergie nur nach der arithmetischen Progression zu erwarten haben, und auch dieses nur bis zu einer gewissen Grenze.

Eine derartige Erscheinung wurde in meinen Versuchen wirklich beobachtet, wie aus den Graphen und Tabellen der Zu-

wüchse in allen einfachen Lösungen der Salze in verschiedenen Konzentrationen zu ersehen ist (siehe die Tabellen). Überall veränderten sich die Effekte der Salze so langsam, daß aufeinanderfolgende Konzentrationen fast übereinstimmende Zuwüchse ergaben. Zu gleicher Zeit ist es gelungen, durch Versuche zweifelsohne festzustellen, daß die Paralysation der Effekte einer beliebigen in nicht großer Dosis verwendeten Verbindung durch jedes andere Salz, von seiner Zusammensetzung fast unabhängig, hervorgerufen wurde, wenn dieses Salz in der Lösung nur in genügender Menge vorhanden war. Die Tatsachen sowohl der einen wie der anderen Art lassen sich miteinander kombinieren. In der Tat, wenn die Paralysation zu allererst durch die Quantität und nicht durch die Qualität der wirkenden Substanz bestimmt wird, so könnte man denken, daß wir es in Gemischen aus zwei und mehr Reizstoffen mit denselben Ermüdungserscheinungen zu tun haben, wie in den einfachen Lösungen. Die Summierung der Effekte beider Salze könnte hier nur im Falle verhältnismäßig naher Lösungen zustande kommen, während wir in Gemischen mit bedeutenden Mengen des einen der Salze, falls dasselbe befähigt ist, den Protoplasten zu ermüden, ein inertes Verhalten des letzteren zum zweiten untergeordneten Komponenten des Gemisches erwarten sollten. Der zweite Komponent würde hier nur in dem unbedeutenden Maße wirken, in welchem eine um etwas vermehrte Quantität des ersten Komponenten wirken würde. Die Effekte des Gemisches würden hier, folglich, ebenfalls mit den Effekten der vorherrschenden Verbindung übereinstimmen, wie auch die Effekte zweier aufeinander folgender Konzentrationen eines jeden Reizstoffes in genügend erhöhten Dosen übereinstimmen.

Diese Erwägungen würden fast die ganze Gesamtheit der oben dargelegten Daten von einem gemeinsamen Standpunkte aus befriedigend erklären, wenn man die negativ wirkenden Substanzen ohne weitere Zweifel als solche Stimulanten der Wachstumsprozesse ansehen könnte, zu welchen der ermüdete Protoplast früher oder später indifferent wird, indem er in Lösungen dieser Substanzen dieselben Zuwüchse wie in reinem Wasser hervorbringt. Wir haben jedoch Grund, gleichzeitig mit den Reizerscheinungen auch eine rein toxische Wirkung der salzartigen Substanzen zu vermuten, welche kaum eine zeitweilige sein dürfte. In diesem Falle müßte für alle Prozesse der Unschädlichmachung der Salze durcheinander natürlich ein ganz anderer Ursprung gesucht werden. Die Toxizität vieler Kationen, besonders der Kationen der schweren Metalle, tritt in den Erscheinungen der teilweisen Beschädigung und Absterbens der Keimlinge so anschaulich zu Tage, daß sie kaum in Zweifel gezogen werden kann. Indessen wird die Unschädlichmachung auch in Gemischen aus Salzen mit ähnlichen Kationen beobachtet. Diese Zweifel gewinnen um so mehr an Wahrscheinlichkeit, als sich das langsame Sinken der Konzentrationswachstumskurven in Lösungen negativ wirkender Substanzen ganz unabhängig von den Erscheinungen erklären läßt, welche durch das Weber-Fechnersche Gesetz konstatiert werden. Wir wissen be-

reits, daß infolge der entgegengesetzten Wirkung der Kationen und Anionen in den Lösungen der Salze oft solch unbedeutende Modifikationen der Wachstumsenergie beobachtet werden, daß man nach denselben unmöglich über den wirklichen Einfluß der einzelnen Ionen auf die Pflanze urteilen kann.

Ich habe den Versuch gemacht, die erwähnten Bedenken zu erläutern, indem ich mich der Erwägung bediente, daß wir, falls die salzartigen Substanzen typische Reizstoffe und nur zur zeitweiligen Einwirkung auf den Protoplasten befähigt sind, bei der Berechnung des Wachstums in zwei Kulturperioden der Hypokotyle am Ende eines jeden Versuches mit einfachen Lösungen dieselbe

Tabelle XXXVI. Ammoniumsulfat.

Erste Periode, 8 Stunden			Zweite Periode, 8 Stunden		
Konzentrationen	mm	%	Konzentrationen	mm	%
H ₂ O	13,0	100	H ₂ O	7,3	100
0,0050	19,5	150	0,0025	7,5	103
0,0100	18,8	144	0,0025	7,0	96
0,0100	18,8	144	0,0050	7,8	108
0,0025	18,8	144	0,0025	6,3	86
0,0050	19,5	150	0,0050	9,4	129
0,0200	18,8	144	0,0100	8,8	120
0,0025	18,8	144	0,0050	10,4	142
0,0050	19,5	150	0,0100	10,0	139

Veränderung der Effekte zu erwarten haben, welche auch in den Fällen der Wechselwirkung der Salze in gemischten Lösungen wahrgenommen wurde.

Die Versuche wurden in der gewohnten Weise ausgeführt, nur in doppelter Anzahl der Kulturen für jede Konzentration zum Zwecke der Bestimmung der Zuwüchse in zwei Perioden der Einwirkung der Salze auf die Pflanze. Am Ende der ersten Periode wurden die Lösungen in etlichen Experimenten erneuert oder durch Lösungen anderer Zusammensetzung ersetzt. In diesen Fällen wurden die Keimlinge aller Kulturen zuvor mit destilliertem Wasser abgespült.

Zuerst betrachte ich einige Versuche mit Abwechslung der Substrate am Ende der ersten Periode der Kultur der Hypokotyle.

In den Versuchen mit den positiv wirkenden $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ und NH_4Cl ist es gelungen, zweifellos Tatsachen zu konstatieren, welche den Anforderungen des Weber-Fechnerschen Gesetzes vollkommen entsprechen. In der ersten Periode der Kultur (Tab. XXXXVI und XXXXVII) ließ sich hier eine sehr bedeutende Erhöhung des Wachstums

Tabelle XXXXVII. Ammoniumchlorid und Magnesiumchlorid.

Salze	Erste Periode, 12 Stunden			Zweite Periode, 14 Stunden			
	Konzentrationen	mm	%	Konzentrationen	mm	%	
H_2O	—	14,8	100	—	11,2	100	
NH_4Cl	0,0025	18,7	120	0,0025	12,3	110	
	0,0050	21,3	144	0,0050	12,1	109	
	0,0075	20,1	135	0,0075	12,8	114	
	0,0100	20,0	134	—	—	—	
	0,0025	18,7	120	0,0050	14,3	128	
	0,0050	21,3	144	0,0075	11,0	99	
	0,0075	20,1	135	0,0100	14,9	133	
MgCl_2	0,0025	12,3	83	0,0025	9,8	88	
	0,0050	12,1	82	0,0050	7,6	69	
	0,0075	11,1	75	0,0075	6,9	61	
	0,0100	10,7	72	—	—	—	
	0,0025	12,3	83	0,0050	7,7	70	
	0,0050	12,1	82	0,0075	6,9	61	
	0,0075	11,1	75	0,0100	8,5	76	
NH_4Cl	0,0025	18,7	120	MgCl_2 } 0,0025	9,5	85	
	0,0050	21,3	144		0,0050	5,8	52
	0,0075	20,1	135		0,0075	6,1	54

unter dem Einflusse der Ammoniumsalze wahrnehmen. Dieser Erhöhung folgte sodann eine typische Ermüdung des Protoplasten. In der zweiten Periode des Wachstums reagierten die Pflanzen schon fast gar nicht auf verminderte Konzentrationen der Reizstoffe, und sogar in den Lösungen der früheren Konzentrationen näherten sich die Zuwüchse der Hypokotyle fast den Zuwüchsen in reinem Wasser.

Die Keimlinge büßten aber dennoch ihre Befähigung zu energischem Wachstum nicht ein. Erhöhte Konzentrationen der Reizstoffe riefen, wie aus den Tabellen zu ersehen ist, in der zweiten Periode der Kultur wiederum dieselbe Erhöhung der Zuwüchse hervor, welche auch in der ersten Periode wahrgenommen worden war.

Aus dem Gesagten geht vollkommen klar hervor, daß die Wachstumshemmung in schwächeren Lösungen der Ammoniumsalze voll und ganz durch den Verlust der Sensibilität seitens des Protoplasten nach der vorhergegangenen Wirkung des Stimulanten hervorgerufen wurde.

In dem parallelen Versuche mit Lösungen des $MgCl_2$ (Tab. XXXVII) wurde die zweite Periode seiner Wirkung von einiger Zunahme seiner negativen Effekte begleitet. Dieses Resultat scheint

Tabelle XXXVIII. Magnesiumchlorid.

Erste Periode, 11 Stunden			Zweite Periode, 11 Stunden			Differenz zwischen den Perioden %
Konzentrationen	mm	%	Konzentrationen	mm	%	
H ₂ O	15,5	100	H ₂ O	8,4	100	—
0,005	12,2	79	0,005	6,1	73	— 6
0,010	11,9	77	0,010	3,7	44	— 33
0,020	10,3	67	0,020	2,5	30	— 37
0,005	12,2	79	0,010	4,1	49	— 30
0,005	12,2	79	0,020	3,8	45	— 34
0,100	11,9	77	0,020	4,0	48	— 29

auf den ersten Blick der Ermüdungstheorie vollständig zu widersprechen, denn der Verlust der Sensibilität für die das Wachstum hemmenden Ionen sollte eine Erhöhung der Zuwüchse bis zu ihrer Übereinstimmung mit den Zuwüchsen in reinem Wasser nach sich ziehen. Verstärkte schädliche Effekte des $MgCl_2$ wurden jedoch auch in dem Falle beobachtet, wenn die Keimlinge zuvor durch Lösungen des Ammoniumchlorides stimuliert worden waren. Hier wurde sogar noch eine intensivere Abschwächung der Wachstumsenergie beobachtet, als in den Lösungen des Magnesiumchlorides. Dieser Umstand erklärt nach meiner Ansicht die Ursache der Erscheinung. Wir wissen, daß die Wirkung des $MgCl_2$ aus den entgegengesetzten Effekten des Kationen und des Anionen zusammengesetzt wird. Die Ermüdung des Protoplasten durch die positive Wirkung des Anionen äußerte sich in dem Versuche in so hohem Maße, daß das Fallen der Effekte des $MgCl_2$ gänzlich der Passi-

vität des Anionen in der zweiten Periode der Wirkung des Salzes auf die Pflanze zuzuschreiben ist. Augenscheinlich wird der Protoplast vom Anionen schneller als vom Kationen ermüdet, was natürlich das Fallen der Zuwachsgrößen zur Folge haben muß, da

Tabelle II. Versuche ohne Substratwechsel.

Lösungen	Erste Periode, 14 Stund.		Zweite Periode, 24 Stund.		Differenz zwischen den Perioden %	
	mm	%	mm	%		
H ₂ O	19,4	100	12,2	100	—	
MgCl ₂	0,005	17,1	88	9,4	77	— 11
	0,010	13,6	70	9,3	76	+ 6
	0,015	12,2	63	9,7	79	+ 16
	0,050	9,2	47	6,0	50	+ 5
CaCl ₂	0,005	12,9	67	12,1	99	+ 33
	0,010	10,7	55	12,1	99	+ 44
	0,015	9,4	48	8,2	67	+ 19
	0,050	3,9	20	5,8	47	+ 27
H ₂ O	16,6	100	12,8	100	—	
NaNO ₃	0,005	16,3	99	13,7	107	+ 8
	0,010	14,4	87	13,8	108	+ 21
	0,020	12,7	77	11,0	85	+ 8
	0,040	10,2	62	11,0	89	+ 27
KCl	0,005	16,9	102	16,9	126	+ 27
	0,010	15,3	93	13,4	105	+ 13
	0,020	14,2	86	10,4	81	— 5
	0,040	10,4	63	9,7	76	+ 13

hierdurch der positive Addent des Summareffektes des Salzes beseitigt wird. Der Kontrollversuch bestätigt vollständig die Richtigkeit dieser Erwägungen über die vorherrschende Wirkung des Kationen Mg in den Lösungen. Denn wenn in der Tat die schädliche Wirkung des MgCl₂ durch die Ermüdung des Protoplasten durch den Ion Cl verursacht wurde, so müßten wir beim Ersetzen

der Lösungen durch stärkere Konzentrationen des $MgCl_2$, in denen der positive Ion befähigt ist, die Keimlinge aufs neue zu stimulieren, wie dieses die Versuche mit erhöhten Dosen des NH_4Cl konstatierten, nicht ein Fallen, sondern sogar einiges Steigen der Zuwüchse erwarten, ungeachtet der vergrößerten Dosis des schädlichen Kationen. Eine solche Erscheinung wurde auch wirklich in allen kurzfristigen Versuchen mit $MgCl_2$ beobachtet, wie aus den Tabellen XXXXVII und XXXXVIII erhellt, welche ohne weitere Erläuterungen verständlich sind.

Tabelle L. Versuche ohne Substratwechsel.

Lösungen	Erste Periode, 12 Stund.		Zweite Periode, 25 Stund.		Differenz zwischen den Perioden %	
	mm	%	mm	%		
H_2O	18,5	100	12,9	100	—	
LCl	0,005	18,3	99	13,5	104	+ 5
	0,010	15,3	83	15,3	119	+ 36
	0,050	10,8	59	9,7	75	+ 16
$CaCl_2$	0,005	12,7	68	10,5	81	+ 13
	0,010	11,9	64	8,8	70	+ 6
	0,050	4,2	23	2,4	18	— 5
$AlCl_3$	0,005	12,6	68	12,3	96	+ 28
	0,010	12,1	65	9,2	71	+ 6
	0,020	11,2	61	7,8	60	— 1

Wenn es also in den angeführten Versuchen nicht gelungen ist, die Ermüdungserscheinungen durch den schädlich wirkenden Kationen zu demonstrieren, so ist es doch jedenfalls gelungen, die Ursache der Paralyse der positiven Effekte der Ammoniumsalze zu zeigen und außerdem die Entstehung der Erscheinungen der Vorherrschaft des Kationen über den Anion in solchen Lösungen der Salze zu erklären, in denen anfänglich eine kompensierte Wirkung ihrer Ionen auf die Pflanze wahrgenommen wurde. Und zwar haben wir gesehen, daß die Vorherrschaft durch die ungleichzeitige Ermüdung des Protoplasten durch die Ionen entgegengesetzter Ladung verursacht wurde. Diese Schlußfolgerung ist um so mehr wahrscheinlich, als es in den langfristigen Versuchen gelingt, zweifellos auch die Ermüdung durch den Kationen zu konstatieren, was die Annäherung der Zuwüchse in den Lösungen zu

den Zuwüchsen in reinem Wasser zur Folge hatte. Die entsprechenden Experimente sind in den Tabellen IL und L gruppiert, welche in dem Maße anschaulich sind, daß sie keines weiteren Kommentars bedürfen.

VI.

Sauerstoff und salzartige Stoffe.

Aus den Ergebnissen der Versuche, welche weiter oben dargelegt wurden, ist zu ersehen, daß Sauerstoff mit geringem Partialdrucke, sowie in Wasser aufgelöster Sauerstoff nur innerhalb eines kurzen Zeitraumes das Wachstum der Pflanzen erhöhen, worauf das Wachstum stets abnimmt. (Siehe p. 12 und 13.)

Tabelle LI. Zuwüchse von *Helianthus annuus* in ‰.

Medium	Erste Periode 8—9 Stunden	Zweite Periode 12—13 Stunden
Atmosph. 760 mm	100	100
„ 160 „	180	105
„ 25 „	166	98
dito	119	77
Wasser	138	125
dito	206	109

Um diese Erscheinungen anschaulicher darzulegen, wurden von mir besondere Versuche mit einwöchentlichen ganzen Keimlingen von *Helianthus annuus* ausgeführt.

Die Keimlinge wurden auf grobem Sande in flachen Tontöpfen gezogen, zu 400—500 Exemplaren in einem jeden. Mittelst reichlicher Wasserbespülung wurden die Keimlinge behutsam mit unbeschädigtem Wurzelsystem aus den Töpfen gehoben, sorgfältig nach Dicke und Größe sortiert und zu Portionen zu je 25—30 vollkommen gleicher Exemplare gruppiert; die weitere Kultur geschah in feuchter Kammer in Porzellanküvetten, welche mit durchlöcherten paraffinierten Brettchen bedeckt wurden, um den Keimlingen eine aufrechte Lage zu geben, indem das Wurzelsystem durch die Öffnungen der Brettchen in den Inhalt der Küvetten gesenkt wurde. Etliche Portionen wurden in mit Brettchen versehene Küvetten so aufgestellt, daß nur das Wurzelsystem ins Wasser getaucht war, während die Hypokotyle in feuchter Atmosphäre blieben. Die übrigen Portionen der Keimlinge wurden einfach in die Küvetten gelegt, ganz untergetaucht und mit paraffinierten Brettchen zugedeckt,

um etwaigen Emporhebungen der Keimlinge über Wasser infolge der beim Wachstum eintretenden geotropischen Krümmungen oder Krümmungen der Kotyledonen vorzubeugen. Während der Sortierung und Messung wurden die Keimlinge in kaltem Wasser aufbewahrt. Die erste Messung geschah durch vorsichtiges Auflegen der noch geraden Hypokotyle auf einige Augenblicke auf ein in halbe Millimeter geteiltes Lineal. Die Länge der Hypokotyle betrug, von der Krümmung der Kotyledonen bis zum Wurzelhalse gerechnet, 70—75 mm. Nach der zweiten Messung am Schlusse der ersten Kulturperiode wurden die Keimlinge hinausgeworfen, da eine genaue Messung der gekrümmten Hypokotyle stets mit Beschädigungen derselben verbunden war. Zur Ermittlung des Zuwachses während der zweiten und dritten Kulturperiode war es daher notwendig, besondere Portionen von gleichartigen Keimlingen, die stets aus ein und demselben Topfe genommen wurden, in den Versuch einzuschließen, welche alsdann am Schlusse der zweiten und dritten Kulturperiode gemessen wurden. Die Zuwüchse für jede Periode wurden hierauf nach der Differenz zwischen den Zuwüchsen für die ganze Zeit und die erste Periode, resp. für die ganze Zeit und die erste und zweite Periode, ausgerechnet.

Als feuchte Kammern dienten große viereckige Zinkteller, welche mit Zinkkasten bedeckt wurden; der innere Raum der letzteren wurde zudem noch mit nassem Filterpapier ausgelegt. Die Versuche wurden im Thermostat bei 20° C ausgeführt, und zwar solcherweise, daß die feuchten Kammern samt Küvetten und Inhalt vor dem Versuch in das Thermostat gestellt wurden, wo dieselben beständige und bestimmte Temperatur annahmen; zudem waren Thermostat und Kammern so eingerichtet, daß die Verteilung der Keimlinge auf die Küvetten nur geringe Zeit in Anspruch nahm.

Ich führe hier die Durchschnittsdaten dreier Versuche an:

Tabelle LII. Zuwüchse der Hypokotyle von *Helianthus annuus* bei 20° C in mm und %.

Versuche	Medium	Erste Periode 14 Stdn.		Zweite Per. 24 Stdn.		Dritte Periode 24 Stdn.		Zusammen	
		mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
I.	Atmosphäre	12,5	100	25,5	100	24,4	100	62,4	100
	Wasser	13,2	105	17,8	70	13,8	57	44,8	—
II.	Atmosphäre	9,8	100	12,0	100	—	—	21,8	100
	Wasser	13,0	134	11,0	92	—	—	24,0	—
III.	Atmosphäre	7,1	100	14,0	100	16,8	100	37,9	100
	Wasser	9,4	132	11,0	80	12,4	74	32,8	—

Aus diesen Daten ersehen wir, daß eine Wachstumserhöhung unter dem Einflusse des aufgelösten Sauerstoffes nur in den ersten Stunden der Versenkung der Keimlinge wahrgenommen wurde. Man kann daher annehmen, daß die Wirkung eines solchen Reizstoffes, wie gelöster Sauerstoff, nur temporär ist infolge des wechselnden Verhaltens des Protoplasten zum Reizstoffe, und daß die Reizung für die Pflanze nicht spurlos vorübergeht, sondern mit einer nachträglichen Abnahme der Wachstumsenergie infolge der Ermüdung des Protoplasten verbunden ist.

Dem ersten der oben erwähnten Versuche wurden außerdem noch zwei Extraportionen von Keimlingen beigelegt, von denen die eine im Laufe der ersten Periode in feuchter Atmosphäre, die andere in Wasser kultiviert wurden. Am Schlusse der ersten Periode wurde ein Wechsel der Medien vorgenommen, so daß diejenigen Keimlinge, die in der ersten Periode an der Luft waren, für die zweite ins Wasser gelegt wurden, und umgekehrt.

Das Untertauchen ins Wasser rief auch in der zweiten Periode eine Wachstumserhöhung hervor, während hingegen eine vorhergehende Untertauchung mit einer nachträglichen Abnahme der Wachstumsenergie verbunden war. Dieses ist aus folgender Übersicht der erhaltenen Daten zu ersehen:

Tabelle LIII. Zuwüchse in mm von *Helianthus annuus*.

Erste Periode			Zweite Periode		Differenz
Medium	14 St.	24 St.	Medium	24 St.	
Atmosph.	12,5	21,4	Atmosph.	25,5	} - 4,0 mm
Wasser	13,2	22,6	„	21,5	
„	13,2	22,6	Wasser	17,8	} + 2,0 mm
Atmosph.	12,5	21,4	„	19,8	

Die Frage über die Ermüdung der Pflanzen unter der Einwirkung von Reizstoffen ist von mir in den Versuchen mit Hypokotylabschnitten von *Helianthus annuus* näher untersucht worden, wobei außer der Wirkung des gelösten Sauerstoffes auch die Wirkung von salpetersauren Ammoniumlösungen in der Konzentration 0,008 N studiert wurde, welche letztere, wie bekannt, nicht nur befähigt ist, die Wachstumsenergie stark zu erhöhen, sondern auch den Sauerstoff als Reizstoff zu vertreten (siehe p. 21, 22 ff.).

Die Hypokotyle, 70 mm lang, wurden unter Wasser zugeschnitten, um Verstopfungen der Gefäße durch die Luft und damit verbundene Störungen in der Aufnahme von Wasser und Salzlösungen durch die Schnittfläche vorzubeugen. Die Versuche wurden in denselben feuchten Kammern im Thermostat bei 20° C ausgeführt; die Keimlinge wurden entweder ganz in die Lösung getaucht oder nur mit ihren unteren Enden mittelst der obenerwähnten durchlöchernten paraffinierten Brettchen. Vor dem Wechsel der Medien am Schlusse

der ersten Periode wurde eine sorgfältige Abspülung der Keimlinge mit destilliertem Wasser vorgenommen. Für jede Kultur gingen zirka 40 Hypokotylabschnitte auf, welche auf je zwei Küvetten verteilt wurden.

In der ersten Kulturperiode teilten sich alle Portionen nach dem Charakter der Medien in vier Gruppen:

- 1) In feuchter Atmosph. mit d. Enden im Wasser;
- 2) „ „ „ „ „ „ „ „ NH_4NO_3 -Lösung;
- 3) ganz im Wasser;
- 4) ganz in NH_4NO_3 -Lösung.

Eine jede dieser Gruppen bestand aus fünf doppelten Portionen von Hypokotylabschnitten, deren eine zur Ermittlung des Zuwachses während der ersten Periode diente, während die übrigen vier nach der Abspülung in neuen Medien nach denselben vier Kategorien verteilt wurden.

In der nebenstehenden Tabelle LIV führe ich die Durchschnittszuwüchse laut Daten von vier gleichen Versuchsserien an, wobei ich die Berechnung der Prozente auf verschiedene Weise vollzog, indem ich als 100 entweder den Zuwachs im Wasser oder den Zuwachs in feuchter Atmosphäre annahm.

Aus dieser Tabelle ersehen wir, daß in der Periode des vorläufigen Aufenthaltes der Keimlinge in normaler feuchter Atmosphäre das Wachstum der Keimlinge am langsamsten vor sich ging, weil jegliche Reizursachen fehlten; dafür erwiesen sich aber diese Keimlinge in der zweiten Kulturperiode als am meisten befähigt, auf die Reizstoffe aller Kategorien zu reagieren, und ergaben maximale Zuwüchse in allen Medien von 11,6—17,6 mm in 23 stündiger Kultur. Die vorhergehende Reizung der Keimlinge in feuchter Atmosphäre durch die NH_4NO_3 -Lösung (zweite Kategorie) läßt sich an der Größe der Zuwüchse in der zweiten Periode schon merken (10,3—15,9 mm); außerdem vermochten die Keimlinge nur noch auf in Wasser gelösten Sauerstoff oder auf vergrößerte Dosen von NH_4NO_3 (Untertauchen in die Lösung) zu reagieren. Noch stärker äußerte sich an den Keimlingen der vorhergehende Aufenthalt im Wasser in Gegenwart von gelöstem Sauerstoff (dritte Kategorie). Die Zuwachsgrößen der Hypokotylabschnitte, welche der Versenkung ins Wasser und folglich auch einer starken Wachstumsstimulation von Seiten des Sauerstoffes unterworfen worden waren, fielen bis auf 9,8—14,7 mm; die Keimlinge hatten ihre Reizbarkeit gegen gelösten Sauerstoff vollständig verloren und reagierten nur noch auf NH_4NO_3 . In der vierten Kategorie schließlich war die vorhergehende gleichzeitige Einwirkung solch starker Reizstoffe, wie gelöster Sauerstoff und NH_4NO_3 , mit einer starken Abnahme der Wachstumsenergie in der zweiten Periode (9,4—9,8 mm) und dem vollständigen Verluste des Reaktionsvermögens auf neue Reizwirkungen von Seiten derselben Reizstoffe verbunden, so daß die durch vorhergehende Reizeinwirkungen ermüdeten Keimlinge in der zweiten Kulturperiode in allen Medien fast gleiche Zuwüchse ergaben.

Auf Grund eines solchen Resultates unserer Versuche gelangen wir zu der Schlußfolgerung, daß, wenn Pflanzen in einem gewissen Entwicklungsmomente der Einwirkung irgend welcher Wachstumserreger ausgesetzt sind, diese Wirkungen nicht spurlos für diese Pflanzen vorübergehen, sondern mit scharf ausgeprägten Ermüdungserscheinungen inbezug auf die weitere Einwirkung des-

Tabelle LIV.

Zuwüchse der Hypokotylabschnitte von *Helianthus annuus* in mm und $\%$, bei 20° C, nach Perioden in verschiedenen Medien.

Nach Bemessung von zirka 2000 Keimlingen.

Erste Periode, 13 Stund.				Zweite Periode, 23 Stund.			
Medien	Zuwüchse			Medien	Zuwüchse		
	mm	$\%$	$\%$		mm	$\%$	$\%$
Atmosphäre	10,0	100		Atmosphäre	11,6	100	100
				Atm. + NH_4NO_3	12,9	111	111
				Wasser	13,8	119	119
				Wasser + NH_4NO_3	17,6	152	152
Atm. + NH_4NO_3 0,008 N	12,1	121		Atmosphäre	10,3	89	100
				Atm. + NH_4NO_3	11,9	102	114
				Wasser	13,9	120	135
				Wasser + NH_4NO_3	15,9	137	154
Wasser	14,7	147	100	Atmosphäre	9,8	85	100
				Atm. + NH_4NO_3	10,8	93	110
				Wasser	10,4	90	106
				Wasser + NH_4NO_2	14,7	127	150
Wasser + NH_4NO_3 0,008 N	20,5	205		Atmosphäre	9,4	81	100
				Atm. + NH_4NO_3	9,8	85	104
				Wasser	9,6	83	102
				Wasser + NH_4NO_3	9,5	82	101

selben Reizstoffes und mit einer Abnahme der Wachstumsenergie in der nachfolgenden Entwicklungsperiode verbunden sind.

Dieser letzte Umstand könnte Veranlassung zu der Annahme geben, daß wir es in unseren Versuchen nicht mit Ermüdungserscheinungen zu tun haben, sondern einfach mit dem Verluste der Fähigkeit zu weiterem Wachstum von Seiten der Pflanzen, zum Beispiel infolge Verbrauches der zum Wachstum notwendigen Ma-

terialien, oder infolge Erreichung derjenigen Dimensionen, welche der Pflanze nach der ganzen Summe ihrer erblichen Eigentümlichkeiten eigen sind. Eine solche Auslegung der Daten ist jedoch inbezug auf meine Objekte nicht gut anwendbar, denn meine Hypokotylabschnitte behielten die Fähigkeit zu weiterem Wachstum und reagierten nach dem Wechsel der Reizstoffe mit voller Energie auf die neue Reizeinwirkung: die Wirkung des Wassers hinderte die Wirkung des NH_4NO_3 nicht, und ebenso hinderte die Wirkung des NH_4NO_3 die Wirkung des Wassers nicht. Da nach der vorhergehenden Reizwirkung eine gewisse Abnahme der absoluten Zuwachsgrößen wahrzunehmen war, so dürfen wir in unseren Versuchen diese Erscheinung natürlich nicht außer acht lassen, umsomehr, als *Helianthus annuus* ein begrenztes Wachstum besitzt; trotzdem bleibt die Tatsache der Ermüdung der Pflanzen durch Einwirkungen des gelösten Sauerstoffes und des NH_4NO_3 unzweifelhaft, und folglich müssen wir auch die Veränderung der Wachstumsenergie in verschiedenen Medien zu allererst der Wirkung dieser Medien, als temporäre Reizstoffe des Protoplasten, zuschreiben.

Die mitgeteilten Daten bieten einen neuen Stützpunkt bei der Auslegung der Resultate der Versuche über die Wirkung salzartiger Stoffe auf das Wachstum.

Betrachten wir zuerst das Verhalten der Pflanzen den wachstumshemmenden Salzen gegenüber.

Wenn solche Stoffe die Rolle temporärer negativ wirkender Wachstumserreger spielen, so muß man erwarten, daß ihre Wirkung infolge unvermeidlicher Ermüdung des Protoplasten mit der Zeit abnehmen wird, so daß wir die stärkste Abnahme der Zuwächse nur in der ersten Periode wahrnehmen werden, während sich später die Wachstumseffekte in Lösungen nicht von den Effekten in reinem Wasser unterscheiden.¹⁾

In den Versuchen gelingt es wirklich, eine solche Änderung der Zuwachsgrößen in verschiedenen Perioden zu beobachten. Als Ergänzung zu den früheren Daten (Tab. II u. L) führe ich hier folgende Beobachtungen über die Wirkung von Calciumchlorid an:

Tabelle LV. Zuwächse nach Perioden in Lösungen von CaCl_2 ; Zuwächse in Wasser für die erste u. zweite Periode = 100.
Helianthus annuus.

Konzentration	Erste Periode		Zweite Periode		
	Versuchsdauer in Stunden	Zuwächse %	Versuchsdauer in Stunden	Zuwächse %	Differenz %
0,008	12	60	21	71	+ 11
0,008	12	62	18	80	+ 18
0,008	12	55	14	46	— 9
0,010	16	64	23	88	+ 24
0,015	16	60	23	75	+ 15
0,020	16	47	23	70	+ 23

¹⁾ Siehe p. 119 und 120.

Häufig muß man jedoch eine Zunahme der schädlichen Wirkung der Salze in der zweiten Kulturperiode konstatieren. Indem ich auf derartige Fälle hinweise, bemerke ich zugleich, daß ich dieselben früher durch eine ungleichzeitige Ermüdung des Protoplasten durch den Anion und Kation der verwendeten Verbindungen (siehe p. 118, 119) erklärte; doch kann man der Erscheinung auch eine andere einfachere Erklärung geben, wenn man die oben dargelegten Daten über die temporäre stimulierende Wirkung des Sauerstoffes der Lösungen gelten läßt. Es ist in der Tat sehr wahrscheinlich, daß wir in der ersten Kulturperiode in Lösungen negativ wirkender Salze die wirklichen Effekte dieser Verbindungen nicht ermitteln können, weil der gelöste Sauerstoff die Wachstumsenergie erhöht und somit die wachstumshemmende Wirkung der Salze mäßigt; in der zweiten Periode hingegen äußern sich die Effekte dieser Salze voll und ganz, da wir es hier schon mit einem Protoplasten zu tun haben, der gegen die Wirkung des Sauerstoffes der Lösungen schon unempfindlich ist. Somit haben wir sogar bei Anwesenheit einer Ermüdung durch negative Salze doch in den Versuchen eine allmähliche Steigerung der hemmenden Effekte dieser Salze von der ersten Periode zur zweiten zu befürchten.

Die Versuche rechtfertigen solche Erwägungen. Wenn wir die Einwirkung gewisser Salze auf die Pflanzen, welche vorher in bezug auf Sauerstoff ermüdet, der Wirkung dieser Salze aber nicht ausgesetzt waren, mit der Einwirkung derselben Salze auf Pflanzen, welche vorher der Einwirkung sowohl des Sauerstoffes, als auch dieser Salze unterworfen worden waren, vergleichen, so werden wir finden, daß die Zuwüchse in der ersten Kategorie der Pflanzen stets niedriger sein werden, als die Zuwüchse in der zweiten Kategorie. Die Differenzen zwischen den Zuwachsgrößen lassen sich nur durch die Annahme erklären, daß die vorhergehende Einwirkung der Salze auf die Pflanzen für diese nicht spurlos vorübergeht, sondern mit einer Verminderung der Reizbarkeit ihres Protoplasten gegen die Wirkung dieser Salze in der zweiten Kulturperiode verbunden ist.

In Tabelle LVI sind die Zuwüchse in Lösungen von Chloriden — LiCl , CaCl_2 und MgCl_2 — angeführt, welche an Pflanzen beobachtet wurden, die vorher der Einwirkung entweder nur des einen in Wasser gelösten Sauerstoffes oder aber der gleichzeitigen Einwirkung sowohl des Sauerstoffes als auch der Chloride in gleichen Konzentrationen, ausgesetzt waren (siehe Seite 128).

Aus diesen Daten ersehen wir, daß diese Salze in der ersten Periode scheinbar schwächer wirkten als in der zweiten. Wenn die Zuwüchse nach vorherrgehendem Aufenthalte im Wasser höher wären, so könnte man dann die in der zweiten Periode beobachtete Steigerung der schädlichen Effekte dem Einflusse der Salze selbst zuschreiben, zum Beispiel infolge allmählich zunehmender Konzentration derselben in den Keimlingen oder infolge Beschädigung des Protoplasten durch anhaltenden Aufenthalt in der Salzlösung. Trotz dem Wechsel der Lösungen am Schlusse der ersten Periode, d. h. trotz Darreichung neuer Mengen von Reizstoffen äußerte sich die Abnahme der Zuwüchse in der zweiten Periode nach vorhergehender

Tabelle LVI. Hypokotylabschnitte von *Helianthus annuus*.
60 mm lang bei 20° C. Zuwüchse in der ersten und zweiten Periode
in H₂O = 100. Nach Bemess. von ca. 2500 Keiml. Am Schlusse
der ersten Periode Abspülung der Keiml. u. Wechsel aller Lösungen.

Erste Periode			Zweite Periode			Differenz
Lösungen	Versuchs- dauer in Stunden	Zu- wüchse %	Lösungen	Versuchs- dauer in Stunden	Zu- wüchse %	
H ₂ O LiCl 0,008 N	12	100 82	LiCl LiCl	18	72 78	+ 6
H ₂ O LiCl 0,008 N	12	100 72	LiCl LiCl	14	50 66	+ 16
H ₂ O CaCl ₂ 0,008 N	12	100 62	CaCl ₂ CaCl ₂	18	63 75	+ 12
H ₂ O CaCl ₂ 0,008 N	12	100 55	CaCl ₂ CaCl ₂	14	30 46	+ 16
H ₂ O CaCl ₂ 0,008 N	12	100 60	CaCl ₂ CaCl ₂	21	23 71	+ 48
H ₂ O CaCl ₂ 0,008 N	12	100 52	CaCl ₂ CaCl ₂	26	35 51	+ 16
H ₂ O MgCl ₂ 0,010 N	14	100 79	MgCl ₂ MgCl ₂	23	60 68	+ 9
H ₂ O MgCl ₂ 0,012 N	14	100 70	MgCl ₂ MgCl ₂	21	50 61	+ 11
H ₂ O MgCl ₂ 0,020 N	13	100 75	MgCl ₂ MgCl ₂	24	41 48	+ 7
H ₂ O MgCl ₂ 0,020 N	11	100 66	MgCl ₂ MgCl ₂	14 ^{1/2}	42 45	+ 3
H ₂ O MgCl ₂ 0,020 N	11	100 64	MgCl ₂ MgCl ₂	13 ^{1/2}	49 53	+ 4
H ₂ O MgCl ₂ 0,010 N	11	100 75	MgCl ₂ MgCl ₂	11	40 50	+ 10

Einwirkung derselben Salze überall schwächer als in den Fällen der Einwirkung derselben Salze auf die Pflanzen nach vorhergehender Kultur in reinem Wasser. Solch ein Charakter der Zuwüchse wird dennoch verständlich, sobald wir annehmen, daß in der ersten Periode die hemmende Wirkung der Salze durch die entgegengesetzte Wirkung des gelösten Sauerstoffes gedämpft wird. Hiermit kommen wir zugleich zu dem Schlusse, daß der Einfluß der wachstumshemmenden Salze mit der Zeit abnimmt, daß sich die Pflanzen an die Lösung gewissermaßen gewöhnen und allmählich ihr Reaktionsvermögen denselben Dosen von Reizstoffen gegenüber verlieren.

Bevor ich meine Betrachtungen über diese Frage abschließe, muß ich noch darauf hinweisen, daß wir in den Kulturen, unabhängig von der Wirkung der Salze auf den Protoplasten als temporäre Reizstoffe, stets mit einer toxischen Wirkung derselben zu rechnen haben, welche sich in der Depression der Zuwüchse infolge Beschädigung des Protoplasten äußert. Diese Beschädigungen der Keimlinge bestehen in teilweiser oder gänzlicher Veränderung der Farbe derselben oder in der Veränderung ihres Turgors, oder sogar in völligem Absterben der Pflanzen, wobei zu bemerken ist, daß eine solche Wirkung nicht nur denjenigen Salzen eigen ist, welche das Wachstum hemmen, sondern auch solchen salzartigen Stoffen, welche eine Erhöhung der Energie dieses komplizierten Prozesses hervorrufen. In allen solchen Fällen kann von einer Abschwächung der toxischen Wirkung bei anhaltender Einwirkung solcher Salzlösungen auf die Pflanze natürlich nicht die Rede sein. Im Gegenteil, ist eine Beschädigung des Protoplasten einmal da, so progressiert sie mit der Zeit mehr und mehr, und ich habe nie beobachten können, daß sich Pflanzen an schädliche Dosen von Salzen, Alkalien oder Säuren gewöhnen lassen. Aus diesem Grunde ist das Studium der oben erwähnten Ermüdungserscheinungen sehr schwierig, da gleichzeitig mit den Erscheinungen der Einbüßung seitens der Pflanzen ihrer Empfindlichkeit bestimmten Dosen dieses oder jenes Reizstoffes gegenüber auch die toxische Wirkung der zu untersuchenden Stoffe zunehmen kann, folglich kann sich auch die Wachstumsenergie verändern, welche wir als Kriterium der Reiz- und Ermüdungserscheinungen benützen. Überhaupt kann man die Wirkung der Salze als Wachstumserreger stets nur unter dem Schleier von Einwirkungen ganz anderer Art studieren, was die Lösung der Frage bedeutend erschwert. Es nicht außer acht zu lassen, daß die salzartigen Stoffe die Pflanzen nicht nur vergiften können, sondern daß sie auch in der Ernährung der Pflanze eine Rolle spielen können, daß sie die Umwandlung der Stoffe und die Tätigkeit der Fermente, die Durchlässigkeit der Zellmembranen, den Turgor der Zellen u. s. w. modifizieren können.

Nun gehe ich zur näheren Untersuchung der Wechselbeziehungen zwischen positiv wirkenden Reizstoffen über: zwischen Sauerstoff und Ammoniumsalzen.

Aus dem Vorhergehenden wissen wir bereits, daß Ammoniumsalze in schwachen Konzentrationen, ihrem Einflusse auf den Wachs-

tumsgang nach, dem Sauerstoffe mit geringem Partialdruck gleichwertig sind. Beide Kategorien von Reizstoffen erhöhen die Wachstumsenergie sehr stark, beide wirken nur im Laufe der ersten 8—12 Stunden und rufen darnach eine Ermüdung der Pflanzen hervor, beide können einander schließlich vertreten als Stoffe (als Reagentien), deren Anwesenheit zur Äußerung des Wachstums notwendig ist (siehe p. 21, 22, Tab. XXXXVI, XXXXVII, LIV). Diese Übereinstimmung der Wirkungscharaktere beider Reizstoffe, die nach ihrer chemischen und physikalischen Natur so verschieden sind, ruft den Gedanken hervor, daß beide Reizstoffe in der Mechanik der Wachstumsprozesse ein und dieselbe bestimmte Rolle spielen, indem sie beide auf ein und dieselbe Gruppe von Eigenschaften des Protoplasten wirken. Bei eingehenderer Untersuchung der Wechselbeziehungen zwischen diesen beiden Reizstoffen gelingt es jedoch, auch einige Verschiedenheiten in dem Verhalten der Pflanzen zum Sauerstoffe und zu den Ammoniumsalzen zu beobachten. Und zwar äußern sich diese Verschiedenheiten in dem Momente, wenn wir es mit einem ermüdeten Protoplasten zu tun haben, der das Reaktionsvermögen weiteren Reizeinwirkungen seitens des Sauerstoffes und der Ammoniumsalze gegenüber verloren hat.

Die Entstehung der Ermüdung durch Einwirkung von Ammoniumsalzen wurde früher nicht eingehend genug von mir untersucht. Beim Untertauchen der Pflanzen in die Lösungen wirken, wie wir jetzt wissen, gleichzeitig sowohl der gelöste Sauerstoff als auch der salzartige Reizstoff. Das inerte Verhalten der Keimlinge in der zweiten Kulturperiode erscheint daher seiner Entstehung nach rätselhaft. Wir wissen nicht, entsteht das Fehlen jeglicher Reaktion auf die Wirkung des Ammoniumsalzes infolge veränderten Verhaltens des Protoplasten zu dieser ganzen Gruppe von Reizstoffen, oder infolge des Verlustes der Reizbarkeit dem Sauerstoffe gegenüber. Ebenso wissen wir nicht mit Bestimmtheit, ob der Protoplast nach Ermüdung durch den einen von den erwähnten Reizstoffen fähig ist, auf den anderen mit seiner früheren Energie zu reagieren.

Diese Fragen habe ich in speziellen Versuchen untersucht. Diese Versuche wurden in der gewöhnlichen Weise mit Hypokotylabschnitten von *Helianthus annuus*, 60 mm lang, zu 40 Exemplaren pro Portion, jede auf zwei Phosphorküvetten verteilt, bei 20° C im Thermostate ausgeführt. Der Wechsel der Lösungen am Schlusse der ersten Periode war mit einer Abspülung der Keimlinge in destilliertem Wasser verbunden. Die Zuwüchse für die erste und zweite Periode in reinem Wasser nehme ich = 100 an. In der Tabelle führe ich nur Daten in Prozenten an.

Aus Tabelle LVII ersehen wir, daß das Verbleiben der Pflanzen im Laufe von 11—15 Stunden in Lösungen von Ammoniumsalzen eine Erhöhung des Wachstums um 33—43 % nach sich zog; dafür verloren aber diese Pflanzen in der zweiten Periode ganz ihr Reaktionsvermögen auf die Einwirkung desselben Reizstoffes und die Zuwüchse in Salzlösungen unterschieden sich wenig von den Zu-

wüchsen in reinem Wasser. Aus den Versuchen erhellt ebenso, daß diese Ermüdung durchaus nicht der gleichzeitigen Wirkung des gelösten Sauerstoffes zuzuschreiben ist. Die vorhergehende Reizung der Pflanzen im Wasser im Laufe von 11—15 Stunden, in welcher Zeit der gelöste Sauerstoff die Pflanzen vollständig ermüden konnte, äußerte sich hernach durchaus nicht an der Reizbarkeit der Pflanzen den Ammoniumsalzen gegenüber; die Pflanzen

Tabelle LVII. Hypokotylabschnitte von *Helianthus annuus* bei 20° C. Zuwüchse im Wasser in der ersten und zweiten Periode = 100. Nach Bemessung von ca. 1200 Keimlingen.

Erste Periode			Zweite Periode		
Lösungen	Stunden	Zuwüchse	Lösungen	Stunden	Zuwüchse
(NH ₄) ₂ SO ₄ 0,010 N H ₂ O	11	133 100	(NH ₄) ₂ SO ₄ 0,010 N	11	97 173
NH ₄ Cl 0,010 N H ₂ O	13	141 190	NH ₄ Cl 0,010 N	24	105 151
NH ₄ NO ₃ 0,008 N H ₂ O	14	142 100	NH ₄ NO ₃ 0,012 N	25	93 149
NH ₄ NO ₃ 0,008 N H ₂ O	14	134 100	NH ₄ NO ₃ 0,012 N	23	90 131
NH ₄ NO ₃ 0,008 N H ₂ O	15	136 100	NH ₄ NO ₃ 0,012 N	24	102 133
NH ₄ NO ₃ 0,008 N H ₂ O	12	143 100	NH ₄ NO ₃ 0,012 N	24	108 154

reagierten nach der Kultur im Wasser mit derselben Energie auf die Ammoniumsalze wie frische Hypokotylabschnitte; oft waren bei ihnen sogar höhere Zuwüchse zu beobachten als an frischen Keimlingen in der ersten Periode unter dem Einflusse der Ammoniumsalze in denselben Konzentrationen.

Somit gelangen wir zu der Schlußfolgerung, daß, wenn der Sauerstoff und die Ammoniumsalze inbezug auf Charakter und Dauer ihrer Wirkung auf das Wachstum einander auch sehr ähnlich sind und einander sogar vertreten können, die Pflanzen sich dennoch unabhängig und verschieden zu einem jeden dieser Reizstoffe verhalten, so

daß die Pflanzen nach der Ermüdung durch einen dieser Reizstoffe ihre Wachstumsenergie unter dem Einflusse des anderen wiederum erhöhen können. Ein solches Verhalten der Pflanzen zu den Wachstumserregern scheint mir sehr zweckentsprechend zu sein, wenn man die Voraussetzung gelten läßt, daß die Reizwirkung eine der notwendigen Bedingungen zum Zustandekommen der Wachstumsprozesse ist.

Die schnelle Ermüdung des Protoplasten durch die Wirkung der Reizstoffe würde stets zu einem Stillstande des Wachstums führen, wenn die Pflanzen nicht die Fähigkeit besäßen, einen jeden der ähnlich wirkenden Reizstoffe einzeln und nacheinander auszunützen und nach der Ermüdung durch den einen derselben auf den andern zu reagieren.

Wahrscheinlich ist von diesem Standpunkte aus auch die zweifellose Tatsache zu beurteilen, daß die vorhergehende Einwirkung auf die Pflanze von Seiten wachstumshemmender Lösungen verschiedener salzartiger Stoffe die Effekte der Ammoniumsalze durchaus nicht schmälert. Ich führe hier einige Versuche mit CaCl_2 und MgCl_2 an:

Tabelle LVIII. *Helianthus annuus* bei 20°C .
Nach Bemessung von zirka 1100 Exemplaren.

Erste Periode			Zweite Periode		
Lösungen	Versuchsdauer in Stunden	Zuwüchse %	Lösungen	Versuchsdauer in Stunden	Zuwüchse %
NH_4NO_3 0,008 N H_2O CaCl_2 0,008 N	12	120 100 60	NH_4NO_3 0,008 N	21	99 122 149
NH_4NO_3 0,008 N H_2O CaCl_2 0,008 N	12	133 100 52	NH_4NO_3 0,008 N	26	105 144 185
NH_4Cl 0,020 N H_2O MgCl_2 0,020 N	11	132 100 64	NH_4Cl 0,020 N	14	114 154 150
NHCl_4 0,012 N H_2O MgCl_2 0,012 N	14	138 100 70	NH_4Cl 0,012 N	21	71 137 137

In diesen Versuchen ist das Augenmerk zu allererst auf die Wirkung des NH_4Cl nach vorhergehender Einwirkung des MgCl_2

Tabelle LIX. *Helianthus annuus* bei 20° C;

Zuwüchse in der ersten und zweiten Periode in Wasser = 100;
Abspülung der Keimlinge und Wechsel der Lösungen am Schlusse
der ersten Periode.

Nach Bemessung von zirka 2000 Hypokotylabschnitten.

Erste Periode			Zweite Periode		
Lösungen	Versuchsdauer in Stunden	Zuwüchse, %	Lösungen	Versuchsdauer in Stunden	Zuwüchse, %
(NH ₄) ₂ SO ₄ 0,005 N		132	(NH ₄) ₂ SO ₄ 0,005 N		106
(NH ₄) ₂ SO ₄ + MgCl ₂ 0,005 N 0,005 N	14½	96	(NH ₄) ₂ SO ₄ 0,005 N	21½	140
MgCl ₂ 0,005 N		78	MgCl ₂ 0,005 N		87
(NH ₄) ₂ SO ₄ 0,0075 N		136	(NH ₄) ₂ SO ₄ 0,0075 N		—
(NH ₄) ₂ SO ₄ + MgCl ₂ 0,0075 N 0,0075 N	10½	90	(NH ₄) ₂ SO ₄ 0,0075 N	14½	145
MgCl ₂ 0,0075 N		80	MgCl ₂ 0,0075 N		79
(NH ₄) ₂ SO ₄ 0,010 N		148	(NH ₄) ₂ SO ₄ 0,010 N		99
(NH ₄) ₂ SO ₄ + MgCl ₂ 0,010 N 0,010 N	9	84	(NH ₄) ₂ SO ₄ 0,010 N	9	200
MgCl ₂ 0,010 N		74	MgCl ₂ 0,010 N		70
(NH ₄) ₂ SO ₄ 0,005 N		131	(NH ₄) ₂ SO ₄ 0,005 N		97
(NH ₄) ₂ SO ₄ + MgCl ₂ 0,005 N 0,005 N	13½	94	(NH ₄) ₂ SO ₄ 0,005 N	23	126
MgCl ₂ 0,005 N		78	MgCl ₂ 0,005 N		62
NH ₄ NO ₃ 0,005 N		133	NH ₄ NO ₃ 0,005 N		105
NH ₄ NO ₃ + CaCl ₂ 0,005 N 0,005 N	12	73	NH ₄ NO ₃ 0,005 N	26	147
CaCl ₂ 0,005 N		52	CaCl ₂ 0,005 N		51
NH ₄ NO ₃ 0,010 N		120	NH ₄ NO ₃ 0,010 N		99
NH ₄ NO ₃ + CaCl ₂ 0,010 N 0,010 N	12	74	NH ₄ NO ₃ 0,010 N	21	149
CaCl ₂ 0,010 N		60	CaCl ₂ 0,010 N		71

zu richten, d. h. auf die Wirkung zweier Salze mit gleichem Anion. Aus dem Vorhergehenden wissen wir bereits, daß die Anionen die Rolle positiver Wachstumserreger spielen können und daß sie folglich den Protoplasten auch ermüden können, dennoch war die Wirkung des Anionen Cl in Gegenwart des Kationen Mg nicht im geringsten von einer Ermüdung der Pflanzen dem Anionen Cl gegenüber begleitet, so daß die NH_4Cl -Lösung nach vorhergehender Wirkung der MgCl_2 -Lösung die Wachstumsenergie der Hypokotylabschnitte mit Leichtigkeit erhöhte. Es ist daher auch kein Wunder, daß die Pflanzen in Gegenwart des Kationen Ca ihre Reizbarkeit gegen den neuen Anionen NO_3 der NH_4NO_3 -Lösung trotz vorhergehender Reizung des Protoplasten durch den Anion Cl nicht einbüßten.

Man kann daher annehmen, daß die negativ wirkenden Kationen — Mg, Ca, Na usw. — im Leben der Pflanzen eine sozusagen beschützende Rolle spielen, indem sie eine vorzeitige Ermüdung des Protoplasten durch die Wirkung der Anionen, die in den Lösungen salzartiger Stoffe stets vorhanden sind, vorbeugen.

Diese Schlußfolgerung ist durch Versuche mit einfachen Lösungen schwer zu beweisen, da wir nicht imstande sind, die Ionen entgegengesetzter Ladung voneinander abzusondern. Eine Lösung der Frage ermöglichen jedoch die Versuche mit Salzgemischen. Und zwar bin ich zu der Überzeugung gelangt, daß eine anhaltende Einwirkung auf die Pflanzen von Ammoniumsalzen in Gegenwart von MgCl_2 und CaCl_2 durchaus nicht mit einer Ermüdung der Pflanzen denselben gegenüber verbunden war, obwohl einfache Lösungen derselben Ammoniumsalze den vollen Verlust der Reizbarkeit der Pflanzen gegen weitere Einwirkungen derselben Reizstoffe nach sich zogen.

Die beschützende Rolle der Calcium- und Magnesiumchloride gegen die Ermüdung der Pflanzen durch die $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ und NH_4NO_3 -Lösungen trat in diesen Versuchen ziemlich klar zu Tage.

In allen Fällen wirkten einfache Lösungen der Ammoniumsalze nur in der ersten Kulturperiode, während in der zweiten Periode die Keimlinge schon nicht mehr auf die Einwirkung derselben Reizstoffe zu reagieren vermochten. Auch in Gemischen mit CaCl_2 und MgCl_2 äußerten die Ammoniumsalze ihren Einfluß auf die Keimlinge: die Zuwüchse in den Gemischen übertrafen in allen Fällen die Zuwüchse in einfachen Chloridlösungen, was nur durch die entgegengesetzte Wirkung der Ammoniumsalze zu erklären ist. Trotzdem verloren die Pflanzen nach den Gemischen ihr Reaktionsvermögen auf äußere Reize nicht und ergaben hier nach in einfachen Lösungen von $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ und NH_4NO_3 ebenso hohe Zuwüchse, wie frische Keimlinge in denselben Salzlösungen.

Somit haben wir neben den in den vorhergehenden Studien dargelegten Erscheinungen der Paralyse der Effekte verschiedener Salze durch vorherrschende Mengen eines anderen Salzes beim Studium der Gemische der Salze auch noch mit einer besonderen beschützenden Wirkung ihrer Ionen aufeinander zu rechnen, einer Wirkung, welche den Protoplasten befähigt, sein

Reaktionsvermögen gegen Reizwirkungen der Salze unverändert zu erhalten, trotz anhaltendem Aufenthalte der Pflanzen in den Lösungen dieser temporär wirkenden Reizstoffe.

VII.

Rückblick.

Ruhende Zellen der Pflanzenorgane, wie auch ausgewachsene Teile der Pflanzen mit reduziertem Stoffwechsel, sind imstande, ohne Beschädigung ein längere Zeit anhaltendes sauerstoffreies Medium zu ertragen. Junge wachsende Zellen gehen im Gegenteil in Abwesenheit des Sauerstoffes bald zu Grunde mit den typischen Symptomen der Vergiftung des Protoplasten durch gewisse Produkte ihres Stoffwechsels. Diese Vergiftung tritt um so energischer hervor, je stärker die Pflanzen ihre Befähigung zum Wachstum und zur Metamorphose der organischen Verbindungen äußern. Auf Grund des Gesagten kann man denken, daß in den Atmungsprozessen die Oxydation einiger schädlichen Verbindungen vor sich geht, welche in den Momenten der höchsten Lebenstätigkeit des Protoplasten gebildet werden. Somit scheint der Sauerstoff im Leben der Pflanzen nicht nur die Rolle eines Lieferanten der Energie zu spielen, sondern auch die Rolle eines solchen Agenten, welcher eine lebensfähige Zusammensetzung des Protoplasten garantiert.

Die Luft mit normalem Gasbestande erscheint jedoch als ein für das Wachstum junger Pflanzen ungünstiges Medium. Das Wachstum geht stets energischer vor sich in verdünnter Atmosphäre, in Gasmischungen mit geringem Gehalte an Sauerstoff, im Wasser, welches nur unbedeutende Mengen Luft auflöst. Die Befeuchtung (Benetzung) der Pflanzen mittelst Bespritzung oder Guttation beschleunigt das Wachstumstempo ebenfalls infolgedessen, daß die befeuchtende Schicht Wasser die wachsenden Zellen von dem schädlichen Partialdruck des Sauerstoffes der Luft isoliert.

Diese Tatsachen sind vom rein energetischen Standpunkte der Betrachtung der Rolle des Sauerstoffes aus wenig verständlich. Ihre Bedeutung ist auch in dem Falle nicht klar, wenn man auf die Atmung als auf einen die Vergiftung der Pflanzen vorbeugenden Prozeß schaut. Es unterliegt keinem Zweifel, daß die gewöhnliche Luft die günstigen Bedingungen für die Atmung besser garantiert, als das Wasser oder die verdünnte Atmosphäre, in welchen alle Symptome der sogenannten intramolekularen Atmung schroff zutage treten. Mir scheint es daher wahrscheinlich zu sein, daß der Sauerstoff als ein starkwirkender chemischer Reagent, einen besonders reizenden Einfluß auf das Plasma auszuüben vermag. Schwache Konzentrationen des Sauerstoffes erhöhen scheinbar die Arbeitsfähigkeit des Protoplasten und fördern hierdurch das Wachstum, während bedeutendere Mengen dieses Gases die jungen Zellen

in ihrer Entwicklung zurückhalten und das Wachstum hemmen und aufhalten, wie dasselbe auch durch andere aktive Gase bewerkstelligt wird.

Die das Wachstum stimulierende Rolle des Sauerstoffes äußert sich sehr anschaulich in den Versuchen mit anaërobem Wachstum. Der Ersatz der Luft durch ein sauerstoffreies Medium zieht eine fast augenblickliche Sistierung des Wachstums nach sich. Die Vacuumstarre der Pflanzen wird hier ausschließlich durch den Mangel an Sauerstoff hervorgerufen, bei dessen Zutritt sich die Pflanzen aufs neue erholen und mit der früheren Energie wachsen. Der Sauerstoff als Atmungsproduzent ist jedoch nicht als ein zum Zustandekommen des Wachstumsprozesses unbedingt notwendiger Faktor anzusehen. Das Wachstum erneuert sich nach einiger Zeit auch in sauerstoffreiem Medium, d. h. ohne Beteiligung der Atmung, wobei es hier anfänglich langsam, dann stärker und stärker vor sich geht, und schließlich seine normale Intensität kurz vor dem Erscheinen der Vergiftungssymptome der Zellen durch die Produkte des anaëroben Stoffwechsels erreicht. Zwischen den Äußerungen des anaëroben Wachstums und den Vergiftungserscheinungen gelingt es wiederum, einen direkten Zusammenhang zu konstatieren: am schnellsten sterben die Zonen des energischsten anaëroben Wachstums ab, langsam wachsende Individuen und Zonen erhalten sich in sauerstoffreiem Medium länger, nicht wachsende Exemplare und Teile der Pflanzen ertragen sogar einen vieltägigen Aufenthalt in Abwesenheit des Sauerstoffes leicht. Dieser Umstand gibt Anlaß zu denken, daß die die Pflanzen vergiftenden Substanzen nach ihrer Anhäufung bis zu aktiven Konzentrationen, oder die dieselben begleitenden weniger schädlichen Verbindungen, einige Zeit eine Rolle als Reizstoffe des Protoplasten spielen und durch ihre stimulierende Wirkung auf die Zellen die für die Wachstumsäußerung notwendige stimulierende Wirkung des Sauerstoffes gleichsam ersetzen.

Es gelingt durch direkte Versuche, die Anwesenheit dergleichen Substanzen in den Zellen zu beweisen. Die Preßsäfte aus den Pflanzen (aus Hypokotylen der Sonnenblume) enthalten in solchem Maße starkwirkende Verbindungen, daß das aufgekochte durchsichtige Extrakt aus einem einzigen Keimlinge fähig ist, die Wachstumsenergie nicht weniger als zehn mit ihm identischer Keimlinge zu erhöhen, obgleich es in diesem Extrakt nur einige Milligramm trockener Substanz zu entdecken gelang. Bedeutendere Konzentrationen der Preßsäfte erschwerten im Gegenteil sichtlich die normale Wachstumsäußerung. Die Untersuchung zeigt ebenso, daß die verschiedenen Teile der Pflanzen die stimulierenden Substanzen nicht in gleichen Konzentrationen enthalten, so daß das stark verschiedene Entwicklungstempo der verschiedenen Zonen und Organe junger Pflanzen in Zusammenhang mit der ungleichen Stimulation ihrer Protoplasten durch die erwähnten Produkte des Stoffwechsels zu bringen ist. Die chemische Natur dieser Verbindungen bleibt einstweilen rätselhaft; doch zweifellos ist das, daß viele gewöhnliche salzartige Substanzen in noch höherem Maße befähigt sind, die Rolle der Wachstumserreger zu spielen und in

dieser Hinsicht mit Erfolg die Rolle des freien Sauerstoffes und der soeben erwähnten stimulierenden Produkte des Stoffwechsels der Zellen zu ersetzen vermögen. In den Versuchen gelingt es eben, das anaërobe Erstarren, die Vacuumstarre, der Pflanzen dadurch zu verhindern, daß die Objekte im Momente der Entfernung der Luft in ein Substrat gelegt werden, welches salzartige Substanzen enthält, die wissentlich fähig sind, das Wachstum unter normalen Bedingungen seiner Äußerung zu stimulieren. Schwache Lösungen der Säuren und Ammoniumsalze, welche an der Luft die Wachstumsenergie stark erhöhen, verhüten ebenfalls alle Symptome einer temporären Vacuumstarre leicht, so daß in ihrer Anwesenheit der Austausch des normalen Mediums auf ein sauerstoffreies anfänglich fast gar nicht den Entwicklungsgang der jungen Pflanzen beeinflußt. Die Wirkung der Reizstoffe dieser Art ist jedoch weniger anhaltend als die Wirkung der Luft. Das anfänglich ziemlich starke Wachstum fängt bald an schwächer zu werden und erlöscht dann nicht selten noch vor dem Absterben der Pflanzen ganz, so daß die Pflanzen unter dem Einflusse der salzartigen Substanzen ($(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$) in sauerstoffreiem Medium geringere Zuwüchse ergeben als an der Luft, doch sind die Zuwüchse ungefähr dieselben, wie auch im Falle jenes spontanen anaëroben Wachstums mit vorhergehender Erstarrung, welches durch die reizenden Substanzen des eigenen Stoffwechsels verursacht wird. Da die Erschlaffung und schließliche Erlöschung des Wachstums stets auch unter normalen Lebensbedingungen der Pflanze wahrgenommen wird und die Kurve der großen Periode des Wachstums den Wachstumskurven unter dem Einflusse salzartiger Reizstoffe vollkommen analog ist, so könnte man denken, daß, unter welchen Bedingungen das Wachstum nicht vor sich ginge, wir es stets mit Erscheinungen einer temporären Reizung des Protoplasten durch chemische Reizstoffe verschiedener Arten zu tun haben. Diese Erwägung führt zu dem Gedanken, daß die Anwesenheit der Reizung eine der für das Zustandekommen der Wachstumsprozesse notwendigen Bedingungen ist.

Das Studium der Wirkung solcher universaler Reizstoffe, als die salzartigen Substanzen, verdient daher die allerernsteste Aufmerksamkeit.

Die von mir ausgeführte Untersuchung hat zweifellos dargelegt, daß die Wirkung der Alkalien, Säuren und Salze auf die Pflanzen durch den spezifischen Einfluß auf den Protoplasten seitens der die Lösung bildenden Ionen verursacht wird. Die Kationen und Anionen der meisten Verbindungen erwiesen sich als fähig, Effekte entgegengesetzten Charakters hervorzubringen. Die Anionen riefen stets, vielleicht infolge ihrer negativen Ladung, eine starke Erhöhung der Wachstumsenergie hervor, während die positiv geladenen Kationen das Wachstum hemmten. Die in den Lösungen salzartiger Substanzen beobachteten Wachstumseffekte waren daher Summareffekte der entgegengesetzt wirkenden Ionen, so daß es nach der Größe derselben in der Mehrheit der Fälle durchaus nicht gelang, näher zu bestimmen, in welchem Maße die einzelnen

Ionen fähig sind, die Wachstumsenergie der Pflanzen abzuändern. Es ist in den Salzlösungen oft nur unbedeutende Modifikationen der Zuwüchse zu konstatieren gelungen, während doch zu gleicher Zeit die Kationen und Anionen der verwendeten Verbindungen mit sehr großer Energie wirkten, indem sie ihre Tätigkeit gegenseitig paralisirten.

Die genauere Untersuchung der erörterten Summareffekte zeigte, daß in vielen Fällen die Kationen in den Lösungen das Übergewicht über die Anionen gewinnen, so daß die Wirkung der Mehrzahl der salzartigen Substanzen vorzugsweise durch die Ionen positiver Ladung bestimmt wurde. Daher war es oft möglich, die Effekte einer ganzen Reihe von Verbindungen mit einem und demselben bestimmten Kationen nach den Effekten irgend einer Verbindung mit demselben Kationen vorauszusagen. Durch die Vorherrschaft der Kationen ist auch der auf den ersten Blick sonderbare Umstand zu erklären, daß in schwachen Konzentrationen bei der Verdünnung der Lösung oder der Verlängerung der Versuchsdauer oft eine Erhöhung der schädlichen Wirkung einiger Salze wahrgenommen wurde. Das Vorhandensein derartiger Erscheinungen gibt Anlaß zur Vermutung solcher Wechselwirkungen zwischen den Ionen entgegengesetzter Ladung oder solcher Reaktionen derselben mit dem Protoplasten, welche eine Veränderung der ursprünglichen physikalisch-chemischen und physiologischen Eigenschaften der Ionen dieser oder jener Art hervorrufen. Diese Erscheinung erhält jedoch eine wahrscheinliche Erklärung auch in dem Falle, wenn man annimmt, daß die Ionen in den Lösungen frei und zugleich zur Äußerung ihrer ganzen spezifischen Aktivität befähigt bleiben. Die Sache besteht darin, daß der Einfluß der Ionen auf das Wachstum dem Anscheine nach denselben Gesetzen unterworfen ist, wie auch die Einwirkung der anderen typischen Reizstoffe auf den reizbaren Organismus. Die Versuche zeigen nämlich, daß sowohl die positive als auch die negative Reaktion der Pflanzen auf die Einwirkung der salzartigen Substanzen nur im Laufe einiger Zeit sich äußert, sodann aber infolge der Ermüdung oder Gewöhnung des Protoplasten an dieselben allmählich erlischt. Die Erneuerung dieser Reaktion gelingt nur im Falle einer Einwirkung mit erhöhteren Dosen der reizenden Substanz. Dem Anscheine nach ermüden die Anionen den Protoplasten schneller als die Kationen; kleine Dosen der Anionen aber erzeugen wahrscheinlich nur eine unbedeutende und kurzfristige Reizung. Durch die Nichtübereinstimmung der Wirkungsdauer der Ionen der einen und der anderen Art ist, nach meiner Ansicht, auch die oben-erwähnte Vorherrschaft der Kationen in den Lösungen zu erklären.

Die Aufklärung dieses Umstandes wird wahrscheinlich die Möglichkeit geben, der Lösung der Frage über die wahre Größe der Effekte der einzelnen Ionen in Zukunft näherzutreten. Dieselben bleiben einstweilen vollständig unbekannt. Gegenwärtig ist es sogar schwer, auf die allgemeine Frage über die Bedeutung der Unterschiede in dem Bestande der Ionen in ihrer Wirkung auf die Pflanzen zu antworten. Es ist sehr möglich, daß der sti-

mulierende Einfluß der Ionen, welcher durch die Ladungen derselben bestimmt wird, seinem Wesen nach mit der sogenannten toxischen Wirkung durchaus nicht übereinstimmt, welche zu allererst von den chemischen Eigenschaften jedes einzelnen Kationen und Anionen abhängt.

Wie in den einfachen Lösungen der salzartigen Substanzen, so gelingt es auch in den Gemischen derselben bald Summareffekte der die Lösungen bildenden Verbindungen, bald Erscheinungen einer vorherrschenden Wirkung der Ionen, wobei die Effekte der übrigen Ionen der Beseitigung unterliegen, zu konstatieren.

In zweifachen Gemischen positiver Wachstumsstimulanten tritt eine Summierung der Effekte nur dann ein, wenn beide Komponenten in nahe übereinstimmenden und verhältnismäßig schwachen Konzentrationen zugegen sind.

In Gemischen aus entgegengesetzt wirkenden Substanzen erfolgt eine Summierung der Effekte ebenfalls nur bei einem bestimmten Verhältnis der Konzentrationen beider Verbindungen zueinander, während in den Fällen eines bedeutenden Unterschiedes in dem quantitativen Komponentenbestande die Effekte des Gemisches gewöhnlich mit den Effekten der vorherrschenden Verbindung nahe übereinstimmen.

Analoge Erscheinungen werden auch in den Gemischen schädlich wirkender Substanzen wahrgenommen, wo der Gesamteffekt der Lösungen meist durch diejenige Verbindung bestimmt wird, welche zur energischsten Depression der Wachstumsenergie der Hypokotyle befähigt ist. Die Wirkung komplizierterer gemischter Lösungen hängt ihrerseits von der quantitativen Zusammenstellung ihrer Komponenten ab, wobei auch hier oft nur einige Ionen eine vorherrschende Bedeutung erlangen, während den übrigen gegenüber der Protoplast unempfindlich bleibt. Im allgemeinen muß man im Auge behalten, daß die Reaktion des Organismus auf die Reizung durch Lösungen salzartiger Substanzen wenig von den Verschiedenheiten der chemischen Eigenschaften der einzelnen Ionen abhängt, obgleich es auch gelingt, einige spezifische Abweichungen in dem Verhalten der Pflanzen zu jeder einzelnen Lösung wahrzunehmen. Die Ladung und die Masse der Ionen spielen jedoch die Hauptrolle in der Reizung des Protoplasten. Daher läßt sich in Lösungen mit dem verschiedenartigsten Bestande, völlig unabhängig von irgend welchen physikalischen und chemischen Wechselwirkungen zwischen den Ionen, die allgemeine Erscheinung konstatieren, daß die physiologischen Effekte der Gemische den Effekten der wirkenden Komponenten nach Maßgabe der Veränderungen in der quantitativen Zusammenstellung der letzteren immer weniger und weniger entsprechen. Infolge dieses könnte man denken, daß die Ionen verschiedenen Ursprungs, in dem sie in identischer Weise wirken, befähigt sind, einander zu ersetzen, so daß in einfachen Lösungen, zweifachen, dreifachen und sogar noch mehrfachen Salzgemischen der Protoplast gleichsam die Einwirkung nur zweier Gruppen von Ionen mit entgegengesetztem physikalischen und chemischen Charakter erfährt.

Dieser Umstand gestattet für viele der oben erwähnten Fälle, in denen die Effekte der Gemische den Effekten der dieselben bildenden Verbindungen nicht entsprachen, eine wahrscheinliche Erklärung zu geben. Wir begegnen hier dem Anscheine nach vor allen Dingen denselben Erscheinungen der ungleichzeitigen Ermüdung des Protoplasten durch die Ionen entgegengesetzter Ladung, welche weiter oben für einfache Lösungen bezeichnet waren. Es ist ohne besondere Erläuterungen deutlich, daß bei einer gewissen Dauer der Versuche die schädlich wirkenden Substanzen das Übergewicht gewinnen werden, falls die Empfindlichkeit des Protoplasten der positiven Verbindung gegenüber abnimmt und erlischt. Außerdem ist in Erinnerung zu behalten, daß wir, falls der Zusatz unbedeutender Mengen irgend eines Salzes zu der Lösung eines anderen Salzes nur eine Erhöhung der Konzentration dieses letzteren bedeutet, in den Gemischen der Salze dieselbe Veränderung der Effekte zu erwarten haben, welche in den Lösungen zweier nahestehenden Konzentrationen der vorherrschenden Verbindung wahrgenommen werden. Da die Reaktionsfähigkeit des Organismus begrenzt ist, und mit der Erhöhung der Mengen der Reizstoffe immer schwächere und schwächere Effekte erzielt werden, so ist es kein Wunder, daß die Zugabe unbedeutender Mengen einer Verbindung zu starken Lösungen einer anderen nicht immer eine Veränderung der Effekte nach sich zog, obgleich kleine Dosen dieser Verbindung auch eine Veränderung der Wachstumsenergie hervorriefen, wenn sie auf den frischen Protoplasten selbständig einwirkten.

Außer den erwähnten Fällen der Paralyse der Effekte etlicher Ionen in gemischten Lösungen hat man dem Anscheine nach auch noch mit den Erscheinungen einer erneuten Wirkung derjenigen Ionen zu rechnen, welche in den entsprechenden einfachen Lösungen der Substanzen nicht vermochten, den Protoplasten in irgendwie sichtbarem Grade zu erregen. In kompensierten Gemischen schädlich wirkender Verbindungen und schwächeren Gemischen aus Substanzen mit entgegengesetztem Charakter wird oft eine derart bedeutende Erhöhung der Zuwüchse beobachtet, daß die Effekte der Gemische den Effekten der Komponenten hier ebenfalls zuweilen nicht entsprechen. Die Versuche mit der Reizung des ermüdeten Protoplasten durch doppelte Mengen desselben Reizstoffes erhellen diesen Umstand. Die doppelte Menge der Anionen rief nämlich zuweilen eine bedeutendere Wirkung hervor als die doppelte Menge der Kationen, so daß die Größe der Zuwüchse in den neuen Lösungen zunahm, ungeachtet der Erhöhung der Konzentration der schädlich wirkenden Substanz. In kompensierten Gemischen zweier Salze, welche im Vergleiche zu den einfachen Lösungen eine doppelte Menge der Kationen und Anionen enthalten, müssen wir aus diesem Grunde ebenfalls erhöhte Zuwüchse, d. h. die Erscheinung der oben erörterten Unschädlichmachung der Salze durcheinander, erwarten.

Indem ich diese Erwägungen und Vermutungen darlege, möchte ich jetzt jedoch durchaus nicht die Frage im voraus lösen,

in welchem Maße die durch Ionen einer bestimmten Ladung hervorgerufene Ermüdung die Empfänglichkeit der Pflanzen für Reizungen durch Ionen mit entgegengesetztem Charakter zu beeinflussen vermag.

Die Lösung dieser Kardinalfrage erfordert weitere Forschungen, und zudem ist auch überhaupt das ganze Problem von der Abhängigkeit des Wachstums von den chemischen und physikalischen Reizstoffen noch viel zu wenig erforscht, als daß man gegenwärtig tiefer in das Wesen der Reizungserscheinungen eindringen und für dieselben eine befriedigende Erklärung finden könnte.

In den diesbezüglichen Schlußfolgerungen ist Vorsicht umso mehr obwalten zu lassen, als wir beim Studium der Wirkungen der Salze auf die Pflanzen stets mit der gleichzeitigen Wirkung des Sauerstoffes in den Lösungen zu rechnen haben. Der Sauerstoff tritt hier ebenfalls als Wachstumserreger auf und die durch ihn verursachten Effekte treten in Kombinationen mit den Effekten der salzartigen Stoffe, indem sie die wirklichen Größen der Effekte der letzteren maskieren.

Die Wirkung des Sauerstoffes ist der Wirkung der Ammoniumsalze und der Säurelösungen ganz analog. Diese Reizstoffe sind gleich befähigt, im Laufe der ersten 8–12 Stunden die Wachstumsenergie zu erhöhen; sie können einander vertreten, falls einer dieser Stoffe in dem Medium fehlt; alle ermüden schließlich den Protoplasten, d. h. sie machen ihn unfähig, auf dieselben Dosen der Reizstoffe zu reagieren.

Die Ermüdung des Protoplasten ist jedoch streng spezifisch. Ist die Pflanze in bezug auf Sauerstoff ermüdet, so behält sie dann noch voll und ganz ihre Reizbarkeit gegen bestimmte Ammoniumsalze und Säurelösungen. Daher kann man durch Ersatz eines Reizstoffes durch einen anderen eine erhöhte Wachstumsenergie für eine bestimmte ziemlich lange Zeitdauer hervorrufen.

Auch die negativ wirkenden Stoffe hemmen die Ammoniumsalze in ihrer Wirkung auf die Pflanzen nicht, trotz der steten Gegenwart der positiv wirkenden Anionen in ihren Lösungen. Die Kationen Ca, Mg und andere spielen sogar eine besondere beschützende Rolle, indem sie die Ermüdung des Protoplasten durch die Wirkung der Anione und Ammoniumsalze vorbeugen. So verloren die Pflanzen in den gemischten Lösungen von $MgCl_2 + (NH_4)_2SO_4$ oder $CaCl_2 + NH_4NO_3$ ihre Reizbarkeit gegen nachfolgende Reizwirkungen von Seiten der Ammoniumsalze nicht, obgleich die einfachen Lösungen der letzteren in denselben Konzentrationen den Protoplasten völlig außerstand setzten, auf weitere Wirkungen derselben Reizstoffe zu reagieren. Infolge eines solchen Einflusses der negativ wirkenden Kationen auf das Wachstum der Pflanzen ist es daher sehr möglich, daß wir in Gemischen aus mehreren Salzen die positive Wirkung der Anionen im Laufe eines längeren Zeitraumes wahrnehmen werden, als in einfachen Lösungen der Salze; folglich begegnen wir hier aufs neue den oben erwähnten Erscheinungen der Unschädlichmachung der Salze untereinander und durcheinander.

VII.

Literatur.**Die sekundäre Wirkung des Wassers.**

- Burgerstein, Transpiration etc. Jena 1904. p. 176—197, 230—235, 240—243.
 — Übersicht d. Unters. üb. d. Wasseraufnahme etc. (Gymnasial-Programm.)
 Wien 1891.
- Czapek, Progressus rei bot. 1907.
- Dandeno, Trans. Canad. Vol. 7. 1902. No. 14.
- Goebel, Pflanzenbiol.
- Schilder, 1893. p. 311.
- Frank, Cohns Beiträge z. Biol. 1875. p. 31—86.
- Jentys, Unters. d. bot. Inst. z. Tübingen. Bd. II. 1888. p. 419—464.
- Jaccard, Rev. gen. d. bot. T. 5. 1893. p. 289—302, 348—354, 382—388.
- Karsten, Bot. Zeit. Bd. 46. 1888. p. 565—578, 581—589.
- Mazé, Ann. d. l'Inst. Past. T. 14. 1900. p. 350—368.
- Mer, Compt. rend. T. 88. 1879. p. 665 u. 1277.
- Nabokich, Журн. Опыт. Агрон. Т. 2. 1901. p. 433—447.
 — Ber. d. d. bot. Ges. Bd. XIX. 1901. p. 222—236.
 — Beihefte z. bot. Centralbl. Bd. XIII. 1903. p. 272—332.
 — Временный анаэробіозъ. St. Petersburg 1905, und Landwirtschaftl. Jahrbücher. Bd. 38. 1908. p. 51—195.
 — Протоколъ Кружка Люб. Ест. Ново-Алекс. Инст. 1905.
 — Экономъ. 1906. No. 3, 4 u. 5. p. 19, 35.
- Nemetz, Pringsh. Jahrb. Bd. 36. 1901. p. 80—178.
- Perseke, Über Formveränd. d. Wurz. Dissert. Leipzig 1877. p. 15.
- Sachs, Arb. d. bot. Inst. Würzb. Bd. 1. 1874. p. 385—474.
- Schaible, Fünfstücks Beitr. z. Wiss. Bot. Bd. IV. 1901. p. 94—149.
- Schwarz, Unters. bot. Inst. z. Tübingen. Bd. 1. 1883. p. 135—188.
- Vöchting, Organbildung etc. Bonn 1878. p. 118—144.
- Wacker, Pringsheims Jahrb. f. w. Bot. Bd. 32. 1898. p. 70—116.
- Wieler, Unters. bot. Inst. z. Tübingen. Bd. 1. 1883. p. 189—232.
 — Ber. d. d. bot. Ges. Bd. XIX. 1901.
 — Beihefte z. bot. Centralbl. Bd. XIII. 1903. p. 431—436.

Vacuumstarre.

- Bennet, Bot. Gaz. Vol. 37. 1904.
- Bert, La pression barom. Paris 1878.
- Bousingault, Chem. agricole etc. T. 4. 1868. p. 335.
- Celakowsky, jun. Bul. d. l'ac. d. Sc. Bohême. 1898.
- Clark, Ber. d. d. bot. Ges. Bd. 4. 1887. p. 273—280.
- Correns, Flora. 1892. p. 87—151.
- Demoor, Archiv d. Biol. Vol. 13. 1894.
- Detmer, Landw. Jahrb. Bd. II. 1882. p. 213—232. — Sitzber. d. Jenaisch. Ges. f. Med. Bd. VII. 1881.
- Drude, Flora. Bd. 92. 1903. p. 205—251.
- Dutrochet, Memoire p. serv. à l'hist. anat. et physiol. Bruxelles 1837. p. 269—287 etc.

- Godlewski i Polseniusz, Bull. l'Ac. de Sc. Cracovie. 1901. p. 289—276.
 Godlewsky, Ibid. 1904. p. 115—158.
 Fletcher, Mem. Departement agric. India. Vol. 2. 1908. p. 1—16.
 Hofmeister, Die Lehre von der Pflanzenzelle. 1867.
 Kühne, Unters. über d. Protoplasma etc. 1864.
 — Zeitschr. f. Biol. Bd. 36. 1898. p. 425 u. a.
 Kabsch, Bot. Zeit. Bd. 20. 1862. p. 341—348, 353—361.
 Molisch, Sitzungsber. d. Wien. Akad. 1884. Abt. I. Juli.
 Möller, Ber. d. d. bot. Ges. Bd. 2. 1884. p. 35—41, 306—321.
 Nabokich, Журн. Оп. Агрон. Bd. I. 1900. p. 660—666. Siehe ebenfalls die
 oben aufgezählten Arbeiten.
 Neljubow, Bot. Centralbl. Bd. 10. 1901. p. 128. — Протоц. С.-Пб. Общ.
 Ест. 1900. Почвовѣдѣніе. 1901. No. 2.
 Palladin, Значеніе кислорода для растеній. 1885. Москва.
 Polowzow Warwara, Ber. d. d. bot. Ges. Bd. 26 a. 1908. p. 50—68.
 Pringsheim, Ber. d. d. bot. Ges. Bd. 5. 1888. p. 294—307.
 Ritter, Flora. Bd. 86. 1898. p. 329—360.
 Sachs, Flora. Bd. 21 (46). 1863. p. 449—459, 465—472, 481—489, 497—508.
 Samassa, Bot. Centralbl. 1898. Ref.
 Takahashi, Bull. Coll. Agric. Tokyo. Vol. 6. 1905. p. 339—442.
 Wortmann, Bot. Zeit. Bd. 22. 1884. p. 705—713. 1889. No. 14.
 — Über d. Bezieh. d. intramol. Atmung etc. Würzburg 1879.

Wechselwirkung der Ionen und Salze in den Lösungen.

- Atteberg, Svenska Moork För. Tidsk. 1891. p. 191.
 Barratt, Zeitschr. Allg. Physiol. Bd. 4. 1904. p. 439—484.
 Barratt and Coehn, Ibid. Bd. 5. 1905. p. 1—9. — Ibid. Bd. 5. 1905.
 p. 10—33, 73—94.
 Benecke, Bot. Zeit. Bd. 56. 1898. Abt. 1. p. 83; Bd. 61. 1903. Abt. 1.
 p. 79; Bd. 62. 1904. Abt. 2. p. 113.
 — Ber. d. d. bot. Ges. Bd. 25. 1907. p. 322—337.
 Behrens, Centralbl. f. Bakt. Bd. 4. 1898. p. 637.
 Bial, Zeitschr. f. physik. Chem. Bd. 40. 1902. p. 513—534.
 Boehm, Sitzungsber. Wien. Acad. Bd. 71. 1875. p. 287—304.
 Bokorny, Bot. Centralbl. Bd. 72. 1895. p. 1.
 — Centralbl. f. Bakt. Bd. 18. 1907. p. 173—175.
 Breazeale, Bot. Gazette. Vol. 41. 1906. p. 54—63.
 Bruch, Landw. Jahrbücher. Bd. XXX. 1901. Ergänzungsbd. III. p. 127;
 Bd. 32. 1903. p. 517.
 Bull. of Coll. Agric. Tokyo: Susuki, Vol. IV. p. 69; Vol. VI. p. 347;
 Aso, Vol. IV. p. 361; Vol. V. p. 495; Vol. VI. p. 97; Katayama,
 Vol. VI. p. 103; Fucuta, Vol. VI. p. 371; Daikuhara, Vol. V,
 p. 501; Namikawa, Vol. VII. p. 57; Takeuchi, Vol. VII. p. 579;
 vol. VII. p. 583; Kanomata, Vol. VII. p. 599; Jokoyama, Vol.
 VII. p. 613; Takeuchi, Vol. VII. p. 623—629; siehe Bull. of the
 Imper. Central Agricultural Experiment. stat. Japan: Daiakura, 1905.
 Vol. I. p. 13, 17, 23.
 Buller, Ann. of Botany. Vol. 14. 1900.
 Burlingham, Americ. Chem. Society. Vol. XXIX. 1907. p. 1095—1112.

- By Percy g. Stiles, *Ibid.* Vol. 8. 1903. p. 269—272.
- Cameron a. Breazeale, *Journ. of physic. Chem.* Vol. 8. 1904. p. 1—13.
- Clark, *Journ. of physic. Chem.* Vol. 5. 1901. p. 289—316.
- *Bot. Gazette.* Vol. 13. 1902. p. 26.
- Coupin, *Rev. gen. bot.* Vol. 10. 1898. p. 177—190.
- *Compt. rend.* T. 130. 1900. p. 791—793.
- *Rev. gen. bot.* T. 12. 1900. p. 177—193.
- Czapek, *Biochemie.* Bd. I. 1905.
- Czapek, *Biochem. d. Pflanzen.* Bd. 2. 1905. p. 847.
- Dandeno, *Americ. Journ. Science.* Vol. 17. 1904. p. 437—458.
- *Trans. Can. Inst.* Vol. 7. p. 315.
- Deberain et Demoussy, *Ann. agron.* 1901. p. 553.
- Demoussy, *Ann. agronomique.* 1901. p. 257.
- Dojarenko, *Журн. Опытн. Agr.* 1903. p. 186.
- Dreser, *Archiv f. exp. Path. u. Pharm.* Bd. 32. 1893. p. 456—466.
- Duggar, *Trans. of the Ac. of sc. St.-Luis.* Vol. 16. 1906. p. 473—489.
- Fischer, *Americ. Journ. of Physiol.* Vol. 10. 1904. p. 345—351.
- *Ber. d. d. bot. Ges.* Bd. 25. 1907. p. 108—122.
- Fluri, *Flora.* Bd. 99. 1908. p. 81—126.
- Galeotti, *Biol. Centralbl.* Bd. 21. 1901. p. 321.
- Gedroiz, *Журн. Оп. Agrон.* Bd. 6. 1905. p. 705—720.
- Gössel, *Chem. Zeit.* 1903. p. 252; *Verhandl. d. Naturforscher-Versamml.*
Kassel. Bd. II. 1903. p. 101.
- Grafe u. Portheim, *Sitzungsbericht d. Wiener Acad.* Bd. 115. 1906.
p. 1003.
- Groß, *Pflügers Archiv.* Bd. 99. 1903. p. 264—322.
- Grützner, *Pflügers Archiv.* Bd. 53. 1892. p. 92. — *Ibid.* Bd. 58 u. 69. 1894.
- Hamburger, *Archiv f. Anat. und Physiol.* 1886 u. 1887.
- Heald, *Bot. Gazette.* Vol. 22. 1896. p. 125.
- Hornberger u. Raumer, *Landw. Jahrb.* Bd. 11. 1882. p. 359.
- Iwanoff, *Centralbl. f. Bakt. Abt. 2.* Bd. XIII. 1904. p. 139—144.
- Javillier, *Ann. Inst. Past.* T. 22. 1908. p. 720—727.
- Jennings, *Journ. of Physiol.* Vol. 21. 1897. p. 258.
- Jensen, *Bot. Gazette.* Vol. 43. 1907. p. 11—44.
- Jermakoff, *Журн. Оп. Agr.* VI. 1905. p. 403—436.
- Kahlenberg, *Pharmaceut. Rev.* Vol. 15. Milwaukee 1897.
- *Zeitschr. f. Hyg. etc.* Bd. 25. 1897. p. 103.
- Kahlenberg a. Austin, *Journ. of physic. Chem.* Vol. 4. 1900. p. 553—569.
- Kahlenberg and Mehl, *Journ. of Physical Chem.* Vol. 4. 1900. p. 553.
- Kahlenberg a. True, *Journ. Amer. med. Assoc.* 1896.
- *Bot. Gazette.* Vol. 22. 1896. p. 81—124.
- Kearney et Cameron, *Report. U. S. Depart. Agricult.* 71. 1902; siehe
Kearney, *Science.* Vol. XVII. 1903. p. 386.
- Kniep, *Jahrb. f. wiss. Bot.* Bd. 43. 1906. p. 215—270.
- Konowaloff, *Журн. Оп. Agr.* VIII. 1907. p. 257—280.
- Krönig u. Paul (u. Fischer), *Zeitschr. f. Hyg. und Infektionskrankh.* Bd. 25.
1897. p. 1—112.
- Kusano, *Bot. Magaz.* Vol. 21. Tokyo 1907. p. 143—153.
- Laughridge, *California Stat. Bull.* 133. p. 42.
- Liebenberg, *Sitzungsber. d. Wien. Acad.* Bd. 84. 1881. Abt. 1. p. 434.

- Lillie, Amer. Journ. Physiol. Vol. 5. 1901. p. 56—85. — Ibid. Vol. 7. 1902. p. 25—55. — Ibid. Vol. 10. 1904. p. 419—443. — Ibid. Vol. 16. 1906. p. 117—128. — Ibid. Vol. 17. p. 89—141. — Ibid. Vol. 21. 1908. p. 200—220.
- Le Renard, Compt. rend. T. 143. 1906. p. 607—608.
- Loeb, Pfügers Archiv. Bd. 65. 1897.
— Festschrift f. Tieck. Braunschweig 1899.
— Amer. Journ. Physiol. Vol. 3. 1899. p. 135. — Ibid. 1900. p. 327. — Ibid. 1900. p. 383. — Ibid. 1900. p. 434. — Ibid. Vol. 5. 1901. p. 362—373. — Ibid. Vol. 6. 1902. p. 411—433.
— Pfügers Archiv. Bd. 88. 1902. p. 68—78. — Ibid. Bd. 91. 1902. p. 248—264.
- Loeb and Gies, Ibid. Bd. 93. 1903. p. 246—268. — Ibid. Bd. 97. 1903. p. 394—409. — Ibid. Bd. 101. 1904. p. 340—348. — Ibid. Bd. 107. 1905. p. 252—262. — Ibid. Bd. 113. 1906. p. 487—511. — Ibid. Bd. 118. p. 181—204.
— Vorlesungen über d. Dynamik d. Lebensersch. Leipzig 1906.
— Untersuchungen über künstliche Parthenogenese. Leipzig 1906.
— Pfügers Archiv. Bd. 115. 1906. p. 564—582.
- Loew, Flora. Bd. 75 (50). 1892. p. 368—394.
- Loew, Landw. Versuchsst. Bd. 41. 1892. p. 467.
— Bot. Centralbl. Bd. 63. 1895. p. 168. Bd. 64. 1896. p. 434. Bd. 74. 1898. p. 257.
— Bull. Coll. of Agric. Tokyo. Vol. II. 1896. No. 6. — Loew and Honda, Vol. IV. 1902. p. 381. 1906. Vol. VII. p. 7—12.
— Die Chemische Energie der lebenden Zellen. München 1899. p. 32 u. a.
— U. S. Depart. of Agricult. Bulletin No. 18. 1899. Washington.
— U. S. Depart. of Agriculture. 1901. Bull. No. 1, d. Bureau of pl. Industry.
— U. S. Depart. of agric. Bureau of plant industry. 1903. p. 69. Bull. No. 45. Washington; ebenso: Landw. Jahrbücher. Bd. 31. 1902. p. 561; Bd. 32. 1903. p. 509; Bd. 94. 1905. p. 131; Bd. 35. 1906. p. 527; Flora. Bd. 92. 1903. p. 489; Bd. 94. 1905. p. 330; Zeitschr. f. landw. Versuchswesen Oesterreichs: Bd. VIII. 1905. p. 583 u. 603; Chemische Zeitung. 1903. p. 1225; Журналь Опытной Агрономии. 1903. p. 186; Ann. Agronomique. 1901. p. 317.
- Loew, F. A., Science. II. Vol. 18. 1903. p. 304—308.
- Loew and Aso, Bull. Coll. Agric. Tokyo. Vol. 3. 1907. p. 395—409.
- Mc. Guigan, Ibid. Vol. 10. 1904. p. 444—451.
- Mathews, Journ. of the Boston Soc. of Medic. Sc. Vol. 5. 1901. p. 349.
— Science. Vol. 15. 1902. p. 492—498. — Ibid. Vol. 17. p. 436.
— Americ. Journ. Physiol. Vol. 10. 1904. p. 290—323. — Ibid. Vol. 11. 1904. p. 237—249. — Ibid. Vol. 11. 1904. p. 455—495.
— and Brown, Ibid. Vol. 12. 1904. p. 172—175. — Ibid. Vol. 12. 1905. p. 419—443. — Ibid. Vol. 14. 1905. p. 203—230. — Ibid. Vol. 18. 1907. p. 58—63.
- Maxwell, Amer. Journ. of Physiol. Vol. 13. 1905. p. 154—170.
- Maxwell and Hill, Ibid. Vol. 7. 1902. p. 409—411.
- Meier, Land. Jahrb. Bd. 33. 1904. p. 371.
- Micheels, Compt. rend. T. 143. 1906. p. 1181—1182. — Bull. Soc. Chim. Belgique. T. 21. 1906. p. 198—199.

- Micheels et de Heen, Bull. Acad. roy. Belgique. 1905. p. 263—271, 310—326, 394—398, 520—523; 1907. p. 119—121, 1027—1028.
- Migula, Über d. Einfluß starkverdünnter Säuren auf Algenzellen. Bresl. 1888.
- Nägeli (u. Kramer), Oligodynam. Erschein. Zürich 1893.
- Newcombe a. Rhodes, Bot. Gazette. Vol. 37. 1904. p. 23—35.
- Neilson, Americ. Journ. of Physiol. Vol. 7. 1902. p. 405—408.
- Nikitinsky, Jahrb. f. wiss. Bot. 1904.
- Osterhout, Bot. Gazette. Vol. 42. 1906. p. 127—134. — Univ. of Calif. publ. Botany. Vol. 2. 1906. p. 231—236.
- Journ. of biol. Chem. Vol. 1. 1906. p. 363—369.
- Univ. of Calif. publ. Bot. Vol. 2. 1907. p. 317—318.
- Bot. Gazette. Vol. 44. 1907. p. 259—272.
- Univ. of Calif. publ. Bot. Vol. III. 1908. p. 331—337, 339—340.
- Bot. Gazette. Vol. 45. 1908. p. 117—124.
- Ostwald, Zeitschr. f. physik. Ch. Bd. 13. 1894. p. 377.
- Ostwald Wolfgang, Pflügers Archiv. Bd. 106. 1905. p. 568. — Ibid. Bd. 120. 1907. p. 19—30.
- Parker and Metcalf, Americ. Journ. of Physiol. Vol. 17. 1906. p. 55—74.
- Paul u. Krönig, Zeitschr. f. physik. Chem. Bd. 21. 1896. p. 414—450.
- Paus, Centralbl. f. Bakt. Abt. 1. Orig. Bd. 45. 1907. p. 81—90.
- Peters, Ibid. Vol. 17. 1906. p. 443—477. — Ibid. Vol. 18. 1907. p. 321—346. — Ibid. Vol. 21. 1908. p. 105—125.
- Die Nährstoffe der Pflanze. Wien 1886.
- Pfeffer, Pflanzenphysiol. Bd. 1. 1897. p. 428.
- Plowmann, Amer. Journ. Science. Vol. 14. 1902. p. 129—132.
- Portheim, Sitzungsber. d. Wien. Acad. Bd. CX. 1901. Abt. 1.
- Portheim u. Samec, Flora. Bd. 94. 1905. p. 263.
- Portheim u. Samec, Wiener-Festschrift. 1908. p. 112—124.
- Raumer, Landw. Versuchsst. Bd. 29. 1883. p. 253.
- Raumer u. Kellermann, Landw. Versuchsst. Bd. 25. 1880. p. 25.
- Richter, Centralbl. f. Bakt. Abt. II. 1901. Bd. 7. p. 417—429.
- Compt. rend. T. 132. 1901. p. 523.
- Ritter, Ber. d. d. bot. Ges. 1907. — О дѣйствіи растворовъ солей etc. Moscou 1908.
- Römer, München. med. Wochenschr. 1898. p. 298.
- Rothert, Bot. Zeit. Bd. 64. 1906. p. 43—52.
- Sabbatani, Memor. R. Accad. Sc. Turino. T. 51. 1902. p. 267—305. T. 52. p. 213—257.
- Scheuerlen, Die Bedeutung d. Molekularzustandes d. Desinfektionsmittel etc. Straßburg 1895.
- Scheuerlen u. Spiro, München. med. Wochenschr. 1897. No. 4.
- Scurlen, Ibid. 1897. No. 29.
- Schulz, Прот. С.-Иб. Общ. Ест. Bd. XXVIII. 1897.
- Seiß, Zeitschr. f. landw. Versuchsw. Oesterr. Bd. 10. 1907. p. 88.
- Sigmund, Jahresber. d. Staatsrealschule in Karolinenthal. 1902.
- Stier, Verhalten der Wurzelhärchen gegen Lösungen. Kiel 1903.
- Stevens, Bot. Gazette. Vol. 26. 1898. p. 337—406.
- Spiro u. Bruns, Archiv f. exp. Path. u. Pharm. Bd. 21. 1898. p. 355—374.
- Swingle, Bull. U. S. Depart. Agr. Washington 1896. No. 9.
- Towle, Americ. Journ. of Physiol. Vol. 12. 1904. p. 220—236.

- True, Americ. Journ. of Sciences. Vol. 9. 1900. p. 183—192.
 True, Pharm. Rev. Vol. 15. p. 152.
 True and Gies, Bull. Torr. Bot. Club. Vol. 30. 1903. p. 390—402.
 True a. Hunkel, Bot. Centralbl. Bd. 76. 1898. p. 289—295, 321—327,
 361—368; 391—398.
 True a. Ogleve, Science. II. Vol. 19. 1904. p. 421—424.
 — Bot. Gazette. Vol. 39. 1905. p. 1—21.
 Ulbricht, Landw. Versuchswesen in Preußen. 1892. p. 48. 1893. p. 43.
 1894. p. 51. 1895. p. 124.
 — Landw. Versuchsst. Bd. 52. 1899. p. 383.
 Wächter, Centralbl. f. Bakt. Abt. 2. Bd. 19. 1907. p. 176—184, 272—288.
 Wehmer, Zeitschr. f. Spiritusind. 1901.
 Whitney a. Cameron, 1903. Bull. U. S. Dept. agr., Bureau of soils. 23.
 Wütrich, Zeitschr. f. Pflanzenkrankh. Bd. 2. 1892. p. 16—31, 81—94.
 Zehl, Zeitschr. f. allg. Physiol. Bd. 8. 1908. p. 140—190.
 Zoethaut, Americ. Journ. of Physiol. Vol. 7. 1902. p. 199—202. — Ibid.
 Vol. 7. 1902. p. 320—324. — Ibid. Vol. 10. 1904. p. 211—221. —
 Ibid. Vol. 10. 1904. p. 324—334. — Ibid. Vol. 10. 1904. p. 373—377.

Chaemotropismus.

- Bayliß, Ann. of Bot. Vol. 21. 1907. p. 387—405.
 Buchner, Berlin. klin. Wochenschr. 1890.
 Cholodnyj, Зап. Кіевск. Общ. Ест. Bd. 20. 1906. p. 105—147; Bd. 22.
 1908. p. 239—249.
 Gaßner, Ber. d. d. bot. Ges. Bd. 25. 1907. p. 26—38.
 Goldberger, Zeitschr. f. Biol. Bd. 42. 1902. p. 503—581.
 Haberland, Sitzungsber. d. Wien. Acad. Bd. 99. 1890.
 Jennings and Grosby, Amer. Journ. Physiol. Vol. 2. 1899. p. 311—341;
 Vol. 3. 1900. p. 229—260, 355—379; Vol. 6. 1901. p. 31—37, 233—250.
 Kniep, Jahrb. f. wiss. Bot. 1906.
 Lidforss, Lunds Univ. Arsskrift. Bd. 37. 1902 (?). p. 1—29; Ber. d. d.
 bot. Ges. Bd. 17. 1899. p. 236—242; Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 41.
 1904. p. 65—87; Ber. d. d. bot. Ges. 1905. Bd. 23. p. 314—316.
 Lilienfeld, Ber. d. d. bot. Ges. Bd. 23. 1905; Beihefte z. bot. Centralbl.
 Bd. 19. 1905.
 Liwingston, Bull. Torr. Bot. Cl. Vol. 32. 1905. p. 1—34.
 Löwenherz, Zeitschr. f. Pflanzenkr. Bd. 15. 1905.
 Loev, Sitzungsber. d. Wien. Acad. Bd. 111. Abt. 3.
 Massart, Archiv. de Biol. T. 9. 1886. p. 515—570; Bull. Acad. Belg.
 1891. Vol. 22.
 Miyoshi, Bot. Zeitg. 1894. p. 1—27; Journ. Coll. of Science. Tokyo.
 Vol. X. 1897. p. 11.
 Molisch, Sitzungsber. d. Wien. Acad. Bd. 111.
 Newcombe and Rhodes, Bot. Gazette. Vol. 37. 1904. p. 23—35.
 Overton, Ber. d. d. bot. Ges. Bd. 3. 1888.
 Pfeffer, Unters. bot. Inst. Tübingen. Bd. 2. 1886—1888. p. 582—661; Bd. 1.
 1884. p. 469, 363; Ber. d. d. bot. Ges. Bd. 1. 1883. p. 532—533.
 Kusano, Bot. Magaz. Tokyo. Vol. 21. 1907. p. 143—153.

- Rotherth, Zeitschr. f. allg. Physiol. Bd. 7. 1907. p. 142—164; Flora. Bd. 88. 1901.
- Sammet, Untersuch. üb. Chemotropismus etc. Leipzig 1905.
- Schellenberg, Flora. Bd. 96. 1906. p. 474—500.
- Schibata, Bot. Magaz. Tokyo. Vol. 19. 1905; Jahrb. f. wiss. Bot. 1905.
- Stange, Bot. Zeitg. 1890. p. 140.
- Terry, Amer. Journ. Physiol. Vol. 15. 1906. p. 235—243.
- Wortmann, Bot. Zeitg. 1887. p. 812.

Die Wirkung salzartiger Substanzen.

- Artari, Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 41. 1904. p. 593, Bd. 43. 1906. p. 211.
- Beauverie, Etud. s. l. polymorphisme etc. 1900. Paris.
- Benecke, Bot. Zeitg. Bd. 62. 1904. p. 113, 126.
- Bessey, Flora. Bd. 93. 1904. p. 323.
- Bokorny, Pflügers Archiv. 1889. p. 199—219; Bd. 59. 1895. p. 557—562; Bd. 110. 1905. p. 174—226; Bd. 111. 1906. p. 341—375; Allg. Brauer- und Hopfenzeitg. 1906; Centralbl. f. Bakt. Abt. II. Bd. 18. 1907. p. 171—173; Centralbl. f. Bakt. AAbt. II. Bd. 21. 1908. p. 193—197.
- Copeland and Kahlenberg, Trans. Wisc. Acad. Vol. 12. 1899. p. 454—474.
- Copeland, Bot. Gazette. Vol. 35. 1903. p. 81—98, 160—183.
- Coupin, Compt. rend. T. 132. 1901. p. 645—647; T. 131. 1901; T. 132. 1901. p. 1582.
- Deveaux, Compt. rend. T. 132. 1901. p. 717.
- Dixon, Notes f. the Bot. School, Trinity Coll., Dublin. 1902. p. 187.
- Eschenhagen, Über d. Einfluß der Lösungen etc. Stolp 1889.
- Gerneck, Beih. z. bot. Centralbl. Bd. 21. 1907. p. 221.
- Guthrie and Helms, Agr. Gaz. New South Wales. 1903. p. 114; 1904. p. 29; 1905. p. 85.
- Harter, Bull. U. S. Dept. Agr., Bureau of Animal. Industry. 79.
- Hattori, Journ. Coll. Sc. Univ. Tokyo. Vol. 15. 1901. p. 3.
- Takehi and Baba. Bot. Magaz., Tokyo. Vol. 21. 1907. p. 133—203.
- Klebs, Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 35. 1900. p. 108.
— Die Bedingungen d. Fortpflanzung etc. 1896.
- Korentschewsky, Arch. exp. Path. und Pharm. Bd. 49. 1902. p. 7—31.
- Lewandowsky, Archiv f. Hygiene. Bd. 49. 1904. p. 47.
- Livingston, Bot. Gazette. Vol. 30. 1900. p. 289—317; Vol. 32. 1901. p. 292—302; Vol. 40. 1905. p. 178—195; Bull. U. S. Dept. Agr. 1905. Bureau of Soils. 28.
- Lövinson, Bot. Centralbl. Bd. 83. 1900. p. 1—12, 33—43, 185—195, 209—224.
- Mayenburg, Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 36. 1901. p. 390.
- Matzushita, Zeitschr. f. Hygiene. Bd. 35. 1900. p. 394.
- Meißner, Akkomodationsfähigkeit ein. Schimmelpilze. Leipzig 1902.
- Miano, Ber. d. d. bot. Ges. Bd. 19. 1901. p. 461.
- Nabokich, Ber. d. d. bot. Ges. 1903.
- Nasaroff, Журн. Оп. Арп. Bd. 6. 1905. p. 678—685.
- One, Journ. Coll. Sc. Univ. Tokyo. Vol. 13. 1900. p. 141—186.
- Overton, Zeitschr. f. physik. Chemie. Bd. 21. 1897. p. 189—209.

- Pantanelli, *Jahrb. f. wiss. Bot.* 1904. Bd. 40. p. 330.
 Paulesco, *Journ. d. Physiol. et Path. Gen.* T. 6. 1904. p. 629—644, 855—861.
 Pulst, *Jahrb. f. wiss. Bot.* Bd. 37. 1902.
 Raciborski, *Flora.* Bd. 32. 1896. p. 110—113; *Bull. Acad. d. Sc. Cracovie.*
 1905. p. 461—471; 1908. p. 48—49.
 Reed, *Ann. of Bot.* Vol. 21. 1907. p. 501—543.
 Richter, *Flora.* 1892. p. 4.
 Richet, *Biochem. Zeitschr.* Bd. 11. 1908. p. 273—281.
 Risselberghe, *Reaction osmotique d. l. cellules etc.* Bruxelles 1899. p. 1—101.
 Schander, *Landw. Jahrb.* Bd. 33. 1904. p. 517—584.
 Trebaux, *Flora.* Bd. 92. 1903. p. 1—32 (sep.)
 Wehmer, *Chem. Zeitg.* Bd. 25. 1901. p. 49.
 Woods, *Bot. Gazette.* Vol. 18. 1893. p. 304.
 Uouk, *Oesterr. bot. Zeitschr.* Bd. 58. 1908. p. 236—243.

Narkotische Substanzen.

- Becquerel, *Compt. rend.* T. 140. 1905. p. 1049.
 Claude Bérnard, *Leçons s. l. phénom. d. l. vie. etc.* Paris 1878.
 Burgerstein, *Verh. d. k. Zool. bot. Ges. Wien.* 1908. p. 243—262.
 Coupin, *Compt. rend.* T. 129. 1899. p. 561.
 Darwin, *Philos. Trans. R. Soc. London. Ser. B.* Vol. 190. 1898. p. 531.
 Dixon, *Proceed. K. Irish. Acad. Dublin. Ser. B.* Vol. 4. 1908. p. 618.
 Drude, *Sitzungsber. d. k. Ges. f. Bot. u. Gartenbau „Flora“ zu Dresden.* Bd. 6.
 1903; Bd. 7. 1904.
 Dubois, *Rev. gen. d. sc. pures et appliqu.* 1891. p. 561.
 Elfing, *Ofvörsigt af Finska Vetenskaps Soc. Förhandlingar.* T. 28. 1886.
 Errera, *Bot. Zeitg.* 1884.
 Farmer and Waller, *Bot. Centralbl.* Bd. 74. 1898. p. 377.
 Gerassimow, *Flora.* Bd. 94. 1905. p. 79.
 Johannsen, *Ätherverfahren etc.* Jena 1900; Jena 1906. *Bot. Centralbl.*
 Bd. 68. 1896. p. 337.
 Kaufmann, *Einwirkung d. Anaesthetica etc.* Erlangen 1899.
 Kosinski, *Pringsheims Jahrb.* 1901.
 Morkowin, *Вліяніє анестезирующихъ и ядовитыхъ веществъ на дыханіє.*
 Варшава 1901.
 Overton, *Studien ü. Narkose.* Jena 1901.
 Rothert, *Jahrb. f. wiss. Bot.* Bd. 39.
 Schmid, *Ber. d. d. bot. Ges.* Bd. 19. 1901.
 Steyer, *Reizkrümmungen b. Phycomyces.* Pegau 1901.
 Townsend, *Bot. Gazette.* Vol. 27. 1899. p. 458; Vol. 31. 1901. p. 241;
Annal. of Botan. Vol. 11. 1897. p. 509.