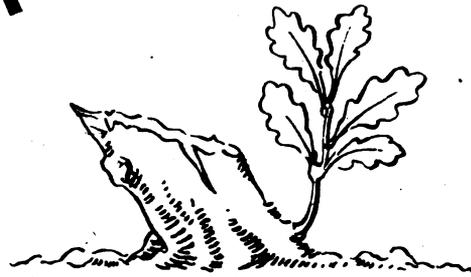


BOTANISCHES ARCHIV



ZEITSCHRIFT FÜR DIE GESAMTE BOTANIK.
HERAUSGEBER DR. CARL MEZ,
PROFESSOR DER BOTANIK AN DER UNIVERSITÄT
KÖNIGSBERG.

BAND VI HEFT 4. AUSGEGEBEN AM 1. MAI 1924.

Herausgeber: Prof. Dr. Carl Mez, Königsberg Pr., Besselplatz 3 (an diese Adresse alle den Inhalt d. Zeitschrift betreffenden Zusendungen). - Verlag des Repertori-ums, Prof. Dr. Fedde, Berlin-Dahlem, Fabeckstrasse 49 (Adresse für den Bezug der Zeitschrift). - Alle Rechte vorbehalten. Copyright 1924 by Carl Mez in Königsberg.

Ueber den Einfluss von Reizstoffen
auf das Längenwachstum der Wurzeln.
Von WILHELM WOLKENHAUER (Hamburg).

Seit den achtziger Jahren des verflorenen Jahrhunderts etwa ist es bekannt, dass manche chemischen Agentien in geringen relativen Mengen das Wachstum der Pflanzen zu stimulieren vermögen, trotzdem sie in stärkeren Konzentrationen schädigende Gifte darstellen. Diesem Phänomen der chemischen Wachstums-Stimulation gab im Jahre 1896 HUEPPE in einem allgemeinen Gesetze Ausdruck, wonach "jeder Körper, der in bestimmten Konzentrationen Protoplasma tötet, in geringerer Menge die Entwicklungstätigkeit aufhebt, in noch geringeren Mengen umgekehrt als Reiz wirkt und die Lebenseigenschaften erhöht". Zahlreiche Arbeiten der letzten Jahrzehnte hatten zur Aufgabe, die verschiedensten Stoffe auf ihre Fähigkeit, das Pflanzenwachstum zu beschleunigen, und auf den Grad ihrer stimulierenden Wirkung hin zu prüfen, vorzüglich in der Landwirtschaft nach praktischen Gesichtspunkten. Trotz der grossen Zahl der Chemikalien, die sich im Laufe der experimentellen Untersuchungen als Wachstums-Stimulantien erwiesen haben, ist das Wesen der chemischen Stimulation pflanzlichen Wachstums noch wenig geklärt; vor allem bedarf es noch einer näheren Erforschung, welche physiologischen Vorgänge in der Pflanze durch die stimulierenden Stoffe beeinflusst werden und durch Abweichungen von ihrem normalen Verlaufe ein schnelleres Wachstum bewirken. Die Aufgabe der vorliegenden Arbeit

ist es, einen Beitrag zur Lösung dieser Frage zu liefern. Im besonderen leiteten mich bei meinen Untersuchungen, die ich mit Phanerogamen-Wurzeln anstellte, die beiden folgenden Fragen:

1. In welcher Weise wird im Falle einer chemischen Wachstumsstimulation der Wachstumsvorgang in der Pflanze beeinflusst?
2. Wie ist das Einwirken der chemischen Agentien auf die Pflanze zu erklären?

CZAPEK (1913) gibt im ersten Bande seiner "Biochemie der Pflanzen" eine Zusammenstellung von Arbeiten über chemische Wachstumsreize, sodass ich mich über die früheren Literatur-Angaben kurz fassen kann.

SCHULZ erkannte als erster im Jahre 1888 bei seinen Studien über Hefegifte die volle Bedeutung der Erscheinung, dass gewisse Chemikalien, die in grösseren Mengen den Pflanzen schädlich sind, in relativ geringen Quantitäten deren vitale Eigenschaften erhöhen können. Er fand z.B., dass die Zellvermehrung der Hefe bedeutend gesteigert wird, wenn man ihr folgende, im übrigen giftige Stoffe in den nachstehenden niederen Konzentrationen bietet: HgCl 1:500000 - 700000, Jod 1:600000, JK 1:100000, Br 1:300000, CrO_3 1:600000, Salicylsäure 1:4000, Ameisensäure 1:40000.

RICHARDS erzielte 1897 mit *Aspergillus niger* erheblich höhere Trockenerntegewichte im Vergleich zu den Kontrollkulturen, wenn er dem Pilze geringe Mengen ZnSO_4 , FeSO_4 , CuSO_4 , NiSO_4 , NaFl , SiCl und Na_2SiO_3 bot.

Nach SANDSTEN können leichte Äther- und Chloroformnarkosen wachstumsstimulierend wirken. Er fand z.B. Chloroform in einer Konzentration von 1:10000 als Wachstums-Stimulans für Mais; die doppelte Dichte dieses Stoffes schädigte seine Keimlinge bereits.

Die Beschleunigung der Samenkeimung durch chemische Agentien ist, hauptsächlich in der Landwirtschaft, das Ziel vieler Experimente gewesen, die zum Teil einen beachtenswerten Erfolge gezeitigt haben. Erwähnt seien hier nur die Befunde von COUPIN (1901), der eine deutliche Beschleunigung der Keimung seiner Weizenkörner bemerkte bei Anwendung von 0,0000001 g K_2CO_3 , 0,00000025 g Kaliumphosphat, 0,0000008 g K_2SO_4 , 0,000003 g KCl und 0,000004 g KNO_3 .

JAVILLIER (1912) erzielte bei Feldversuchen unter Verwendung von Zink als Reizmittel eine Mehrproduktion von 18 - 24% an Trockensubstanz seiner Weizenkeimlinge.

BOKORNY (1905) bezeichnet das Eisenchlorid in einer Lösungsdichte von etwa 1:100000 als Wachstumsstimulans für Phanerogamen.

Das Mangan soll nach Arbeiten von LOEW (1901), TAKEUCHY (1909), BERTRAND (1912) und SALOMONE (1907) stark wachstums-stimulierend wirken; so gibt TAKEUCHY an, dass in seinen Topfkulturen die mittels einer geringen Menge Mangan stimulierten *Spinacia*-Keimlinge einen Mehrertrag von 41%, die *Pisum*-Keimlinge von 19,4% und die *Hordeum*-Keimlinge von 5,3% brachten.

Das Kupfer wird allgemein als ein relativ starkes Gift bezeichnet, das schon in ganz geringen Mengen die Pflanzen schädigt. Jedoch sind auch Fälle bekannt geworden, in denen das Cu das Wachstum förderte. So berichtet HATTORI (1901), dass in seinen Kulturen von *Aspergillus* und *Penicillium* Konzentrationen von 0,004 resp. 0,008% CuSO_4 fördernd auf das Gedeihen der Pilze wirkten.

Ausser diesen von CZAPEK angeführten Arbeiten sollen hier noch folgende Untersuchungen über die chemische Wachstums-Stimulation Erwähnung finden:

HASELHOFF (1913) erzielte eine Erhöhung der geernteten Pflanzenmasse, wenn er Mais-, Hafer- und Bohnen-Keimlingen ca. 1 mg Bor auf 8 kgr Boden, was einer Dichte von 0,00001% Bor im Boden entspricht, darbot.

Die Berichte mehrerer Forscher, u.a. von LOEW, NAGAOKA, ASO, SALOMONE, VOELCKER, BERTRAND, THOMASSIN und LEIDREITER, die in entsprechenden Versuchen eine stimulierende Wirkung des Mangans feststellten, veranlassten PFEIFFER und BLANCK (1912), den Einfluss des Mangans auf das Pflanzenwachstum zu prüfen, zumal die Angaben der erwähnten Autoren zum Teil erheblich voneinander abwichen. Sie fanden das Mangan, das sie dem Boden als Karbonat und Sulfat zusetzten, in ihren Topf- und Freiland-Kulturen als ein für Hafer weniger, für Rüben mehr wirksames Wachs-

tums-Stimulans. So z.B. erhielten sie im Optimum unter Verwendung von 61 kg Mangansulfat pro ha einen Mehrertrag von 127 dz Ripen pro ha. Im folgenden Jahre 1913 fanden sie bei weiteren Versuchen mit Hafer eine Erhöhung der Gesamt-Pflanzenproduktion im Vergleich zu entsprechenden Kontrollkulturen, wenn sie einem Quantum von 17 kg Odersand 2,37 g Mangan zusetzten.

Den Angaben von KOOPER und OTTO (1910) gemäss übt eine 3 o/oo starke wässrige Nikotinlösung auf das Wachstum von *Nicotiana Tabacum* einen sehr günstigen, auf das Wachstum von *Solanum tuberosum* nur einen günstigen Einfluss aus.

O. LOEW (1903) untersuchte das Gedeihen mehrerer Pflanzen unter dem Einfluss verschiedener Stoffe. Er kultivierte z.B. Gerste in Töpfen, die je 1 kg lufttrockenen Bodens fassten; dieser erhielt an Grunddüngung pro kg: 0,5 g Natriumnitrat, 1,5 g Ammoniumsulfat, 0,5 g Monokaliumphosphat, 1,5 g Kalisuperphosphat, 1,0 g Kaliumkarbonat. Dem einen seiner Töpfe setzte es 0,2 g Rubidiumchlorid zu und dem anderen, der als Kontrollkultur galt, die äquivalente Menge Natriumchlorid. Die je 10 Pflanzen wiesen bei Abbruch des Versuches an Trockengewicht auf:

	Rubidium-Pflanzen	Kontrollpflanzen
Ähren	6,1 gr	3,7 gr
Lebende Blätter + Halme	81,3 "	53,6 "
Abgestorbene Blätter (lufttrocken)	5,2 "	4,8 "

Also bewirkte das Rubidium hier eine deutliche Stimulation des Wachstums.

Einen ähnlichen Erfolg erzielte der Autor mit *Brassica chinensis*. In dieser Versuchsreihe setzte er dem Boden, der die gleiche Beschaffenheit wie oben hatte, pro Topf einmal 10 mg, das andere mal 50 mg Rubidiumchlorid zu. Die Pflanzen wogen bei Abbruch des Versuches in frischem Zustand im Mittel:

- a. bei 10 mg Rubidiumchlorid: 16,6 g
- b. " 50 " " 15,1 "
- c. Kontrollpflanzen 11,8 "

Bei einer weiteren Bodenkultur mit Reis erlangte LOEW mit einer Mn_2O_3 -Düngung eine Stimulation des Wachstums um ca. das Doppelte.

Um den Einfluss verschiedener Stoffe auf das Gedeihen der Erbse zu prüfen, zog LOEW die Pflanzen in Töpfen, die je 2300 g lufttrockenen Bodens erhielten, mit je 3 g Chilesalpeter, 3 g Pottasche und 4,6 g Superphosphat als Grunddüngung. Er erzielte u.a. folgende Resultate:

	Samen (lufttrocken)	Stroh (lufttrocken)	Totalproduk- tion
bei 12 mg Uranyl nitrat	29,5 g	16,0 g	45,5 g
" 36 " Mangansulfat	29,1 "	15,9 "	45,0 "
" 6 " Fluornatrium	27,2 "	17,7 "	44,9 "
" 6 " Jodkalium	26,3 "	15,5 "	41,8 "
Kontrollpflanzen	23,2 "	10,4 "	33,6 "

Auch auf die Entwicklung von Reispflanzen wirken nach LOEW Fluornatrium und Jodkalium günstig. Er setzte ja 10 qm Boden diese Chemikalien in folgenden Konzentrationen zu:

- auf 20 l gelöst: a. 0,14 g Fluornatrium
- b. 1,4 " " "
- c. 0,05 " Jodkalium
- d. 0,5 " " "

Es betrug das Totalgewicht aller Pflanzen (27 Stück bei Fluornatrium, 60 bei Jodkalium): bei a. = 7970 g bei c. = 13700 g
 " b. = 6490 g " d. = 11400 g
 Kontrollpfl. = 3814 g Kontrollpfl. = 8900 g

ROKORNY (1913) untersuchte das Keimen und das erste Wachstum der verschiedensten Pflanzen in den Lösungen mannigfacher Chemikalien, die er mit destilliertem Wasser ansetzte, während die Kontrollkeimlinge in reinem aq. destill. wuchsen. Beim Abbruch der Versuche verglich er die Längen der Keimlinge untereinander. Nach den Angaben des Autors wirkten wachstumsfördernd:

0,05 % Lithiumsulfat	auf	Erbsen, Linsen;	
0,01 % Cäsiumsulfat	"	"	"
0,2 % Rubidiumsulfat	"	"	Gerste
0,005% Schwefelkohlenstoff			"
0,0005% Sublimat			Kresse
0,005 % Phenylhydracin			"
0,0025% Anilin			"
0,0025% Kupfersulfat			"
0,005 % "			"

Bei Salpeterverbindungen konnte BOKORNY frühestens nach 14 Tagen Versuchsdauer eine Stimulation des Wachstums bemerken. Er hält es auf Grund der ausserordentlich langen Reaktionszeit für möglich, dass hier keine eigentliche chemische Stimulation des Wachstums vorlag, nimmt vielmehr an, dass zu Beginn des beschleunigten Wachstums die Reservestoffe der Samen aufgebraucht waren und die alsdann einsetzende selbständige Assimilation der Keimlinge die Erhöhung des Zuwachses bewirkte vermöge des starken Stickstoff-Angebotes, wie es die Salpeterverbindung bedingt.

LIPMAN und WILSON (1913) setzten die Stoffe $ZnSO_4$, $MnSO_4$, H_2SO_4 und $CuSO_4$ einem Nährboden zu, in dem sie Weizen- und Wickenkeimlinge zogen. Ihre Versuche zeigten folgende Resultate: 1 - 500 Teile $ZnSO_4$, 1 - 600 Teile H_2SO_4 und 1 - 1000 Teile $CuSO_4$ auf eine Million Teile wasserfreien Bodens bewirkten weder eine besondere Hemmung noch eine Stimulation des Pflanzenwachstums. Jedoch 2000 Teile $MnSO_4$ auf eine Million Teile des wasserfreien Bodens ergaben beim Weizen eine deutliche Wachstumsförderung.

BRENCHLEY (1914) untersuchte den Einfluss von Zinksulfat, arseniger Säure, Arsensäure und Borsäure auf das Wachstum von Gerste einerseits und Erbsen andererseits, indem er die Trockengewichte der Keimlinge nach Abbruch der Versuche verglich. Er kam dabei zu dem Resultate, dass die verschiedenen Pflanzenarten nicht gleich empfindlich auf die Stoffe reagieren. So ist z.B. Gerste weniger empfindlich für Arsen als die Erbse; arsensaures Natron stimuliert das Wachstum der Gerste bei einer Konzentration von 0,0002 o/oo und weniger, während die Erbse noch bei Konzentrationen von 0,0004 o/oo herunter bis zu 0,0001 o/oo geringe Wachstumshemmungen zeigt.

Die Resultate, die verschiedene Forscher bei ihren Versuchen über den Einfluss eines Stoffes auf das Pflanzenwachstum erhielten, gehen oft weit auseinander. Die Ursachen dieser Abweichungen können verschieden sein, wie z.B. die Wahl eines andersartigen Pflanzenmaterials (cg. BRENCHLEY, l.c.); vor allem aber eine Verschiedenartigkeit der Kulturbedingungen, unter denen die Versuchskeimlinge gezogen werden, vermag die Wirkung ein und desselben Stoffes auf das Gedeihen einer Pflanze stark zu ändern, wie ein kurzer Auszug aus der Literatur im folgenden zeigen möge:

LIPMAN und WILSON (1913) setzten, wie bereits oben erwähnt wurde, die von ihnen untersuchten Chemikalien einem Nährboden zu, in dem ihre Weizen- und Wickenkeimlinge wuchsen. Sie kamen zu dem Resultate, dass bei ihrer Versuchsanordnung die Pflanzen gegen die Einflüsse der chemischen Agentien, vor allem des Kupfersulfats, widerstandsfähiger sind, als manche andere Forscher berichten. So schreibt z.B. BOKORNY (1913) aufgrund seiner Experimente und Wasserkulturen dem $CuSO_4$ einen besonders giftigen Charakter zu. Diese Differenz in den Versuchsergebnissen wird wahrscheinlich ihren Grund in der Verschiedenartigkeit der Versuchsbedingungen

haben (Bodenkulturen auf der einen, Wasserkulturen auf der anderen Seite).

Es ist, wie BRENCHELEY (1914) u. a. angibt, eine durch viele Versuche gestützte Tatsache, dass die schädigenden Stoffe den Pflanzen in einem festen Substrate (Boden, Sand etc.) weniger gefährlich sind als in einer Wasserkultur. Wird in einer solchen z.B. durch eine bestimmte Konzentration eines Stoffes das Wachstum einer Pflanze stark gehemmt, so kann deren Gedeihen andererseits gefördert werden, wenn eine gleiche Konzentration des gleichen Stoffes ihr in einem Boden geboten wird, vorausgesetzt natürlich, dass die Lösung überhaupt als Wachstums-Stimulans zu wirken fähig ist.

BRENCHELEY (1914) ist der Überzeugung, dass Wasserkulturen für Versuche über die chemische Stimulation des Pflanzenwachstums geeigneter und für die Vergleiche der Ergebnisse, wie sie von verschiedenen Autoren erlangt wurden, zuverlässiger sind; denn niemals kann man gewiss sein darüber, welchen Einflüssen die zur Untersuchung stehenden Chemikalien im Boden unterworfen sind. So z.B. machen LIPEAN u. WILSON (1913) im Anschluss an ihre Experimente mit H_2SO_4 (cfr. oben) darauf aufmerksam, dass es wohl möglich sei, dass die Säure zusammen mit den schon im Boden vorhandenen Substanzen neue Nährstoffe für die Pflanzen bildete - aus $H_2SO_4 + Na_2CO_3$ z.B. könnte Na_2SO_4 hervorgegangen sein.

Ferner hat HASELHOFF (1892) nachgewiesen, dass im Boden bei Berieselung mit kupfersulfat- und kupfernitrat-haltigem Wasser einige für die Pflanzen wichtige Nährstoffe, wie Kalk und Kali, ausgewaschen werden, während Kupfer absorbiert wird.

Oder denken wir uns folgenden einfachen Fall: Einem Boden, dessen Beschaffenheit genau bekannt ist, etwa ausgeglühtem Quarz, möge eine bestimmte Konzentration eines Stoffes zugesetzt werden. Bei den zureichenden Kulturtemperaturen (20 - 25°) wird aus dem Quarz stets Wasser verdunsten und ein Teil des gelösten Stoffes absorbiert werden. Welche Konzentration bietet sich da nun tatsächlich der Pflanze?

Aus diesen wenigen Beispielen geht schon zur Genüge hervor, wie unvollkommen die wahren Versuchsbedingungen bei Bodenkulturen der Kontrolle des Experimentators zugänglich sind, und vor allem, welche mannigfachen Einflüsse bei dieser Art der Versuchsanstellung dem Angriffe eines Stoffes auf die pflanzlichen Gewebe entgegen treten.

Bei der Kultur von Gerstenkeimlingen in verschiedenen Konzentrationen von Kupfersulfat, das teils einfach in destilliertem Wasser gelöst, teils einer Nährlösung in entsprechenden Mengen zugesetzt war, gelangte BRENCHELEY (1914) zu dem Ergebnis, dass die Nährstoffe in den Lösungen die Giftwirkung des Kupfers "vermaskieren", d.h., allgemein gesprochen, dass bei Anwendung schwacher "Gift"-Lösungen eine Pflanze mehr von einem schädlichen Stoff vertragen kann, wenn dieser einer Nährlösung beigemischt ist, als wenn er als alleiniger gelöster Stoff der Pflanze geboten wird. BRENCHELEY fand, dass im Verbands einer Nährlösung 0,004 o/oo $CuSO_4$ noch ein, wenn auch stark gehemmt, Wachstum der Pflanzen zuließ, während schon eine 0,001 o/oo einfache Kupfersulfat-Lösung die Versuchskeimlinge sofort tötete.

Worauf beruht nun diese "Vermaskierung" der Giftwirkung von Kupfer? BRENCHELEY setzte das Kupfersulfat einer Nährlösung folgender Zusammensetzung zu: 1 g. Kaliumnitrat, 0,5 Magnesiumsulfat, 0,5 Calciumsulfat, 0,5 Natriumchlorid, 0,5 Kaliumphosphat, 0,04 Eisenchlorid auf 1 Liter aq. dest.

Voraussichtlich wird in dieser Nährlösung das Kupfer als Kupferphosphat ausgefallen sein, wodurch natürlich der Versuch in seiner ursprünglichen Bedeutung an Wert verliert; das unter diesen Umständen erlangte Resultat drückt eben nicht mehr den Einfluss der zugesetzten Kupfermenge aus, sondern vielleicht die Wirkung eines anderen frei gewordenen Stoffes der Nährlösung auf die Pflanze, resp. das Zusammenwirken der Nährstoffe, die durch die Fällung des Kupfers andere Gruppierungen und somit andere Einwirkungen auf die Keimlinge zeigen können.

Aber gesetzt den Fall, es gelänge, eine Nährlösung herzustellen, in der das Kupfer nicht in irgend einer Form ausfallen würde, so träte ein neuer Faktor erschwerend der Untersuchung seines Einflusses auf das Wachstum von Keimlingswurzeln im Verbands dieser Nährsalze entgegen: der Antagonismus. Mit diesem Ausdruck bezeichnet man die Tatsache, dass zwei Stoffe sich gegenseitig in ihrer Wirkung auf das Wachstum stören. In dem letzten Jahrzehnt hat dieses Phänomen vorzüglich

nach praktischen Gesichtspunkten in der Landwirtschaft zu weitgehenden Untersuchungen Anlass gegeben.

OSTERHOUT (1909) untersuchte den Antagonismus von Kalium, Ammonium, Magnesium und Calcium contra Natrium. Er verwandte Weizen als Versuchsmaterial und benützte als Vergleichsmasse den Zuwachs der Keimlingswurzeln, der nach 30 Tagen Versuchsdauer gemessen wurde. Die Versuche ergaben folgendes Resultat:

I. Natrium contra Kalium.

Die Lösung	0,12 M NaCl	bewirkte	einen	Wurzelzuwachs	von	55	mm
"	"	0,12 M KCl	"	"	"	67	mm
"	"	30 ccm (0,12 M) KCl + 100 ccm (0,12 M) NaCl	"	"	"	185,5	"

II. Natrium contra Ammonium.

"	"	0,12 M NH ₄	bewirkte	einen	Wurzelzuwachs	von	6	"
"	"	0,12 M NaCl	"	"	"	58	"	
"	"	5 ccm (0,12 M) NH ₄ + 100 ccm (0,12 M) NaCl	"	"	"	126	"	

III. Natrium contra Magnesium.

"	"	0,12 M MgCl ₂	bewirkte	einen	Wurzelzuwachs	von	5	"
"	"	0,12 M NaCl	"	"	"	55	"	
"	"	7,5 ccm (0,12 M) MgCl ₂ + 100 ccm (0,12 M) NaCl	"	"	"	210	"	

IV. Natrium contra Calcium.

"	"	0,12 M CaCl ₂	bewirkte	einen	Wurzelzuwachs	von	85	"
"	"	0,12 M NaCl	"	"	"	55	"	
"	"	5 ccm (0,12 M) CaCl ₂ + 100 ccm (0,12 M) NaCl	"	"	"	440	"	

OSTERHOUT fand, dass das Natrium die Schädlichkeit der 4 oben aufgeführten Stoffe wesentlich verringerte, d.h. ein Gemisch aus einem dieser Chemikalien mit Natrium liess stets ein intensiveres Wachsen der Wurzeln zu, als eine einfache Lösung dieser chemischen Agentien, In je geringeren relativen Mengen den benützten Stoffen das Natrium gegenüber gestellt, je grösser also der Quotient K: Na, bzw. NH₄: Na, Mg: Na oder Ca:Na wurde, desto geringer wurde der Antagonismus, wurde die entgiftende Wirkung des Na. Die oben angegebenen Zusammenstellungen der Salze waren die jeweilig optimalen, also diejenigen, die ein grösstes Wachstum der Wurzeln zulieszen. In dem Falle III. z.B. gestattet ein Gemisch von Na und Mg zu gleichen Teilen (100 ccm (0,12 M) MgCl₂ + 100 ccm (0,12 M) NaCl) nur ein Wachstum von 25 mm gegenüber 210 mm im oben zitierten optimalen. Mit Nitraten anstelle der Chloride bekam OSTERHOUT ähnliche Resultate.

HANSTEEN (1910) nahm zu einem grossen Teile den Antagonismus von Calcium contra Kalium zum Gegenstand seiner experimentellen Untersuchungen, den er am Wachstum von Weizenkeimlingen, deren Trockengewichte ihm als Masse dienten, studierte. Er verwandte folgendes Lösungsgemisch: 100 ccm M:100 KNO₃ + 100 ccm M:100 CaN₂O₆ + 4 H₂O, bei dem der Quotient K:Ca = 0,975 beträgt, und variierte nun das Mengenverhältnis von Kalium zu Calcium in den weiteren Lösungen dadurch, dass er die Anzahl ccm des Kalisalzes in bestimmten Intervallen verringerte, also den Quotienten K:Ca vergrösserte. Seine mehrfach wiederholten Versuche zeigten, dass der Quotient constant 19,5 betragen musste, um eine grösstmögliche Entgiftung des Kaliums, das übrigens die Pflanze bei weitem stärker schädigt als Ca, durch letzteres herbeizuführen. Dabei war es vollkommen gleichgiltig, ob der Autor M:100-Lösungen oder M:800-Lösungen, d.h. eine achtfache Verdünnung von der ersteren, verwandte. - Ferner untersuchte HANSTEEN in genau derselben Weise wie oben neben dem KNO₃ auch den Antagonismus zwischen KH₂PO₄ und KCl einerseits und CaN₂O₆ andererseits; also operierte er hier mit andern Anionen des Kalisalzes. Ausser dem Ergebnis, dass sich auch die Entgiftung dieser andersartigen Salze des Kaliums durch das Calciumnitrat in allen Stücken genau so verhält wie die des Kaliumnitrates, schöpfte er aus dieser Versuchsserie auch noch die Erfahrung, dass die H₂PO₄- und Cl-Anionen die Giftwirkung der Kalium-Kationen verstärken. Nicht nur, dass die einfachen KH₂PO₄- und KCl-Lösungen ein nur geringeres Wachstum der Keimlinge als die einfache KNO₃-Lösung zulieszen, die hemmende Wirkung war bei ersteren auch nach einem geringen Zusatz von Ca (K:Ca = 975,0) grösser als bei letzterer. Wie eben schon erwähnt, ist es für den Grad der Entgiftung des Kaliumsalzes durch das Calciumsalz ganz gleich, ob das Kalium als KNO₃, KH₂PO₄ oder KCl dem CaN₂O₆ gegenübergestellt wird. Daraus

schliesst HANSTEEN, dass der Antagonismus der Kalium- und Calcium-Salze untereinander auf einer direkten Beeinflussung der Kalium- und Calcium-Ionen aufeinander beruht.

Schliesslich sei noch erwähnt, dass HAWKINS in einer Arbeit (The Influence of Calcium, Magnesium and Potassium Nitrates upon the Toxicity of Certain Heavy Metals towards Fungus Spores, in *Physiol. Researches* I, 1913, nr. 2), die mir leider nicht zugänglich ist und bei deren Erwähnung ich mich auf die Angaben von STILES und JÖRGENSEN (1914) berufen muss, nachgewiesen hat, dass Calciumnitrat auf Kupfernitrat antagonistisch wirkt, dass also nicht nur Nährstoffe, sondern auch solche Chemikalien; die nicht der Ernährung dienen, sich in ihrer Wirkung auf Pflanzen zu beeinflussen vermögen.

Die Schwierigkeiten, die sich exakten Untersuchungen über den Einfluss einzelner chemischer Agentien auf das Pflanzenwachstum im Verbands von Nährstofflösungen entgegenstellen, liegen darin, dass der Antagonismus zwischen den Nährsalzen und dem einen oder dem andern Stoff verschieden gross ist. So gibt ein Resultat, das aus einer Versuchsreihe mit Nährlösungen gewonnen wurde, niemals direkt den Einfluss des jeweils zur Untersuchung stehenden Stoffes an, sondern spiegelt lediglich den Antagonismus zwischen den Nährsalzen und diesem wieder. Selbst wenn eine ganz bestimmte Nährlösung als Grundlage aller Versuche dieser Art festgelegt würde, so würden wohl nur selten die Versuchsergebnisse, die mittels dieser Kulturbedingungen gewonnen wurden, das direkte Verhältnis der Wirkungs-Intensitäten der einzelnen untersuchten Stoffe zu einander wiedergeben.

Es bleibt nun noch übrig, die einfachen Lösungen der zur Untersuchung stehenden Stoffe in Wasser einer kritischen Beleuchtung zu unterziehen. Wohl selten sind die im Leitungswasser enthaltenen chemischen Bestandteile an zwei geographisch getrennten Orten die gleichen. Dieser Umstand kann vermöge der Verschiedenartigkeit des Antagonismus chemischer Agentien untereinander Differenzen bewirken in den Resultaten der Versuche, die etwa zwei Forscher in zwei verschiedenen Instituten mit ein und demselben Stoffe anstellen. Ferner tritt als ein erschwerender Faktor den Versuchen mit Leitungswasser entgegen, dass die zur Lösung gebrachten Chemikalien (vor allem Schwermetalle) häufig in irgend einer Form wieder ausgefällt werden. Dadurch kann unter Umständen der betreffende Versuch seinen Zweck vollständig verfehlen.

Über die Grösse des Einflusses, den die Verwendung destillierten Wassers bei Versuchen über die Wirkung chemischer Agentien auf das Pflanzenwachstum ausübt, gehen die Meinungen einzelner Forscher auseinander.

BRENCHLEY (1910) spricht dem aq. destill. jeglichen schädigenden Einfluss auf eine Pflanze ab. Dagegen zeigen die Versuche HANSTEENS (1910), dass die Wurzeln der Keimlinge in dem mehrfach umdestillierten Wasser gegenüber einfachen Lösungen von Stoffen erheblich zurückblieben; sie schollen stark an, bekamen ein gelbliches Aussehen und machten im ganzen einen kranken Eindruck. Dass ein Versuchsergebnis mit solchen schwer geschädigten Kontrollpflanzen keinen Anspruch auf Exaktheit machen kann, steht ausser Zweifel. Da der osmotische Druck des destillierten Wassers = 0 ist, so ist es wahrscheinlich, dass in solchen Pflanzenteilen, die direkt mit ihm in Berührung kommen, der Turgordruck aussergewöhnlich gesteigert wird, was natürlich nicht ohne Einfluss auf das Wachstum bleiben kann.

STOCKBERGER (1910), der den Einfluss verschiedener Chemikalien auf die Mitosen der *Vicia Faba*-Wurzeln untersuchte, fand u. a. eine gleiche Beeinflussung der Zellen (Sistierung der Kernteilungen) im destillierten Wasser wie in Kupferlösungen geringer Konzentration, wenn auch erst nach längerem Verbleiben der Wurzeln in ersterem. Wurzeln aus feuchten Sägespänen zeigten keine solche Schädigungen. Auf Grund dieses Ergebnisses kommt der Autor zur Überzeugung, dass das destillierte Wasser an und für sich auch als "giftig" bezeichnet werden muss. - An den Befunden STOCKBERGERS ist die Gleichartigkeit der Schädigungen des destillierten Wassers und der Kupferlösung auffallend. Unter Berücksichtigung der Zeit, innerhalb der sich die Hemmung der Kernteilungsvorgänge bemerkbar machte - das sind ca. 94 Stunden für aq. dest. und ca. 24 Stunden für das Kupfersulfat - muss es doch zweifelhaft erscheinen, ob die Schädigungen im destillierten Wasser diesem

direkt zuzuschreiben sind. Es ist wohl denkbar, dass geringe Spuren Kupfers beim Destillieren aus Kupferkesseln in das Wasser übergegangen waren, trotzdem der Autor "triple distilled or redestilled from glass just before use" Wasser verwandte. Bei der relativ grossen "Giftigkeit" des Kupfers ist es wohl möglich, dass so geringe Mengen dieses Metalls im Wasser in einer Zeit von 96 Stunden den erwähnten Einfluss ausüben konnten.

Wie oben schon erwähnt, werden bei der Destillation des Wassers aus den Gefässwandungen leicht Stoffe gelöst; diese Erscheinung wird nach NAEGELI (1893) allgemein die "oligodynamische" genannt. Sogar aus Glasgefässen können Stoffe in das Wasser übertreten, wo sie in äusserst geringen Konzentrationen schon von teils starkem Einfluss auf das Pflanzenwachstum sein können, wie NAEGELI (1893) und LOEW (1891) angeben. In einem solchen Falle stehen natürlich die wahren Kulturbedingungen ausserhalb der Kontrolle des Experimentators.

Ein grosser Übelstand bei der Anwendung von aq. destill. ist eben der, dass sich in ihm Stoffe befinden können, die ihrer geringen Menge wegen nicht nachweisbar sind, jedoch als allein gelöste Substanzen auf die Kontrollpflanzen vor allem schon in den minimalsten Spuren einen erheblichen Einfluss ausüben können. Alles in allem scheinen die Leitungswasser-Kulturen für Versuche der beschriebenen Art die zuverlässigsten zu sein, vorausgesetzt natürlich, dass der zur Untersuchung stehende Stoff nicht in irgend welcher Form ausfällt. Es wäre sehr ratsam, wenn bei Verwendung von Leitungswasser seine jeweiligen genaue Analyse angegeben würde. Im Falle der Wiederholung der Versuche könnten dann mittels eines Vergleiches dieser Analysen die Differenzen in den Resultaten eliminiert werden, welche, wie oben erwähnt, die im Leitungswasser vorhandenen Stoffe bewirken können.

Zum besseren Verständnis meiner unten wiedergegebenen Versuchsergebnisse soll vorerst das

ALLGEMEIN METHODISCHE

meiner Versuchsanstellungen besprochen werden.

Als Versuchsmaterial wählte ich Roggen, und zwar "Petkuser Sommerroggen", dessen Wurzeln, wie sich bei Vorversuchen herausstellte, äusserst fein hinsichtlich der Wachstums-Stimulation reagieren. Die Samenkörner, die stets sorgfältig in gleicher Grösse ausgesucht wurden, keimten (durchschnittlich 2 bis 3 Tage) in feuchten Sämen, bis die Wurzeln eine bestimmte Länge (ca. 2 - 3 cm) erreicht hatten, dann wurden die Keimlinge in die Kulturflüssigkeiten gesetzt. Als Kulturgefässe benutzte ich Glashäfen von 13 cm Höhe, 7 cm Breite und 5 cm Tiefe, die nach einer sorgfältigen Reinigung mit den Lösungen bis zu einer bestimmten Marke gefüllt wurden. Durch Nachfüllen mit Wasser bis zu diesem Zeichen wurden die Konzentrationen trotz der dauernden Wasserverdunstung annähernd konstant erhalten. Während aller Versuche tauchten nur die Wurzeln der Keimlinge in die Lösungen hinein und zwar durch ein Loch in einem emaillierten Deckel, in dem der Samen mittels Watte festgehalten wurde. In einem Gefässe wuchsen stets nur 6 Keimlinge. Die Glashäfen wurden von allen Seiten mit schwarzem Papier bedeckt, sodass die Wurzeln im Dunkeln wuchsen und nur die Sprosse ins Tageslicht ragten. Alle Kulturen standen stets 1 m von einem Nordfenster entfernt.

Die Zuwachswerte der Wurzeln in den verschiedenen Konzentrationen dienten mir zum Vergleiche. Sie wurden so bestimmt, dass beim Einsetzen der Keimlinge in eine Lösung aus den Längen sämtlicher Wurzeln, der je 6 Keimlinge die mittlere Anfangslänge berechnet wurde. Die Differenz dieser mit der ebenso berechneten mittleren Endlänge gab den jeweiligen mittleren Zuwachswert, wie er der Wachstumsintensität der Wurzeln in einer bestimmten Konzentration eines Stoffes entsprach.

Die Schwankungen in der Grösse des Zuwachses der einzelnen Keimlingswurzeln, die in der Individualität der Pflanzen ihre Ursache haben, wurden folgendermassen berechnet: Innerhalb einer Versuchsreihe wurden die positiven und negativen Abweichungen, die die Zuwachswerte der einzelnen Keimlinge von dem ihnen entsprechenden Mittelwerte zeigten, festgestellt; aus allen diesen Zahlen wurde das arithmetische Mittel gezogen, das die Plus- und Minus-Grenzen der "individuellen Schwankungen"

kungen*, vom Mittelwert des Wurzelzuwachses aus gerechnet, angibt. Alle einzelnen Zuwachsgrößen, die ausserhalb dieser Grenzen individueller Schwankungen lagen, blieben beim Abschlusse der Versuchsserien unberücksichtigt; denn es besteht die grosse Wahrscheinlichkeit, dass die Keimlinge, die ein derartig extremes Wachstum zeigten, fremden und störenden Einflüssen unterworfen waren.

Eine genaue Analyse des Hamburger Leitungswassers, mit dem ich den grössten Teil meiner Versuche ansetzte, wurde mir vom hiesigen hygienischen Institut in dankenswerter Weise übermittelt. Sie lautet wie folgt:

Abdampfrückstand	409,0 mg im l	Ammoniak	0,0 mg im l
Kalk (CaO)	83,2 " " "	Kalium (K ₂ O)	12,8 " " "
Magnesia (MgO)	20,88 " " "	Natrium (Na ₂ O)	63,8 " " "
Chlor	104,0 " " "	Eisen	0,2 " " "
Schwefelsäure (SO ₃)	44,04 " " "	Kohlensäure (CO ₂) geb.	49,5 " " "
Salpetersäure (N ₂ O ₅)	4,2 " " "	Sauerstoff	6,12 " " "
Salpetrige Säure	0,0 " " "	Phosphor = geringe Spuren, weniger als	
Oxydierbarkeit, KMnO ₄ -Verbr.	19,59 mg.		0,1 " " "

Als erstes galt es, einen geeigneten Stoff zu finden, der das Wachstum der Roggenwurzeln so stark zu beschleunigen vermag, dass die Erhöhung des Wachstums stets einwandfrei als chemische Stimulation definiert werden kann unter Berücksichtigung der individuellen Schwankungen in der Wachstumsintensität der einzelnen Keimlinge. Ferner ist es von grossem Vorteil bei den Untersuchungen in dem oben angegebenen Sinne, wenn die Wachstum-stimulierende Wirkung des fraglichen Stoffes eine möglichst grosse ist. Um einen Stoff zu finden, der diesen Vorbedingungen vollauf genügt, untersuchte ich die unten angeführten Chemikalien auf ihre Fähigkeit hin, das Wurzelwachstum zu beschleunigen; die mit ihnen erzielten Resultate sind unter Berücksichtigung der bereits von anderen Autoren mit denselben Agentien erlangten Ergebnisse im folgenden aufgeführt.

KUPFERSULFAT (CuSO₄).

Das Kupfersulfat ist erfahrungsgemäss ein relativ starkes Gift für Pflanzen, das jedoch nach Angabe einiger Autoren in ganz geringen Mengen wachstumsfördernd wirken soll.

BOKORNY (1913) fand, dass Lösungen dieses Stoffes bis herunter zu 0,0001% (0,001 o/oo) das Wachstum von Gerste hemmten; mit geringeren Konzentrationen operierte der Autor in diesem Falle nicht. Kresse-Wurzeln wurden in seinen Versuchen von 0,005% CuSO₄ im Wachstum gefördert.

MAQUENNE und DEMOUSSY (1920) fanden eine Nährlösung, in der Kupfersulfat als Zusatz wachstumsstimulierend wirkte. Die Nährlösung hatte folgende Zusammensetzung: 1,678 g crist. Calciumnitrat; 0,200 g Monokaliumphosphat; 0,040 g crist. Eisensulfat auf den Liter aq. dest. - Setzten die Autoren einer derartigen Nährlösung 0,2 mg CuSO₄ zu, was einer Konzentration dieses Stoffes von 0,0002 o/oo entspricht, so zeigten in ihr die Erbsen- und Weizenwurzeln eine Wachstumsförderung im Gegensatz zu denen in der kupferfreien Nährlösung. Die Resultate waren folgende:

Nach 9 Tagen Versuchsdauer betrug der mittlere Wurzelzuwachs:

1. Für Erbsen:	ohne CuSO ₄	=	35 mm
	mit "		86 "
2. Für Weizen:	ohne "		14 "
	mit "		37 "

Der Zuwachs war also in beiden Fällen um gut das Doppelte erhöht.

Nach BRENCHELEY (1910) wirken einfache Kupfersulfat-Lösungen in destilliertem Wasser von 0,08 o/oo herunter bis 0,001 o/oo auf das Wachstum der Gerste stark hemmend. In der oben schon zitierten Nährlösung wirken 0,08 o/oo bis 0,01 o/oo Lösungen sofort tötend, während Konzentrationen von 0,004 o/oo herunter bis 0,0002 o/oo immer nur ein gehemmtes Wachstum den Kontrollkulturen gegenüber zulassen. Bei keiner noch so geringen Dichte fand der Autor eine Wachstumsstimulation durch Kupfersulfat

Mein Vorhaben, einfache Kupfersulfat-Lösungen mit Leitungswasser herzustellen, musste ich aufgeben, da der starke Kohlensäure-Gehalt im Hamburger Leitungswasser das Kupfer stets als Karbonat in grossen Flocken ausfallen liess. So konnte ich Kupfer nur in Form von CuSO_4 -Lösungen in destilliertem Wasser auf seine Wachstumsförderung v. Roggenwurzeln hin prüfen. Die Kontrollkeimlinge wuchsen in reinem aqua destillata.

I. Versuchsreihe vom 11. III. - 18. III. 1922.

Mittl. Temperatur 19° , extreme Temperaturen 18° und 21° . Die Samen keimten zwei Tage in feuchten Spänen.

	Aqua destill.	Konzentrationen CuSO_4 .		
		0,001 o/oo	0,005 o/oo	0,01 o/oo
Mittl. Anfangsl.	1,3 cm	1,4 cm	1,4 cm	1,6 cm
" Endlänge	8,4 "	4,1 "	1,5 "	1,6 "
" Zuwachs	7,1 "	2,7 "	0,1 "	0,0 "

Die Grenzen der individuellen Schwankungen sind $\pm 0,8$ cm.

In der 0,01 o/oo starken Lösung wurden die Wurzeln sofort getötet, während in der 0,005 o/oo und der 0,001 o/oo Konzentration ein nur geringes, den Kontrollwurzeln gegenüber stark gehemmtes Wachstum stattfand. Die Stärke der Schädigung durch das Kupfersulfat nahm mit fallenden Konzentrationen ab.

Auch die Sprosse der Versuchskeimlinge zeigten ein vermindertes Wachstum den Kontrollpflanzen gegenüber. Die mittleren Endlängen der Sprosse waren:

a. in aqua destillata	= 14,6 cm
b. in 0,001 o/oo CuSO_4	10,6 cm
c. in 0,005 o/oo "	6,7 cm
d. in 0,01 o/oo "	6,5 cm.

II. Versuchsreihe vom 22. III. - 31. III. 1922.

Mittlere Temperatur 19° , extreme Temperaturen 18° und 20° . Die Samen keimten zwei Tage in feuchten Spänen.

	Aqua destill.	Konzentrationen CuSO_4 .		
		0,0001 o/oo	0,0005 o/oo	0,001 o/oo
Mittl. Anfangsl.	1,4 cm	1,5 cm	1,7 cm	1,5 cm
" Endlänge	7,0 cm	8,9 cm	8,8 cm	5,1 cm
" Zuwachs	5,6 cm	7,4 cm	7,1 cm	3,6 cm

Die Grenzen der individuellen Schwankungen sind $\pm 1,0$ cm.

Im Vergleiche mit den Kontrollwurzeln wiesen die Versuchswurzeln aus der 0,0001 o/oo und der 0,0005 o/oo starken Lösung einen um 1,8 resp. 1,5 cm erhöhten Zuwachs auf, während die 0,0001 o/oo Konzentration, wie in der ersten Versuchsreihe, nur ein gehemmtes Wachstum zulies. Die Differenz zwischen den grösseren Zuwachswerten der beiden geringeren Konzentrationen CuSO_4 und dem der Kontrollkultur erhebt sich deutlich über die Grenzen der individuellen Schwankungen.

Die eben angeführten Versuchsergebnisse decken sich mit denen von BOKORNY; wie dieser Autor für die Wurzeln von Gerste, so fand ich für Roggenwurzeln eine 0,001 o/oo starke Lösung Kupfersulfat unbedingt wachstumshemmend. - Trotzdem MAQUENNE und DEMOUSSY im Gegensatz zu meinen einfachen Lösungen mit aq. dest. das Kupfersulfat einer Nährlösung zusetzten, stimmt ihr Resultat, dass 0,0002 o/oo CuSO_4 Weizenwurzeln im Wachstum stimuliert, auffallend mit dem meinigen überein. - Diesen Versuchsergebnissen stehen die von BRENCHLEY gegenüber. Die zu Anfang dieses Abschnittes zitierten Werte beziehen sich auf die Versuche, in denen der

Forscher Gerste kultivierte. Im Gegensatz zu meinen Resultaten gibt der Autor an, dass eine 0,0002 o/oo starke Lösung CuSO₄ immer, wenn auch in geringem Masse, das Wurzelwachstum hemmt.

Mit Recht kann man das Kupfer als sehr giftig für Pflanzen bezeichnen. Die Zuwachswerte in den obigen Tabellen zeigen deutlich, dass schon geringe Konzentrationsänderungen von ganz bedeutendem Einfluss auf die Stärke der Einwirkungsintensität des Kupfers sein können.

RUBIDIUMNITRAT (RbNO₃).

BOKORNY (1912) stellte Rubidiumsulfat-Lösungen von 1%, 0,5% und 0,2% mit Brunnenwasser her und beobachtete das Keimen und das erste Wachsen von Erbsen, Bohnen und Linsen in diesen Lösungen und verglich es mit dem Verhalten der Samen in einfachem Brunnenwasser. In allen Versuchsreihen fand der Autor, dass 1% und 0,5% Rubidiumsulfat das Pflanzenwachstum stark hemmte, während die 0,2% Lösung das Keimen und das Wachstum der Versuchspflanzen erheblich beschleunigte. Für die Erbse waren seine Ergebnisse folgende:

Länge der Hauptwurzel in RbSO ₄	nach 8 Tagen	nach 3 Wochen
0 %	3 cm	4 cm
0,2%	4 cm	15 cm
0,5%	2 cm	4 cm
1,0%	0,75 cm	0,75 cm

Die Wurzeln in der 1% starken Lösung schwellen sehr bald nach dem Auskeimen kurz hinter der Spitze ganz auffallend an, was der Autor einer Schädigung der Wachstumszone zuschreibt.

Zwecks Untersuchung des Rubidiums in seinem Einfluss auf das Wachstum der Roggenwurzeln verwandte ich Rubidiumnitrat, in Leitungswasser gelöst.

III. Versuchsreihe vom 13. IV. - 21. IV. 1922.

Mittlere Temperatur 19°, extreme Temperaturen 17° und 20°. Die Samen keimten 2 Tage in feuchten Spänen.

	aq. dest.	Konzentrationen RbNO ₃ .				
		0,0005%	0,001 o/oo	0,01 o/oo	0,1 o/oo	1 o/oo
Mittl. Anfangsl.	2,3 cm	2,3 cm	2,5 cm	2,7 cm	2,4 cm	2,8 cm
" Endlänge	16,6 "	12,8 "	17,4 "	12,8 "	5,8 "	5,3 "
" Zuwachs	14,3 "	10,5 "	14,9 "	10,1 "	3,4 "	2,5 "

Die Grenzen der individuellen Schwankungen sind ± 1,0 cm

In den beiden höchsten Konzentrationen (0,1 und 1 o/oo), die das Wachstum der Wurzeln stark hemmten, schwellen diese kurz hinter der Spitze stark an, wie es BOKORNY an Erbsenwurzeln auch beobachtete (siehe oben). Die Nebenwurzeln waren hier vereinzelter und kürzer gewachsen als an den Kontrollwurzeln; die Wurzelhaare standen ausserordentlich dicht, waren jedoch kürzer als die im Wasser und traten bis kurz hinter der Wurzelspitze auf, während sie die Kontrollwurzeln nur ca. 3/4, vom basalen Ende aus gerechnet, bedeckten. In allen übrigen Konzentrationen wurden Nebenwurzeln sowohl als auch Wurzelhaare normal, d.h. in derselben Weise ausgebildet wie in der Kontrollkultur, ausgenommen in der 0,0005 o/oo starken Lösung, in der keine Wurzelhaare zur Entwicklung kamen.

Ein Unterschied in der Länge der Sprosse war nicht zu bemerken; nur die Sprosse der Keimlinge aus der 0,1 o/oo und 1 o/oo starken Lösung machten einen etwas grösseren Eindruck, da ihre Blattspreiten um einiges breiter waren als in den anderen Kulturen.

Die 0,01 o/oo Lösung liess nur ein gehemtes Wachstum zu, ebenso die 0,0005 o/oo starke, während die zwischen beiden liegende 0,001 o/oo starke Konzentration ein gleiches Wachstum wie in der Kontrollkultur hervorrief. Der Zuwachs von 14,9 cm gegenüber dem von 14,3 cm kann nicht mit Bestimmtheit als eine Wachstumsbeschleunigung definiert werden; da der erste Wert in die Grenzen der individuellen Schwankungen (13,3 und 15,3) des Kontrollwurzel-Zuwachses fällt, kann es nicht entschieden werden, ob die eben angeführte Differenz in den Zuwachswerten eine Folge der Einwirkung des Rubidiumnitrates ist. Vielmehr besteht die grosse Wahrscheinlichkeit, dass sie durch die individuell ungleich grosse Schnelligkeit im Wachsen der einzelnen Keimlinge bedingt wurde.

IV. Versuchsreihe vom 21. IV. - 3. V. 1922.

Mittlere Temperatur 15°, extreme Temperaturen 14,5 und 17°. Die Samen keimten 2 Tage in feuchten Spänen.

	aq. dest.	Konzentrationen $RbNO_3$.				
		0,0001o/oo	0,0005o/oo	0,001o/oo	0,005 o/oo	0,01 o/oo
Mittl. Anf.lg.	2,0 cm	2,1 cm	2,2 cm	1,9 cm	1,9 cm	1,5 cm
" Endlänge	24,1 "	22,5 "	22,5 "	23,6 "	17,8 "	18,7 cm
" Zuwachs	22,1 "	22,1 "	20,4 "	21,7 "	15,9 "	17,2 "

Die Grenzen der individuellen Schwankungen sind $\pm 1,4$ cm.

Nur in der 0,01 o/oo starken Lösung entsprach die Behaarung der Wurzeln derjenigen in der Kontrollkultur. In allen andern Konzentrationen blieben die Wurzelhaare an Länge hinter jenen zurück. - Auch die Entwicklung der Nebenwurzel war nur in der Kontrollkultur und der 0,01 o/oo Lösung die gleiche, während sie in allen übrigen Versuchskulturen geringer war. - Einen Unterschied in der Länge der Sprosse konnte ich wiederum nicht feststellen.

Wie in der III. Versuchsreihe, so zeigte sich auch in dieser wieder, dass sich die Wurzeln einer 0,001 o/oo starken Rubidiumnitrat-Lösung gegenüber indifferent bezüglich ihres Wachstums verhalten, während sowohl die stärkeren Lösungen (0,005 und 0,01 o/oo) als auch die schwächeren (0,0005 und 0,0001 o/oo) das Wachstum hemmen.

Eine Wachstumsbeschleunigung durch Rubidium, wie sie BOKORNY (1912) bei Erbsen fand, konnte ich an Roggenwurzeln nicht feststellen.

BOKORNY (1912) operierte bei seinen Experimenten mit bedeutend höheren, ca. um das tausendfache stärkeren Konzentrationen als ich. Nach den Angaben dieses Forschers stimuliert eine 0,2% (2 o/oo) starke Rubidiumsulfat-Lösung das Wachstum von Erbsenwurzeln, während in meinen Kulturen eine 0,001 o/oo Konzentration Rubidiumnitrat ein den Kontrollwurzeln gleiches Wachstum bewirkt, aber alle stärkeren Lösungen wachstumshemmend wirken. Die Differenz zwischen BOKORNYs und meinen Versuchs-Ergebnissen ist wahrscheinlich auf die Verschiedenartigkeit der Kulturbedingungen, unter denen der Einfluss der Stoffe auf das Wachstum beobachtet wurde, zurückzuführen. Zwar benutzte BOKORNY Rubidium als Sulfat, während ich Rubidiumnitrat anwandte; jedoch ein Versuch, dessen Resultat nachstehende Tabelle wiedergibt, überzeugte mich davon, dass die Wahl eines andersartigen Salzes der zur Untersuchung stehenden Stoffes nicht die Abweichungen meiner Versuchsergebnisse von denen BOKORNYs zu bewirken imstande ist.

In der

V. Versuchsreihe, vom 10. V. - 16. V. 1922.

wurde das Wurzelwachstum in gleichen Konzentrationen Rubidiumsulfat und Rubidiumnitrat untersucht.

Die Temperatur war konstant 20°. Die Samen keimten 3 Tage in feuchten Spänen.

		H ₂ O	Konzentrationen in o/oo				
			0,0005	0,001	0,01	0,1	1
Nitr.	Mittl. Anf.	3,3cm	3,4cm	3,7cm	4,6cm	3,3cm	3,7cm
	" Endlg.	15,5"	14,0"	16,0"	11,1"	6,5"	6,0"
	" Zuwachs	12,2"	12,2"	12,3"	6,5"	3,2"	2,3"
Sulf.	" Anfgl.		4,1cm	3,3cm	3,8cm	3,7cm	3,1cm
	" Endlg.		14,4"	14,9"	10,2"	7,1"	6,3"
	" Zuwachs		10,3"	11,6"	6,4"	3,4"	3,2"

Die Grenzen der individuellen Schwankungen sind $\pm 1,0$ cm.

Die Beziehungen der Zuwachswerte dieser Tabelle untereinander entsprechen vollkommen denjenigen der beiden vorhergehenden Versuchsreihen III. und IV. Alle Konzentrationen, sowohl des Rubidiumnitrates als auch des Rubidiumsulfates, hemmten mehr oder weniger das Wachstum der Wurzeln, die nur in den 0,0001 o/oo starken Lösungen einen dem Kontrollwurzeln gleichen Zuwachs verzeichneten. Auch der äussere Habitus der Wurzeln, was die Behaarung, die Entwicklung der Nebenwurzeln und die Verdickung der Wurzelspitzen in den beiden höchsten Konzentrationen anbetrifft, glich hier bei den beiden Salzen voll auf demjenigen in den ersten Versuchen. Was aber diese Tabelle vor allen Dingen zeigt, ist die Tatsache, dass Rubidiumsulfat und Rubidiumnitrat in gleichen Konzentrationen von gleichem Einfluss auf das Gedeihen der Wurzeln sind.

Auch die Verschiedenartigkeit des Pflanzenmaterials (Roggen auf der einen, Erbsen auf der anderen Seite) kann keine derartige Differenz, wie sie zwischen BOKORNYs und meinen Resultaten besteht, bewirken. Der Autor gibt selbst an, dass 0,2% (2 o/oo) Rubidiumsulfat sowohl auf Weizen-, als auch auf Erbsenwurzeln wachstumsstimulierend wirkt, und Weizen und Roggen sind einander so verwandt, dass ihnen doch wohl ohne weiteres die gleichartige Reaktion auf Rubidium zuzuschreiben ist, wenn schon so verschiedene Pflanzen wie Weizen und Erbse eine gleiche Empfindlichkeit für diesen Stoff aufweisen.

So wird die andersartige Versuchsbedingung, unter der BOKORNY seine Keimlinge zog, sein Resultat dem meinigen so ungleich gemacht haben. Er bedeckte den Boden geräumiger Schalen mit Filtrierpapier, auf das er die Samen legte, und goss nun über das ganze die Lösungen, sodass die Samen vollkommen von ihnen bedeckt waren. Während in meinen Versuchen nur die Wurzeln nach dem Keimen in feuchten Spänen mit dem Rubidium in direkte Berührung kamen, liess BOKORNY nicht nur vor, sondern auch während und nach dem Keimen den Stoff auf die Samen und die ganzen Keimlinge wirken. Ein derartiges Auskeimen der Samen in einer Flüssigkeit muss als vollkommen abnorm angesehen werden; mir z.B. gelang es nie, Roggenkörner unter analogen Verhältnissen wie bei BOKORNYs Versuchen zu regulärem Keimen, geschweige denn die jungen Keimlinge zu normalem Wachsen zu bringen. Die oben angeführten Zuwachswerte, die BOKORNY an den Wurzeln der vollständig in das Brunnenwasser eingetauchten Erbsenkeimlinge fand, zeigen, dass in der 2. und 3. Woche der Versuchsdauer die Wurzeln nur um einen cm weiter wuchsen. Dieser geringe Zuwachs in 14 Tagen ist abnorm. Bei einem derartigen, schon von vornherein durch die Kulturbedingungen zur Abnormität verdamnten Wachstum scheint es sehr wohl möglich, dass die Keimlinge gegen die Einwirkungen des Rubidiumsulfates "abstumpfen". So ist es vielleicht zu erklären, dass die Versuchsergebnisse ein abweichendes Aussehen annahmen.

Die Differenz zwischen BOKORNYs und meinen Resultaten über das Verhalten des Wurzelwachstums gegenüber Rubidium lieferte ein weiteres Beispiel zu den Darlegungen am Kopf dieser Arbeit, das deutlich zeigt, wie die Kulturbedingungen das Resultat eines Versuches über den Einfluss eines Stoffes auf das Wachstum zu beeinflussen vermögen.

ORANGE G.

Auf die wachstumstimulierende Wirkung dieses Anilinfarbstoffes machte mich mein hochverehrter Lehrer, Herr Prof. Dr. H. WINKLER, aufmerksam. Ich verwandte mit Leitungswasser angesetzte Lösungen dieses Stoffes, der die Formel



besitzt, und der sich im Verlaufe der Versuche als ein bedeutendes Wachstumstimulans für die Roggenwurzeln entpuppte. Das Präparat wurde aus dem chem. Laboratorium von Dr. G. GRÜBLER, Leipzig, bezogen.

VI. Versuchsreihe vom 4. II. - 8. II. 1922.

Mittlere Temperatur 20,5°; extreme Temperaturen 15 und 23°. Die Samen keimten 2 Tage in feuchten Spänen. - Wachstumslängen in cm, Konzentrationen o/oo.

	Konzentrationen									
	H O	0,005	0,01	0,05	0,1	0,3	0,5	1	2	4
Mittl. Anf.lg.	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
" Endlänge	7,7	8,9	9,5	8,4	11,5	11,2	9,9	10,8	7,7	6,0
" Zuwachs	6,7	7,9	8,5	7,4	10,5	10,2	8,9	9,8	6,7	5,0

Die Grenzen der individuellen Schwankungen sind $\pm 1,6$ cm. - Fig. 1.

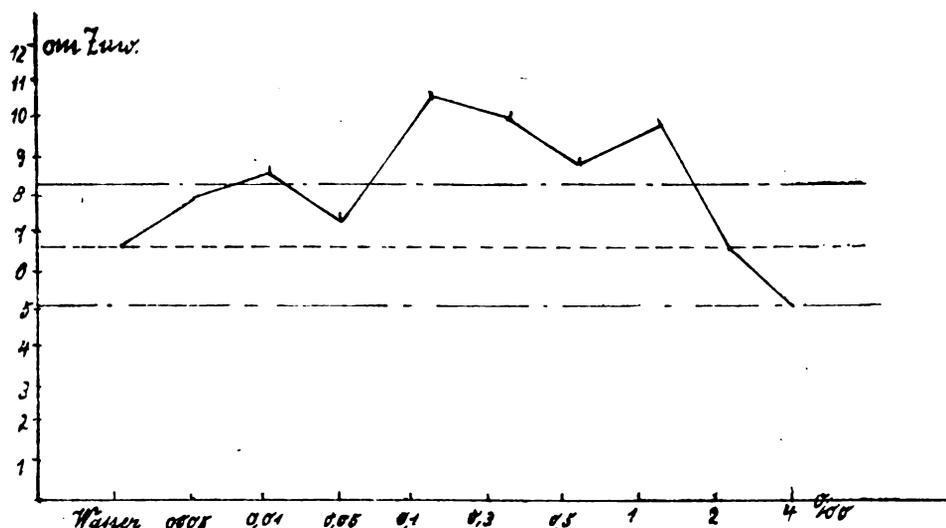


Fig. 1.

VII. Versuchsreihe vom 16. II. - 19. II. 1922.

Mittlere Temperatur 20°; extreme Temperaturen 18° und 21°. - Die Samen keimten 2 Tage in feuchten Spänen. - Wachstumslängen in cm; Konzentrationen in o/oo.

	Konzentrationen									
	H O	0,005	0,01	0,05	0,1	0,3	0,5	1	2	4
Mittl. Anfangslg.	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
" Endlänge	9,9	9,4	9,0	7,7	-	10,8	8,5	7,9	9,8	3,5
" Zuwachs	8,9	8,4	8,0	6,7	-	9,8	7,5	6,9	8,8	2,5

Die Grenzen der individuellen Schwankungen sind $\pm 0,9$ cm. - Fig. 2.

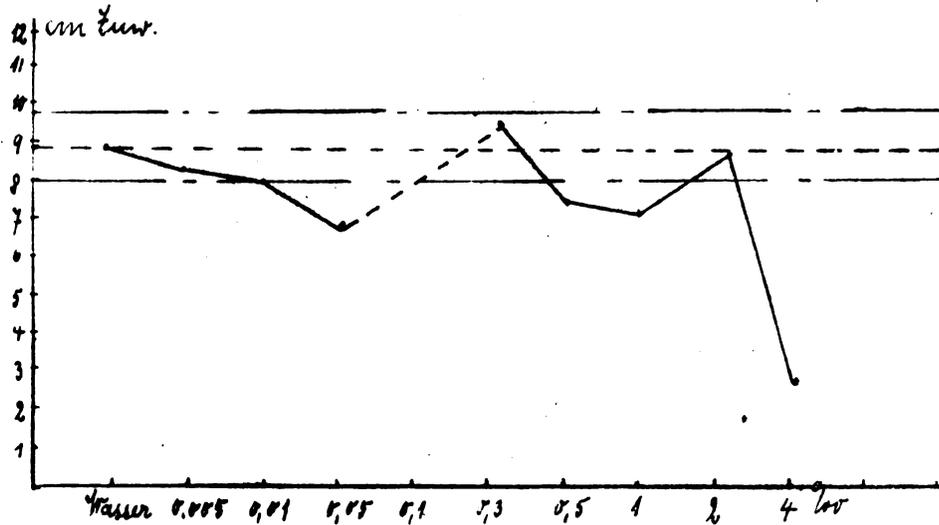


Fig. 2.

VIII. Versuchsreihe vom 22. II. - 25. II. 1922.

Mittlere Temperatur 20°; extreme Temperaturen 18 und 21,5°. Die Samen keimten 3 Tage in feuchten Spänen. - Wachstumslängen in cm, Konzentrationen in o/oo.

	H ₂ O	Konzentrationen								
		0,005	0,01	0,05	0,1	0,3	0,5	1	2	4
Mittl. Anfangslg.	1,6	1,7	1,6	2,0	2,2	1,8	2,2	2,3	1,9	2,5
▪ Endlänge	7,7	8,7	10,0	-	10,8	10,1	10,6	10,0	6,9	6,1
▪ Zuwachs	6,1	7,0	8,4	-	8,6	8,3	8,4	7,7	5,0	3,6

Die Grenzen der individuellen Schwankungen sind ± 0,5cm. - Fig. 3.

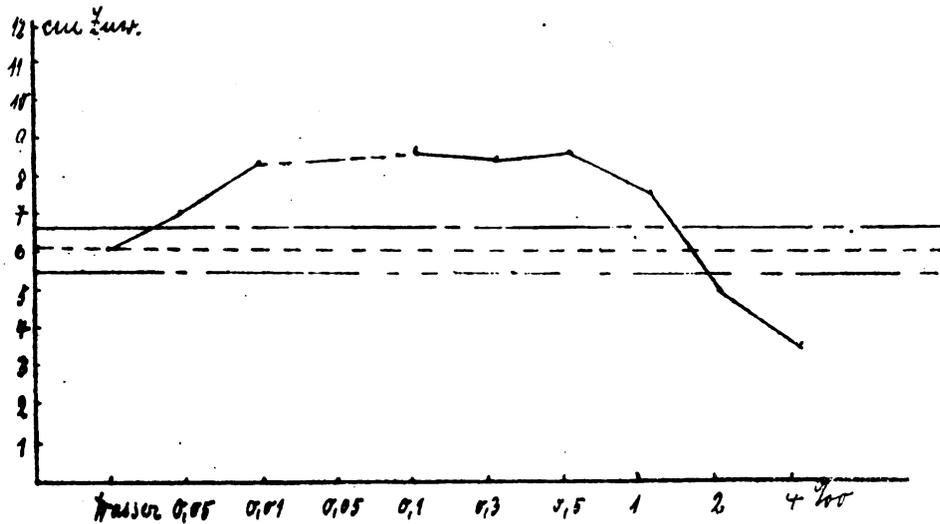


Fig. 3.

IX. Versuchreihe vom 25. II. - 3. III. 1922.

Mittlere Temperatur 20°; extreme Temperaturen 19° und 20,5°. Die Samen keimten 2 Tage in feuchten Spänen. - Wachstumslängen in cm, Konzentrationen in o/oo.

	H ₂ O	Konzentrationen								
		0,005	0,01	0,05	0,1	0,3	0,5	1	2	4
Mittl. Anfangsl.	1,0	1,2	0,9	1,0	1,0	1,1	1,3	1,0	1,0	1,3
" Endlänge	10,7	8,9	16,1	15,6	16,6	16,5	14,7	13,1	12,9	5,9
" Zuwachs	9,7	7,7	15,2	14,5	15,6	15,4	13,4	12,1	11,9	4,6

Die Grenzen der individuellen Schwankungen sind $\pm 1,2$ cm. - Fig. 4.

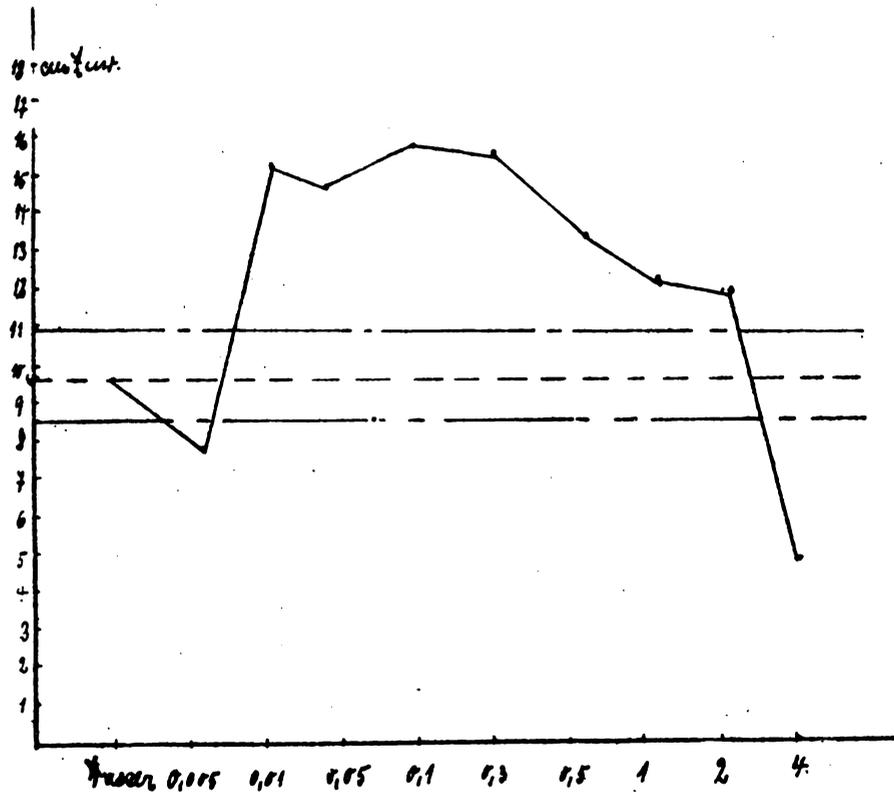


Fig. 4.

X. Versuchreihe vom 10. III. - 16. III. 1922.

Mittlere Temperatur 18°; extreme Temperaturen 17° und 18,5°. Die Samen keimten 2 Tage in feuchten Spänen. - Wachstumslängen in cm, Konzentrationen in o/oo.

	H ₂ O	Konzentrationen								
		0,005	0,01	0,05	0,1	0,3	0,5	1	2	3
Mittl. Anfangsl.	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5
" Endlänge	5,7	1,6	16,2	5,1	17,6	14,8	7,1	7,6	8,4	2,8
" Zuwachs	5,2	6,0	15,7	4,5	17,1	14,3	6,6	7,1	7,8	2,3

Die Grenzen der individuellen Schwankungen sind $\pm 0,7$ cm. - Fig. 5.

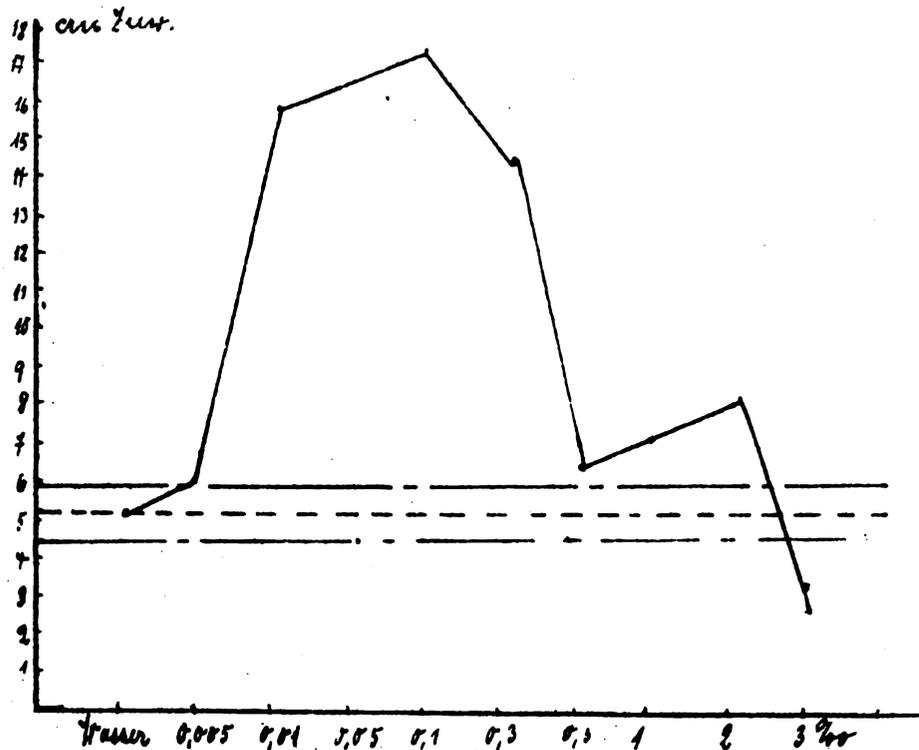


Fig. 5.

Die Zuwachswerte in den Tabellen und der Verlauf der Reizkurven zeigen deutlich die wachstumsstimulierende Wirkung des Orange G. Die gestrichelte Linie (----) parallel der Abscisse ist jeweilig in der Höhe des Zuwachswertes der Kontrollwurzeln gezogen worden und möge "die Normale" genannt werden. Mittels ihrer kann man leicht die Lage derjenigen Punkte des Koordinatensystems definieren, die den Zuwachswerten der Wurzeln in den verschiedenen Versuchskulturen entsprechen. Oberhalb und unterhalb der "Normalen" sind durch die unterbrochenen Linien (-.-.-) die Grenzen der individuellen Schwankungen angegeben, wie sie den Zuwachswert der Kontrollwurzeln umgeben. Die Kurven aller Versuchsreihen erheben sich deutlich über die Normale und die obere Grenze der individuellen Schwankungen bei den Konzentrationen von 0,01, 0,1, 0,3, 0,5 und 1 o/oo und zeigen hier eine ausgesprochene Stimulation des Wurzelwachstums an. Alle 5 Kurven enden unterhalb der Normalen und lassen für die 4 resp. 3 o/oo starke Lösung einen wachstumshemmenden Einfluss erkennen.

Dass die Kurven der Versuchsreihen VI, VII und VIII einen flacheren und ruhigeren Verlauf nehmen als die der beiden letzten Serien, ist der kürzeren Versuchsdauer der ersteren zuzuschreiben. Da die Reaktionszeit für geringe Konzentrationen Orange G, wie ein später ausgeführte Versuch zeigt, verhältnismässig ausserordentlich lang ist (0,1 o/oo = 2 Tage), die Versuchsdauer aber nur 4 (Reihe VI) resp. 3 (Reihe VII und VIII) Tage betrug, gegenüber 6 Tagen (Reihen IX und X), so kann die Differenz in den Zuwachswerten, wie sie durch den Einfluss des Orange G in den ersten 3 Versuchsreihen bewirkt wurde, noch nicht so hervorstechend sein wie in den beiden letzten.

Ein allgemeines Bild von der Wachstums-Stimulation des Orange G gibt die aus den obigen 5 resultierende Kurve 6 (Seite 250).

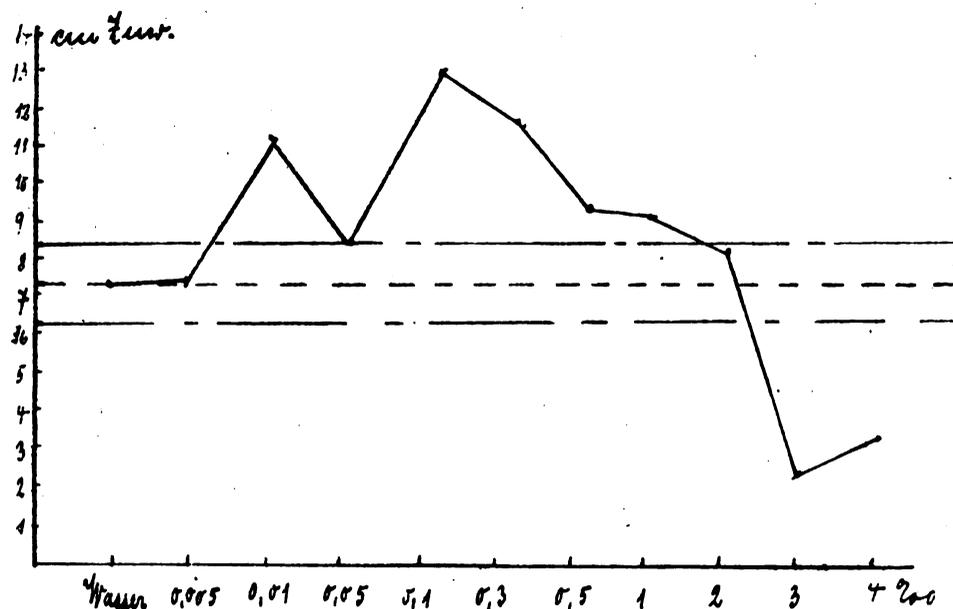


Fig. 6.

Konzentr. in o/oo	H ₂ O	0,0005	0,01	0,05	0,1	0,3	0,5	1	2	3	4
Zittl. Zuwachs cm	7,3	7,4	11,2	8,3	12,9	11,6	9,0	8,7	8,0	2,3	3,2

Die mittleren Grenzen der individuellen Schwankung sind $\pm 1,0$ cm.

Auffällig an dieser Kurve sind die beiden Maxima bei 0,01 und 0,1 o/oo, die sich weit über die Normale erheben, während die zwischen ihnen liegende Konzentration von 0,05 o/oo nur eine geringe Stimulation des Wachstums aufweist. Einen ähnlichen Fall zeitigten meine Versuche mit Rubidiumnitrat, in denen zwischen 2 wachstumshemmenden Konzentrationen eine solche lag, die ein den Kontrollwurzeln gleiches Wachstum zuließ. Hieraus erhellt, dass die Reizkurven der Stoffe keineswegs einen glatten Verlauf zu nehmen brauchen, d.h. dass die Kurven nicht ohne weiteres von dem Zuwachswert der Kontrollwurzeln an langsam über die Normale steigen und dann ebenso glatt wieder fallen bis unter die Normale. Vielmehr kann die Reizkurve mehrfach sprunghaft steigen und fallen, und weniger verwandte Konzentrationen können einen gleichen oder nahezu gleichen Einfluss auf das Wachstum einer Pflanze ausüben, während die zwischen ihnen liegenden Konzentrationen in ihrer Wirkung von diesen um ein beträchtliches abweichen.

Aufgrund der resultierenden Kurve ist das Ergebnis meiner Versuche über die Einwirkung des Orange G auf das Wachstum von Roggenwurzeln folgendes:

Wachstums-stimulierend wirken: 0,01, 0,1, 0,3, 0,5 und 1 o/oo.

0,1 o/oo ist die optimale Konzentration, d.h. diejenige Konzentration Orange G, die das Wurzelwachstum am stärksten fördert.

Indifferent verhalten sich die Wurzeln den 0,005, 0,05 und 2 o/oo starken Lösungen gegenüber. Wenn auch ihre Zuwachswerte um ein geringes höher sind als die der Kontrollwurzeln, so ist die Differenz doch nur so gering, dass sie die Grenzen der individuellen Schwankungen der letzteren nicht überschreitet. Aus diesem Grunde kann diesen Konzentrationen nicht ein ausgesprochen stimulierender Einfluss auf das Wurzelwachstum zugesprochen werden.

Wachstum-hemmend wirken die Konzentrationen von 3, 4 o/oo und stärkere.

Da die Wurzeln der Keimlinge stets in vollständigem Dunkel wuchsen, so war von vornherein eine etwaige photodynamische Wirkung des Anilinfarbstoffes auf die Wurzeln in den Lösungen ausgeschlossen. Trotzdem wurden einige Versuche in der Form angestellt, dass ausser im Leitungswasser mehrere Wurzeln in entsprechenden Konzentrationen Orange G sowohl im Dunkeln als auch im vollen Tageslicht wuchsen, mit

dem Resultate, dass die Lösungswurzeln, die dem Lichte ausgesetzt waren, sich in allen Stücken, auch im äusseren Habitus, genau so verhielten wie die entsprechenden Wurzeln in völliger Dunkelheit. Es zeigte sich also, dass eine photodynamische Wirkung in den Orange G-Lösungen nicht in Betracht kommt.

In allen Lösungen wuchsen die Wurzeln wie im Wasser glatt und fadenförmig u. waren stets von gleicher Dicke. Nur in den hohen Konzentrationen von 2 - 4 o/oo gaben lebhaftere Krümmungen den Wurzeln ein krankes und abnormes Aussehen.

Die Entwicklung der Nebenwurzeln entsprach in den Lösungen von 0,005 - 0,3 o/oo vollkommen derjenigen in Leitungswasser. Von 0,5 o/oo an aufwärts nahm ihre Ausbildung, was Anzahl und Länge anbetrifft, von Lösung zu Lösung ständig ab, so dass die Wurzeln in der 4 o/oo starken Konzentration nur noch ganz wenige und kümmerliche Nebenwurzeln aufwiesen. Dieses Zurückbleiben der Nebenwurzeln ist wahrscheinlich auf das geringere Gesamtwachstum der Wurzeln in den höheren Orange G-Konzentrationen zurückzuführen; denn wenn ich eine Wurzel aus einer 5 o/oo Lösung nach 10 Stunden in reines Leitungswasser umsetzte, und die Wurzel dann kräftig weiter wuchs, wie spätere Versuche zeigten, so entwickelten sich im Laufe der Zeit die Nebenwurzeln über die ganze Wurzel normal, also auch basal, wo die Wurzel mit d. Orange G in direkte Berührung gekommen war.

Die Ausbildung von Wurzelhaaren entsprach derjenigen der Kontrollwurzeln nur in den Konzentrationen von 0,005, 0,01 und 0,05 o/oo; die Wurzelbehaarung in der 0,1 o/oo Lösung war etwas kürzer und spärlicher. Die Wurzelhaare fehlten vollkommen in der 0,3 o/oo starken Lösung und den stärkeren Konzentrationen. Dieses völlige Fehlen der Haare muss einem direkten Einfluss des Orange G auf die Epidermiszellen zugeschrieben werden. An der im vorigen Absatz bereits erwähnten Wurzel, die nach 10 Stunden aus einer 4 o/oo starken Lösung in reines Leitungswasser umgesetzt wurde, bildeten nur diejenigen Epidermiszellen Wurzelhaare, die nach dem Umsetzen neu entstanden, während die alten, die mit dem Orange G direkt in Berührung gekommen waren, im weiteren Verlaufe der Kultur auch nicht die geringsten Ausstülpungen aufwiesen. An dieser Wurzel blieb also stets ein basales Ende unbehaart, und zwar war dieses kahle Stück so lang, wie die ganze Wurzel war, als sie aus der Lösung in Wasser gesetzt wurde.

Ein Unterschied in der Länge und dem Aussehen der Sprosse in den Kontroll- u. Versuchskulturen, soweit diese das Wurzelwachstum nicht hemmten, trat in keiner der Versuchsserien zum Vorschein. Nur die Sprosse der Keimlinge, deren Wurzeln in den höheren Konzentrationen Orange G stark im Wachstum gehindert, resp. getötet wurden, blieben um ein geringes kürzer und machten im grossen ganzen einen krankhaften Eindruck.

Der osmotische Druck einer Lösung kann bei genügender Stärke von erheblichem Einfluss auf die Funktionen der Wurzelzellen sein. Es ergibt sich also die Frage, ob der osmotische Druck der von mir verwandten Orange G-Lösungen in seiner Stärke eine hemmende Wirkung auf die pflanzlichen Gewebe ausüben und somit das Wachstum der Wurzeln und die Versuchsergebnisse beeinflussen konnte. Da durchweg nur die optimale 0,1 o/oo starke Lösung bei den weiteren Versuchen Anwendung fand, untersuchte ich besonders den osmotischen Druck dieser Konzentration, der, wie sich aus entsprechenden Versuchen ergab, eine Stärke von 0,013 Atm. besitzt, wenn ich die Lösung mit aq. destill. ansetzte. Diese Anzahl Atmosphären bilden auch die Differenz zwischen dem osmotischen Druck des Leitungswassers und der mit diesem angesetzten optimalen Lösung. Diesen geringen Unterschied im osmotischen Druck kann wohl kaum ein so grosser Einfluss auf die Funktionen der Zellen der Versuchswurzeln zugeschrieben werden, dass durch ihn die Wachstums-Intensität der Wurzeln in den Versuchskulturen im Vergleich zu derjenigen in der Kontrollkultur irgendwie beeinflusst würde. Die geringe Erhöhung des osmotischen Druckes in der optimalen Orange G-Lösung ist also nicht als ein störender Faktor bei den Versuchen der vorliegenden Arbeit anzusehen und kann daher unberücksichtigt bleiben.

Das Orange G in seiner stark wachstumsbeschleunigenden Wirkung ergab sich als der für die vorliegende Arbeit geeignete Stoff, der den oben geforderten Bedingungen vollauf genügte und der daher für alle weiteren Untersuchungen als Grundlage gewählt wurde.

Insbesondere lieferte die ausserordentlich starke Stimulation des Wachstums von Roggenwurzeln durch das Orange G eine günstige Vorbedingung, um die zweite der in der Einleitung aufgestellten Fragen durch einige experimentelle und mikroskopische Untersuchungen näher zu verfolgen. Die Frage lautet: "In welcher Weise wird im Falle eines chemischen Wachstums-Stimulation der Wachstumsvorgang in der Pflanze beeinflusst?"

Bekanntlich ist das Wachstum der Wurzeln auf ein bestimmtes Stück der Wurzelspitze lokalisiert. Innerhalb dieser Wachstumszone ist die Intensität des Längenwachstums über deren gesamte Ausdehnung nicht dieselbe. Wird z.B. ein 10 mm langes Stück einer Roggenwurzel durch eine geeignete Markierung von der Spitze aus in einzelne Millimeter-Zonen geteilt und der Zuwachs der einzelnen Abschnitte etwa nach 24 Stunden gemessen, so hat sich eine bestimmte Zone, die Haupt-Wachstumszone, am stärksten gestreckt, während alle übrigen nicht so intensiv gewachsen sind. Die Verlängerung der Zonen nimmt konstant ab, je weiter diese von der Haupt-Wachstumszone entfernt sind, entweder nach der Spitze zu oder nach dem basalen Ende, wo die letzten Abschnitte keinen Zuwachs mehr erfahren haben, also schon ausserhalb der Gesamtwachstumszone liegen. Das Längenwachstum der Wurzeln beruht auf der Teilung der Meristemzellen, die kurz hinter der Wurzelspitze liegen, und ferner auf der Streckung dieser Zellen, die innerhalb der Haupt-Wachstumszone ihre grösste Intensität erreicht.

Folgende Fragen leiteten meine Versuche, die ich mit der optimalen 0,1 o/oo Orange g-Lösung ansetzte:

I. Werden die Länge der Gesamtwachstumszone und die Lage der Hauptwachstumszone der Roggenwurzeln durch die Wachstumsbeschleunigung beeinflusst?

II. Von welcher Dauer ist die Reaktionszeit für die Stimulation des Wachstums von Roggenwurzeln durch Orange G, d.h. nach welcher Zeit macht sich ein beschleunigtes Wachstum der Wurzeln bemerkbar, von dem Einsetzen in die Lösung an gerechnet?

III. Beruht die Wachstumsbeschleunigung der Wurzeln in der Orange G-Lösung auf einer den Kontrollwurzeln gegenüber vermehrten Zellteilung oder erhöhten Zellstreckung, oder wirkt beides zusammen?

Das Prinzip des Versuches, durch den ich die Fragen I und II zu lösen suchte, war dieses: Ich teilte ein kurzes Stück der Wurzeln hinter der Spitze (ca. 10 - 15 mm) in Zonen von möglichst geringer Länge ein und konnte alsdann aus dem Zuwachs der einzelnen Zonen nach 24 Stunden erstens die Haupt-Wachstumszone und ihren Abstand von der Wurzelspitze und zweitens die Länge der Gesamtwachstumszone bestimmen. Ferner ergab die Summe der Zuwachswerte der einzelnen Abschnitte jeweils den Gesamtzuwachs der Wurzel. Die Kontrollwurzeln in Leitungswasser und die Versuchswurzeln in der optimalen Lösung Orange G standen stets unter gleichen Kulturbedingungen und fanden dieselbe Behandlung. Der Vergleich der Ergebnisse in d. Kontrollkulturen ergab ohne weiteres die Beantwortung der Fragen über die Verlagerung der Haupt-Wachstumszone und die Verlängerung der Gesamt-Wachstumszone; das erste Auftreten einer Differenz in dem Zuwachs der verschiedenen kultivierten Wurzeln zeigte die Dauer der Reaktionszeit an.

Eine Hauptschwierigkeit, die diese Versuchsanordnung bereitete, war die, einen Farbstoff geeigneter Zusammensetzung zwecks Abgrenzung der einzelnen Zonen zu finden. Da die Wurzeln doch direkt mit dem Leitungswasser, resp. der Orange G-Lösung in Berührung kamen, so reichte die Tusche, die bei der Kultur von Wurzeln in feuchten Kammern zu analogen Markierungen durchweg benützt wird, nicht aus; denn in Flüssigkeiten wird sie meistens abgewaschen; zum mindesten aber werden die Konturen der Zeichen verwischt und so genaue Messungen unmöglich gemacht. Es gelang mir, aus Kakaobutter, die ich mit dem fettlöslichen Farbstoff Sudan III intensiv färbte, ein Mittel herzustellen, das den Ansprüchen im Wasser und in der Lösung vollauf genügte. Das Fett wurde durch gelindes Erwärmen zum Schmelzen gebracht u. dann mittels eines feinen Pinsels in kleinen Pünktchen auf die Wurzel aufgetragen. Die Kakaobutter hatte hierbei nie eine höhere Temperatur, als zu ihrem Zerrinnen gerade nötig ist, damit der Wurzel nicht durch eine zu grosse Wärme irgend welche

Schädigung zugefügt wurde. Nach dem Markieren wurden die Wurzeln mit einem energischen Ruck in die Flüssigkeit eingetaucht, um zu vermeiden, dass die Punktechen durch deren Oberflächenspannung wieder abgerissen wurden, wie es bei langsamem Einführen der Fall war. Dann schieben sich die vorerst breit aufliegenden Teile der Kakaobutter zu einzelnen kleinen Kugeln zusammen (Fig. 7 a), die nun der Wurzel anhaften und zwar genügend fest, um nicht von Bewegungen der Flüssigkeit oder beim Wachsen der Wurzel vom Reibungswiderstand abgerissen zu werden.

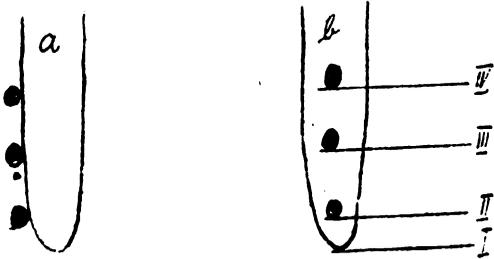


Fig. 7.

Die Kugelform hat den grossen Vorteil, dass die Haftfläche sehr gering ist, also nicht viele Epidermiszellen durch die Kakaobutter zusammengekittet werden und somit keine erheblichen störenden Spannungen an der Wurzel-Oberfläche vorkommen. Die einzelnen Kugeln werden auch nicht auseinandergezogen, wie es wohl bei breit aufliegenden Strichen vorkommt, wenn die Oberhautzellen zu wachsen beginnen und durch die Streckung der Zellen die an ihnen haftenden Teilchen auseinandergerissen werden, wodurch natürlich Fehler beim Messen entstehen können. Durch Übung und Geschicklichkeit las-

sen sich Schädigungen, denen eine Wurzel während der Markierung ausgesetzt ist, wie Austrocknen, haptotropischer Reiz etc. fast ausschalten. Die in der eben beschriebenen Weise von mir behandelten Wurzeln wuchsen im Vergleich mit ungestört wachsenden normal, d.h. es zeigten sich an ihnen keine besonderen Anzeichen der Schädigung, wie etwa starke Nutationen oder ein Zurückbleiben im Wachstum.

Gleich nach dem Markieren und dem Einsetzen der Wurzeln in das Leitungswasser resp. die Lösung wurden die Längen der Zonen, d.h. die Abstände der einzelnen Kugeln voneinander mit dem Horizontalmikroskop gemessen. Die einzelnen Kugeln, die von vorn gesehen die Form kreisrunder Punkte hatten (Fig. 7 b) wurden der Reihe nach anvisiert. Zuerst stellte ich einen bestimmten Teilstrich des benützten Okularmikrometers auf die Wurzelspitze ein und dann nach und nach immer auf den der Wurzelspitze zugekehrten tiefsten Punkt der roten "Kreise" (Punkt I, II, III u.s.w. der Fig. 7 b), die sich scharf von den weissen Wurzeln abhoben. Die Hebung, bzw. Senkung des Tubus wurde an einer Skala auf $1/10$ mm genau abgelesen. Mit dem Abstände zweier Punkte voneinander war die Länge der Zone, die von ihnen begrenzt wurde, gegeben. Darauf wuchsen die Keimlinge 24 Stunden unter den oben angegebenen Bedingungen. Nach Ablauf dieser Zeit mass ich die Längen der Zonen in genau derselben Weise wie am Tage vorher und stellte den Zuwachs der einzelnen Wurzelabschnitte fest. Da bei der ersten Messung die Zonen durchweg von so geringer Länge wie 0,5 bis 0,8 mm waren, konnte ich mit ziemlicher Genauigkeit die Länge der Gesamt-Wachstumszone angeben; dabei verfuhr ich in der Weise, dass ich bei der 2. Messung den hinteren Punkt derjenigen Zone suchte, die als letzte einen Zuwachs erfahren hatte, und nun aus den Messungen des ersten Tages berechnete, welchen Abstand von der Wurzelspitze dieser zu Beginn der 24 Stunden gehabt hatte. Diese basalen der Wachstumszonen wurden dann unter Berücksichtigung der Fehler, die wegen der verschiedenen Anfangsgrössen der Zonen unvermeidlich sind, miteinander verglichen. Die Fehlergrenzen wurden in der üblichen Weise berechnet. - Ferner setzte ich die Verlängerung einer Zone um ihre ursprüngliche Länge = 100% und berechnete so den prozentualen Zuwachs der einzelnen Abschnitte; durch einen Vergleich dieser Verhältnisgrössen untereinander wurde die Haupt-Wachstumszone und dann ihre Lage hinter der Wurzelspitze zu Beginn der 24 Stunden bestimmt, indem aus der ersten Messung die Entfernungen ihrer beiden Grenzpunkte von der Wurzelspitze berechnet wurden. Da nun aber die Längen der Haupt-Wachstumszonen und auch der vor ihnen liegenden Zonen für die einzelnen Wurzeln nicht immer die gleichen waren, so waren fehlerhafte Verschiebungen der berechneten Haupt-Wachstumszonen nach der einen oder anderen Seite nicht zu vermeiden. Ich schuf mir einigermaßen zuverlässige Vergleichswerte dadurch, dass ich den jeweiligen Mittelpunkt der Haupt-Wachstumszone berechnete, d.h. die Entfernung desjenigen Punktes von der Wurzelspitze, der die

Mitte zwischen den beiden Grenzpunkten bildete. Fand ich z.B. die Haupt-Wachstumszone von 0,7 - 1,4 mm hinter der Spitze, so charakterisierte ich diese Lage durch den Punkt 1,0 mm. Aus den entsprechenden Werten der einzelnen Wurzeln berechnete ich für die Kontroll- und Versuchskulturen getrennt die Mittelwerte, die dann miteinander verglichen wurden.

Nach der zweiten Messung wurden von neuem in genau derselben Weise wie am ersten Tage die Spitzen derselben Wurzeln in Zonen eingeteilt, deren Wachstum nach abermals 24 Stunden festgestellt wurde. So verfuhr ich Tag für Tag. Die Wurzeln, die sich zu sehr gekrümmt hatten, mussten stets in der zweiten Messung ausfallen.

=====

XI. Versuchsreihe vom 12. V. - 16. V. 22.

Mittlere Temperatur 17°; extreme Temperaturen 16 u. 18°.

Die Samen keimten 2 Tage in feuchten Spänen.

Kontrollwurzeln in Leitungswasser.

Wurzel nr.	Gesamt-Zuwachs in mm	Bas. Grenze d. Ges.-Wachstumszone mm hinter d. Spitze	Hauptwachstumsz. mm von - bis mm hinter d. Spitze	Gesamt-Zuwachs in mm	Bas. Grenze d. Ges.-Wachstumszone mm hinter d. Spitze	Hauptwachstumsz. mm von - bis mm hinter d. Spitze
I	11,4	3,7	1,0 - 1,4	10,9	1,3	0,9 - 1,3
II	17,7	2,6	1,0 - 1,4	-	-	-
III	-	-	-	12,2	2,1	1,1 - 1,6
IV	6,8	2,3	1,4 - 1,8	6,0	2,0	0,6 - 1,1
V	-	-	-	-	-	-
VI	5,1	2,0	0,8 - 1,3	7,8	1,6	0,3 - 1,1
VII	-	-	-	10,7	2,2	0,6 - 1,0
VIII	7,0	2,2	0,6 - 1,1	-	-	-
IX	9,8	3,5	0,8 - 1,0	11,5	2,4	1,4 - 1,8
X	-	-	-	6,9	2,1	0,5 - 1,1
XI	10,8	2,3	0,8 - 1,2	-	-	-
XII	-	-	-	8,9	2,1	0,6 - 1,1
Mittelwerte	9,8	2,7	1,1	9,4	1,8	1,0

Versuchswurzeln in Orange G.

I	13,8	2,1	0,3 - 0,6	14,0	2,2	1,2 - 1,7
II	12,6	3,9	1,0 - 1,4	5,0	2,5	1,0 - 1,5
III	9,0	3,4	1,2 - 1,5	13,4	2,1	0,9 - 1,4
IV	11,8	3,8	1,4 - 2,0	11,7	3,0	0,7 - 1,4
V	-	-	-	-	-	-
VI	-	-	-	-	-	-
VII	-	-	-	6,6	2,5	1,3 - 1,8
VIII	9,5	3,2	0,9 - 1,7	9,4	2,3	0,8 - 1,6
IX	9,8	2,6	1,0 - 1,6	-	-	-
X	-	-	-	12,2	2,7	0,8 - 1,3
XI	14,3	3,1	1,0 - 1,6	13,8	2,7	1,0 - 1,4
XII	-	-	-	5,8	2,6	1,0 - 1,4
Grenzen der indiv. Schw.	±2,3	±0,5	1,2	±2,6	±0,3	1,2
Diff. d. \bar{x} v. Kontr. & Vers.	1,7	0,4	0,1	0,8	0,7	0,2

In den Tabellen auf Seite 254 - 255 und ff. habe ich zwecks Erleichterung des Vergleiches der Mittelwerte der Kontrollkulturen mit denen der Versuchskulturen die Differenz, die zwischen ihnen besteht, in der untersten Reihe angegeben. Erheben sich diese Differenzwerte nicht über die Grenzen der individuellen Schwankungen, die in der nächst höheren Reihe verzeichnet sind, so sind die Resultate der Kontroll- Und Versuchskulturen als gleich zu betrachten. Wie die Tabellen zeigen, ergibt sich eine Differenz in den Gesamt-Zuwachswerten der Wurzeln - d.h. ein erhöhter Zuwachs der Wurzeln in der Lösung - bei der dritten Messung, will sagen im Verlaufe des dritten Tages der Versuchsdauer. Eine Wachstumsstimulation tritt also

XI. Versuchsreihe vom 12. V. - 16. V. 22.

Mittlere Temperatur 17°; extreme Temperaturen 16 u. 18°.

Die Samen keimten 2 Tage in feuchten Spänen.

Kontrollwurzeln in Leitungswasser.

Gesamt-Zuwachs in mm	Bas.Grenze d. Ges.-Wachstumszone mm hinter d. Spitze	Hauptwachstumz. mm von - bis mm hinter d. Spitze	Gesamt-Zuwachs in mm	Bas.Grenze d. Ges.-Wachstumszone mm hinter d. Spitze	Hauptwachstumz. mm von - bis mm hinter d. Spitze	Länge der Wurzeln zu Beginn in mm
14,4	2,7	0,5 - 0,9	12,6	1,7	1,2 - 1,7	16
-	-	-	-	-	-	15
16,1	2,6	0,8 - 1,4	7,9	2,1	1,1 - 1,6	17
-	-	-	-	-	-	15
-	-	-	9,6	2,5	0,3 - 0,8	19
17,9	1,0	0,5 - 1,0	8,1	1,7	0,4 - 1,1	18
11,3	2,1	0,5 - 1,2	10,8	2,4	0,5 - 1,3	15
16,3	2,4	0,6 - 1,0	-	-	-	20
-	-	-	-	-	-	18
8,0	2,0	0,6 - 1,3	8,3	1,6	0,4 - 0,9	16
11,7	1,5	0,5 - 1,0	-	-	-	20
11,6	1,9	0,9 - 1,6	6,0	2,1	0,6 - 1,1	18
13,4	2,0	0,9	9,0	2,0	0,9	19

Versuchswurzeln in Orange G.

22,6	2,9	0,8 - 1,1	-	-	-	17
21,8	2,7	0,6 - 1,1	9,1	1,9	0,7 - 1,3	19
13,4	2,5	0,9 - 1,2	9,6	1,3	0,8 - 1,3	18
-	-	-	-	-	-	20
-	-	-	-	-	-	23
-	-	-	13,0	2,3	0,5 - 1,1	19
22,3	2,8	0,9 - 1,4	15,0	2,6	0,7 - 1,4	20
24,5	2,8	0,7 - 1,4	-	-	-	18
21,0	3,7	0,5 - 1,0	-	-	-	21
18,2	3,0	0,7 - 1,2	-	-	-	16
-	-	-	13,7	2,1	0,6 - 1,1	21
-	-	-	16,4	2,1	0,6 - 1,1	15
20,6	2,9	0,9	12,8	2,0	0,9	19
± 2,4	± 0,3		± 2,0	± 0,3		
7,2	0,9	0,0	3,8	0,0		

XII. Versuchsreihe vom 14. VI. - 20. VI. 1922.
 Mittlere Temperatur 20°; extreme Temperaturen 18,5 u. 20,5°.
 Die Samen keimten 3 Tage in feuchten Spänen.
 Kontrollwurzeln in Leitungswasser.

Wurzel nr.	Gesamt-Zuwachs in mm	Bas. Grenze d. Ges.-Wachstumszone mm hinter d. Spitze	Hauptwachstumsz. mm von - bis mm hinter d. Spitze	Gesamt-Zuwachs in mm	Bas. Grenze d. Ges.-Wachstumszone mm hinter d. Spitze	Hauptwachstumsz. mm von - bis mm hinter d. Spitze
I	-	-	-	-	-	-
II	-	-	-	21,8	2,2	0,5 - 0,9
III	20,8	3,4	1,1 - 2,0	-	-	-
IV	-	-	-	18,9	3,4	0,4 - 1,0
V	19,4	2,9	0,3 - 0,8	25,5	3,0	0,6 - 1,6
VI	8,8	2,8	0,6 - 1,1	-	-	-
VII	-	-	-	-	-	-
VIII	11,2	2,1	0,6 - 1,5	25,1	3,4	0,9 - 1,6
IX	12,5	2,5	0,4 - 0,9	19,5	3,1	0,5 - 1,1
X	13,2	3,5	0,9 - 1,4	-	-	-
XI	-	-	-	-	-	-
XII	-	-	-	-	-	-
Mittelwerte	14,3	2,9	0,9	22,1	2,7	0,9

Versuchswurzeln in 0,1 o/oo Orange G.

I	-	-	-	-	-	-
II	17,1	2,7	0,8 - 1,2	25,3	2,9	0,9 - 1,5
III	-	-	-	-	-	-
IV	15,1	2,8	0,8 - 1,4	21,9	3,3	0,8 - 1,5
V	14,1	3,0	0,9 - 1,8	27,4	3,8	0,7 - 1,0
VI	-	-	-	-	-	-
VII	-	-	-	-	-	-
VIII	-	-	-	23,9	3,1	0,6 - 1,1
IX	14,0	1,6	0,6 - 1,6	-	-	-
X	16,1	3,1	1,2 - 1,9	-	-	-
XI	16,0	2,4	1,0 - 1,4	18,9	2,8	0,8 - 1,8
XII	-	-	-	20,0	2,5	0,5 - 1,6
Mittelwerte	15,4	2,6	1,2	22,9	3,1	1,0
Grenz. d. ind. Schw.	±2,6	±0,4		±2,5	±0,3	
Diff. d. \varnothing v. Kontr. & Vers	1,1	0,3	0,3	0,8	0,1	0,1

erst nach 2 Tagen ein oder -anders ausgedrückt - die Reaktionszeit für die Wachstumsbeschleunigung von Roggenwurzeln durch eine 0,1 o/oo starke Orange G-Lösung beträgt 2 Tage = ca. 48 Stunden. Dass in der ersten Tabelle (XI) die Differenz zwischen den Zuwachswerten am 4. Tage geringer ist als am Vortage, beruht aller Wahrscheinlichkeit nach darauf, dass die Spitzen der Lösungswurzeln auf den Boden der Kulturgefäße stießen; durch diese Behinderung

XII. Versuchsreihe cont.

Kontrollwurzeln in Leitungsw.

Gesamt-Zuwachs in mm	Bas. Grenze d. Ges.-Wachstumszone mm hinter d. Spitze	Hauptwachstumsz, mm von - bis mm hinter d. Spitze	Länge d. Wurzeln zu Beginn in mm
-	-	-	23
-	-	-	24
-	-	-	22
19,3	2,8	1,3 - 1,6	30
15,8	3,2	0,5 - 0,8	35
-	-	-	32
-	-	-	30
18,3	2,2	0,4 - 0,9	30
22,8	3,6	1,0 - 1,4	29
13,2	2,7	0,7 - 1,4	35
-	-	-	35
14,2	1,8	0,7 - 1,3	22
17,1	2,7	1,0	29

Versuchswurzeln in 0,1 o/oo Orange G.

-	-	-	35
29,9	3,0	0,5 - 0,8	20
33,6	2,5	0,6 - 0,9	36
24,5	2,5	0,6 - 1,3	27
27,1	2,4	0,7 - 1,4	27
-	-	-	27
19,7	2,4	0,5 - 0,8	34
28,9	2,7	0,8 - 1,1	30
26,1	3,5	0,7 - 1,4	40
-	-	-	27
-	-	-	28
26,8	2,7	0,6 - 0,9	28
25,8	2,7	0,9	30
±2,7	±0,4		
8,7	0,0	0,1	

wird die Schnelligkeit des Wachsens dieser Wurzeln gemässigt worden sein. Um derartige Beeinflussungen zu vermeiden, wurden die nächsten Versuchsreihen abgebrochen sobald die Wurzelspitzen den Gefässboden erreichten. Der relativ geringere Zuwachs der Wurzeln in der ersten Versuchsreihe ist der geringeren Temperatur, die während ihrer ganzen Dauer herrschte, zuzuschreiben.

Die Länge der Gesamtwachstumszone zeigt durch alle 3 Tabellen hindurch eine gleiche Grösse für die Kontroll- wie für die Versuchskulturen. Nur nach dem 2. u. 3. Tage der ersten Versuchsreihe (XI) zeigte sich eine Differenz in der basalen Begrenzung. Da jedoch in den folgenden Tabellen kein derartiger Unterschied wieder auftritt, so führe ich diese beiden Abweichungen auf den experimentellen Fehler zurück, dass die einzelnen Zonen von zu grosser Länge waren, einen Fehler, der in der 2. (XII) und 3. Versuchsreihe (XIII) durch grössere Geschicklichkeit, die ich inzwischen erlangte, vermieden wurde.

Die Lage der Hauptwachstumszone ist alle 3 Tabellen hindurch dieselbe; der Abstand ihres Mittelpunktes von der Wurzelspitze weist nur geringe Schwankungen auf, wie sie die Messungen und Berechnungen mit sich bringen.

Bei der Beschleunigung des Wachstums der Roggenwurzeln durch eine 0,1 o/oo starke Orange G-Lösung wird weder die Gesamtwachstumszone verlängert, noch die Hauptwachstumszone verlagert.

Die Frage III.: "Beruht die Wachstumsbeschleunigung der Wurzeln, die in einer Orange G-Lösung wuchsen, auf einer den Kontrollwurzeln gegenüber vermehr-

ten Zellteilung oder erhöhten Zellstreckung habe ich auf dem Wege mikroskopischer Untersuchungen durch Zählen der Kernteilungen und Messen der Zelllängen zu lösen versucht.

Die Präparate stellte ich folgendermassen her: Von zwei Wurzeln eines Keimlings der Versuchsreihen XX und XXI (siehe hinten), von denen die eine in Leitungswasser und die andere in einer 0,1 o/oo Orange G-Lösung gewachsen war, wur-

XIII. Versuchsreihe vom 14. XI. - 17. XI. 1922.

Die Temperatur war konstant 20°.

Die Samen keimten 3 Tage in feuchten Spänen.

Kontrollwurzeln in Leitungswasser.

Wurzel nr.	Gesamt-Zuwachs in mm	Bas. Grenze d. Ges.-Wachstumszone mm hinter d. Spitze	Hauptwachstumsz. mm von - bis mm hinter d. Spitze	Gesamt-Zuwachs in mm	Bas. Grenze d. Ges.-Wachstumszone mm hinter d. Spitze	Hauptwachstumsz. mm von - bis mm hinter d. Spitze
I	26,4	3,9	0,9 - 1,8	29,8	3,1	0,8 - 1,5
II	32,1	3,8	0,8 - 1,2	33,0	3,8	1,1 - 1,5
III	27,8	3,6	0,7 - 1,2	-	-	-
IV	-	-	-	32,1	4,4	0,6 - 0,9
V	-	-	-	-	-	-
VI	-	-	-	-	-	-
VII	-	-	-	-	-	-
VIII	25,0	3,5	0,5 - 1,3	-	-	-
IX	19,9	2,8	0,5 - 1,0	19,0	2,5	0,7 - 1,5
X	17,4	3,7	1,0 - 1,5	-	-	-
XI	17,1	3,2	1,2 - 1,7	20,4	3,0	0,5 - 1,3
XII	28,0	3,7	0,7 - 1,3	28,8	4,0	0,6 - 1,4
Mittelwerte	24,2	3,5	1,1	27,0	3,6	1,1

Versuchswurzeln in 0,1 o/oo Orange G.

I	25,0	-	-	25,8	2,6	0,5 - 1,1
II	16,5	4,0	0,5 - 1,3	34,0	3,6	0,7 - 1,5
III	23,0	3,9	0,8 - 1,3	19,0	2,9	0,8 - 1,4
IV	22,1	2,9	0,6 - 1,2	26,5	3,7	0,0 - 1,7
V	26,2	3,0	0,8 - 1,2	34,2	3,4	0,7 - 1,6
VI	23,8	-	-	29,9	3,8	1,0 - 1,9
VII	-	-	-	-	-	-
VIII	31,3	4,5	1,0 - 1,8	31,0	3,5	0,4 - 1,0
IX	26,8	3,0	0,8 - 1,4	-	-	-
X	24,6	3,7	0,6 - 1,7	27,9	4,0	0,8 - 1,8
XI	-	-	-	-	-	-
XII	28,5	4,0	0,2 - 0,9	-	-	-
Mittelwerte	24,8	3,6	1,1	28,5	3,4	1,1
Grenz. d. ind. Schw.	±3,5	±0,4		±4,3	±0,5	
Diff. d. \varnothing v. Kontr. & Vers.	0,6	0,1	0,0	1,1	0,2	0,0

den je 2 mm lange Spitzenstücke abgetrennt u. zu gleicher Zeit in derselben Chrom-Osmium-Essigsäure-Lösung fixiert. Die Tatsache, dass stets beide untersuchten Wurzeln von einem Keimling stammten, hat den Vorteil, dass von vornherein individuelle Schwankungen, wie sie zwei verschiedene Keimlinge zeigen können, ausgeschaltet wurden. Ferner wurde dadurch, dass die beiden entsprechenden Wurzelspitzen stets zur gleichen Zeit fixiert wurden, vermieden, dass die Periodizität

XIII. Versuchsreihe cont.

Kontrollwurzeln in Leitungswasser.

Gesamt-Zuwachs in mm	Bas. Grenze d. Ges.-Wachstumszone mm hinter d. Spitze	Hauptwachstumsz., mm von - bis mm hinter d. Spitze	Länge d. Wurzeln zu Beginn in mm
-	-	-	42
31,2	4,6	0,6 - 1,2	42
-	-	-	36
25,5	3,5	1,1 - 2,0	40
-	-	-	30
-	-	-	38
29,5	-	-	30
31,5	4,3	0,6 - 1,2	38
21,2	3,3	0,7 - 1,2	35
19,1	4,0	0,9 - 1,7	41
-	-	-	37
20,3	3,4	0,8 - 1,7	36
25,5	3,8	1,2	37

Versuchswurzeln in 0,1 o/oo Orange G.

33,3	3,7	0,8 - 1,9	23
-	-	-	28
31,9	2,3	0,6 - 1,2	28
27,1	3,4	0,7 - 1,4	37
30,2	-	-	41
34,4	3,4	0,5 - 1,1	32
-	-	-	30
38,8	4,1	0,9 - 1,6	29
-	-	-	36
35,3	4,1	0,6 - 1,1	32
33,8	-	-	37
39,9	3,9	0,9 - 1,5	40
33,9	3,6	1,1	
±3,6	±0,5		
8,4	0,2	0,1	

der Zellteilungsfrequenz in den Pflanzen die Untersuchungen beeinträchtigte. Arbeiten von KARSTEN (1915), STALFELT (1919), FRIESNER (1920) u.a. zeigten, dass die Zellteilung in den Pflanzen einem täglichen Rhythmus unterworfen ist, dass also die Zahl der Zellteilungen zu bestimmten Tageszeiten ein Maximum, zu andern ein Minimum aufweist. Wäre nun, im extremen Fall, die eine Wurzelspitze zur Zeit des Teilungsmaximums, die andere dagegen während des Teilungsminimums von der Wurzel abgetrennt und fixiert worden, so hätte diese Methoden eine Fehlerquelle geschaffen. Nach dem Auswaschen (24 Stunden) in fließendem Wasser wurden die Wurzeln durch die Alkohol-Reihe in Xylol und schliesslich in Paraffin übergeführt. Beim Einbetten in das letzte wurden die Stücke in lauter ca. 1 mm lange Stückchen zerteilt, die, sorgfältig der Reihe nach geordnet, später mittels eines Mikrotoms nacheinander in 10µ dicke Längsschnitte zerlegt wurden. Da grössere Wurzelstücke durchweg + starke Krümmungen aufweisen, die nur schwer exakte Längsschnitte zulassen, wurde die Zerlegung der fixierten und gefärbten Wurzelspitzen in kleine, möglichst gerade Teilchen von ca. 1 mm Länge nötig. Die Schnitte jedes Stückes wurden der Reihenfolge nach nebeneinander auf Objektträger geklebt und dann in einer alkoholischen Safraninlösung gefärbt; ich differenzierte mit Salzsäure-Alkohol, sodass die Zellkerne und Zellwände eine dunkle Rotfärbung zeigten.

Die Spitzen der Roggenwurzeln werden bis zu rund 0,5 mm Länge von plasmareichen Meristemzellen eingenommen, die sich zum Teil in lebhafter Teilung befinden. Von diesen Punkten an tritt die Differenzierung der Zellen in Plerom u. Periblem ein und die Streckung ihrer Längswände beginnt. Das Plasma

tritt immer mehr zurück und grosse Vakuolen machen sich bemerkbar. Die stärkste Streckung erfahren die Zellen in der Haupt-Wachstumszone, die, wie die obigen Versuche (Reihe XI, XII und XIII) zeigen, ungefähr 1 mm hinter der Wurzelspitze liegt. Mit der basalen Grenze der Wachstumszone der Wurzel, die bei ca. 3 mm hinter der Spitze zu suchen ist, hört auch die Zellstreckung auf, sodass vor hier ab die Zellen als ausgewachsen anzusehen sind.

Um vergleichbare Werte für die Anzahl der Zellteilungen in den Wurzeln zu bekommen, stellte ich die Zahl der Mitosen fest, die ein Längsschnitt von 15 mm Länge, von der Wurzelspitze ab gerechnet, aufweist. Zu diesem Zwecke suchte ich die 3 der Mediane am nächsten gelegenen Schnitte jeder Reihe heraus, zählte die Kernteilungen, die sich auf jedem von ihnen zeigten und bildete aus den 3 Zahlen den Mittelwert. Die Summe aller Mittelwerte von 15 Schnittreihen ist gleich der Summe der Kernteilungen, die sich, im Mittel gerechnet, auf einem medianen Wurzel-Längsschnitt von 15 mm Länge befinden. Diese Anzahl der Mitosen in den einzelnen Wurzeln wurde verglichen. Gezählt wurden alle Teilungsstadien von der Prophase (deutliches Spirem) bis zur Anaphase (deutliches Dispirem), und zwar wurden die Mitosen mit einer 385-fachen Vergrößerung gesucht.

Das Verhältnis der Zell-Streckung in den Kontrollwurzeln zu derjenigen in den Lösungswurzeln stellte ich durch einen Vergleich der Längenzunahme der Zellen in den verschiedenen Wurzeln fest. Zuerst mass ich mit einem Okularmikrometer die Länge der Meristemzellen, d.h. ihren Durchmesser parallel zur Wurzelaxe, bis zu 0,5 mm hinter der Spitze, indem ich aus 100 einzelnen Messungen den Mittelwert zog. Darauf stellte ich in derselben Weise die Länge der Zellen in der Zone von 10 - 12 mm hinter der Spitze fest, wo ich nach den oben ausgeführten Darlegungen bestimmt ausgewachsene Zellen vorfand. Die Differenz zwischen den beiden Massen gab mir den jeweiligen Zellenzuwachs. Leider konnte ich zu Vergleichen nur die Periblemzellen heranziehen. Die Pleromzellen erreichen im Verlaufe der Streckung eine grössere Länge als die Periblemzellen, wie auch LUNDEGARDH (1914) in Wurzeln von *Vicia Fabae* feststellte. Dieser Autor schreibt dem Plerom eine grössere Aktivität zu als dem Periblem und bezeichnet jenes als den beim Wachstum treibenden

nr.	Wurzel aus	Anfangslänge d. Wurzel	Endlänge d. Wurzel	Zuwachs d. W.	Zuwachs d. Wasserw.: Zuwachs d. Lösungsw.	Zahl d. Kernt. auf 1 Schnitt	Länge d. Merist. Zell.	Länge d. ausgew. Zellen	Zuwachs d. Zellen	Zellenzuwachs in Wasserwurzel; diesem in Lösungsw.
I	Wasser 0,10/00 C.G.	4,0cm	11,1cm	7,1cm	0,638	34	8,4μ	128μ	119,6μ	0,754
		3,5cm	13,9cm	10,4cm		34	8,4μ	167μ	158,6μ	
II	Wasser 0,10/00 O.G.	3,8cm	9,4cm	5,6cm	0,644	19	9,5μ	103μ	93,5μ	0,672
		2,9cm	11,6cm	8,7cm		25	8,8μ	148μ	139,2μ	
III	Wasser 0,10/00 C.G.	4,3cm	9,9cm	5,6cm	0,700	19	9,0μ	127μ	118μ	0,689
		6,5cm	14,5cm	8,0cm		20	9,3μ	128,5μ	171,2μ	

Teil der Wurzel. Die Schwierigkeit, die das Messen der Pleromzellen unmöglich machte und die mir teilweise auch bei den Periblemzellen entgegentrat, liegt darin, dass die Längsschnitte nach noch so genauer Einstellung der Wurzelstückchen auf die Längsrichtung des Mikrotom-Messers nur selten direkt parallel der Längsaxe der einzelnen Teilchen geführt sind. Je länger nun eine Zelle ist, desto leichter verschwindet ihr eines Ende in tieferen Schichten eines Schnittes oder geht sogar in einen folgenden Schnitt über. So konnte ich die schmalen Pleromzellen gar nicht messen und auch nur nach langem Suchen geeignete Periblemzellen finden. Den Mittelwert für die Längen der ausgewachsenen Zellen musste ich daher aus durchweg nur 30 - 50 Messungen bilden. Die Gleichartigkeit und Eindeutigkeit meiner Ergebnisse beweisen, dass diese Methode vollauf zur Lösung der dritten Frage genügt. Die Zellen wurden stets mit einer 220-fachen Vergrößerung gemessen.

Wie die in der Tabelle auf Seite 260 zusammengestellten Werte zeigen, war d. Anzahl der Kernteilungen in den beiden Wurzeln eines Keimlings stets annähernd die gleiche, trotzdem eine von ihnen in einer 0,1 o/oo starken Orange G-Lösung schneller gewachsen war als die andere im Leitungswasser. Die Differenzen, die die jeweils zusammengehörigen beiden Teilungsziffern zum Teil untereinander aufweisen, fallen vollkommen in den Rahmen der Schwankungen, welche die Schnitte ein und derselben Wurzel zeigen. Die mittlere Grösse dieser Abweichungen in der Anzahl der Mitosen betrug bei meinen Zählungen 10.

Dagegen wiesen die ausgewachsenen Zellen der Längswurzeln eine erheblich grössere Länge auf als die ihnen entsprechenden der Wasserwurzeln. Aus diesem Befunde folgt der Schluss: die durch chemische Agentien bewirkte Erhöhung des Wachstums der Wurzeln beruht lediglich auf einer stärkeren Streckung der Zellen.

Ein Beweis für die Richtigkeit dieses Resultates ergibt sich aus folgender Überlegung: Wenn die Differenz zwischen dem Zuwachs einer Kontrollwurzel und einer entsprechenden Lösungswurzel lediglich das Resultat einer stärkeren Zellstreckung in letzterer ist, so muss das Verhältnis der beiden makroskopischen Zuwachswerte zu einander dem der mikroskopischen Zuwachswerte entsprechen.

Wie die Werte in den Tabellen zeigen, trifft die Gleichung (Zuwachs der Wasserwurzel : Zuwachs der Lösungswurzel) = (Zuwachs der Zellen der Wasserwurzel : Zuwachs der Zellen der Lösungswurzel) in allen Fällen zu, abgesehen von den geringen Differenzen, die die Messungen ohne weiteres mit sich bringen.

Durch diese Feststellung kann auch eine weitere wichtige Frage ihre Lösung finden, nämlich, ob nicht etwa der stimulierende Stoff nur gewissermassen als Katalysator in bezug auf das Wurzel-Wachstum wirkt. In diesem Falle würden die stimulierten Wurzeln und die Kontrollwurzeln zuletzt eine gleiche Endlänge erzielen, nur würden erstere diese schneller erreichen als letztere. Erstere würden also nur rascher wachsen und wohl innerhalb einer kurzen Versuchsdauer von etwa 8 - 14 Tagen die Kontrollwurzeln an Länge überflügeln, aber definitiv keine grössere Endlänge aufweisen. Eine Wachstumsbeschleunigung dieser Art könnte aber nur dann eintreten, wenn die Zellen der Lösungswurzeln wie die der Wasserwurzeln stets eine normale und gleich grosse Streckung erfahren; denn wenn erstere einmal eine Überverlängerung gezeigt und dadurch eine Erhöhung des Wachstums der entsprechenden Wurzeln bewirkt haben, so können die Kontrollwurzeln mit den stets gleichmässig wachsenden Zellen die stimulierten Wurzeln niemals wieder einholen. Meine Versuchsergebnisse lehren, dass der Vorsprung, den die Lösungswurzeln im Wachstum erlangen, ausschliesslich die Folge einer stärkeren Zell-Streckung ist; somit müssen die Kontrollwurzeln auch bis zum völligen Auswachsen hinter den Versuchswurzeln im Wachstum zurückbleiben. Die Endlänge der im Wachstum stimulierten Wurzeln wird also immer eine grössere sein als diejenige der entsprechenden Kontrollwurzeln.

Nunmehr wurde die weitere Frage untersucht: "Ist eine Einwirkung des Orange G auf die Wurzeln während der ganzen Versuchsdauer nötig, oder genügt eine kurze Präsentationszeit, um eine Erhöhung des Wurzel-Wachstums zu bewirken"? Der Klärung dieser Frage diene die folgende Versuchsreihe.

XIV. Versuchsreihe vom 20. IV. - 2. V. 1922.

Zur Kontrolle wurden Keimlinge im Leitungswasser und in einer 1 o/oo starken Orange G-Lösung gezogen. Ausserdem wurden 4 Kulturen mit einer 1 o/oo starken Konzentration dieses Stoffes angesetzt und die je 6 Keimlinge nach Abspülen der Wurzeln in Wasser zu verschiedenen Zeiten in reines Leitungswasser umgesetzt. Die Versuchsreihe umfasste also folgende Lösungen mit folgenden Kulturbedingungen:

I.	1 o/oo Orange G-Keimlinge	wurden nach 16 Stunden Versuchsdauer	in Wasser umges.
II.	"	"	" 24 "
III.	"	"	" 40 "
IV.	"	"	" 48 "

V. Leitungswasser, worin die Keimlinge dauernd blieben;

VI. 0,1 o/oo Orange G, " " " " " "

Die Temperatur war konstant 15°. Die Samen keimten 2 Tage in feuchten Spänen.

Kultur	Anfangslänge	Endlänge	Zuwachs
I	1,4 cm	21,5 cm	20,1 cm
II	1,5 "	22,4 "	20,9 "
III	1,6 "	27,1 "	25,5 "
IV	1,7 "	24,1 "	22,4 "
V	1,7 "	22,2 "	20,5 "
VI	1,5 "	25,4 "	23,9 "

Die Grenzen der individuellen Schwankungen sind $\pm 1,6$ cm.

Die Grenzen der individuellen Schwankungen der Kontrollkultur V mit Leitungswasser liegen in bezug auf ihren Zuwachs-Mittelwert bei 22,1 cm und 18,9 cm. Die Zuwachswerte der Kulturen I und II liegen innerhalb dieser Grenzen und müssen somit dem der Kontrollkultur gleichgestellt werden. Dagegen erheben sich die Zuwachswerte der Kulturen III und IV über die obere Grenze; folglich müssen ihre Keimwurzeln stärker gewachsen sein als die Kontrollwurzeln. Besonders deutlich trat die Wachstums-Beschleunigung an den Wurzeln der Kultur IV hervor, die nach 40 Stunden aus der 1 o/oo starken Lösung in das Leitungswasser umgesetzt wurden. Die Stimulation war in diesem Falle so stark, dass sie sogar noch die der optimalen 0,1 o/oo Konzentration übertraf.

Die Entwicklung der Nebenwurzeln war an allen Wurzeln dieselbe. - Wurzelhaare wurden an den Wurzeln der Kulturen I - IV nur von den Epidermiszellen gebildet, die nach dem Umsetzen ins Leitungswasser neu gebildet wurden. So war an diesen Wurzeln stets ein basales Stück unbehaart, das von derselben Länge war, wie die Wurzeln beim Herausnehmen aus der 1 o/oo starken Orange G-Lösung besessen hatten. Diese Tatsache hat schon weiter oben Erwähnung gefunden.

Das Resultat der XIV. Versuchsreihe, dass das Orange G auch bei nur vorübergehender Einwirkung auf die Roggenwurzeln deren Wachstum zu stimulieren vermag, gab mir die Möglichkeit, zu prüfen, ob auch für die chemische Wachstums-Stimulation von Wurzeln das Reiz-Mengengesetz, wie es zuerst von BLAUW und FRÖSCHEL für den Phototropismus gefunden wurde, giltig ist. Das Reizmengen-Gesetz besagt bekanntlich, dass das Produkt aus Reizintensität und Präsentationszeit, also die Reizmenge, konstant sein muss, um ein und dieselbe Reaktion bei allen Versuchsindividuen zu veranlassen.

Die Basis meiner Untersuchungen dieser Art bildete die Tatsache, dass Wurzeln, die nach einem Verbleiben von 40 Stunden in einer 1 o/oo starken Orange G-Lösung ins Wasser umgesetzt werden, ein erheblich stärkeres Wachstum zeigen als die Kontrollkeimlinge in Leitungswasser. Ich variierte nun die beiden Faktoren: "Präsentationszeit" und "Reizintensität", die in der Stärke der Konzentrationen ihren Ausdruck findet, in der Weise, dass stets das Produkt $x \cdot y = 40$ ($40 \cdot 1$) war. Wenn nun das Reiz-Mengengesetz auch für die chemische Stimulation des Wurzelwachstums Giltigkeit besitzt, so müssen alle Wurzeln, denen dieselbe Reizmenge zuteil geworden ist, im Vergleiche zu den Kontrollwurzeln eine gleiche oder doch wenigstens annähernd gleiche Wachstumsbeschleunigung erfahren. Dabei ist die Möglichkeit zu berücksichtigen, dass die Intensität der Wachstums-Stimulation bei den verwendeten Konzentrationen um ein geringes variieren kann, gerade so, wie sich in den Versuchsreihen VI bis X neben einer optimalen Wirkung der 0,1 o/oo starken Lösung verschiedene Abstufungen der Wachstumsförderung durch andere Konzentrationen zeigten.

XV. Versuchsreihe vom 18. V. - 26. V. 1922.

In dieser Versuchsserie nahm ich die Zeiten, wie ich sie in der XIV. Versuchsreihe wählte, als Präsentationszeiten und berechnete die Reizintensitäten, also den Promille-Gehalt der entsprechenden Lösungen aus der Proportion:

$$48 : 40 : 24 : 16 = x : y : 1 : z$$

Das Ansetzen der verschiedenen Kulturen und das Umsetzen der Keimlinge gestaltete sich folgendermassen:

- I. in 2,5 o/oo Orange G ges. am 18.V.Vm. 7.00 umges. i. Wass. n. 16h am 18.V. Nm. 11h
- II. " " " " " " 18.V. " 7.15 " " " " 24" " 19.V. Vm. 7.15
- III. " " " " " " 18.V. " 7.30 " " " " 40" " 19.V. Nm. 11.30
- IV. " 0,83 " " " " " 18.V. " 7.45 " " " " 48" " 20.V. Vm. 7.45
- V. " Leitungswasser " " 18.V. " 8.00 (als Kontrollkulturen.
- VI. " 0,1 o/oo Orange G " " 18.V. " 8.15 (

Mittl. Temperatur 20°; extreme Temperaturen 18 und 22°.- Die Samen keimten drei Tage in feuchten Spänen.

Nr.	o/oo = Reizintensität	Präsentationszeit	Anfangslänge	Endlänge	Zuwachs
I.	2,5 o/oo	16 St.	1,8 cm	20,1 cm	18,3 cm
II.	1,67 o/oo	24 "	1,8 "	21,4 "	19,6 "
III.	1 o/oo	40 "	2,0 "	22,0 "	20,0 "
IV.	0,83 o/oo	48 "	1,7 "	19,8 "	18,1 "
V.	Leitungswass.		1,9 "	14,3 "	12,4 "
VI.	0,1 o/oo		1,7 "	20,8 "	19,1 "

Die Grenzen der indivisiuellen Schwankungen betragen ± 2,6 cm.

Die Zuwachswerte der Versuchskulturen I bis IV sind als gleich zu betrachten, denn sie liegen alle innerhalb der Grenzen der individuellen Schwankungen um ihren gemeinsamen Mittelwert 19,0 cm herum. Der Zuwachs ist um ein beträchtliches grösser als der in der Leitungswasser-Kultur, und zwar um 6,6 cm.

XVI. Versuchsreihe vom 16. VI. - 23. VI. 1922.

Im Gegensatz zu der vorhergehenden Reihe operierte ich hier mit stärkeren Konzentrationen, denen natürlich - berechnet nach der oben angegebenen Proportion - kürzere Präsentationszeiten entsprechen. Es galt die Grenzen zu finden, innerhalb deren dieses Reiz-Mengengesetz Giltigkeit besitzt. Die untere Grenze seines Geltungsbereiches ist gegeben durch die Konzentration, die als geringste eine Beschleunigung des Wurzel-Wachstums bewirkt. Die obere Grenze liegt bei der Konzentration, in der die Wurzeln schon während der entsprechenden Präsentationszeit durch den Stoff geschädigt werden und im Wachstum hinter den übrigen Versuchskeimlingen, deren Wurzelzuwachs der zugrunde gelegten Reizmenge entspricht, zurückbleiben.

Die in dieser Versuchsreihe verwendeten Konzentrationen und Präsentationszeiten waren folgende:

- I. in 5 o/oo Orange G ges. am 16.VI.Vm. 7.45, umges. i. Wass. n. 8 h am 16.VI.Nm. 3.45
- II. " 4 " " " " " 16.VI. " 7.55, " " " " 10 " " 16.VI. " 5.55
- III. " 3 " " " " " 16.VI. " 8.05, " " " " 13h24' " 16.VI. " 9.30
- IV. " 2,67 " " " " " 16.VI. " 7.20, " " " " 15 h " 16.VI. " 10.20
- V. " 1,67 " " " " " 16.VI. " 8.15, " " " " 24 " " 17.VI.Vm. 8.15
- VI. " 1,03 " " " " " 16.VI. " 7.30, " " " " 39 " " 17.VI.Nm. 10.30
- VII. " 0,83 " " " " " 16.VI. " 8.25, " " " " 48 " " 18.VI.Vm. 8.25
- VIII. Leitungswasser " " 16.VI. " 8.35 (als Kontrollkulturen.
- IX. " 0,1 o co Orange G " " 16.VI. " 8.45 (

Die Temperatur war konstant 24°; die Samen keimten 3 Tage in feuchten Spänen.

Nr.	o/oo = Reizintensität	Präsentationszeit	Anfangslänge	Endlänge	Zuwachs
I	5 o/oo	8 Stunden	2,6 cm	15,9 cm	13,3 cm
II	4 o/oo	10 "	2,2 "	13,6 "	11,4 "
III	3 o/oo	13 " 24 '	2,8 "	15,8 "	13,0 "
IV	2,67 o/oo	15 "	2,4 "	(9,7 ")	(7,3 ")
V	1,67 o/oo	24 "	2,6 "	15,5 "	12,9 "
VI	1,03 o/oo	39 "	2,6 "	15,6 "	13,0 "
VII	0,83 o/oo	48 "	2,9 "	(12,8 ")	(9,9 ")
VIII	Leitungswasser		2,8 "	(5,7 ")	(2,9 ")
IX	0,1 o/oo Orange G		3,2 "	12,2 "	9,0 "

Die Grenzen der individuellen Schwankungen sind $\pm 1,7$ cm.

Die Keimlinge der Kulturen IV, VII und VIII waren stark von Pilzen befallen; durch diese wurden sie derart geschädigt, dass sie im Wachstum erheblich zurückblieben; sie müssen daher bei der Feststellung des Versuchsergebnisses ausgeschaltet werden. Dass diese Störung lediglich auf das Konto der Pilze zu buchen ist, zeigte mir ein folgender in gleichem Sinne angestellter Versuch, während dessen Dauer fast sämtliche Keimlinge von Pilzen befallen wurden und dessen Resultat ein ganz abnormes Aussehen bekam. Die wenigen pilzf freien Keimlinge waren normal gewachsen und die andern waren je nach der Stärke des Befalls \pm in der Entwicklung gehemmt worden.

Wie in der vorigen Versuchsreihe, so sind auch in der vorliegenden die Zuwachswerte aller Versuchskulturen - unter Vernachlässigung der Kulturen IV. und VII - als gleich gross zu betrachten, denn sie liegen wiederum alle innerhalb d. Grenzen der individuellen Schwankungen um ihren gemeinsamen Mittelwert 12,7 cm. Dieser Wert erhebt sich ohne Zweifel über den Zuwachswert der Leitungswasser-Kultur; auch ohne den Pilzschaden würde letzterer erfahrungsgemäss unterhalb desjenigen der Kontrollkultur IX mit 0,1 o/oo Orange G liegen. In dieser Kultur erreichten die Wurzeln einen mittleren Zuwachs von 9,0 cm; das ist ein Wert, der ausserhalb der unteren Grenze der individuellen Schwankungen, vom Zuwachswert der Versuchskulturen aus gerechnet, liegt. Demnach zeigten die Wurzeln der Versuchskulturen auch den Wurzeln der Kontrollkeimlinge im Leitungswasser gegenüber ein erheblich beschleunigtes Wachstum.

Das stark beschleunigte Wachsen der Wurzeln beweist, dass die 5 o/oo starke Lösung noch nicht die obere Grenze des Geltungsbereiches für das Reizmengen-Gesetz bildet, wie ich es für Orange G mit der oben festgelegten Reizmenge prüfte. Daher musste ich in der folgenden Versuchsreihe zu noch höheren Konzentrationen greifen:

XVII. Versuchsreihe vom 15. VIII. - 23. VIII. 1922.

Die Werte gestalteten sich folgendermassen:

I. in 20o/oo Orange G ges.	am 15.VIII.Nm. 4.25,	unges. Wass. n. 2 h	am 15.VIII.Nm. 6.25
II. " 15 "	" 15.VIII.Nm. 4.45,	" " " 2.45 "	15.VIII. " 7.27
III. " 10 "	" 15.VIII.Nm. 4.35,	" " " 4 h "	15.VIII. " 8.35
IV. " 8 "	" 15.VIII.Nm. 3.45,	" " " 5 h "	15.VIII. " 8.45
V. " 2,5 "	" 15.VIII.Nm. 5.25,	" " " 16 h "	16.VIII. Vm. 9.25
VI. " 1,67 "	" 15.VIII.Nm. 4.10,	" " " 24 h "	16.VIII. Nm. 4.10
VII. " 0,83 "	" 15.VIII.Nm. 4.05,	" " " 48 h "	17.VIII. " 4.05
VIII. Leitungswasser	" 15.VIII.Nm. 5.00	(als Kontrollkulturen.	
IX. 0,1 o/oo Orange G	" 15.VIII.Nm. 5.10		

Mittlere Temperatur 19,5°, extreme Temperaturen 18 und 20°. - Die Samen keimten 3 Tage in feuchten Spänen.

Nr.	o/oo = Reizintensität	Präsentationszeit	Anfangslänge	Endlänge	Zuwachs
I	20 o/oo	2 St.	2,5 cm	15,3 cm	12,8 cm
II	15 "	2 " 42'	2,7 "	16,3 "	13,6 "
III	10 "	4 "	2,6 "	19,1 "	16,5 "
IV	8 "	5 "	2,6 "	19,6 "	17,0 "
V	2,5 "	16 "	2,7 "	22,4 "	19,7 "
VI	1,67 "	24 "	2,9 "	21,0 "	18,1 "
VII	0,83 "	48 "	2,5 "	22,0 "	19,5 "
VIII	Leitungswasser		2,6 "	18,2 "	15,6 "
IX	0,01 o/oo Orange G		2,5 "	19,9 "	17,4 "

Die Grenzen der individuellen Schwankungen sind $\pm 1,1$ cm.

Dank einer gründlichen Säuberung aller Kulturgefässe von Pilzspuren, die im Sterilisieren der feuchten Späne, Auskochen der Emailledeckel und in der Behandlung der Glashäfen mit Salzsäure und deren Dämpfen und gründlichen Ausspülen im Wasser bestand, wurde in dieser Kulturserie keiner der Keimlinge von Pilzen befallen.

Die Wurzeln in den Kulturen I und II machten einen kranken, geschädigten Eindruck; sie waren nicht von der gewöhnlichen normalen Dicke der andern, und ihr Zurückbleiben im Wachstum hinter den Wurzeln der Kontrollkultur VIII schaltete diese beiden Kulturen von vorn herein aus bei der Bestimmung der Versuchskulturen, die in dieser Reihe eine gleich grosse Beschleunigung des Wurzel-Wachstums gezeigt haben. Der Zuwachswert der Kultur III ist mit dem der Kontrollkultur identisch, da er in die Grenzen der individuellen Schwankungen der letzteren fällt. Zieht man nun den Mittelwert aus den Zuwachs-Werten aller andern Versuchskulturen IV - VII, so erhält man den Wert 18,6 cm, und die Grenzen der individuellen Schwankungen würden bei 17,5 und 19,7 cm liegen. Der Zuwachswert der Kultur IV fällt unter die untere dieser Grenzen; demnach ist die Wachstums-Beschleunigung dieser Lösung nicht so stark gewesen wie die der 3 andern. Diese 3 letzten bewirkten, wie in den vorhergehenden Versuchsreihen, eine gleiche Stimulation des Wachstums.

Das Resultat dieser XVII. Versuchsreihe ist folgendermassen zusammenzufassen: Nur die Versuchskulturen V, VI und VII wiesen ein gleich starkes und gleichmässig beschleunigtes Wachstum der Wurzeln auf, die eine um ca. 3,5 cm grössere Länge als die Kontroll-Kultur im Leitungswasser erreichten. Wie die Resultate der beiden vorhergehenden Versuchsreihen lehren, entspricht die Wachstumsstimulation in den Lösungen V, VI und VII der "Reizmenge 40", die für diese Versuche als Grundlage gewählt wurde. Dieser Erhöhung der Wachstumsintensität entsprachen die Wirkungen der Kulturen I - IV nicht; also müssen die Wurzeln in ihnen während der Präsentationszeit schon vermöge der stärkeren Konzentrationen eine gewisse Schädigung davongetragen haben.

XVIII. Versuchsreihe 8. VI. - 18. VI. 1923.

Die einzelnen Kulturen mit ihren Präsentationszeiten waren folgende:

I.	in 20o/oo Orange G ges.	am 8.VI.Vm. 9.00,	unges. Wass.	n. 2 h	am 8.VI Vm 11.00
II.	" 10 "	" 8.VI.Vm. 8.20,	" "	" 4 "	" 8.VI. Nm. 12.02
III.	" 8 "	" 8.VI.Vm. 8.00,	" "	" 5 "	" 8.VI. " 1.00
IV.	" 7 "	" 8.VI.Vm. 7.30,	" "	" 5.42 "	" 8.VI. " 1.12
V.	" 6 "	" 8.VI.Vm. 7.20,	" "	" 6.42 "	" 8.VI. " 2.02
VI.	" 5 "	" 8.VI.Vm. 7.50,	" "	" 8 h	" 8.VI. " 3.50
VII.	" 3 "	" 8.VI.Vm. 7.40,	" "	" 13h30	" 8.VI. " 9.10

VIII	2,50/oo Orange G ges.	am 8.VI. Vm. 7.00, Umges. Wass. n. 16 h am 8.VI. Nm 11.00
IX	" 1,67 " " " "	" 8.VI. " 11.59, " " " 24 " " 9.VI. Vm 11.59
X	" 0,83 " " " "	" 8.VI. " 10.30, " " " 48 " " 10.VI. " 10.30
XI	Leitungswasser	" 8.VI. " 11.59
XII	0,1 o/oo Orange G	" 8.VI. " 12.30

} als Kontrollkulturen.

Mittlere Temperatur 15°; extreme Temperaturen 14 und 16°. - Die Samen keimten 3 Tage in feuchten Spänen.

Nr.	o/oo = Reizintensität	Präsentationszeit	Anfangslänge	Endlänge	Zuwachs
I	20 o/oo	2 St	2,0 cm	9,0 cm	7,0 cm
II	10 "	4 "	1,7 "	11,2 "	9,5 "
III	8 "	5 "	1,4 "	17,2 "	15,8 "
IV	7 "	5 " 42'	1,5 "	18,4 "	16,9 "
V	6 "	6 " 42'	1,8 "	19,7 "	17,9 "
VI	5 "	8 "	1,7 "	20,9 "	19,2 "
VII	3 "	13 " 30'	1,8 "	21,1 "	19,3 "
VIII	2,5"	16 "	1,8 "	20,4 "	18,6 "
IX	1,67"	24 "	2,1 "	21,8 "	19,7 "
X	0,83"	48 "	2,3 "	22,5 "	20,2 "
XI	Leitungswasser		1,8 "	18,1 "	16,3 "
XII	0,1 o/oo Orange G		2,1 "	20,1 "	18,0 "

Die Grenzen der individuellen Schwankungen sind $\pm 1,2$ cm.

Die Wurzeln der Kulturen I und II sind während während der kurzen Präsentationszeit von den starken Konzentrationen Orange G so stark geschädigt worden, dass sie im Wachstum weit hinter den Kontrollwurzeln im Leitungswasser zurückblieben. Auch in den Kulturen III und IV müssen sie eine Schädigung durch den Lösungstoff davongetragen haben, da sie nur ein gleiches Wachstum erfuhren wie die Wurzeln der Kontrollkultur IX, innerhalb deren Grenzen für die individuellen Schwankungen (15,1 - 17,5 cm) ihre Zuwachswerte liegen. Alle übrigen Versuchskulturen V - X zeigten eine gleiche Beschleunigung des Wurzelwachstums; denn alle entsprechenden Zuwachswerte liegen innerhalb der Grenzen der individuellen Schwankungen (17,9 - 20,3 cm) um ihren gemeinsamen Mittelwert (19,1 cm) herum. - Die folgende

XIX. Versuchsreihe vom 9. VI. bis 18. VI. 1923.

entsprach vollkommen der vorhergehenden; nur wurden die Kulturen genau 24 h später angelegt. - Mittlere Temperatur 15°; extreme Temperaturen 14 und 16°. + Die Samen keimten 3 Tage in feuchten Spänen.

Nr.	o/oo = Reizintensität	Präsentationszeit	Anfangslänge	Endlänge	Zuwachs
I	20 o/oo	2 St	-	-	-
II	10 "	4 "	1,8 cm	11,0 cm	9,2 cm
III	8 "	5 "	1,8 "	16,1 "	14,3 "
IV	7 "	5 " 42'	1,4 "	16,4 "	15,0 "
V	6 "	6 " 42'	1,7 "	18,4 "	16,7 "
VI	5 "	8 "	2,0 "	19,5 "	17,5 "
VII	3 "	13 " 30'	-	-	-
VIII	2,5 "	16 "	1,8 "	20,2 "	18,4 "
IX	1,67"	24 "	1,7 "	20,0 "	18,3 "
X	0,83"	48 "	2,1 "	21,0 "	18,9 "
XI	Leitungswasser		2,0 "	17,4 "	15,4 "
XII	0,1 o/oo Orange G		1,9 "	18,9 "	17,0 "

Die Grenzen der individuellen Schwankungen sind $\pm 1,0$ cm.

Die Kulturen I und VII wurden wegen Pilzbefalls der Keimlinge vorzeitig abgebrochen. Wie in der XVIII. Versuchsreihe blieben die Wurzeln der Kulturen II, III. und IV im Wachstum hinter denjenigen der Kontrollkultur XI zurück, resp. wiesen einen gleichen Zuwachs auf wie diese. Bildet man aus allen andern Versuchskulturen V bis X den Mittelwert aus den Zuwachswerten, der 18,0 cm beträgt, mit den Grenzen der individuellen Schwankungen bei 17,0 und 19,0 cm, so ergibt sich, dass der Zuwachswert der Kultur unter der Grenze der individuellen Schwankungen fällt. Er kann somit, im Gegensatz zu der vorigen Versuchsreihe, nicht mit zu den Zuwachswerten gerechnet werden, die, der Reizmenge 40xl entsprechend, eine gleich grosse Erhöhung im Vergleich zu dem der Kontrollkultur XI aufweisen. Zu diesen gehören die Werte der Kulturen VI bis X mit dem Mittelwert 18,3 cm und den Grenzen der individuellen Schwankungen bei 17,3 und 19,3 cm.

Die Entwicklung der Nebenwurzeln und der Wurzelhaare entsprach in den letzten 5 Versuchsreihen vollkommen derjenigen in der XIV. Reihe.

Die Ergebnisse dieser 5 Versuchsreihen XV - XIX zeigen, dass für die chemische Stimulation des Wurzelwachstums durch Orange G das von BLAUW und FRÖSCHEL aufgestellte Reizmengen-Gesetz gilt, d.h. dass bei der Beschleunigung des Wurzelwachstums durch Orange G die Reizmenge für die ausgelöste Reaktion ausschlaggebend ist.

Es ist nicht möglich, die obere Grenze des Geltungsbereiches für dieses Gesetz ganz genau anzugeben, da sie durch die individuellen Schwankungen im Zuwachs der Wurzeln stets verwischt wird. Aus den Versuchsreihen XVII, XVIII und XIX erhellt, dass für die Versuchsbedingungen der oben festgelegten Art im Bereiche der Konzentrationen 6 - 8 o/oo die obere Grenze zu suchen ist, innerhalb der das Reizmengen-gesetz Giltigkeit besitzt; denn der Zuwachs in diesen Lösungen ist durchweg nur um ein sehr geringes schwächer als derjenige, der der festgesetzten Reizmenge in den niederen Konzentrationen entspricht.

Während der Versuchsdauer von 7 resp. 8 Tagen vermochten die Kontroll-Lösungen von 0,1 o/oo Orange G das Wachstum der Wurzeln nicht so stark zu fördern, wie die Versuchslösungen von 0,83 o/oo bis 5 o/oo mit den Präsentationszeiten von 48 Stunden bis zu 8 Stunden. Diese Tatsache hat wahrscheinlich ihren Grund darin, dass während der 7 bzw. 8 Tage den Wurzeln in der 0,1 o/oo starken Lösung die den Versuchen zugrunde gelegte Reizmenge (Intensität \times Präsentationszeit = 40) nicht geboten wurde; denn dieser Konzentration würde eine Präsentationszeit von 400 Stunden, das sind 16 Tage und 16 Stunden, entsprechen.

Theoretisch muss jede noch so geringe Konzentration Orange G die der festgelegten Reizmenge entsprechende Wachstumsförderung bewirken, wenn nur die Dauer der Einwirkung, d.h. die Präsentationszeit, entsprechend lang genommen wird. Praktisch jedoch wird erstens durch die Zeit, während der die Wurzeln überhaupt zu wachsen befähigt sind, eine Grenze gesetzt; denn es kann durch Lösungen so geringer Stärke, deren Präsentationszeiten die eben angedeutete überschreiten, die nötige Reizmenge niemals aufgebracht werden. Zweitens zeigen meine Versuchsreihen VI bis X, dass die geringen Konzentrationen keinen Einfluss auf das Längenwachstum der Wurzeln ausüben; also auch die Unfähigkeit der niederen Konzentrationen, eine Wachstumsförderung überhaupt zu bewirken, setzt eine untere Grenze für den Geltungsbereich des Reizmengen-gesetzes.

Ob eine Verallgemeinerung meines Resultates, das die Giltigkeit des Reizmengen-gesetzes im Rahmen der Stimulation des Wurzelwachstums durch Orange G bejaht, zulässig ist, hängt von der Frage ab, ob alle Stoffe, die wachstums-stimulierend wirken, sich in dem Wesen ihrer chemischen Beeinflussung pflanzlicher Gewebe gleichen. Da es noch keineswegs aufgeklärt ist, wie sich die Einwirkung der Chemikalien auf die Baustoffe einer Pflanze gestaltet und ob nicht für die verschiedenen Stoffe in diesen Punkte prinzipielle Abweichungen bestehen, so kann erst die endgiltige Lösung der obigen Frage erweisen, ob die Verallgemeinerung meines Resultates auf das gesamte Gebiet der chemischen Wachstums-Stimulation berechtigt ist.

Wie oben, zu Beginn meiner Arbeit, erwähnt, ist die Frage: "Wie ist das Ein-

wirken eines wachstums-stimulierenden Stoffes auf den pflanzlichen Organismus zu erklären?" noch völlig offen. Es ist wohl denkbar, dass die chemischen Agentien die Aufbau-Stoffe einer Pflanze direkt beeinflussen und so eine wachstumsfördernde resp. wachstumshemmende Wirkung erzielen. Dagegen besteht aber auch die Möglichkeit, dass die Einwirkung der betreffenden Chemikalien eine indirekte ist, also vielleicht die Nährstoff-Aufnahme der Pflanze fördern resp. hindern und auf diesem Wege deren Wachstumsintensität variieren. So wäre es z.B. durchaus möglich, dass die Stickstoffaufnahme ein entscheidendes Moment für das Gedeihen einer Pflanze unter dem Einfluss irgend eines Stoffes darstellt. Es ist bekannt, dass bei Stickstoff-Mangel die Wurzeln der Pflanzen eine grössere Länge erreichen als normal. Diese Erscheinung belegte BENECKE (1903) mit dem Namen "Stickstoffetiement". In den Versuchen des Autors erreichten z.B. die Rhizoiden an dem Thallus von *Lunularia* bei Stickstoff-Hunger ca. die doppelte Länge als die der Kontrollpflanzen bei normaler Ernährung. Eine ganz auffallende Wachstums-Stimulation infolge Stickstoffmangels erzielte ferner auch PROBST (1901) mit Wurzeln von Weizenkeimlingen. Die Längen der Wurzeln in den verschiedenen Kulturen betragen bei Abbruch der Versuche im Durchschnitt in

	Nährlösung mit N	Nährlösung ohne N
I	11,2 cm	14,5 cm
II	15,9 "	30,2 "
III	20,6 "	39,5 "
IV	21,5 "	44,5 "

Es wäre an sich nicht ausgeschlossen, dass die chemische Wachstums-Stimulation nichts weiter wäre als ein Stickstoff-Etiement, welches sich dadurch erklären liesse, dass die stimulierenden Stoffe mehr oder minder auf irgend eine Weise die Stickstoff-Aufnahme hinderten, wodurch ein Stickstoff-Hunger und demzufolge auch eine Überverlängerung des Wurzelsystems hervorgerufen würde.

Es liessen sich in dieser Weise viele Hypothesen aufstellen, jedoch nur das Experiment kann eine endgiltige Lösung der obigen Fragen bringen.

Dabei dürften vor allem die Versuche und Erwägungen von HANSTEEN-CRANMER (1910) über den Einfluss chemischer Agentien auf die Pflanzen zu beachten sein. Er beobachtete an Wurzeln von Weizenkeimlingen, die er in reinen K-, Na- und Mg-Salzlösungen zog, eine starke Wachstumshemmung und schliesslich eine Tötung unter stets gleichen Schädigungs-Symptomen. Der erste Angriff dieser Kulturmedien richtete sich immer zuerst gegen die Streckungszone einer Wurzel, die bald nach dem Einsetzen in die giftigen Lösungen sich stark verdickte, aufquoll und dann eine "gelatinös-knorpelige Konsistenz" annahm. Die Konturen der Wurzelspitze wurden verwischt und schleimig im Gegensatz zu den normalerweise festen und scharf umrissenen in der Kontrollkultur. Genaue mikroskopische Untersuchungen ergaben, dass im Verlaufe dieser Schädigungen der Wurzelgewebe im Bereiche der Streckungszone die Zellwände der Epidermiszellen "aufgelöst" wurden, deren Plasmakörper stark anschwell und zuletzt platzte. Dann umgab das frei gewordene Plasma die Wurzeln in schleimigen, strukturlosen Massen und hing schliesslich an deren Spitzen in grossen Tropfen. Nachdem die äusserste Zellschicht vernichtet war, wurde die folgende von den Salzen in derselben Weise angegriffen etc. Die Zerstörung der Streckungszone der Wurzeln schritt also langsam von aussen nach innen fort, während die Urmeristemzellen in ihren vitalen Eigenschaften von den chemischen Agentien keineswegs beeinflusst wurden und erst starben, wenn infolge der Vernichtung der Streckungszone die Wurzelspitzen abknickten.

Ferner bewies HANSTEEN durch einige Versuche, dass die Schädigungen eben beschriebener Art immer nur lokalisiert auftreten, und zwar immer nur an den Wurzelteilen, die direkt mit den schädlichen Lösungen in Berührung kommen. Er liess z.B. in einem 15 cm langen und 1,3 cm weiten Glasrohr, das zweimal 2,5 cm tief U-förmig gebogen war, das Spitzenende einer Wurzel von *Vicia Faba* in dem einen Bogen in einer CaN_2O_6 -Lösung, im zweiten Bogen ein älteres Wurzelstück in einer MgH_2O_6 -Lösung wachsen, während ein mittlerer Wurzelteil sich in feuchter Luft befand. Nach 7 Tagen Versuchsdauer ergab sich, dass die Wurzelspitze in der Calcium-Lösung, wie immer - das Ca schädigt laut Versuchen HANSTEENS die Wurzeln nicht, sondern för-

dert sogar deren Wachstum -, normal gewachsen war und die Zellen hier, wie auch in der feuchten Luft, normale feste Konsistenz aufwies. Nur das Wurzelstück aus der Mg-Salzlösung war in seiner ganzen Länge tief braun-schwarz gefärbt und von schwammartiger, schleimiger Beschaffenheit.

Aufgrund dieser seiner Versuchsergebnisse kam HANSTEEN zu dem Schlusse, dass die Schädigung der Wurzelgewebe durch chemische Agentien nicht in einer Beeinflussung des Zell-Plasmas zu suchen ist, sondern ihr Wesen in einer Änderung der Zellwand-Beschaffenheit, in einer "Oberflächenwirkung" besteht. - Vorversuche des Autors ergaben, dass in einem Calcium-Magnesium-Salzgemisch die Ca-Ionen die schädigende Wirkung der Mg-Ionen in starkem Masse herabzusetzen vermögen. Aber trotzdem die Wurzeln in dem oben beschriebenen Versuche aus der CaMgO_6 -Lösung Kalk in sich aufnehmen konnten und auch, wie nachgewiesen, von reichlichen Mengen Kalk durchströmt waren, kam der Antagonismus zwischen Ca und Mg nicht zum Vorschein. Da die Konzentration der MgMgO_6 -Lösung relativ gering war, hätte, wenn nicht nur die Grenzschichten der Zellen einem Einflusse der Mg-Ionen unterworfen wären, die entgiftende Wirkung der im Wurzelinnern befindlichen Ca-Ionen die Schädigung des älteren Wurzelstückes verhindern müssen. Wäre auch das Plasma der älteren Wurzelzellen von Mg angegriffen worden, so hätten wahrscheinlich auch die benachbarten Zellen eine schädigende Wirkung dieses Stoffes gezeigt; jedoch die direkt an die Oberfläche der MgMgO_6 -Lösung grenzenden, in feuchter Luft befindlichen Gewebe zeigten ein vollkommen normales Aussehen.

HANSTEENs (1922) spätere Untersuchungen über die Biochemie und Physiologie der Grenzschichten lebender Pflanzenzellen unterstützen seine Theorie der Oberflächenwirkung. Die Ergebnisse seiner ausgedehnten Versuche brachten ihn zu der Erkenntnis, "dass die plasmatischen Grenzschichten nur aus Lipoiden, und dann wesentlich Phosphatiden, aufgebaut sind". Genaue ultramikroskopische Untersuchungen zeigten ihm, dass der Plasmakörper mit den Zellwänden intim verbunden ist, und zwar durch die stark oberflächenaktiven Phosphatide, die auch im wesentlichen die Bausteine der Zellmembranen bilden. Der Autor steht auf dem Standpunkte, dass die Phosphatide, die er ihrem Verhalten nach in 2 Fraktionen, die wasserlösliche und die wasser-unlösliche, teilte, als die Träger des Stoffaustausches und die Regulatoren der Wasseraufnahme der Pflanzen anzusehen sind. Je nach der Art, wie diese Phosphatide auf die Medien, die die Wurzel umgeben, reagieren - ob sie z.B. stärker oder schwächer von ihnen gefällt oder ob sie von ihnen in einen Sol- oder Gel-Zustand übergeführt werden, ob sie ihrer kolloidalen Beschaffenheit gemäss quellen oder aus dem Verbande der Zellwände herausgerissen werden - offenbart sich der Einfluss der Lösungen auf die pflanzlichen Gewebe. Wie HANSTEEN feststellen konnte, fällen Ca-Ionen die Phosphatide stark, also festigen sie die Zellmembranen; K-, Na- und Mg-Ionen dagegen wirken entgegengesetzt.

Die Frage nach der Berechtigung der Phosphatid-Hypothese HANSTEENs soll an dieser Stelle nicht erörtert werden. Das wesentliche für meine weiteren Darlegungen ist der Begriff "Oberflächenwirkung", den der Autor aufgrund seiner Betrachtungen und Versuchsergebnisse prägte. Dieser besagt also, dass der schädigende u. wachstumshemmende, resp. wachstumsfördernde Einfluss chemischer Agentien, die mit pflanzlichen Geweben direkt in Berührung kommen, zunächst nicht auf einer Beeinflussung des Zell-Innern (Plasma und Kern), sondern der Grenzschichten der Zellen, der Membranen, beruht. Die Frage, welche Zellen einer Wurzel, die in einer Lösung wächst, von dem fraglichen Stoff als erste und am stärksten beeinflusst werden, soll vorerst noch unberücksichtigt bleiben und erst später erörtert werden.

Die Schädigung der Wurzeln in einfachen K-, Na- und Mg-Salzlösungen, die, wie HANSTEEN (1910) fand, stets von einer Zerstörung der Streckungszonen eingeleitet wurde, scheint, worauf der Autor im besonderen hinweist, eine Oberflächenwirkung der Stoffe zu bestätigen; denn nicht die grosskernigen, plasmareichen, aber oberflächenarmen Meristemzellen fielen zuerst der Vernichtung anheim, sondern die Zellen, die sich in der Periode ihrer Streckung befanden, deren Zellwände also stark im Aufbau begriffen und noch wenig gefestigt waren, zeigten zuerst die Spuren des Angriffes der Stoffe, der im wesentlichen in einem "Auflösen" der Zellmembranen bestand.

Unter ganz denselben Zerstörungssymptomen, die HANSTEEN im Verlaufe seiner Kulturen mit K, Na und Mg beobachtete, gingen auch die Wurzeln meiner Roggenkeimlinge in den höheren Konzentrationen von 0,01, 0,005 und 0,001 o/oo CuSO_4 (Versuchsreihen I und II) zugrunde. Sie wiesen im Vergleiche zu den Wurzeln der Kontrollkultur ein nur geringes Wachstum auf, und der Austritt des Plasmas war so stark, dass dieses nicht nur an den Wurzelspitzen in schleimigen Tropfen hing, sondern sich sogar in gelatinösen Bändern bis zum Boden der Kulturgefäße hinabzog. Diese Beobachtungen an Wurzeln in Kupfersulfat und die Verdickungen der Wurzelspitzen in den starken Rubidiumnitrat-Lösungen (cfr. Versuchsreihen III und IV) unterstützen auch, nach den Darlegungen HANSTEENS zu urteilen, die Wahrscheinlichkeit einer Oberflächenwirkung der Stoffe.

Die Wurzeln, die ich in starken Orange G-Lösungen von 3, 4 und 5 o/oo und in noch konzentrierteren von 20 und 30 o/oo zog, in denen sie im Wachstum gehemmt resp. in kurzer Zeit getötet wurden, blieben in ihren Konturen stets scharf umrissen, und auch nicht die geringste Verdickung der jüngeren Wurzelteile konnte ich bemerken. Trotzdem nun die weiter oben als charakteristisch für die Oberflächenwirkungen angegebenen Merkmale bei der Schädigung der Wurzeln durch Orange G nicht zum Vorschein kamen, so muss meines Erachtens die Wirkung dieses Stoffes dennoch auf einer Beeinflussung der Zell-Membranen beruhen, zum mindesten aber bei deren Ausbildung als bestimmender Faktor mit im Spiele sein. Meine mikroskopischen Untersuchungen (siehe oben, Seite 261) zeigen nämlich, dass das durch Orange G beschleunigte Wachstum einer Wurzel lediglich auf einer ausgiebigeren Streckung der Zellen beruht; der stimulierende Stoff fördert in irgend einer Weise den Aufbau und die Ausbildung der Zellwände. Ich glaube, nicht fehl zu gehen, wenn ich annehme, dass ein Stoff, der das Wachstum einer Wurzel einerseits in geringer Konzentration stimuliert, andererseits in relativ grösserer Menge hemmt, in beiden Fällen auf die pflanzlichen Gewebe in der gleichen Weise einwirkt und nur die schwächere, resp. intensivere Einwirkung des Stoffes die Reaktion der Wurzel variiert. Besteht diese Annahme zu Recht, so ergibt sich aus meinen Untersuchungen folgender Schluss: Das Gedeihen der Wurzeln in einer Orange G-Lösung hängt in erster Linie von der Ausbildung der Zellmembranen unter dem direkten Einfluss dieses Stoffes ab, sei es, dass sie durch starke Lösungen geschädigt od. durch niedere Konzentrationen im Wachstum gefördert werden. Also auch das Orange G zeigt eine ausgesprochene Oberflächen-Wirkung.

Bei einer von HANSTEEN (1910) mit "Doppelkulturen" bezeichneten Versuchsanstellung liess dieser Autor von zwei Wurzeln eines Weizen- resp. Haferkeimlings die eine in einer giftigen Mg- oder K-Salzlösung wachsen und die andere in einer CaN_2O_6 -Lösung. Trotzdem nun die eine der Wurzeln genügend Calcium aufnehmen konnte und somit auch die Wurzel in der giftigen Lösung mit reichlichen Mengen von Kalk versehen war, trat eine antagonistische Wirkung des Ca nicht zum Vorschein, wie es der Fall ist, wenn Ca und Mg, resp. K gemischt den Wurzeln von aussen geboten werden; die schädigenden Stoffe vernichteten in der oben geschilderten Weise die Wurzel. Dass die im Innern der betreffenden Wurzel befindlichen Ca-Ionen nicht die zerstörende Wirkung der K- und Mg-Ionen verhinderten, - so schliesst HANSTEEN - ist ein weiterer Beweis dafür, dass diese keine innere, sondern eine Oberflächen-Wirkung ist.

In Doppelkulturen, die ich mit der optimalen 0,1 o/oo starken Orange G-Lösung ansetzte, wuchsen je 2 Wurzeln eines Roggenkeimlings in der Lösung und 2 andere in Leitungswasser. Ich stellte 6 Glashäfen von 100 ccm Inhalt (Masse: 2 x 5 x 10 cm) nebeneinander und füllte Glas 1 und 2 mit Leitungswasser, 3 mit der Orange G-Lösung, 4 wieder mit Wasser und die beiden letzten wiederum mit der Lösung. So ergaben sich zwischen den zusammenstossenden Gefässen drei Scheidewände, die reines Wasser von Orange G trennten, und zwei, zu deren beiden Seiten sich Leitungswasser resp. die Orange G-Lösung befand. Vor der Aussenwand des ersten Glashafens bis zur Aussenwand des 6. Hafens wurden mehrfach je 2 dicht zusammenliegende Bastfäden so gezogen, dass sie sich nur eben über die Kulturgefäße erhoben. In diese beiden Fäden wurden die Keimlinge so eingeklemmt, dass von jedem 2 Wurzeln in die Orange G-Lösung und zwei weitere in das Leitungswasser ragten (Versuchswurzeln)

oder aber alle 4 zu je zweien im Leitungswasser (Häfen 1 und 2) oder in Orange G (Häfen 5 und 6) wuchsen (Kontrollwurzeln).

In den beiden Versuchsreihen, deren Resultate in den folgenden Tabellen zusammengestellt sind, zeigten die Kontroll- und Versuchswurzeln aus Wasser einen gleichen Zuwachs und die Kontroll- und Versuchswurzeln aus der Orange G-Lösung eine gleich grosse Wachstumsbeschleunigung.

XX. Versuchsreihe vom 18. XI. - 23. XI. 1922.

Die Temperatur war konstant 18°. - Die Samen keimten 3 Tage in feuchten Spänen. - 21 Versuchskeimlinge und 14 (je 7) Kontrollkeimlinge.

Art der Wurzeln	Mittl. Anfangsl.	Mittl. Endlänge	Mittl. Zuwachs
Kontr.-W. a. Wasser	2,7 cm	11,6 cm	8,9 cm
Versuchs- " "	2,8 "	11,5 "	8,7 "
Kontr.w. a. Or.G	2,8 "	14,5 "	11,7 "
Vers.w. " "	3,9 "	13,6 "	10,7 "

Die Grenzen der individuellen Schwankungen sind $\pm 1,3$ cm

XII. Versuchsreihe vom 1. XII. - 6. XII. 1922.

Die Temperatur war konstant 20°. - Die Samen keimten 4 Tage in feuchten Spänen. - 21 Versuchskeimlinge und 14 (je 7) Kontrollkeimlinge

Art der Wurzeln	Mittl. Anfangsl.	Mittl. Endlänge	Mittl. Zuwachs
Kontr.-W. a. Wasser	2,9 cm	8,7 cm	5,8 cm
Versuchs- " "	2,9 "	8,8 "	5,9 "
Kontr.w. a. Or.G	3,1 "	13,2 "	10,1 "
Vers.w. " "	3,0 "	12,6 "	9,6 "

Die Grenzen der individuellen Schwankungen sind $\pm 1,1$ cm.

Sowohl bei den Versuchs- und Kontroll-Wasserwurzeln als auch bei den Versuchs- und Kontroll-Lösungswurzeln überschreitet die Differenz zwischen den beiden jeweiligen Zuwachswerten nicht die Grenzen der individuellen Schwankungen, während sich die Zuwachswerte der Lösungswurzeln in allen Fällen über die entsprechenden Werte der Wasserwurzeln um ein grösseres Stück erheben, als der Bereich der individuellen Schwankungen beträgt.

Aus diesem Versuchsergebnisse ergibt sich also, dass das Wachstum der Wasserwurzel eines Versuchskeimlings keineswegs davon beeinflusst wird, dass eine andere Wurzel desselben Keimlings in einer Orange G-Lösung wächst und im Wachstum stilliert wird; denn die Differenz in dem Zuwachs dieser beiden Wurzeln ist die gleiche, die zwischen den Wurzel-Zuwachswerten der Kontrollkeimlinge aus Wasser einerseits und der Orange G-Lösung andererseits besteht. Auch dieses Ergebnis scheint die Oberflächenwirkung des Orange G zu bestätigen. Wäre der Einfluss des Anilinfarbstoffes eine ausgesprochene Innenwirkung, so stände aller Wahrscheinlichkeit nach zu erwarten, dass auch die Wasserwurzel des Versuchskeimlings durch die in das Innere der Pflanze transportierten Mengen des Stoffes eine Beschleunigung des Wachstums zeigt, wenn auch keine so starke wie die Lösungswurzel. Dann müsste ihr Zuwachs grösser sein als derjenige der Kontrollwurzeln aus dem Leitungswasser. Meine Versuche zeigen jedoch, dass diese Voraussetzung nicht zutrifft und meine Resultate gleichen in gewissem Sinne vollauf HANSTEEENs Ergebnissen.

Das Wesen der Oberflächen-Wirkung und die von HANSTEEEN bei K, Mg und Na und

von mir bei Cu und Rb an Wurzeln beobachteten Schädigungs-Symptome, die sich stets zuerst in der Streckungszone zeigten, legen die Vermutung nahe, dass der Angriff der Stoffe sich in erster Linie gegen die Zellen richtet, die sich in der Periode ihrer grössten Streckung befinden. HANSTEEN, der diese Ansicht vertritt, weist u. a. darauf hin, dass die stark im Aufbau begriffenen Zellwände in der Streckungszone noch wenig gefestigt sind und daher einer chemischen Zerstörung die günstigsten Bedingungen bieten. Daraus würde sich die Folgerung ergeben, dass das Wohl und Wehe der Wurzeln in den verschiedenen Lösungen letzten Endes nur durch das Verhalten der Zellen in der Streckungszone gegenüber den Chemikalien entschieden wird, den ausgewachsenen und Meristem-Zellen dagegen keine entscheidende Rolle für deren Gedeihen zugeschrieben werden kann, weder im Falle einer Stimulation noch einer Hemmung des Wachstums. Jedoch meine Versuche (Versuchsreihen XI, XII, XIII) haben mich gelehrt, dass die Verhältnisse tatsächlich andere sein müssen, zum mindesten dann, wenn der den Wurzeln gebotene Stoff eine Beschleunigung des Wachstums bewirkt. Meine Untersuchungen haben ergeben, dass eine optimale 0,1 o/oo starke Orange G-Lösung erst nach einer Versuchsdauer von 48 Stunden eine Erhöhung des Wurzelwachstums hervorrief, d. h. erst bei der dritten Messung nach 72 Stunden Versuchsdauer trat eine Differenz in den Zuwachswerten der Kontroll- und Versuchskulturen auf. Diese lange Reaktionszeit wäre unerklärlich, wenn die Lösung in erster Linie nur auf diejenigen Zellen einen entscheidenden Einfluss ausüben würde, die sich in der Periode ihrer grössten Streckung befinden. Dann würden die Zellen, die zur Zeit des Einsetzens der Wurzel in die Lösung gerade die Streckungszone bilden, als erste von dem Stoff dahin beeinflusst werden, eine grössere Länge als normal anzunehmen. Es müsste also von vorn herein in den Lösungswurzeln eine Überverlängerung der Zellen stattfinden und somit auch ein stärkeres Wachsen der Wurzeln im Ganzen, das sich bei den Messungen, wie ich sie anstellte (Versuchsreihen VI, XII und XIII) schon nach 24 Stunden, wenigstens aber nach 48 Stunden hätte zeigen müssen. Es scheint mir sehr unwahrscheinlich, dass in diesem Falle erst nach 72 Stunden, also bei der 3. Messung, eine solch' plötzliche und sprunghafte Erhöhung des Zuwachses, wie ich sie fand, eintritt.

Aus den Ergebnissen der Versuchsreihen XI, XII und XIII konnte ich berechnen, dass die Reaktionszeit für die optimale Orange G-Lösung identisch ist mit der Zeit, die die Meristemzellen gebrauchen, um in die Streckungszone zu wandern. - Die Roggenwurzeln werden bis ca. 0,5 mm hinter der Spitze von Urmeristemzellen eingenommen; meine Messungen und mikroskopischen Untersuchungen haben ergeben, dass die Hauptwachstums-, gleich Hauptstreckungszone der Roggenwurzeln stets um den Punkt 1,0 mm hinter der Wurzelspitze liegt (vergl. Tabellen p. 254 - 259). Um die Zeit zu berechnen, welche die Mitte des Meristemkomplexes gebraucht, um aufgrund der Wachstumsvorgänge in die Nähe der Zone 1,0 mm hinter der Spitze zu gelangen, verfuhr ich folgendermassen: Aus meinen Versuchskonzepten der Versuchsreihen XI, XII und XIII suchte ich die Aufzeichnungen über solche Wurzeln heraus, deren Zonen, begrenzt durch die Punkte aus Kakaobutter, während der ganzen Versuchsdauer möglichst klein ausgefallen waren. Ein Beispiel: Die erste Zone der Wurzel betrug beim Einsetzen in die 0,1 o/oo starke Lösung und bei der ersten Messung 0,3 mm. Es soll nun verfolgt werden, wie weit sich dieser Punkt, der doch annähernd die Mitte des Meristemkomplexes darstellt, im Verlaufe des ersten und dann des 2. Tages der Versuchsdauer von der Wurzelspitze entfernt. Der Zuwachs der Zone betrug nach 24 Stunden 0,1 mm, der Punkt 0,3 hatte sich also bis 0,4 mm hinter der Spitze verschoben. Bei der 2. Markierung bekam die Spitzenzone eine Grösse von 0,5 mm; im Verlaufe des 2. Tages erfuhr diese Zone einen Zuwachs von 0,6 mm. Aus diesen Werten kann man annähernd berechnen, wie weit sich innerhalb der zweiten 24 Stunden der angenommene Punkt von 0,4 mm hinter der Spitze nach hinten verschiebt. Wenn eine 0,5 mm lange Spitzenzone einen Zuwachs von 0,6 mm erfährt, dann würden 0,4 mm der Wurzel, von der Spitze aus gerechnet, proportional eine Verlängerung von $(0,6 \cdot 0,4) : 0,5 = 0,49 = 0,5$ mm erfahren haben. Diese Zahl darf nur als ein Annäherungswert aufgefasst werden; denn die 1/10 mm-Zonen des 0,5 mm grossen Wurzelstückes wachsen keineswegs alle gleichmässig, sondern die Region von 0,4 - 0,5 mm hinter der Spitze wächst in 24 Stunden um ein geringes Stück

länger als diejenige von 0,3 - 0,4 mm u.s.w., eine Tatsache, die in dem Wesen des Wachstumsvorganges seinen Grund hat. Somit muss bei dieser Berechnung einem geringen Fehler Rechnung getragen werden. Da jedoch die Wachstumsdifferenzen in den schmalen Zonen der Wurzelspitze noch keine erheblichen sind, so kann der gefundene Wert als zureichend bezeichnet werden. Die Mitte des Komplexes von Urmeristenzellen wurde also nach dem Einsetzen in die Orange G-Lösung in den ersten 24 Stunden bis 0,9 mm hinter die Wurzelspitze verschoben. Auf diesem Wege konnte ich in 13 weiteren Fällen ein gleiches Resultat finden:

In 48 Stunden gelangte der Punkt 0,4 mm bis 1,2 mm hinter die Spitze												
"	48	"	"	"	"	0,3	"	"	0,9	"	"	"
"	48	"	"	"	"	0,3	"	"	1,2	"	"	"
"	48	"	"	"	"	0,4	"	"	1,2	"	"	"
"	48	"	"	"	"	0,5	"	"	1,3	"	"	"
"	48	"	"	"	"	0,2	"	"	1,1	"	"	"
"	48	"	"	"	"	0,3	"	"	0,9	"	"	"
"	48	"	"	"	"	0,4	"	"	1,4	"	"	"
"	48	"	"	"	"	0,2	"	"	1,2	"	"	"
"	48	"	"	"	"	0,4	"	"	1,2	"	"	"
"	48	"	"	"	"	0,3	"	"	1,3	"	"	"
"	48	"	"	"	"	0,3	"	"	0,8	"	"	"
"	48	"	"	"	"	0,3	"	"	0,8	"	"	"

Wie die Resultate zeigen, befinden sich diejenigen Zellen, die zur Zeit des Einsetzens der Wurzeln in die Kulturflüssigkeit den Komplex des Urmeristem in der Wurzelspitze bilden, nach 48 Stunden Versuchsdauer in ihrer Periode grösster Streckung. Wie bereits erwähnt, ist diese Dauer identisch mit der Zeit, nach der eine Beschleunigung des Wachstums durch eine Orange G-Lösung von 0,1 o/oo zum Vorschein tritt. Somit ist es sehr wahrscheinlich, dass, wenigstens im Falle einer chemischen Stimulation des Wachstums, die Meristemzellen eine wichtige Rolle spielen bezüglich der Frage, welche Gewebeart einer Wurzel dem direkten Einflusse am meisten unterliegt und durch ihre Reaktion das Verhalten der Wurzel im ganzen entscheidet.

ZUSAMMENFASSUNG DER WICHTIGSTEN ERGEBNISSE.

1. Verschiedenartige Kulturbedingungen vermögen die Wirkung ein und desselben Stoffes auf das Wurzelwachstum stark zu variieren.
2. Einfache Lösungen von Kupfersulfat in destilliertem Wasser von 0,0005 o/oo stimulieren das Wachstum der Roggenwurzeln, während alle höheren Konzentrationen wachstumshemmend wirken.
3. Alle Konzentrationen Rubidiumnitrat herunter bis zu 0,0005 o/oo hemmen das Wurzelwachstum der Roggenkeimlinge; nur die 0,01 o/oo starke Lösung lässt ein den Kontrollwurzeln gleiches Wachstum zu. Versuche mit Rubidiumsulfat ergaben dasselbe Resultat.
4. Orange G-Lösungen von 0,01, 0,1, 0,3, 0,5 und 1 o/oo stimulieren das Wachstum der Roggenwurzeln; von diesen Konzentrationen ist die 0,1 o/oo starke die optimale. In den 0,005 o/oo, 0,05 o/oo und 2 o/oo starken Konzentrationen wachsen die Wurzeln ebenso schnell wie im Leitungswasser. Alle stärkeren Konzentrationen wirken wachstumshemmend.
5. Auch wenn die Wurzeln nach einiger Zeit aus einer stärkeren Orange G-Lösung in reines Wasser gebracht werden, stellt sich eine Beschleunigung des Wachstums ein.
6. Das Reiz-Mengengesetz gilt auch für die chemische Wachstumsstimulation, d. h. auch bei der Wachstumsbeschleunigung von Wurzeln ist die Reizmenge ausschlaggebend für die ausgelöste Reaktion.
7. Die Reaktionszeit für die Wachstumsbeschleunigung von Roggenwurzeln durch eine 0,1 o/oo starke Orange G-Lösung beträgt 2 Tage = ca. 48 Stunden.
8. Die Erhöhung des Wurzelwachstums durch chemische Agentien zieht weder eine Änderung in der Länge der Gesamt-Wachstumszone noch eine Verlagerung der

Haupt-Wachstumszone nach sich.

9. Die durch chemische Agentien bewirkte Beschleunigung des Wurzelwachstums beruht lediglich auf einer stärkeren Streckung der Zellen und nicht auf einer Erhöhung der Zellteilungsfrequenz.

10. Der Einfluss des Orange G auf die Wurzelgewebe scheint eine ausgesprochene Oberflächenwirkung im Sinne HANSTEENS zu sein.

11. Im Falle einer Stimulation des Wurzelwachstums scheinen die Urmeristemzellen der Wurzelspitze eine entscheidende Rolle zu spielen in der Frage, welche Gewebeart dem direkten Einfluss des Stoffes am stärksten unterliegt und durch ihre Reaktion das Verhalten der Wurzel im ganzen entscheidet.

LITERATURVERZEICHNIS.

- (1) BENECKE, Über die Keimung von Brutknospen von *Lunularia cruciata*, in Bot. Ztg. LXI, Abt. I, (1903) p. 19. - (2) BOKORNY, 1912, in Biochem. Zeitschr. XXXIII, p. 453 ff. - (3) BOKORNY (1913) Über den Einfluss verschiedener Substanzen auf die Keimung der Pflanzensamen; Wachstumsförderung durch einige, in Biochem. Ztschr., I, p. 1 - 118. - (4) BRENCHLEY, 1910, The Influence of Copper Sulfate and Manganese Sulfate upon the Growth of Barley, in Ann. of Bot. XXIV, p. 571 ff. - (5) BRENCHLEY, 1914, On the Action of Certain Compounds of Zinc, Arsenic, Boron on the Growth of plants, in Ann. of Bot. XXVIII, p. 283 ff. - (6) CZAPEK, 1920, Biochemie der Pflanzen I, p. 147 ff, 163 ff. - (7) FRIESNER, 1920, Daily Rhythms of Elongation and Cell-Division in Certain Roots, in Am. Journ. Bot. Nov. 1920. - (8) HASELHOFF, 1892, Über die schädigende Wirkung von kupfersulfat- und nitrathaltigem Wasser auf Boden und Pflanze, in Landw. Jahrb. XXI, p. 263 ff. - (9) HASELHOFF, 1913, Über die Einwirkung von Borverbindungen auf das Pflanzenwachstum, in Landw. Versuchsstat. LXXIX, p. 399. - (10) HANSTEEN-CRANNER, 1910, Über das Verhalten der Kulturpflanzen zu den Bodensalzen I u. II, in Pringsh. Jahrb. XXXVII, p. 289 ff. - (11) HANSTEEN-CRANNER, 1914, Über das Verhalten der Kulturpflanzen zu den Bodensalzen, in Pringsh. Jahrb. LIII, p. 563 ff. - (12) HANSTEEN-CRANNER, 1922, Zur Biochemie u. Physiologie der Grenzschichten lebender Pflanzenzellen, in Medd. Fra Norges Landbrukskole 1822. - (13) KARSTEN, 1915, Über embryonales Wachstum und seine Tagesperiode, in Zeitschr. f. Bot. VII, p. 1. - (14) KARSTEN, 1918, Über die Tagesperiode der Kern- und Zellteilungen, in Ztschr. f. Bot. X, p. 1. - (15) KOOPER und OTTO, 1910, Untersuchungen über den Einfluss giftiger alkaloidführender Lösungen auf Boden und Pflanzen, in Landw. Jahrb. XXXIX, p. 297. - (16) LIPMAN and WILSON, 1913, Toxic Inorganic Salts and Acids as Affecting Plant Growth, in Bot. Gaz. LV, p. 409. - (17) LOEW, 1891, Bemerkung über die Giftwirkung des destillierten Wassers, in Land. Jahrb. XX, p. 235. - (18) LOEW, 1903, Über Reizmittel des Pflanzenwachstums und deren praktische Anwendung, in Landw. Jahrb. XXXII, p. 437. - (19) LUNDEGARDH, 1914, Das Wachstum des Vegetationspunktes, in Ber. D. bot. Ges. XXXII, p. 77. - (20) MAQUENNE et DECOUSSY, 1920, Un cas d'action favorable du cuivre sur la végétation, in Comptes rend. Ac. Paris CLXX, p. 1542 - 1545. - (21) NAEGLI, 1893, Über oligodynamische Erscheinungen in lebenden Zellen, in Bot. Ztbl. LV, p. 31. - (22) OSTERHOUT, 1907, On the Importance of Physiologically balanced Solutions for Plants II, Fresh Water and Terrestrial Plants, in Bot. Gaz. XXXIV, p. 259 ff. - (23) OSTERHOUT, 1909, Die Schutzwirkung des Natriums für Pflanzen, in Pringsh. Jahrb. XXXVI, p. 121 ff. - (24) PFEFFER, 1895, Über Elekation organischer Nährstoffe, in Pringsh. Jahrb. XXVIII, p. 238. - (25) PFEFFER, 1897, Pflanzenphysiologie, 2. ed. I, p. 407. - (26) PFEIFFER und BLANCK, 1912, Beitrag zur Frage über die Wirkung des Mangans auf das Pflanzenwachstum, in Land. Versuchsstat. LXXVII, p. 33. - (27) PFEIFFER und BLANCK, 1913, Beitrag zur Frage über die Wirkung des Mangans bzw. Aluminiums auf d. Pflanzenwachstum, in Landw. Versuchsstat. LXXXIII, p. 257. - (28) PROBST, 1901, Einfluss des Stickstoffs auf die Pflanzenentwicklung, mit besonderer Berücksichtigung d. Wurzelsystems, Diss. Bonn. - (29) STALFELT, 1919, Über Schwankungen i. d. Zellteilungsfrequenz etc. in Svensk. bot. Tidskr. XIII. - (30) STILES and JÖRGENSEN, The Antagonism betw. Ions, in New Phytolog. XIII, p. 253. - (31) STOCKBERGER, 1910, The Effekt of some Toxic Solutions on Mitosis, in Bot. Gaz. XXXIX p. 401

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Botanisches Archiv. Zeitschrift für die gesamte Botanik](#)

Jahr/Year: 1924

Band/Volume: [6](#)

Autor(en)/Author(s): Wolkenhauer Wilhelm

Artikel/Article: [Ueber den Einfluss von Reizstoffen auf das Längenwachstum der Wurzeln 233-274](#)