

X
A-654

Go. H. H. H.
Hugo H. H.

**UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE WIRKUNG DER
NEUTRALSALZE AUF DAS KEIMLINGSWACHS-
TUM BEZÜGLICH DER ABHÄNGIGKEIT VON
IHRER KONZENTRATION**

VON

JAAN PORT

TARTU 1932

X
A-654

V. a.
hra prof. Dr. H. Kahola
sevrma lugupefamuse
autorit

**UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE WIRKUNG DER
NEUTRALSALZE AUF DAS KEIMLINGSWACHS-
TUM BEZÜGLICH DER ABHÄNGIGKEIT VON
IHRER KONZENTRATION**

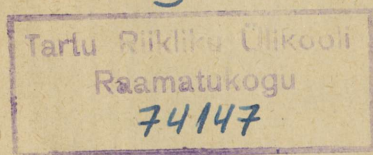
VON

JAAN PORT

TARTU 1932

Acta et Commentationes Universitatis Tartuensis (Dorpatensis) A XXIII.

3



Einführung.

Wenn wir die Geschichte der speziellen Physiologie des Keimens verfolgen, so sehen wir, dass schon die ältesten Naturforscher, Botaniker und Pflanzenphysiologen sich mit dem Problem der Wirkung der Salze auf das Keimen und Pflanzenwachstum befasst haben, so z. B. A. v. Humboldt (1794), Saussure (1804), Remond (1828), Otto (1849), Fleischer (1851), Vonhausen (1858), Sachs (1860), Nobbe und seine Mitarbeiter (1862—1876), Knop (1864), Kerner (1873), C. Haberlandt (1874) u. a.

Seit 1886—1895, wo W. Pfeffer seine wichtigsten Schriften veröffentlicht hatte, nahmen auch die Arbeiten auf dem Gebiete der Keimungsphysiologie grösseren Umfang an: Dixon (1901), O. Loew (1903—1911), Bokorny (1897—1913), Kahenberg und True (1896), Micheels (1907—1909).

Die moderne Plasmaforschung, die das Plasma als ein System der kolloidalen Komponenten betrachtet, fand schon zu jener Zeit allgemeine Anerkennung. Es wurde nun die Wirkung der Salze auf das Plasma vom kolloidchemischen und physikalischen Standpunkte aus betrachtet (Puriewitsch 1898, Harvey 1901—1914, Pauli 1902—1910, Nabokich 1908, Lillie 1907—1913, Loeb 1910—1911, Osterhout 1911—1919, Lepeschkin 1910—1913, Czapek 1910—1914, Borowikow 1915 u. a.).¹

Besonders wichtig in dieser Beziehung sind die modernen Plasmaforschungen von Ruhland (1909), Brenner (1918), Tröndle (1918), Hansteen-Cranner (1919), Fitting (1915—1919), Kaho (1920—1923) und Ruhland-Hoffmann (1925), die die Wirkung der Salze auf das lebende Plasma viel tiefer und gründlicher als vorher untersuchen. Von den Gesichtspunkten der letztgenannten Forscher aus zeigen sich die Wirkung der Salze auf das Plasma, die Enzymfrage und die Frage der H-Ionenkonzentration von ganz neuen Seiten.

In den zwanziger Jahren dieses Jahrhunderts hat Popoff die keimphysiologische Forschung durch seine „Theorie der Stimulation“ in andere Bahnen gelenkt. Nachdem Popoff behauptet hatte, dass man durch Behandlung des Saatgutes mit „Reizchemikalien“ die Ernteerträge stark vergrössern könne, haben sich viele Forscher mit der Lösung dieser Frage befasst. Es hat sich aber bald herausgestellt, dass die Stimulation im Popoff'schen Sinne sich weder bestätigt noch verwerten lässt (Gassner 1926, Bredemann 1926).

In letzter Zeit werden die keimphysiologischen Probleme wieder von rein physiologischem Standpunkt betrachtet von Boas-Merkenschlager (1922), Olsen (1923), Merckenschlager (1924), Lundegårdh (1924), Lundegårdh-Morávek (1924), Schaffnit (1925), Becker (1926), Arrhenius (1922/24), Rudolfs (1925), Porodko (1927), Gurewitsch (1929), Brauner (1930).

Beschäftigt man sich mit der Literatur der Plasmaforschung oder Keimungsphysiologie, so sieht man bald, dass bei den verschiedenen Autoren die Versuchsergebnisse in betreff der Wirkung der Salze auf das Plasma, auf das Keimen und Keimlingswachstum selten übereinstimmen.

Die Ursachen dieses Auseinandergehens liegen in einzelnen Fällen in der Ungleichheit der Untersuchungsobjekte, in anderen in der Verschiedenheit der Versuchsbedingungen.

Unter anderen Versuchsbedingungen spielen die Salzkonzentrationen eine sehr wichtige Rolle. Sie werden selten in erforderlicher Masse berücksichtigt. Es ist aber selbstverständlich, dass man mit variierenden Salzkonzentrationen auch bei ein und demselben Objekt verschiedene Resultate erzielen kann. Meistens werden die Zellen, das Saatgut und die Keimlinge mit zu hohen Salzkonzentrationen behandelt, worauf schon Czapek (1913) die Aufmerksamkeit gelenkt hat. Man kann ja rein theoretisch voraussagen, dass jedes Salz, jede Säure und Lauge in höheren Konzentrationen das lebende Plasma tötet und dass die Plasmafunktionen nur von bestimmten optimalen Konzentrationen gefördert werden. Es ist nicht nur vom praktischen, sondern auch vom rein wissenschaftlichen Standpunkte aus wichtig zu wissen, welches diese optimalen Konzentrationen der einzelnen Salze oder anderen Chemikalien für die verschiedenen Pflanzenobjekte sind.

In der landwirtschaftlichen Literatur hat man die Wirkung der Salze auf das Pflanzenleben meist nur vom praktischen Standpunkte aus betrachtet. Man hat z. B. bei der Sterilisation des Saatguts mit verschiedenen Chemikalien festgestellt, wie die betreffenden Sterilisationsmittel das Keimen der Samen beeinflussen, d. h. ob sie schädlich sind oder nicht. Andererseits war man bestrebt, die Wirkung der Kunstdüngungsmittel auf das Keimen und die Ernteerträge festzustellen. Im letzteren Falle ist die Wirkung der Salze hauptsächlich nur hinsichtlich zweier Momente des Pflanzenlebens — des Keimens und des Fruchtertrages — untersucht worden; die anderen Momente hat man nur beiläufig berücksichtigt. Es ist aber ohne weiteres klar, dass das Pflanzenwachstum und der Ernteertrag nicht nur von der Keimung und deren Geschwindigkeit bestimmt werden, und dass alle Stufen des Pflanzenwachstums eine eingehende Durchforschung erfordern.

Deshalb habe ich in meinen Versuchen die Wirkung der Neutralsalze auf das Keimlingswachstum, also auf diejenige Wachstumsperiode, wo die Keimlinge sich auf Kosten der Reservestoffe nähren, einer Betrachtung unterzogen.

Die Versuche wurden grösstenteils im Laboratorium der pflanzenphysiologischen Versuchsstation der Lehr- und Forschungsanstalt für Gartenbau in Berlin-Dahlem in den Jahren 1927—1929 ausgeführt und im pflanzenphysiologischen Laboratorium des Botanischen Instituts der Universität Tartu in den J. 1929—1931 ergänzt und nachgeprüft. Ich fühle mich verpflichtet, den Leitern dieser Institute — Herrn Prof. Dr. G. Höstermann - Berlin-Dahlem und Herrn Prof. Dr. H. Kaho - Tartu — für ihr stetiges freundliches Entgegenkommen und für die materielle Unterstützung meiner Arbeiten meinen herzlichen Dank auszusprechen.

Methodisches.

Dauer der Versuche.

Ich habe mir die Aufgabe gestellt, die Wirkung der Salze nur auf das Keimlingswachstum zu untersuchen, also in der Wachstumsperiode, in der die Keimlinge sich auf Kosten der in den Samen aufgespeicherten Reservestoffe nähren. Diese Periode dauert je nach den Versuchsbedingungen und den Reservestoffmengen der Samen verschieden lange: so z. B. bei Getreidesamen bei t^0 15—18° C bis 10 Tage, bei Leguminosensamen aber viel länger.

Da meine Versuche im Dunkeln (in Thermostaten) ausgeführt wurden, konnte ich nur das Wachstum derjenigen Keimlingselemente berücksichtigen, welche sich im Dunkeln mehr oder weniger normal entwickeln, also der Koleoptile, Hypokotyle und Wurzeln. Unter diesen Versuchsbedingungen sind die Koleoptile der Getreidekeimlinge stets schon in 7 Tagen so weit entwickelt, dass sie in vielen Fällen von den ersten Blättern durchbrochen werden. Die Entwicklung der freien Blätter im Dunkeln ist aber keine normale Wachstumserscheinung: sie geht viel rascher vor sich als das Koleoptilwachstum, und man kann den Zuwachs an Blättern nicht ohne weiteres zur Koleoptillänge hinzuaddieren.

Die Linsenkeimlinge aber, mit denen ich ebenfalls gearbeitet habe, besitzen unverzweigte Hauptwurzeln nur bis zum achten Keimungstage; dann bekommen sie in ungleicher Zahl die Nebenwurzeln, welche genau zu messen und zu schätzen schwierig ist.

Aus den erwähnten Gründen konnte ich meine Versuche nur je 7 Tage lang (in einigen Fällen, z. B. bei höheren Temperaturen, sogar nur 6 Tage lang) fortsetzen.

Saatgut.

Bei den keimungsphysiologischen Versuchen hat die Gleichheit des Saatgutes die grösste Bedeutung. Es kommen darum für diese Zwecke hauptsächlich nur Samen von reinen Linien in Betracht. Die Samenzuchtstation Jõgeva-Estland hat mich liebenswürdigerweise mit solchem Saatgut von *Avena*, *Secale* und *Triticum* versorgt, wofür ich Herrn M. Pill, Direktor der Station, meinen aufrichtigen Dank ausspreche. Das Saatgut von *Avena* und *Secale* stammte aus der Ernte des Jahres 1927, dasjenige von *Triticum* aus den Jahren 1927 und 1929.

Von anderen Pflanzensamen (z. B. *Lens esculenta*), mit welchen ich einen Teil meiner Versuche ausgeführt habe, konnte ich Samen von reinen Linien leider nicht beschaffen.

Ich habe für meine Versuche in erster Linie die Getreidesamen gewählt:

1) Weil ich von diesen ein wirklich gutes, einheitliches, frisches und schnellkeimendes Samenmaterial (von reinen Linien!) bekommen konnte.

2) Weil die Koleoptile der Getreidekeimlinge von sehr einfachem Habitus und leicht messbar sind.

3) Weil bei Hafer- und Weizenkeimlingen die Zahl der ersten Wurzeln eine konstante ist: bei Weizen 6 (resp. 5 — je nach den Sorten), bei Hafer 4. (Bei Roggen dagegen schwankt die Wurzelzahl zwischen 4 und 7; deshalb habe ich hier die Wurzelmessungen unterlassen.)

4) Weil die Anatomie der Getreidekörner eingehend durchforscht ist (Nobbe, Brown, Schroeder, Rippel, Wittmack, Haberlandt, Hartig, Günther, Körnicke), so dass wir das Samenmaterial kennen.

5) Weil die Integumente der Samenkörner von *Secale* und *Triticum* dünn und für Wasser leicht durchdringbar sind. Aber auch die dicken Spelzen von *Avena* bilden in dieser Hinsicht keine grossen Hindernisse, so dass alle Getreidesamen leicht quellen.

6) Alle erwähnten Getreidesamen keimen sehr schnell (binnen 36—48 Stunden) und ausserdem das ganze Jahr hindurch gleich gut, so dass man mit ihnen ununterbrochen arbeiten kann. Sie behalten ihre Keimkraft viele Jahre hindurch, was bei langdauernden Versuchen von grosser Bedeutung ist.

Es sei hier noch darauf hingewiesen, dass von Haferkörnern für die Versuche nur ausgewählte Aussenkörner verwendet wurden.

Von den eiweisshaltigen Leguminosesamen habe ich die Linsensamen gewählt, weil sie ebenfalls schnell und gleichmässig quellen und binnen 36—48 Stunden bei 18° C aufkeimen. Die Samen der anderen Leguminosen (*Phaseolus*, *Pisum*, *Lupinus*, *Vicia*) sind zu gross oder zu dick und brauchen zum Quellen und Keimen viel mehr Zeit.

Ich habe ferner die Absicht gehabt, meine Versuche auch mit einigen Ölsamen auszuführen, um einen gesamten Überblick über die Wirkung der Neutralsalze auf die 3 Hauptreservestoffgruppen in den Samen bei dem Keimlingswachstum zu gewinnen, musste aber aus verschiedenen Gründen die letztgenannte Samengruppe vorläufig weglassen.

Keimbett.

Auch das Keimbett spielt bei den keimungsphysiologischen Versuchen eine wichtige Rolle.

Will man die Wirkung der Salze auf das Keimlingswachstum feststellen, dann muss das Keimbett sauber, sterilisierbar und neutral sein, auch darf es keine löslichen Stoffe enthalten. Keimbetten aus Sand, Erde, Torfmull, Sägemehl oder dergleichen Material kann man aus den soeben erwähnten Gründen hier nicht verwenden, sondern nur reines Filtrierpapier und durchlöcherter Paraffinplatten. Die Versuchslösungen verwahrt man in Flaschen und Schalen aus Jenaglas.

Da ich bei meinen Massenversuchen meistens mehr als 100 Flaschen und Doppelschalen täglich gebraucht habe, konnte ich aus materiellen Gründen mir

leider keine Gefässe aus Jenaglas beschaffen und habe meine Versuche in Doppelschalen aus hitzefestem gewöhnlichem Glas ausgeführt.

Diese Doppelschalen, oder bei den mikroskopischen Untersuchungen auch die Petrischalen, hatten geschliffene Ränder und ihre Grösse betrug: 6,5 cm Höhe und 12 cm Durchschnitt. Die Schalen wurden jedesmal nach dem Gebrauch mit einer Lösung von konz. $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{K}_4\text{Cr}_2\text{O}_7$ gespült, dann gründlich mit Leitungswasser gewaschen und mit destilliertem Wasser gespült; darauf liess ich sie ablaufen und sterilisierte sie im Trockenschrank 2 Stunden lang bei einer Temperatur von ca 110°C . Die Sterilisation wurde meistens 2 mal wiederholt.

Die bei den Versuchen verwendeten Salze stammten von der Firma Kahlbaum-Berlin und waren mit der Marke: „zur Analyse“ versehen; die aus reinster Zellulose fertiggeschnittenen Filtrierpapierscheiben kamen von der Firma Schleicher und Schüll in Düren.

Da die Ausführung der Versuche sehr viel Wasser verlangte, musste vom Gebrauch des doppelt destillierten Wassers abgesehen und nur gewöhnliche Aqua destillata, deren pH 5,8—5,9 betrug, verwendet werden.

Messungen.

Die Unterschiede der Wirkung der Salze auf das Keimlingswachstum lassen sich schwer genau feststellen.

Durch die Längemessungen der Koleoptile (Stengel) und Wurzeln der Keimlinge können wir nur die Unterschiede des Wachstums der betreffenden Keimlingselemente in die Länge in verschiedenen Lösungen gut und genau bestimmen. Die Abweichungen des Wachstums in die Dicke müssen aber dabei

Tabelle 1.

Wirkung der Salze auf das Keimlingswachstum von *Triticum vulgare*.
Dauer der Versuche 144 St. Temp. 19.5°C .

Salze	Konz. norm.	Koleoptil			Wurzel		
		Länge %	Rohge- wicht %	Trocken- gew. %	Länge %	Rohge- wicht %	Trocken- gew. %
KCl	0.1	76.9	73.1	87.7	62.7	76.8	80.0
	0.01	103.9	111.6	101.7	94.9	114.8	107.5
	0.001	117.8	125.5	113.5	118.9	123.2	117.5
	0.0001	98.2	98.3	96.5	106.9	114.3	105.0
KNO₃	0.1	89.4	94.6	105.7	57.1	77.6	72.0
	0.01	125.7	128.9	123.4	96.5	111.7	97.2
	0.001	112.3	121.2	116.2	103.3	110.5	97.7
	0.0001	102.5	112.3	112.2	104.9	104.7	98.1
K₂SO₄	0.1	84.0	77.2	79.8	51.9	51.5	61.5
	0.01	101.8	100.7	109.3	90.5	77.7	88.5
	0.001	112.3	103.5	100.6	117.7	105.3	110.0
	0.0001	104.9	97.6	97.9	101.4	100.7	103.8
Destill. { Wasser {		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
		7.7 cm	903 mg	88 mg	39.0 cm	675 mg	58.7 mg

unbeachtet bleiben. Es ist überhaupt sehr schwer, Verschiedenheiten des Wachstums in die Dicke zu ermitteln und dazu eine brauchbare Methode zu finden.

Durch das Rohgewicht kann man die Unterschiede des Längen- und Dickenwachstums der Koleoptile und Stengel und ebenfalls den Wassergehalt bestimmen. Bei den dünnen Wurzeln der Getreidekeimlinge können dabei aber grosse Fehler entstehen, weil es bei den Versuchen auf Filtrierpapier praktisch unmöglich ist, alle Wurzeln gleich schnell — ohne dass sie vertrocknen — und mit allen Wurzelhaaren vom Keimbett loszulösen.

Das Trockengewicht kann uns wiederum nur über die Trockensubstanzmengen genaue Resultate geben, es sagt uns aber nichts über den Wassergehalt der betreffenden Organe und über ihr normales Aussehen, auf das es bei den lebenden Pflanzenzellen und Organen hauptsächlich ankommt. Durch das Wegbleiben der Wurzelhaare können aber auch hier Ungenauigkeiten entstehen.

Daraus sehen wir, dass jede Messmethode uns nur einseitige und nicht ganz genaue Resultate über die Wirkung der Salze auf das Keimlingswachstum geben kann.

Wie die Resultate der Wachstumsbestimmungen nach verschiedenen Messmethoden sich zueinander verhalten, kann man aus der Tabelle 1 ersehen.

Bei der Betrachtung der Angaben dieser Tabelle fällt zuerst ins Auge, dass die Zahlen der Länge, des Roh- und des Trockengewichtes einigermassen einander parallel gehen: von den stärksten bis zu den optimalen Salzkonzentrationen steigen und dann wieder fallen. Sonst sind aber die Werte der betreffenden Grössen sehr verschieden, was darauf hindeutet, dass die Salze und Salzkonzentrationen das Längenwachstum, den Wassergehalt und die organische Stoffbildung verschieden beeinflussen: dies kommt bei der graphischen Darstellung (Fig. 1) sehr gut zum Ausdruck. Worauf diese Unterschiede zurückzuführen sind, davon wird später (siehe S. 122) die Rede sein. Jedenfalls geht aus dem Obigen hervor, dass es sehr wichtig ist, die Wirkung der Salze nicht nur nach einer, sondern nach verschiedenen Messmethoden zu bestimmen.

Da die Messungen der Länge leichter als die Gewichtsbestimmungen auszuführen sind und die Längenwachstumskurven sich im ganzen zwischen den Roh- und Trockengewichtskurven halten (siehe Fig. 1), bin ich bei dieser Messmethode geblieben und habe die anderen nur als Hilfsmethoden benutzt (Siehe Tab. 34 u. 35).

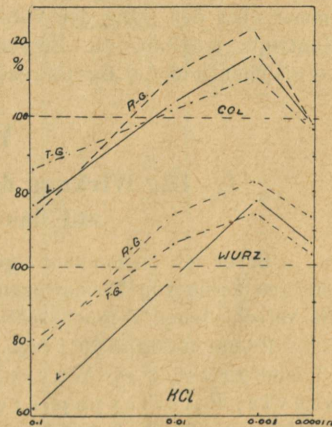


Fig. 1.

Gang der Versuche.

Für die Versuche wurden $\pm$ gleich grosse Samen, deren Grösse die durchschnittliche mittlere Grösse des Saatgutes etwas überstieg, ausgewählt. Von diesen Samen wurden je 15 oder 20 St. in die Doppelschalen auf 5 Filtrier-

papierscheiben gelegt, die mit 10 oder 15 ccm von Salzlösungen getränkt wurden. Die Roggen- und Weizenkörner wurden mit der Rillenseite, die Haferkörner mit der Innenseite nach unten gelegt. Nach 48 oder 72 Stunden wurden aus jeder Schale von den keimenden Samen je 5 Stück, bei denen sich zu dieser Zeit ein ungleiches (zu starkes oder zu schwaches) oder mangelhaftes Keimlingswachstum geäußert hatte, beseitigt, so dass in jeder Versuchsserie stets nur die gleiche Zahl von Keimlingen (10 oder 15) zurückblieb. Die Zahl der Keimlinge in jeder Schale wurde nicht zu gross genommen, um den Keimlingen genügend Platz für die Wurzelentwicklung zu lassen und dadurch das Auspräparieren der Wurzeln aus dem Keimbett zu erleichtern.

Alle Versuche wurden in Thermostaten bei konstanter Temperatur ausgeführt. Nach 12 oder 24 Stunden wurden die Versuchsschalen jedesmal durchgesehen und gelüftet. Um das Verdunsten des Wassers aus den Versuchslösungen und dadurch die Veränderung der Salzkonzentrationen der Lösungen zu verhindern, wurden einige offene Schalen mit Wasser in die Thermostaten gestellt, so dass die Luft dort immer mit Wasserdampf $\pm$ gesättigt war.

Bei langdauernden Versuchen können zuweilen Schwankungen im Keimlingswachstum vorkommen. Um diese ausschalten zu können, habe ich bei jeder Versuchsserie Kontrollversuche mit Aq. destill., Leitungswasser und Knopscher Nährlösung (ohne Fe) angestellt. Durch diese Kontrolle war ich immer über den Gang der Versuche orientiert. Auch war es mir durch diese Kontrolle möglich, die Ergebnisse der verschiedenen Serien miteinander zu vergleichen und die Gesamtergebnisse tabellarisch zusammenzustellen.

Vorversuche.

1. Die Wirkung der Wassermenge des Keimbettes auf das Keimlingswachstum.

Bevor ich zu meinen eigentlichen Versuchen übergehen konnte, musste ich eine Reihe von Nebenfragen experimentell zu beantworten suchen, um über die verschiedenen Versuchsbedingungen einen richtigen Überblick zu bekommen.

Zuerst entstand die Frage, wieviel man für die betreffende Samenzahl — 10 oder 15 Stück — Wasser resp. Lösungen nehmen muss und wieviel Filtrierpapierscheiben anzufeuchten sind, damit die Samen gut keimen und die Keimlinge 7 Tage lang unbehindert weiterwachsen können.

Um die optimalen Wassermengen im Keimbett mit 5 Filtrierpapierscheiben festzustellen, wurden folgende Versuche ausgeführt.

Die 5 Filterscheiben wurden in Doppelschalen mit verschiedenen Mengen von destilliertem Wasser (5, 7.5, 10 und 15 ccm) angefeuchtet und in jede Schale 20 Samenkörner von *Avena sativa* zum Keimen hineingebracht. Nach 48 Stunden wurde die Zahl der gekeimten Samen auf 15 reduziert. Dauer der Versuche 7×24 Stunden. Temp. 18.2° C. Die Ergebnisse der Versuche sind in der Tabelle 2 zusammengefasst.

Aus den Angaben dieser Tabelle erschen wir, dass das Koleoptilwachstum mit dem Steigen der Wassermenge erst mehr, dann weniger zunimmt. Das Wurzelwachstum steigt aber auf 5 Filterscheiben nur bis 10 ccm Wasser, bei

Tabelle 2.

Die Wirkung der abs. Wassermenge auf das Keimlingswachstum von *Avena sativa*.

Temp. 18.2° C.

Zahl der Filterscheiben	Wassermenge in ccm	a		b		c	a + c	V b : a
		Koleoptillänge in cm	$\delta \pm$ cm	Gesamtlänge der Wurzel in cm	$\delta \pm$ cm	Mittlere Wurzellänge in cm	Mittl. Wl. + Koleoptillänge in cm	
5	5	7.0	0.46	20.5	1.19	5.1	12.1	2.92
5	7.5	8.2	0.31	26.0	1.43	6.5	14.7	3.17
5	10	8.5	0.37	28.9	1.49	7.2	15.7	3.40
5	15	9.0	0.30	23.9	1.12	5.9	14.9	2.65

Tabelle 3.

Die Wirkung der Filterscheibenzahl und der abs. Wassermenge auf das Keimlingswachstum von *Lens esculenta*.

Temp. 19.6° C.

Wassermenge →	Auf jede Filterscheibe 1 ccm Aq. dest.			Auf jede Filterscheibe 1.5 ccm Aq. dest.			Auf jede Filterscheibe 2 ccm Aq. dest.			Auf jede Filterscheibe 3 ccm Aq. dest.		
	a	b	a + b	a	b	a + b	a	b	a + b	a	b	a + b
	Steng. cm	Wurz. cm	S. + W. cm	Steng. cm	Wurz. cm	S. + W. cm	Steng. cm	Wurz. cm	S. + W. cm	Steng. cm	Wurz. cm	S. + W. cm
5	1.30	6.45	7.73	4.01	8.26	12.27	7.33	8.40	15.73	7.25	7.88	15.13
7	1.55	6.40	7.95	5.33	8.30	13.63	7.21	8.54	15.75	7.10	7.52	14.62
10	1.75	6.44	8.19	6.07	8.47	14.54	7.10	7.60	15.70	6.78	7.42	14.20

noch höheren Wassermengen nimmt das Wurzelwachstum bedeutend ab. Auch das Gesamtwachstum der Keimlinge (= mittleres Koleoptilwachstum + mittleres Wurzelwachstum) hat sein Maximum bei 10 ccm Wasser erreicht.

Wenn wir die gesamte Wurzellänge (b) durch die Koleoptillänge (a) dividieren, dann zeigen uns die Quotienten (die Zahlen der letzten Spalte der Tabelle), wo das Wurzelwachstum am günstigsten vor sich geht. Aus den Zahlen der letzten Spalte können wir ersehen, dass dieses Verhältnis bei 10 ccm Wasser am günstigsten ist.

Wir sehen also, dass auf 5 Filtrierpapierscheiben das optimale Wachstum der Haferkeimlinge bei ca. 10 ccm Wasser erzielt wird, was der Wasserkapazität 2 ccm auf 1 Filtrierpapierscheibe entspricht.

Weiter entstand die Frage, ob für Keimungsversuche 5 Filtrierpapierscheiben genügen oder ob man diese Zahl, besonders bei Versuchen mit grösseren Samen, vergrössern müsse.

Zur Beantwortung dieser Frage habe ich einige Serien von Versuchen mit *Lens esculenta* ausgeführt. In jede Doppelschale wurden je 5, 7 und 10 Filtrierpapierscheiben gelegt und diese mit verschiedenen Mengen Wasser angefeuchtet. Die Zahl der Samen war 15, die nach 48 Stunden auf 10 reduziert wurden. Temperatur 19.6° C, Versuchsdauer 8×24 Stunden. Die Resultate dieser Versuche sind in der Tabelle 3 wiedergegeben.

Aus dieser Tabelle ersehen wir, dass bei der Wasserkapazität 1 ccm auf jede Filterscheibe das Stengelwachstum mit der Vergrösserung der Filterzahl etwas steigt, das Wurzelwachstum aber $\pm$ unverändert bleibt. Am Gesamtwachstum bemerken wir mit der Vergrösserung der Filterzahl eine kleine Zunahme.

Bei 1.5 ccm Wasser auf jede Filtrierpapierscheibe sind die Verhältnisse etwas verschieden: mit der Vergrösserung der Filterzahl steigt das Wurzelwachstum schwach, das Stengelwachstum aber bedeutend mehr.

Bei 2 ccm Wasser auf jede Filterscheibe zeigen die Wurzeln noch einen sehr kleinen Zuwachs mit dem Steigen der Filterzahl, das Stengelwachstum dagegen einen Rückgang.

In dem letzten Falle — 3 ccm Wasser auf jede Filterscheibe — wird das Wurzel- wie das Stengelwachstum mit dem Steigen der Filterzahl herabgesetzt.

Wir haben also gesehen, dass das maximale Gesamtwachstum der Keimlingselemente von *Lens* bei 2 ccm Wasser auf jede Filterscheibe erreicht wird, und bei dieser Wassermenge können die Keimlinge auf 5 Filterscheiben noch ebenso gut wachsen wie auf mehr Filterscheiben.

Auf Grund der obigen Versuche habe ich bei meinen speziellen Versuchen stets 5 Filtrierpapierscheiben auf jede Versuchsschale verwendet und diese mit 10 oder 15 ccm von den betreffenden Lösungen angefeuchtet. Je mehr von den Lösungen verwendet wurde, desto leichter liessen sich die Wurzeln vom Keimbette loslösen. Im Hinblick darauf habe ich bei den gewichtsanalytischen Bestimmungen je 15 ccm Lösungen auf jede 5 Filterscheiben verwendet, um die Wurzeln leichter und unverletzt vom Keimbette lösen zu können.

2. Über die Wirkung der Salze in verschiedenen Konzentrationen auf die Quellung der Samen.

Aus den Untersuchungen von Hoffmann (zitiert nach Nobbe's Samenkunde) ist bekannt, dass die Menge des Quellungswassers von der Natur der Reservestoffe in den Samen abhängt und dass die proteinhaltigen Samen bei der Quellung viel mehr Wasser aufnehmen können als die stärke- oder ölhaltigen Samen. So z. B. ist die Menge des Quellungswassers nach R. Hoffmann im Verhältnis zum Trockengewicht: bei Erbsen 106.8%, bei Saubohnen 104.0%, bei weissen Bohnen 92.1%, bei Linsen 93.4%, bei Weizen 45.5%, bei Gerste 48.2%, bei Roggen 57.7%, bei Hafer 59.8%, bei Raps 51.0%, bei Ölrettich 8.0%, bei Hanf 43.0%, bei Sonnenblumen 56.5%.

Wie die Salze die Quellung der Samen im Verhältniss zur Konzentration beeinflussen, darüber finden wir in der Literatur nur mangelhafte Angaben. So hat Schroeder (1911) gefunden, dass die $\frac{1}{1}$ n. u. $\frac{1}{5}$ n. Konzentrationen von KCl, KNO₃, K₂CO₃, NaCl, Na₂CO₃, Na₂SO₄, NaF, BaCl₂ und MgSO₄ die Quellungswassermenge bei Weizenkörnern herabsetzen. In verschiedenen Konzentrationen von NaCl wurde die Quellungswassermenge bei Weizenkörnern mit dem Steigen der Salzkonzentrationen herabgesetzt, bei Erbsensamen aber nicht: hier wurde die Quellungswassermenge in 20% Salzlösung sogar grösser gefunden als in 10% Lösung. Da Schroeder mit ziemlich hohen Salzkonzentrationen ($\frac{1}{1}$ n. u. $\frac{1}{5}$ n.) gearbeitet hat, so kann man aus seiner Arbeit nicht ersehen, wie schwächere Salzkonzentrationen auf das Quellen der Samen wirken.

Nun ist aber von verschiedenen Forschern festgestellt worden, dass die Samenschale das Eindringen des Wassers und der Salzionen in die Samen verhindern kann.

Nach Haberland (1879) kann das Quellungswasser nur durch das Hilum und die Mikropyle in die Samen von *Phaseolus vulgaris* eindringen.

Brown (1909) hat an den Getreidesamen gezeigt, dass die Samenschalen derselben mit einer semipermeablen Schicht versehen sind, durch welche nur das Wasser, nicht aber die Salze in das Sameninnere eindringen können.

Schroeder (1911) nimmt an, dass nicht die Samenschale, sondern nur das innere Integument mit den kutinisierten Zellwänden fast absolut impermeabel für das Wasser und die Salzionen ist. Nur in den Regionen, die in der Nähe des Embryos liegen, sind die Möglichkeiten für das Durchdringen des Wassers und der Salze gegeben. Er sagt: „Unter normalen Keimungs-, bzw. Weichbedingungen erfolgt die Wasseraufnahme des unverletzten Weizenkornes ausschliesslich am Embryo, resp. in dessen unmittelbarer Nachbarschaft. Von da aus verbreitet sich die Feuchtigkeit am raschesten parallel zur Oberfläche in longitudinaler Richtung; viel langsamer erfolgt die Bewegung senkrecht dazu von aussen nach den inneren Schichten des Kornes. Doch ist an den übrigen Stellen die Schale nicht unbedingt undurchlässig für Wasser, setzt aber dessen Durchtritt einen solchen Widerstand entgegen, dass die Aufnahme auf dem geschilderten Wege leichter vonstatten geht“. Weiter hat Schroeder in Übereinstimmung mit Brown bewiesen, dass die Samenschalen der Erbsen keine semipermeablen Eigenschaften besitzen, weil bei Erbsensamen die Quellungswassermenge bei den halbierten und bei den ganzen Samen fast gar keinen Unterschied zeigt.

Rippel (1918) dagegen hat festgestellt, dass die Samenschalen von Leguminosen die semipermeablen Eigenschaften ebenfalls besitzen. Er nimmt an, dass alle Zellmembranen, die mehr oder weniger mit Plasmaverbindungen durchsetzt sind, die semipermeablen Eigenschaften besitzen. Wenn man diese Eigenschaften auch nicht immer beweisen könne, wie dieses bei den Versuchen von Schroeder mit den Erbsensamen der Fall ist, so sei das darauf zurückzuführen, „dsss lediglich die Sprengung der semipermeablen Schichten beim Quellungsprozess das Hervortreten der semipermeablen Eigenschaften verhindern kann“.

Wenn wir mit Rippel bei allen Samen semipermeable Eigenschaften der Schalen annehmen, dann folgt, dass die Salze nur vermöge ihrer Permeationseigenschaften in die Samen eindringen und bei der Quellung ihre Wirkung ausüben können.

Als die Versuche des Verfassers schon ausgeführt wurden, sind die Arbeiten von Gurewitsch (1929) und Brauner (1931) erschienen. Diese Autoren haben die semipermeablen Eigenschaften der toten Samenschalen mit Hilfe der Leitfähigkeitsmethode bewiesen.

Nach Gurewitsch ist das innere Integument des Weizenkornes als eine Membran mit selektiven Eigenschaften anzusehen, welche für die Anionen der anorganischen Salze nach der lyotropen Reihe durchdringbar ist. Die Samenschale der Erbsen, die eine reine Zellulosemembran ist, wird von ihm als für die anorganischen Salze leicht permeabel angenommen.

Brauner hat gefunden, dass auch der toten Samenschale von *Aesculus hippocastanum* die semipermeablen Eigenschaften ebenso zukommen wie den lebenden Zellen.

Die Fragen, ob die Salzwirkung in der Tat im erwähnten Sinne zustande kommt und wie die Wirkungsverhältnisse bei verschiedenen niederen Konzentrationen sich äussern, sollten durch folgende Versuche beantwortet werden.

Es wurden zuerst Quellungsversuche mit Linsensamen, die für diesen Zweck besonders geeignet sind, ausgeführt. Die dünnen diskusartigen Linsensamen quellen gut, gleichmässig und schnell, und ihre glatten Schalen kann man leicht von der Feuchtigkeit befreien und trocknen.

Ich habe eine verhältnismässig kurze Quellungszeit (6 Stunden) gewählt, weil die Quellung der Linsensamen in dieser Zeit ziemlich weit geht und sich schon dem Endpunkt nähert, und weil die Salzwirkung sich in dem Wirkungsstadium der Quellung viel besser äussern kann als in dem Endstadium. Nach sechsstündigem Quellen in destilliertem Wasser bei Zimmertemperatur betrug die Quellungswassermenge ca 90%, nach 12stündigem Quellen — ca 96% des Trockengewichts der Samen.

Die Versuche wurden in Thermostaten bei einer Temperatur von 18.0° C ausgeführt. Je 25 ausgewählte $\pm$ gleich grosse Linsensamen wurden in den Doppelschalen in 100 cem Lösungen zum Quellen gebracht. Nach genau 6 Stunden wurden die betreffenden Samen aus den Lösungen genommen, jeder einzelne Same mit reinem Filtrierpapier getrocknet und dann die Samen auf trockenem Filtrierpapier 3 Min. lang frei in der Luft liegen gelassen. Darauf wurden alle Samen auf die andere Seite gekehrt und zuletzt in Tarierzylindern auf chemischen Wagen gewogen. Die Lufttemperatur des Laboratoriums auf dem Versuchstische betrug 17.2—17.9° C, die relative Luftfeuch-

tigkeit 65.4 — 66.2%. Durch die Wiederholung der Kontrollversuche konnten alle Angaben auf die Durchschnittstemperatur von 17.6° C und die mittlere relative Luftfeuchtigkeit von 65.8% umgerechnet werden.

Tabelle 4.

Die Wirkung der Salzkonzentrationen auf das Quellen der Samen von

Lens esculenta.

Temp. 18.0° C. Dauer der Versuche 6 Stunden.

Lösungen	0.1 n.		0.01 n.		0.001 n.		0.0001 n.		Q.W. %
	Q. W. %	pH	Q. W. %	pH	Q. W. %	pH	Q. W. %	pH	
KBr . . .	85.62	6.4	87.16	6.15	87.81	6.0	88.42	5.9	
KCl . . .	84.02	6.6	85.87	6.25	87.32	6.05	87.81	5.9	
KNO ₃ . . .	83.20	6.6	85.37	6.25	86.91	6.0	87.71	5.9	
K ₂ SO ₄ . . .	81.50	6.6	83.90	6.2	85.21	6.0	86.39	5.9	
KH ₂ PO ₄ . . .	82.97	5.2	84.88	5.5	85.98	5.65	86.92	5.7	
NaCl . . .	82.83	6.3	84.76	6.05	86.00	5.9	86.82	5.85	
NH ₄ Cl . . .	80.25	6.2	82.64	6.0	84.85	5.9	85.73	5.85	
LiCl . . .	80.81	6.3	83.50	6.0	85.20	5.9	86.35	5.85	
MgCl ₂ . . .	82.70	6.4	85.81	6.1	87.65	5.95	88.56	5.9	
BaCl ₂ . . .	79.97	6.6	83.74	6.2	85.60	6.0	87.28	5.9	
CaCl ₂ . . .	77.79	6.5	80.88	6.15	82.47	6.0	83.79	5.9	
Aq. destill.							5.8		89.46
Leitungswasser							7.1		83.25
Knop. N. L. $\frac{1}{1}$ K (—Fe).							6.0		81.12

Aus der Tabelle 4, in welcher die Versuchsergebnisse zusammengefasst sind, können wir folgendes ersehen:

1) Das Eindringen des Quellungswassers in die Linsensamen erfährt in allen Salzlösungen und in allen verwendeten Konzentrationen eine Verminderung.

2) Auch im Leitungswasser und in der Knopschen Nährlösung quellen die Linsensamen weniger als in destilliertem Wasser.

3) Die Menge des Quellungswassers hängt ab a) von der Natur und b) von der Konzentration jedes einzelnen Salzes.

In den Konzentrationen von 0.1—0.0001 n. setzen die Salze die Wasseraufnahme der quellenden Samen entsprechend ihrer Konzentrationsstärke herab. Jedoch ist diese Herabsetzung bei den einzelnen Salzen sehr verschieden; diese Verschiedenheit kann man in den Fig. 2 und 3 noch besser verfolgen.

In Fig. 2 ist das Quellen der Linsensamen in verschiedenen (0.1—0.0001 norm.) Konzentrationen von K-Salzlösungen nach den Angaben der Tabelle 4 graphisch dargestellt. Auf der Vertikalachse sind die Mengen des Quellungswassers in %, auf der Horizontalachse — die Salzkonzentrationen angegeben. Für die Bezeichnung der Salzkonzentrationen sind statt der Nominalwerte, welche anzugeben praktisch unmöglich ist, die logarithmischen Werte der negativen Exponenten (0.1 = $1 \cdot 10^{-1}$ resp. log. 1; 0.01 = $1 \cdot 10^{-2}$ resp. log. 2 etc.) verwendet. Wir sehen in Fig. 2, dass die K-Salze das Eindringen des Quellungswassers in die Linsensamen nach der Anionenreihe $\text{Br} < \text{Cl} < \text{NO}_3 < \text{H}_2\text{PO}_4 < \text{SO}_4$ herabsetzen. Diese Reihenfolge, welche der lyotro-

pen Reihe entspricht, bleibt bei allen Konzentrationen bestehen. Es steigen nur mit dem Steigen der Salzkonzentrationen die Unterschiede in der Anionenwirkung.

In Fig. 3 können wir die Wirkung der verschiedenen Chloride auf das Quellen der Linsensamen beobachten. Hier kommt also die Wirkung der Kationen zum Ausdruck. Die Wirkungslinien laufen aber hier nicht mehr in solcher Übereinstimmung, wie in Fig. 2, und darum

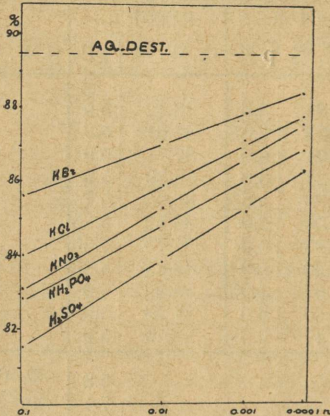


Fig. 2.

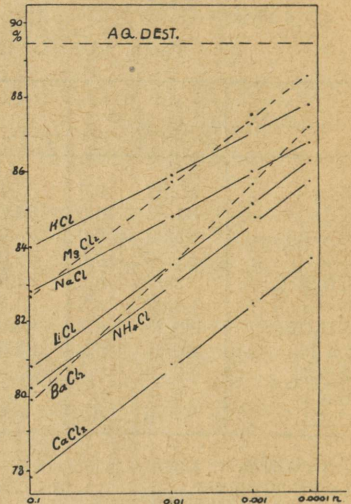


Fig. 3.

ist die Reihenfolge der Kationen bei verschiedenen Konzentrationen nicht immer dieselbe. So wird die Menge des Quellungswassers nach den Kationen herabgesetzt:

in 0.1	n. Salzkonzentration	$K < Na < Mg < Li < NH_4 < Ba < Ca$
" 0.01	"	$K, Mg < Na < Ba, Li < NH_4 < Ca$
" 0.001	"	$Mg < K < Na < Ba < Li < NH_4 < Ca$
" 0.0001	"	$Mg < K < Ba < Na < Li < NH_4 < Ca.$

Daraus geht hervor, dass die verschiedenen Kationenreihen nur für eine bestimmte Konzentration Geltung haben können. Es ist ersichtlich, dass $MgCl_2$ und KCl am wenigsten, K_2SO_4 und $CaCl_2$ aber am meisten das Eindringen des Quellungswassers in die Linsensamen herabsetzen. Darnach wäre zu erwarten, dass das Keimen und das Keimlingswachstum bei Linsen in KCl - und $MgCl_2$ -Lösungen am stärksten, in K_2SO_4 - und $CaCl_2$ -Lösungen am schwächsten vor sich gehen muss. Auch der Verlauf der $BaCl_2$ -Wirkungskurve ist eigenartig. In der 0.1 norm. Konzentration wird das Quellen von Linsensamen in $BaCl_2$ -Lösung fast ebenso stark wie in $CaCl_2$ -Lösung zurückgehalten, in kleineren Konzentrationen aber bedeutend weniger.

4) Wir können in Fig. 2 und 3 zwei Typen von Wirkungslinien unterscheiden: bei einigen Salzen ($MgCl_2$ und $BaCl_2$) ist der Anstieg der Wirkungslinien ziemlich steil, bei anderen (alle K-Salze, $LiCl$, NH_4Cl und $CaCl_2$) umgekehrt. Dadurch, dass die Wirkungslinien nicht gleich stark ansteigen, kommt

eine Kreuzung vor, d. h. die Wirkungsreihen der Ionen werden durch die Konzentrationen verändert.

5) Alle Wirkungslinien in Fig. 2 und 3 verlaufen $\pm$ gerade, was bei der logarithmischen Darstellungsweise einer Kurvenform — bei normalen Werten — entspricht. Eigentlich muss der Verlauf dieser Linien auch bei logarithmischer Darstellungsweise kurvenförmig werden, wenn man die Konzentrationen noch weiter führt, und wir können im gegebenen Falle jene $\pm$ geraden Wirkungslinien für kurze Stücke von Kurven halten.

6) Weiter sind in der Tabelle 2 noch die pH-Werte der Salzlösungen zu finden. Diese Zahlen zeigen uns, dass alle Alkali- und Erdalkalisalze die pH-Werte erhöhen resp. die H-Ionenkonzentrationen der Lösungen herabsetzen, und dass diese Herabsetzung der H-Ionenkonzentrationen von der Natur der Salze und von der Salzkonzentration abhängig ist. Die Unterschiede der pH-Werte in verschiedenen Salzlösungen sind im ganzen nicht gross und schwanken auch in den stärksten (0.1 n.) Konzentrationen nur zwischen 6.2 und 6.6. (Die sauren Monophosphate (KH_2PO_4) bilden allerdings eine Ausnahme, weil sie die H-Ionenkonzentrationen der Lösungen vergrössern.)

Zusammenfassend können wir auf Grund dieser Versuche sagen, dass das Quellen der Linsensamen von Alkali- und Erdalkalisalzen stark beeinflusst wird. Dabei spielen die Ionen der einzelnen Salze ebenso wie die Salzkonzentrationen eine Rolle. Die Quellungswassermenge wird nach der lyotropen Reihe der Anionen herabgesetzt. Die Wirkungsreihe der Kationen ist unkonstant und von den Salzkonzentrationen abhängig. Die H-Ionenkonzentrationen der Lösungen werden parallel mit dem Steigen der Salzkonzentrationen herabgesetzt. (Eine Ausnahme bilden die Monophosphate.)

Weiter habe ich versucht festzustellen, in welcher Weise das Quellen von Getreidesamen von den Alkali- und Erdalkalisalzen beeinflusst wird. Die Versuche wurden mit Samenkörnern von *Triticum vulgare* (reine Linie) in Thermostaten bei der Temp. 28.0° C ausgeführt. Dauer der Versuche 24 Stunden. Es wurde eine längere Versuchsdauer und eine höhere Temperatur gewählt, weil das Quellen der stärkehaltigen Samenkörner etwas langsamer vor sich geht, als bei den Linsensamen. Bei diesen Versuchen kamen je 50 ausgewählte und gewogene Weizenkörner in die mit Pfropfen versehenen Reagenzgläser, worauf je 15 ccm von den entsprechenden Versuchslösungen zugegossen wurde.

Die Versuche wurden nur in 0.1 norm. resp. 0.1 mol. Salzkonzentrationen ausgeführt, weil es sich herausgestellt hatte, dass die Unterschiede in der Salzwirkung bei niederen Konzentrationen zu unbedeutend sind und diese kleinen Differenzen leicht von Versuchsfehlern übertroffen werden. Nach 24 Stunden wurden die gequollenen Samenkörner aus den Lösungen genommen, mit Filtrierpapier getrocknet (besonders sorgfältig die Bauchrillen der Samenkörner) und in Tariercylindern gewogen. Darnach wurden die gewogenen Körner auf trockenem Filtrierpapier ausgebreitet, wiederholt umgerührt, 1 Stunde lang an der Luft getrocknet und dann wiederum gewogen. Aus diesen zwei Gewichts-

Tabelle 5.

Die Wirkung der Salze auf die Quellung der Samenkörner von
Triticum vulgare.

Temp. 28.0° C. Dauer der Versuche 24 Stunden.

Lösungen	Kon- zentr.	% d. Quell- wassers von dem Trockeng.	Bemer- kungen	Lösungen	Kon- zentr.	% d. Quell- wassers von dem Trockeng.	Bemer- kungen
Aq. dest.		45.5		Na ₂ HPO ₄	0.1 n.	42.7	
Leitungsw.		45.3		Na ₂ HPO ₄	0.1 mol.	40.3	
NH ₄ CNS	0.1 n.	42.8	Samenscha- len gepl.	KCNS	0.1 n.	44.3	
NH ₄ Cl	"	42.2		KBr	"	43.2	
NH ₄ NO ₃	"	41.7		KCl	"	42.8	
(NH ₄) ₂ SO ₄	"	41.3		K ₂ SO ₄	"	41.1	
"	0.1 mol.	38.8		"	0.1 mol.	38.8	
NH ₄ H ₂ PO ₄	0.1 n.	42.6		KH ₂ PO ₄	0.1 n.	43.6	
"	0.1 mol.	39.3		"	0.1 mol.	40.3	
LiCl	0.1 n.	42.5		K ₂ HPO ₄	0.1 n.	43.2	
LiNO ₃	"	41.4		"	0.1 mol.	40.5	
Li ₂ SO ₄	0.1 mol.	40.9		MgBr ₂	0.1 n.	42.5	
NaCNS	0.1 n.	43.3	Mehrere Sa- menssch. ge- platzt.	MgCl ₂	"	43.3	
				Mg(NO ₃) ₂	"	42.0	
NaBr	"	41.8		MgSO ₄	0.1 n.	42.6	
NaCl	"	41.8		"	0.1 mol.	40.2	
NaNO ₃	"	42.5		BaCl ₂	0.1 n.	40.7	
Na ₂ SO ₄	"	41.9		Ba(NO ₃) ₂	"	40.6	
"	0.1 mol.	39.0		SrCl ₂	"	41.2	
NaH ₂ PO ₄	0.1 n.	42.1		Sr(NO ₃) ₂	"	41.3	
"	0.1 mol.	39.7		CaBr ₂	"	41.4	
				CaCl ₂	"	40.5	
				Ca(NO ₃) ₂	0.1 mol.	37.3	
				"	0.1 n.	40.7	

ergebnissen wurde dann der Durchschnitt berechnet. Die betreffenden Durchschnittsgewichte sind in Tabelle 5 angeführt.

Aus den Angaben der Tabelle ersehen wir, dass die Quellungswassermenge in Weizenkörnern bedeutend kleiner ist als in Linsensamen, und dass die Wassermenge durch die Salze im ersteren Falle viel weniger herabgesetzt wird. Auch hier hängt die Herabsetzung der Menge des Quellungswassers von den spezifischen Eigenschaften der einzelnen Salzionen ab, und wenn die Unterschiede in der Salzwirkung auch nicht besonders gross sind, so können wir doch eine Wirkung der Anionen nach der lyotropen Reihe, besonders bei K- und NH₄-Salzen, feststellen. Was die Kationenwirkung anbetrifft, so wird die Quellungswassermenge durch K- und Mg-Ionen weniger als durch andere Kationen herabgesetzt. Von den Erdalkalisalzen haben die Ca-Salze (CaCl₂ und Ca(NO₃)₂) die stärkste Wirkung.

Bei Berücksichtigung der Molarkonzentrationen sehen wir, dass die Quellung der Weizenkörner durch Sulfate stärker als durch Phosphate vermindert wird.

Es ist noch zu bemerken, dass die Quellung der Samenkörner in Rhodaniden so weit geht, dass die Samen platzen, trotzdem die Quellungs-

wassermenge der Samen in diesen Lösungen kleiner ist als in destilliertem Wasser.

Was die Keimung anbetrifft, so wurden schon nach 24 Stunden in 0.1 n. Na_2HPO_4 -Lösung bei ca 40% der Samen die Samenschalen von Keimlingswurzeln durchbrochen. In anderen Salzlösungen wurde die Samenschale von Keimlingswurzeln (resp. Coleorrhiza) nicht früher als in destilliertem Wasser durchbrochen. Und da alle Salze in den verwendeten Konzentrationen das Eindringen des Quellungswassers erschweren, kann eine Beschleunigung der Keimung durch diese Salze kaum angenommen werden. Erst später, wenn die Samenschalen durchbrochen sind oder wenn die Salzlösungen direkt durch die Wurzeln in die Keimlinge eindringen, können sie auf das lebende Plasma eine ganz andere Wirkung ausüben.

Zusammenfassung:

Aus den Quellungsversuchen geht hervor, dass alle Neutralsalze in den verwendeten Konzentrationen (0.1—0.0001 n.) das Eindringen des Quellungswassers in die Samen herabsetzen. Die Herabsetzung der Menge des Quellungswassers nimmt mit dem Steigen der Konzentration der Salzlösungen zu und ist bei eiweiss-haltigen Linsensamen bedeutend grösser als bei stärkehaltigen Getreidesamen.

Die Quellungswassermenge wird nach der lyotropen Reihe der Anionen herabgesetzt; die Stellung der Kationen in der Reihe wird aber von den Salzkonzentrationen stark beeinflusst.

3. Die Wirkung der H-Ionenkonzentrationen auf das Keimlingswachstum.

Wie die H-Ionenkonzentrationen der Nährlösungen und des Nährbodens das Pflanzenwachstum und die Ernteerträge beeinflussen, darüber liegt schon ein verhältnismässig umfangreiches Untersuchungsmaterial vor. Aus diesem ersieht man, dass das optimale Wachstum einer jeden Pflanzenart mit einer bestimmten H-Ionenkonzentration des Nährbodens in Zusammenhang steht (Wherry 1920/22, Atkins 1922, Olsen 1923, Arrhenius 1922, 1925/26, Chodat 1924, Aaltonen 1925, Zollitsch 1927 u. a.). Diese Befunde sind bei den ökologischen und pflanzengeographischen Studien von grösster Bedeutung gewesen und haben die Frage der Abhängigkeit der Pflanzen von den verschiedenen Bodentypen von einer ganz neuen Seite beleuchtet.

In betreff der Kulturpflanzen haben die Untersuchungen von Salter u. Ilvaine (1920), Hixon (1925), Bryan (1922), Lundegårdh (1923), Olsen (1923) Domontowitsch (1924), Arrhenius (1925) und Herçik (1925) gezeigt, wie verschieden für das Wachstum dieser Pflanzen die optimalen H-Ionenkonzentrationen sind.

Von besonderem Interesse sind die Befunde von Arrhenius und Lundegårdh, nach welchen die Hafer- und Weizensorten zwei Wachstumsoptima bei verschiedenen pH-Werten aufweisen: Hafer — bei pH 5.4 u. 9.0 (nach Arrhenius), Weizen bei pH 5.8 u. 6.8 (nach Lundegårdh). Diese Erscheinung ist auch bei anderen Pflanzen, so von Hixon (1920) bei *Pisum sativum*, von Lundegårdh (1924) bei *Gibbarella saubinetii*, von Herčík (1925) bei *Pharbitis hispida*, festgestellt worden.

Bei den Versuchen mit konstanten pH-Werten in bestimmten Nährlösungen werden die H- und OH- Ionenkonzentrationen, wie Salter-Ilvaine, Groh, Lundegårdh, Olsen, Dahm, Zollitsch u. and. festgestellt haben, stets durch die Pflanzenwurzeln verändert. Um also die Versuchspflanzen bei möglichst konstanten pH-Werten kultivieren zu können, hat man verschiedene Kulturmethode versucht: Joffe (1919), Bryan (1922/23) und Reed-Haas (1923) haben zu ihren Sandkulturen nach bestimmten Zeitintervallen frische Nährlösungen von konstanter H-Ionenkonzentration hinzugegossen. Lundegårdh und Arrhenius haben ihre Versuche mit humusreichen und gute Puffereigenschaften aufweisenden Erdsorten ausgeführt; Olsen hat „fliessende Kulturen“ (running-water cultures) in Gebrauch genommen, u. s. w.

Die Methode von Olsen, bei welcher die Nebenwirkungen von Bodenfaktoren oder Puffersalzen ausgeschaltet sind, ist für die Feststellung der Wirkung der H-Ionenkonzentrationen auf das Pflanzenwachstum die beste. Sie erfordert aber sehr grosse Vorräte von Versuchslösungen und kann deshalb aus rein materiellen Gründen meistens nicht mit der erforderlichen Exaktheit gehandhabt werden. So hat auch Olsen selbst bei seinen Versuchen statt des destillierten Wassers nur Regenwasser verwendet.

Ich habe meine Versuche mit destilliertem Wasser ausgeführt, konnte aber auch nicht die Lösungen mit bestimmten pH-Werten ununterbrochen fliessen lassen, sondern musste sie nach je 24 Stunden einmal erneuern. Die periodische Erneuerung der Lösungen nach je 24 Stunden habe ich vorgenommen, um die Wirkung der Wurzelausscheidungen auf die Veränderung der pH-Werte der Versuchslösungen festzustellen.

Die Versuche wurden in Doppelschalen mit 250 ccm (bzw. 300 ccm) von Lösungen mit bestimmten pH-Werten ausgeführt und die verschiedenen pH-Werte durch Hinzufügung von

HCl oder NaOH zum destillierten Wasser erzielt. Die ausgewählten gleich grossen Samen (je 20 Stück) wurden zuerst in Lösungen mit pH 3.0, 4.0, 5.0, 5.8 (destill. Wasser), 7.0, 8.0 und 8.6 zum Quellen gebracht (6 Stunden lang), dann wurden sie auf durchlöchernte Paraffinplatten — mit der Bauchseite (Rille) nach unten — gelegt und kamen mit diesen Platten in die Doppelschalen auf die betreffenden Versuchslösungen. Nach 48 Stunden wurden alle $\pm$ ungleich stark aufgekeimten Samen beseitigt und die Zahl der gekeimten Samenkörner auf 15 bzw. auf 12 reduziert. Nach je 24 Stunden wurden die Keimlinge mit den Paraffinplatten, nachdem die Wurzeln und die unteren Seiten der Platten mit destilliertem Wasser und dann mit den betreffenden Versuchslösungen abgespült worden waren, in neue sterile Doppelschalen mit frischen Lösungen hineingebracht. Die Veränderungen der pH-Werte der Versuchslösungen wurden alle 24 Stunden kolorimetrisch (mit Hilfe der E. Leitzschen Skala) festgestellt. Alle Versuche wurden dreimal wiederholt, und die berechneten Durchschnittswerte sind in der Tabelle 6 zusammengestellt. Wie wir aus den Angaben der Tabelle ersehen, zeigen das Koleoptil- und das Wurzelwachstum unserer Haferkeimlinge zwei Optima, von welchen das kleine Optimum sich bei pH 4.8—5.2, das grosse bei pH 7.4—8.0 befindet. Zwischen ihnen liegt bei pH 5.8 ein Minimum des Wachstums.

Wenn wir die Länge der Keimlingselemente in destilliertem Wasser bei pH 5.8 auf 100.0% schätzen, dann beträgt die Koleoptillänge im kleinen Optimum (pH 5.0) 107.7%, im grossen — 125.5%, die Wurzellänge im kleinen Optimum 103.1, im grossen aber 257.0%. Bei diesen relativen Grössen müssen wir noch die Variationsfehler ($\delta\pm$), die nach der Formel von Pearson

$$\delta = \pm \sqrt{\frac{\sum pa^2}{n}}$$

berechnet wurden, berücksichtigen. Es ergibt sich dabei, dass alle optimalen Grössen (ausser der Wurzellänge im kleinen Optimum) weit über den Variationsgrenzen liegen und daher ohne Zweifel berechtigt sind. Besonders stark ist das Wurzelwachstum im grossen Maximum pH 7.7. Bei pH 3.0 beträgt die Koleoptillänge noch 70.0%, die Wurzellänge aber nur 20.2%; bei pH 8.3 belaufen sich diese Grössen auf 102.4 und 105.9. In der Lösung mit pH 3.0 sind die Wurzelspitzen etwas angeschwollen und das

Tabelle 6.

Keimlingswachstum von *Avena sativa* (RL. 0269 Jõgeva) bei verschiedenen pH (Aq. dest. + HCl oder NaOH). Dauer der Versuche 24 St. $\times$ 6. Temp. 18.0° C. Auf Paraffinplatten; 250 ccm Lösung.
Zahl der Keimlinge — 15.

pH			Koleoptil			Gesamte Wurzellänge			c	d		e	
am Anf.	nach 24 St.	Ber. Mittelw.	a Länge in cm	%	$\delta \pm$	b in cm	%	$\delta \pm$	Mittl. Wurzell. cm	Kol. + mittl. Wurzell. cm	Kol. + mittl. Wurzell. %	Verh. b : a	Guttation
3.0	3.2	3.1	3.74	70.0	6.83	1.30	20.2	5.36	0.32	4.06	58.5	0.34	keine
4.0	4.64	4.32	5.34	100.0	4.15	5.89	91.7	8.11	1.47	6.81	98.1	1.10	mässig
5.0	5.50	5.25	5.75	107.7	3.65	6.62	103.1	5.07	1.65	7.40	106.6	1.15	stark
5.8	5.9	5.85	5.34	100.0	3.81	6.42	100.0	7.26	1.60	6.94	100.0	1.20	mässig
7.0	6.8	6.90	6.63	124.1	3.56	11.23	174.9	10.04	2.81	9.44	136.0	1.70	stark
8.0	7.40	7.70	6.69	125.5	4.74	16.50	257.0	7.15	4.12	10.81	155.7	2.46	s. stark
8.6	8.0	8.30	5.47	102.4	3.20	6.80	105.9	8.82	1.70	7.17	103.3	1.24	schwach
Leitungswasser													
7.1	7.1	7.1	6.54	122.4	7.38	14.67	228.5	6.81	3.67	10.21	147.1	2.24	zieml. stark
Knopsche N. L.													
6.1	6.2	6.15	7.26	135.9	5.85	13.11	204.2	7.67	3.29	10.54	151.8	1.80	zieml. stark
			a			b			c	d		e	

Plasma in den Spitzenzellen erstarrt. Die jungen Würzelchen verhalten sich zu dieser Lösung negativ chemotropisch und biegen sich von der Lösung nach oben ab.

In der Figur 4 können wir den Gang des Keimlingswachstums in Lösungen mit verschiedenen H-Ionenkonzentrationen deutlicher verfolgen.

In den Kontrolllösungen (Leitungswasser und Knopsche Nährlösung ohne Fe) ist das Keimlingswachstum viel besser als in destilliertem Wasser, bleibt aber bei den Wurzeln hinter demjenigen bei pH 7.7 weit zurück, was vielleicht darauf zurückzuführen ist, dass die pH-Werte der Kontrolllösungen den optimalen pH-Werten nicht entsprechen und sich im Leitungswasser auf 7.1, in der Knopschen N. L. auf 6.15 belaufen. Im Leitungswasser beträgt die Koleoptillänge 122.4%, die Wurzellänge 228.5%, in der Knopschen N. L. — die Koleoptillänge 135.9, die Wurzellänge 204.2%.

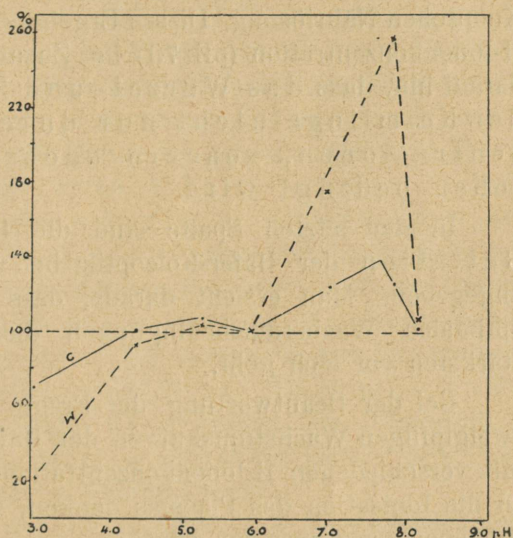


Fig. 4.

In der Spalte c finden sich Angaben über die mittlere Wurzellänge, welche durch Dividieren der gesamten Wurzellänge durch die Wurzelzahl 4 berechnet sind. Die Summen der mittleren Wurzel- und der Koleoptillänge zeigen das Gesamtwachstum der Keimlinge an (Spalte d). Auch diese Zahlen weisen einen zweigipfligen Gang auf.

Die Zahlen der vorletzten Spalte (e) geben das Verhältnis der Gesamtwurzellänge zur Koleoptillänge an. Diese Zahlenreihe nimmt von pH 3.0 bis 8.0 (resp. 7.7) stets zu, weiter aber rasch ab. Das deutet darauf hin, dass das Wurzelwachstum mit einer Verminderung der H-Ionenkonzentration bis zu pH 8.0 (resp. 7.7) stets günstiger wird, dann aber rasch sinkt.

Es ist an diesen Zahlen charakteristisch, dass sie in der Reihe bei pH 5.8 (im Wachstumsminimum) nicht abnehmen. In den Kontrollösungen ist das Wurzelwachstum bedeutend besser als in destilliertem Wasser bei entsprechenden pH-Werten, dabei im Leitungswasser merkwürdigerweise günstiger als in der Knopschen Nährlösung. Dieses Ergebnis steht mit der günstigeren H-Ionenkonzentration (pH 7.1) im Zusammenhang. Alles deutet darauf hin, dass das Wurzel- und Koleoptilwachstum der Keimlinge nicht nur durch die H-Ionenkonzentrationen, sondern auch durch die anderen Ionen bedingt wird.

In der letzten Spalte sind die Beobachtungen über die Guttation der Hafer-Koleoptile bei verschiedenen pH-Werten angegeben. Man ersieht daraus, dass die Guttation unter den optimalen Wachstumsbedingungen (bei pH 5.0 und 7.7) am stärksten vor sich geht.

Bei der Beantwortung der Frage nach den Ursachen der zweigipfligen Wachstumskurven der Haferkeimlinge in Lösungen mit verschiedenen H-Ionenkonzentrationen müssen wir zunächst an die Ionisation des Plasmas denken, welche durch die H- und OH-Ionen hervorgerufen wird.

Aus den Untersuchungen von Hardy, Michaelis, J. Loeb u. a. wissen wir, dass die Eiweisskolloide resp. die Plasmakolloide sich gegen die H- und OH-Ionen als Ampholyte verhalten und im isoelektrischen Punkte, wo ihre Ionisation 0 ist, die grösste Viskosität aufweisen. Dadurch leisten sie gegen das Durchdringen des Wassers und der Salzionen einen grossen Widerstand. Von diesem Punkte an nehmen, mit dem Steigen der Ionisation, die Permeabilität, die Quellung und der osmotische Druck des Plasmas bis zu einer bestimmten Grenze zu, weiter aber wieder ab. Auf Grund dieser kolloiden Eigenschaften des Plasmas muss die Teilung der Pflanzenzellen und im Zusammenhang damit auch das Wachstum im isoelektrischen Punkte im Minimum stehen (Risse (1926), Pfeiffer (1929), Gellhorn (1929)) und von dort aus nach beiden Seiten steigen.

Aus diesen Erläuterungen geht hervor, dass der isoelektrische Punkt des Keimlingsplasmas bei Hafer sich im gegebenen Falle bei pH 5.8 befinden muss und dass die beiden Maxima des Wachstums bei pH 5.25 und 7.7 mit den Punkten der günstig-

sten Ionisation und der dadurch bedingten kolloiden Eigenschaften des Plasmas zusammenfallen.

Sekundär können bei den Wachstumserscheinungen noch andere Faktoren mitwirken, wie z. B. die Enzymtätigkeit, welche ihrerseits aber wieder vom kolloiden Zustande des Plasmas abhängt. Nach Sörensen und Adler liegt die optimale Wirksamkeit der Diastase bei 20° C zwischen pH 4.6 und 5.2 und fällt im gegebenen Falle gerade mit dem kleinen Wachstums-optimum der Haferkeimlinge zusammen. Bei anderen Pflanzen, bei welchen der isoelektrische Punkt bei einem anderen pH-Werte liegt, kann dieser Faktor keine Rolle mehr spielen. Was die Guttationserscheinungen anbetrifft, so sind diese von der Wasserversorgung resp. von den Permeabilitätseigenschaften des Plasmas abhängig, und müssen bei der maximalen Durchlässigkeit des Plasmas (resp. in den optimalen Wachstumszonen) am stärksten ausgeprägt sein. Im isoelektrischen Punkte und bei zu starken Konzentrationen der H- und OH-Ionen — wo die Viskosität der Plasmakolloide wieder steigt, die Permeabilität aber fällt — muss die Guttation entsprechend kleiner sein, was auch mit den Beobachtungen übereinstimmt.

Die zweite Frage, wie die pH-Werte der Versuchslösungen durch die Wurzelausscheidungen verändert werden, wurde dadurch zu lösen versucht, dass ich nach je 24 Stunden die pH-Werte der Versuchslösungen von neuem bestimmte. Aus diesen Einzelbestimmungen habe ich dann die mittleren durchschnittlichen Abweichungsgrößen der einzelnen Lösungen für die ganze Versuchsdauer berechnet. Diese Angaben sind in der zweiten Spalte der Tabelle verzeichnet. In der dritten Spalte befinden sich die Angaben über den Durchschnitt der pH-Werte zwischen Anfangs- und Endgröße; diese Zahlen sind als die eigentlichen pH-Werte der Versuchslösungen anzusehen.

Aus den Zahlen der zweiten Spalte ersehen wir, dass die pH-Werte der Versuchslösungen von 3.0 bis 6.0 (5.8?) steigen, von 7.0 bis 8.6 aber fallen, oder mit anderen Worten, dass die H- und OH-Ionen der Lösungen durch die Wurzelausscheidungen neutralisiert werden. Auf welche Ursachen die Veränderung der pH-Werte zurückzuführen ist (eine ungleich starke Aufnahme der An- und Kationen, Ausscheidung von Säuren und CO₂ (Atmung) aus den Wurzeln, Auslaugung von Substanzen aus den Samen oder anderes), habe ich noch nicht festgestellt. Weiter

Tabelle 7.

Keimlingswachstum von *Avena sativa* (RL. 0269 Jögeva) in Knopscher Nährlösung bei verschiedenen pH.

Dauer der Versuche 24 St. $\times$ 6. Temp. 18.0° C. Auf Paraffinplatten; 250 ccm Lösungen.
Zahl der Keimlinge — 15.

pH			Koleoptil			Gesamte Wurzellänge			c	d		e	
am Anf.	nach 24 St.	Berechner Mittelwert	a Länge in cm	%	$\delta \pm \%$	b in cm	%	$\delta \pm \%$	Mittl. Wurzellänge in cm	Kol.-+mittl. Wurzell. in cm	%	Verhältnis b : a	Guttation
3.0	3.0	3.0	4.8	90.6	6.34	1.95	31.3	9.25	0.49	5.29	77.2	0.40	keine
4.0	4.52	4.26	6.4	120.7	3.28	8.78	141.1	7.56	2.19	8.59	125.4	1.34	schwach
5.0	5.40	5.20	7.6	143.4	2.72	12.85	206.2	5.25	3.21	10.81	157.8	1.69	stark
5.5	5.8	5.65	6.9	130.2	3.61	12.08	194.2	3.98	3.02	9.92	144.8	1.75	ziemlich stark
6.0	6.1	6.05	7.1	133.9	3.96	13.00	209.0	4.11	3.25	10.35	151.1	1.83	ziemlich stark
7.0	6.8	6.9	7.7	145.3	2.39	15.92	255.9	4.31	3.98	11.68	170.5	2.07	sehr stark
Aq. destillata			5.3	100.0	5.12	6.22	100.0	6.52	1.55	6.85	100.0	1.17	mässig
5.8	5.9	5.85											
Leitungswasser			6.6	124.5	4.94	14.7	236.3	3.88	3.69	10.29	150.2	2.23	stark
7.1	7.1	7.1											
			a			b			c	d		e	

Tabelle 8.

Keimlingswachstum von *Avena sativa* (RL. 0269 Jögeva) im Leitungswasser bei verschiedenen pH.
 Dauer der Versuche 24 St. $\times$ 6. Temp. 18.0° C. Auf Paraffinplatten; 300 ccm Wasser. Zahl der Keim-
 linge — 15 in jeder D-Schale.

pH			Koleoptil			Gesamte Wurzellänge			c	d		e	
am Anf.	nach 24 St. Mittl.	Berechneter Mittlw.	a Länge in cm	%	$\delta \pm \%$	b in cm	%	$\delta \pm \%$	Mittl. Wurzellänge in cm	Kol.-+ mittl. Wurzell. in cm	%	Verhältnis b : a	Guttation
3.0	3.0	3.0	4.10	75.9	6.24	1.68	26.3	8.43	0.42	4.52	64.6	0.41	keine
4.0	4.4	4.2	6.00	111.1	4.30	6.96	109.2	8.05	1.74	7.74	110.7	1.16	ziemlich stark
5.0	5.3	5.15	5.88	109.0	4.23	8.80	138.1	7.43	2.20	8.08	115.6	1.49	stark
5.5	5.65	5.57	5.65	104.6	3.80	8.52	133.7	6.80	2.13	7.78	111.9	1.51	mässig
6.0	6.1	6.05	6.60	120.0	3.98	11.20	175.8	6.62	2.80	9.40	134.4	1.69	stark
6.0	7.08	7.04	7.00	129.6	4.12	14.80	232.3	7.03	3.70	10.70	153.1	2.11	sehr stark
7.6	7.45	7.53	6.53	120.7	3.86	12.50	192.6	5.73	7.12	9.65	138.0	1.91	stark
Aq. destillata													
5.8	5.9	5.85	5.40	100.0	3.63	6.37	100.0	7.71	1.59	6.99	100.0	1.18	mässig
			a			b			c	d			

sehen wir bei der Betrachtung der Zahlen (Spalte 2), wenn wir dieselben mit den Zahlen der ersten Spalte vergleichen, dass die Abweichungen der pH-Werte von den Anfangszahlen bei 4.0 und 5.0, 8.0 und 8.6 am grössten sind, sich also parallel mit der Stärke des Wurzelwachstums verändern. Diese Erscheinung kann ebenfalls mit der grösseren Permeabilität des Plasmas der Wurzelzellen bei den erwähnten pH-Werten in Zusammenhang gebracht werden.

Wir haben gesehen, dass das Keimlingswachstum im Leitungswasser und in der Knopschen Nährlösung besser vor sich geht als in destilliertem Wasser und dass die Veränderung der pH-Werte in diesen Lösungen wegen ihrer Puffereigenschaften ziemlich unbedeutend ist. Nun entsteht die Frage: in welchem Masse wird das Keimlingswachstum in diesen Lösungen von den H-Ionenkonzentrationen beeinflusst?

Da die Karbonate und Phosphate aus den alkalischen Lösungen ausfallen, konnten die H-Ionenkonzentrationsreihen mit Knopscher N. L. (ohne Fe!) nur bis zum Neutralpunkt (7.0) und mit Leitungswasser bis pH 7.6 (hier war schon ein leichter Niederschlag von Karbonaten bemerkbar!) fortgesetzt werden.

Die Resultate der Versuche in Knopscher Nährlösung sind in der Tabelle 7, diejenigen im Leitungswasser in der Tabelle 8 zusammengefasst.

Aus den Angaben dieser Tabellen ersehen wir:

1) Die H-Ionenkonzentrationen werden im Leitungswasser und in der Knopschen N. L. durch die Wurzelausscheidungen ebenfalls — obwohl etwas weniger als in destilliertem Wasser — herabgesetzt. So steigen die pH-Werte bei 4.0 im Leitungswasser auf 4.4, in Kn. N. L. auf 4.52, in Aq. dest. auf 4.64; bei pH 5.0 — im L. W. auf 5.3, in Kn. N. L. auf 5.4, in destilliertem Wasser auf 5.5. Daraus geht hervor, dass die Puffereigenschaften des Leitungswassers etwas grösser sind als die der Knopschen Nährlösung.

2) Ein zweigipfliger Gang des Keimlingswachstums wird durch die H-Ionenkonzentrationen auch im Leitungswasser sowie in der Knopschen Nährlösung hervorgerufen; dieser zweigipflige Gang des Wachstums ist hier beim Koleoptilwachstum ebenso stark, beim Wurzelwachstum aber schwächer ausgeprägt als in destilliertem Wasser.

3) Das Wachstum der Keimlingselemente ist bei allen H-Ionenkonzentrationen im Leitungswasser und in der Knopschen N. L. besser als in destilliertem Wasser, was man aus Fig. 5 ersehen kann.

4) Die Punkte des maximalen und des minimalen Wachstums (Fig. 5) liegen in destilliertem Wasser, Leitungswasser und in der Knopschen N. L. nicht bei den gleichen pH-Werten und zeigen, besonders im Leitungswasser, eine Verschiebung nach links von den betreffenden Punkten in destilliertem Wasser. So liegen z. B. die Punkte des minimalen Wachstums (resp. die isoelektrischen Punkte des

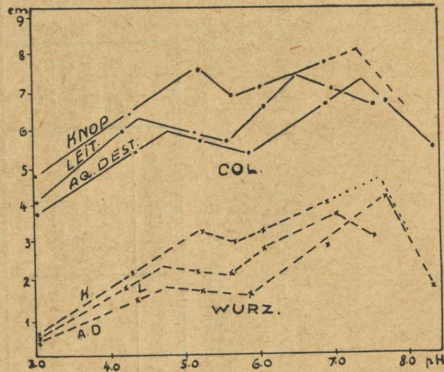


Fig. 5.

Plasmas) in destilliertem Wasser bei pH 5.85, in Knopscher N. L. bei 5.65, im Leitungswasser bei 5.55. Diese Verschiebung des isoelektrischen Punktes, sowie der maximalen Punkte des Wachstums ist sehr charakteristisch und wird, wie Michaelis, Rona, Haffner u. a. gezeigt haben, durch die Wirkung der Salzionen hervorgerufen.

5) Die Verhältniszahlen (Gesamtwurzellänge: Koleoptillänge) in der vorletzten Spalte (e) zeigen, dass das Wurzelwachstum in den betreffenden Versuchslösungen bei allen pH-Werten folgendermaßen steigt: destilliertes Wasser < Leitungswasser < Knopsche N. L. Auch die Begünstigung des Wurzelwachstums im Leitungswasser und in der Knopschen N. L. kann auf die Wirkung der in den letztgenannten Lösungen befindlichen Salzionen zurückgeführt werden.

6) Die Guttationerscheinungen treten bei Versuchen im Leitungswasser und in der Knopschen N. L. ähnlich wie in destilliertem Wasser hervor.

Weiter habe ich versucht festzustellen, wie die H-Ionenkonzentrationen das Wachstum der Linsenkeimlinge beeinflussen.

Aus verschiedenen Gründen war es unmöglich, die Versuche mit Linsensamen auf Paraffinplatten analog den vorigen auszuführen; sie wurden in Doppelschalen auf Filtrierpapierscheiben,

Tabelle 9.

Keimlingswachstum von *Lens esculenta* bei verschiedenen pH-Werten. 5 Filterscheiben
mit 10 ccm Lösungen.

Nach je 24 Stunden Übertragung in neue Schalen. Dauer der Versuche 24 St. $\times$ 6. Temp. 18.0° C.

pH	pH	pH	Stengel			Wurzel			Steng. + Wurz.		Das Ver- hält- nis W : S	
	nach je 24 Stunden	in Lös. ohne Samen nach 144 St.	Länge in cm	%	$\delta \pm$ %	Länge in cm	%	$\delta \pm$ %	in cm	%		
am An- fang in allen Lösung.												
3.0	3.5 ; 6.5; 6.9; 7.0; 6.9; 6.9	3.4	2.38	103.5	12.4	8.73	106.4	4.80	11.11	105.7	3.68	
4.0	4.4 ; 7.0; 7.2; 7.3; 7.1; 7.2	4.25	2.62	113.8	7.19	8.40	102.4	2.82	11.02	105.0	3.20	
5.0	5.2 ; 7.3; 7.3; 7.3; 7.2; 7.3	5.2	2.42	105.2	12.1	8.26	100.7	4.39	10.68	101.7	3.41	
5.8	5.85 ; 7.4; 7.4; 7.3; 7.4; 7.4	5.85	2.30	100.0	10.5	8.20	100.0	4.47	10.50	100.0	3.56	
7.0	7.0 ; 7.5; 7.4; 7.4; 7.4; 7.4	7.0	2.21	96.0	8.0	8.51	103.8	3.31	10.72	102.1	3.85	
8.0	7.8 ; 7.5; 7.5; 7.5; 7.5; 7.5	7.9	2.20	95.6	12.8	8.23	100.4	3.91	10.43	99.3	3.72	
8.8	8.5 ; 7.8; 7.6; 7.5; 7.7; 7.7	8.6	1.95	84.8	11.3	7.46	91.0	3.70	9.41	90.0	3.82	
7.1	7.1 ; 7.4; 7.4; 7.5; 7.4; 7.4	7.1	1.88	81.7	15.6	6.41	78.2	3.85	8.29	79.0	3.41	Leitungswass.
6.1	6.2 ; 6.6; 6.7; 6.8; 7.0; 7.0	6.2	2.23	96.9	8.95	7.78	94.9	3.59	10.01	95.3	3.48	Knop $\frac{1}{5}$ Konz.
5.9	6.0 ; 7.0; 7.2; 7.3; 7.3; 7.3	6.0	2.60	113.5	7.41	8.46	103.1	3.73	11.06	105.3	3.23	Knop $\frac{1}{5}$ Konz.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	

die mit 10 ccm von Lösungen mit bestimmten pH angefeuchtet waren und auf die je 15 ausgewählte Samen aufgelegt wurden, ausgeführt. Nach je 24 Stunden wurden die Keimlinge in neue sterilisierte Schalen auf mit frischen Lösungen angefeuchtete neue Filtrierpapierscheiben gebracht, die Veränderung der pH bestimmt und nach 48 Stunden die Zahl der Keimlinge auf 10 reduziert. Die Resultate dieser Versuche sind in der Tabelle 9 angegeben.

Die Zahlen der zweiten Spalte der Tabelle zeigen, wie die pH-Werte sich bei dieser Anordnung verändert haben.

Im Durchschnitt sind sie alle 24 Stunden

	von pH	3.0 auf	6.4,
	" "	4.0 "	6.8,
	" "	5.0 "	7.0,
	" "	5.8 "	7.1,
	" "	7.0 "	7.3,
	" "	8.0 "	7.5,
	" "	8.8 "	7.8,
im Leitungswasser	" "	7.1 "	7.3,
in Knopscher N. L. $\frac{1}{1}$ Konz.	" "	6.1 "	6.7,
" " " $\frac{1}{5}$ " "	" "	5.9 "	7.1

verschoben worden. Aus den Verschiebungen der pH-Werte können wir folgendes schliessen:

Die Veränderung der pH- Werte der Versuchslösungen deutet darauf hin, dass die H- und OH-Ionen dort ebenso wie in den vorigen Versuchen neutralisiert werden, aber nicht in der Richtung von pH 5.8, sondern von pH 7.3.

2) Die Verschiebung der pH- Werte hängt von den Puffereigenschaften und der Salzkonzentration der Lösungen ab. So steigen die pH-Werte:

in destilliertem Wasser	von	5.8 auf	7.1,
in Knopsch. N. L. $\frac{1}{1}$ Konz.	"	6.1 "	6.7,
" " " $\frac{1}{5}$ " "	"	5.9 "	7.1

3) Die Veränderung der pH - Werte tritt auch bei den ungekeimten Samen ein. Die ersten (Fettdruck-) Zahlen, die den pH-Bestimmungen nach den ersten 24 Stunden entsprechen, also der Zeit, wo die Samenschalen von den Keimlingswurzeln noch nicht durchbrochen waren, und die Zahlen der dritten Spalte (pH der Kontrollver-

suche ohne Samen — nach 144 Stunden) weisen darauf hin, dass die pH-Verschiebungen in diesen Fällen nicht von den Keimlingswurzeln verursacht werden können, sondern von anderen Faktoren: vom neutralen Filtrierpapier und von den Glasschalen (Filter- und Glasfaktor nach Zollitsch). Da die pH-Werte der dritten Spalte aber kleiner sind als die Zahlen der zweiten Spalte, so reichen der Filter- und der Glasfaktor im gegebenen Falle nicht aus. Hier können noch die aus den Samen diffundierenden Stoffe hinzukommen, da bekanntlich die Schalen der Leguminosensamen für Salze leicht durchdringbar sind (Schroeder, Gurewitsch).

4) In kleinen Lösungsmengen (10 ccm) kommt die Veränderung der pH-Werte sehr rasch zustande und nähert sich schon nach 24 Stunden den Endwerten.

Aus den Zahlen der weiteren Spalten ersehen wir, dass das Stengelwachstum seine maximale Grösse bei pH 4.0 erreicht hat, das Wurzel- und Gesamtwachstum aber zwei schwache Optima — bei pH 3.0—4.0 und 7.0 — aufweisen. Diese Maximalwerte übersteigen jedoch kaum die mittleren Variationsgrenzen. Da die Versuche unter den gegebenen Bedingungen nicht als solche mit konstanten pH, sondern nur als intermittierende Reizversuche mit verschiedenen Anfangs-H- und OH-Ionenkonzentrationen anzusehen sind, muss man die Resultate auch in diesem Sinne einschätzen; eine solche intermittierende H- und OH-Ionenwirkung kann, wie aus diesen Versuchen ersichtlich ist, auf das Keimlingswachstum von Linsen nur einen schwachen Einfluss ausüben.

Aus den Kontrollversuchen ersehen wir, dass die Linsenkeimlinge im Leitungswasser und in der Knopschen N. L. von $\frac{1}{1}$ Konz. schwächer, in der verdünnten Knopschen N. L. ($\frac{1}{5}$ Konz.) aber stärker wachsen als in destilliertem Wasser bei pH 5.8. Daraus folgt, dass die normale Konzentration der Knopschen Nährsalze für das Wachstum der Linsenkeimlinge zu hoch ist.

Die obigen Versuche mit Linsenkeimlingen haben uns gezeigt, wie rasch die Veränderung der H- und OH-Ionenkonzentrationen im Keimbett aus Filtrierpapier mit kleineren Lösungsmengen vor sich geht. Auf Grund dieser Fakta wollte ich weiter feststellen, wie weit die pH-Werte in einem solchen Keimbett durch die Keimlingswurzeln während der

ganzen Versuchsdauer — 7 Tagen — verändert werden und ob dabei die Anfangskonzentrationen der H- und OH-Ionen auf das Keimlingswachstum noch eine Wirkung ausüben.

Tabelle 10.

Keimlingswachstum von *Avena sativa* (RL. 0269 Jögeva).

In Doppelschalen auf 5 Filt. + 10 ccm Lös. Temp. 18.0°. Dauer der Vers. 24 St. $\times$ 7. Samenzahl 20 resp. 15.

pH		Koleoptil			Wurzel			Kol. + mittl. Wl.			
am Anf.	am Ende	Länge in cm	%	$\delta \pm$ %	Mittl. Länge in cm	%	$\delta \pm$ %	in cm	%	Verhältnis ges. Wl.:K.	
3.0	7.0	7.7	93.9	4.30	7.8	104.3	3.98	15.5	99.3	4.0	Aqua destillata
4.0	7.2	8.2	100.0	3.74	7.9	106.8	5.66	16.1	103.2	3.9	
5.0	7.3	8.3	101.2	3.19	7.7	104.0	4.09	16.0	102.5	3.7	
5.8	7.4	8.2	100.0	3.01	7.4	100.0	7.01	15.6	100.0	3.6	
7.0	7.5	8.1	98.8	3.75	7.8	104.0	5.65	15.9	101.9	3.8	
8.0	7.6	8.8	107.3	4.50	7.5	101.3	6.90	16.1	103.2	3.4	
8.8	7.8	8.6	105.0	3.32	6.5	87.8	5.60	15.1	96.8	2.9	
7.1	7.5	8.7	106.1	3.87	6.6	89.2	5.33	15.3	98.1	3.0	Leitungswasser Knopsche Nährl. ohne Fe
6.1	7.3	10.2	124.4	2.59	8.5	114.8	5.28	18.7	120.0	3.3	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	

Die Versuche wurden mit *Avena sativa* ausgeführt und die Resultate in der Tabelle 10 zusammengefasst. Aus dieser Tabelle ersehen wir:

1) Die pH-Werte haben sich bei Haferkeimlingen nach 7 Tagen nur fast ebensoweit wie bei Linsenkeimlingen nach 24 Stunden verändert; und wie die Kontrollproben gezeigt haben, werden diese Werte schon am dritten oder vierten Tage nach dem Auslegen der Samen erreicht und verschieben sich von diesem Zeitpunkte an kaum weiter. Im ganzen geht aber die Verschiebung der pH-Werte der Versuchslösungen hier etwas langsamer vor sich als bei Linsen. Diese Erscheinung kann zum Teil davon abhängen, dass bei Getreidearten die Durchlässigkeit der Samenschalen für die ausdiffundierenden Salzionen schwächer ist.

2) Das Koleoptil- und das Wurzelwachstum der Haferkeimlinge zeigt bei den verschiedenen pH-Werten noch kleine Unterschiede,

wobei die Wachstumsoptima auf beiden Seiten von pH 5.8 als schwache Reflexe bemerkbar sind. Da aber fast alle Schwankungen innerhalb der Variationsgrenzen liegen, brauchen wir sie nicht zu beachten. Nur bei Anfangs-pH 3.0 erscheint das Koleoptilwachstum und bei 8.8 das Wurzelwachstum merklich herabgesetzt.

Diese experimentellen Feststellungen haben eine grosse Bedeutung bei der Einschätzung der Versuchsergebnisse mit kleinen Abweichungen in den pH-Werten, was z. B. in den Lösungen von Salzen mit verschiedenen Konzentrationen stets vorkommt. (Siehe Tab. 4.) Da diese Abweichungen während der Versuchszeit sehr bald ausgeglichen werden, können sie wohl kaum eine merkbare Wirkung auf das Keimlingswachstum ausüben, und man kann sie darum beiseite lassen.

Zusammenfassung:

1) Das Keimlingswachstum von *Avena sativa* zeigt 2 Wachstumsoptima: ein kleineres bei pH 4.5—5.25 und ein grösseres bei pH 7.0—8.0 mit dem Maximalwachstum bei pH 7.7 (Aq. destillata). Im Leitungswasser und in der Knopschen Nährlösung tritt eine Verschiebung der optimalen pH-Werte nach links zutage.

2) Bei pH 5.85 liegt in destilliertem Wasser ein Wachstumsminimum, das mit dem isoelektrischen Punkte der Plasmakolloide der Haferkeimlinge zusammenfällt. Im Leitungswasser und in der Knopschen Nährlösung befinden sich diese Wachstumsminima (resp. der isoelektrische Punkt der Plasmakolloide) bei pH 5.55 und 5.65.

3) Die beiden Optima des Keimlingswachstums hängen von bestimmten Ionisationsstufen und den damit in Zusammenhang stehenden kolloidchemischen Eigenschaften des Plasmas ab (Permeabilität, Viskosität, osmotischer Druck, Quellung). Diese Ionisationsstufen werden durch die H- und OH-Ionenkonzentrationen der Versuchslösungen bestimmt.

4) Die pH-Werte der Versuchslösungen werden durch Wurzelausscheidungen, durch aus den Samen ausdiffundierende Salzionen, durch das neutrale Filtrierpapier und die Glasschalen verändert. Die Verschiebung der pH-Werte dieser Lösungen bewegt sich in der Richtung des grossen Wachstumsoptimums.

5) Die Grösse der Veränderung der pH-Werte hängt ab: a) von den Puffereigenschaften und Salzkonzentrationen der Versuchslösungen, b) von der Durchlässigkeit der Samenschalen

für die Salzionen, c) von der Lösungsmenge und d) von der Versuchsdauer.

6) Bei kleinen Mengen der Versuchslösungen (10 ccm auf 5 Filtrierpapierscheiben) werden die Anfangs-pH-Werte der Lösungen sehr bald mehr oder weniger ausgeglichen, so dass sie auf die Versuchsergebnisse fast gar keinen Einfluss ausüben können.

4. Die Wirkung der Salzionen auf die Enzymtätigkeit.

Bei der Abspaltung von Stärke in Getreidesamen haben wir es mit der Diastase zu tun. Ob sie ein einheitliches Ferment ist (Sabalitschka und Schulze 1925) oder aus zwei verschiedenen Komponenten besteht (Dubrunfaut und Cuisinier 1882, Brown und Morris 1890, Kühn 1925), ist bisher noch nicht mit Sicherheit festgestellt worden.

Aus den Arbeiten der verschiedenen Autoren (Lintner 1887, Effront 1892, Cole 1903, Osborne, Bierry und Schäffer 1907, Wohlgemuth 1908) ersehen wir nur, dass einige Alkalisalze die Wirkung der Diastase bei dem Stärkeabbau aktivieren und dass besonders Chloride hier am stärksten wirken. Weiter haben Michaelis und Pechstein (1914) gefunden, dass die Amylase ohne Vorhandensein von Salzen die Stärke überhaupt nicht spalten kann. Auch Ernström (1921) hat festgestellt, dass Neutralsalze die Tätigkeit der Speichelamylase aktivieren und dass völlig salzfreie Speichelamylase auf die Stärke keine Wirkung ausübt. Ausserdem hat er noch gefunden, dass beim Vorhandensein von Alkaliphosphaten das Aziditätsoptimum der Maltase bei pH 6.0, mit Na-Acetat aber bei pH 5.5 liegt. Zuletzt seien noch die Befunde von Biedermann (1921) erwähnt, nach welchen die Chloride, Bromide und Jodide in kleineren Konzentrationen die Amylasetätigkeit beschleunigen, in höheren Konzentrationen sie dagegen herabsetzen.

Im ganzen sind die Literaturangaben zu fragmentarisch; es fehlen auf diesem Gebiete systematisch ausgeführte Versuche, aus welchen wir einen einheitlichen Überblick über die Wirkung der verschiedenen Neutralsalze auf die Diastasetätigkeit in Abhängigkeit von ihren Konzentrationen gewinnen könnten.

Es ergab sich daraus die Notwendigkeit die Sachlage experimentell kennenzulernen.

Nach Karrer ist die Stärkespaltung zuerst eine Depolymerisation und dann eine hydrolytische Spaltung. Der Spaltungsweg der Stärke bis zur Maltose geht über eine Reihe von Zwischenprodukten, wo eine Verflüssigung parallel mit der Verzuckerung vor sich geht. Es ist sehr schwer, beide Prozesse zu trennen und die Wirkung der Salze auf jeden Vorgang einzeln zu verfolgen. Man hat vielfach versucht, die Wirkung der Diastase auf die Stärkespaltung nach der Methode von Wohlgemuth (1908) festzustellen. Da jedoch bei dieser Methode der Spaltungsprozess bei zu hoher Temperatur (50—60° C) durchgeführt werden muss, diese aber der Keimungstemperatur nicht entspricht, musste ich von der genannten Methode absehen. Auch die polarimetrische Methode von Willstätter und Steibelt ist bei niederen und nicht konstanten Temperaturen unbrauchbar. Nach einer Reihe von Versuchen habe ich eine praktische Methode ausgearbeitet, nach welcher ich über den Verflüssigungsgang der Stärke (nicht aber über die Verzuckerung) verhältnismässig gute Resultate erzielte.

Die Versuche wurden folgendermassen ausgeführt: Es wurde eine 2.0% Stärkesuspension aus reinstem *Amylum tritici* mit destilliertem Wasser hergestellt und genau 5 Minuten lang gekocht (die ungekochte Stärke setzt sich am Boden ab und wird von der Diastase nur schwer angegriffen). Zu 1 ccm dieser gekochten Stärkesuspension wurden 2 ccm von den betreffenden Salzlösungen (bezw. Wasser) und 1 ccm von der 0.2% Diastaselösung (hergestellt aus einem Präparat von Merck) hinzugefügt und leicht durchgeschüttelt. Der Moment der Hinzufügung der Diastase wurde als Anfangsmoment angenommen und mit Hilfe der Stoppuhr festgehalten. Nun kam das Reagenzglas in einen Komparator, in welchem 4 mm weit hinter dem Reagenzglase ein Schriftstreifen mit einem 1 mm hohen Druck befestigt und ein anderes gleich grosses Reagenzglas mit einer 10% Saccharoselösung zum Vergleichen hingestellt war. Als Endwert der Verflüssigung der Stärkesuspension wurde der Moment angesehen, in welchem man die erwähnte 1 mm-Schrift durch die Stärkesuspension ebenso deutlich wie durch das Reagenzglas mit der zehnprozentigen Zuckerlösung lesen konnte.

Die Entfernung der Augen vom Komparator betrug stets 25 cm. Die Versuche wurden im Laboratorium bei diffusem Licht

und einer Temp. von 20.5°C ausgeführt. Die Temperaturschwankungen $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ wurden durch stetige Kontrolle ausgeglichen und die betreffenden Daten auf 20.5°C umgerechnet. Mit jeder Salzkonzentration wurden mindestens 3 Proben ausgeführt.

In der Tabelle 11 sind die Durchschnittswerte dieser Versuche angegeben.

Tabelle 11.

Die Wirkung der Salzkonzentrationen auf die Tätigkeit von Diastase (Amylase) bei der Stärkeverflüssigung.
Temp. 20.5°C .

Salze	Konzentrationen der Versuchslösungen				Bemerkungen zu d. fett- gedruckten Zahlen
	0.05 n.	0.005 n.	0.0005 n.	0.00005 n.	
NH_4Cl	4'25"	3'45"	3'55"	4'15"	
NH_4NO_3	5 35	4 55	4 45	5 35	
NH_4CNS	6 30	7 50	8 15	9 00	
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	12 20	11 15	10 45	10 30	Flokkulation
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	17 30	15 20	13 30	10 45	Flokkulation
KBr	3 45	4 05	4 30	4 50	
KCl	5 00	4 20	4 30	4 50	
KNO_3	5 20	4 45	5 00	5 40	
KCNS	5 35	6 15	7 15	8 00	
K_2SO_4	15 00	11 15	8 45	9 10	Flokkulation
KH_2PO_4	13 50	8 45	9 00	9 15	Flokkulation
NaCl	5 05	4 30	3 45	4 30	
NaNO_3	6 35	6 10	5 45	6 30	
NaCNS	9 45	7 00	8 00	8 55	
NaH_2PO_4	17 20	10 45	8 50	8 30	Flokkulation
LiCl	5 30	4 30	4 00	4 30	
LiNO_3	6 20	5 40	5 05	6 45	
MgCl_2	5 15	4 30	4 00	5 15	
$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	9 00	7 45	6 30	7 45	
MgSO_4	11 20	10 15	9 45	9 35	
CaCl_2	4 30	5 00	5 15	5 35	
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	5 25	5 55	6 40	7 15	
$\text{Ca}(\text{CNS})_2$	7 25	7 45	8 35	8 45	
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	8 45	9 00	9 10	9 20	
Aq. destill.	9'30"				
Leitungsw.	5 15				

Die Diastaselösung hat eine pH 5.0 gehabt. Die pH-Werte der Salzlösungen sind in der Tab. 4 zu finden. Die pH-Werte der gemischten Versuchslösungen wurden nicht bestimmt.

Aus den Bemerkungen der Tabelle (letzte Spalte) ersehen wir, dass die stärkeren Konzentrationen von Sulfaten und Phosphaten (Fettdruck-Zahlen!) eine Flokkulation der Stärke-

suspension zeigen (MgSO_4 und $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ bilden hier eine Ausnahme). Sonst wird die Wirkung der Diastase bei der Stärkeverflüssigung von den meisten verwendeten Salzen in Konz. 0.05—0.00005 n. beschleunigt. Gehemmt wird sie nur von

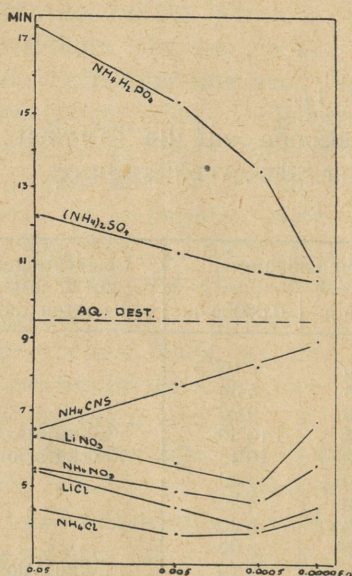


Fig. 6.

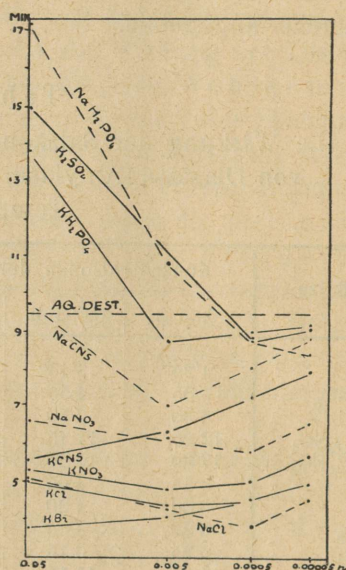


Fig. 7.

$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ und MgSO_4 und in höheren Konzentrationen von K_2SO_4 , NaH_2PO_4 , KH_2PO_4 und NaCNS .

Auch im Leitungswasser geht die Tätigkeit der Diastase schneller als in destilliertem Wasser vor sich.

Einen noch besseren Überblick über die Wirkung der Salze auf die Tätigkeit der Diastase geben uns die Fig. 6—8, die nach den Angaben der Tabelle 11 gezeichnet sind.

In Fig. 6 ist die Wirkung der NH_4 - und Li -Salze auf die Tätigkeit der Diastase zu sehen. Die Stärkeverflüssigung wird durch diese Salze nach der Anionenreihe $\text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{CNS}^-$ begünstigt und von Phosphaten stärker als von Sulfaten herabgesetzt. Die Wirkung der meisten Salze in verschiedenen Konzentrationen verläuft kurvenförmig, was darauf hindeutet, dass auch Nitrate und Chloride bei noch höheren Konzentrationen auf die Tätigkeit der Diastase hemmend wirken

müssen. Nur NH_4CNS und $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ behalten bei den verwendeten Konzentrationen einen $\pm$ geradlinigen Wirkungsgang.

In Fig. 7 ist die Wirkung der Konzentrationen von K- und Na-Salzen auf die Tätigkeit der Diastase zu sehen. Diese Salze begünstigen die Stärkeverflüssigung durch die Diastase nach der Anionenreihe Cl' , $\text{Br}' > \text{NO}_3' > \text{CNS}'_4 > \text{H}_2\text{PO}'_4$, SO''_4 (letztere zwei nur in kleineren Konzentrationen!). Die Wirkungslinien verlaufen meistens kurvenförmig.

In Fig. 8 ist die Wirkung der Mg- und Ca-Salze auf die Diastase wiedergegeben. Auch bei diesen Salzen wird die Tätigkeit der Diastase am meisten von Chloriden begünstigt, und die Reihenfolge der Anionen $\text{Cl}' > \text{NO}_3' > \text{CNS}' > \text{H}_2\text{PO}'_4$ behält auch hier ihre Geltung.

Es ist von grossem Interesse, dass diese Reihenfolge der Anionen sich bei allen Salzen wiederholt und einer umgebildeten lyotropen Reihe, wo CNS eine andere Stellung erhalten hat, entspricht. Bemerkenswert ist in Fig. 8 auch der Gang der Wirkungslinien, welcher bei Ca-Salzen mehr geradlinig und in anderer Richtung als bei Mg-Salzen verläuft.

Diese Versuche haben gezeigt, dass die Tätigkeit der Diastase von den Neutralsalzen in verschiedenen Konzentrationen sehr stark beeinflusst wird. Am stärksten wird sie von Alkali-Chloriden und Bromiden, aber auch von Erdkali-Chloriden beschleunigt, was mit den Befunden von Effront, Cole und Wohlgemuth übereinstimmt. Es ist zu bemerken, dass die Wirkung der Salze in ziemlich kleinen Konzentrationen, wie 0,00005 n., noch sehr bedeutend ist. In höheren Konzentrationen setzen die Neutralsalze die Tätigkeit der Diastase bei der Verflüssigung der Stärke herab. Die Grenzkonzentration, wo diese Herabsetzung beginnt, ist bei den einzelnen Salzen verschieden. So z. B. liegt bei NaH_2PO_4 u. K_2SO_4 dieser Übergangspunkt bei 0.001 n. Konz., bei KH_2PO_4 bei ca 0.008 n. K., bei NaCNS bei 0.04 n., bei NaCl und KCl aber, wie aus dem Kurvenverlauf hervorgeht, vielleicht erst zwischen 0.8 und 0.5 n. Konz.

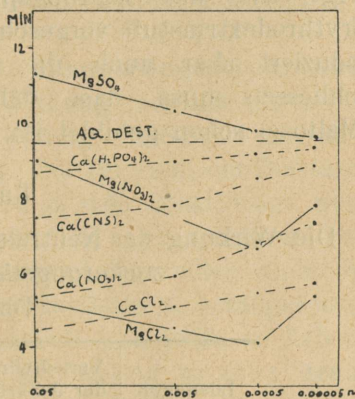


Fig. 8.

Wie die Salzkonzentrationen die Verzuckerung der Stärke durch die Diastase bewirken, ist viel schwieriger festzustellen, weil dieser Prozess viel langsamer und stufenweise vor sich geht. Setzt man zu der klargewordenen Stärkesuspension, durch die man die kleine Schrift deutlich lesen kann, J + KJ-Lösung hinzu, dann nimmt diese eine rotviolette Färbung an. Diese Färbung zeigt, dass der Spaltungsprozess der Stärke bis zu der s. g. Erythroextrinstufe vorgeschritten ist. Die klare Stärkesuspension reduziert aber auch die Fehlingsche Lösung, woraus man schliessen muss, dass dabei die reduktionsfähige Zuckerart (Maltose) schon gebildet ist.

Tabelle 12.

Die Wirkung der Neutralsalze in 0.05 n. Konz. auf die Verzuckerungstätigkeit der Diastase.

Temp. 20.5° C.

Lösungen	Verschwinden der J-Färbung nach Min.	Lösungen	Verschwinden der J-Färbung nach Min.
NH ₄ CNS	1 ?	K ₂ SO ₄	30
NH ₄ Cl	16	KH ₂ PO ₄	34
NH ₄ NO ₃	18	LiCl	17
(NH ₄) ₂ SO ₄	20	LiNO ₃	24
NH ₄ H ₂ PO ₄	22	Li ₂ SO ₄	27
NaCNS	1 ?	MgCl ₂	34
NaBr	10	Mg(NO ₃) ₂	29
NaCl	16	MgSO ₄	32
NaNO ₃	22	Ca(CNS) ₂	30
Na ₂ SO ₄	28	CaCl ₂	38
NaH ₂ PO ₄	31	Ca(NO ₃) ₂	45
KCNS	1 ?	SrCl ₂	39
KBr	28	Sr(NO ₃) ₂	53
KCl	16	BaCl ₂	50
KNO ₃	22	Ba(NO ₃) ₂	99
		Aq. dest.	21

Nach Euler und Svanberg (1913) verschwindet die J-Farbe in der Stärkesuspension erst, wenn schon etwa 75 % der in der ersten Reaktionsphase entstandenen Maltose gebildet ist.

Nun habe ich versucht festzustellen, wie die Neutralsalze auf den Verzuckerungsgang im erwähnten Sinne wirken, d. h. wann die J-Farbe aus der Stärkesuspension bei dem Vorhandensein von verschiedenen Salzen durch die Tätigkeit der Diastase verschwindet.

Zu diesem Zweck wurde zu den betreffenden Stärke-, Diastase- und Salzlösungen (1 ccm von 2% Stärkesuspension + 2 ccm von Salzlösungen in 0.1 norm. Konz. + 1 ccm von 0.2% Diastaselösung) in dem Moment, in welchem man die Schrift durch die Lösung deutlich lesen konnte, 1 Tropfen (= 0.05 ccm) von J+KJ-Lösung hinzugesetzt, durchgeschüttelt und dann abgewartet, bis die rötlichviolette Jodfärbung aus der Lösung verschwunden war.

In der Tabelle 12 ist die Zeit in Minuten angegeben. Aus dieser Tabelle geht hervor, dass die Wirkung des Salzes in 0.5 n. Konz. auf die Diastase bei der Verzuckerung der Stärke eine andere ist als bei der Stärkeverflüssigung. Die Tätigkeit der Diastase bei der Verzuckerung der Stärke wird in 0.05 norm. Konz. nur von Alkalirhodaniden und Chloriden, zum Teil auch von Bromiden (NaBr) und Nitraten (NH_4NO_3) beschleunigt, von allen anderen Ionen dagegen, besonders aber von Erdalkalisalzen, herabgesetzt.

Was die Wirkung der Alkalirhodanide anbetrifft, so haben wir es hier nur mit der chemischen Entfärbung zu tun; denn wir können ein rasches Verschwinden der Jodfärbung aus der Stärkelösung auch ohne Vorhandensein von Diastase durch den Zusatz von Alkalirhodaniden hervorrufen. Damit bleibt eine Beschleunigung des Verzuckerungsvorganges durch NH_4Cl , NH_4NO_3 , NaBr, NaCl, KCl und LiCl allein in 0.05 norm. Konz. bestehen. In kleineren Konzentrationen kann die positive Wirkung der Neutralsalze auf den Verzuckerungsgang eine andere, vermutlich günstigere sein.

Nach Fodor (1929) hängt die Fermentwirkung vom kolloiden Zustande der fermenttragenden und der der Fermenttätigkeit unterliegenden Substanz ab und wird von ihrer Dispersität und Hydratation bestimmt. Die beste Fermenttätigkeit kann also nur dann zustande kommen, wenn die dabei beteiligten Substanzen sich in einem optimalen kolloiden Zustande (Ionisation, Hydratation und Verteilung) befinden. Dieser Zustand wird aber, wie gezeigt, gerade durch H^+ , OH^- und Salzionen hervorgerufen. Jedoch darf man die Wirkung der Salz-, H^+ - und OH^- -Ionen auf die enzymatischen Prozesse keinesfalls mit einer einfachen Reizwirkung identifizieren.

Es wird allgemein angenommen, dass die Tätigkeit der verschiedenen Fermente hauptsächlich von der Temperatur und von der H-Ionenkonzentration abhängt. Nach Euler ist die beste Enzymtätigkeit unter folgenden Bedingungen erzielt worden:

Saccharase	pH 4.4—4.6,	Temp. 52.1° C	(Sörensen)
Maltase	„ 6.1—6.8	„ ?	(Michaelis und Davidson)
Magenpepsin	„ 1.5—1.6	„ 37.0°	(Sörensen)
Pankreatin	„ 8.0	„ 37.0°	(Michaelis und Davidson)
Erepsin	„ 7.8	„ 38.0°	(Rona)
Protease	„ 6.7—8.5	„ ?	(Abderhalden und Fodor)

Nun haben aber Abderhalden und Fodor (1916) an der Hefepeptidase festgestellt, dass die differenten Polypeptide die optimale Konzentration der H-Ionen beeinflussen und sie (nach der Beschaffenheit, Molekulargrösse, Säurenatur usw. der Polypeptide) von den sauren Werten bis zu den alkalischen verschieben können. Dieselben Autoren haben später (1920) gefunden, dass man die optimalen Konzentrationen der H-Ionen bei der Tätigkeit der Hefepeptidase auch durch Salzzusätze aus dem alkalischen Gebiet ins saure überführen kann. Die Verschiebungsmöglichkeit der optimalen H-Ionenkonzentrationen ist auch, wie oben erwähnt, von Ernström (1921) bei der Tätigkeit der Amylase festgestellt worden.

Aus diesen Befunden geht hervor, dass die H-Ionenkonzentrationen bei der Fermenttätigkeit nur eine untergeordnete Rolle spielen und durch andere Faktoren, unter anderem auch durch die Salzionen, bedingt werden.

Die vorigen Versuche haben uns gezeigt, wie die Salzionen auf die Verflüssigung und Verzuckerung von Stärke im Reagenzglas wirken. Diese Wirkung darf man aber nicht mit derjenigen im Samenkorn identifizieren. Man muss also Stärkeabbau in Gegenwart von Salzionen auch in den Samenkörnern selbst feststellen.

Bekanntlich ist über die Frage, wo die Diastase in Getreidekörnern gebildet wird — nur im Scutellum oder auch in den Zellen der Aleuronschicht — viel diskutiert worden. Wie Hansteen (1894), Puriewitsch (1898), Bessenich (1924) und Dahm (1924) an Maiskörnern gezeigt haben, können die von Embryo und Scutellum befreiten Endosperme sich auch selbständig entleeren, wodurch die Ausscheidung von Diastase aus den Zellen der Aleuronschicht ausser Zweifel gestellt ist. Dahm nimmt jedoch weiter an, dass das Scutellum in Maissamen überhaupt keine Rolle im Sinne der Ausscheidung von Diastase spielt. Ausserdem hat Dahm gefunden, dass die Salzionen die

Tätigkeit der Diastase meistens hemmen und sie nur in einzelnen Fällen fördern können.

Durch diese Befunde sah ich mich genötigt, die Wirkung der Salzionen auf die Tätigkeit der Diastase in Getreidekörnern nachzuprüfen.

Bei der Durchführung meiner Versuche habe ich hauptsächlich 3 Punkte im Auge behalten: 1) Welche Rolle spielen Scutellum und Aleuronschicht in Weizenkörnern beim Abbau der Reservestärke (resp. bei der Ausscheidung von Diastase)? 2) Sind die Endospermzellen in der Lage, auch selbständig Diastase auszuschcheiden und Stärke zu lösen? 3) Wie wird die Wirkung der Diastase durch die Salzionen in Abhängigkeit von ihren Konzentrationen beeinflusst?

Die Versuche sind in Doppelschalen mit 5 Filtrierpapierscheiben und 10 ccm von Lösungen in Thermostaten bei 19.0° C ausgeführt worden. Nach je 24 Stunden wurden die zum Keimen gebrachten Samenkörner an 3 Stellen quer durchgeschnitten: I. Schnitt durch den unteren Teil des Kornes — durch Embryo, Scutellum und Endosperm; II. Schnitt durch die Mitte des Kornes, etwas schräg, $\pm$ parallel zum Scutellum; III. Schnitt durch den oberen Teil (ca 1—2 mm von der Spitze) des Kornes.

Von der ersten Schnittfläche wurden mit einer feinen Lanzettspitze 2 Stärkeproben genommen: die eine unter dem Scutellum, die andere — unter der Aleuronschicht von der Seitenecke. Von der II. und III. Schnittfläche wurden je 3 Stärkeproben genommen: 1) unter der Aleuronschicht in der Rillentiefe, 2) — an der Seitenecke, 3) — von der Dorsalseite (siehe Fig. 9). Ausserdem wurde von der III. Schnittfläche noch eine Probe aus dem Endosperm genommen. Jedesmal wurden je 2—3 Körner aus jeder Versuchslösung analysiert. Alle Stärkeproben wurden unter dem Mikroskop untersucht und die Zahl der korrodierten Stärkekörner in ‰ ausgedrückt.

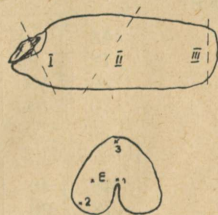


Fig. 9.

Die Resultate dieser Versuche sind in der Tabelle 13 (a — f) aufgeführt, wobei die Zahlen in den Spalten die Menge der korrodierten Stärkekörner in ‰ bedeuten (e = einzelne Körner).

Bei der Analyse dieser Tabellen erhalten wir die Antworten auf alle 3 gestellten Fragen. 1) Das Scutellum spielt beim

Tabelle 13 a.
Die Korrosion der Stärkekörner in Samen von Triticum.
Temp. 19.0° C.

Salze	Nach Stun- den	0.1 norm.									
		I. Schn.		II. Schn.			III. Schn.				
		Sc.	Aleur.	1	2	3	1	2	3	End.	
KCNS	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	KCNS
	72	10	e	0	0	0	0	0	0	0	
	96	95	50	e	0	e	0	0	0	0	
	120	100	60	e-10	e	e-10	0	0	0	0	
	0.01 norm.										
	48	30	10	e	0	e	0	0	0	0	
	72	75	30	25	e	30	0	0	0	0	
	96	100	60	50	30	70	0	0	0	0	
	120	100	100	90	70	100	e	0	e	0	
	0.001 norm.										
	48	35	e	0	0	0	0	0	0	0	
	72	90	40	30	25	40	e	0	e	0	
	96	100	95	90	90	100	40	30	50	0	
	120	100	100	100	100	100	50	50	70	e	
	0.0001 norm.										
	48	40	e	0	0	e	0	0	0	0	
	72	90	50	20	10	25	0	0	0	0	
	96	100	100	70	70	100	50	50	75	0-e	
	120	100	100	100	100	100	100	100	100	50	
KBr	0.1 norm.										KBr
	48	e	0	0	0	0	0	0	0	0	
	72	95	50	25	15	50	0	0	0	0	
	96	100	70	50	25	60	0	0	0	0	
	120	100	100	90	75	95	50	50	90	0	
	0.01 norm.										
	48	40	0	0	0	0	0	0	0	0	
	72	90— 100	50	30	25	e	0	0	0	0	
	96	100	100	50	40	60	e	e	10	0	
	120	100	100	90	80	95	25	25	40	0	
	0.001 norm.										
	48	50	15	10	10	15	0	0	0	0	
	72	100	50	50	25	60	0	0	0	0	
	96	100	100	75	50	85	e	e	15	0	
	120	100	100	100	100	100	80	70	100	50	
	0.0001 norm.										
	48	80	30	10	e	20	0	0	0	0	
	72	100	90	30	20	50	0	0	0	0	
	96	100	100	50	40	70	10	10	25	0	
	120	100	100	100	100	100	100	100	100	85	

Tabelle 13 b.

Salze	Nach Stun- den	0.1 norm.									
		I. Schn.		II. Schn.			III. Schn.				
		Sc.	Aleur.	1	2	3	1	2	3	End.	
KCl	48	50	15	0	0	0	0	0	0	0	KCl
	72	100	75	20	10	30	0	0	e	0	
	96	100	100	80	70	95	e	e	20	0	
	120	100	100	100	100	100	25	15	60	0	
	0.01 norm.										
	48	75	25	e	0	10	0	0	0	0	
	72	100	85	20	10	30	e	e	10	0	
	96	100	100	80	75	100	30	20	50	0	
	120	100	100	100	100	100	90	80	100	50	
	0.001 norm.										
	48	90	50	e	e	10	0	0	0	0	
	72	100	100	50	30	60	0	0	0	0	
	96	100	100	95	90	100	30	20	50	0	
	120	100	100	100	100	100	100	100	100	95	
	0.0001 norm.										
	48	70	30	e	e	15	0	0	0	0	
	72	100	100	70	70	90	e	e	10	0	
	96	100	100	100	100	100	60	50	80	e	
	120	100	100	100	100	100	100	100	100	90	
	KNO ₃	0.1 norm.									
48		0	0	0	0	0	0	0	0	0	
72		50	25	e	0	e	0	0	0	0	
96		75	50	e	e	e	0	0	e	0	
120		100	90	25	25	90	e	e	25	0	
0.01 norm.											
48		e	0	0	0	0	0	0	0	0	
72		100	50	15	10	20	0	0	0	0	
96		100	90	50	30	70	e	e	20	0	
120		100	100	100	100	100	95	70	100	20	
0.001 norm.											
48		10	0	0	0	0	0	0	0	0	
72		100	50	20	10	25	0	0	0	0	
96		100	90	40	25	50	e	e	10	0	
120		100	100	80	70	95	60	70	95	20	
0.0001 norm.											
48		25	e	0	0	0	0	0	0	0	
72		100	85	15	10	25	0	0	e	0	
96		100	100	60	35	75	50	30	60	10	
120		100	100	100	100	100	70	50	95	10	
K ₂ SO ₄	0.1 norm.										K ₂ SO ₄
	48	25	e	0	0	0	0	0	0	0	
	72	75	10	e	0	e	0	0	0	0	
	96	100	90	40	20	70	0	0	e	0	
	120	100	100	90	70	95	e	e	10	0	

Tabelle 13 c.

Salze	Nach Stun- den	0.01 norm.								
		I. Schn.		II. Schn.			III. Schn.			End.
		Sc.	Aleur.	1	2	3	1	2	3	
K_2SO_4	48	50	e	e	0	e	0	0	0	0
	72	100	85	20	10	35	0	0	0	0
	96	100	100	90	75	100	10	10	20	0
	120	100	100	100	100	100	25	20	35	0
	0.001 norm.									
	48	60	e	e	0	e	0	0	0	0
	72	100	90	25	10	40	0	0	e	0
	96	100	100	50	35	60	30	15	30	0
	120	100	100	100	100	100	100	100	100	75
	0.0001 norm.									
	48	50	e	e	0	e	0	0	0	0
	72	90	50	10	e	20	0	0	0	0
	96	100	100	75	60	90	10	10	15	0
	120	100	100	100	100	100	70	70	80	30
KH_2PO_4	0.1 norm.									
	48	30	e	0	0	0	0	0	0	0
	72	100	30	25	e	25	0	0	e	0
	96	100	100	50	30	70	e	e	15	0
	120	100	100	90	80	100	50	50	70	e
	0.01 norm.									
	48	85	10	0	0	e	0	0	0	0
	72	100	70	40	30	70	e	0	10	0
	96	100	100	50	40	90	30	30	50	0
	120	100	100	100	95	100	95	90	100	50
	0.001 norm.									
	48	75	e	0	0	0	0	0	0	0
	72	95	75	25	15	30	e	0	10	0
	96	100	100	70	50	80	35	25	50	0
	120	100	100	100	95	100	90	90	95	50
	0.0001 norm.									
	48	50	e	0	0	0	0	0	0	0
	72	100	50	30	25	40	0	0	0	0
	96	100	100	75	50	90	50	25	60	0
	120	100	100	100	100	100	100	100	100	75
$LiCl$	0.1 norm.									
	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	72	50	e	0	0	0	0	0	0	0
	96	75	30	e	e	e	0	0	0	0
	120	90	50	e	e	e	0	0	0	0
	0.01 norm.									
	48	20	e	0	0	0	0	0	0	0
	72	75	20	10	10	35	0	0	0	0
	96	100	70	50	50	60	e	0	e	0
	120	100	100	100	100	100	20	20	70	0

Tabelle 13 d.

Salze	Nach Stun- den	0.001 norm.									
		I. Schn.		II. Schn.			III. Schn.				
		Sc.	Aleur.	1	2	3	1	2	3	End.	
LiCl	48	30	e	0	0	0	0	0	0	0	LiCl
	72	100	50	e	e	25	0	0	0	0	
	96	100	100	85	70	95	50	40	60	0	
	120	100	100	100	100	100	100	100	100	75	
	0.0001 norm.										
	48	50	e	0	0	0	0	0	0	0	
	72	95	50	10	10	25	0	0	0	0	
	96	100	100	90	75	95	e	e	e	0	
	120	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
NH ₄ Cl	0.1 norm.										NH ₄ Cl
	48	e	0	0	0	0	0	0	0	0	
	72	85	e	0	0	0	0	0	0	0	
	96	100	75	30	20	60	0	0	e	0	
	120	100	100	75	50	95	e	e	50	0	
	144	100	100	100	100	100	30	20	60	0	
	0.01 norm.										
	48	e	0	0	0	0	0	0	0	0	
	72	95	75	e	e	10	0	0	0	0	
	96	100	95	50	40	70	15	e	50	0	
	120	100	100	100	100	100	50	30	70	0	
	144	100	100	100	100	100	100	90	100	25	
	0.001 norm.										
	48	10	0	0	0	0	0	0	0	0	
	72	100	75	15	10	25	0	0	0	0	
	96	100	100	30	20	70	0	0	30	0	
	120	100	100	100	100	100	25	10	50	e	
	144	100	100	100	100	100	100	100	100	50	
	0.0001 norm.										
	48	e	0	0	0	0	0	0	0	0	
	72	100	75	e	0	10	0	0	0	0	
	96	100	100	25	15	70	0	0	10	0	
	120	100	100	100	90	100	50	50	90	25	
	144	100	100	100	100	100	80	70	100	30	
MgCl ₂	0.01 norm.										MgCl ₂
	48	e	0	0	0	0	0	0	0	0	
	72	75	e	0	0	0	0	0	0	0	
	96	100	50	e	e	10	0	0	0	0	
	120	100	100	70	30	90	e	0	10	0	
	144	100	100	100	90	100	20	15	25	0	

Tabelle 13 e.

Salze	Nach Stun- den	0.01 norm.										
		I. Schn.		II. Schn.			III. Schn.					
		Sc.	Aleur.	1	2	3	1	2	3	End.		
MgCl ₂	48	e	0	0	0	0	0	0	0	0	MgCl ₂	
	72	90	50	10	e	15	0	0	0	0		
	96	100	100	30	15	50	e	0	e	0		
	120	100	100	100	100	100	30	10	75	e		
	144	100	100	100	100	100	100	80	100	50		
	0.001 norm.											
	48	10	0	0	0	0	0	0	0	0		
	72	95	25	10	e	15	0	0	0	0		
	96	100	90	40	30	50	20	10	25	0		
	120	100	100	100	95	100	50	30	80	e		
	144	100	100	100	100	100	100	100	100	70		
	0.0001 norm.											
	48	e	0	0	0	0	0	0	0	0		
	72	95	20	e	0	10	0	0	0	0		
	96	100	100	20	15	35	0	0	e	0		
	120	100	100	100	100	100	70	30	80	25		
	144	100	100	100	100	100	100	100	100	50		
BaCl ₂	0.1 norm.											BaCl ₂
	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	72	10	e	0	0	0	0	0	0	0		
	96	70	15	e	e	10	0	0	0	0		
	120	95	50	e	e	20	0	0	0	0		
	144	100	100	50	30	90	0	0	e	0		
	0.01 norm.											
	48	e	0	0	0	0	0	0	0	0		
	72	75	20	0	0	e	0	0	0	0		
	96	100	80	25	25	50	0	0	e	0		
	120	100	95	35	30	80	e	e	50	0		
	144	100	100	80	70	100	20	10	80	e		
	0.001 norm.											
	48	10	0	0	0	0	0	0	0	0		
	72	75	50	10	e	15	0	0	0	0		
	96	100	90	25	10	60	10	e	25	0		
	120	100	100	50	25	75	15	10	50	0		
	144	100	100	100	100	100	40	30	90	25		
	0.0001 norm.											
	48	10	0	0	0	0	0	0	0	0		
	72	80	25	10	e	20	0	0	0	0		
	96	100	90	50	30	70	e	e	25	0		
	120	100	100	100	100	100	30	15	50	e		
	144	100	100	100	100	100	50	30	90	25		

Tabelle 13 f.

Salze	Nach Stun- den	0.1 norm.								
		I. Schn.		II. Schn.			III. Schn.			End.
		Sc.	Aleur.	1	2	3	1	2	3	
CaCl ₂	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	72	100	80	10	10	20	0	0	0	0
	96	100	100	20	20	40	0	0	0	0
	120	100	100	50	25	50	e	e	10	0
	0.01 norm.									
	48	e	0	0	0	0	0	0	0	0
	72	100	75	e	e	25	0	0	0	0
	96	100	100	50	50	70	e	e	10	0
	120	100	100	100	100	100	70	70	90	25
	0.001 norm.									
	48	50	0	0	0	0	0	0	0	0
	72	100	80	10	10	20	0	0	0	0
	96	100	100	50	50	80	e	e	10	0
	120	100	100	100	100	100	70	70	90	50
	0.0001 norm.									
	48	75	10	0	0	0	0	0	0	0
	72	100	80	10	10	15	0	0	0	0
	96	100	100	75	50	90	10	10	20	0
	120	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Aq. destillata	48	35	0	0	0	0	0	0	0	0
	72	95	25	e	e	15	0	0	0	0
	96	100	95	25	10	50	e	e	10	0
	120	100	100	75	35	95	50	25	75	20
	144	100	100	100	100	100	95	80	100	75
Leitungswasser	48	10	0	0	0	0	0	0	0	0
	72	50	10	0	0	0	0	0	0	0
	96	100	95	25	25	50	e	0	10	0
	120	100	100	100	100	100	50	30	75	25
	144	100	100	100	100	100	100	95	100	50
Knopsche Nährlösung $\frac{1}{1}$ Konz.	48	10	0	0	0	0	0	0	0	0
	72	50	e	0	0	0	0	0	0	0
	96	100	80	25	25	70	0	0	e	0
	120	100	100	100	100	100	35	20	50	e
	144	100	100	100	100	100	70	50	95	50
Knopsche Nährlösung $\frac{1}{5}$ Konz.	48	35	0	0	0	0	0	0	0	0
	72	95	10	e	e	10	0	0	0	0
	96	100	100	35	25	90	0	0	10	0
	120	100	100	100	95	100	50	30	80	20
	144	100	100	100	100	100	100	90	100	60

Abbau von Stärke in den Weizenkörnern die Hauptrolle, denn die Auflösung von Stärke geht in allen Fällen in der Richtung vom Scutellum zu der oberen Spitze des Kornes. Die Auflösung von Stärke unter der Aleuronschicht beginnt ebenfalls von der unteren Spitze (resp. in der Nähe des Scutellums) und setzt sich in der Richtung zur oberen Spitze fort. Dabei wird aber merkwürdigerweise die Stärke an der dorsalen Seite des Kornes (3) stets bedeutend schneller aufgelöst als an den beiden Seiten (2) und an der Bauchrille (1). Diese Erscheinung kann dadurch erklärt werden, dass die Diastase des Scutellums in dieser Richtung den Mittelpunkt des Kornes am schnellsten erreichen kann, weil ja das Scutellum selbst schräg nach der dorsalen Seite des Kornes hin liegt. Auch in der Richtung zur Rille (1) kann die Scutellumdiastase sich etwas schneller als an den beiden Seitenpunkten (2) fortsetzen, weil die dünne Endosperm-schicht, welche das Scutellum von der Bauchrille trennt, am unteren Ende des Kornes sehr bald abgebaut wird und die Scutellumdiastase dann leicht die Bauchrille erreichen kann. Nur durch diese Annahme kann man verstehen, warum der Stärkeabbau am oberen Ende des Kornes viel später als am unteren beginnt und warum er an den verschiedenen Seiten des Weizenkornes nicht gleich stark vor sich geht.

Es kann ja sein, dass die Zellen der Aleuronschicht bei *Triticum*, wie Puriewitsch zu zeigen sucht, befähigt sind selbständig die Fermente auszuschcheiden und das Endosperm zu entleeren, nur geht das ziemlich langsam vor sich; ob dabei die Diastase der Aleuronzellen weniger wirksam ist als die des Scutellums oder ob sie in zu kleinem Umfange gebildet wird, muss dahingestellt bleiben. Jedenfalls wird aber die Enzymtätigkeit der Aleuronschicht in Weizenkörnern beim gewöhnlichen Keimlingswachstum von derjenigen der mehr aktiven Scutellumfermente überholt.

Es ist noch von Interesse hierzu zu bemerken, dass die Weizenkörner stets um ca 24 Stunden früher aufkeimen, wenn man sie auf die Bauchseite statt auf die Dorsalseite zum Keimen auf das angefeuchtete Filtrierpapier legt. Dieses schnellere Keimen auf der Bauchseite scheint aber zu der Enzymtätigkeit in keiner Beziehung zu stehen; es ist vielmehr mit der Wasserversorgung in Zusammenhang zu bringen. Obwohl die Samen-

schale um die Rille herum etwas dicker ist als an den anderen Stellen, kann sie dort doch für das Wasser leichter durchdringbar sein.

2. Beim Keimen scheiden die Endospermzellen der Weizenkörner keine Diastase aus. Die Stärke des Endosperms wird hauptsächlich, wie gesagt, von der Scutellumdiastase aufgelöst. Die Auflösung von Endospermstärke setzt sich allmählich in der Richtung von dem unteren Ende des Kornes, vom Scutellum, nach der Peripherie und von dort weiter nach innen fort.

3. Da die Aleurondiastrase bei dem Stärkeabbau in Weizenkörnern eine untergeordnete Rolle spielt, hat man es im gegebenen Falle in der Tat mit der Wirkung der Salzionen auf die Scutellumdiastase zu tun. Aus der Tabelle ersehen wir, dass die Tätigkeit der Diastase von 0.1 norm. Salzkonzentration in allen Fällen gehemmt, von den meisten niederen Konzentrationen aber gefördert wird. Nur BaCl_2 wirkt in allen geprüften Konzentrationen auf die Tätigkeit der Diastase hemmend; ausserdem wird sie noch durch Knopsche Nährlösung von $\frac{1}{1}$ Konz. herabgesetzt. In manchen Fällen wird die Tätigkeit der Diastase von den Salzionen nur in den ersten Versuchstagen gehemmt, später aber beschleunigt, so z. B. von NH_4Cl in 0.01—0.0001 norm. K., MgCl_2 in 0.001—0.0001 n. K., CaCl_2 in 0.01 n. K. und LiCl in 0.001—0.0001 n. K.

Daraus folgt, dass die Wirkung der Salze auf die Tätigkeit der Diastase im Reagenzglase von derjenigen in lebenden Samenkörnern etwas abweicht, besonders in höheren Konzentrationen: im Reagenzglase wird die Tätigkeit der Diastase bei den meisten Salzen noch in höheren Konzentrationen (0.05 und noch stärker) beschleunigt, hier — in Samenkörnern — aber stets herabgesetzt. Diese verschiedene Wirkung der stärkeren Salzkonzentrationen könnte man in beiden Fällen vielleicht folgendermassen erklären: Nach Puriewitsch und Dahm steht es fest, dass je mehr von den gelösten Produkten fortgeführt resp. verbraucht, um so mehr Stärke von der Diastase aufgelöst wird. Bekanntlich aber wird die Plasmataktivität von höheren Salzkonzentrationen gehemmt, und im Zusammenhang damit das Wachstum der Keimlinge und der Verbrauch von Nährstoffen ebenfalls herabgesetzt. Dadurch wird bald ein Übermass des gelösten Produktes in den Samenkörnern erreicht und somit der weitere Abbau von Stärke verlangsamt oder zum Stillstand gebracht. Es können aber auch die Scutellumzellen in Salzlösungen von höheren Konzentrationen,

welche dehydrierend auf die Plasmakolloide wirken, weniger Diastase ausscheiden als in destilliertem Wasser und in Salzlösungen von niederen Konzentrationen. Infolgedessen hat man es hier auch mit der rein kolloidchemischen Wirkung der Salze zu tun.

In allen Fällen aber zeigen die Versuche, dass die Tätigkeit der Diastase $\pm$ parallel mit dem Keimlingswachstum vor sich geht: in allen Versuchslösungen, wo die Keimlinge ein stärkeres Wachstum aufweisen, werden auch die Endosperme der Samenkörner früher entleert, so z. B. in niederen Konzentrationen von Salzlösungen, besonders von KCl, KBr, KNO_3 und KH_2PO_4 .

Zusammenfassung:

1. Die Diastase, welche den Abbau der Endospermstärke in Weizenkörnern hervorruft, wird hauptsächlich von Scutellumzellen ausgeschieden. Vom Scutellum aus verbreitet sich die Diastase unter der Aleuronschicht von dem untersten Ende des Samenkornes nach der oberen Spitze und löst dabei die Stärke beim Vordringen auf. Von der Peripherie des Kornes dringt die Diastase allmählich in das Innere des Endosperms. Die Endospermzellen selbst aber scheiden in 7 Tagen keine Diastase aus.

2. Die Diastasetätigkeit des Weizenkornes wird von höheren Konzentrationen der Neutralsalze (0,1 n.) gehemmt und von niederen Konzentrationen meistens gefördert. Das hängt ab: a) von der Wirkung der Salzionen auf den kolloiden Zustand des Plasmas der lebenden Zellen (Scutellum) und der der Fermenttätigkeit unterliegenden Substanzen (Stärke); b) von der Intensivität des Keimlingswachstums und vom Verbrauch der Abbauprodukte der Stärkespaltung.

3. Die Wirkung der Salzionen auf die Tätigkeit der Diastase bei der Verflüssigung der Stärke im Reagenzglase unterscheidet sich von derjenigen in lebenden Samenkörnern dadurch, dass dort die Salze nur eine kolloidchemische Wirkung auf die leblose Stärke ausüben und im Zusammenhang damit die Tätigkeit der Diastase noch bei etwas höheren Konzentrationen als in lebenden Zellen fördern können.

Wie die Neutralsalze auf die Tätigkeit der anderen Enzyme wirken, darüber sind die Literaturangaben ziemlich sparsam. Nach Schütz (1904) und Levites (1906) wirken die Chloride, nach Pfeleiderer (1906) die Alkalisulfate hemmend auf die

Tätigkeit des Pepsins. Die Kaseinverdauung durch Trypsin wird von KBr stark aktiviert (Falk-Winslow 1917). Ca- und Mg-Salze aktivieren nach Delazenne u. Zunz (1906) ebenfalls die Tätigkeit des Trypsins, CaCl_2 — die Tätigkeit der Pankreaslipase (zitiert nach Euler).

Besonders wichtig sind aber die Resultate der neueren Untersuchungen von Rona, Abderhalden und ihren Mitarbeitern. So haben Rona und Mislowitzer (1924) festgestellt, dass die Wirkung der Neutralsalze auf die Tätigkeit der Leberpeptidase von der H-Ionenkonzentration abhängt: bei pH 3.6 haben die Chloride, Sulfate und Zitate eine hemmende, bei pH 5.0—6.0 eine fördernde Wirkung auf die Eiweisspaltung gehabt. Diese Forscher haben ebenfalls gezeigt, wie Salzkonzentrationen die Enzymtätigkeit beeinflussen: bei grösseren Konzentrationen von NaCl, KCl und CaCl_2 wird die Tätigkeit der Leberpeptidase gehemmt, bei kleineren dagegen gefördert.

Rona und Kleinmann (1924) haben gefunden, dass die Chloride, Nitrate und Sulfate von K und Ca in 0.02 n. Konz. in stark saurer Lösung die Tätigkeit des Pepsins hemmen, in 0.5 n. bis 0.005 n. Konz. bei pH 4.0 jedoch fördern, und bei höheren Konzentrationen als 0.5 n. wieder hemmen. Auch Abderhalden und Fodor (1921) haben eine fördernde Wirkung von Chloriden, Bromiden und Sulfaten in kleineren Konzentrationen und eine hemmende bei grösseren Konzentrationen auf die Tätigkeit der Hefepeptidase beobachtet.

Ob die H- und Salzkonzentrationen auch bei der Keimung der proteinhaltigen Samen eine ähnliche Wirkung auf die Tätigkeit der proteolytischen Fermente ausüben, habe ich experimentell nicht festgestellt.

II. Spezialversuche.

1. Versuche mit *Avena sativa*.

Die Versuchsergebnisse mit *Avena* sind in den Tabellen 14—16 zusammengefasst.

Bevor ich zur Analyse dieser Versuchsergebnisse übergehe, möchte ich noch einige Bemerkungen vorausschicken.

1. Um die Samen und Keimlingswurzeln besser mit Salz-

Tabelle 14.

Keimlinge von *Avena sativa* (RL. 0269 Jögeva).

Temp. 18.5° C.

Ernte 1927.

Versuchsdauer 24 St. $\times$ 7.

Salze	Konz. norm.	Koleoptil		Wurzel		W + K %	Wl ges. V = Kl.	Bemerkungen
		%	$\delta \pm$ %	%	$\delta \pm$ %			
Aq. dest.		100.0	3.23	100.0	5.32	100.0	2.68	
Leitungsw.		107.1	3.83	92.4	4.38	101.4	2.31	
Knop. N. L.		123.8	4.03	111.1	5.26	118.9	2.40	
LiCl	0.1	—	—	—	—	—	—	Keimen nicht ganz auf.
	0.01	89.0	1.76	68.6	5.22	81.5	2.05	
	0.001	104.8	3.50	86.1	6.43	98.1	2.18	
	0.0001	106.1	3.44	101.0	4.29	104.2	2.64	
NH ₄ Cl	0.1	45.8	8.33	—	—	—	—	Die Wurzeln sterben vom 3. Tage an ab.
	0.01	94.5	3.64	111.8	5.83	101.8	3.17	
	0.001	96.1	2.89	104.5	5.97	99.0	2.95	
	0.0001	97.0	2.93	102.8	5.52	98.9	2.88	
NaCl	0.1	78.7	3.85	57.1	4.84	74.0	2.14	
	0.01	106.7	3.90	91.7	4.66	100.2	2.53	
	0.001	104.9	3.27	96.3	5.40	100.6	2.48	
	0.0001	104.7	1.88	95.9	5.87	100.2	2.47	
KCl	0.1	83.2	3.73	72.7	7.41	79.0	2.31	
	0.01	110.0	3.86	97.7	5.25	105.1	2.42	
	0.001	104.4	2.02	113.0	4.41	107.7	2.73	
	0.0001	103.4	3.44	98.1	5.73	101.3	2.58	
MgCl ₂	0.1	95.0	4.47	71.3	3.72	85.5	2.01	
	0.01	98.2	3.54	112.7	4.36	104.0	3.08	
	0.001	103.4	4.31	101.2	5.51	102.3	2.68	
	0.0001	103.2	3.72	92.4	4.64	99.0	2.39	
BaCl ₂	0.1	34.9	7.16	34.1	6.20	34.6	2.56	
	0.01	92.7	3.46	97.9	5.02	95.0	2.77	
	0.001	98.7	3.45	108.5	6.94	102.9	2.87	
	0.0001	100.0	2.67	108.5	4.12	103.6	2.84	
CaCl ₂	0.1	75.2	4.94	42.3	8.11	61.3	1.51	
	0.01	98.7	3.30	93.6	5.05	96.6	2.53	
	0.001	99.7	4.86	100.9	6.19	100.2	2.73	
	0.0001	100.0	2.70	99.6	4.45	99.9	2.66	

lösungen anzufeuchten und die Wurzeln leichter vom Keimbett ablösen zu können, wurde 15 ccm statt 10 ccm Salzlösung für jede Versuchsschale genommen.

2. Die Versuche wurden in jeder Salzlösung 2 bis 3 mal wiederholt; in den Tabellen sind die Mittelwerte aus den parallel ausgeführten Versuchsserien angegeben.

Alle Grössen der Tabellen sind auf die Durchschnittswerte der Kontrollversuche in destilliertem Wasser (Koleoptillänge 8.4 cm = 100.0%, gesamte Wurzellänge 22.5 cm = 100.0%, mittlere Wurzellänge 5.6 cm = 100.0%, das Gesamtwachstum — Kol. + mittl. Wurzell. — 14.0 cm = 100.0%) umgerechnet. Nach diesen Angaben kann man die wirklichen Werte immer wieder berechnen.

3. Alle Berechnungen wurden mit dem Rechenschieber ausgeführt, wobei ein Schätzungsfehler + 0.02% anzunehmen ist. Der mittlere Variationsfehler beträgt bei dem Koleoptilwachstum $\pm 3.73\%$, bei dem Wurzelwachstum $\pm 5.98\%$.

4. Die Angaben der Tabellen sind in den Diagrammen in Kurvenform dargestellt: auf die Vertikalachse wurden die Werte des Längenwachstums in %/o aufgetragen, auf die Horizontalachse — die logarithmischen Werte der negativen Exponenten der Bruchzahlen der Salzkonzentrationen.

5. Die Reaktion der Versuchslösungen, abgesehen von den Monophosphaten und einigen NH_4 -Salzen, war schon am dritten Tage über pH 7.0 gestiegen und nach 7 Tagen zwischen den pH-Werten 7.3 und 7.5 stehen geblieben. Bei den Monophosphaten und einigen NH_4 -Salzlösungen wurden die pH-Werte in stärkeren Konzentrationen etwas niedriger gefunden.

In der Tabelle 14 sind die Versuchsergebnisse über das Wachstum der Haferkeimlinge in Chloridlösungen und diejenigen der Kontrollversuche in destilliertem Wasser, Leitungswasser und in der Knopschen Nährlösung angegeben.

Kontrollversuche.

Was die Kontrollversuche anbetrifft, so sehen wir, dass das Koleoptilwachstum im Leitungswasser und in Knopscher N. L. besser vor sich geht als in destilliertem Wasser. Das Wurzelwachstum ist aber im Leitungswasser schwächer als in reinem Wasser. Wenn wir die Wachstumswerte in destilliertem Wasser auf 100.0% schätzen, dann ist das Koleoptilwachstum in Knopscher

Nährlösung um 20—24 %, im Leitungswasser um 3—7 % grösser als in destilliertem Wasser, — je nachdem, ob wir die Variationsfehler berücksichtigen oder nicht. Das gesamte Wurzelwachstum ist in Knopscher N. L. um 6—11 % stärker, im Leitungswasser aber um 4—8 % schwächer als in Aq. destill. Das günstigere Wachstum der Keimlingselemente in Knopscher N. L. kann man auf die Wirkung der Salzionen in dieser Lösung zurückführen. Dass das Wurzelwachstum im Leitungswasser schwächer als in destilliertem Wasser ist, ist schwerer zu erklären. Vielleicht haben die $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ -Salze hier auf das Wurzelwachstum hemmend gewirkt.

Gehen wir nun an die Betrachtung der Wirkungen der einzelnen Salze auf das Wachstum der Haferkeimlinge, sofern sie von ihren Konzentrationen abhängen.

Chloride.

In 0.1 norm. LiCl -Lösung geht das Quellen der Samenkörner gut vor sich; nach 48 Stunden sind die ersten Keimlingswurzeln ähnlich wie in den Kontrollösungen zu sehen. Ein Weiterwachsen der Wurzeln kommt aber nicht mehr zustande, und diese nehmen eine gelblichbraune Färbung an. Unter dem Mikroskop können wir sehen, dass das Plasma der Wurzelzellen erstarrt ist. Die Zellen sind also tot. Auch das Koleoptil hat schon eine Länge von 3—4 mm erreicht. Aber die weitere Entwicklung des Koleoptils bleibt stehen. Eine 0.1 n. LiCl -Lösung tötet also die Keimzellen der Haferkörner bald ab.

In 0.01 n. LiCl -Lösung wachsen die Haferkeimlinge etwas schwächer weiter als in den Kontrollösungen; das Wurzelwachstum ist hier aber relativ schwächer als das Koleoptilwachstum, so dass das Verhältnis Gesamtwurzellänge: Koleoptillänge nur 2.05 (in destilliertem Wasser 2.68) beträgt.

In 0.001 n. LiCl -Lösung hat die Koleoptillänge den Kontrollwert überstiegen, das Wurzelwachstum ist hier aber noch bedeutend schwächer als in destilliertem Wasser; das Verhältnis ges. Wl.: Kl. = 2.18 zeigt, dass die Wachstumsbedingungen in dieser Lösung für die Wurzeln viel ungünstiger sind als in destilliertem Wasser. Das Gesamtwachstum der Keimlinge (Kl. + mittl. Wl.) — 98.1 % — nähert sich schon dem Kontrollwert.

In 0.0001 norm. Konz. von LiCl sind die Koleoptil- und Wurzellängen etwas grösser als in destilliertem Wasser und das Gesamtwachstum hat den Kontrollwert um ca 4 % überstiegen.

Auch das Verhältnis ges. $\text{Wl.}:\text{Kl.} = 2.68$ — nähert sich dem Kontrollwerte. Wir sehen also, dass LiCl , welches in 0.1 n. K. die Keimlingszellen von Hafer tötet, in 0.01 n. K. ihr Wachstum stark herabsetzt, es in 0.0001 n. K. schwach fördern kann.

Den Gang des Keimlingswachstums in jeder Salzlösung in analoger Weise zu analysieren, würde uns zu weit führen und Anlass zu Wiederholungen geben. Darum wird weiterhin die Analyse der Tabellen möglichst kurz zusammengefasst und zu leichter Orientierung in Figuren veranschaulicht, wo die Angaben der Tabellen in Kurvenform dargestellt sind.

NH_4Cl . In 0.1 n. K. wirkt NH_4Cl giftig: die Keimlingswurzeln werden

getötet, die Koleoptile aber bleiben lebensfähig, obwohl sie nur schwach weiterwachsen. In 0.01 n. K. jedoch ist das Wurzelwachstum stark gefördert, das Koleoptilwachstum dagegen et-

was gehemmt. In 0.001—0.0001 n. K. geht das Wurzelwachstum etwas zurück, bleibt aber doch einige % über dem Kontrollwert; das Koleoptilwachstum nähert sich der Kontrolle. Fig. 10.

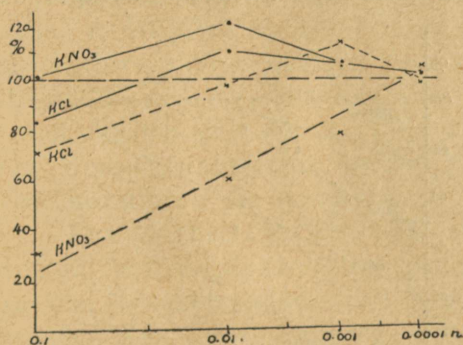


Fig. 11.

wenig stärker, das Wurzelwachstum dagegen schwächer als in destilliertem Wasser; das Gesamtwachstum $\pm$ gleich der Kontrolle.

KCl. In 0.1 n. K. ist das Wurzel- wie auch das Koleoptilwachstum etwas schwächer, fast in allen anderen Konzentrationen

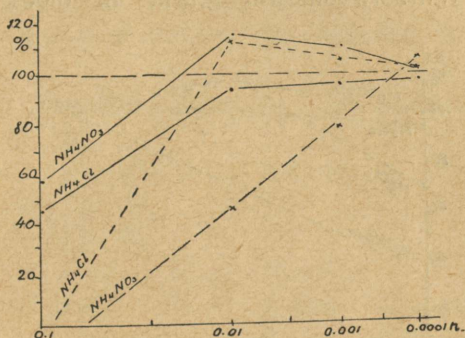


Fig. 10.

NaCl. In 0.1 norm. Konz. wird das Wurzelwachstum vom NaCl etwas mehr als das Koleoptilwachstum herabgesetzt. In 0.01—0.0001 n. K. ist das Koleoptilwachstum ein we-

aber stärker als in destilliertem Wasser. Die optimalen Salzkonzentrationen für das Wurzel- und das Koleoptilwachstum fallen jedoch nicht zusammen und betragen für Koleoptile 0.01 n., für Wurzeln 0.001 n. Fig. 11.

MgCl₂. In 0.1 n. K. wird das Koleoptil- wie auch das Wurzelwachstum vom MgCl₂ herabgesetzt, in 0.01 n. K. wird das Wurzelwachstum stark, in 0.001 n. K. aber schwach gefördert.

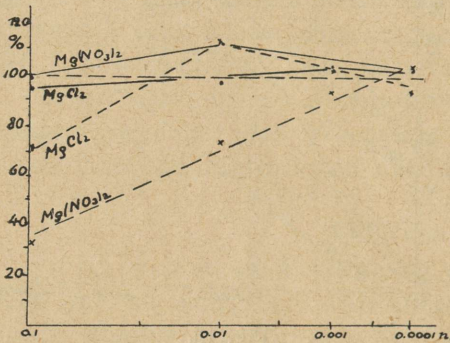


Fig. 12.

Das Koleoptilwachstum schwach begünstigend wirken 0.001 n. — 0.0001 n. K. des MgCl₂, wobei aber die Mehrwerte des Wachstums die Variationsgrenzen nicht übersteigen können. Fig. 12.

BaCl₂ setzt in 0.1 n. K. das Koleoptil- und Wurzelwachstum sehr stark herab. In anderen Konzentrationen nähert sich das Koleoptilwachstum mit dem Fallen der

Konzentration der Salzlösung allmählich der Kontrolle. Das Wurzelwachstum wird vom BaCl₂ in niederen Konzentrationen gefördert.

CaCl₂ setzt in 0.1 n. K. das Koleoptilwachstum weniger, das Wurzelwachstum aber sehr stark herab. In anderen niederen Konzentrationen nähert sich das Keimlingswachstum mit dem Fallen der Konzentration nach und nach der Kontrolle, zeigt aber keine Förderung. Fig. 13.

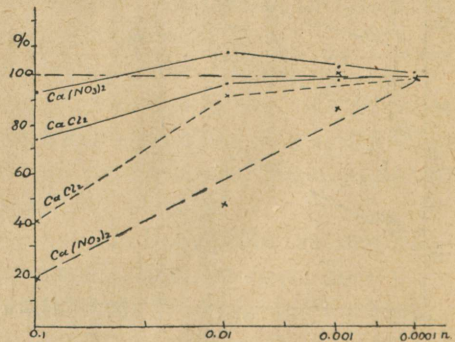


Fig. 13.

Einen zusammenfassenden Überblick über die Wirkung der Chloride auf das Wachstum der Haferkeimlinge können uns

die folgenden Ionenreihen geben. Das Koleoptilwachstum wird von den Kationen folgendermassen beeinflusst:

In 0.1 norm. K. hemmen: $\text{Li} > \text{Ba} > \text{NH}_4 > \text{Ca} > \text{Na} > \text{K} > \text{Mg}$.

In 0.01	n. K.	hemmen: $\text{Li} > \text{Ba} > \text{NH}_4 > \text{Mg}, \text{Ca}$; fördern: $\text{K} > \text{Na}$.
In 0.001	n. K.	hemmen: $\text{Ca} > \text{Ba} > \text{NH}_4$; fördern: $\text{K}, \text{Na}, \text{Li}, \text{Mg} \pm$ gleich stark.
In 0.0001	n. K.	fördern: $\text{Li}, \text{K}, \text{Na}, \text{Mg}$ verhältnismässig gleich stark; es hemmt nur NH_4 ; Ca und Ba bleiben fast ohne Wirkung.

Auf das Wurzelwachstum wirken die Kationen folgendermassen:

In 0.1 n. K.	hemmen: Li, NH_4 (tötend) $> \text{Ca} > \text{Ba} > \text{Na} > \text{K}, \text{Mg}$.
In 0.01 n. K.	hemmen: $\text{Li} > \text{Na} > \text{Ca} > \text{K}, \text{Ba}$; fördern: $\text{Mg} > \text{NH}_4$.
In 0.001 n. K.	hemmen: $\text{Li} > \text{Na}$; fördern: $\text{K} > \text{Ba} > \text{NH}_4 > \text{Mg}, \text{Ca}$.
In 0.0001 n. K.	fördern schwach: $\text{Ba} > \text{Li}, \text{NH}_4$ — also nur diejenigen Kationen, welche in stärkeren Konzentrationen giftig wirken. Alle anderen Ionen dagegen setzen das Wurzelwachstum schwach herab oder bleiben ohne Wirkung.

Daraus folgt, dass auf das Koleoptilwachstum Li -, NH_4 - und Ba -Ionen am stärksten hemmend wirken, NH_4 und Ba sogar bis zu den niedrigsten Konzentrationen. Es ist sehr eigenartig, dass in 0.1 n. NH_4Cl -Lösung die Wurzelzellen abgetötet werden, das Koleoptilwachstum dagegen nur gehemmt wird. Daraus geht hervor, dass die Wurzelzellen gegen die „giftig wirkenden Salze“ empfindlicher sind als die Koleoptilzellen. Bei der Förderung des Koleoptilwachstums spielen K - und Na -Ionen in mässigen Konzentrationen die Hauptrolle.

Das Wurzelwachstum wird in 0.1 n. Salzkonzentration von Li - und NH_4 -Ionen ganz verhindert, in 0.01—0.001 n. K : von Li - und Na -Ionen am stärksten herabgesetzt. Begünstigend wirken auf das Wurzelwachstum Mg - und NH_4 -Ionen in mässigen Konzentrationen.

Die Verhältniszahlen (ges. $\text{Wl.}:\text{Kl.}$) übersteigen den Kontrollwert 2.68 in NH_4Cl -Lösungen von 0.1—0.001 n. K . (3.17—2.88), MgCl_2 0.01 n. K . (3.08), KCl 0.001 n. K . (2.73) und BaCl_2 0.01—0.0001 n. K . (2.77—2.87).

In der Tab. 15 finden wir Angaben über das Wachstum der Haferkeimlinge in Bromid- und Nitratlösungen.

Tabelle 15.

Keimlinge von *Avena sativa* (RL. 0269 Jögeva).Temp. 18.5° C. Versuchsdauer 24 St. $\times$ 7.

Salze	Konz.	Koleoptil		Wurzel		K+W	W	Bemerkungen
		%	$\delta \pm \%$	%	$\delta \pm \%$	%	$\frac{W}{K}$	
KBr	0.1	78.3	5.48	50.9	11.03	67.7	1.76	
	0.01	102.4	4.36	77.5	7.94	92.7	2.03	
	0.001	110.4	2.76	93.5	4.30	103.9	2.27	
	0.0001	103.2	4.59	99.5	6.92	101.8	2.59	
MgBr₂	0.1	65.0	3.50	30.8	11.13	58.3	1.28	
	0.01	85.5	4.10	76.2	3.81	81.9	2.37	
	0.001	100.6	5.67	103.4	4.68	101.7	2.76	
	0.0001	98.7	2.52	102.5	5.06	100.1	2.78	
CaBr₂	0.1	46.4	8.04	27.7	11.20	39.2	1.60	
	0.01	83.6	4.95	60.1	5.44	74.6	1.93	
	0.001	99.1	2.65	99.1	4.58	99.1	2.62	
	0.0001	102.1	2.94	108.9	4.88	104.7	2.86	
LiNO₃	0.1	—	—	—	—	—	—	Keimen nicht auf.
	0.01	98.7	2.54	45.5	7.10	79.5	1.24	
	0.001	106.4	3.67	74.8	6.82	95.1	1.89	
	0.0001	104.6	2.87	106.1	5.28	105.5	2.73	
NH₄NO₃	0.1	58.8	6.24	—	—	—	—	Am 3. Tage sterben die Wurzeln ab.
	0.01	115.4	2.21	46.2	4.10	87.9	1.07	
	0.001	109.7	2.24	78.8	6.16	99.1	1.95	
	0.0001	97.0	2.64	107.1	7.35	100.2	3.00	
NaNO₃	0.1	97.5	2.42	28.4	2.27	68.1	0.75	
	0.01	112.9	1.95	52.9	5.50	87.3	1.27	
	0.001	103.2	1.96	92.1	4.54	98.5	2.39	
	0.0001	100.1	1.68	101.0	3.66	100.3	2.72	
KNO₃	0.1	101.5	3.41	31.1	7.18	73.5	0.81	
	0.01	121.8	4.60	60.6	6.69	97.7	1.31	
	0.001	105.9	3.80	79.1	3.09	95.2	1.98	
	0.0001	103.3	5.10	104.7	2.43	103.8	2.69	
Mg(NO₃)₂	0.1	99.8	3.53	31.1	12.50	72.2	0.84	
	0.01	112.2	3.51	75.3	5.10	97.4	1.79	
	0.001	102.9	2.93	96.1	4.78	100.2	2.41	
	0.0001	103.1	2.42	103.0	5.34	103.1	2.69	
Ba(NO₃)₂	0.1	29.8	5.90	14.1	8.15	23.0	1.22	
	0.01	97.8	6.53	58.1	7.38	80.4	1.55	
	0.001	99.9	4.52	108.5	5.45	103.6	2.83	
	0.0001	100.7	4.24	113.6	4.59	106.3	2.94	
Ca(NO₃)₂	0.1	93.6	5.45	19.8	11.07	62.7	0.60	
	0.01	108.7	4.10	47.2	9.18	82.9	1.16	
	0.001	103.9	3.53	89.2	7.10	97.8	2.30	
	0.0001	102.8	2.68	98.9	5.47	101.2	2.58	

Bromide.

KBr. Das Koleoptilwachstum wird in 0.1 n. K. gehemmt, in anderen aber gefördert; ein maximales Wachstum wird in 0.001 n. K. erreicht. Das Wurzelwachstum wird in allen Konzentrationen herabgesetzt.

MgBr₂ setzt in stärkeren Konzentrationen das Koleoptil- und Wurzelwachstum herab. In niederen Konzentrationen übersteigt die schwach fördernde Wirkung nicht die Variationsgrenzen.

CaBr₂ fördert in 0.0001 n. K. das Wurzel- und Koleoptilwachstum schwach, setzt es aber in anderen Konzentrationen parallel mit dem Steigen der Konzentration herab.

Im ganzen haben also von den Bromiden nur KBr in 0.001 n. K. das Koleoptilwachstum und CaBr₂ in 0.0001 n. K. das Wurzelwachstum merklich begünstigt.

Nitrate.

LiNO₃. In 0.1 n. Konz. wirkt LiNO₃ — ebenso wie LiCl — tötend auf die Keimlingszellen, in 0.001 n. — 0.0001 n. Konz. aber fördernd auf das Koleoptilwachstum. Das Wurzelwachstum wird von LiNO₃ in höheren Konzentrationen sehr stark herabgesetzt und nur in 0.0001 n. Konz. etwas gefördert.

NH₄NO₃. In 0.1 n. Konz. ist die Wirkung derjenigen von NH₄Cl ähnlich: die Wurzelzellen der Keimlinge sterben infolge der Plasmakoagulation ab, die Koleoptile jedoch können weiterwachsen. In 0.01 n. — 0.001 n. Konz. ist das Koleoptilwachstum viel stärker als in destilliertem Wasser und nähert sich in 0.0001 n. Konz. wieder dem Kontrollwerte. Das Wurzelwachstum steigt in 0.0001 n. K. etwas über den Kontrollwert, und nach dem Gang der Kurve können wir erwarten, dass es in niedrigeren Konzentrationen vielleicht noch etwas steigen wird. Fig. 10.

NaNO₃. Das Wurzelwachstum wird in 0.1 n. — 0.001 n. Konz. stark herabgesetzt, und nur in 0.0001 n. Konz. nähert es sich der Kontrolle. Auf das Koleoptilwachstum wirkt NaNO₃ meistens günstig; schon in 0.1 n. Konz. ist es der Kontrolle ziemlich nahe, steigt dann aber in 0.01 n. u. 0.001 n. Konz. über das normale Wachstum in destilliertem Wasser und fällt in 0.0001 n. Konz. bis zum Kontrollwerte zurück. Das optimale Koleoptilwachstum wird in 0.01 n. Konz. erreicht.

KNO₃. Das Koleoptilwachstum ist in allen verwendeten Konzentrationen von KNO₃ stärker als in destilliertem Wasser. In 0.01 n.

Konz., wo das Maximum des Koleoptilwachstums erreicht wird, steigt die Koleoptillänge um ca 20 % über die Kontrolle und nähert sich dem Wachstumswerte in der Knopschen Nährlösung. In dieser Konzentration übt KNO_3 unter den Neutralsalzen die stärkste fördernde Wirkung auf das Wachstum der Haferkoleoptile aus. In stärkeren Konzentrationen setzt KNO_3 ebenso wie die anderen Nitrate das Wurzelwachstum stark herab, und nur in 0.0001 n. Konz. steigt die Wurzellänge etwas über den Kontrollwert. Fig. 11.

$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$. Die Wirkung von $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ist im ganzen derjenigen von NaNO_3 sehr ähnlich. Fig. 12.

$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$. Seine Wirkung ist vom Nitrattypus etwas abweichend. In 0.1 n. Konz. ist das Koleoptilwachstum stark herabgesetzt, aber auch in anderen kleineren Konzentrationen steigt es nicht über den Kontrollwert. $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ fördert nicht das Koleoptilwachstum der Haferkeimlinge, wie die anderen Nitrate es tun.

Das Wurzelwachstum ist in 0,1 n. — 0,01 n. Konz. sehr stark gehemmt, in 0,001 n. — 0,0001 n. Konz. aber mehr gefördert als in anderen Nitratlösungen.

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ wirkt auf das Keimlingswachstum ähnlich wie NaNO_3 u. $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$. Fig. 13.

Bei den Nitraten fällt es sehr stark auf, dass sie das Wurzelwachstum — besonders bei höheren Konzentrationen — gewaltsam zurückhalten und das Koleoptilwachstum zu gleicher Zeit stark begünstigen. ($\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ bildet hier eine Ausnahme!) Die Wurzeln der Haferkeimlinge sehen in Nitratlösungen ganz anders aus als in anderen Lösungen. In höheren Konzentrationen der Nitratlösungen sind die Wurzelspitzen etwas angeschwollen und kugelförmig, die Wurzeln selbst ein wenig dicker und von gelblich-brauner Farbe. Sehr auffallend ist hier das Verhalten der Wurzelhaare. In stärkeren Konzentrationen treten diese sehr dicht auf und sind viel länger als in anderen Lösungen (etwa 3—4 mm lang). In schwächeren Konzentrationen, wo die Wurzeln sich mehr ausstrecken, geht die Länge der Wurzelhaare allmählich zurück und sie nehmen wieder ihr normales Aussehen und ihre normale Länge an. In höheren Konzentrationen, wo die Nitrate das Wurzelwachstum stark herabsetzen, sind die Verhältniszahlen (ges. Wurzellänge: Koleoptillänge = V) sehr klein und bei 0.1 n. K. < 1.0 ; das bedeutet, dass hier die Gesamtlänge der 4 Wurzeln (meistens haben sich nur drei Wurzeln gebildet!) kleiner ist als

die Koleoptillänge allein. Nur in 0,0001 n. K. von Nitratlösungen steigen die Verhältniszahlen Wl.:Kl. meistens schon über den Kontrollwert — 2.68.

Dass das NO_3 -Ion auf die Wurzelhaarbildung bei Hafer günstig wirkt, ist auch von Michaels (1916) beobachtet worden. Ausserdem ist eine stark hemmende Wirkung von 0.1 n. Nitratlösungen auf das Wurzelwachstum bei Gerste, Erbsen und Kresse von Bokorny (1913) festgestellt.

In allen Fällen aber, wo das Koleoptilwachstum von Nitraten gefördert und das Wurzelwachstum gleichzeitig herabgesetzt wird, bleibt das Gesamtwachstum (Kl. + mittl. Wurzellänge) dem Kontrollwerte sehr nahe, was uns einigermassen zwingt anzunehmen, hier sei das bessere Wachstum des einen Keimlings-elements (Kol.) auf Kosten des anderen (Wurzel) hervorgerufen.

Nach der Hemmungstärke beim Wurzelwachstum kann man die Kationen der Nitrats folgendermassen ordnen:

in 0.1 n. K.: $\text{Mg}, \text{K} < \text{Na} < \text{Ca} < \text{Ba} < \text{NH}_4 < \text{Li}$;

„ 0.01 „ „ : $\text{Mg} < \text{K} < \text{Ba} < \text{Na} < \text{Ca} < \text{NH}_4 < \text{Li}$;

„ 0.001 „ „ : $\text{Mg} < \text{Na} < \text{Ca} < \text{K} < \text{NH}_4 < \text{Li}$.

Daraus ersehen wir, dass Mg- und K-Nitrats am schwächsten, NH_4 - und Li-Nitrats am stärksten das Wurzelwachstum herabsetzen.

Die Wirkung der Kationen bei Nitrats auf das Koleoptilwachstum äussert sich in folgenden Ionenreihen:

In 0.1 n. K.: hemmen: $\text{Li} > \text{Ba} > \text{NH}_4 > \text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg}$;
fördert: K.

In 0.01 n. K. hemmen: $\text{Ba} > \text{Li}$;
fördern: $\text{K} > \text{NH}_4 > \text{Na}, \text{Mg} > \text{Ca}$.

In 0.001 n. K. fördern: $\text{NH}_4 > \text{Li} > \text{K} > \text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$.

In 0.0001 n. K. fördern: $\text{Li} > \text{K}, \text{Mg}, \text{Ca}, \text{Ba}$.

Daraus geht hervor, dass die meisten Kationen bei Nitrats fördernd auf das Koleoptilwachstum wirken (am stärksten — K- und NH_4 -Ionen in mässiger Konzentration), und dass von Li- und Ba-Ionen in stärkerer Konzentration das Koleoptilwachstum am meisten zurückgehalten wird.

In der Tabelle 16 sind die Versuchsergebnisse mit Haferkeimlingen in Rhodanid-, Sulfat- und Phosphatlösungen angegeben.

Tabelle 16.

Keimlinge von *Avena sativa* (RL. 0269 Jögeva).
Temp. 18.5° C. Versuchsdauer 24 St. $\times$ 7.

Salze	Konz. norm.	Koleoptil		Wurzel		K+W %	W K	Bemerkungen
		%	$\delta \pm$ %	%	$\delta \pm$ %			
NH ₄ CNS	0.1	—	—	—	—	—	—	Keimen auf, vom 3. Tage an aber sterben die Keimlinge ab.
	0.01	42.2	6.66	31.8	6.25	37.5	2.03	
	0.001	85.3	3.34	80.2	4.96	83.1	2.52	
	0.0001	102.9	3.56	105.1	4.57	103.9	2.73	
KCNS	0.1	—	—	—	—	—	—	Ebenso wie bei NH ₄ CNS.
	0.01	49.1	3.81	29.5	10.55	40.2	1.63	
	0.001	96.1	2.91	80.7	6.18	88.2	2.23	
	0.0001	104.7	2.97	105.1	5.38	104.9	2.70	
NaCNS	0.1	21.1	3.62	—	—	—	—	Vom 3. Tage an sterben die Wur- zeln ab.
	0.01	57.9	4.83	41.4	8.39	57.1	1.91	
	0.001	90.3	4.61	84.4	6.14	87.1	2.50	
	0.0001	105.8	3.67	101.4	4.75	102.8	2.61	
Ca(CNS) ₂	0.1	—	—	—	—	—	—	Keimen auf, die Keimlinge ster- ben aber vom 3. Tage an ab.
	0.01	49.5	5.88	55.8	5.66	51.8	3.02	
	0.001	96.4	3.15	91.5	7.65	94.7	2.54	
	0.0001	102.9	2.26	100.0	8.03	101.7	2.61	
Li ₂ SO ₄	0.1	—	—	—	—	—	—	Keimen nicht.
	0.01	84.6	3.60	62.5	7.62	76.9	2.03	
	0.001	105.8	2.35	104.9	7.58	105.4	2.67	
	0.0001	100.9	2.25	109.2	7.20	103.9	2.90	
(NH ₄) ₂ SO ₄	0.1	60.0	5.49	20.2	9.13	47.7	0.92	
	0.01	107.2	3.92	109.0	6.67	108.0	2.72	
	0.001	105.5	2.05	117.5	6.56	111.1	2.98	
	0.0001	99.0	2.45	110.9	8.77	105.6	2.98	
K ₂ SO ₄	0.1	89.1	3.83	71.6	5.96	80.9	2.16	
	0.01	104.9	2.73	108.5	3.07	106.1	2.77	
	0.001	103.2	2.07	105.3	5.61	104.2	2.73	
	0.0001	103.0	3.01	105.0	4.73	104.0	2.73	
MgSO ₄	0.1	95.5	2.36	65.5	6.13	81.5	1.85	
	0.01	98.7	3.47	106.3	4.27	102.3	3.00	
	0.001	100.6	3.35	105.2	4.63	102.6	2.81	
	0.0001	100.0	3.17	105.2	4.69	102.4	2.82	
KH ₂ PO ₄	0.1	103.0	6.08	76.3	4.59	93.5	1.97	
	0.01	107.4	2.28	102.5	4.02	105.7	2.56	
	0.001	100.8	4.02	106.9	4.10	103.0	2.85	
	0.0001	100.1	5.05	100.0	6.29	100.0	2.68	
Ca(H ₂ PO ₄) ₂	0.1	85.3	1.85	74.6	6.18	81.5	2.33	
	0.01	96.7	1.25	95.0	4.94	96.1	2.63	
	0.001	102.2	4.71	95.8	3.50	100.0	2.51	
	0.0001	96.4	3.82	98.1	3.70	97.0	2.72	

Rhodanide.

Alle Rhodanide in 0.1 n. K. rufen eine Koagulation des Plasmas in den Keimlingszellen hervor und töten alle Wurzel- und in den meisten Fällen auch die Koleoptil-Anlagen. Nur in 0.1 n. K. von NaCNS-Lösung können die Koleoptile sich in analoger Weise wie in NH_4Cl - und NH_4NO_3 -Lösungen weiterentwickeln.

NH_4CNS hemmt in 0.01–0.001 n. K. das Keimlingswachstum noch stark und zeigt nur in 0.0001 n. K. eine schwache Förderung. Fig. 14.

KCNS und NaCNS haben fast die gleiche Wirkung wie NH_4CNS . Nur NaCNS verhindert in 0.1 n. K. das Koleoptilwachstum nicht und ist weniger giftig als die anderen Rhodanide. Fig. 15.

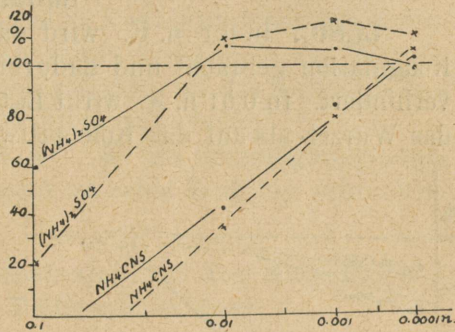


Fig. 14.

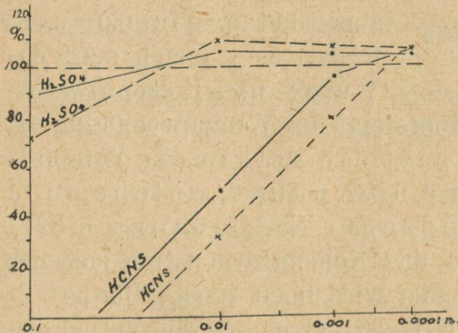


Fig. 15.

$\text{Ca}(\text{CNS})_2$ setzt in höheren Konzentrationen das Wurzelwachstum etwas weniger herab als die anderen Rhodanide, sonst aber ist es in der Wirkung den vorigen Rhodaniden sehr ähnlich. Fig. 16.

Die Kationenwirkung kann bei den Rhodaniden folgendermassen formuliert werden:

Das Koleoptilwachstum

in 0.01 n. K. hemmen: $\text{NH}_4 > \text{K}, \text{Ca} > \text{Na}$;

in 0.001 n. K. hemmen: $\text{NH}_4 > \text{Na} > \text{K}, \text{Ca}$;

in 0.0001 n. K. fördern: $\text{Na} > \text{K} > \text{NH}_4, \text{Ca}$.

Das Wurzelwachstum

in 0.01 n. K. hemmen: $\text{K} > \text{NH}_4 > \text{Na} > \text{Ca}$;

in 0.001 n. K. hemmen: $\text{K}, \text{NH}_4 > \text{Na} > \text{Ca}$;

in 0.0001 n. K. fördern: $\text{K} > \text{NH}_4 > \text{Na}$.

Wir sehen also, dass das NH_4 -Ion hier das Koleoptilwachstum am meisten hemmt, die Reihenfolge der anderen Kationen aber von der Konzentration beeinflusst wird. Das Wurzelwachstum dagegen wird in 0.1—0.001 n. K. am stärksten von K- und NH_4 -Ionen herabgesetzt und in 0.0001 n. K. von denselben Ionen gefördert.

Sulfate.

Li_2SO_4 . In 0.1 n. K. wird das Zellplasma durch Li_2SO_4 zur Koagulation gebracht und dadurch das Keimlingswachstum ganz verhindert. In 0.01 n. K. wirkt Li_2SO_4 nur hemmend und mehr auf das Wurzel- als auf das Koleoptilwachstum. In 0.001 n. K. wird das Keimlingswachstum durch Li_2SO_4 schwach gefördert. Es wirkt im ganzen ziemlich kontrastreich und analog den Rhodaniden.

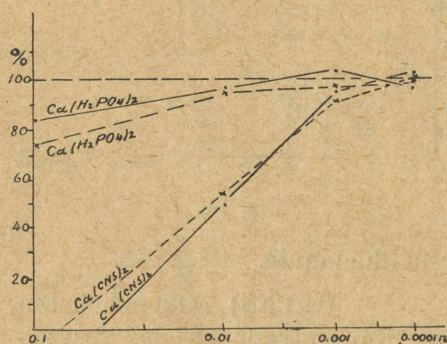


Fig. 16.

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (Fig. 14) setzt in 0.1 n. K. das Wachstum der Keimlingselemente, besonders aber der Wurzeln, stark herab. In 0.01 n. K. fördert es $\pm$ gleich stark das Wurzel- und Koleoptilwachstum. In 0.001 n. Konzentration übersteigt das Wurzelwachstum um 11—17% den Kontrollwert. Das ist die maximale Wurzellänge der Haferkeimlinge überhaupt, welche auch die Wurzellänge in Knopscher Nährlösung übersteigt. In 0.0001 n. K. nähert das Koleoptilwachstum sich der Kontrolle, das Wurzelwachstum aber wird noch stark gefördert. In 0.001 n. und 0.0001 n. K. von $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ erreichen die Verhältniszahlen (ges. Wl.: Kl.) einen sehr hohen Wert — 2.98, welcher nur selten durch Lösungen anderer Salze überholt wird und zwar nur dadurch, dass die betreffenden Salzlösungen in derselben Zeit, in der sie das Wurzelwachstum fördern, das Koleoptilwachstum zurückhalten, so z. B. NH_4Cl 0.01 n., MgCl_2 0.001 n., NH_4NO_3 0.0001 n.

K_2SO_4 und MgSO_4 hemmen in 0.1 n. K. schwach das Koleoptil- und etwas stärker das Wurzelwachstum. In 0.01 n. — 0.0001 n. K. wirken sie auf das Keimlingswachstum fördernd. Fig. 15.

Bei der Wirkung der Sulfate auf das Wachstum der Haferkeimlinge ist der Umstand beachtenswert, dass sie in schwächeren

Konzentrationen stark fördernd auf das Wurzelwachstum wirken. In 0.001 n. K. ist ihre Wirkung nach den Kationen: $\text{NH}_4 > \text{K}, \text{Mg} > \text{Li}$, in 0.0001 n. K.: $\text{NH}_4 > \text{Li} > \text{K}, \text{Mg}$.

Phosphate.

Es wurde nur die Wirkung von zwei Monophosphaten — KH_2PO_4 und $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ — auf das Wachstum der Haferkeimlinge nachgeprüft.

KH_2PO_4 fördert schwach in allen Konzentrationen das Koleoptilwachstum und in niederen Konzentrationen auch das Wurzelwachstum. Die optimalen Konzentrationen für das Koleoptil- und das Wurzelwachstum fallen aber nicht zusammen.

$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ setzt in 0.1—0.01 n. K. das Keimlingswachstum herab; in niederen Konzentrationen ist seine Wirkung sehr unbedeutend. Fig. 16.

2. Die Wirkung der Neutralsalze auf das Keimlingswachstum von *Triticum vulgare*.

Die vorigen Versuche haben uns gezeigt, wie die Neutralsalze gemäss ihrer Abhängigkeit von den Konzentrationen auf das Wachstum der Haferkeimlinge wirken. Weiter ist festzustellen, ob die Wirkung dieser Salze auf das Wachstum der Keimlinge von anderen Getreidearten dieselbe ist oder nicht.

Die weiteren Versuche sind mit einer reinen Linie von *Triticum vulgare* „Rubin“ — Jögeva — ausgeführt worden. Nur habe ich hier die Versuchsbedingungen in einigen Punkten etwas verändert, nämlich:

1) statt 15 ccm von Versuchslösungen auf 5 Filterscheiben nur 10 ccm genommen, was den optimalen Bedingungen des Keimbetts mehr entspricht,

2) die Temperatur in den Versuchsthermostaten bis 27.5°C , also bis zur optimalen Wachstumstemperatur¹⁾, erhöht und

3) die Konzentrationsintervalle der Salzlösungen verkleinert die Zahl der Versuchskonzentrationen aber vermehrt.

Sonst wurden die Versuche und die Berechnungen ähnlich wie bei *Avena sativa* ausgeführt.

Es sei noch darauf hingewiesen, dass die Weizenkeimlinge in 7 Tagen normalerweise stets 6 Wurzeln entwickelt haben, die Haferkeimlinge aber nur 4.

1) Die Temperaturerhöhung wurde vorgenommen, um das Keimlingswachstum zu beschleunigen, weil sonst die Versuche bei 18.5°C 8 Tage dauern müssten.

Die Versuchsergebnisse mit *Triticum vulgare* sind in den Tabellen 17—22 angegeben.

Der mittlere Variationsfehler beträgt bei Wurzeln 5.51%, bei Koleoptilen 5.65%.

Rhodanide.

Die Wirkung der Rhodanide auf das Wachstum der Weizenkeimlinge ist in den Hauptzügen, wie man aus Tabelle 17

Tabelle 17.

Die Wirkung der Neutralsalzkonzentrationen auf das Keimlingswachstum von *Triticum vulgare* (RL).

Temp. 27.5° C. Dauer der Versuche 24 St. × 7.

Salze	Konz. norm.	Koleoptil		Wurzel		Kl. + mittl. Wl. %	V	Bemerkungen
		%	$\delta \pm \%$	%	$\delta \pm \%$			
Aq. dest.		100.0	5.80	100.0	4.92	100.0	4.5	Kl. 6.5 cm. = 100.0% Mittl. Wl. 4.9 cm. = 100.0%
Leitungsw.		98.2	6.13	96.0	4.62	97.3	4.4	Kl. + mittl. Wl. 11.4 cm. = 100.0%
Knop. N.L.		123.1	4.65	108.2	4.90	116.6	4.0	
NH ₄ CNS	0.1	12.3	8.82	—	—	—	—	3 Wurzeln, — Chemotropismus, tot
	0.025	51.5	9.36	34.3	5.25	44.1	3.0	
	0.005	87.2	6.33	70.0	6.52	79.6	3.6	
	0.001	97.2	5.20	86.4	5.81	92.7	4.0	
	0.0005	102.4	4.70	98.1	4.12	100.2	4.3	
	0.0001	99.6	5.32	99.8	4.73	99.7	4.5	
KCNS	0.1	7.6	6.82	—	—	—	—	3 Wurzeln, — Chemotr., tot
	0.025	60.3	8.10	40.2	6.22	52.7	3.0	
	0.005	80.6	6.73	73.7	5.50	77.6	4.2	
	0.001	106.2	6.30	101.5	5.86	104.2	4.3	
	0.0005	112.5	7.42	112.5	4.92	112.5	4.5	
	0.0001	102.1	6.30	102.2	3.83	102.1	4.5	
NaCNS	0.1	21.5	8.34	14.3	8.84	18.4	2.0	3—5 W., — Chemotropismus
	0.025	66.2	7.23	53.0	6.64	60.5	3.6	
	0.005	97.4	6.21	90.9	5.35	94.6	4.2	
	0.001	105.3	5.36	102.3	5.43	103.5	4.4	
	0.0005	108.6	5.50	107.8	6.27	107.9	4.4	
	0.0001	104.5	4.83	104.6	5.77	104.5	4.5	
KBr	0.1	71.5	7.16	33.6	5.92	54.4	2.1	3—5 Wurzeln
	0.025	100.0	6.76	73.1	6.31	87.5	3.8	
	0.005	105.1	4.34	84.6	5.06	96.1	3.9	
	0.001	110.6	5.40	105.8	4.07	108.0	4.3	
	0.0005	106.4	4.31	103.7	3.82	105.3	4.4	
	0.0001	103.2	6.33	105.5	4.37	104.2	4.6	

und Fig. 17—19 ersehen kann, derjenigen auf die Haferkeimlinge sehr ähnlich. In 0.1 n. Konzentration wirken sie — besonders auf das Wurzelwachstum — giftig. In den ersten Tagen, wo die jungen Wurzeln noch am Leben sind, zeigen sie starke negative chemotropische Krümmungen. Das Plasma der Epidermis- und Parenchymzellen der Wurzeln ist an der unteren Seite meistens erstarrt und hat sich rings um den Zellkern zusam-

Tabelle 18.

Die Wirkung der Neutralsalzkonzentrationen auf das Keimlingswachstum von *Triticum vulgare* (RL.).

Temp. 27.5° C. Dauer der Versuche 24 St. $\times$ 7.

Salze	Konz. norm.	Koleoptil		Wurzel		Kl. + mittl. Wl. %	V	Bemerkungen
		%	$\delta \pm$ %	%	$\delta \pm$ %			
NaBr	0.1	8.3	6.2	18.4	8.4	11.7	5.0	3—5 Wurzeln
	0.025	77.9	8.2	88.2	8.0	82.4	5.3	
	0.005	102.5	4.6	109.1	3.2	105.3	4.8	
	0.001	108.4	5.3	110.6	4.8	108.8	4.6	
	0.0005	103.7	4.7	106.1	5.3	104.7	4.6	
	0.0001	101.1	3.8	101.6	5.7	101.3	4.5	
MgBr ₂	0.1	61.5	8.2	42.6	7.3	52.6	3.0	Wurzeln normal
	0.025	82.7	6.3	79.0	6.8	81.1	4.3	
	0.005	103.5	5.5	106.2	6.2	104.3	4.8	
	0.001	108.7	5.6	109.6	5.6	108.7	4.6	
	0.0005	103.7	5.3	106.0	5.8	104.7	4.6	
	0.0001	100.6	4.9	102.1	4.7	100.8	4.6	
CaBr ₂	0.1	72.0	6.6	51.0	7.3	62.4	3.6	Wurzeln normal
	0.025	86.2	6.5	66.6	5.8	77.9	3.5	
	0.005	97.3	5.8	81.3	3.2	90.0	3.9	
	0.001	100.1	5.2	91.1	5.4	96.2	4.1	
	0.0005	104.4	6.8	98.2	6.2	102.4	4.3	
	0.0001	100.2	5.1	100.3	5.3	100.2	4.5	
NH ₄ Cl	0.1	16.4	9.3	18.4	5.1	17.3	5.1	Koleopt. schwächlich
	0.025	70.6	7.3	50.2	4.6	61.8	3.2	
	0.005	85.4	6.1	81.9	4.3	83.9	4.3	
	0.001	103.4	5.6	99.1	5.2	101.6	4.3	
	0.0005	107.3	6.4	102.5	3.3	105.2	4.3	
	0.0001	102.5	5.8	106.6	4.6	104.2	4.6	
KCl	0.1	45.3	6.7	41.7	6.8	43.7	4.1	
	0.025	96.6	6.3	68.6	5.3	83.6	3.7	
	0.005	126.0	5.9	109.7	6.3	119.0	4.0	
	0.001	126.8	6.7	129.7	5.8	125.5	4.4	
	0.0005	115.4	5.3	110.9	5.9	113.4	4.4	
	0.0001	107.3	6.4	106.8	6.6	107.0	4.5	

mengezogen. Die Zellen der oberen Seite der Wurzeln sind von normalem Aussehen, lebensfähig und mit Wurzelhaaren versehen. An der unteren Seite sind die Epidermiszellen der Wurzeln überall nur mit kleinen Ausbuchtungen, nicht aber mit voll entwickelten Wurzelhaaren ausgestattet. In 0.01 und 0.001 n. K. bekommen die Wurzeln schon allseitig Wurzelhaare. Doch sind die Wurzelhaarspitzen in 0.01 n. Lösungen meistens kugelförmig.

Tabelle 19.

Die Wirkung der Neutralsalzkonzentrationen auf das Keimlingswachstum von *Triticum vulgare* (RL.).

Temp. 27.5° C. Dauer der Versuche 24 St. $\times$ 7.

Salze	Konz. norm.	Koleoptil		Wurzel		Kl. + mittl. % Wt.	V	Bemerkungen
		%	$\delta \pm$ %	%	$\delta \pm$ %			
NaCl	0.1	15.3	6.5	24.7	6.6	20.1	7.2	3—4 Wurzeln, — Chemotropismus, Wurzelspitzen tot
	0.25	83.8	7.2	82.0	5.1	83.0	4.4	
	0.005	97.4	5.0	97.0	6.2	97.2	4.5	
	0.001	103.7	5.7	106.7	6.3	105.4	4.6	
	0.0005	100.5	5.2	102.8	5.6	101.5	4.6	
	0.0001	99.0	6.2	103.3	5.5	101.2	4.7	
LiCl	0.1	5.6	5.3	18.2	6.2	11.0	6.9	
	0.025	86.1	6.1	78.4	7.0	83.0	4.1	
	0.005	104.5	5.5	97.4	6.3	101.4	4.3	
	0.001	105.0	4.2	98.8	5.4	101.7	4.2	
	0.0005	101.2	5.2	99.5	6.8	100.3	4.4	
	0.0001	100.6	4.6	100.5	5.0	100.5	4.5	
MgCl ₂	0.1	63.0	5.2	82.0	6.3	71.3	6.0	
	0.025	81.0	4.7	89.6	5.6	84.7	5.0	
	0.005	96.8	4.7	98.0	5.1	97.3	4.6	
	0.001	104.3	5.3	109.0	6.3	106.3	4.7	
	0.0005	104.5	4.8	106.9	4.0	105.5	4.6	
	0.0001	101.6	5.8	103.8	4.2	102.5	4.6	
BaCl ₂	0.1	19.5	6.7	19.4	9.8	19.5	4.5	Keimlinge schwach
	0.025	73.6	5.5	69.8	6.7	71.9	4.3	
	0.005	92.0	4.8	83.3	6.1	88.2	4.2	
	0.001	97.7	4.6	93.4	4.4	95.6	4.3	
	0.0005	107.4	5.0	103.1	5.0	105.5	4.3	
	0.0001	110.6	5.1	108.4	4.4	109.6	4.4	
SrCl ₂	0.1	61.5	6.2	55.2	7.3	58.8	4.0	
	0.025	80.3	5.4	74.2	7.2	77.7	4.2	
	0.005	96.9	4.5	85.4	6.7	92.1	4.0	
	0.001	99.6	5.1	95.7	4.1	97.9	4.3	
	0.0005	102.0	4.7	103.6	4.6	102.7	4.4	
	0.0001	100.6	4.7	100.4	5.0	100.5	4.5	

angeschwollen, das Plasma in diesen Spitzen ist von körniger Struktur und zum Teil von der Zellwand abgelöst. Am 3.—4. Tage sterben die Wurzeln in 0.1 n. NH_4CNS - und KCNS -Lösungen ab; in NaCNS -Lösung bleiben sie noch lebensfähig, wachsen aber nur wenig weiter. Das Zellplasma der Wurzelspitzen wird zu dieser Zeit glasig und gerinnt. Nach der Stärke der giftigen Wirkung der Salze auf das Wurzelwachstum kann man die 0.1 norm.

Tabelle 20.

Die Wirkung der Neutralsalzkonzentrationen auf das Keimlingswachstum von *Triticum vulgare* (RL.).

Temp. 27.5° C. Dauer der Versuche 24 St. $\times$ 7.

Salze	Konz. norm.	Koleoptil		Wurzel		Kl. + mittl. Wl. %	V	Bemerkungen
		%	$\delta \pm$ %	%	$\delta \pm$ %			
CaCl_2	0.1	65.6	5.2	45.3	6.3	56.2	3.5	
	0.025	88.0	4.7	72.1	4.7	81.1	3.7	
	0.005	98.3	4.6	85.4	5.1	93.0	4.0	
	0.001	101.1	5.1	96.6	5.4	99.1	4.3	
	0.0005	98.9	4.4	97.8	4.6	98.2	4.4	
	0.0001	99.2	4.6	99.3	4.8	99.2	4.5	
NH_4NO_3	0.1	13.1	6.3	6.2	2.4	9.9	2.2	3—6 Wurzeln tot
	0.025	63.2	6.0	44.5	4.8	55.2	3.2	
	0.005	82.0	4.7	65.4	3.6	74.9	3.6	
	0.001	102.0	4.3	90.7	5.4	97.1	4.0	
	0.0005	104.0	4.7	101.7	4.3	103.0	4.4	
	0.0001	102.5	5.1	100.4	6.2	101.5	4.4	
KNO_3	0.1	18.4	6.0	16.0	6.3	17.5	4.0	Wurzelspitzen gelblich,—Chemotropism.
	0.025	124.2	8.0	58.6	4.8	97.4	2.1	
	0.005	127.3	4.8	84.8	4.9	108.7	2.9	
	0.001	114.6	4.3	97.3	6.1	106.7	3.8	
	0.0005	110.4	3.9	102.9	5.7	107.1	4.2	
	0.0001	104.5	5.7	103.7	4.8	104.4	4.5	
NaNO_3	0.1	—	—	—	—	—	—	Keimlinge tot
	0.025	72.0	5.8	51.2	6.1	63.1	3.2	
	0.005	106.3	5.2	77.7	7.2	94.4	3.3	
	0.001	113.2	3.6	96.2	5.3	105.2	3.8	
	0.0005	108.9	4.9	102.4	5.7	106.1	4.2	
	0.0001	104.8	5.1	103.3	4.0	103.5	4.4	
LiNO_3	0.1	—	—	—	—	—	—	Keimlinge tot
	0.025	59.0	6.6	40.0	5.8	51.2	3.0	
	0.005	111.4	6.8	76.4	6.3	95.6	3.1	
	0.001	107.2	6.0	98.3	4.9	103.4	4.1	
	0.0005	104.1	4.2	100.2	4.6	102.3	4.3	
	0.0001	100.3	5.4	102.5	5.5	101.4	4.6	

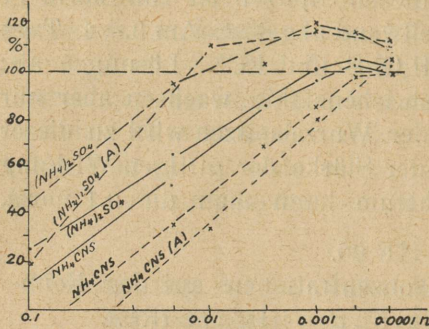


Fig. 17.

keimlinge von Rhodaniden folgendermassen gehemmt: $\text{KCNS} > \text{NH}_4\text{CNS} > \text{NaCNS}$. Hier ist die Wirkung des KCNS etwas stärker als die der anderen Rhodanide, und in dieser Beziehung stimmen die Wirkungsreihen der Salze bei *Triticum* und *Avena* nicht überein. Die hemmende Wirkung der Rhodanide auf das Wachstum der Weizenkeimlinge hört bei ca. 0.001 n. K. auf.

Zum Vergleich sind in Fig. 17—24 mit Kurzstrichen die Kurven des Wurzelwachstums der Haferkeimlinge neben denjenigen von *Triticum* ausgeführt. Beide Kurven laufen bei den Rhodaniden (Fig. 17

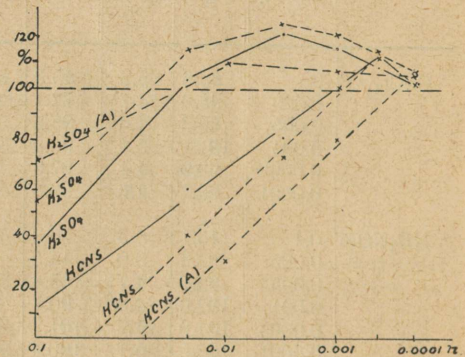


Fig. 18.

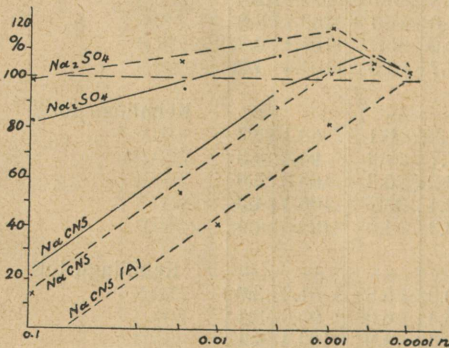


Fig. 19.

Rhodanid-Lösungen folgendermassen ordnen:

$\text{NH}_4\text{CNS} > \text{KCNS} > \text{NaCNS}$.

Die Koleoptile der Weizenkeimlinge blieben in 0.1 n. Konzentration von allen verwendeten Rhodanid-Lösungen lebensfähig; ihre weitere Entwicklung jedoch war ziemlich schwach. Bei dieser Konzentration wird das Koleoptilwachstum der Weizen-

bei den Rhodaniden (Fig. 17—19) mehr oder weniger parallel nebeneinander, nur laufen diejenigen von *Avena* (A) stets unter und rechts von den Weizenkurven. Das beweist also, dass die Weizenkeimlinge gegen die entsprechenden Salzkonzentrationen weniger empfindlich sind als die Haferkeimlinge. In 0.001—0.0001 n. K. wird

das Keimlingswachstum durch KCNS und NaCNS schwach gefördert.

Bromide.

Sie hemmen in stärkeren Konzentrationen und fördern in schwächeren das Keimlingswachstum von Weizen $\pm$ in gleicher Weise wie das von Hafer. In der Hemmung des Koleoptilwachstums nimmt NaBr die erste Stelle ein; in der Förderung sind KBr, NaBr und MgBr₂ fast gleich stark. Das Wurzelwachstum wird von CaBr₂ in allen verwendeten Konzentrationen, von anderen Bromiden aber nur in stärkeren Konzentrationen herabgesetzt. NaBr und MgBr₂ wirken auf das Wurzelwachstum der Weizenkeimlinge ziemlich stark fördernd.

In den Hauptzügen ist die Wirkung der Bromide auf das Wurzelwachstum bei Weizen- und Haferkeimlingen gleich.

Chloride.

Angaben über die Wirkung der verschiedenen Chloride auf das Wachstum der Weizenkeimlinge sind in den Tabellen 18—20 zu finden. Beim Vergleichen dieser Tabellen mit der Tabelle 14 sehen wir, dass die Chloride das Wachstum der Weizen- und Haferkeimlinge verschieden beeinflussen. So hat NH₄Cl in mässigen und niederen Konzentrationen das Wurzelwachstum der Haferkeimlinge stark gefördert; hier dagegen setzt es das Wurzelwachstum der Weizenkeimlinge fast in allen verwendeten Konzentrationen herab. Das Koleoptilwachstum der Haferkeimlinge wurde von NH₄Cl in allen Konzentrationen gehemmt, hier — bei den Weizenkeimlingen — wird es in niederen Konzentrationen (0.001—0.0001 n. K.) gefördert.

KCl ruft in mässigen und niederen Konzentrationen bei Weizenkeimlingen ein sehr starkes Wachstum der Koleoptile und Wurzeln hervor, welches die Kontrolle um 24—26% übersteigt. Die optimalen Konzentrationen für das Koleoptil- und Wurzelwachstum fallen $\pm$ zusammen. Fig. 20.

Bei Haferkeimlingen fördert KCl ebenfalls stark das Koleoptil- und Wurzelwachstum, dort sind aber die optimalen Konzentrationen für das Koleoptil- und das Wurzelwachstum verschieden. Der Verlauf der Wachstumskurven ist bei Triticum konkordant, bei Avena — gekreuzt. In 0.1 n. K. setzt KCl das Wachstum der Weizenkeimlinge mehr herab als das der Haferkeimlinge.

NaCl. In stärkeren Konzentrationen von NaCl wird das Wurzel- und Koleoptilwachstum der Weizenkeimlinge stark gehemmt,

in niederen aber schwach gefördert; bei Haferkeimlingen ruft NaCl in allen Konzentrationen eine Hemmung des Wurzelwachstums hervor und fördert in 0.01—0.0001 n. K. schwach das Koleoptilwachstum. Ferner ist die Wirkung dieses Salzes in allen Konzentrationen auf das Wachstum der Keimlingselemente von Weizen fast gleich stark, so dass die Verhältniszahlen (ges. Wl.:Kl.) sehr wenig (zwischen 4.4 und 4.7) schwanken; bei Haferkeimlingen sind die Schwankungen der Verhältniszahlen bedeutend grösser.

LiCl ist seiner Wirkung nach NaCl und NH_4Cl sehr ähnlich, auch stimmt seine Wirkung bei Hafer- und Weizenkeimlingen überein und die Kurven verlaufen $\pm$ gleich. Fig. 20.

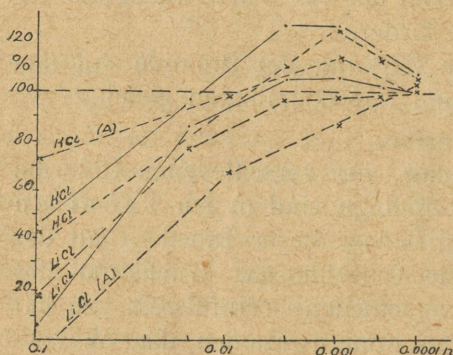


Fig. 20.

MgCl₂ setzt in höheren Konzentrationen verhältnismässig weniger als die anderen Chloride das Keimlingwachstum von Weizen herab. Auf das Wurzelwachstum wirkt es günstiger als auf das Koleoptilwachstum ($V = 6.0-4.6$). Im ganzen aber ist seine Wirkung bei Weizen eine andere als bei Hafer.

BaCl₂. In 0.1 n. K. hemmt es das Wachstum der Weizenkeimlinge sehr stark. Mit dem Fallen der Konzentrationen hört seine hemmende Wirkung allmählich auf; in niederen Konzentrationen wirkt es schon fördernd.

SrCl₂ und **CaCl₂** wirken auf das Wachstum der Weizenkeimlinge mehr oder weniger gleich und hemmen es: CaCl_2 in allen verwendeten Konzentrationen, SrCl_2 bis 0.001 n. K. Die Wirkung von CaCl_2 ist bei Weizen- und Haferkeimlingen fast eine gleiche.

Die Kationenwirkung der Chloride in den einzelnen Konzentrationen ist bei den Weizenkeimlingen die folgende:

- in 0.1 n. K. hemmen das Koleoptilwachstum: $\text{Li} > \text{Na}$,
 $\text{NH}_4 > \text{Ba} > \text{K} > \text{Sr} > \text{Mg} > \text{Ca}$;
- in 0.025 n. K. hemmen: $\text{NH}_4 > \text{Ba} > \text{Sr} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{Li}$
 $> \text{Ca} > \text{K}$;
- in 0.001 n. K. hemmen nur Ba und Sr und
fördern: $\text{K} > > > \text{Li} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{NH}_4, \text{Ca}$;
- in 0.0001 n. K. fördern: $\text{Ba} > \text{K} > \text{NH}_4 > \text{Mg}$.

Auf das Wurzelwachstum wirken die Chloride folgendermassen:

- in 0.1 n. K. hemmen: $\text{Li}, \text{NH}_4 > \text{Ba} > \text{Na} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Sr} > \text{Mg}$;
 in 0.025 n. K. hemmen: $\text{NH}_4 > \text{K} > \text{Ba} > \text{Ca} > \text{Sr} > \text{Li} > \text{Na} > \text{Mg}$;
 in 0.001 n. K. hemmen: $\text{Ba} > \text{Sr} > \text{Ca} > \text{Li} > \text{NH}_4$,
 fördern: $\text{K} > > > \text{Mg} > \text{Na}$;
 in 0.0001 n. K. fördern: $\text{Ba} > \text{NH}_4, \text{K} > \text{Na}, \text{Mg} > \text{Li}$.

Wenn wir nun diese Kationenreihen mit denjenigen bei Hafer (Seite 58 u. 59) vergleichen, dann sehen wir, dass sie in 0.1 n. K. bei Wurzel- und Koleoptilwachstum in den Hauptzügen noch stimmen, in niederen Konzentrationen aber stark abweichen.

Die wichtigsten Unterschiede sind in 0.01 n. K. (Hafer) und 0.025 n. K. (Weizen) in der Wirkung von **Li** zu finden, welches das Koleoptil- und Wurzelwachstum von Weizen viel weniger hemmt als dasjenige von Hafer. Die Stellung des NH_4 -Ions wiederum ist eine umgekehrte: es setzt das Koleoptilwachstum bei Hafer viel stärker als bei Weizen

herab, fördert aber in diesen Konzentrationen das Wurzelwachstum bei Hafer und hemmt es bei Weizen mehr als andere Chloride.

In 0.001 n. K. hemmen Ca - und NH_4 -Ionen das Koleoptilwachstum bei Hafer, wirken bei Weizen dagegen fördernd. Die Wirkung der Kationen auf das Wurzelwachstum bei Hafer und Weizen ist bereits in dieser Konzentration eine ganz verschiedene.

In 0.0001 n. K. sind in der Kationenwirkung bei Hafer- und Weizenkeimlingen die Unterschiede im Wachstum sehr unbedeutend, so dass die Ionenreihen diese Unterschiede nicht mehr exakt zeigen können.

Nitrate.

Ihre Wirkung auf das Wachstum der Weizenkeimlinge können wir in den Tabellen 20 und 21 und den Fig. 21—23 verfolgen.

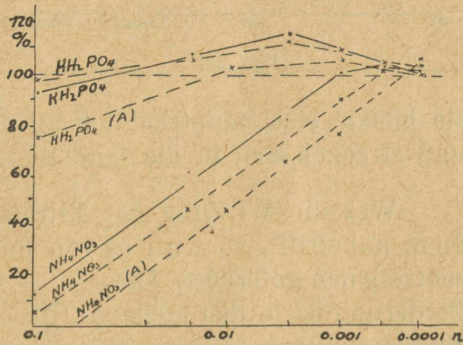


Fig. 21.

Wenn die einzelnen Nitrate in ihrer Wirkung auf das Wachstum der Weizen- und Haferkeimlinge auch nicht ganz übereinstimmen, sehen wir hier doch eine grosse Ähnlichkeit in dem Sinne, dass sie alle das Längenwachstum der Wurzeln von

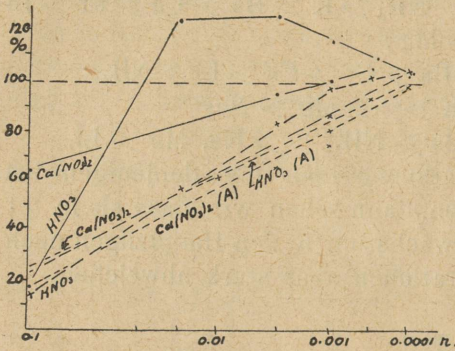


Fig. 22.

Weizen- und Haferkeimlingen in stärkeren Konzentrationen sehr stark herabsetzen. In niederen Konzentrationen rufen nur $\text{Ba(NO}_3)_2$ und NH_4NO_3 bei Haferwurzeln eine merkbare und die Variationsgrenze übersteigende Förderung hervor. Sonst aber wird in Nitratlösungen bei Weizen ebenso wie bei Haferwurzeln eine starke Bildung von

Wurzelhaaren hervorgerufen: sie bilden sich hauptsächlich an der oberen Seite der Wurzeln und strecken sich in die feuchte Luft.

Was die Wirkung der Nitrate auf das Koeoptilwachstum anbetrifft, so wird es von mittleren und schwächeren Konzentrationen gefördert. Diese Förderung ist in den meisten Nitratlösungen bei Weizen viel schwächer als bei Hafer und kommt in stärkeren Konzentrationen überhaupt nicht vor: in 0.1 n. K. setzen alle Nitrate das Koeoptilwachstum von Weizenkeimlingen ziemlich stark herab, wobei LiNO_3 und NaNO_3 das Keimlingswachstum sogar verhindern. Bei Haferkeimlingen sehen wir eine starke Hemmung des Koeoptilwachstums nur in 0.1 n. K. von LiNO_3 , NH_4NO_3 und $\text{Ba(NO}_3)_2$; NaNO_3 und $\text{Ca(NO}_3)_2$ hemmen schwach, $\text{Mg(NO}_3)_2$ weist keine Hemmung auf und KNO_3 zeigt sogar eine schwache Förderung des Koeoptilwachstums. Eine starke Begünstigung des Koeoptilwachstums wird durch KNO_3 in 0.005 n.

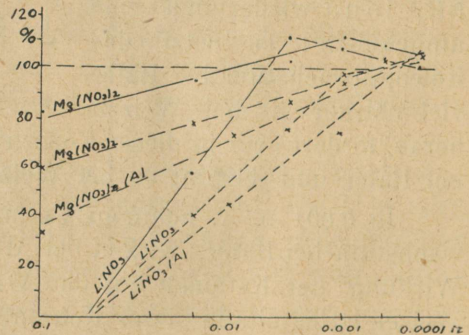


Fig. 23.

K. hervorgerufen; hier ist das Koleoptilwachstum sogar stärker als in der Knopschen Nährlösung. Fig. 22.

Die Wirkung der Kationen auf das Wachstum der Keimlingelemente von Weizen ist folgende:

Koleoptilwachstum

in 0.1 n. K. hemmen: Li, Na (tötend) $> > \text{NH}_4 > \text{K} > \text{Ba}$
 $> \text{Ca} > \text{Sr} > \text{Mg};$

Tabelle 21.

Die Wirkung der Neutralsalzkonzentrationen auf das Keimlingswachstum von *Triticum vulgare* (RL.).

Temp. 27.5° C. Dauer der Versuche 24 St. $\times$ 7.

Salze	Konz. norm.	Koleoptil		Wurzel		Kl. + Wl. %	V	Bemerkungen
		%	$\delta \pm$ %	%	$\delta \pm$ %			
$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	0.1	83.0	6.6	60.0	4.1	72.8	3.2	
	0.025	93.6	7.1	76.8	4.9	86.8	3.7	
	0.005	102.7	5.7	86.5	5.0	95.6	3.8	
	0.001	111.8	6.2	99.1	4.7	106.5	4.0	
	0.0005	108.6	4.4	103.5	5.7	106.7	4.3	
	0.0001	105.1	4.6	104.8	5.8	105.0	4.5	
$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	0.1	43.1	4.4	32.6	5.3	38.5	3.5	
	0.025	75.3	6.3	60.4	6.2	68.9	3.6	
	0.005	101.6	3.8	70.8	5.8	87.7	3.6	
	0.001	104.5	4.1	91.1	5.7	98.2	3.9	
	0.0005	103.0	4.0	101.2	6.0	102.1	4.4	
	0.0001	100.7	5.5	102.6	5.2	101.5	4.6	
$\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$	0.1	70.4	5.6	38.7	4.7	55.8	2.8	
	0.025	93.1	5.3	70.3	5.4	83.3	3.4	
	0.005	102.7	4.5	85.8	5.0	95.2	3.9	
	0.001	103.2	4.7	94.5	4.4	99.4	4.1	
	0.0005	104.2	4.0	101.2	5.4	102.4	4.3	
	0.0001	102.0	5.5	103.6	4.8	102.8	4.5	
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	0.1	65.6	7.2	31.0	6.7	50.0	2.4	
	0.025	93.3	6.7	56.0	6.3	77.3	2.7	
	0.005	97.7	4.7	63.5	4.0	82.4	3.0	
	0.001	100.9	5.1	75.6	4.7	90.0	3.5	
	0.0005	106.6	5.4	94.8	5.1	101.6	4.0	
	0.0001	103.3	4.0	98.4	4.8	100.1	4.3	
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0.1	24.6	5.4	45.0	6.1	33.4	8.0	
	0.025	64.7	4.8	94.9	7.0	77.6	6.6	
	0.005	78.6	5.5	100.9	6.6	87.7	5.7	
	0.001	101.4	4.0	119.5	4.8	108.7	5.3	
	0.0005	105.3	4.3	116.5	5.3	110.3	5.0	
	0.0001	101.7	5.2	108.0	6.3	104.6	4.8	

in 0.025 n. K. hemmen: $\text{Li} > \text{NH}_4 > \text{Na} > \text{Ba} > \text{Sr} > \text{Ca}$
 $> \text{Mg}$, fördert: K;
 in 0.001 n. K. fördern: $\text{K} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{Li} > \text{Ba} > \text{Sr}$
 $> \text{NH}_4 \parallel \text{Ca}$;
 in 0.0001 n. K. fördern: $\text{Mg} > \text{K}, \text{Na} > \text{Ca} > \text{Sr}, \text{NH}_4$
 $> \text{Ba}, \text{Li}$.

Tabelle 22.

Die Wirkung der Neutralsalzkonzentrationen auf das Keimlings-
 wachstum von *Triticum vulgare* (RL.).
 Temp. 27.5° C. Versuchsdauer 24 St. $\times$ 7.

Salze	Konz. norm.	Koleoptil		Wurzel		Kl. + mittl. Wl. %	V	Bemerkungen
		%	$\pm$ %	%	$\pm$ %			
K_2SO	0.1	35.4	7.1	55.0	6.8	43.9	7.1	3 Wurzeln, — Chemotr., die Keimlinge sind kaum lebendig
	0.025	105.0	7.6	116.6	5.0	110.0	5.0	
	0.005	122.4	8.4	125.1	4.8	123.6	4.7	
	0.001	116.4	5.8	121.3	4.5	120.4	4.8	
	0.0005	109.5	4.4	115.0	5.1	111.7	4.7	
	0.0001	102.3	4.5	104.8	5.5	103.3	4.6	
Na_2SO_4	0.1	83.3	7.1	100.0	6.5	90.5	5.4	
	0.025	95.6	6.6	106.0	4.8	100.0	5.0	
	0.005	107.7	7.5	114.5	5.3	110.6	4.8	
	0.001	115.1	6.4	120.1	4.8	117.2	4.8	
	0.0005	102.2	6.0	103.7	3.8	103.0	4.6	
	0.0001	100.2	4.8	102.3	4.7	101.7	4.6	
Li_2SO	0.1	4.7	4.5	11.5	6.3	7.7	5.6	
	0.025	71.6	6.4	83.3	4.7	76.6	5.2	
	0.005	105.2	6.6	111.1	6.2	108.2	4.7	
	0.001	104.1	6.2	107.8	5.6	105.7	4.7	
	0.0005	100.6	5.6	100.5	6.4	100.5	4.5	
	0.0001	100.3	4.4	100.9	5.6	100.6	4.5	
MgSO_4	0.1	77.6	6.9	115.0	7.8	94.0	6.0	
	0.025	98.2	6.3	120.0	8.3	107.5	5.5	
	0.005	103.2	5.5	113.3	6.8	107.6	5.1	
	0.001	111.2	5.3	110.4	6.0	110.5	4.5	
	0.0005	105.0	5.4	106.3	4.6	105.6	4.6	
	0.0001	100.4	4.1	100.7	5.1	100.5	4.5	
KH_2PO_4	0.1	93.1	6.5	99.2	7.8	95.8	4.8	
	0.025	108.2	6.8	106.4	5.1	107.0	4.4	
	0.005	115.8	7.6	112.3	4.9	113.1	4.4	
	0.001	110.2	5.8	110.3	5.1	110.2	4.5	
	0.0005	105.8	6.3	105.8	6.3	110.8	4.5	
	0.0001	99.1	5.2	103.4	4.6	100.2	4.7	

Wurzelwachstum

in 0.1 n. K. hemmen: Li, Na (tötend) $\gg \text{NH}_4 > \text{K} > \text{Ca}$
 $> \text{Ba} > \text{Sr} > \text{Mg}$;
 in 0.025 n. K. hemmen: $\text{Li} > \text{NH}_4 > \text{Na} > \text{Ca} > \text{K} > \text{Ba}$
 $> \text{Sr} > \text{Mg}$;
 in 0.001 n. K. hemmen: $\text{Ca} > \text{Ba} > \text{NH}_4 > \text{Sr} > \text{Na} > \text{K}$
 $> \text{Li} > \text{Mg}$;
 in 0.0001 n. K. fördern: $\text{Mg} > \text{K}, \text{Sr}, \text{Na} > \text{Ba}, \text{Li}, \text{NH}_4$,
 hemmt: Ca .

Diese Kationenreihen sind in 0.1 und 0.025 n. K. bei Koleoptil- und Wurzelwachstum (abgesehen von K, welches das Koleoptilwachstum in 0.025 n. K. fördert) fast identisch: Li-, Na-, NH_4 - und Ba-Nitrate setzen in diesen Konzentrationen am stärksten, Ca-, Sr- und Mg-Nitrate am wenigsten das Wachstum der Keimlingselemente herab. In niederen Konzentrationen stimmen die Kationenreihen bei Koleoptil- und Wurzelwachstum nicht mehr überein. Diese Kationenreihen sind von denjenigen bei Chloriden verschieden. Sie stimmen mit denjenigen von Nitraten bei Haferkeimlingen ebenfalls nicht überein.

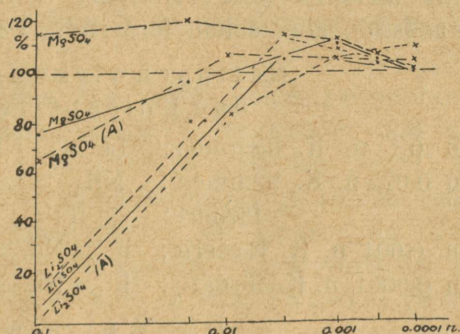


Fig. 24.

Sulfate.

Wie die Sulfate auf das Wachstum der Weizenkeimlinge wirken, können wir in den Tabellen 21—22 und in den Fig. 17—19 und 24 sehen.

Es fällt zunächst ins Auge, dass die Sulfate in mässigen und niederen Konzentrationen besonders stark das Wurzelwachstum begünstigen, welche Erscheinung wir auch bei den Haferkeimlingen beobachtet haben. Darum sind die V-Zahlen stets grösser als 4.5. Bemerkenswert ist es ferner, dass diese begünstigende Wirkung der meisten Sulfate in ziemlich breiten Konzentrationsintervallen—von 0.05 bis 0.0001 n. K.—zur Geltung kommt, bei MgSO_4 und Na_2SO_4 sogar in 0.1—0.0001 n. K. Weiter sehen wir, dass die Wachstumskurven der Wurzeln und Koleoptile bei Weizenkeimlingen

konkordant verlaufen und die optimalen Konzentrationen bei Wurzel- und Koleoptilwachstum $\pm$ zusammenfallen, bei Haferkeimlingen dagegen sich stets kreuzen. Besonders stark wird das Keimlingswachstum bei Weizen durch K_2SO_4 gefördert, jedenfalls viel stärker als bei Hafer. Fig. 18.

Auch $MgSO_4$ wirkt auf das Wurzelwachstum bei Weizen viel mehr fördernd als bei Hafer. Fig. 24.

Nur Li_2SO_4 setzt in 0.1 n. K. das Wurzel- und Koleoptilwachstum bei Weizen fast bis auf 0 herab. In 0.1 n. Li_2SO_4 -Lösung haben Weizenkeimlinge nur 3 Wurzeln gebildet, welche sich zur Lösung negativ chemotropisch stellen. In mässigen und niederen Konzentrationen wirkt Li_2SO_4 auf das Wurzelwachstum aber schon fördernd. Fig. 24.

Kationenwirkung mit SO_4 -Ion: das Koleoptilwachstum

in 0.1 n. K. hemmen: $Li \gg NH_4 > K > Mg > Na$;

in 0.025 n. K. hemmen: $NH_4 > Li > Na > Mg$,

fördert: K;

in 0.001 n. K. fördern: $K > Na > Mg > Li > NH_4$;

in 0.0001 n. K. fördern: $K > Na, Mg, Li, NH_4$.

Das Wurzelwachstum

in 0.1 n. K. hemmen: $Li > NH_4 > K$,

fördert: Mg;

in 0.025 n. K. fördern: $Mg > K > Na$,

hemmen: $Li > NH_4$;

in 0.001 n. K. fördern: $K > Na > NH_4 > Mg > Li$;

in 0.0001 n. K. fördern: $NH_4 > K > Na > Li > Mg$.

Auch hier verändern sich die Stellungen der Kationen in den Reihen mit den Konzentrationen der Salzlösungen. Ausserdem stimmen sie mit der Kationenwirkung von Sulfaten bei Hafer nicht überein.

Von den Phosphaten habe ich in der Tabelle 22 nur die Angaben über die Wirkung von KH_2PO_4 angeführt. Dieses Salz fördert das Wachstum der Weizenkeimlinge fast in allen verwendeten Konzentrationen; seine optimale Wirkung kommt jedoch in 0.005 n. K. zustande. In den Hauptzügen stimmt die Wirkung des KH_2PO_4 bei Weizen und Hafer überein (Fig. 21). NaH_2PO_4 hat auf das Wachstum der Weizenkeimlinge eine ähnliche, nur etwas schwächere Wirkung als KH_2PO_4 gehabt.

3. Versuche mit *Secale cereale*.

Die vorigen Versuche mit *Avena* und *Triticum* haben uns gezeigt, dass die Neutralsalze und ihre Konzentrationen ziemlich gleichmässig und mehr oder weniger in gleicher Richtung auf das Wurzelwachstum der Keimlinge wirken und dass beim Koleoptilwachstum stärkere Abweichungen und Verschiedenheiten vorkommen.

Um die Wirkung der Salze auf das Koleoptilwachstum eingehender kennenzulernen, habe ich meine Versuche noch mit einer dritten Getreideart — *Secale cereale* — fortgesetzt und hier nur die Wirkung der Salze auf das Koleoptilwachstum in Betracht gezogen, weil die Anzahl der Keimlingswurzeln hier keine konstante ist.

Für die Versuche wurden die Samen einer reinen Linie von *Secale cereale* — 019, Jögeva — verwendet und die Versuche analog den vorigen in Thermostaten bei 18.5°C in Doppelschalen, wo auf 5 Filtrierpapierscheiben je 10 cm Salzlösung genommen wurde, ausgeführt. Die Dauer der Versuche betrug 7×24 Stunden. Der mittlere Variationsfehler ist $\pm 4.3\%$. Die Versuchsergebnisse sind in der Tabelle 23 zusammengefasst.

Um die Ergebnisse bei *Secale* mit denjenigen bei *Avena* und *Triticum* besser vergleichen zu können, habe ich die Angaben über die Wirkung der verschiedenen Salzkonzentrationen auf das Koleoptilwachstum von *Avena*, *Triticum* und *Secale* bei den einzelnen Salzen in Kurvenform nebeneinander gezeichnet. Diese Kurven sind bei den verschiedenen Getreidearten mit verschiedenen Stricharten ausgeführt und mit Buchstaben versehen, wobei A — *Avena*, T — *Triticum* und S — *Secale* bedeutet.

NH₄-Salz. Fig. 25—27.

Zunächst sehen wir, dass alle NH₄-Salze in höheren Konzentrationen das Koleoptilwachstum der Getreidekeimlinge stark herabsetzen, in niederen Konzentrationen aber fördern. (Eine Ausnahme bildet NH₄Cl bei *Avena*, welche in den verwendeten Konzentrationen keine Förderung des Koleoptilwachstums zeigt.)

Die Herabsetzung des Koleoptilwachstums in höheren Salzkonzentrationen ist bei den verschiedenen Getreidearten ungleich stark; am stärksten wird sie von NH₄-Salzen bei *Triticum*, am schwäch-

Tabelle 23.

Die Wirkung der Neutralsalzkonzentrationen auf das Koleoptilwachstum von *Secale cereale* (RL. 019 Jögeva). Temp. 18.5° C. Dauer der Versuche 24 St. $\times$ 7.

Konz.	0.1 n.		0.05 n.		0.01 n.		0.005 n.		0.001 n.		0.0005 n.		0.0001 n.	
Salze	%	$\delta \pm$ %	%	$\delta \pm$ %	%	$\delta \pm$ %	%	$\delta \pm$ %	%	$\delta \pm$ %	%	$\delta \pm$ %	%	$\delta \pm$ %
NH ₄ Cl	11.6	8.0	50.6	4.5	82.9	4.1	104.2	5.5	108.8	2.7	113.1	5.6	103.9	2.3
NH ₄ NO ₃	56.7	6.2	75.2	6.3	95.8	4.8	100.2	5.2	107.5	4.6	109.5	5.4	100.7	5.3
(NH ₄) ₂ SO ₄	53.6	7.2	79.1	5.5	98.1	3.6	100.6	4.8	101.6	4.3	103.5	3.9	100.1	4.9
NH ₄ H ₂ PO ₄	27.9	4.6	45.9	4.7	75.4	4.8	94.8	3.6	109.5	3.0	115.9	2.7	102.8	5.1
KCNs	23.5	2.4	43.7	4.7	58.7	4.5	70.2	3.3	83.1	4.8	92.1	5.4	98.8	4.4
KBr	86.1	3.9	108.4	4.3	120.4	2.8	117.5	3.9	110.6	2.9	106.6	3.9	102.9	4.7
KCl	85.7	6.3	104.5	4.3	118.7	3.4	123.6	6.0	117.3	6.1	110.7	4.4	104.6	1.7
KNO ₃	97.4	6.8	134.0	3.8	128.7	4.5	120.9	3.5	113.1	4.9	105.0	4.9	100.7	6.6
K ₂ SO ₄	93.6	4.6	111.3	4.9	113.3	4.3	107.7	4.2	106.5	3.6	104.5	4.9	99.8	4.2
KH ₂ PO ₄	113.6	4.2	123.2	4.6	117.1	3.9	109.0	3.1	106.7	4.8	101.9	4.7	100.3	4.7
NaCl	58.3	4.1	78.0	5.0	93.8	4.8	96.2	4.9	97.2	2.6	98.6	4.4	100.2	3.6
NaNO ₃	73.8	7.0	94.9	5.7	105.0	4.2	103.2	2.8	101.9	2.6	101.1	3.6	98.0	6.1
LiCl	39.4	8.2	70.5	6.2	93.1	5.5	99.5	3.6	105.7	4.3	109.9	4.1	105.9	4.2
LiNO ₃	15.0	4.7	99.6	5.0	114.7	2.8	111.5	5.1	107.9	3.1	104.2	5.4	101.3	4.7
Li ₂ SO ₄	54.4	4.9	82.4	4.0	101.9	3.3	113.6	4.7	115.8	3.2	108.2	3.9	105.3	3.5
MgCl ₂	97.3	3.8	105.7	4.0	106.3	4.3	106.6	4.4	107.3	4.1	109.4	4.8	105.8	3.0
Mg(NO ₃) ₂	112.5	4.7	110.8	3.1	109.3	5.1	107.8	5.2	105.6	6.1	103.0	3.1	102.2	5.3
MgSO ₄	89.1	3.1	104.0	2.7	105.9	2.5	108.6	2.6	113.0	3.4	109.5	3.7	106.7	3.0
BaCl ₂	20.7	7.0	49.1	3.9	78.2	2.9	93.4	3.3	106.2	3.4	103.9	5.1	99.4	5.5
Ba(NO ₃) ₂	42.9	6.1	75.8	5.2	100.0	6.1	105.2	3.1	106.4	4.4	104.6	4.3	103.5	4.6
CaCl ₂	75.4	5.0	86.4	3.8	92.0	3.7	98.6	3.7	100.4	3.3	98.0	3.1	99.2	3.8
Ca(NO ₃) ₂	89.8	5.2	98.2	5.0	100.6	2.7	102.9	2.5	101.8	4.2	100.9	5.8	98.2	2.0
Aq. dest.	100.0=9.6 cm													
Leitungsw.	96.7													
Knop. (—Fe)	120.7													

sten bei *Avena* herabgesetzt. In 0.1 n. K. ist die Wirkung der Anionen auf die Herabsetzung des Koleoptilwachstums bei *Avena*: $\text{Cl} > \text{NO}_3, \text{SO}_4$, bei *Triticum*: $\text{NO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$, bei *Secale*: $\text{Cl} > \text{NO}_3, \text{SO}_4$, also in den meisten Fällen wird das

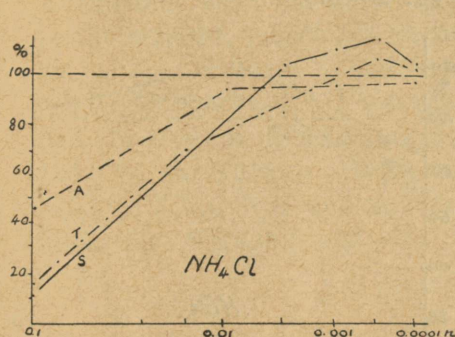


Fig. 25.

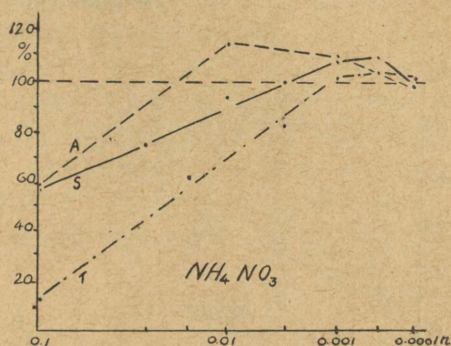


Fig. 26.

Koleoptilwachstum von Chloriden am stärksten und von Sulfaten am schwächsten herabgesetzt.

Bei der Förderung des Koleoptilwachstums in niederen Konzentrationen nimmt NH_4NO_3 , was die Stärke anbetrifft, die erste Stelle ein; dann folgen NH_4Cl und $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Aber auch hier ist die fördernde Wirkung der NH_4 -Salze bei den verschiedenen Getreidearten ungleich stark. Nach der Breite der fördernden Konzentrationen beim Koleoptilwachstum ordnen sich die Pflanzen

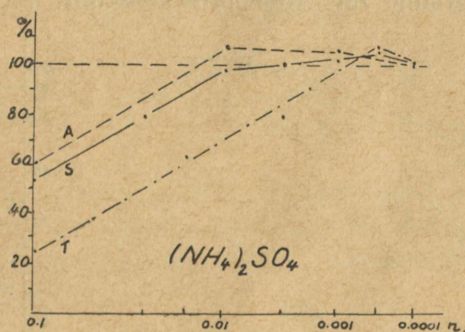


Fig. 27.

bei NH_4Cl : *Secale* > *Triticum*,

bei NH_4NO_3 : *Avena* > *Secale* > *Triticum*,

bei $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$: *Avena* > *Secale* > *Triticum*.

Wir sehen daraus, dass die Ammoniumsalze in mässiger Konzentration am günstigsten auf das Koleoptilwachstum von *Avena*, dann von *Secale* und am wenigsten günstig auf das von

Triticum wirken. Die optimalen Ammoniumsalzkonzentrationen sind beim Keimlingswachstum der verschiedenen Getreidearten nicht dieselben; sie fallen bei Secale und Triticum $\pm$ zusammen (0.0005 n.) und sind bei Avena viel höher (0.01 n.).

K-Salze. Fig. 28—33.

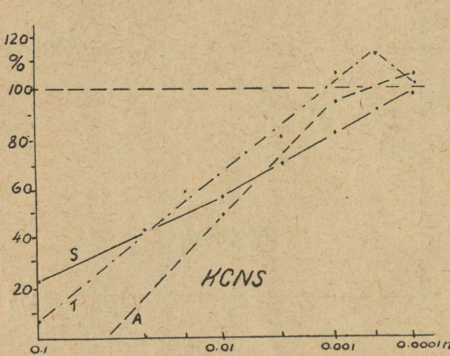


Fig. 28.

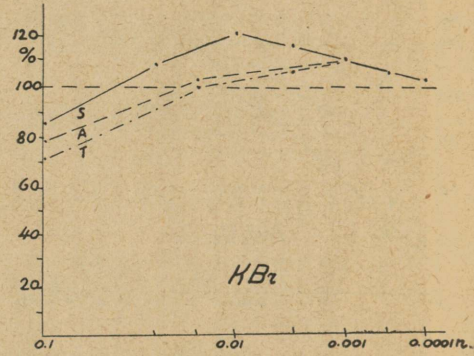


Fig. 29.

Bei den K-Salzen fällt es zunächst ins Auge, dass sie alle (abgesehen von KCNS) in verhältnismässig breitem Konzentrationsumfang das Koleoptilwachstum der Getreidekeimlinge fördern

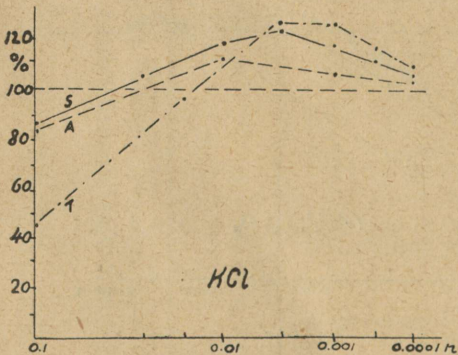


Fig. 30.

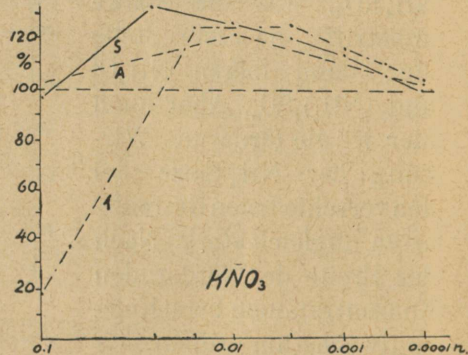


Fig. 31.

können. Nach dem Umfang der fördernden Konzentrationen kann man die K-Salze nach ihren Anionen folgendermassen ordnen: H_2PO_4 , $\text{NO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{Br} > \text{CNS}$. In dieser Reihenfolge nehmen die bekannten Düngungssalze KH_2PO_4 , KNO_3 und K_2SO_4 die ersten Stellen ein. Nach der Stärke im Fördern übertrifft jedoch KNO_3 alle anderen Salze. In 0.05 n. K. von KNO_3

übersteigt das Koleoptilwachstum von *Secale* um 34 % die Kontrolle in destilliertem Wasser und um 13.3 % die Kontrolle in der Knopschen Nährlösung. Auch der Variationsfehler $\pm 3.8\%$ kann dieses Verhältnis wenig ändern. Die Koleoptillänge von *Avena* und *Triticum* hat in KNO_3 -Lösung ebenfalls ihren Höhepunkt erreicht, jedoch bei niedrigeren Konzentrationen: *Avena* — bei 0.01 n. K. 121.8 % und *Triticum* — bei 0.005 n. K. 127.8 %. Nach der Stärke des Förderns steht dem KNO_3 ziemlich nahe KCl ; in 0.001 n. KCl -Lösung hat die Koleoptillänge bei *Triticum* 126.8 %, in 0.005 n. bei *Secale* 123.6 % erreicht. Dann folgen KH_2PO_4 , K_2SO_4 , KBr und zuletzt KCNS . KCNS zeigt jedoch eine fördernde Wirkung auf das Koleoptilwachstum nur in sehr

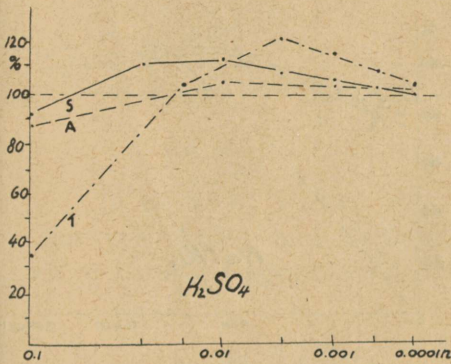


Fig. 32.

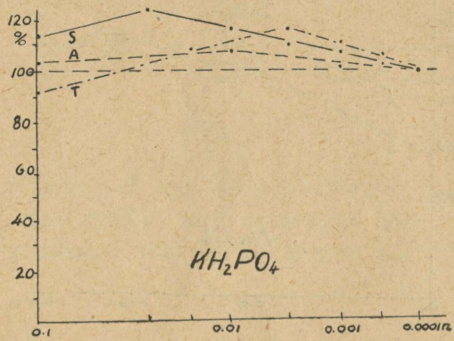


Fig. 33.

engen Konzentrationsgrenzen (zwischen 0.001 n. und 0.0001 n.), und auch hier nur bei *Triticum*; bei *Avena* steigt das Höchstwachstum kaum über die Variationsgrenze, und bei *Secale* merkt man überhaupt kein Fortschreiten mehr.

Wenn wir die optimalen Konzentrationen der einzelnen K-Salze beim Wachstum der zur Untersuchung genommenen Getreidearten betrachten, dann sehen wir, dass sie nur in sehr seltenen Fällen zusammenfallen, so z. B. bei 0.001 n. K. von KBr (*Avena* und *Triticum*) und bei 0.01 n. K. von K_2SO_4 (*Avena* und *Secale*); in den meisten Fällen aber sind sie verschieden.

In 0.1 n. K. wird das Koleoptilwachstum von den meisten K-Salzen herabgesetzt. (Eine Ausnahme bilden KH_2PO_4 bei *Avena* und *Secale* und KNO_3 bei *Avena*.) Bemerkenswert ist, dass alle Salze (abgesehen von KCNS) in dieser und auch in

etwas schwächeren Konzentrationen das Wachstum der Weizenkoleoptile viel stärker als das der anderen Getreidearten herabsetzen. Nach der Stärke der Hemmung des Koleoptilwachstums in 0.1 n. K. ordnen sich die K-Salze bei den einzelnen Getreidearten nach den Anionen in folgender Weise:

bei *Avena*: $\text{CNS} > \text{Br} > \text{Cl} > \text{SO}_4$; (NO_4 und H_2PO_4 hemmen nicht);
 bei *Triticum*: $\text{CNS} > \text{NO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{Br}$, H_2PO_4 ;
 bei *Secale*: $\text{CNS} > \text{Cl}$, $\text{Br} > \text{SO}_4 > \text{NO}_4$;
 (H_2PO_4 hemmt nicht).

Daraus sehen wir, dass nur KCNS hinsichtlich der Hemmungsstärke bei allen Getreidearten die erste Stelle behält und

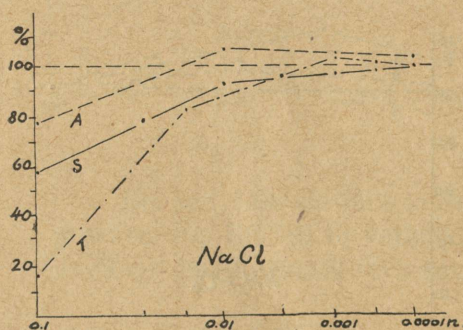


Fig. 34.

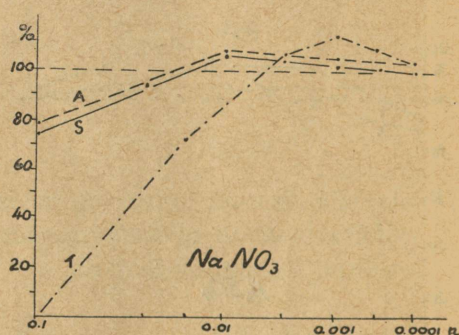


Fig. 35.

dass KH_2PO_4 an letzter Stelle steht; bei den anderen Anionen ist die Hemmungsstärke bei den verschiedenen Getreidearten nicht konstant.

Na-Salze. Fig. 34—35.

Bei den Na-Salzen wurde nur die Wirkung der Salzkonzentrationen bei NaCl und NaNO_3 nachgeprüft. Aus den tabellari-
 schen Angaben und Figuren ersehen wir, dass in mässigen und niedrigen Konzentrationen die fördernde Wirkung dieser Salze viel schwächer ist als bei den entsprechenden K-Salzen. Eigentlich zeigt nur NaNO_3 bei allen Getreidearten eine fördernde Wirkung; NaCl wirkt schwach begünstigend nur bei *Avena*. In höheren Konzentrationen dagegen setzen die Na-Salze das Koleoptilwachstum etwas stärker herab als die K-Salze (KCl und KNO_3), wobei die hemmende Wirkung bei *Triticum* sich viel stärker als bei *Avena* und *Secale* äussert (ähnlich wie bei den K-Salzen!). Auch stimmen die

Pflanzenreihen bei der Hemmung durch Na- und K-Salze nicht überein. In 0.1—0.01 n. K. setzen die Na-Salze das Koleoptilwachstum folgendermassen herab: Triticum > Secale > Avena; bei den K-Salzen aber lautet die Reihenfolge: Triticum > Avena > Secale.

Li-Salze. Fig. 36—38.

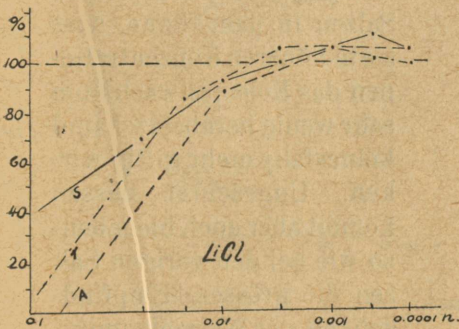


Fig. 36.

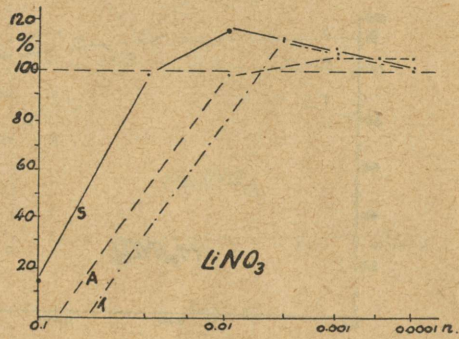


Fig. 37.

In 0.1 n. K. wirken alle Li-Salze auf das Koleoptilwachstum von Avena und Triticum stark giftig und setzen es bis auf 0 herab. Dagegen sind die Keimlinge von Secale gegen Li-

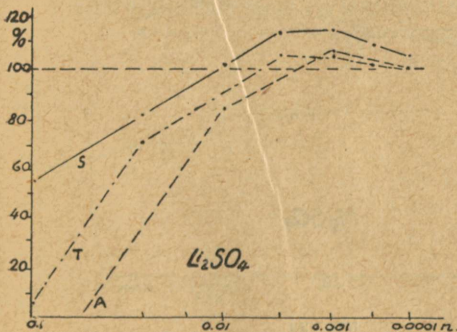


Fig. 38.

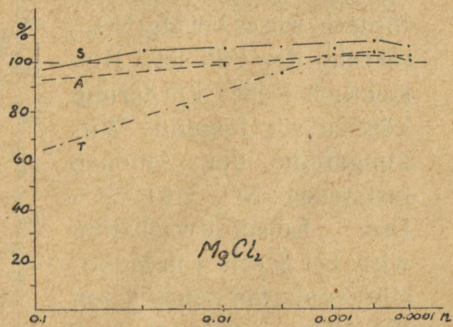


Fig. 39.

Salze viel resistenter: hier wird das Koleoptilwachstum nur gehemmt. Bei der Herabsetzung wirkt LiNO_3 am stärksten, und die Wirkungsreihe der Anionen ist: $\text{NO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$. In Konzentrationen < 0.01 n. fördern die Li-Salze das Koleoptilwachstum aller Getreidearten, am stärksten bei Secale. Bei den Li-Salzen wirkt das Nitration, ebenso wie bei den NH_4 -, K- und Na-Salzen,

bei der Begünstigung des Koleoptilwachstums am stärksten. Aber auch Li_2SO_4 wirkt ziemlich stark fördernd und bleibt in dieser Wirkung bei *Secale* kaum hinter LiNO_3 zurück.

Mg-Salze. Fig. 39—41.

In der Wirkung der Mg-Salze sehen wir eine Verschieden-

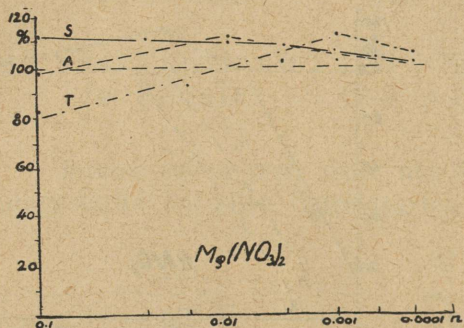


Fig. 40.

heit gegenüber den vorigen Salzen in dem Sinne, dass sie in höheren Konzentrationen das Koleoptilwachstum sehr wenig herabsetzen und keinesfalls mehr giftig wirken. Ungeachtet dessen kommt aber auch hier ebenso wie bei den vorigen Salzen die grössere Empfindlichkeit der Weizenkeimlinge gegen die höheren Salz-

konzentrationen deutlich zum Ausdruck. In mässigen und niederen Konzentrationen wirken Mg-Salze auf das Koleoptilwachstum stets begünstigend. Sie können aber auch in allen verwendeten Konzentrationen (0.1 n.—0.0001 n.) das Koleoptilwachstum fördern, wie es bei $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ (*Secale*) der Fall ist. Hinsichtlich der Förderung können wir folgende Wirkungsreihe der Anionen feststellen: $\text{NO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$. Das Koleoptilwachstum wird bei *Secale* von MgSO_4 stärker als von den anderen Mg-Salzen gefördert (bei

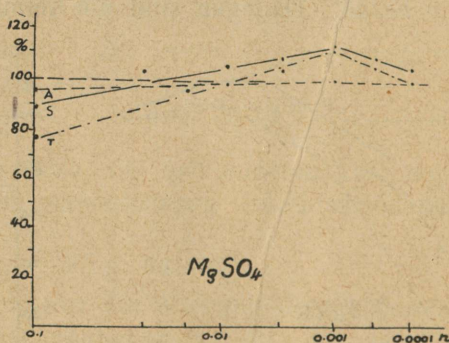


Fig. 41.

0.001 n.—auf 115.8% erhöht!). Auch der Umfang der fördernden Mg-Salzkonzentrationen ist bei den einzelnen Pflanzenarten verschieden: so bei *Avena* und *Secale* — $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 > \text{MgCl}_2 > \text{MgSO}_4$, bei *Triticum* aber — $\text{MgSO}_4 > \text{Mg}(\text{NO}_3)_2 > \text{MgCl}_2$.

Ba-Salze. Fig. 42—43.

Ba-Salze setzen in 0.1 n. K. das Koleoptilwachstum der Getreidekeimlinge etwas stärker als Mg-Salze herab. Im ganzen

ist ihre Wirkung bei allen Pflanzenarten mehr oder weniger gleichartig, und die Abweichungen bei den einzelnen Getreidearten, besonders im Falle von $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, sind ziemlich klein. In

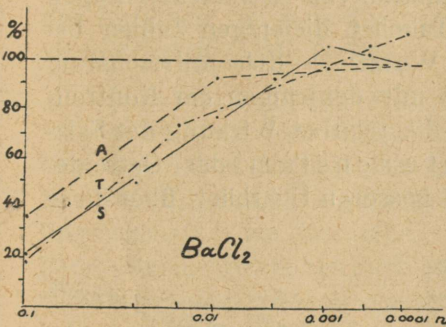


Fig. 42.

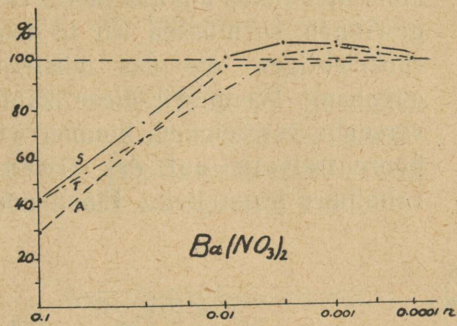


Fig. 43.

niederen Konzentrationen fördern sie schwach das Koleoptilwachstum, bei Avena etwas weniger als bei Triticum und Secale.

Ca-Salze. Fig. 44—45.

CaCl_2 in 0.1—0.005 n. K. hemmt $\pm$ gleich stark das Koleoptilwachstum aller Getreidearten. Bei niederen Konzentrationen

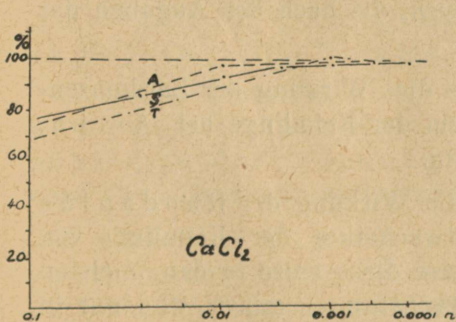


Fig. 44.

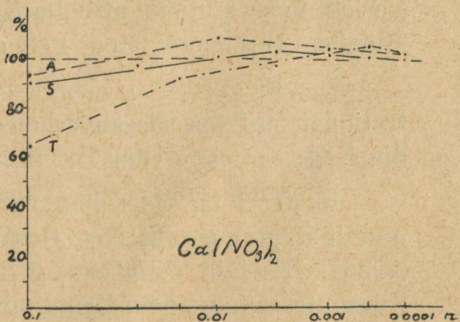


Fig. 45.

bleibt seine hemmende Wirkung fast aus, geht aber auch nicht in eine fördernde über. Bei $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ist die hemmende Wirkung in 0.1 n. K. ungleich stark ($\text{Triticum} > \text{Secale} > \text{Avena}$); in niederen Konz. kann es das Koleoptilwachstum schwach fördern.

4. Die Wirkung der Salzionen auf das Gesamtwachstum der Getreidekeimlinge.

Wollen wir einen Überblick über die Wirkung der Salzkonzentrationen auf das Gesamtwachstum von Getreidekeimlingen gewinnen, so müssen wir in den Tabellen diejenigen Zahlen berücksichtigen, die das mittlere Wurzel- + Koleoptilwachstum angeben. Wenn wir diese Zahlen mit denjenigen der Kontrollversuche vergleichen, können wir die relative Wirkung der Salzkonzentrationen auf das Gesamtwachstum der Getreidekeimlinge feststellen. Einen noch besseren Überblick über diese

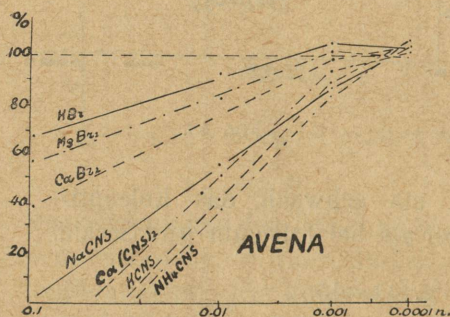


Fig. 46.

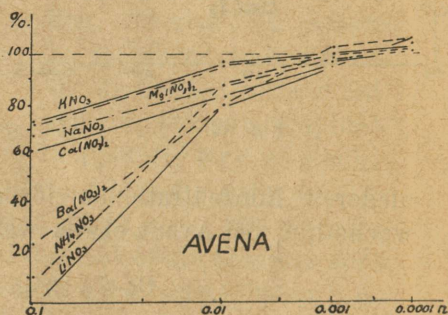


Fig. 47.

Verhältnisse können uns die Kurven, die nach den Angaben der Tabellen gezeichnet sind, geben.

Die Fig. 46—50 zeigen uns die Wirkung der Salzkonzentrationen auf das Gesamtwachstum der Keimlinge bei *Avena*, die Fig. 51—55 — bei *Triticum*.

In der Fig. 46 sehen wir die Wirkung der Rhodanide und Bromide auf das Gesamtwachstum der Keimlinge von *Avena*. Es fällt zunächst auf, dass diese Salze in den meisten Konzentrationen das Keimlingswachstum hemmen und nur in niederen Konzentrationen es in begrenztem Umfange schwach begünstigen. Die hemmende Wirkung der Rhodanide ist viel stärker als die der Bromide. In 0.1 n. K. wird das Keimlingswachstum von *Avena* durch die Rhodanide ganz verhindert, durch die Bromide dagegen nur $\pm$ stark herabgesetzt. In 0.1 n. — 0.001 n. K. ist die Kationenwirkung der Rhodanide — $\text{NH}_4 > \text{K} > \text{Ca} > \text{Na}$, in 0.001 n. K. — $\text{NH}_4 > \text{Na} > \text{K} > \text{Ca}$, also die Stel-

lung der Kationen in den Reihen wird hier durch die Salzkonzentrationen beeinflusst.

Die Wirkungslinien der Bromide gehen durch die verschiedenen Konzentrationen konkordant, und die hemmende Wirkung der Kationen ist stets $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{K}$, die fördernde aber gerade umgekehrt $\text{K} > \text{Mg} > \text{Ca}$.

Nitrate (Fig. 47). Obwohl die Nitrate das Koleoptilwachstum stark fördern, ist ihre Wirkung auf das Gesamtwachstum der Haferkeimlinge fast ganz ohne positiven Einfluss; und nur $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ und LiNO_3 , die in höheren Konzentrationen das Keimlingswachstum am stärksten herabsetzen, rufen in den nied-

rigsten Konzentrationen eine schwach fördernde Wirkung auf das Gesamtwachstum hervor. In stärkeren Konzentrationen setzen Nitrate das Keimlingswachstum von Avena ziemlich stark herab; dabei ist aber die Wirkung der Li-, NH_4 - und Ba-Nitrate viel stärker als die der anderen. Bei

der Hemmung zeigen die Kationen eine verschiedene Stärke: in 0.1 n. K. — $\text{Li} > \text{NH}_4 > \text{Ba} \gg \text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg}$, K, in 0.01 n. K. — Li , $\text{Ba} > \text{Ca} > \text{NH}_4$, $\text{Na} > \text{Mg}$, K.

Es ist bemerkenswert, dass hier zwischen ein- und zweiwertigen Kationen kein scharfer Unterschied in der Wirkungsstärke zu sehen ist und dass diese Kationen durcheinander in einer Reihe stehen.

Chloride (Fig. 48). In stärkeren Konzentrationen setzen sie alle das Keimlingswachstum von Avena herab; in 0.1 n. K. ist die Reihenfolge der Kationen bei der Herabsetzung die folgende: $\text{Li} > \text{NH}_4 \gg \text{Ba} \gg \text{Ca} > \text{Na} > \text{K} > \text{Mg}$, welche mit der Kationenreihe bei Nitraten übereinstimmt. Auch hier wird wie bei den Nitraten das Keimlingswachstum durch LiCl und NH_4Cl zwischen 0.1 und 0.01 n. K. stärker als durch die anderen Chloride herabgesetzt. Ebenso sehen wir bei den Chloriden ähnlich wie bei den Nitraten keinen prinzipiellen Unterschied in der Wirkung der ein- und der zweiwertigen Kationen.

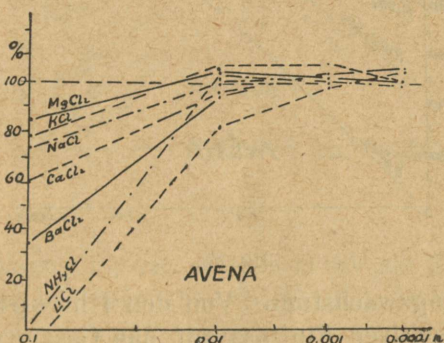


Fig. 48.

Von 0.01 n. K. an bis zu den niedrigsten Konzentrationen üben die Chloride auf das Gesamtwachstum der Haferkeimlinge eine schwache positive Wirkung aus, wobei KCl und MgCl_2 in grösserem Konzentrationsumfange als die anderen Chloride das Keimlingswachstum fördern.

Sulfate und Phosphate (Fig. 49).

In mittleren und schwächeren Konzentrationen wirken Sulfate, besonders aber $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ und K_2SO_4 , unter allen Neutralsalzen am stärksten fördernd auf das Gesamtwachstum der Haferkeimlinge. In stärkeren Konzentrationen (0.1 n.) setzen sie das Keimlingswachstum nach der Kationenreihe $\text{Li} \gg \text{NH}_4 \gg \text{Mg}, \text{K}$ herab. Auch hier wirkt Li_2SO_4 stark giftig und verhindert sogar das Keimlingswachstum.

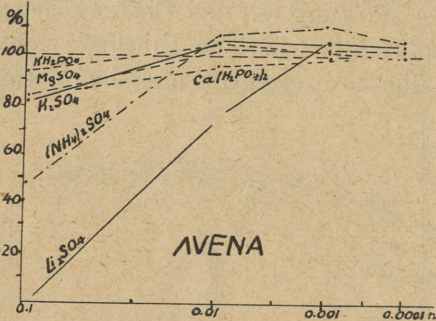


Fig. 49.

Von den Phosphaten hat $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ keinen positiven Einfluss auf das Gesamtwachstum der Haferkeimlinge gehabt. KH_2PO_4 kann das Keimlingswachstum schwach fördern. Die hemmende Wirkung der höheren Konzentrationen von Phosphatlösungen auf das Gesamtwachstum der Haferkeimlinge ist sehr schwach.

Die Fig. 50 gibt uns einen Überblick über die Anionenwirkung der K-Salze auf das Gesamtwachstum der Haferkeimlinge. Wir sehen, dass die K-Salze in höheren Konzentrationen das Keimlingswachstum nach der lyotropen Reihe der Anionen herabsetzen ($\text{CNS} \gg \text{Br} > \text{NO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{H}_2\text{PO}_4$). Nur KCNS wirkt viel stärker hemmend als die anderen Salze, und seine Wirkungskurve verläuft weit entfernt von den anderen. In niederen Konzentrationen kreuzen sich die Kurven, und es fehlt hier eine bleibende Reihenfolge bei der An-

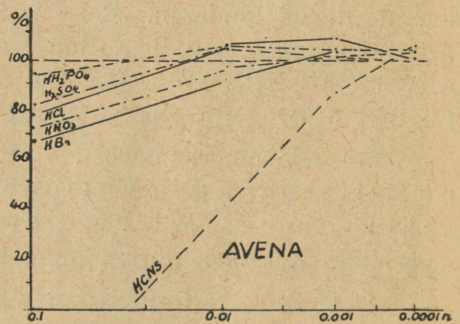


Fig. 50.

ionenwirkung. Bei der Förderung nimmt jedoch KCl die höchste Stellung ein; dann folgen KH_2PO_4 und K_2SO_4 . Die positive Wirkung des KCNS kommt nur kurz vor der 0.0001 n. K. zur Geltung.

Triticum.

Die Wirkung der Rhodanide und Bromide auf das Gesamtwachstum der Weizenkeimlinge zeigt in den Hauptzügen eine grosse Ähnlichkeit mit derjenigen bei Hafer (Fig. 51); nur ist bei Triticum die fördernde Wirkung dieser Salze etwas stärker als bei Avena. Die stärkste Förderung des Wachstums wird durch KCNS hervorgerufen. In mässigen und stärkeren Konzentrationen setzen die Rhodanide bei Weizen ebenso wie bei Hafer das Keimlingswachstum viel stärker herab als die Bromide. Die Hemmungsreihe der Kationen — $\text{NH}_4 > \text{K} > \text{Na}$ — bleibt bei den Rhodaniden zwischen 0.1 und 0.001 n. K. unverändert bestehen.

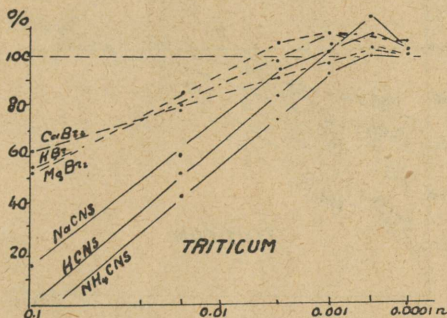


Fig. 51.

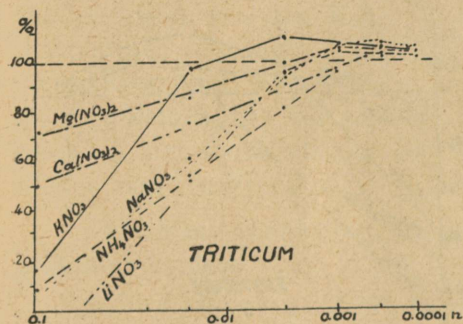


Fig. 52.

gilt die umgekehrte Reihe: $\text{Ca} > \text{K} > \text{Mg}$; beide Reihen stimmen aber nicht mit derjenigen bei Avena überein. In niederen Konzentrationen ist die fördernde Wirkung von KBr und MgBr_2 viel grösser bei Triticum als bei Avena.

Nitrate (Fig. 52). Auch Nitrate wirken in niederen Konzentrationen etwas stärker fördernd auf das Gesamtwachstum bei Triticum als bei Avena. Am stärksten wird das Gesamtwachstum der Weizenkeimlinge von KNO_3 gefördert, dann folgen die

Na- und Mg-Nitrate. Die fördernde Wirkung des NH_4NO_3 ist aber bei *Triticum* viel schwächer als bei *Avena*. LiNO_3 und NH_4NO_3 wirken in stärkeren Konzentrationen giftig und setzen das Keimlingswachstum bis auf 0 herab. Bei der Herabsetzung in 0.1 n. K. kommt folgende Kationenreihe zur Geltung: $\text{Li} > \text{NH}_4, \text{Na} > \text{K} > \text{Ca}$

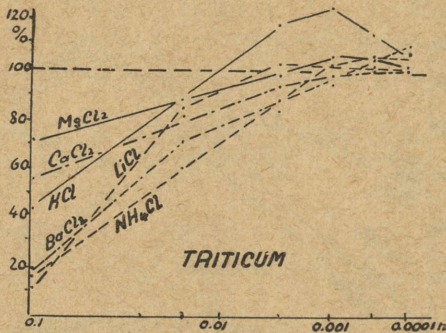


Fig. 53.

änderung der Salzkonzentrationen hervorgerufen ist.

Chloride (Fig. 53). Hier kommt besonders stark zum Ausdruck, dass KCl in mässigen und niederen Konzentrationen das Keimlingswachstum bei *Triticum* viel stärker als bei *Avena* fördert. Sonst aber stimmt die Wirkung der Chloride bei *Triticum* und *Avena* in den Hauptzügen überein.

Sulfate (Fig. 54). In 0.1 n. K. ist die Wirkung der Sulfate bei *Triticum* und *Avena* ziemlich gleich, nur ist die Giftwirkung des Li_2SO_4 , die wir bei *Avena* gesehen haben, bei *Triticum* mehr oder weniger verschwunden.

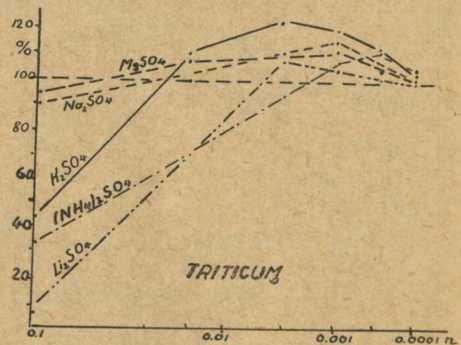


Fig. 54.

Sonst erscheint auch hier dieselbe Kationenreihe wie bei *Avena*: $\text{Li} > \text{NH}_4 > \text{K} > \text{Mg}$.

In mässigen und niederen Konzentrationen ist die fördernde Wirkung der Sulfate bei *Triticum* viel stärker als bei *Avena*. Am stärksten wird das Keimlingswachstum bei *Triticum* durch K_2SO_4 und MgSO_4 gefördert; jedoch die Wirkung des $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, welche bei *Avena* in der Förderung den ersten Platz eingenommen hatte,

ist bei *Triticum* viel schwächer als die der anderen Sulfate. Die Kationenreihen sind bei der Förderung ziemlich wenig konstant: so z. B. bei 0.001 n. K. — $K > Na > Mg > NH_4 > Li$, bei 0.0005 n. K. aber — $K > NH_4 > Na > Mg > Li$.

Die Wirkung der Anionen (Fig. 55). Zunächst sehen wir, dass die K-Salze in mässigen und niederen Konzentrationen das Gesamtwachstum der Weizenkeimlinge viel stärker als das der Haferkeimlinge fördern können. Die Wirkung von K_2SO_4 und KCl in dieser Beziehung ist bei *Triticum* besonders auffallend. In 0.001 n. K. fördern die K-Salze das Keimlingswachstum nach folgender Anionenreihe: $Cl > SO_4 > H_2PO_4 > Br > NO_3 > CNS$, also abgesehen von Cl — nach der umgekehrten lyotropen Reihe.

In höheren Konzentrationen verlaufen die Wirkungslinien bei *Triticum* weniger konkordant als bei *Avena*, und darum sind die Ionenreihen bei *Triticum* viel mehr als bei *Avena* von den Konzentrationen abhängig. In 0.1 n. K. kommt jedoch die lyotrope Reihenfolge der Anionen in der Herabsetzung des Gesamtwachstums bei *Triticum* wieder zum Ausdruck: $CNS > NO_3 > Cl > Br, SO_4 > H_2PO_4$.

Zusammenfassung. Aus den obigen Versuchsanalysen geht hervor, dass

1) die Wirkung der Neutralsalzkonzentrationen auf das Koleoptil- und Wurzelwachstum der Getreidekeimlinge nicht die gleiche ist. Einige Salzgruppen, z. B. Nitrate und K-Salze, begünstigen mehr das Koleoptilwachstum, andere — wie Sulfate und Mg-Salze — wiederum das Wurzelwachstum. Ausserdem fallen die optimalen Konzentrationen der einzelnen Salze beim Koleoptil- und Wurzelwachstum nicht immer zusammen.

2) Die Keimlinge der verschiedenen Getreidearten sind gegen die einzelnen Salze und ihre Konzentrationen verschieden empfindlich. Die

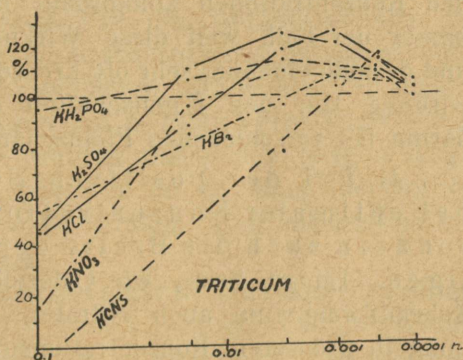


Fig. 55.

Wurzeln von *Avena* sind in den meisten Fällen gegen die höheren Salzkonzentrationen empfindlicher als diejenigen von *Triticum*. Dagegen wird das Koleoptilwachstum bei Weizenkeimlingen von höheren Salzkonzentrationen mehr als bei Roggen und Hafer herabgesetzt.

3) Die Wirkung der einzelnen An- und Kationen ist von den Salzkonzentrationen abhängig. Die verschiedenen Ionenreihen haben ihre Geltung nur bei einer bestimmten Salzkonzentration. Die Wirkungsreihen der Salzionen können bei verschiedenen Konzentrationen nur dann übereinstimmen, wenn die Wirkungslinien durch die verschiedenen Konzentrationen konkordant laufen. Das ist aber nicht immer der Fall, weil diese Wirkungslinien kurvenförmig sind und deshalb einander sehr oft kreuzen. Ausserdem ist die Ionenwirkung von den Eigenschaften des Plasmas abhängig und darum bei verschiedenen Pflanzenarten wiederum verschieden.

4) Bei der positiven Salzwirkung muss man bei optimaler Konzentration nicht nur die Höhe, sondern auch die Breite der Wirkung berücksichtigen. Einige Salze, wie Chloride, Sulfate, Phosphate (beim Koleoptilwachstum auch Nitrate), können eine positive Wirkung in grösserem Konzentrationsumfang ausüben; dagegen ist das positive Wirkungsfeld bei anderen s. g. „giftigen“ Salzen (Rhodanide, NH_4 - und Ba-Salze) sehr begrenzt und nur in den niedrigsten Konzentrationen ausgeprägt.

5) Viele Salzionen haben eine spezifische Wirkung auf das Wachstum der Koleoptile oder der Wurzeln der Getreidekeimlinge. So wird das Koleoptilwachstum, wie schon gesagt, von K- und NO_3 - Ionen stark gefördert und von Li-, NH_4 - und CNS-Ionen herabgesetzt, — das Wurzelwachstum aber von SO_4 -, auch von Cl- und NH_4 -Ionen begünstigt und von NO_3 -Ionen stark gehemmt. Auf die Bildung von Wurzelhaaren wirken begünstigend SO_4 - und NO_3 -Ionen.

6) Die maximalen Grössen des Wachstums wurden in folgenden Salzlösungen erzielt:

Hafer: a) Koleoptilwachstum: 0.01 n. KNO_3 — 121.8 %,
0.01 n. NH_4NO_3 — 115.4 %;

b) Wurzelwachstum: 0.001 n. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ — 117.5 %;

c) Gesamtwachstum: 0.001 n. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ — 111.1 %.

Weizen: a) Koleoptilwachstum: 0.005 n. KNO_3 127.3%, 0.001 n. KCl 126.8%.
 b) Wurzelwachstum: 0.005 n. K_2SO_4 125.1%, 0.001 n. KCl 123.7%, 0.001 n. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 119.5%.
 c) Gesamtwachstum: 0.001 n. KCl 125.5%, 0.005 n. K_2SO_4 123.6%.
 Roggen: Koleoptilwachstum: 0.05 n. KNO_3 134.0%, 0.005 n. KCl 123.6%, 0.05 n. KH_2PO_4 123.2%.

5. Die Wirkung der Salzionen auf das Wachstum der Linsenkeimlinge.

Es wäre ferner von Interesse zu wissen, wie die Neutralsalze hinsichtlich ihrer Abhängigkeit von den Konzentrationen auf das Keimlingswachstum bei eiweisshaltigen Leguminosensamen wirken und ob dort Verschiedenheiten vorkommen. In diesem Sinne habe ich Untersuchungen mit Linsenkeimlingen vorgenommen. Diese Versuche wurden analog den vorigen ausgeführt, und über die Versuchstechnik ist in einem der vorhergehenden Abschnitte gesprochen worden. Hier möchte ich nur auf folgende Punkte hinweisen:

1) Es wurde gewöhnliches, bei einer Berliner Samenhandlung gekauftes Saatgut (keine reine Linie!) benutzt; dadurch könnte man die etwas grösseren Variationsschwankungen (Stengel!) bei diesen Versuchen erklären. Der mittlere Variationsfehler (δ) betrug hier beim Stengelwachstum $\pm 6.18\%$, bei demjenigen der Wurzel $\pm 4.03\%$.

2) In den ersten 7 Tagen hatte sich bei 18.0°C bei den Linsenkeimlingen nur eine einzige Wurzel ohne Verzweigung (Nebenwurzel) entwickelt; dadurch wurden die Messungen und Berechnungen bedeutend vereinfacht.

3) Die Stengellänge wurde bei den Linsenkeimlingen von der Ansatzstelle der Kotyledonen bis zu der Anlage der ersten zwei Blätter, die Wurzellänge von der Ansatzstelle bis zur Spitze gemessen.

Die Versuchsergebnisse sind in den Tabellen 24—29 angegeben. Die Mittelwerte aus den in den verschiedenen Serien angestellten Kontrollversuchen sind in der letzten Tabelle 29 zu finden.

Wir sehen, dass die Linsenkeimlinge in Leitungswasser und in der Knopschen Nährlösung schwächer als in destilliertem Wasser wachsen und dass hier das Stengelwachstum besonders stark in Leitungswasser herabgesetzt wird. In verdünnter (1:5)

Tabelle 24.

Die Wirkung der NH_4 -Salzkonzentrationen auf das Keimlingswachstum von *Lens esculenta*. Temp. 18.0°C . Dauer der Versuche 24 St. $\times 7$.

Salze	Konz. norm.	Stengel		Wurzel		S+W %	V W:S	Bemerkungen
		%	$\delta \pm \%$	%	$\delta \pm \%$			
NH_4CNS	0.1	—	—	—	—	—	—	Die Keimlinge sind tot
	0.05	7.2	0.97	14.4	0.86	12.5	5.85	
	0.01	83.5	5.35	79.4	5.80	80.4	2.70	
	0.005	88.0	6.28	94.2	3.08	92.6	3.00	
	0.001	94.7	4.57	95.2	3.44	95.6	2.93	
	0.0005	98.2	6.06	96.1	3.33	96.1	2.80	
	0.0001	100.0	5.07	96.4	3.45	97.4	2.73	
NH_4NO_3	0.1	15.3	2.85	32.9	2.72	28.2	6.22	
	0.05	52.6	5.13	58.9	2.95	57.3	3.12	
	0.01	82.0	4.65	80.7	5.21	80.1	2.77	
	0.005	90.3	6.03	85.5	5.88	87.0	2.70	
	0.001	100.7	6.23	90.6	3.87	93.5	2.52	
	0.0005	106.6	5.62	92.0	3.82	95.6	2.44	
	0.0001	100.0	5.15	95.0	3.21	96.5	2.70	
NH_4Cl	0.1	50.7	5.42	36.6	2.98	40.0	2.06	
	0.05	63.5	6.33	60.3	3.22	60.8	2.70	
	0.01	75.8	6.90	74.9	4.32	75.1	2.83	
	0.005	84.2	7.25	86.8	4.53	85.3	2.92	
	0.001	94.6	7.40	95.5	3.55	95.0	2.84	
	0.0005	99.1	6.28	103.9	3.84	101.7	3.03	
	0.0001	100.0	6.04	111.7	4.68	109.5	3.10	
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0.1	49.0	5.08	45.7	3.07	46.5	2.60	
	0.05	72.5	6.36	70.9	3.76	71.0	2.77	
	0.01	90.0	4.41	86.4	2.78	87.3	2.72	
	0.005	98.5	6.70	98.5	4.56	98.5	2.83	
	0.001	107.9	6.13	109.2	2.92	109.0	2.87	
	0.0005	107.9	5.70	114.1	3.88	112.5	3.00	
	0.0001	100.1	6.18	105.2	3.23	103.4	2.97	
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	0.1	39.5	3.86	36.7	2.50	37.5	2.60	
	0.05	59.4	6.53	68.8	4.47	65.4	3.28	
	0.01	87.5	7.12	94.3	4.05	92.5	3.07	
	0.005	96.5	6.89	98.4	3.36	97.8	2.89	
	0.001	101.9	6.53	101.6	3.72	101.7	2.82	
	0.0005	115.6	5.16	102.9	3.27	107.2	2.52	
	0.0001	99.5	6.12	100.9	3.87	100.8	2.88	

Knopscher Nährlösung aber ist das Keimlingswachstum viel stärker als in destilliertem Wasser, welche Erscheinung darauf hindeutet, dass die Salzkonzentration in der normalen Knopschen Nährlösung für das Wachstum der Linsenkeimlinge zu hoch ist;

deshalb konnte man erwarten, dass die Linsenkeimlinge auch gegen die höheren Salzkonzentrationen überhaupt empfindlicher sein würden als die Getreidekeimlinge.

NH_4 -Salze. Tabelle 24. Fig. 56.

Die Wirkung der NH_4 -Salze auf das Wachstum der Linsenkeimlinge unterscheidet sich von derjenigen bei den Getreidekeimlingen dadurch, dass bei den Linsenkeimlingen das Stengel- und Wurzelwachstum von den verschiedenen Lösungen gleichmässiger beeinflusst wird und die Verhältniszahlen (V), abgesehen von den stärksten Salzkonzentrationen, nur wenig (zwischen 2.50 und 3.00)

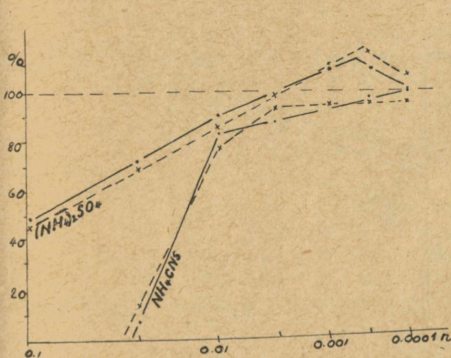


Fig. 56.

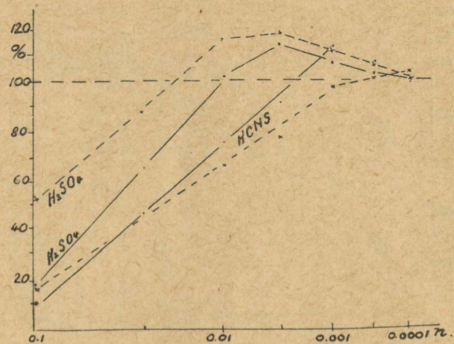


Fig. 57.

schwanken. Nur in NH_4NO_3 -Lösungen sind die Schwankungen der Verhältniszahlen etwas grösser: in höheren Konzentrationen zugunsten des Wurzel-, in niederen — zugunsten des Stengelwachstums. In 0.1 n. K. setzen NH_4 -Salze das Stengelwachstum und Wurzelwachstum stark herab, wobei NH_4CNS das Keimlingswachstum sogar ganz verhindert. Die fördernde Wirkung der NH_4 -Salze äussert sich beim Wachstum der Linsenkeimlinge in sehr begrenzten Konzentrationsintervallen und kommt bei den Wurzeln stärker zur Geltung als bei den Stengeln.

Nach den Anionen ist die NH_4 -Salzwirkung folgende:

Stengelwachstum: in 0.1 n. K. hemmen: $\text{CNS} >$

$\text{NO}_3 > \text{H}_2\text{PO}_4 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$;

in 0.01 n. K. hemmen: $\text{Cl} > \text{NO}_3 > \text{CNS} > \text{H}_2\text{PO}_4 > \text{SO}_4$;

in 0.001 n. K. hemmen: CNS und Cl ,

fördern: $\text{SO}_4 > \text{H}_2\text{PO}_4 > \text{NO}_3$;

in 0.0001 n. K. hemmen: $\text{CNS} > \text{Cl}$,

fördern: $\text{H}_2\text{PO}_4 > \text{SO}_4 > \text{NO}_3$.

Wurzelwachstum: in 0.1 n. K. hemmen: $\text{CNS} > \text{NO}_3 > \text{Cl} > \text{H}_2\text{PO}_4 > \text{SO}_4$;
 in 0.01 n. K. hemmen: $\text{Cl} > \text{CNS} > \text{NO}_3 > \text{SO}_4 > \text{H}_2\text{PO}_4$;
 in 0.001 n. K. hemmen: $\text{NO}_3 > \text{CNS}, \text{Cl}$,
 fördern: $\text{SO}_4 > \text{H}_2\text{PO}_4$;
 in 0.0001 n. K. hemmen: $\text{NO}_3 > \text{CNS}$,
 fördern: $\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{H}_2\text{PO}_4$.

Daraus sehen wir, 1) dass die Anionenreihen bei den NH_4 -Salzen von den Salzkonzentrationen abhängen und 2) dass die Ionen auf das Stengel- und

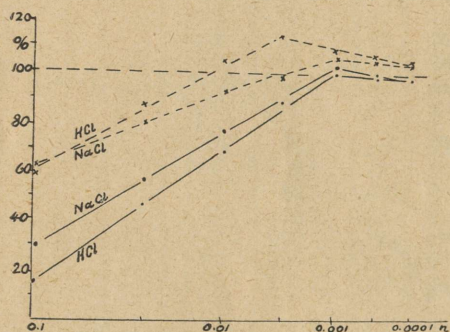


Fig. 58.

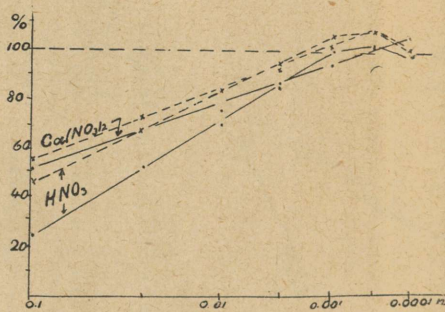


Fig. 59.

Wurzelwachstum spezifisch wirken. Das Wurzelwachstum wird in stärkeren Konzentrationen nach der lyotropen Reihenfolge der Anionen, resp. nach der Geschwindigkeit des Eindringens der Ionen in das Zellplasma herabgesetzt, das Stengelwachstum aber nicht (Abweichungen in der Stellung von Cl' und CNS'). In niederen Konzentrationen setzen CNS' und Cl' das Stengelwachstum herab, das Wurzelwachstum aber wird von CNS' und NO_3' herabgesetzt: hierbei ist es charakteristisch, dass das Cl -Ion das Stengel- und das NO_3 -Ion das Wurzelwachstum hemmt.

K-Salze. Tab. 25 und 26. Fig. 57—60.

Der Unterschied in der Wirkung auf das Stengel- und das Wurzelwachstum ist bei den K-Salzen noch stärker ausgeprägt als bei den NH_4 -Salzen. Die Verhältniszahlen sind in allen Konzentrationen von KNO_3 , KCl und K_2SO_4 stets > 2.83 und zeigen ein günstigeres Wurzelwachstum als Stengelwachstum in diesen Lösungen an. Ein relativ stärkeres Stengelwachstum ($V < 2.83$) sehen wir in

Tabelle 25.

Die Wirkung der K-Salzkonzentrationen auf das Keimlingswachstum von *Lens esculenta*. Temp. 18.0°C. Dauer der Versuche 24 St. $\times$ 7.

Salze	Konz. norm.	Stengel		Wurzel		S+W %	V W:S	Bemerkungen
		%	$\delta \pm$ %	%	$\delta \pm$ %			
KCNS	0.1	11.0	1.15	18.0	1.48	16.9	4.91	
	0.05	45.2	1.00	39.6	1.56	41.0	2.48	
	0.01	76.0	7.90	65.6	2.17	68.5	2.50	
	0.005	91.8	9.32	78.0	2.58	81.9	2.41	
	0.001	112.7	7.20	99.3	6.10	102.6	2.49	
	0.0005	107.3	8.70	100.8	2.49	102.6	2.69	
	0.0001	99.5	4.47	102.8	4.33	101.5	2.92	
KBr	0.1	45.7	7.24	46.8	3.08	46.5	3.00	
	0.05	75.3	8.23	69.6	4.98	71.0	2.64	
	0.01	102.8	8.20	88.5	4.00	92.0	2.49	
	0.005	113.4	6.50	100.3	5.61	104.0	2.55	
	0.001	109.7	5.20	102.6	5.34	104.2	2.66	
	0.0005	106.5	6.11	100.0	3.42	101.6	2.68	
	0.0001	100.2	4.52	98.5	3.90	98.8	2.78	
KCl	0.1	15.2	2.37	59.7	2.90	48.2	11.29	
	0.05	46.4	1.83	88.2	4.21	77.3	5.45	
	0.01	69.4	4.95	104.0	3.30	94.5	4.23	
	0.005	89.4	5.35	113.1	3.16	106.7	3.58	
	0.001	100.0	6.20	108.6	3.96	105.8	3.07	
	0.0005	98.8	6.36	107.1	4.36	104.4	3.10	
	0.0001	98.8	5.30	105.7	3.85	104.2	3.05	
KNO ₃	0.1	24.3	5.21	45.3	3.63	39.8	5.27	
	0.05	52.6	8.38	68.4	4.32	64.2	3.72	
	0.01	70.0	6.90	83.5	3.63	79.5	3.38	
	0.005	88.2	6.95	95.3	4.05	93.5	3.08	
	0.001	100.2	5.30	105.3	3.76	102.6	2.93	
	0.0005	101.8	5.96	107.5	4.38	105.6	2.98	
	0.0001	98.4	5.61	100.0	3.87	99.5	2.88	
K ₂ SO ₄	0.1	18.2	2.78	51.4	6.00	42.6	8.05	
	0.05	65.0	4.15	87.3	6.98	81.2	3.81	
	0.01	101.4	5.40	115.7	5.10	111.5	3.23	
	0.005	112.1	9.40	118.6	5.50	117.4	3.03	
	0.001	106.0	6.45	110.2	4.48	108.9	2.96	
	0.0005	102.1	5.36	104.6	4.75	104.0	2.84	
	0.0001	100.0	5.28	100.1	5.05	100.1	2.84	

den meisten Konzentrationen von KCNS-, KBr- und KH₂PO₄-Lösungen. Nur K₂HPO₄ wirkt in allen Konzentrationen $\pm$ gleich

stark auf das Stengel- und das Wurzelwachstum der Linsenkeimlinge. In 0.1 n. K. setzen K-Salze das Keimlingswachstum stark herab, aber nicht bis auf 0 (auch KCNS nicht!). Das Gesamtwachstum wird in 0.1 n. und 0.05 n. K. nach der lyotropen Reihe der Anionen — $\text{CNS} > \text{NO}_3 > \text{Br}, \text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{H}_2\text{PO}_4$ — herabgesetzt. In niederen Konzentrationen ist die positive Wirkung der K-Salze auf das Wachstum der Linsenkeimlinge viel schwächer als auf das der Getreidekeimlinge. In diesem Sinne haben K_2SO_4 und KH_2PO_4 am stärksten gewirkt; die anderen K-Salze fördern das Keimlingswachstum sehr wenig, auch KNO_3 und KCl nicht

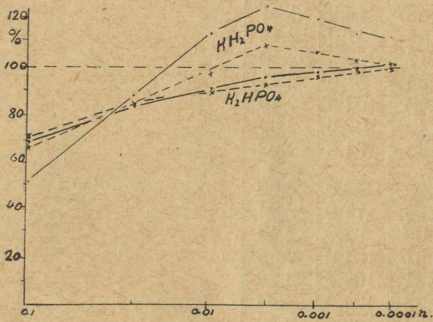


Fig. 60.

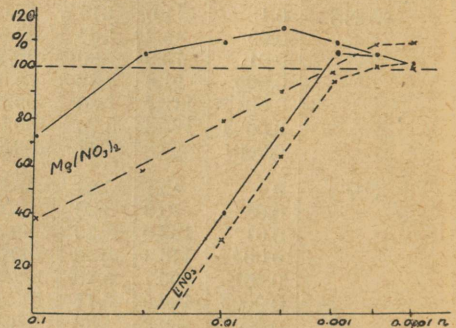


Fig. 61.

ausgenommen. KNO_3 , welches das Koleoptilwachstum der Getreidekeimlinge am stärksten gefördert und deren Wurzelwachstum herabgesetzt hat, wirkt hier gerade umgekehrt, und KCl setzt das Stengelwachstum ebenfalls in allen Konzentrationen herab. Auch die Wirkung von KH_2PO_4 und K_2HPO_4 ist eine stark abweichende: KH_2PO_4 fördert in mässigen und niederen Konzentrationen das Stengelwachstum besonders stark, K_2HPO_4 aber gar nicht (Fig. 60).

Übersicht nach der Wirkung der Anionen:

Stengelwachstum: in 0.1 n. K. hemmen: $\text{CNS} > \text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{NO}_3 > \text{Br} > \text{H}_2\text{PO}_4 > \text{HPO}_4$;
 in 0.01 n. K. hemmen: $\text{Cl} > \text{NO}_3 > \text{CNS} > \text{HPO}_4$,
 fördern: $\text{H}_2\text{PO}_4 > \text{Br} > \text{SO}_4$;
 in 0.001 n. K. hemmt: HPO_4 ,
 fördern: $\text{H}_2\text{PO}_4 > \text{CNS} > \text{Br} > \text{SO}_4$
 in 0.0001 n. K. fördert: H_2PO_4 .

Tabelle 26.

Die Wirkung der K- und Na-Salzkonzentrationen auf das Keimlingswachstum von *Lens esculenta*. Temp. 18.0° C. Dauer der Versuche 24 St. $\times$ 7.

Salze	Konz. norm.	Stengel		Wurzel		S+W %	V W : S	Bemerkungen
		%	$\delta \pm$ %	%	$\delta \pm$ %			
KH ₂ PO ₄	0.1	50.1	5.65	67.7	6.73	62.2	3.77	
	0.05	88.9	6.72	84.2	5.46	85.2	2.68	
	0.01	113.5	6.96	97.5	4.78	101.2	2.42	
	0.005	125.6	7.50	108.2	5.22	112.6	2.48	
	0.001	120.1	7.62	105.3	4.20	109.1	2.49	
	0.0005	114.0	7.00	103.8	4.31	106.1	2.58	
	0.0001	112.3	5.63	101.7	4.24	103.0	2.50	
K ₂ HPO ₄	0.1	69.1	5.60	70.4	4.95	70.0	2.90	
	0.05	83.9	9.41	86.0	5.50	85.2	2.94	
	0.01	91.2	7.79	90.2	4.90	90.4	2.82	
	0.005	96.9	8.75	93.8	5.25	94.8	2.74	
	0.001	98.7	6.60	97.9	4.10	98.3	2.78	
	0.0005	100.0	7.37	99.4	4.27	99.5	2.82	
	0.0001	101.2	4.20	100.2	3.30	100.6	2.78	
NaNO ₃	0.1	48.4	6.54	43.4	2.68	44.4	2.60	
	0.05	68.1	3.92	62.6	3.08	64.0	2.62	
	0.01	86.2	7.42	75.4	4.74	78.0	2.48	
	0.005	92.7	4.90	87.1	4.75	88.4	2.67	
	0.001	101.9	6.60	95.8	5.03	97.0	2.68	
	0.0005	102.0	8.50	98.7	4.50	99.5	2.75	
	0.0001	98.2	7.07	101.5	5.21	100.3	2.92	
NaCl	0.1	29.8	3.03	63.6	2.42	54.6	6.06	
	0.05	58.3	4.31	80.1	3.80	74.1	3.95	
	0.01	78.2	8.12	92.4	3.84	88.5	3.36	
	0.005	90.0	5.60	98.3	3.31	94.8	3.07	
	0.001	102.7	7.42	105.8	3.81	104.4	2.92	
	0.0005	100.1	4.88	103.9	3.37	102.6	2.94	
	0.0001	96.0	7.70	103.0	3.55	101.0	3.06	
NaH ₂ PO ₄	0.1	69.2	7.08	71.8	4.04	71.3	2.97	
	0.05	91.2	8.72	90.5	4.55	90.7	2.82	
	0.01	108.0	6.20	97.3	4.71	100.8	2.57	
	0.005	121.1	7.66	103.2	3.26	107.1	2.43	
	0.001	126.6	7.91	110.8	4.43	114.4	2.51	
	0.0005	120.0	6.36	107.2	4.60	110.2	2.55	
	0.0001	119.8	5.98	104.3	3.32	108.1	2.49	

Wurzelwachstum: in 0.1 n. K. hemmen: $\text{CNS} > \text{NO}_3 > \text{Br} > \text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{H}_2\text{PO}_4 > \text{HPO}_4$;
 in 0.01 n. K. hemmen: $\text{CNS} > \text{NO}_3 > \text{Br} > \text{HPO}_4 > \text{H}_2\text{PO}_4$,
 fördern: $\text{SO}_4 > \text{Cl}$;
 in 0.001 n. K. hemmen: $\text{HPO}_4 > \text{CNS}$,
 fördern: $\text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{NO}_3 > \text{H}_2\text{PO}_4 > \text{Br}$;
 in 0.0001 n. K. fördern: $\text{Cl} > \text{CNS}, \text{H}_2\text{PO}_4$.

Na-Salze. Tab. 26. Fig. 58.

Von diesen Salzen hat nur NaH_2PO_4 in mässigen und niederen Konzentrationen auf das Wachstum der Linsenkeimlinge eine starke positive Wirkung ausgeübt.

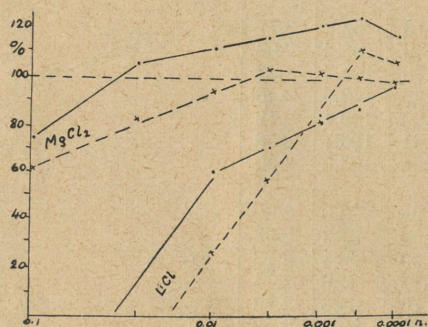


Fig. 62.

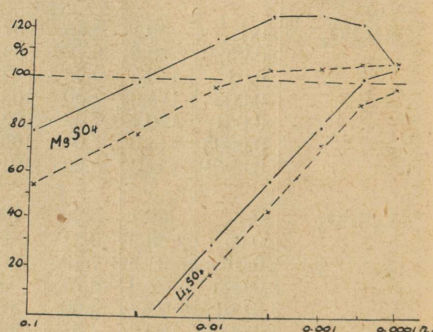


Fig. 63.

Sonst aber wird das Keimlingswachstum durch NaCl und NaH_2PO_4 in gleichem Sinne und $\pm$ ebenso stark wie durch KCl und KH_2PO_4 beeinflusst. NaNO_3 setzt mehr das Wurzel- als das Stengelwachstum herab, wodurch seine Wirkung sich von KNO_3 unterscheidet.

Li- und Mg-Salze. Tab. 27 und 28. Fig. 61—63.

Von den zur Untersuchung verwendeten Neutralsalzen haben die Li-Salze die stärkste Giftwirkung auf das Wachstum der Linsenkeimlinge ausgeübt. In 0.1—0.05 n. Lösungen dieser Salze können Linsensamen überhaupt nicht keimen, und überträgt man die ungekeimten Samen nach 3 Tagen aus Li-Salzlösungen auf die mit destilliertem Wasser angefeuchteten Filtrierpapierscheiben, dann keimen sie auch dort nicht mehr auf: sie haben ihre Keimkraft durch die Li-Salze verloren. Diese Salze haben in

Tabelle 27.

Die Wirkung der Li- und Mg-Salzkonzentrationen auf das Wachstum von *Lens esculenta*. Temp. 18.0° C. Dauer der Versuche 24 St. $\times$ 7.

Salze	Konz. norm.	Stengel		Wurzel		S+W %	V W:S	Bemerkungen
		%	$\delta \pm$ %	%	$\delta \pm$ %			
LiNO ₃	0.1	—	—	—	—	—	—	Die Keimlinge sind tot
	0.05	—	—	—	—	—	—	
	0.01	40.0	6.83	28.5	2.48	31.6	2.03	
	0.005	75.3	7.00	65.4	4.27	68.3	2.45	
	0.001	105.5	7.60	97.0	5.20	98.7	2.62	
	0.0005	104.4	8.71	100.0	6.05	101.1	2.72	
	0.0001	102.2	8.34	101.2	3.23	101.4	2.81	
LiCl	0.1	—	—	—	—	—	—	Die Keimlinge sind tot
	0.05	—	—	—	—	—	—	
	0.01	61.3	6.80	26.5	1.83	35.5	1.21	
	0.005	70.9	8.02	58.3	3.62	61.6	2.34	
	0.001	85.2	5.56	84.5	3.58	85.0	2.82	
	0.0005	88.7	8.60	110.9	5.20	104.9	3.56	
	0.0001	98.4	6.26	107.1	3.30	104.8	3.09	
Li ₂ SO ₄	0.1	—	—	—	—	—	—	Die Keimlinge sind tot
	0.05	—	—	—	—	—	—	
	0.01	29.6	6.10	17.9	1.97	20.8	2.67	
	0.005	57.5	4.62	44.1	2.84	47.6	1.73	
	0.001	80.6	6.54	74.1	3.54	76.0	2.18	
	0.0005	100.6	5.21	90.0	4.33	92.9	2.61	
	0.0001	103.1	5.42	96.9	5.13	98.4	2.53	
Mg(NO ₃) ₂	0.1	73.3	6.55	38.8	2.65	47.8	1.50	
	0.05	105.2	5.38	58.6	3.38	70.8	1.58	
	0.01	109.1	6.80	78.6	4.42	86.6	2.05	
	0.005	115.0	6.41	90.4	3.85	96.0	2.23	
	0.001	108.9	6.22	98.8	4.65	101.0	2.58	
	0.0005	105.2	5.68	108.8	3.73	107.5	2.93	
	0.0001	100.0	7.50	109.3	5.00	106.8	3.09	
MgCl ₂	0.1	75.6	8.50	61.2	4.43	64.8	2.31	
	0.05	105.9	6.63	83.8	4.46	89.4	2.25	
	0.01	110.8	6.98	94.2	5.08	98.4	2.42	
	0.005	116.5	5.32	103.3	3.83	106.8	2.53	
	0.001	121.8	7.16	101.8	3.40	106.3	2.37	
	0.0005	126.8	6.26	100.2	3.58	107.8	2.26	
	0.0001	119.8	6.14	98.3	3.86	103.9	2.17	

den Keimzellen eine irreversible Koagulation des Plasmas hervorgerufen.

Ich habe die Kurven der Li- und Mg-Salze nebeneinander gezeichnet, um den grossen Unterschied in der Wirkung der Li-Salze schärfer zum Ausdruck zu bringen. In den schwächsten Konzentrationen können LiNO_3 und Li_2SO_4 das Stengelwachstum, LiCl — das Wurzelwachstum schwach begünstigen. Im ganzen aber wird durch die Li-Salze mehr das Wurzel- als das Stengelwachstum herabgesetzt.

Mg-Salze zeigen eine ganz andere Wirkung. Sie fördern in grossem Konzentrationsumfange das Stengelwachstum der Linsen-

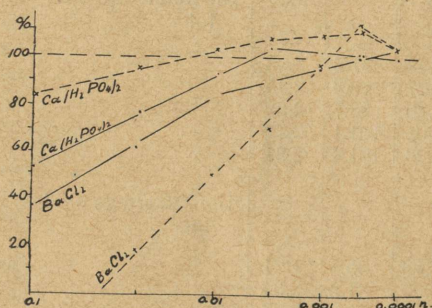


Fig. 64.

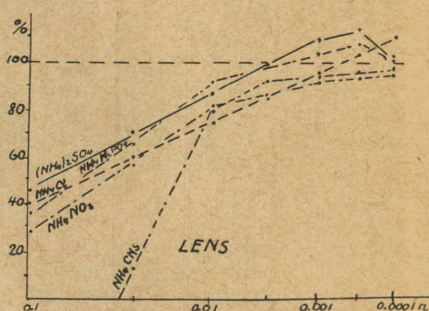


Fig. 65.

keimlinge und setzen deren Wurzelwachstum stark herab. In dieser Beziehung sind sie den Nitraten in ihrer Wirkung auf die Getreidekeimlinge ziemlich ähnlich.

Ba-Salze. Tab. 28. Fig. 64.

In höheren Konzentrationen wirken sie besonders auf das Wurzelwachstum giftig. Wenn die jungen Wurzeln nach 36—48 Stunden die Samenschale durchbrechen, dann biegen sie sich bald nach oben (negativer Chemotropismus!); die Wurzelspitzen nehmen dabei eine gelblichbraune Färbung an; die Zellen sind abgestorben, weil das Plasma unter der Salzwirkung erstarrt ist. Ba-Salze setzen im ganzen mehr das Wurzel- als das Stengelwachstum herab. Eine schwach fördernde Wirkung zeigt BaCl_2 auf das Wurzel- und $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ auf das Stengelwachstum; dieser Zuwachs des Stengels bleibt aber unter der Variationsgrenze und ist belanglos.

Tabelle 28.

Die Wirkung der Mg-, Ba- und Ca-Salzkonzentrationen auf das Keimlingswachstum von *Lens esculenta*. Temp. 18.0° C.

Dauer der Versuche 24 St. $\times$ 7.

Salze	Konz. norm.	Stengel		Wurzel		S+W %	V W:S	Bemerkungen
		%	$\delta \pm$ %	%	$\delta \pm$ %			
MgSO ₄	0.1	77.4	7.80	53.8	3.67	60.0	1.97	
	0.05	98.1	7.63	77.4	4.20	82.9	2.25	
	0.01	116.7	6.02	96.5	5.41	101.6	2.36	
	0.005	126.3	6.12	102.8	5.58	108.6	2.31	
	0.001	128.7	4.04	104.0	3.78	110.2	2.28	
	0.0005	124.5	5.62	106.0	3.41	110.7	2.42	
	0.0001	105.2	5.49	107.1	4.30	106.5	2.89	
BaCl ₂	0.1	36.4	6.80	—	—	—	—	Die Wurzeln sind sehr schwach, die Spitzen — tot
	0.05	61.7	7.26	19.1	2.00	30.2	0.88	
	0.01	85.7	6.72	50.3	3.62	59.5	1.67	
	0.005	90.0	8.05	70.0	5.18	75.3	2.21	
	0.001	95.7	7.32	96.7	3.48	96.2	2.87	
	0.0005	100.0	6.40	111.6	3.90	108.3	3.15	
	0.0001	103.5	6.23	104.2	4.16	104.1	2.87	
Ba(NO ₃) ₂	0.1	28.6	3.30	—	—	—	—	Die Wurzeln sind tot
	0.05	61.2	6.71	28.6	1.96	36.7	1.22	
	0.01	90.8	6.09	59.8	3.77	68.0	1.87	
	0.005	105.6	5.72	81.6	3.43	87.6	2.17	
	0.001	102.8	7.63	97.1	3.64	98.5	2.69	
	0.0005	100.8	7.00	98.0	3.22	98.5	2.75	
	0.0001	98.7	6.86	99.4	4.20	98.8	2.87	
Ca(CNS) ₂	0.1	11.0	3.36	18.8	2.44	16.7	4.85	Die Stengel sind sehr schwach
	0.05	29.8	3.43	58.3	3.15	50.8	5.56	
	0.01	65.7	7.88	85.2	5.05	80.1	3.70	
	0.005	98.9	7.42	109.4	4.18	106.1	3.13	
	0.001	119.0	5.81	112.3	2.96	113.7	2.67	
	0.0005	110.0	6.82	111.6	3.85	110.4	2.88	
	0.0001	102.0	6.22	104.8	3.62	103.9	2.92	
CaBr ₂	0.1	76.7	4.32	66.3	5.45	69.0	2.44	
	0.05	92.7	6.40	81.9	5.00	84.3	2.52	
	0.01	104.7	6.94	98.0	4.24	99.3	2.64	
	0.005	111.0	5.88	101.7	3.93	103.4	2.63	
	0.001	113.8	7.00	103.5	3.78	105.7	2.58	
	0.0005	104.7	3.55	99.1	4.72	100.4	2.67	
	0.0001	103.0	6.93	97.8	5.20	99.0	2.69	

Ca-Salze. Tab. 28—29. Fig. 59 und 64.

Unter den Ca-Salzen zeigt $\text{Ca}(\text{CNS})_2$ in 0.1 n. K. eine schwache Giftwirkung und setzt besonders das Stengelwachstum stark herab. Dass die giftigen Rhodanide (NH_4CNS , KCNS und $\text{Ca}(\text{CNS})_2$) in 0.1. n. K. mehr das Stengel- als das Wurzelwachstum herabsetzen, ist für diese Salze charakteristisch; dagegen äussert sich die Giftwirkung bei Li-Salzen mehr in der Herabsetzung des Wurzelwachstums. Von 0.005 n. K. an fördert aber $\text{Ca}(\text{CNS})_2$ das Stengel- wie auch das Wurzelwachstum.

CaBr_2 und CaCl_2 setzen in stärkeren Konzentrationen mehr das Wurzel- als das Stengelwachstum herab. Von 0.01 n. K. an ruft

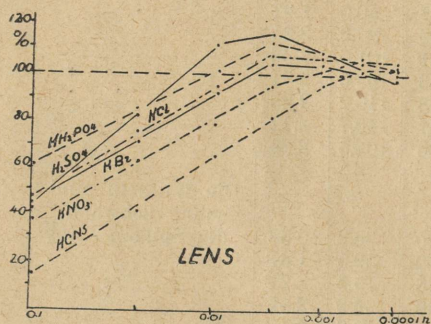


Fig. 66.

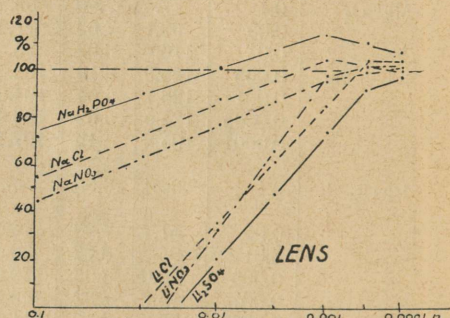


Fig. 67.

CaBr_2 ein stärkeres Stengelwachstum hervor, CaCl_2 dagegen bleibt in schwächeren Konzentrationen ohne bemerkenswerte positive Wirkung.

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ und $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ setzen in höheren Konzentrationen mehr das Stengelwachstum als das Wurzelwachstum herab und begünstigen in niederen Konzentrationen schwach das Wurzelwachstum. Auch hier ist die Wirkung der genannten Salze bei Linsenkeimlingen gerade umgekehrt wie bei Getreidekeimlingen.

Aus diesen Versuchsanalysen geht hervor, dass die Wirkung der Neutralsalze in verschiedenen Konzentrationen auf das Wachstum der Keimlingselemente von Linsen in vielen Fällen eine ganz andere ist als auf Getreidekeimlinge. Der Hauptunterschied jedoch besteht darin, dass die K-Salze und Nitrate auf das Stengelwachstum bei Linsen kaum eine positive Wirkung ausüben können. Sonst wird aber das Wachstum der Keimlingselemente bei Linsen von den Salzkonzentrationen viel einheitlicher als bei den

Tabelle 29.

Die Wirkung der Ca-Salzkonzentrationen und der Kontrolllösungen auf das Keimlingswachstum von *Lens esculenta*. Temp. 18.0° C. Dauer der Versuche 24 St. $\times$ 7.

Lösungen	Konz. norm.	Stengel		Wurzel		S+W	V W:S	Bemerkungen
		%	$\delta \pm$ %	%	$\delta \pm$ %			
CaCl ₂	0.1	49.0	4.12	38.1	3.72	40.6	2.27	
	0.05	73.6	7.69	60.3	4.61	65.6	2.43	
	0.01	93.2	7.22	78.1	6.38	81.8	2.48	
	0.005	97.6	5.45	92.5	3.82	93.6	2.69	
	0.001	99.1	6.50	98.5	3.52	98.7	2.82	
	0.0005	102.2	6.20	103.2	4.50	102.9	2.87	
	0.0001	100.0	5.15	106.4	5.26	104.5	3.02	
Ca(NO ₃) ₂	0.1	50.9	6.35	56.4	3.91	55.1	3.17	
	0.05	69.4	5.82	73.1	4.75	72.2	2.98	
	0.01	74.7	6.75	84.0	4.76	81.4	3.20	
	0.005	85.2	7.28	93.2	5.21	90.0	3.12	
	0.001	94.5	6.10	100.7	4.55	99.1	3.03	
	0.0005	102.2	7.50	108.3	3.96	106.6	3.02	
	0.0001	104.8	6.12	102.1	3.26	102.5	2.77	
Ca(H ₂ PO ₄) ₂	0.1	52.8	5.92	84.6	4.84	75.5	4.71	
	0.05	78.1	8.42	95.4	4.80	90.8	3.50	
	0.01	93.5	6.00	101.7	4.43	99.1	3.08	
	0.005	102.8	6.21	104.4	3.45	103.8	2.87	
	0.001	101.7	7.03	107.1	5.62	105.5	3.00	
	0.0005	100.0	6.41	109.4	4.03	106.6	3.09	
	0.0001	99.3	5.60	103.3	3.52	102.0	2.95	

Lösungen	Konz.	Stengel			Wurzel			S + W		V
		cm	%	$\delta \pm$ %	cm	%	$\delta \pm$ %	cm	%	
Aq. dest.		3.00	100.0	5.63	8.5	100.0	4.26	11.5	100.0	2.83
Leit.-w.		2.60	86.6	5.86	7.8	91.7	4.36	11.4	90.4	3.00
Knopsche N. L.	1/1	2.70	90.0	6.31	8.0	94.1	4.20	10.7	93.0	2.96
Knopsche N. L.	1/5	3.30	113.3	5.74	8.7	102.3	3.62	12.0	104.3	2.64

Getreidearten beeinflusst, was daraus hervorgeht, dass die Unterschiede der Wirkung des Salzes auf das Wurzel- und das Stengelwachstum weniger hervortreten und die optimalen Salzkonzentrationen für das Stengel- und das Wurzelwachstum meistens zusammenfallen.

Die Figuren 65—72 geben uns einen Überblick über die Wirkung der Salzkonzentrationen auf das Gesamtwachstum der Linsenkeimlinge.

NH_4 -Salze. Fig. 65.

Die Kurven kreuzen sich bei den NH_4 -Salzen mehrmals, was darauf hinweist, dass die Anionenreihen hier stark von den Salzkonzentrationen beeinflusst werden. In 0.1 n. K. wird das Keimlingswachstum nach der Anionenreihe $\text{CNS} \gg \text{NO}_3 > \text{Cl} > \text{H}_2\text{PO}_4 > \text{SO}_4$ herabgesetzt, in 0.01 n. K. aber nach der Reihenfolge: $\text{Cl} > \text{CNS}$, $\text{NO}_3 > \text{SO}_4 > \text{H}_2\text{PO}_4$. Die erstere Reihe ist eine lyotrope Reihe und eine typische Hemmungsreihe, die letztere — eine Übergangsreihe zur Förderung.

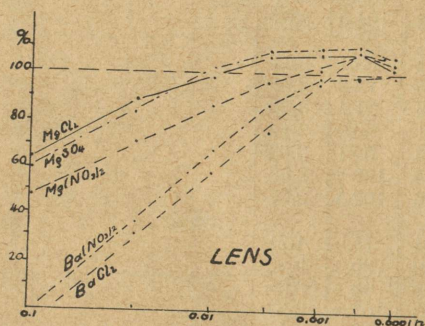


Fig. 68.

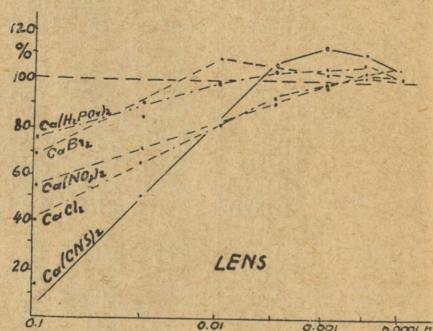


Fig. 69.

In kleineren Konzentrationen wird das Keimlingswachstum durch $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ und NH_4Cl gefördert; NH_4CNS und NH_4NO_3 dagegen zeigen in den verwendeten Konzentrationen keine positive Wirkung. Bei 0.0005 n. K. ist die Wirkungsreihe der Anionen die folgende: $\text{SO}_4 > \text{H}_2\text{PO}_4 > \text{Cl} > \text{NO}_3 > \text{CNS}$, wobei die ersten drei Ionen das Keimlingswachstum fördern. Diese Reihe ist eine umgekehrte Hemmungsreihe, also eine umgekehrte lyotrope Reihe.

K-Salze. Fig. 66.

Abgesehen von K_2SO_4 verlaufen die Kurven hier konkordant; deshalb bleibt die Reihenfolge der Anionen bis zu den schwächsten Konzentrationen konstant. Die Hemmungsreihe der Anionen in 0.05 n. K. ist eine reine lyotrope: $\text{CNS} > \text{NO}_3 > \text{Br} > \text{Cl} > \text{SO}_4$, H_2PO_4 , die Förderungsreihe in 0.005 n. aber eine umgekehrte Hemmungsreihe: $\text{SO}_4 > \text{H}_2\text{PO}_4 > \text{Cl} > \text{Br} > \text{NO}_3 > \text{CNS}$, bei

welcher nur die zwei letzten Ionen hemmend wirken. Im ganzen ist die Wirkung der NH_4 - und K-Salze einander ziemlich ähnlich. Im speziellen aber ist die positive Wirkung der K-Salze viel grösser und in einem breiteren Konzentrationsumfange zu beobachten als bei den NH_4 -Salzen.

Na- und Li-Salze. Fig. 67.

Man kann hier in der Wirkung der beiden Arten Salze einen grossen Unterschied sehen: alle Li-Salze sind in stärkeren Konzentrationen giftig und setzen das Keimlingswachstum mehr herab als die Na-Salze.

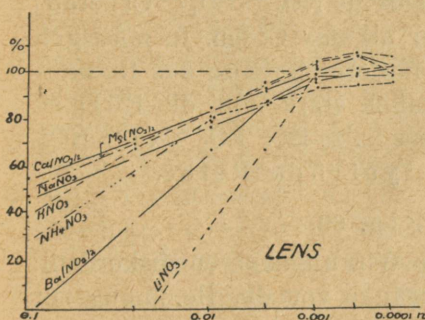


Fig. 70.

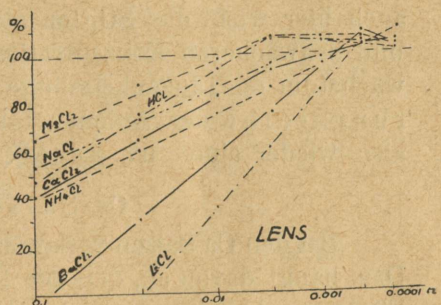


Fig. 71.

Die Wirkungslinien der Na-Salze verlaufen konkordant; bei der Hemmung (0.1—0.01 n.) folgt die Stärke der Anionen der Reihe $\text{NO}_3 > \text{Cl} > \text{H}_2\text{PO}_4$, bei der Förderung — einer umgekehrten Reihe (NaNO_3 zeigt hier keine fördernde Wirkung).

Li-Salze. Ausser der starken Giftigkeit ist bei den Li-Salzen noch bemerkenswert, dass die Reihenfolge der Ionen hier eine ganz andere ist als bei den NH_4 -, K- und Na-Salzen. Hier wird das Keimlingswachstum am stärksten von Li_2SO_4 herabgesetzt, und die typische Hemmungsreihe der Anionen ist: $\text{SO}_4 > \text{NO}_3 > \text{Cl}$ (0.05—0.01 n.). Dass das Sulfation das Keimlingswachstum mehr als die anderen Anionen herabsetzt, haben wir bei anderen Salzen nicht beobachtet. Wohl aber finden wir diese Erscheinung bei den Li-Salzen auch in bezug auf Avena und Triticum, so dass man sie bei den Linsen nicht als einen Zufall ansehen kann. So lauten die Anionenreihen nach der Herabsetzungsstärke: bei Avena — für Koleoptile $\text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{NO}_3$ und für Wurzeln $\text{NO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$; bei Triticum — für Koleoptile und

Wurzeln $\text{NO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$. Wenn die Hemmungskraft des SO_4 -Ions hier auch nicht immer die stärkste ist, so ist sie doch jedenfalls stets stärker als die des Cl -Ions.

Die Wirkung von **Mg**- und **Ba**-Salzen auf das Gesamtwachstum der Linsenkeimlinge. Fig. 68.

Aus dem Kurvenverlauf sehen wir, dass in höheren Konzentrationen Ba-Salze viel stärker als Mg-Salze das Keimlingswachstum herabsetzen, also viel giftiger wirken. In schwächeren Konzentrationen ruft BaCl_2 eine leichte Förderung des Wachstums hervor, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ aber nicht. Mg-Salze setzen in 0.1—0.05 n. K. das Keimlingswachstum nach der Anionenreihe $\text{NO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$ herab; auch hier wirkt das SO_4 -Ion stärker als das Cl -Ion. In mässigen und schwächeren Konzentrationen fördern Mg-Salze das Gesamtwachstum der Linsenkeimlinge ziemlich stark, und die Förderungsreihe der Anionen für diese Salze ist: $\text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{NO}_3$, also wieder eine umgekehrte lyotrope Reihe.

Ca-Salze. Fig. 69.

Bei den Ca-Salzen verlaufen die Wirkungskurven diskordant. Das hängt davon ab, dass die Übergänge von der Hemmung zur Förderung bei einigen Salzen ($\text{Ca}(\text{CNS})_2$ und CaBr_2) schärfer als bei anderen ausgeprägt sind, die Kurven etwas stärker ansteigen und sich mit anderen kreuzen. Besonders scharf kommen diese Verhältnisse bei $\text{Ca}(\text{CNS})_2$ zum Ausdruck, wo die Kurve von der stärksten Hemmung zur stärksten Förderung quer über die anderen läuft. Die Hemmungsreihe der Anionen für die Ca-Salze (0.1 n.) ist: $\text{CNS} >> \text{Cl} > \text{NO}_3 > \text{Br} > \text{H}_2\text{PO}_4$. In kleineren Konzentrationen rufen Ca-Salze (abgesehen von CaCl_2) eine schwache Förderung des Keimlingswachstums hervor, wobei $\text{Ca}(\text{CNS})_2$ am stärksten wirkt.

Überblick über die Wirkung der Kationen.

Fig. 70—72.

Für Nitrate (Fig. 70) gilt in 0.1 n. K. bei der Herabsetzung des Keimlingswachstums folgende Reihe der Kationen: $\text{Li} >> \text{Ba} >> \text{NH}_4 > \text{K} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{Ca}$, wo Li und Ba am stärksten wirken und stark giftig sind. Diese Ionenreihe verändert sich bei anderen Konzentrationen. Die Veränderlichkeit der Ionenreihen kann auch hier darauf zurückgeführt werden, dass der Übergang von der Hemmung zur Förderung bei einigen Salzen (KNO_3 und $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$) etwas kontrastreicher zur Geltung kommt

als bei anderen. In niederen Konzentrationen wird durch KNO_3 , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ und $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ eine schwache Förderung des Wachstums hervorgerufen.

Kationenwirkung bei Chloriden. Fig. 71.

Die Wirkung der Chloride ist sehr einheitlich in dem Sinne, dass sie alle in stärkeren Konzentrationen das Gesamtwachstum von Linsenkeimlingen hemmen und in schwächeren fördern. Auch verlaufen die Kurven hier, besonders an der Hemmungsseite, ziemlich konkordant; hier kreuzen sich nur die Wirkungskurven von KCl mit NaCl und von NH_4Cl mit BaCl_2 . Das Keimlingswachstum wird durch Chloride in höheren Konzentrationen im allgemeinen nach folgender Kationenreihe herabgesetzt: $\text{Li} \gg \text{Ba} \gg \text{NH}_4 > \text{Ca} > \text{K}, \text{Na} > \text{Mg}$. In dieser Reihe stehen die ein- und zweiwertigen Ionen durcheinander.

In niederen Konzentrationen wird das Gesamtwachstum der Linsenkeimlinge durch MgCl_2 und KCl in ziemlich breitem, durch die anderen Chloride in engerem Konzentrationsumfang gefördert. Die Wirkungsreihe der Kationen ist hier keine konstante.

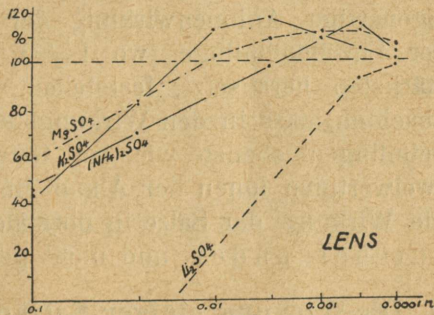


Fig. 72.

Bei den Sulfaten (Fig. 72) ist die starke Giftigkeit von Li_2SO_4 auffallend. Die Wirkung der anderen Sulfate ist mehr gleichartig mit derjenigen der Chloride: in stärkeren Konzentrationen setzen sie das Wachstum herab, in kleineren wirken sie fördernd. Charakteristisch ist der Kurvenverlauf von K_2SO_4 von einer ziemlich starken Hemmung bis zur stärksten Förderung. Bei diesem steilen Anstieg schreitet die K_2SO_4 -Kurve quer über die Kurven von $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ und MgSO_4 hinweg. Dieser verhältnismässig rasche Übergang von der Hemmung zur Förderung kann mit der ernährungsphysiologischen Wirkung des K-Ions in Zusammenhang gebracht werden. Für Sulfate lautet die Hemmungsreihe der Kationen: $\text{Li} \gg \text{K} > \text{NH}_4 > \text{Mg} (0.1 \text{ n.})$ oder $\text{Li} \gg \text{NH}_4 > \text{K}, \text{Mg} (0.05 \text{ n.})$; die Förderungsreihe aber: $\text{K} > \text{Mg} > \text{NH}_4$.

Zusammenfassung.

Bei der Wirkung der Neutralsalze auf das Wachstum von Linsenkeimlingen können wir viele bei Getreidekeimlingen beobachtete Tatsachen wiederfinden und zu einigen neuen Gesichtspunkten gelangen. Wir haben hier die typische Hemmungsreihe (lyotrope Reihe) und Förderungsreihe (umgekehrte lyotrope Reihe) der Anionen kennengelernt und die Übergangsreihen zwischen diesen beiden beobachtet. Weiter haben wir gesehen, wie die Veränderung der Ionenreihen von den Ionenkonzentrationen abhängt, wie Übergangsreihen entstehen können und welche Faktoren dazu beitragen, dass die Wirkungskurven nicht immer konkordant verlaufen. Wir konnten hier die eigenartige Anionenwirkung der Li-Salze auf das Wachstum der Linsenkeimlinge, wo Li_2SO_4 das Keimlingswachstum am stärksten herabsetzt, feststellen. Und zuletzt konnten wir beobachten, dass in den Wirkungsreihen der Kationen bei Linsenkeimlingen ebenso wie bei Getreidekeimlingen die ein- und zweiwertigen Ionen der Alkali- und Erdalkalimetalle, wenn man die Wirkung der Salze in normalen Konzentrationen betrachtet, durcheinander und nicht getrennt nacheinander stehen.

6. Die Wirkung einiger Salzkombinationen auf das Keimlingswachstum von *Triticum vulgare* und *Lens esculenta*.

Die Wirkung eines einzelnen Salzes auf das Plasma und auf dessen Lebenstätigkeit ist einseitig, und eine dadurch hervorgerufene Förderung kann nur eine mehr oder weniger beschränkte Zeit dauern. Im gegebenen Falle, wo es sich hauptsächlich um die Verwertung und Verteilung der Reservestoffe unter den Keimlingselementen handelt und wo diese Stoffe in geringen Mengen auch andere Salze enthalten, wird diese Förderung einigermassen durch die letzterwähnten Salzionen ins Gleichgewicht gebracht; dadurch kann die Förderung so lange dauern, bis alle Reservestoffe ausgenutzt sind. Auf Grund dieser Feststellungen kann man annehmen, dass wenn statt eines Salzes zwei oder mehrere von den auf das Keimlingswachstum fördernd wirkenden Salzen genommen werden, ihre positive Wirkung mehr gesteigert und das Gleichgewicht des Keimlingswachstums besser hergestellt wird.

Um diese Voraussetzung nachzuprüfen, habe ich einige Versuchsserien mit Salzkombinationen ausgeführt. Es

Tabelle 30.

Die Wirkung einiger Salzkombinationen auf das Keimlingswachstum von *Triticum vulgare*.
Salzkonzentration 0.005 norm. Temp. 18.0°C. Dauer 24 St. $\times$ 8.

Lösungen	Koleoptil			Gesamtlänge der Wurzel			Mittl. Wurzell. cm	Koleoptil- + mittl. Wurzell.		V	Bemerk.
	cm	%	$\delta \pm$ %	cm	%	$\delta \pm$ %		cm	%		
Aq. destillata	8.70	100.0	4.62	40.2	100.0	5.30	8.04	16.74	100.0	4.6	
Leitungswasser	8.38	95.5	4.81	37.7	93.7	5.54	7.54	15.92	95.1	4.5	
Knopsche N. L. (— Fe)	10.50	120.7	5.02	44.1	109.7	4.76	8.82	19.32	115.4	4.2	
CaCl ₂ + KCl	11.50	132.2	5.13	51.78	128.8	5.79	10.35	21.85	130.2	4.5	
CaCl ₂ + KNO ₃	11.35	130.4	4.72	43.1	107.2	4.83	8.62	19.97	119.2	3.8	
CaCl ₂ + KH ₂ PO ₄	9.86	113.4	3.20	39.4	98.0	4.17	7.88	17.74	106.0	4.0	
CaCl ₂ + MgSO ₄	8.35	96.0	4.06	42.58	105.9	3.36	8.51	16.86	100.7	5.1	
Ca(NO ₃) ₂ + KNO ₃	10.30	118.2	3.83	37.08	92.2	4.28	7.41	17.71	105.8	3.6	
Ca(NO ₃) ₂ + KCl	12.55	144.3	5.30	43.92	109.2	5.11	8.78	21.33	127.4	3.5	
Ca(NO ₃) ₂ + KH ₂ PO ₄	9.70	111.3	4.07	47.53	118.2	3.96	9.50	19.20	114.6	4.9	
Ca(NO ₃) ₂ + MgSO ₄	8.14	93.6	5.35	34.2	85.1	4.83	6.85	14.99	89.5	4.2	
KCl + KNO ₃	10.92	125.5	4.33	33.85	84.2	5.46	6.77	17.69	105.6	3.1	
KNO ₃ + KH ₂ PO ₄	10.50	120.6	3.62	39.90	99.2	4.75	7.98	18.48	110.2	3.8	
KCl + MgSO ₄	12.32	141.7	4.87	51.74	128.6	5.44	10.34	22.66	135.3	4.2	
KH ₂ PO ₄ + MgSO ₄	10.17	116.9	4.83	42.71	106.2	4.61	8.54	18.71	111.7	4.2	

wurden zuerst nur die ernährungsphysiologisch wichtigsten Salze in der $\pm$ optimalen Konzentration 0.005 n. miteinander paarweise vereinigt. Von Versuchen mit anderen Konzentrationen wurde vorläufig abgesehen, weil das Samenmaterial fast ganz erschöpft war und ein neues ähnliches zur Zeit nicht mehr zur Verfügung stand.

Versuche mit *Triticum vulgare*.

Die Versuchsergebnisse mit *Triticum* sind in der Tabelle 30 wiedergegeben.

Die Kontrollversuche in Leitungswasser, destilliertem Wasser und in Knopscher Nährlösung zeigen hier kleinere Abweichungen von denjenigen der vorigen 7-tägigen Versuche bei 27.5°C. Das Koleoptilwachstum nämlich ist hier relativ schwächer und die Verhältniszahlen sind dadurch etwas gestiegen. Aber alle diese Veränderungen sind ziemlich unbedeutend und liegen unter den Variationsgrenzen, so dass sie keine besondere Beachtung verdienen.

Sonst ersehen wir aus der Tabelle 30, dass KCl in Kombinationen mit CaCl_2 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ und MgSO_4 in gegebener Konzentration am stärksten das Keimlingswachstum fördert, viel stärker als die einzelnen Salze zusammengenommen. Charakteristisch für die Wirkung der genannten Salzkombinationen ist, dass $\text{KCl} + \text{CaCl}_2$ das Wurzel- und das Koleoptilwachstum $\pm$ gleich stark beeinflussen ($V = 4.5$), $\text{KCl} + \text{MgSO}_4$ etwas mehr das Koleoptilwachstum begünstigen ($V = 4.2$), und $\text{KCl} + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ besonders stark das Koleoptilwachstum und weniger das Wurzelwachstum fördern ($V = 3.5$). Diese Salzkombinationen ergeben folgende Wirkungsreihen: a) für das Koleoptilwachstum nach der Förderungsstärke — $(\text{KCl} + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2) > (\text{KCl} + \text{MgSO}_4) > (\text{KCl} + \text{CaCl}_2)$, b) für das Wurzelwachstum — $(\text{KCl} + \text{CaCl}_2) = (\text{KCl} + \text{MgSO}_4) > (\text{KCl} + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2)$ und c) für das Gesamtwachstum — $[\text{KCl} + \text{MgSO}_4 (135.3\%)] > [\text{KCl} + \text{CaCl}_2 (130.2\%)] > [\text{KCl} + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 (127.4\%)]$.

Bei jenen Salzkombinationen, welche besonders stark das Koleoptilwachstum fördern, sind die Anionen Cl' , NO_3' und SO_4'' zusammen mit den Kationen K' , Ca'' und Mg'' wirksam.

Eine sehr günstige Kombination bilden auch $\text{KNO}_3 + \text{CaCl}_2$, welche das Koleoptilwachstum um 30.4% und das Gesamtwachstum um 19.2% steigern. Hier finden sich Cl' und NO_3' mit K' und Ca'' in Wechselwirkung. Diese Salzkombination för-

dert stark das Koleoptilwachstum und weniger das Wurzelwachstum ($V = 3.8$).

Die folgenden Salzkombinationen erhöhen den Mehrwert des Gesamtwachstums um 10–15%: $\text{KH}_2\text{PO}_4 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $\text{KH}_2\text{PO}_4 + \text{KNO}_3$ und $\text{KH}_2\text{PO}_4 + \text{MgSO}_4$. Hier verbinden sich die Anionen $\text{H}_2\text{PO}_4'$, NO_3' und SO_4'' mit den Kationen K' , Ca'' und Mg'' . Das Koleoptilwachstum wird hier nach der Kombinationsreihe $(\text{KH}_2\text{PO}_4 + \text{KNO}_3) > (\text{KH}_2\text{PO}_4 + \text{MgSO}_4) > (\text{KH}_2\text{PO}_4 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2)$ und das Wurzelwachstum nach der Kombinationsreihe $(\text{KH}_2\text{PO}_4 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2) > (\text{KH}_2\text{PO}_4 + \text{MgSO}_4)$ begünstigt; $(\text{KH}_2\text{PO}_4 + \text{KNO}_3)$ bleibt ohne positive Wirkung auf das Wurzelwachstum. Merkwürdigerweise lauten die Kombinationsreihen für das Koleoptil- und das Wurzelwachstum hier gerade umgekehrt. Daraus sehen wir, dass die Anionen $\text{H}_2\text{PO}_4'$ und NO_3' im Zusammenhang mit dem monovalenten Kation K' besonders stark das Koleoptilwachstum, mit ein- und zweiwertigen Kationen (K' und Ca'') aber das Wurzelwachstum begünstigen.

Von den anderen Salzkombinationen ist von Interesse die Kombination ($\text{KCl} + \text{KNO}_3$), welche das Koleoptilwachstum stark fördert, das Wurzelwachstum aber herabsetzt. Auch hier wirkt das monovalente K' zusammen mit den Anionen Cl' und NO_3' begünstigend auf das Koleoptilwachstum. In analoger Weise, nur etwas schwächer, wirken $\text{KNO}_3 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ auf das Keimlingswachstum.

Die Kombinationen der Ca-Salze mit MgSO_4 — ($\text{CaCl}_2 + \text{MgSO}_4$) und ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{MgSO}_4$) — können keine positive Wirkung auf das Gesamtwachstum ausüben; die erstere Kombination fördert nur schwach das Wurzelwachstum, die letztere setzt das Koleoptil wie auch das Wurzelwachstum herab. Die ungünstige Wirkung dieser Salzkombinationen kann vielleicht dadurch erklärt werden, dass hier ein praktisch unlösliches Salz (CaSO_4) gebildet wird, so dass nur Mg'' , Cl' und NO_3' frei werden, welche das Wachstum der Keimlinge bei Vorhandensein von wenigem Ca'' und SO_4'' beeinflussen.

Zum Schluss muss noch die letzte Kombination — ($\text{CaCl}_2 + \text{KH}_2\text{PO}_4$) — erwähnt werden, welche das Koleoptilwachstum fördert, das Wurzelwachstum hemmt und das Gesamtwachstum schwach begünstigt.

Zur Gesamtwirkung der Salzkombinationen muss man bemerken, dass die Keimlinge in den meisten Lösungen, besonders aber in denjenigen, in welchen die ein- und zweiwertigen Katio-

Tabelle 31.

Die Wirkung einiger Salzkombinationen auf das Keimlingswachstum von *Lens esculenta*.
Temp. 18.0° C. Konzentration 0.005 norm. Dauer der Versuche 24 St. $\times$ 7.

Lösungen	Stengel			Wurzel			S + W		V	Bemerkungen
	cm	%	$\delta \pm \%$	cm	%	$\delta \pm \%$	cm	%		
Aqua destillata	3.1	100.0	5.28	8.50	100.0	3.83	11.60	100.0	2.74	
Leitungswasser.	2.7	87.1	4.16	7.90	92.9	3.65	10.60	91.4	2.92	
Knopsche N. L. (—Fe)	2.9	93.5	3.92	8.30	97.6	4.15	11.20	96.5	2.86	
KCl + CaCl ₂ *	3.6	116.1	4.10	8.90	104.5	4.62	12.50	107.7	2.47	* Verzweigung der
KNO ₃ + CaCl ₂	3.0	96.7	6.15	8.20	96.2	3.86	11.20	96.5	2.73	Wurzeln
KH ₂ PO ₄ + CaCl ₂ **	2.8	90.3	5.32	8.80	103.5	2.97	11.60	100.0	3.14	** Kräftige Wurzeln
MgSO ₄ + CaCl ₂	3.2	103.2	4.66	9.31	109.4	4.18	12.51	107.8	2.91	
KCl + Ca(NO ₃) ₂	3.2	103.2	3.86	8.82	103.7	5.12	12.02	103.6	2.75	
KNO ₃ + Ca(NO ₃) ₂	3.0	96.7	5.40	8.50	100.0	4.68	11.50	99.1	2.74	
KH ₂ PO ₄ + Ca(NO ₃) ₂	3.0	96.7	4.91	7.78	91.5	3.75	10.78	92.7	2.59	
MgSO ₄ + Ca(NO ₃) ₂ *	3.2	103.2	5.57	9.15	107.7	4.42	12.55	106.4	2.85	* Kräftige Wurzeln
KCl + MgSO ₄ **	3.7	119.3	6.13	9.40	110.6	4.88	13.10	112.9	2.54	** Verzweigung der
KNO ₃ + MgSO ₄	3.3	106.4	4.12	8.86	104.3	4.25	12.16	104.8	2.68	Wurzeln
KCl + KNO ₃ *	3.3	106.4	5.63	9.45	111.2	4.43	12.75	109.9	2.86	* Verzweigung der
KCl + KH ₂ PO ₄	3.8	122.6	5.30	9.53	112.1	3.65	13.33	114.9	2.51	Wurzeln

nen zusammen wirken, etwas dicker (Koleoptile) und kräftiger (Wurzeln) als in destilliertem Wasser und in Lösungen von einem einzigen Salze sind.

Damit haben diese Versuche unsere Voraussetzungen bestätigt.

Versuche mit *Lens esculenta*.

Ferner wurden Salzkombinationsversuche mit Linsenkeimlingen angestellt. Die Resultate dieser Versuche sind in der Tabelle 31 wiedergegeben. Wenn wir die Angaben dieser Tabelle mit denen der vorigen (Tab. 30) vergleichen, dann sehen wir, dass die Salzkombinationen auf das Wachstum der Linsenkeimlinge viel weniger positiv (also fördernd) gewirkt haben; denn es sind in der Tab. 31 nur wenige Fälle zu finden, wo das Gesamtwachstum bis auf $+10\%$ über den Kontrollwert gestiegen ist ($\text{KCl} + \text{MgSO}_4$ und $\text{KCl} + \text{KNO}_3$). Andererseits ist aber aus den Bemerkungen zu ersehen, dass das Wurzelwachstum in manchen Salzkombinationen viel stärker ist als in den Kontrollösungen und in den Lösungen von einzelnen Salzen. In vielen Fällen haben die Hauptwurzeln der Keimlinge sich in Lösungen von Salzkombinationen verzweigt, eine Erscheinung, die bei den Kontrollversuchen und bei den oben besprochenen siebentägigen Versuchen über die Wirkung der einzelnen Salze nicht beobachtet worden ist. Daraus muss man schliessen, dass jene Salzkombinationen, in welchen eine Verzweigung der Wurzeln beobachtet wurde, das Keimlingswachstum begünstigen.

Diese Widersprüche lassen sich dadurch erklären, dass die 0.005 norm. K. der Lösungen in allen Fällen der optimalen Wachstumskonzentration für Linsenkeimlinge nicht entspricht, sondern etwas zu hoch ist, weshalb auch die Begünstigung des Wachstums selten über 100% hinausgeht und man sie übersehen kann. Wollen wir die Wirkung der Salzkombinationen auf das Wachstum der Linsenkeimlinge feststellen, so müssen wir die betreffenden Angaben mit denjenigen für 0.005 norm. K. der einzelnen Salze vergleichen (Tab. 24—29). Das habe ich in Tabellenform getan (siehe die Tabellen 32 und 33). Hier sind in der Rubrik der Bemerkungen die Wirkungsarten der einzelnen Salzkombinationen angegeben. Aus diesen Analysetabellen ist zu ersehen, dass in den meisten Salzkombinationen das Wachstum der Linsenkeimlinge bedeutend stärker ist, als in den entsprechenden einzelnen Salzlösungen. Es sind hier nur vereinzelte

Tabelle 32.

Lösungen in 0.005 n. K.	Stengel %	Wurzel %	S + W %	Bemerkungen
KCl + CaCl₂				
KCl	89.4	113.1	106.7	
CaCl ₂	97.6	92.5	93.6	
Mittelwert	93.5	103.8	100.1	
(KCl + CaCl ₂)	116.1	104.5	107.7	Eine starke Förderung des Stengelwachstums
KNO₃ + CaCl₂				
KNO ₃	88.2	95.3	93.5	
CaCl ₂	97.6	92.5	93.6	
Mittelwert	92.9	93.9	93.5	
(KNO ₃ + CaCl ₂)	96.7	96.2	96.5	Eine schwache allgemeine Förderung
KH₂PO₄ + CaCl₂				
KH ₂ PO ₄	125.6	108.2	112.6	
CaCl ₂	97.6	92.5	93.6	
Mittelwert	111.6	100.3	103.1	
(KH ₂ PO ₄ + CaCl ₂)	90.3	103.5	100.0	Die positive Wirkung von KH ₂ PO ₄ auf das Stengel- wachstum wird durch CaCl ₂ herabgesetzt
MgSO₄ + CaCl₂				
MgSO ₄	126.3	102.8	108.6	
CaCl ₂	97.6	92.5	93.6	
Mittelwert	111.9	97.6	101.1	
(MgSO ₄ + CaCl ₂)	103.2	109.4	107.8	Hemmung des Stengelwachs- tums und Förderung des Wurzelwachstums
KCl + Ca(NO₃)₂				
KCl	89.4	113.1	106.7	
Ca(NO ₃) ₂	85.2	93.2	90.9	
Mittelwert	87.3	103.1	98.8	
(KCl + Ca(NO ₃) ₂)	103.2	103.7	103.6	Förderung des Stengel- wachstums
KNO₃ + Ca(NO₃)₂				
KNO ₃	88.2	95.3	93.5	
Ca(NO ₃) ₂	85.2	93.2	90.9	
Mittelwert	86.7	94.2	92.2	
(KNO ₃ + Ca(NO ₃) ₂)	96.7	100.0	99.1	Eine allgemeine Förderung
KH₂PO₄ + Ca(NO₃)₂				
KH ₂ PO ₄	125.6	108.2	112.6	
Ca(NO ₃) ₂	85.2	93.2	90.9	
Mittelwert	105.4	100.7	101.7	
(KH ₂ PO ₄ + Ca(NO ₃) ₂)	96.7	91.5	92.7	Eine allgemeine Hemmung, ähnlich wie bei KH ₂ PO ₄ + CaCl ₂

Salzkombinationen angetroffen worden, die das Keimlingswachstum hemmen (KH₂PO₄ + CaCl₂ und KH₂PO₄ + Ca(NO₃)₂).

Die hemmende Wirkung der letztgenannten Salzkombinationen kann vielleicht dadurch erklärt werden, dass hier durch den Ionenaustausch ein schwer dissoziierbares CaHPO₄ gebildet wird, wo HPO₄' ähnlich wie bei K₂HPO₄ (siehe Tabelle 26) keine Förderung des Wachstums in dem Masse wie H₂PO₄' (= H' + HPO₄') hervorrufen kann.

Am stärksten wird das Wachstum der Linsenkeimlinge durch folgende Salzkombinationen gefördert: $(\text{KCl} + \text{KH}_2\text{PO}_4)$, $(\text{KCl} + \text{MgSO}_4)$ und $(\text{KCl} + \text{CaCl}_2)$. Wir treffen in diesen Kombinationen überall KCl resp. K^+ und Cl^- im Zusammenhang mit den ziemlich stark fördernd wirkenden $\text{K}^+ + \text{H}_2\text{PO}_4^-$ und $\text{Mg}^{++} + \text{SO}_4^{--}$, oder mit dem zweiwertigen Kation Ca^{++} . In den ersten zwei

Tabelle 33.

Lösungen in 0.005 n. K.	Stengel %	Wurzel %	S + W %	Bemerkungen
$\text{MgSO}_4 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$				
MgSO_4	126.3	102.8	108.6	
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	85.2	93.2	90.9	
Mittelwert	105.7	98.0	99.7	
$(\text{MgSO}_4 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2)$	103.2	107.7	106.4	Förderung des Wurzelwachstums
$\text{KCl} + \text{MgSO}_4$				
KCl	89.4	113.1	106.7	
MgSO_4	126.3	102.8	108.6	
Mittelwert	107.8	107.9	107.6	
$(\text{KCl} + \text{MgSO}_4)$	119.3	110.6	112.9	Eine allgemeine Förderung
$\text{KNO}_3 + \text{MgSO}_4$				
KNO_3	88.2	95.3	93.5	
MgSO_4	126.3	102.8	108.6	
Mittelwert	107.2	99.0	101.0	
$(\text{KNO}_3 + \text{MgSO}_4)$	106.4	104.3	104.8	Eine schwache Förderung des Wurzelwachstums
$\text{KCl} + \text{KNO}_3$				
KCl	89.4	113.1	106.7	
KNO_3	88.2	95.3	93.5	
Mittelwert	88.8	104.2	100.1	
$(\text{KCl} + \text{KNO}_3)$	106.4	111.2	109.9	Eine allgemeine Förderung
$\text{KCl} + \text{KH}_2\text{PO}_4$				
KCl	89.4	113.1	106.7	
KH_2PO_4	125.6	108.2	112.6	
Mittelwert	107.5	110.6	109.6	
$(\text{KCl} + \text{KH}_2\text{PO}_4)$	122.6	112.1	114.9	Eine allgemeine Förderung

Fällen ist das Stengelwachstum in den Lösungen von Salzkombinationen nicht stärker, sondern etwas schwächer als in den reinen Lösungen von KH_2PO_4 oder MgSO_4 , wohl aber ist das Wurzel- und das Gesamtwachstum in den Lösungen von Salzkombinationen besser, so dass man doch annehmen könnte, dass das Keimlingswachstum durch die genannten Salzkombinationen im allgemeinen zweckmässiger als durch die einzelnen Salze reguliert und ins Gleichgewicht gebracht wird.

7. Die Wirkung der Salzionen auf das Längenwachstum, Roh- und Trockengewicht der Keimlinge von *Triticum vulgare*.

Wir haben in der Tabelle 1 gesehen, dass die Salzionen das Längenwachstum und das Roh- und Trockengewicht der Keimlingselemente nicht in gleicher Weise beeinflussen. Die Beziehungen zwischen den Längsmassen und dem Roh- und Trockengewicht (bezw. Wassergehalt) der Keimlinge sowie die Veränderung dieser Grössen durch die Salzionen können uns beim Studium der Wirkung

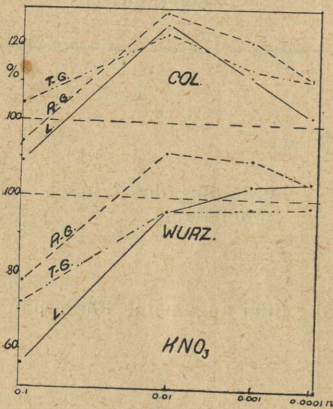


Fig. 73.

der Salze auf das Plasma als Anhaltspunkte dienen. Darum habe ich zum Schluss noch einige Versuchsserien mit Weizen ausgeführt und hier parallel mit den Längsmassen auch das Roh- und Trockengewicht der Keimlingselemente bestimmt.

Um die Wurzeln leichter und möglichst unverletzt aus dem Keimbett auspräparieren zu können, wurde von den Versuchslösungen etwas mehr (15 ccm statt 10 ccm auf je 5 Filtrierpapierscheiben) genommen. Das Rohgewicht der Koleoptile wurde unmittelbar nach dem Abschneiden

bestimmt, die Wurzeln dagegen wurden zuerst mit destilliertem Wasser abgespült, in trockenem Filtrierpapier sorgfältig getrocknet und dann erst gewogen.

Weiter wurden die Koleoptile und Wurzeln im Trockenschrank bei 100–110°C 2 Stunden lang bis zum konstanten Gewicht getrocknet und dann das Trockengewicht bestimmt.

Die Versuchsergebnisse sind in den Tabellen 34 und 35 zusammengefasst: in der Tab. 34 nach den Anionen, in der Tab. 35 nach den Kationen (siehe auch die Figuren 1 und 73–75).

Aus diesen Tabellen sehen wir folgendes:

I. Das Koleoptilwachstum.

1) Alle Grössen (Länge, Roh- und Trockengewicht) werden mit dem Steigen der Salzkonzentrationen herabgesetzt, in niederen Konzentrationen aber meistens gesteigert. Die optimalen Salzkonzentrationen fallen, abgesehen von einem Falle bei K_2SO_4 , bei allen Grössen zusammen.

Tabelle 34.

Die Wirkung der Anionen auf das Keimlingswachstum von
 Triticum vulgare RL. „Rubin“ Jögeva, Ernte 1929.
 Temp. 19—20° C. Versuchsdauer 24 St. × 6.

Salze	Konz. norm	K o l e o p t i l				W u r z e l				Bemer- kungen
		Länge %	Rohg. %	Trock. %	T. 100 Rohg.	Länge %	Rohg. %	Trock. %	T. 100 Rohg.	
KCNS	0.1 *	17.4	11.9	23.2	18.6	5.4	11.7	19.6	15.0	* Wurzel- wachstum nur in den ersten 3 Tagen
	0.01	58.3	72.5	82.1	11.1	51.5	50.9	69.1	12.1	
	0.001	101.9	104.6	103.3	9.8	90.5	81.7	90.8	9.8	
	0.0001	100.5	94.2	91.2	9.5	98.7	103.0	102.2	8.9	
KCl	0.1	76.9	73.1	87.7	11.8	62.7	76.8	80.0	9.3	
	0.01	103.9	111.6	101.7	8.9	94.9	114.4	107.5	8.7	
	0.001	117.8	125.5	113.5	8.8	118.9	123.2	117.5	8.4	
	0.0001	98.2	98.3	96.5	9.6	106.9	114.3	105.0	8.2	
KBr	0.1	79.8	86.5	101.7	11.5	65.0	61.5	61.9	8.9	
	0.01	110.6	118.6	115.3	9.3	98.6	90.0	91.6	9.1	
	0.001	111.6	114.3	110.9	9.6	107.1	102.7	109.8	9.4	
	0.0001	109.5	105.8	105.4	9.7	100.0	90.2	92.4	9.1	
KNO ₃	0.1	89.4	94.6	105.7	10.3	57.1	77.6	72.0	9.2	
	0.01	125.7	128.9	123.4	9.2	96.5	111.7	97.2	8.7	
	0.001	112.3	121.2	116.2	8.9	103.3	110.5	97.7	8.8	
	0.0001	102.5	112.3	112.2	9.2	104.9	104.7	98.1	9.3	
K ₂ SO ₄	0.1	84.0	77.2	79.8	10.3	51.9	51.5	61.5	11.3	
	0.01	101.8	100.7	109.8	10.6	90.5	77.7	88.5	10.8	
	0.001	112.3	103.5	100.6	9.7	117.7	105.3	110.0	10.0	
	0.0001	104.9	97.6	97.9	9.8	101.4	100.7	103.8	10.1	
KH ₂ PO ₄	0.1	99.1	99.8	102.4	10.1	70.7	80.7	90.3	10.0	
	0.01	112.7	108.9	104.5	9.4	93.1	90.0	97.6	8.9	
	0.001	109.2	106.3	100.0	9.2	104.1	113.2	114.3	9.0	
	0.0001	107.9	101.3	95.0	9.2	100.3	98.9	105.9	9.4	
Aq. dest. (der Mittelwert aus allen Kontrollv.)		100.0	100.0	100.0	9.8	100.0	100.0	100.0	8.9	
		7.8 cm	908 mg	89 mg		38.7 cm	685 mg	61.2 mg		
Leitungsw.		98.2	107.6	98.1	9.0	102.8	107.8	104.3	8.6	
Knop. N. L. 1/1		118.9	127.2	109.1	8.6	78.4	91.2	85.7	8.3	
Knop. N. L. 1/2		120.7	127.0	109.2	8.6	86.6	98.6	104.4	9.5	

2) Das Rohgewicht ist in stärkeren Konzentrationen von Salzlösungen (0.1 n.) relativ etwas kleiner, in mässigen aber meistens grösser als die entsprechenden Längsmasse (eine Ausnahme bilden KBr und KNO₃ in 0.1 n. K.). Daraus muss man schliessen, dass in stärkeren Salzkonzentrationen der Wassergehalt der Koeleptilzellen etwas mehr als das Wachstum herabgesetzt, in mässigen aber gesteigert wird. Im Zusammenhang damit

Tabelle 35.

Die Wirkung der Kationen auf das Keimlingswachstum von
Triticum vulgare RL. „Rubin“ Jögeva, Ernte 1929.
 Temp. 19–20° C. Versuchsdauer 24 St. $\times$ 6.

Salze	Konz. norm.	K o l e o p t i l				W u r z e l				Bemer- kungen
		Länge	Rohg.	Trock.	T. 100	Länge	Rohg.	Trock.	T. 100	
		%	%	%	R.	%	%	%	R.	
LiCl	0.1	—	—	—	—	—	—	—	—	Keine Keimung
	0.01	87.2	83.4	87.9	10.3	35.5	35.4	55.9	14.1	
	0.001	103.8	112.0	100.0	8.7	97.6	102.5	110.1	9.6	
	0.0001	101.3	105.1	90.8	8.4*	100.2	96.2	96.6	9.3	
NH ₄ Cl	0.1	67.7	54.5	63.5	11.4	40.4	44.2	70.1	14.0	
	0.01	95.8	97.3	98.3	11.1	58.9	63.9	86.0	11.9	
	0.001	103.4	108.5	106.9	9.7	107.0	96.0	116.6	10.8	
	0.0001	101.6	98.8	97.5	9.6	104.0	91.5	110.0	10.6	
KCl	0.1	76.9	73.1	87.7	11.8	62.7	76.8	80.0	9.3	
	0.01	103.9	111.6	101.7	8.9	94.9	114.4	107.5	8.7	
	0.001	117.8	125.5	113.5	8.8	118.9	123.2	117.5	8.4	
	0.0001	97.2	98.3	96.5	9.6	106.9	114.3	105.0	8.2	
MgCl ₂	0.1	72.2	67.7	87.3	10.8	29.0	38.2	58.3	12.4	
	0.01	95.8	101.8	91.2	7.6	95.4	88.2	102.0	11.3	
	0.001	103.8	111.9	97.8	8.5	109.8	96.1	106.1	10.5	
	0.0001	99.8	98.9	97.8	9.7	105.4	98.7	104.4	9.3	
CaCl ₂	0.1	66.6	65.5	72.4	10.8	52.7	67.1	71.2	9.5	
	0.01	96.1	100.5	91.4	8.8	92.7	99.3	108.4	9.8	
	0.001	102.5	106.7	98.8	9.0	105.1	102.7	103.4	9.0	
	0.0001	100.0	99.3	95.0	9.3	93.3	92.5	91.5	8.9	
Ba l ₂	0.1*	7.9	5.3	13.8	26.0	5.9	14.9	32.4	19.8	*Keimlin- ge sehr schwach, doch am Leben
	0.01	73.7	69.9	79.3	10.8	65.6	69.4	76.2	10.4	
	0.001	94.5	81.2	85.9	9.8	96.0	95.9	88.4	8.0	
	0.0001	98.9	96.9	95.3	9.6	101.7	106.3	94.5	7.9	
Aq. dest.	—	100.0	100.0	100.0	9.8	100.0	100.0	100.0	8.9	

ist das Trockengewicht im ersteren Falle relativ etwas grösser, im letzteren aber kleiner als die entsprechenden Längsmasse. In der Tat ergibt sich dies auch aus den Zahlen der fünften Spalte.

Nur in K₂SO₄-, KH₂PO₄- und BaCl₂-Lösungen ist das Rohgewicht (resp. der Wassergehalt) in allen Konzentrationen relativ kleiner als die entsprechenden Längsmasse.

3) In allen Fällen, wo das Koleoptilwachstum die Kontrollwerte merklich überstiegen hat, ist der Trockengewicht-prozentsatz — auf das Rohgewicht berechnet (die Angaben der sechsten Spalte) — etwas kleiner als derjenige der Kontrolle (8.9), so z. B. in 0.01–0.001 norm. K. von LiCl, KCl, MgCl₂ und KNO₃.

Nach diesen Prozentzahlen des Trockengewichtes können wir im Zusammenhang mit den Angaben der 4. und 5. Spalte der Tabelle auf die Beeinflussung des Wassergehaltes der betreffenden Pflanzenorgane (resp. der Quellung der Plasmakolloide) durch die Salzkonzentrationen schliessen.

Nach den Trockengewichtprozentsätzen ist die Wirkung der Salzionen auf den Wassergehalt der Weizenkoleoptile folgende.

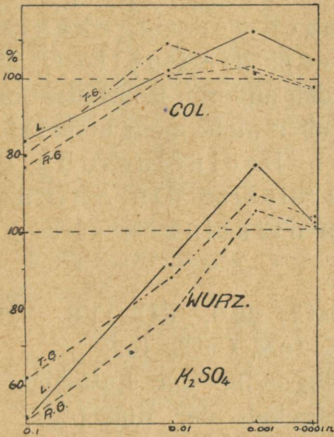


Fig. 74.

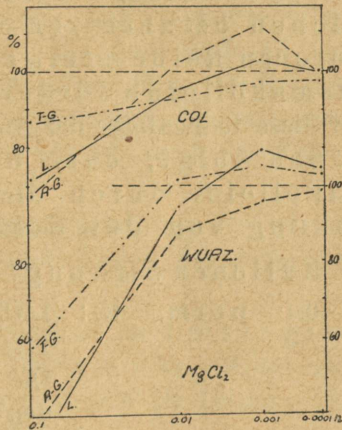


Fig. 75.

Anionenwirkung:

In 0.1 norm. K.: KCNS 18.6, KCl 11.8, KBr 11.5, KNO₃ 10.3, K₂SO₄ 10.3, KH₂PO₄ 10.1.

Folglich wird der Wassergehalt, resp. die Quellung der Zellkolloide, nach folgender Anionenreihe beeinflusst: H₂PO₄ > SO₄, NO₃ > Br > Cl > CNS.

In 0.01 norm K.: KCNS 11.1, K₂SO₄ 10.6, KH₂PO₄ 9.4, KBr 9.3, KNO₃ 9.2, KCl 8.9.

Die Wirkungsreihe der Anionen bei der Plasmaquellung ist also folgende: Cl > NO₃ > Br > H₂PO₄ > SO₄ > CNS.

In 0.001 norm. K.: K₂SO₄ 10.6, KCNS 9.8, KBr 9.6, KH₂PO₄ 9.2, KNO₃ 8.9, KCl 8.8.

Die Anionen wirken auf die Plasmaquellung folgendermassen: Cl > NO₃ > H₂PO₄ > Br > CNS > SO₄.

In 0.0001 norm. K.: K_2SO_4 9.8, KBr 9.7, KCl 9.6, KCNS 9.5, KH_2PO_4 9.2, KNO_3 9.2.

Der Wassergehalt der Koleoptile wird nach der Anionenreihe $NO_3, H_2PO_4 > CNS > Cl > Br > SO_4$ gesteigert.

Wir sehen also, dass in 0.1 norm. K. die Neutralsalze den Wassergehalt der Koleoptile der Weizenkeimlinge nach der lyotropen Reihe der Anionen herabsetzen oder nach der umgekehrten lyotropen Reihe steigern, resp. die Quellung der Plasmakolloide fördern. In den anderen Konzentrationen wird diese Reihenfolge der Anionen aber nicht mehr beibehalten. Daraus folgt, dass bei der Beeinflussung der Zellkolloide durch die Neutralsalze die Anionenwirkung von den Salzkonzentrationen abhängt.

Kationenwirkung:

n 0.1 norm. K.: LiCl 0, $BaCl_2$ 26.0, KCl 11.8, NH_4Cl 11.4, $MgCl_2$ 10.8, $CaCl_2$ 10.8.

Die Wirkungsreihe der Kationen auf den Wassergehalt der Koleoptile: $Ca, Mg > NH_4 > K > Ba > Li$.

In 0.01 norm. K.: NH_4Cl 11.1, $BaCl_2$ 10.8, LiCl 10.3, KCl 8.9, $CaCl_2$ 8.8, $MgCl_2$ 7.6.

Die Quellungswassermenge der Zellkolloide wird gesteigert nach der Kationenreihe: $Mg > Ca > K > Li > Ba > NH_4$.

In 0.001 norm. K.: $BaCl_2$ 9.8, NH_4Cl 9.7, $CaCl_2$ 9.0, KCl 8.8, LiCl 8.7, $MgCl_2$ 8.5.

Der Wassergehalt der Koleoptile steigt nach der Kationenreihe: $Mg > Li > K > Ca > NH_4 > Ba$.

In 0.0001 norm. K.: $MgCl_2$ 9.7, $BaCl_2$ 9.6, KCl 9.6, NH_4Cl 9.6, $CaCl_2$ 9.3, LiCl 8.4.

Hier sind die Unterschiede zu klein.

Aus diesen Ionenreihen ersehen wir, dass in höheren Konzentrationen Mg-, K- und Ca-Ionen den Wassergehalt der Koleoptilzellen der Weizenkeimlinge am wenigsten, Li^+ , NH_4^+ und Ba^{++} dagegen am stärksten herabsetzen. Wie aus den vorigen

Versuchsanalysen hervorgeht und besonders in Fig. 47—48 und 52—54 zu sehen ist, setzen die erstgenannten Ionen (Mg^{++} , K^+ und Ca^{++}) in höheren Konzentrationen auch das Keimlingswachstum von *Avena* und *Triticum* am wenigsten, die letztgenannte Ionengruppe (Li^+ , NH_4^+ und Ba^{++}) dagegen am stärksten herab. Das alles beweist nur, dass die Salzwirkung mit der Wasserversorgung resp. mit der Quellung der Zellkolloide in Zusammenhang steht. In niederen Konzentrationen verändern sich die Stellungen der Ionen in den Wirkungsreihen bei der Wachstums- und Wasserregulierung ebenfalls ziemlich ähnlich: die Li -, NH_4 - und Ba -Ionen stehen in niederen Konzentrationen nicht mehr am Ende der Quellungsreihe und fördern in diesen Konzentrationen, wie wir aus den Tab. 14—16, 18—20 und 23 sehen können, auch das Koleoptilwachstum verhältnismässig stark.

Aus diesen Gegenüberstellungen geht hervor, wie stark die Kationenwirkung von der Konzentration der Salze beeinflusst wird.

4) Das Rohgewicht der Koleoptile ist im Leitungswasser etwas grösser, alle anderen Grössen aber kleiner als in destilliertem Wasser. Die Koleoptilzellen sind im Leitungswasser wasserreicher als in destilliertem Wasser.

5) In Knopscher Nährlösung ist der Wassergehalt der Koleoptile bedeutend grösser als in destilliertem Wasser, was man aus dem Rohgewicht und dem Trockengewichtprocentsatz ersehen kann. Bemerkenswert ist hier noch, dass die Konzentration der Knopschen N. L. in den Intervallen $\frac{1}{1}$ und $\frac{1}{2}$ fast keinen Einfluss auf das Koleoptilwachstum ausübt.

II. Das Wurzelwachstum.

1) Auch bei den Wurzeln wird das Längenwachstum, das Roh- und Trockengewicht durch höhere Salzkonzentrationen herabgesetzt und durch mässige (optimale) Konzentrationen gesteigert, wobei die optimalen Salzkonzentrationen für alle Grössen dieselben sind. Die optimalen Konzentrationen für das Koleoptil- und Wurzelwachstum fallen jedoch bei $KCNs$, KBr , KNO_3 , KH_2PO_4 nicht zusammen.

2) Das Rohgewicht der Wurzeln ist in mässigen und niederen Konzentrationen nur bei einzelnen Salzen relativ grösser als die entsprechenden Längsmasse (KCl , KNO_3 , KH_2PO_4 0.001 n., $CaCl_2$ 0.1—0.01 n., $BaCl_2$), in den meisten Fällen aber kleiner

oder $\pm$ ebenso gross wie die Längsmasse. Im Zusammenhang damit sind die Trockengewichtprozentsätze (zehnte Spalte) grösser als diejenigen der Kontrolle.

3) Das Trockengewicht ist in den meisten Fällen in stärkeren Konzentrationen (0.1—0.001 n.) relativ grösser, in niederen aber etwas kleiner als die entsprechenden Längsmasse (z. B. bei KCl, LiCl, MgCl_2 , CaCl_2 , BaCl_2 , KNO_3 , K_2SO_4), und nur bei KCNS und KH_2PO_4 in allen verwendeten Konzentrationen stets etwas grösser. Es wiederholt sich also in diesem Falle bei den Wurzeln alles das, was wir bei den Koleoptilen gesehen haben.

4) Die absoluten Prozentwerte des Trockengewichts unterscheiden sich bei den Wurzeln verhältnismässig wenig von denjenigen der Koleoptile; sie sind aber, abgesehen von ganz vereinzeltten Fällen (KCl 0.01—0.0001 n., KNO_3 0.001—0.0001 n., BaCl_2 0.001—0.0001 n.), stets grösser als der Kontrollwert 8.9. Der Grund dieser Erscheinung kann darin bestehen, dass die Salzionen die Bildung von organischen Verbindungen in den Wurzelzellen begünstigen, wodurch die Trockengewichtprozentsätze grösser sind als in destilliertem Wasser.

5) Die Wirkung der Ionen auf die Bildung von Trockensubstanz in den Wurzelzellen nach den Angaben der zehnten Spalte der Tabellen 34 und 35.

Anionenwirkung:

In 0.1 n. K.: KCNS 15.0, K_2SO_4 11.3, KH_2PO_4 10.0, KCl 9.3, KNO_3 9.2, KBr 8.9.

Der Wassergehalt der Wurzelzellen nimmt nach der folgenden Anionenreihe zu:

$\text{Br} > \text{NO}_3 > \text{Cl} > \text{H}_2\text{PO}_4 > \text{SO}_4 > \text{CNS}$.

In 0.01 n. K.: KCNS 12.1, K_2SO_4 10.8, KBr 9.1, KH_2PO_4 8.9, KNO_3 8.7, KCl 8.7.

Die Menge des Quellungswassers der Wurzelzellen nimmt zu: $\text{Cl}, \text{NO}_3 > \text{H}_2\text{PO}_4 > \text{Br} > \text{SO}_4 > \text{CNS}$.

In 0.001 n. K.: K_2SO_4 10.0, KCNS 9.8, KBr 9.4, KH_2PO_4 9.0, KNO_3 8.8, KCl 8.4.

Die Wirkungsreihe der Anionen hinsichtlich des Wassergehalts der Wurzeln ist: $\text{Cl} > \text{NO}_3 > \text{H}_2\text{PO}_4 > \text{Br} > \text{CNS} > \text{SO}_4$.

In 0.0001 n. K.: K_2SO_4 10.0, KH_2PO_4 9.4, KNO_3 9.3, KBr 9.1, KCNS 8.9, KCl 8.2; die Plasmaquelle der Wurzelzellen wird nach folgender Anionenreihe gesteigert: $Cl > CNS > Br > NO_3 > H_2PO_4 > SO_4$.

Wir sehen aus diesen Angaben, dass der Wassergehalt der Wurzeln in allen Salzkonzentrationen durch Cl - und NO_3 -Ionen weniger als durch H_2PO_4 - und SO_4 -Ionen herabgesetzt wird und dass die Wirkungsreihe der Anionen in dieser Hinsicht in allen Konzentrationen der lyotropen Reihe ziemlich nahe kommt. Nur die Stellung des CNS -Ions in stärkeren Konzentrationen ist eine stark abweichende; auch hat das Br -Ion keinen festen Platz in diesen Reihen.

Kationenwirkung.

In 0.1 n. K.: $LiCl$ 0, $BaCl_2$ 19.8, NH_4Cl 14.0, $MgCl_2$ 12.4, $CaCl_2$ 9.5, KBr 9.3.

Die Wirkungsreihe der Kationen nach dem Wassergehalt der Wurzeln ist: $K > Ca > Mg > NH_4 > Ba > Li$.

In 0.01 n. K.: $LiCl$ 14.1, NH_4Cl 11.9, $MgCl_2$ 11.3, $BaCl_2$ 10.4, $CaCl_2$ 9.8, KCl 8.7

Der Wassergehalt der Wurzeln wird nach folgender Ionenreihe gesteigert: $K > Ca > Ba > Mg > NH_4 > Li$.

In 0.001 n. K.: NH_4Cl 10.8, $MgCl_2$ 10.5, $LiCl$ 9.6, $CaCl_2$ 9.0, KCl 8.4, $BaCl_2$ 8.0; somit lautet die Wirkungsreihe der Kationen nach der Beeinflussung des Wassergehaltes der Wurzelzellen: $Ba > K > Ca > Li > Mg > NH_4$.

In 0.0001 n. K.: NH_4Cl 10.6, $LiCl$ 9.3, $MgCl_2$ 9.3, $CaCl_2$ 8.9, KCl 8.2, $BaCl_2$ 7.9.

Nach dem Wassergehalt der Wurzeln lautet die Wirkungsreihe der Kationen: $Ba > K > Ca > Mg, Li > NH_4$.

Aus diesen Ionenreihen geht hervor, dass NH_4 - und Li -Ionen den Wassergehalt der Wurzeln am meisten, K und Ca aber am wenigsten herabsetzen. Die Stellung der Ba - und Mg -Ionen in den Reihen hängt stark von der Konzentration der Salzlösung ab, welche Erscheinung wir auch bei Quellungsversuchen mit Linsensamen beobachtet haben (Fig. 3).

6) In Leitungswasser ist das Rohgewicht und der Wassergehalt der Wurzel etwas grösser als in destilliertem Wasser.

In Knopscher Nährlösung $\frac{1}{1}$ sind alle Masse — die Länge, das Roh- und das Trockengewicht — bedeutend kleiner als in destilliertem Wasser, welche Erscheinung mit der für das Weizenwurzelwachstum zu hohen Salzkonzentration in dieser Lösung in Zusammenhang steht; denn in der Knopschen N. L. $\frac{1}{2}$ übersteigt das Trockengewicht der Wurzel relativ das Rohgewicht und das Längsmass stark. Aus diesem Falle geht deutlich hervor, dass die zu starken Salzkonzentrationen den Wassergehalt und im Zusammenhang damit das Längenwachstum der Wurzel herabsetzen und dass die günstigen Salzkonzentrationen nicht nur eine Steigerung des Wassergehalts, sondern auch eine solche der absoluten Menge der Trockensubstanz in den Wurzeln hervorrufen.

Diskussion der Versuchsergebnisse.

I. Die Wirkung der Salzionen auf das Keimen von Samen.

Die Quellung der Reservestoffe in Samen ist ein Wasserversorgungsakt und muss demnach für das Aufkeimen der Samen von Bedeutung sein. Unsere Quellungsversuche mit Linsensamen und Getreidekörnern haben gezeigt, dass alle Salze in den verwendeten Konzentrationen (0.1—0.0001 n.) die Quellungswassermenge in den Samen herabsetzen und dass diese Wassermenge mit dem Steigen der Salzkonzentration stets abnimmt. Weiter haben wir gesehen, dass Neutralsalze die Menge des Quellungswassers in proteinhaltigen Linsensamen viel stärker als in stärkehaltigen Getreidekörnern vermindern. Danach wäre zu erwarten, dass alle Salze in den verwendeten Konzentrationen ebenfalls das Aufkeimen der Samen zurückhalten.

Unsere Spezialversuche jedoch haben in bezug auf die Aufkeimung der Samen folgendes gezeigt (als Kriterium der Aufkeimung wurde der Moment des Durchbrechens der Samenschale durch die Koleorrhiza angenommen):

Das Aufkeimen der Samen wird in 0.1 n. K. meistens schwach verlangsamt; in einzelnen Salzlösungen (hauptsächlich solchen der Li-Salze und in NH_4CNS bei Linsen) wurde das Zellplasma in den Keimlingsanlagen abgetötet, so dass ein Aufkei-

men überhaupt nicht mehr zustande kam. In den meisten Fällen sind die Samen aber auch in solchen 0.1 n. Salzlösungen, wo die Keimlinge später umgekommen sind, so z. B. in den meisten Rhodanidlösungen und in LiCl bei Avena, fast ebenso schnell wie in destilliertem Wasser aufgekeimt.

Die niederen Salzkonzentrationen haben die Geschwindigkeit des Aufkeimens kaum verändert, und das Durchbrechen der Samenschale durch die Koleorrhiza wurde ebenso in destilliertem Wasser wie in Salzlösungen zu $\pm$ gleicher Zeit beobachtet. Eine Beschleunigung des Aufkeimens von Weizenkörnern wurde nur einmal in 0.1 n. Na_2HPO_4 -Lösung festgestellt. Diese schwache Wirkung der Neutralsalze auf die Keimung der Samen deutet darauf hin, dass das Aufkeimen der Samen nicht direkt von der Quellungswassermenge in den Samen abhängt.

Wie gezeigt, ist die Samenschale in der Nähe der Keimlingsanlage für das Wasser und die Salzionen leichter durchdringbar als an anderen Stellen der Samen. Wenn also die Salzionen und das Wasser die Samenschale in der Nähe der Keimlinge leicht passieren oder durch die Mikropyle ungehindert eindringen können, dann werden die Keimlingszellen direkt von ihnen beeinflusst und das Quellungswasser der Reservestoffe hat in diesem Falle für die Aufkeimung kaum eine Bedeutung.

Es ist aber von verschiedenen Forschern gezeigt worden, dass Salzionen die Aufkeimung der Samen beschleunigen (stimulieren). Eine solche Salzwirkung ist ja möglich, kann aber bei schnellkeimenden Samen, um die es sich hier handelt, kaum beobachtet werden. Andererseits ist von Niethammer, Hassebrauk und anderen festgestellt worden, dass die stimulierende Wirkung der Salze und anderer Chemikalien bei solchen Samen, welche sich im Nachruhezustande befinden oder welche ihre Keimkraft schon zum Teil verloren haben, deutlicher als bei normalkeimenden Samen zum Ausdruck kommt.

Daraus folgt:

1) Die Aufkeimung der Getreide- und Linsensamen wird nicht von der Quellungswassermenge der Reservestoffe, sondern direkt von den durch die Samenschale und die Mikropyle in die Samen eingedrungenen Lösungen beeinflusst.

2) Die Aufkeimungsgeschwindigkeit der Getreide- und Linsensamen wird von stärkeren Kon-

zentrationen der Neutralsalze herabgesetzt; von schwächeren Salzkonzentrationen werden diese schnellkeimenden Samen nicht merklich beeinflusst. Eine Stimulation der Keimung bei Getreidekörnern und Linsensamen wird durch Neutralsalze nicht hervorgerufen.

II. Die Regulierung des Quellungswassers in Keimlingszellen durch die Salzionen in bezug auf ihre Abhängigkeit von den Konzentrationen.

Nachdem die Samenschale von der Koleorrhiza durchbrochen ist, tauchen sich die Keimlingswurzeln direkt in die Salzlösungen ein. Jetzt wird das Keimlingswachstum einerseits von der Wasserversorgung der lebenden Zellen, andererseits von der Mobilisierung der Reservestoffe abhängen. Beide Prozesse werden durch die Salzionen in Abhängigkeit von deren Konzentration mehr oder weniger stark beeinflusst.

Aus den Tabellen 34 und 35 haben wir ersehen, dass die Keimlinge in optimalen Wachstumszuständen in verschiedenen Salzlösungen stets wasserreicher, in gehemmtem Zustande aber wasserärmer sind als in destilliertem Wasser. Nicht nur brauchen die lebhaft wachsenden Zellen mehr Wasser zur Bildung der neuen Plasmamassen, sondern es ist auch eine jede solche Zelle resp. Organ schon an sich wasserreicher, wie wir aus den Beziehungen zwischen dem Roh- und dem Trockengewicht bei Koleoptilen und Wurzeln des Weizens gesehen haben. In optimalem Wachstumszustande sind also die Zellkolloide wasserreicher, resp. stärker angequollen, in gehemmtem Zustande — wasserärmer, resp. weniger angequollen. Demnach muss die Quellung der Plasmakolloide, wie auch der Zellwandkolloide, von stärkeren Salzkonzentrationen herabgesetzt, von schwächeren aber gesteigert werden. Eine solche Wirkung der Neutralsalze auf das Quellen der Gelatine ist neuerdings auch von Künzel (1928) festgestellt worden.

Die die Quellung aufhebende Wirkung der Salze ist aber nicht nur von der Konzentration, sondern auch (wie von verschiedenen Autoren: Hofmeister, Pauli, Porges und Neubauer, Ruhland, Kaho u. a. gezeigt worden ist) von den spezifischen Eigenschaften der An- und Kationen abhängig, was an den Wirkungsreihen der An-

und Kationen bei Weizenkeimlingen ebenfalls zu sehen ist. Der Wassergehalt resp. die Quellung der Zellkolloide wird in Weizenkeimlingen nach der lyotropen Reihenfolge der Anionen reguliert; nach der Stärke der Herabsetzung der Quellungswassermenge ordnen sich die Anionen nach der lyotropen Reihe, wobei die Stellung des CNS- und des Br-Ions von den Salzkonzentrationen stark beeinflusst wird. In 0.1 n. K. wird die Quellungswassermenge durch Li^+ , NH_4^+ und Ba^{++} am stärksten, durch K^+ und Mg^{++} am schwächsten herabgesetzt. Hier kommt wieder ein Parallelismus in der Wirkung der Salze auf das Quellen der Linsensamen und der Zellkolloide zum Ausdruck. Parallel mit der Herabsetzung des Wassergehalts zeigt sich eine Hemmung des Längenwachstums der Keimlinge.

In mässigen und niederen Konzentrationen wird die Quellung der Zellkolloide durch die Salzionen begünstigt; am stärksten quellungsfördernd wirken von den Anionen Cl und NO_3 auf die Koleoptil- und Wurzelzellen, von den Kationen — K , Mg und Li auf die Koleoptil-, K und Ba auf die Wurzelzellen. Die Wirkung des Ca-Ions auf das Quellen der Linsensamen ist hier verschieden von seiner Wirkung auf die Zellkolloide.

Mit der Quellung der Plasmakolloide sind aber auch die Veränderungen der Viskosität, Dispersität, Permeabilität und des osmotischen Druckes des Plasmas verbunden. Alle diese Eigenschaften des Plasmas, ebenso wie die Ionisation, werden durch die Salzionen in Abhängigkeit von deren Konzentration beeinflusst, so dass das Keimlingswachstum nicht nur durch die Quellung und den Wassergehalt der Plasmakolloide bedingt wird. Unsere Versuche sind jedoch keineswegs zur Klärung dieser Fragen ausgeführt worden.

Kurz gefasst:

1. Der Wassergehalt der Keimlingselemente wird von höheren Salzkonzentrationen herabgesetzt, von mässigen und niederen Konzentrationen aber gesteigert.

2. Die Förderung des Keimlingswachstums durch die Salzionen fällt mit dem grösseren Wassergehalt der Keimlingselemente, resp. mit der stärkeren Quellung, die Hemmung — mit dem Rückgang der Quellung der Zellkolloide zusammen.

3. Bei der Quellung der Zellkolloide und ihrem Rückgang spielen die Salzkonzentrationen und die An- und Kationen der Salze eine entscheidende Rolle.

III. Die Wirkung der Neutralsalze auf die H-Ionenkonzentration der Versuchslösungen.

Welche Rolle die H- und OH-Ionen im Pflanzenleben spielen, darüber ist in einem der vorigen Abschnitte schon gesprochen worden. Wir haben gesehen, dass alle die kleinen Veränderungen der pH-Werte, die durch Salzionen in Lösungen verursacht wurden, recht bald (schon nach 3—4 Tagen) durch die Ausscheidungen der Keimlingswurzeln ausgeglichen worden waren und somit für das Keimlingswachstum von keiner Bedeutung sind.

Bei der Erörterung der Frage der H-Ionenkonzentration in den Versuchslösungen muss man aber noch eine andere Erscheinung erwähnen, welche in unseren Versuchen hervorgetreten ist und mit den Befunden der anderen Autoren nicht ganz übereinstimmt. Es handelt sich um eine längst bekannte Tatsache, welche besonders von Prianschnikow und seinen Schülern, neuerdings aber von Mevius und Engel untersucht worden ist, nämlich darum, dass die NH_4 -Ionen schneller als die Anionen aus den NH_4 -Salzlösungen durch das Plasma in die Zellen eindringen und diese Lösungen durch die zurückgebliebenen Anionen sauer werden. Als ich die physiologische Azidität der NH_4 -Salzlösungen bei meinen Versuchen feststellen wollte, fand ich stets, dass die Reaktion dieser Salzlösungen in kleineren Konzentrationen (von 0.01 n. an) ebenso wie diejenige der anderen Salzlösungen nach 3 Tagen neutral bis schwach alkalisch geworden war, also keine Anhäufung von Anionen gezeigt hatte. Nur in 0.1 n. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -Lösung konnte eine Ansäuerung festgestellt werden.

Die folgende Tabelle 36 wird die Veränderung der pH-Werte der NH_4 -Salzlösungen zeigen.

Wir ersehen aus dieser Tabelle, dass die H-Ionenkonzentration nur in 0.1 n. Lösung von $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ bei Triticum gestiegen, in den anderen NH_4 -Salzlösungen aber gefallen ist. Bei Linsenkeimlingen stehen die pH-Werte in allen Fällen über 7.0.

Tabelle 36.

Veränderung der pH-Werte in NH_4 -Salzlösungen.

Salzlösungen	Konz.	pH am Anfang der Versuche	pH nach 7 Tagen		Bemerkungen
			Triticum	Lens	
NH_4CNS	1.001	5.9	7.3	7.5	
NH_4NO_3	1.0	6.2	7.1*	7.2*	*Wurzelwachstum stark gehemmt
	0.901	5.9	7.2	7.5	
NH_4Cl	0.1	6.2	6.8**	7.1**	**Wurzelwachstum stark gehemmt
	0.001	5.9	7.3	7.5	
$(\text{HH}_4)_2\text{SO}_4$	0.1	6.4	5.4***	7.0***	***Wurzelwachstum gehemmt
	0.001	6.0	7.2	7.5	

Daraus darf man jedoch nicht schliessen, dass eine ungleiche Ionenaufnahme aus den NH_4 -Salzlösungen überhaupt nicht stattfindet. Im Gegenteil — das Fallen der pH-Werte in 0.1 n. K. von $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ und die etwas kleineren pH-Werte in 0.1 n. Lösungen der anderen Salze deuten gerade darauf hin, dass am Anfang der Versuche eine schnellere Permeation des NH_4 -Ions in die Wurzelzellen zustandekommt und dass diese Ungleichheit der Ionen in den Versuchslösungen erst später ausgeglichen wird. Man kann sich den Vorgang aber auch so vorstellen, dass in schwächeren Salzkonzentrationen das Eindringen der NH_4 -Ionen bald zum Stillstand kommt und nach einiger Zeit von den Anionen eingeholt wird, wodurch die Reaktion der Salzlösungen wieder fast neutral oder schwach alkalisch werden kann. Nach Janse konnte zu dem gleichen Resultate auch die „Extrapermeabilität“ von anderen aus den Samen oder Wurzelzellen ausdiffundierenden Kationen führen, eine Erscheinung, die von Pantanelli bestätigt worden ist. Es ist aber auch nicht ausgeschlossen, dass die kleinen Lösungsmengen und die gute Aeration im gegebenen Falle irgendwie den Vorgang beeinflusst haben.

Was die pH-Werte der Monophosphate (KH_2PO_4 , NaH_2PO_4 , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ und $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$) anbetrifft, so wurde eine Steigerung der H-Ionenkonzentrationen in diesen Salzlösungen nicht beobachtet; wohl aber sind die pH-Werte dieser Versuchslösungen nach 7 Tagen etwas niedriger (in 0.1 n. K. pH 6.6—7.0, in 0.01 n. K. 6.8—7.3) als in den anderen Salzlösungen gefunden worden.

IV. Die Wirkung der Neutralsalze auf die Tätigkeit der stärkespaltenden Enzyme.

Unsere Versuche im Reagenzglase haben gezeigt, dass die Neutralsalze die Tätigkeit der Diastase stark beeinflussen. Die Verflüssigung von Stärke durch die Diastase wird von Chloriden, Bromiden, Nitraten und Rhodaniden in 0.05—0.00005 n. K. begünstigt, von Sulfaten und Phosphaten in stärkeren Konzentrationen herabgesetzt. Die Salzkonzentrationen spielen dabei eine grosse Rolle, denn die Wirkungslinien verlaufen kurvenförmig. Am stärksten wird die Wirkung von Sulfaten und Phosphaten durch die Salzkonzentration beeinflusst: in schwächeren Konzentrationen wirken sie fördernd, in stärkeren aber hemmend. Bei der Förderung der Diastasetätigkeit wirken die Neutralsalze nach der Anionenreihe: $\text{Br}, \text{Cl} > \text{NO}_3 > \text{CNS} > \text{H}_2\text{PO}_4, \text{SO}_4$. Diese Ionenreihe ist sehr eigenartig und entspricht einer gebrochenen lyotropen Anionenreihe: $\text{Br}, \text{Cl} > \text{NO}_3 > \text{CNS} \leftarrow \parallel \rightarrow \text{H}_2\text{PO}_4, \text{SO}_4$, wo merkwürdigerweise das am stärksten hydratisierend wirkende CNS -Ion neben den dehydratisierenden H_2PO_4 - und SO_4 -Ionen steht. Es ist ziemlich schwer, für diese eigenartige Ionenreihe eine befriedigende Erklärung zu finden. Nach Fodor sind die fermentativen Vorgänge als kolloidchemische Prozesse anzusehen, welche durch den Dispersitätsgrad des Mediums und den Hydratationsgrad der beteiligten Substanzen bestimmt werden. Damit ist für den günstigen Verlauf dieser Prozesse eine optimale Hydratation der Kolloide erforderlich. Einen solchen kolloidalen Zustand können die zu stark hydratisierend oder dehydratisierend wirkenden Ionen kaum herbeiführen. Diese Ionen können infolgedessen aber auch die Enzymtätigkeit nicht besonders günstig beeinflussen. Bei geeigneten Konzentrationen (niederen) können diese Ionen die Enzymtätigkeit allerdings begünstigen. Die Anionen aus der Mitte der lyotropen Reihe — also Br' und Cl' — können in obenerwähntem Sinne bedeutend besser als die Endionen dieser Reihe auf die Enzymtätigkeit wirken. Dass die Chloride die Tätigkeit der Diastase am stärksten begünstigen, ist von anderen Forschern ebenfalls festgestellt worden. In unseren Versuchen ist nur eine ebenso starke, in einigen Konzentrationen sogar eine etwas stärkere Wirkung des Bromions zutage getreten.

In der Wirkung der Neutralsalze auf den Verzuckerungsprozess von Stärke kommt die lyotrope Reihe der Anionen gut zum Ausdruck. (Die angegebenen Zeitwerte entsprechen bei den Rhodaniden, wie bei den Versuchsanalysen bemerkt wurde, nicht der Wirklichkeit, so dass die Stellung des Rhodanions in der Reihe beim Verzuckerungsvorgang unsicher bleibt.) Die Enzymtätigkeit in dieser Richtung wird auch von Sulfaten und Phosphaten der Alkalimetalle und ausserdem von allen Erdalkalisalzen in 0.05 n. K. herabgesetzt und von Chloriden, Bromiden und Nitraten der Alkalisalze begünstigt.

Die Wirkung der Neutralsalze auf die Tätigkeit der Diastase beim Abbau von *Amylum tritici* im Reagenzglas und von Reservestärke in Weizenkörnern stimmt aber nicht ganz überein. Wir haben in der Tabelle 13 a-b gesehen, dass alle Salze in 0.1 n. K. den Stärkeabbau in Weizenkörnern herabsetzen, und haben diese Erscheinung mit dem gehemmten Zustande der Weizenkeimlinge in diesen zu hohen Salzkonzentrationen und mit einem beschränkten Verbrauch der Spaltungsprodukte von Endospermstärke in Zusammenhang gebracht. Auch die Hemmung der Diastasetätigkeit durch BaCl_2 (fast in allen Konzentrationen!) lässt sich ebenso erklären, weil BaCl_2 in höheren Konzentrationen stark giftig wirkt und das Keimlingswachstum noch in niederen Konzentrationen hemmt. Die fördernde Wirkung der Neutralsalze in mässigen und niederen Konzentrationen sowohl im Reagenzglas als in Weizenkörnern deutet auf eine allgemeine günstige Hydratation der Stärkekolloide hin, welche hier durch die Salzionen hervorgerufen wird; hierdurch wird die Stärke leichter von der Diastase ergriffen und abgebaut. Je schneller aber die Stärke in den Körnern aufgelöst und je mehr vom Abbauprodukt den Keimlingen zugeführt wird, um so schneller können diese weiterwachsen. Wir haben gesehen, dass Chloride und Nitrate die Stärkehydrolyse am meisten beschleunigt haben; von diesen Salzen wird aber in entsprechenden Konzentrationen auch das Keimlingswachstum (besonders das Koleoptilwachstum) am stärksten gefördert. Damit kann im gegebenen Falle das optimale Wachstum der Keimlinge durch die günstige Beeinflussung einerseits der Enzymtätigkeit und andererseits der Plasmakolloide durch diese Salze in Zusammenhang gebracht werden.

Ausser der Enzymtätigkeit bei dem Abbau der Reservestoffe in den Samen haben wir es mit ähnlichen Prozessen im

Innern der lebenden Zellen zu tun. Es sind dies die enzymatischen und katalytischen Prozesse beim Auf- und Abbau des Plasmas, welche ebenfalls durch die Salzionen beschleunigt oder gehemmt werden. Da wir aber über die Einzelheiten dieser Prozesse viel zu wenig wissen und unsere Untersuchungen nicht in dieser Richtung geführt worden sind, werden wir uns dabei nicht weiter aufhalten.

V. Die Wirkung der Salzionen auf das Keimlingswachstum.

Wie wir gesehen haben, wirken Neutralsalze einerseits auf die Mobilisierung der Reservestoffe in den Samen und beeinflussen auf diese Weise ernährungsphysiologisch das Keimlingswachstum. Andererseits dringen die Salzionen aus den Lösungen in die Keimlingszellen ein und wirken kolloidchemisch und chemisch auf das Plasma. Die letztere Wirkungsweise der Salzionen ist ein sehr komplizierter Vorgang, von welchem nur einige Etappen durch wissenschaftliche Untersuchungen beleuchtet sind, der grösste Teil aber noch unbekannt ist.

Erstens wissen wir über das Plasma, seinen Aufbau, seine Struktur und seinen Chemismus noch ziemlich wenig, was ausser Zweifel stände. Bei so begrenzten Kenntnissen ist es unmöglich, über die Wirkung der Salze auf das Plasma etwas Endgültiges zu sagen. Ausserdem brauchen die im Reagenzglase festgestellten Gesetzmässigkeiten nicht mit denjenigen in einem so beschränkten Raume, wie es die Zelle ist, übereinzustimmen.

In den Hauptzügen jedoch könnte der Vorgang der Wirkung der Salze auf das Plasma etwa folgender sein:

In unseren Versuchen, bei denen die Keimlinge in schwach alkalischen Salzlösungen bei pH 7.2—7.5 gewachsen sind, haben wir es mit negativ geladenen Plasmakolloiden zu tun. Wenn nun die An- und Kationen der Neutralsalze mit dem Plasma in einen Kontakt treten, muss die negative Ladung der Kolloidteilchen des Plasmas — zuerst gewiss in den obersten Schichten — durch die Anionen vergrössert, durch die Kationen aber vermindert werden. Durch die ersteren Ionen wird also die Ionisation der negativen Plasmakolloide und im Zusammenhang damit auch die Dispersität und Quellung gesteigert, die Viskosität aber herabgesetzt; die Kationen dagegen wirken auf die negativ geladenen Plasmateilchen neutralisierend, dadurch quellunghemmend und die Viskosität steigernd.

Wenn die elektrischen Ladungen der An- und Kationen in den Neutralsalzen in allen Fällen gleich stark wären, dann brauchte eigentlich keine Veränderung in der Ionisation des Plasmas durch die Wirkung der Salze einzutreten. In der Tat aber sind die Ladungen der An- und Kationen in Neutralsalzlösungen nicht konstant und werden durch die Konzentrationen der Salze noch mehr verändert (siehe Tab. 4). Ausserdem wird die Wirkung der Neutralsalze noch von der ungleich starken Adsorption der beiden Ionen und von der chemischen Verbindung mit Plasmabestandteilen abhängen.

Bei dem jetzigen Stande unserer Kenntnisse können wir alle diese komplizierten Vorgänge im Plasma leider nicht vor-aussehen.

Aller Wahrscheinlichkeit nach besteht das lebende Plasma aus einer Entmischung verschiedener (protein-, phosphatid-, lipoidhaltiger u. a.) Biokolloide, welche je nach der Pflanzenart, sogar je nach den Pflanzenorganen in Einzelheiten voneinander abweichen können. Aus diesen Entmischungen müssen die oberflächenaktiven Bestandteile sich an der Oberfläche des Plasmas ansammeln. Demnach sind die obersten Plasmaschichten anders als die inneren aufgebaut und bestehen aus Lipoiden (nach Overton), aus Phosphatiden (nach Hansteen-Cranner) oder aus einem heterogenen System von verschiedenen Kolloiden, und sind nach Ruhland aus Mizellen und Intramizellarräumen (Poren) aufgebaut. Selbstverständlich muss in diesem Falle die Wirkung der Salzionen auf die obersten Plasmaschichten eine andere sein als auf die inneren.

Auch das Eindringen der Salzionen in das Innere des Plasmas durch die semipermeablen obersten Plasmaschichten (Plasmahaut nach Pfeffer) ist ein sehr komplizierter Vorgang. Wie aus den Untersuchungen von Kaho ersichtlich ist, werden die Permeationseigenschaften des Plasmas (richtiger, die seiner obersten Schichten) durch die Salzionen stark beeinflusst. Alle Ionen, die auf die obersten Plasmaschichten dehydratisierend wirken, können auch selbst sehr schwer oder gar nicht durch diese dringen (die Kationen Mg, Ba, Sr, Ca und die Anionen SO_4 , H_2PO_4), andere Ionen dagegen, welche auf die erwähnten Schichten peptisierend wirken (die Anionen CNS, J, Br, NO_3 , Cl; die Kationen K, Na), können leicht

ins Plasma gelangen. Das Eindringen der Ionen ist also von ihrer Kolloidaktivität abhängig. Es treten aber auch hier weitere Komplikationen hinzu: zunächst die Abhängigkeit der Ionen vom Donnan'schen Membrangeleichgewicht, nach welchem unter bestimmten Bedingungen die sonst leicht diffundierenden Salzionen zurückgehalten werden; ferner die Salzkonzentrationen, durch welche das Gleichgewicht zwischen An- und Kationen verschoben wird, so dass die Kolloide von höheren Salzkonzentrationen anders als von niederen angegriffen werden.

Die Salzionen, welche auf die Plasmakolloide hydratisierend wirken und schnell ins Plasma gelangen, können sich hier leicht im Übermass ansammeln — frei, adsorptiv oder chemisch verbunden. Infolgedessen können aber die dynamischen Prozesse im Plasma nicht mehr so wie vorher verlaufen, denn bei zu starker Akkumulation der Ionen im Plasma kann dasselbe denaturiert werden: die Plasmakolloide koagulieren, zerfallen in die einzelnen Phasen und die Zellen sterben ab.

In anderen Fällen dagegen, welche wiederum von der Konzentration der Salze abhängig sind, können die kolloiden Eigenschaften und die physiologischen Funktionen des Plasmas durch die Salzionen günstig beeinflusst werden. Es kann z. B. ein zu starres und zu wenig mobiles Plasma durch die betreffenden Salzionen günstiger hydratisiert und ionisiert werden, wodurch die physiologischen Prozesse (z. B. Stoffwechsel, Atmung, Enzymtätigkeit usw.) gesteigert werden.

Unsere Versuche haben gezeigt, dass die Salzkonzentrationen bei den Wachstumsprozessen der Keimlinge eine grosse Rolle spielen. Von stärkeren (0.1 n.) Salzkonzentrationen wird das Keimlingswachstum gehemmt, von einigen sog. „giftigen“ Salzen (Li-, NH_4 - und Ba-Salze) sogar verhindert. In einer bestimmten Konzentration ist die Ionenwirkung aller Salze keine gleich starke. Wie gezeigt, folgt sie in den meisten Fällen der lyotropen Reihe der Anionen: $\text{CNS} > \text{NO}_3 > \text{Cl} > \text{Br} > \text{SO}_4 > \text{H}_2\text{PO}_4$. Die Kationenwirkung dagegen hängt mehr von der Salzkonzentration ab.

Bei der Erklärung dieser Ionenwirkung müssen wir zuerst an die Geschwindigkeit des Eindringens der Salzionen durch die obersten Schichten des Plasmas denken.

Wie Kaho gefunden hat, steigt die Giftigkeit der Salzionen für das Zellplasma nach der lyotropen Reihenfolge der Anionen. Andererseits ist von vielen Autoren (Fiting, Tröndle, Kaho, Ruhland — mittels der plasmolytischen Methode, von Kaho, Port — nach der Beeinflussung der Hitzeoagulation, von Niklewski, Krause, Lemańczyk — nach der Aschenanalyse der Keimlinge) gezeigt worden, dass die Geschwindigkeit des Eindringens der Neutralsalze ins Plasma ebenfalls der lyotropen Reihe der Anionen folgt. Folglich muss die Herabsetzung des Keimlingswachstums und die Giftwirkung der Salze auf das Plasma von der Menge der eingedrungenen Salzionen abhängen. Haben sich also zu viel Salzionen im Plasma angesammelt, dann müssen sie die physiologischen Plasmafunktionen herabsetzen, in einigen Fällen sogar ganz verhindern.

Eine solche quantitative Wirkung der Ionen wäre jedoch nur dann anzunehmen, wenn alle Ionen eine gleich starke und ähnliche Veränderung der Plasmakolloide hervorriefen. Das ist aber ausgeschlossen, weil verschiedene Ionen eine spezifische Wirkung auf die Plasmakolloide ausüben und den Stoff- und Energiewechsel der Zellen verschieden beeinflussen. Eine bestimmte Menge von CNS-Ionen wird jedenfalls auf das Plasma ganz anders wirken als eine gleiche Menge von NO_3^- - oder SO_4^{2-} -Ionen. Man muss also annehmen, dass die Ionenwirkung auf das Plasma 1) von der absoluten Menge und 2) von den spezifischen Eigenschaften der Ionen abhängt. Und da ferner beide Ionen eines Salzes gleichzeitig auf das Plasma wirken, muss man in jedem Falle mit einer Kombination von vier Größen rechnen: mit der Menge (1) und der spezifischen Energie (2) des Anions und mit der Menge (3) und der spezifischen Energie (4) des Kations.

Es ist von mehreren Autoren gezeigt worden, dass die Aufnahme der beiden Ionen eines Salzes nicht immer in gleichem Masse vor sich geht (Pantanelli, Prianschnikow, Niklewski-Krause-Lemańczyk, Brooks u. a.). In sauren Salzlösungen werden mehr die Anionen, in alkalischen aber mehr die Kationen (Niklewski-Krause-Lemańczyk) adsorbiert; oder um dieses deutlicher ausdrücken: positiv geladene Plasmakolloide adsorbieren mehr Anionen, negativ geladene aber Kationen. Bei unseren Versuchen (pH. 7.2—7.5), bei denen wir es mit negativ

geladenen Plasmakolloiden zu tun haben, müssen die Kationen mehr adsorbiert werden und dadurch, was die Wirkung anbetrifft, eine dominierende Stellung gewinnen. Durch diese Annahme wird es verständlich, warum die Veränderung der Salzkonzentrationen mehr die Wirkungsreihen der Kationen als diejenigen der Anionen angreift.

Was des weiteren die Anhäufung der Salzionen im Plasma anbetrifft, so muss man hier ausser der kolloidchemischen Wirkung der Ionen noch ihre ernährungsphysiologischen Funktionen — die sich ja zum Teil mit den kolloidchemischen decken — im Auge behalten. Denn diejenigen Salzionen, die im Plasma für synthetische Zwecke verbraucht werden, können sich nicht in der Masse im Zellplasma ansammeln wie die andern, sondern sie treten in den Kreislauf des Stoffwechsels und werden weitergeführt. Ihre hemmende Wirkung auf die Plasmatätigkeit muss bei höheren Salzkonzentrationen früher als bei den anderen aufhören, und in mässigen (resp. optimalen) Konzentrationen müssen sie — weil sie gerade die synthetischen Plasmaprozesse beeinflussen — das Wachstum im allgemeinen stark fördern.

Wir können diese Verhältnisse folgendermassen schematisch darstellen.

I. Typus.

1) Eine starke Konzentration.

Der Zutritt der Salzionen in die Zelle stark; Verbrauch — 0; dadurch erfolgt eine Akkumulation der betr. Ionen im Plasma, was zur Herabsetzung oder Verhinderung (je nach der Stärke der Konzentration und der Aktivität der Ionen!) der Plasmatätigkeit und des Wachstums führt.

2) Eine mässige Konzentration.

Zutritt der Ionen mässig; Verbrauch — 0; die Anhäufung der Ionen führt zur Hemmung, nicht aber zur Verhinderung des Zellenwachstums.

3) Eine schwache Konzentration.

Zutritt schwach; Verbrauch — 0; Akkumulation der Ionen schwach. In dieser Konzentration können die Ionen auf die Ionisation, Quellung usw. der Plasmakolloide begünstigend wirken und dadurch eine Förderung des Wachstums hervorrufen.

II. Typus.

1) Eine starke Konzentration.

Zutritt der Ionen stark; Verbrauch $>$ Zutritt. Es muss eine

Anhäufung der Ionen stattfinden, welche je nach der Konzentration der Lösungen und je nach der Aktivität der Ionen zur Hemmung oder zur Vernichtung des Wachstums führen kann.

2) Eine mässige Konzentration.

Zutritt der Ionen in die Zellen mässig; Verbrauch $\pm$ gleich oder etwas geringer als der Zutritt. Es findet ein völliger Verbrauch oder eine schwache Anhäufung der Ionen in den Zellen statt, welche aber den kolloiden Zustand des Plasmas (Ionisation, Hydratation, Viskosität, osmotische Eigenschaften usw.) günstig beeinflusst und ausserdem noch durch die positive ernährungsphysiologische Wirkung eine $\pm$ starke Wachstumsförderung hervorruft.

3) Eine schwache Konzentration.

Schwacher Zutritt der Salzionen; alle Ionen werden sofort verbraucht; durch den positiven ernährungsphysiologischen Effekt kommt, je nach der Konzentration, eine mehr oder weniger schwache Förderung des Wachstums zustande.

Dies sind die sogenannten idealen Fälle des Wachstums, die man bei kurz dauernden Versuchen, z. B. durch Eintauchen irgendeines wachstumsfähigen Pflanzenorgans in eine reine Salzlösung, erzielen kann. Beim Keimlingswachstum sind die Verhältnisse aber viel komplizierter.

Wir müssen beim Keimlingswachstum im Auge behalten, dass dieses auf Kosten der Reservestoffe zustandekommt, die in den Samen befindlichen Reservestoffe aber stets, obwohl in kleinen Mengen, verschiedene Salze enthalten. Zur Illustration gebe ich einige Aschenanalysen von Samen nach der „Biochemie der Pflanzen“ von F. Czapek, Bd. II, S. 373 u. 377, 1920 wieder, die durch einige Angaben aus der „Keimungsphysiologie der Gräser“ von Lehmann und Aichele — 1931 — vervollständigt worden sind.

Die Aschenmenge beträgt bei Avena 3.20% (König), bei Secale 2.0% (Schindler), bei Triticum 1.8% (Schindler). Wir ersehen aus dieser Tabelle, dass PO_4 -, K- und Mg-Ionen in Getreide- wie in Leguminosensamen in ansehnlichen Mengen vorhanden sind. Zu diesen kommen aus den Versuchslösungen die betreffenden Salzionen in grösseren oder kleineren Mengen — je nach der Konzentration — hinzu und gewinnen eine dominierende Stellung. Diese Wirkung der Salzionen kann also

Tabelle 37.

Samen	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Bestimmungen von:
Avena sativa	27.96	—	7.46	10.12	1.53	47.73	Wolff
„ „	17.9	1.66	3.6	7.13	1.18	25—68	Haselhoff u. Mach
Secale cereale	30—35	0.8—2.0	2—6	10—15	0.1—1.3	43—51	Wolff
Triticum vulg.	25—35	0.3—4.0	2—5	10—16	0.5—2.0	42—50	König, Wolff, Wehmer
Lupinus angust.	31.4	—	5.0	10—6	—	40.5	Schulze u. Godet
Pisum sativum	43.10	0.98	4.81	7.99	0.85	35.90	Wolff

nur in stärkeren oder mässigen Konzentrationen gut ausgeprägt sein und wird in schwächeren von den in den Nährstoffen vorhandenen Salzionen mehr oder weniger kompensiert.

In lang dauernden Versuchen, wie es die unsrigen sind, müssen wir auch den Zeitfaktor berücksichtigen. Obwohl von verschiedenen Autoren (Borowikow, Pantanelli, Prianschnikow) angenommen wird, dass die Salzionen ziemlich schnell in die Zellen eindringen, ist von anderer Seite bekannt, dass einige Ionen, z. B. SO₄, Sr, Ca, sehr langsam durch das Plasma permeieren können. So hat Fitting vermittle der plasmolytischen Methode keine Permeabilität des Plasmas für die Erdalkalisalze in 24 Stunden wahrnehmen können. Nach Hansteen-Cranner und Kaho werden die obersten Schichten des Plasmas von Erdalkalisalzen, besonders von CaCl₂, so weit verdichtet, dass das Eindringen dieser Salze und auch anderer Ionen (antagonistische Ionenwirkung!) verhindert oder fast bis auf 0 herabgesetzt wird. Jedenfalls sind diese Schlüsse nur bei kurz dauernden Versuchen berechtigt; mit der Verlängerung der Zeit können aber auch schwerpermeierende Salzionen wie CaCl₂ (Niklewski-Krause-Lemańczyk) in das Plasma gelangen. Die Wirkung dieser Salze kann jedoch für die inneren Plasmaschichten eine ganz andere sein als für die oberen Schichten, weil, bekannten Annahmen zufolge, die inneren Plasmaschichten von einer ganz anderen chemischen Zusammensetzung sind als die obersten Schichten. Infolgedessen können die länger dauernden Versuche zu anderen Resultaten führen als die kürzer dauernden.

Eine Bestätigung dieser Annahme können wir in der vergleichenden Betrachtung von Kationenreihen, die auf Grund verschieden lang dauernder Versuche aufgestellt sind, finden.

So hat Borowikow (1915) nach seinen 3—6 Stunden dauernden Versuchen eine Hemmung des Hypokotylwachstums von *Helianthus annuus* nach folgender Kationenreihe festgestellt: $\text{NH}_4 < \text{K} < \text{Na} < \text{Li} < \text{Mg} < \text{Ca} < \text{Sr} < \text{Ba}$.

Das Eindringen der Neutralsalze in die Wurzelzellen von *Lupinus luteus* geschah bei den 1 Stunde dauernden Versuchen von Kaho (1921) nach der Kationenreihe: $\text{K} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{Ba} > \text{Ca}$.

Für das Eindringen der Neutralsalze in die Zellen von *Begonia mirabilis* wurde von Ruhland und Hoffmann (1925) (Dauer der Versuche bis 20 Min.) folgende Kationenreihe festgestellt: $\text{NH}_4 > \text{K} > \text{Na} > \text{Mg}$.

Bei diesen kurz dauernden Versuchen äussern nur die kolloid-chemischen Eigenschaften der Salzionen ihre Wirkung auf das Plasma, und darum beobachtet man an den Ionenreihen stets, dass die Ionen der Alkalisalze schneller als die der Erdkalisalze ins Plasma eindringen, resp. giftiger sind und das Wachstum mehr herabsetzen als die Ionen der Erdalkalisalze. (Die Befunde von Borowikow stehen mit dieser Annahme in Widerspruch!)

Im Gegensatz zu den vorigen Kationenreihen konnte ich bei der Herabsetzung des Gesamtkeimlingswachstums nach 7 Tagen in 0.1 norm. Chloridlösungen folgende Kationenreihen feststellen:

bei Linsenkeimlingen: $\text{Li} \gg \text{Ba} \gg \text{NH}_4 > \text{Ca} > \text{K}, \text{Na} > \text{Mg}$;

bei Haferkeimlingen: $\text{Li} > \text{NH}_4 \gg \text{Ba} \gg \text{Ca} > \text{Na} > \text{K} > \text{Mg}$;

bei Weizenkeimlingen: $\text{NH}_4, \text{Li}, \text{Ba} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Mg}$.

Der Hauptunterschied zwischen diesen und den vorigen Kationenreihen besteht darin, dass hier die ein- und zweiwertigen Kationen durcheinander in einer Reihe stehen und also kein prinzipieller Unterschied in der Wirkung der ein- und zweiwertigen Ionen zu konstatieren ist.

Die Veränderung der Ionenreihen bei länger dauernden Versuchen kann man dadurch erklären, dass hier die schwer eindringenden Ionen doch ins Plasma gelangen und die inneren Plasmakolloide anders beeinflussen als die obersten. Dass die Ionenadsorption sich mit der Zeit verändern kann, ist neuerdings von Loo (1931) durch chemische Analysen bewiesen worden. Ausserdem kommt die ernährungsphysiologische Funktion bei manchen Ionen bei länger dauernden Versuchen mehr als bei den kurz dauernden zur Geltung.

Was die Wirkung der Li-, Ba- und NH_4 -Ionen, welche das Keimlingswachstum in höheren Konzentrationen verhindern oder am stärksten hemmen, anbetrifft, so kann man ihre Wirkung auf eine starke Akkumulation dieser Salze im Plasma und in den Zellen zurückführen, denn die Li- und Ba-Ionen gehören in dieser Beziehung zum Typus I 1; die NH_4 -Ionen bei Versuchen bei Licht, wo sie zu synthetischen Prozessen verbraucht werden, zum Typus II 1, im gegebenen Falle aber — im Dunkeln — ebenfalls zum Typus I 1, wie aus den Untersuchungen von Loo hervorgeht.

Die K- und Mg-Ionen wirken nach dem Typus II und begünstigen in mässigen Konzentrationen (Typus II 2) das Keimlingswachstum am meisten, weil sie in den synthetischen Aufbauprozessen des Plasmas als Bestandteile des letzteren eine Rolle spielen.

Wir können nach dem Verlauf der Kurven einigermaßen darüber urteilen, ob diese oder jene Ionen für das Wachstum eine ernährungsphysiologische Bedeutung haben oder nicht; in dieser Hinsicht muss man die graphische Methode recht hoch einschätzen. Ich verweise nur auf folgende Figuren, bei denen diese Beziehungen in dem stärkeren Ansteigen der Kurven bei den in Klammern befindlichen Salzen gut zu beobachten sind: *Avena* — 48 (KCl), 49 ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), 54 (KCl); *Triticum* — 51 (MgBr_2), 52 (KNO_3), 53 (KCl), 54 (K_2SO_4), 55 (KCl, K_2SO_4); *Lens* — 66, 72 (K_2SO_4), 69 [$\text{Ca}(\text{CNS})_2$ — vielleicht nur eine kolloidchemische Wirkung], 71 (KCl).

Aus dem Gesagten können wir schliessen, dass die Ionenreihen, besonders diejenigen der Kationen, unbeständig sind und nicht nur von der Kolloidaktivität der Ionen, sondern auch 1) von der Konzentration der Salzlösungen, 2) von der Dauer der Versuche und 3) von der Eigenart der Versuchsobjekte (Eigenschaften des Plasmas, Wachstumsfähigkeit der Zellen etc.), und im Zusammenhang damit 4) von den ernährungsphysiologischen Funktionen der Ionen abhängig sind.

Weiter müssen wir uns mit der Frage der ungleichen Wirkung der Salze auf das Stengel- (Koleoptil-) und Wurzelwachstum der Keimlinge befassen. Unsere Versuche haben gezeigt, dass die verschiedenen Neutralsalze das Stengel- und das Wurzelwachstum der Keimlinge nicht gleich stark beeinflussen. Der Unterschied der Salzwirkung äussert

sich 1) bei stärkeren Konzentrationen in der ungleich starken Hemmung des Wurzel- und Stengelwachstums, 2) bei mässigen und schwächeren Konzentrationen — in der ungleich starken Förderung des Stengel- und Wurzelwachstums, 3) in den abweichenden optimalen Salzkonzentrationen, die für das beste Wachstum von Stengel (Koleoptil) und Wurzel verschieden sind.

Wollen wir zuerst den ersten Punkt näher betrachten.

Wenn das Wurzelwachstum von stärkeren Salzkonzentrationen mehr herabgesetzt wird als das Stengelwachstum, wie es meistens der Fall ist, so könnte man annehmen, dass die Salzionen sich in den Wurzelzellen, mit welchen sie direkt im Kontakt stehen, in grösserer Menge als in den Stengelzellen ansammeln und dadurch das Wurzelwachstum stärker hemmen. Mit dieser Annahme kann man aber die umgekehrten Fälle nicht erklären. Solche Fälle stehen nun nicht etwa vereinzelt da, sondern kommen, z. B. bei *Triticum* und *Lens*, ziemlich oft vor: bei *Triticum* — NaBr , NH_4Cl , MgCl_2 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, K_2SO_4 , Na_2SO_4 , Li_2SO_4 , MgSO_4 ; bei *Lens* — KCl , KNO_3 , K_2SO_4 , NaCl , $\text{Ca}(\text{CNS})_2$, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$. Es sind also die Sulfate und einige Chloride bei *Triticum* sowie die Kalium- und Kalzium-Salze bei *Lens*, welche in höheren Konzentrationen das Wurzelwachstum weniger als das Stengel- (Koleoptil-) Wachstum herabsetzen.

Nach der Theorie der Permeabilität könnte man die Fälle mit Sulfaten und Kalziumsalzen mit dem langsamen Eindringen dieser Salze in die Zellen in Zusammenhang bringen. Aber es bleibt dann wieder unverständlich, warum diese Salze das Stengelwachstum so stark herabgesetzt haben. Die Fälle mit K-Salzen durch die Permeationsgeschwindigkeit der Ionen zu erklären ist ebenfalls unmöglich. Man muss in diesen Fällen eine spezifische Wirkung dieser Salze auf das Stengel- und Wurzelwachstum annehmen.

Die Spezifität der Wirkung von Salzionen auf das Koleoptil- und das Wurzelwachstum tritt bei manchen Salzen so stark hervor, dass kein Zweifel übrigbleibt. Wir haben z. B. gesehen, dass die meisten Nitrate das Koleoptilwachstum der Getreidekeimlinge schon in ziemlich starken Konzentrationen fördern und in denselben Konzentrationen das Wurzelwachstum sehr stark herabsetzen. Eine ähnliche Wirkung der Nitrate kommt aber bei Lin-

senkeimlingen nicht vor. Durch die abnorme Akkumulation der NO_3 -Ionen in den Wurzelzellen wäre es ja nur möglich die Herabsetzung des Wurzelwachstums, nicht aber die Förderung des Stengelwachstums zu erklären. Ferner kennen wir auch einige Fälle (NH_4Cl 0.1 n., NN_4NO_3 0.1 n. und NaCNS 0.1 n. bei Avena, NH_4CNS 0.1 n. und KCNS 0.1 n. bei Triticum, BaCl_2 0.1 n. und $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ 0.1 n. bei Lens), wo das Wurzelwachstum durch die betreffenden Salzionen ganz verhindert, das Stengelwachstum aber nur herabgesetzt wird. Alle diese Fälle deuten darauf hin, dass man es hier mit einer spezifischen Wirkung der Salzionen auf das Stengel- und das Wurzelwachstum zu tun hat, oder dass das Plasma der Wurzel- und der Stengelzellen ungleich empfindlich gegen die betreffenden Salzionen ist.

Die chemischen Analysen der Keimlingselemente haben gezeigt, dass manche Salze sich mehr in Koleoptil- (resp. Stengel-), andere mehr in Wurzelzellen ansammeln und im Zusammenhang damit das Wachstum der entsprechenden Keimlingselemente beeinflussen können. Ich gebe hier die Resultate von zwei Analysen, die das oben Gesagte illustrieren, in der Tabelle 38 wieder. Die Angaben sind der „Biochemie der Pflanzen“ von F. Czapek, Bd. II, S. 374, 1920 entnommen.

Tabelle 38.

		K_2O	Na_2O	CaO	MgO	Fe_2O_3	P_2O_5	SO_3	SiO_2	Cl
Triticum	Radicula	43.23	12.27	0.75	4.05	0.43	29.12	0.29	8.75	0.99
	Plumula	48.38	—	0.58	5.93	0.38	41.01	—	2.35	0.15
Brassica	Radicula	36.80	—	6.13	8.13	6.13	26.53	16.27	—	—
	Plumula	15.44	—	9.24	11.54	1.30	38.67	23.81	—	—

Aus diesen Analysedaten können wir ersehen, dass in der Plumula bei Triticum K-, Mg- und P-Verbindungen, bei Brassica Ca-, Mg-, P- und S-Verbindungen sich angesammelt haben, in den Wurzeln dagegen bei beiden Pflanzenarten K- und Fe-Salze. Das beweist also, dass in der Tat bei bestimmten Pflanzenarten einige Salzionen für das Stengel-, andere für das Wurzelwachstum erforderlich sind.

Es fragt sich nun: welche Salze fördern das Stengel- (Koleoptil-) und welche das Wurzelwachstum?

Kat 7 Kwi An
Tung 16

Da man aus den vorigen Tabellen nicht leicht die betreffenden Fälle herausuchen kann, habe ich in den Tabellen 39—45 die Salze nach ihrer Förderungsstärke geordnet, wobei ausser der Förderungsstärke (‰) auch der Umfang der fördernden Konzentrationen berücksichtigt wurde.

Tabelle 39.

Die Förderung des Koleoptilwachstums von *Avena*.

Salze	Konzentrationen von positiver Wirkung (norm.)	Optim. Konz.	Max. Wachstum %
KNO_3	0.1 — 0.0001	0.01	121.8
NH_4NO_3	0.05 — 0.0001	0.01	115.4
$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	0.1 — 0.0001	0.01	112.2
NaNO_3	0.08 — 0.0001	0.01	112.9
KCl	0.05 — 0.0001	0.01	110.0
KBr	0.01 — 0.0001	0.001	110.4
KH_2PO_4	0.1 — 0.0001	0.01	107.4
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	0.05 — 0.0001	0.01	108.7
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0.02 — 0.0001	0.01	107.2
K_2SO_4	0.03 — 0.0001	0.01	104.5
LiNO_3	0.008 — 0.0001	0.001	106.4

Tabelle 39. Aus der Tabelle 39 sehen wir, dass das Koleoptilwachstum von *Avena* nur von Nitraten ($\text{KNO}_3 > \text{NH}_4\text{NO}_3 > \text{Mg}(\text{NO}_3)_2 > \text{NaNO}_3 > \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 > \text{LiNO}_3$), K-Salzen ($\text{KNO}_3 > \text{KCl} > \text{KBr} > \text{KH}_2\text{PO}_4 > \text{K}_2\text{SO}_4$) und $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ gefördert wird. Alle Ionen dieser Salze (ausser dem Li- und dem Br-Ion) sind von ernährungsphysiologischer Bedeutung und gehören ihrer Wirkung nach zum Typus II 2—3. Dass hier KNO_3 , welches die beiden wirksamsten Ionen ($\text{K}^+ + \text{NO}_3^-$) enthält, das Koleoptilwachstum am stärksten fördert, stimmt mit den theoretischen Betrachtungen überein.

Tabelle 40. Das Koleoptilwachstum von *Triticum* wird, ähnlich wie bei *Avena*, von Nitraten ($\text{KNO}_3 > \text{NaNO}_3 > \text{Mg}(\text{NO}_3)_2 > \text{LiNO}_3 > \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) und K-Salzen ($\text{KNO}_3 > \text{KCl} > \text{K}_2\text{SO}_4 > \text{KH}_2\text{PO}_4 > \text{KBr}$) gefördert. Zu diesen kommen aber noch andere Salze hinzu: MgSO_4 , MgBr_2 , Na_2SO_4 , NaBr , NH_4Cl , BaCl_2 . Von den letzteren sind einige (Na_2SO_4 , MgSO_4 , MgBr_2 , NH_4Cl) von ernährungsphysiologischer Bedeutung und gehören, wie die vorigen, ihrer Wirkung nach zum Typus II 2—3, andere aber — NaBr und BaCl_2 — sind mehr von kolloidchemischer Wirkung und gehören zum Typus I 3. Auch hier steht KNO_3 hinsichtlich der

Förderungsstärke an erster Stelle. Zu denselben Resultaten haben uns auch die Versuche mit Salzkombinationen geführt (Tabelle 28); nur kommt bei den Kombinationen die günstige Wirkung des Ca-Ions hinzu.

Tabelle 40. Die fördernde Wirkung der Salze auf das Koleoptilwachstum von *Triticum*.

Salze	Konzentrationen von positiver Wirkung (norm.)	Optim. Konz.	Max. Wachstum %
KNO ₃	0.05 — 0.0001	0.005	127.3
KCl	0.02 — 0.0001	0.001	126.8
K ₂ SO ₄	0.025 — 0.0001	0.005	122.4
KH ₂ PO ₄	0.065 — 0.0001	0.005	115.8
Na ₂ SO ₄	0.01 — 0.0001	0.001	115.1
NaNO ₃	0.007 — 0.0001	0.001	113.2
Mg(NO ₃) ₂	0.01 — 0.0001	0.001	111.8
MgSO ₄	0.008 — 0.0001	0.001	111.2
LiNO ₃	0.007 — 0.0001	0.005	111.4
KBr	0.025 — 0.0001	0.001	110.6
MgBr ₂	0.007 — 0.0001	0.001	108.7
NaBr	0.005 — 0.0001	0.001	108.4
NH ₄ Cl	0.001 — 0.0001	0.0005	107.3
BaCl ₂	0.0008 — 0.0001	0.0001	110.6
Ca(NO ₃) ₂	0.001 — 0.0001	0.0005	106.6

Tabelle 41. Bei *Secale* wirken schon verschiedene Salze auf das Koleoptilwachstum fördernd: K-Salze (KNO₃ > KCl > KH₂PO₄ > KBr > K₂SO₄), Nitrate (KNO₃ > LiNO₃ > Mg(NO₃)₂ >

Tabelle 41. Die fördernde Wirkung der Salze auf das Koleoptilwachstum von *Secale*.

Salze	Konzentrationen von positiver Wirkung (norm.)	Optim. Konz.	Max. Wachstum %
KNO ₃	0.09 — 0.0001	0.05	134.0
KCl	0.06 — 0.0001	0.005	123.6
KH ₂ PO ₄	< 0.1 — 0.0001	0.05	123.2
KBr	0.07 — 0.0001	0.01	120.4
K ₂ SO ₄	0.075 — 0.0001	0.01	113.3
LiNO ₃	0.05 — 0.0001	0.01	114.7
Li ₂ SO ₄	0.01 — 0.0001	0.001	115.8
Mg(NO ₃) ₂	< 0.1 — 0.0001	0.1	112.5
MgSO ₄	0.05 — 0.0001	0.001	113.0
MgCl ₂	0.07 — 0.0001	0.0005	109.4
LiCl	0.005 — 0.0001	0.0005	109.9
NH ₄ Cl	0.005 — 0.0001	0.0005	113.1
NH ₄ NO ₃	0.005 — 0.0001	0.0005	109.5

Tabelle 42. Die fördernde Wirkung der Salze auf das Stengelwachstum von *Len s*.

Salze	Konzentrationen von positiver Wirkung (norm.)	Optim. Konz.	Max. Wachstum %
MgSO ₄	0.05 — 0.0001	0.001	128.7
MgCl ₂	0.06 — 0.0001	0.0005	126.8
KH ₂ PO ₄	0.025 — 0.0001	0.005	125.6
NaH ₂ PO ₄	0.025 — 0.0001	0.001	126.6
Ca(CNS) ₂	0.004 — 0.0001	0.001	119.0
Mg(NO ₃) ₂	0.06 — 0.0001	0.005	115.0
CaBr ₂	0.02 — 0.0001	0.001	113.8
KBr	0.01 — 0.0001	0.005	113.4
K ₂ SO ₄	0.01 — 0.0001	0.005	112.1
KCNS	0.003 — 0.0001	0.001	112.7
(NH ₄) ₂ SO ₄	0.004 — 0.0001	0.001	107.9

NH₄NO₃), Sulfate (Li₂SO₄ und MgSO₄) und Chloride (MgCl₂ > LiCl > NH₄Cl). Alle diese Salzionen (ausser dem Li-Ion) gehören ihrer Wirkung nach zum Typus II 2—3.

Wenn wir auf die Tabellen 39—41 vergleichend zurückblicken, so sehen wir: 1) dass die meisten K-Salze viel stärker fördernd auf das Koleoptilwachstum von *Secale*, als auf dasjenige von *Triticum* und *Avena* wirken (*Secale* > *Triticum* > *Avena*) und 2) dass die Förderung des Koleoptilwachstums bei *Avena* fast nur von Nitraten und K-Salzen, bei *Triticum* und *Secale* aber auch von anderen Salzen — Chloriden und Sulfaten — hervorgerufen wird.

Bei der Analyse der Versuchsergebnisse von *Triticum* wurde bemerkt, dass die stärkere Förderung des Koleoptilwachstums bei *Triticum* — im Vergleich mit *Avena* — durch die K-Salze vielleicht auf die Temperaturwirkung (*Triticum* 27.5° C, *Avena* 18.0° C) zurückzuführen ist. Jetzt aber haben wir gesehen, dass die K-Salze auf das Koleoptilwachstum von *Secale* bei 18.0° C noch viel stärker fördernd wirken, als bei *Triticum*, und dass man diese Erscheinung also nicht auf die Temperaturwirkung zurückzuführen braucht.

Alles das deutet darauf hin, dass man es bei diesen drei Getreidearten mit verschiedenen Plasmotypen zu tun hat, auf welche die Salzionen verschieden wirken.

Tabelle 42. Diese Tabelle zeigt uns, wie grundverschieden die Wirkung der Neutralsalze auf das Stengelwachstum der

Lin senkeimlinge von ihrer Wirkung auf das Koleoptilwachstum der Getreidekeimlinge ist. Es spielen hier bei der Förderung die Mg-Salze ($\text{MgSO}_4 > \text{MgCl}_2 > \text{Mg}(\text{NO}_3)_2$), Phosphate (KH_2PO_4 und NaH_2PO_4) und Sulfate ($\text{MgSO}_4 > \text{K}_2\text{SO}_4 > (\text{NH}_4)_2\text{PO}_4$) eine überwiegende Rolle; die Nitrate dagegen (ausser $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$) zeigen überhaupt keine positive Wirkung. Auch die Versuche mit Salzkombinationen (Tabellen 31—33) bestätigen dieselbe Erscheinung. In Kombinationen tritt nur die fördernde Wirkung des K-Ions etwas stärker hervor, denn das Stengelwachstum wird dort am meisten von $\text{KCl} + \text{KH}_2\text{PO}_4$, $\text{KCl} + \text{MgSO}_4$ und $\text{KCl} + \text{CaCl}_2$ begünstigt. Daraus sehen wir, dass bei Linsenkeimlingen Mg'' und K' , $\text{H}_2\text{PO}_4'$ und SO_4'' , bei Getreidekeimlingen aber K' und NO_3' das Stengel- resp. Koleoptilwachstum am meisten begünstigen. Es tritt aber bei der Wirkung der Salze auf das Wachstum der Getreide- und Linsenkeimlinge noch ein unterscheidendes Merkmal hinzu: die fördernde Wirkung der K-Salze bei Getreidearten geht nämlich nach den Anionenreihen $\text{NO}_3 > \text{Cl} > \text{Br} > \text{H}_2\text{PO}_4 > \text{SO}_4$ (Avena) und $\text{NO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{H}_2\text{PO}_4 > \text{Br}$ (Triticum), bei Linsen — Mg-Salze — aber: $\text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{NO}_3$. Die Stellung der Anionen in der Wirkungsreihe ist also im letzteren Falle eine umgekehrte.

Die Förderung des Wurzelwachstums.

Tabelle 43. Das Wurzelwachstum der Haferkeimlinge wird hauptsächlich von Chloriden ($\text{KCl} > \text{MgCl}_2 > \text{NH}_4\text{Cl} > \text{BaCl}_2$), Sulfaten ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 > \text{K}_2\text{SO}_4 > \text{MgSO}_4 > \text{Li}_2\text{SO}_4$) und ausserdem noch von KH_2PO_4 und $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ gefördert. Von den Kationen wirken hier hauptsächlich K' , NH_4' und Mg'' .

Tabelle 44. Begünstigend auf das Wurzelwachstum von Weizenkeimlingen wirken: Sulfate ($\text{MgSO}_4 > \text{K}_2\text{SO}_4 > \text{Na}_2\text{SO}_4 > (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 > \text{Li}_2\text{SO}_4$), Chloride ($\text{KCl} > \text{MgCl}_2 > \text{NaCl} > \text{BaCl}_2$), ausserdem noch KH_2PO_4 , NaBr , MgBr_2 , KCNS und NaCNS . Auch hier, wie bei Avena, spielen von den Kationen K' und Mg'' die wichtigste Rolle.

Die Versuche mit Salzkombinationen (Tabelle 30) haben uns zu denselben Resultaten geführt; zu K' , Mg'' und Cl' , SO_4'' kommt dort noch Ca'' hinzu, so dass die stärkste Förderung des Wurzelwachstums in folgenden Salzkombinationen erzielt wurde: $\text{KCl} + \text{CaCl}$, $\text{KCl} + \text{MgSO}_4$ und $\text{KCl} + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

Die meisten Salze der Tabellen 43 und 44 gehören ihrer positiven Wirkung nach zum Typus II 2—3, und nur NaBr, NaCNS (in gewissem Sinne auch KCNS!) aus der Tabelle 44 — zum Typus I—3.

Tabelle 43. Die fördernde Wirkung der Salze auf das Wurzelwachstum von *Avena*.

Salze	Konz. von pos. Wirkung	Optim. Konz.	Max. Wachstum %
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0.015 — 0.0001	0.001	117.5
KCl	0.008 — 0.0001	0.001	113.0
MgCl_2	0.065 — 0.0001	0.01	112.7
NH_4Cl	0.02 — 0.0001	0.01	111.8
K_2SO_4	0.075 — 0.0001	0.01	108.5
MgSO_4	0.02 — 0.0001	0.01	106.3
KH_2PO_4	0.01 — 0.0001	0.001	106.9
Li_2SO_4	0.0025 — 0.0001	0.0001	109.2
BaCl_2	0.008 — 0.0001	0.001	108.5
$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	0.00075 — 0.0001	0.0001	113.6

Tabelle 44. Die fördernde Wirkung der Salze auf das Wurzelwachstum von *Triticum*.

Salze	Konz. von pos. Wirkung	Optim. Konz.	Max. Wachstum %
MgSO_4	> 0.1 — 0.0001	> 0.1	120.0
K_2SO_4	0.05 — 0.0001	0.005	125.1
KCl	0.008 — 0.0001	0.001	123.7
Na_2SO_4	0.09 — 0.0001	0.001	120.1
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0.01 — 0.0001	0.001	119.5
KH_2PO_4	0.075 — 0.0001	0.005	112.3
Li_2SO_4	0.008 — 0.0001	0.005	111.1
MgCl_2	0.006 — 0.0001	0.001	109.0
NaBr	0.007 — 0.0001	0.001	110.6
MgBr_2	0.004 — 0.0001	0.001	109.6
NaCl	0.034 — 0.0001	0.001	106.7
KCNS	0.001 — 0.0001	0.0005	112.5
NaCNS	0.002 — 0.0001	0.0005	107.8
BaCl_2	0.0006 — 0.0001	0.0001 ?	108.4

Tabelle 45. Das Wurzelwachstum von Linsenkeimlingen wird von folgenden Salzen gefördert: K-Salze ($\text{K}_2\text{SO}_4 > \text{KCl} > \text{KH}_2\text{PO}_4 > \text{KNO}_3$), Sulfate ($\text{K}_2\text{SO}_4 > (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 > \text{MgSO}_4$), Chloride ($\text{KCl} > \text{NH}_4\text{Cl} > \text{BaCl}_2 > \text{LiCl} > \text{NaCl}$) und Phosphate ($\text{KH}_2\text{PO}_4 > \text{NaH}_2\text{PO}_4 > \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$).

Tabelle 45. Die fördernde Wirkung der Salze auf das Wurzelwachstum von Lens.

Salze	Konzentrationen von positiver Wirkung	Optim. Konz.	Max. Wachstum %
K_2SO_4	0.025 — 0.0001	0.005	118.6
$(NH_4)_2SO_4$	0.005 — 0.0001	0.0005	114.1
KCl	0.02 — 0.0001	0.005	113.1
NH_4Cl	0.0008 — 0.0001	0.0001 ?	111.7
KH_2PO_4	0.01 — 0.0001	0.005	108.2
NaH_2PO_4	0.008 — 0.0001	0.001	110.8
$Ca(CNS)_2$	0.007 — 0.0001	0.001	112.3
$BaCl_2$	0.0009 — 0.0001	0.0005	111.6
$Ca(H_2PO_4)_2$	0.02 — 0.0001	0.0005	109.4
KNO_3	0.0025 — 0.0001	0.0005	107.5
LiCl	0.0025 — 0.0001	0.0005	110.9
$Mg(NO_3)_2$	0.001 — 0.0001	0.0001	109.3
$MgSO_4$	0.007 — 0.0001	0.0001	107.1
NaCl	0.005 — 0.0001	0.001	105.8

In den Salzkombinationen (Tabelle 31—33) wirken auf das Wurzelwachstum begünstigend: $MgSO_4 + CaCl_2$, $MgSO_4 + Ca(NO_3)_2$ und $KCl + KNO_3$. Daraus geht hervor, dass hinsichtlich der Begünstigung des Wurzelwachstums die Kationen K^+ und Mg^{++} (in Kombinationen auch Ca^{++}) und die Anionen SO_4^{--} und Cl^- am stärksten wirken. Diese Ionen gehören ihrer Wirkung nach zum Typus II 2—3.

Die vergleichende Betrachtung der Salzwirkung hat gezeigt, dass die Förderung des Wurzelwachstums von Getreide- und Linsenkeimlingen fast durch die gleichen Salzionen hervorgerufen wird (K^+ , Mg^{++} , Cl^- und SO_4^{--}). Dadurch wird auch die mehr oder weniger gleichartige Wirkung der Neutralsalze auf das Wurzelwachstum erklärt.

Tabelle 46. Die fördernde Wirkung der Salze auf das Gesamtwachstum von Haferkeimlingen.

Salze	Konzentrationen von positiver Wirkung	Optim. Konz.	Max. Wachstum %
$(NH_4)_2SO_4$	0.05 — 0.0001	0.001	111.1
KCl	0.05 — 0.0001	0.001	107.7
K_2SO_4	0.05 — 0.0001	0.01	106.1
$Ba(NO_3)_2$	0.005 — 0.0001	0.0001 ?	106.3
$LiNO_3$	0.0005 — 0.0001	0.0001 ?	105.5

Betrachten wir ferner die positive Wirkung der Salze auf das Gesamtwachstum der Keimlinge.

Tabelle 46. Aus dieser Tabelle ersehen wir, dass nur folgende Salze das Gesamtwachstum der Haferkeimlinge gefördert haben: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, KCl , K_2SO_4 , $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ und LiNO_3 . Alle Ionen dieser Salze (abgesehen von dem Ba- und dem Li-Ion) gehören ihrer Wirkung nach zum Typus II 2—3. Die stärkere Förderung durch die drei ersten Salze wird durch die ernährungsphysiologischen Grundsätze erklärt; bei $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ und LiNO_3 könnte die kolloidchemische Wirkung die ernährungsphysiologische vielleicht überwiegen. Alle anderen Salze, die zur Förderung des Koleoptil- oder Wurzelwachstums geführt haben, können wegen der einseitigen Förderung des einen Keimlingselements bei gleichzeitiger Hemmung des anderen hier ihre positive Wirkung nicht zeigen, so z. B. Nitrate (+ Koleoptil- und — Wurzelwachstum) und Mg-Salze (+ Wurzel- und — Koleoptilwachstum).

Tabelle 47. Die fördernde Wirkung der Neutralsalze auf das Gesamtwachstum der Weizenkeimlinge.

Salze	Konzentrationen von positiver Wirkung	Optim. Konz.	Max. Wachstum %
KCl	0.008 — 0.0001	0.001	125.5
K_2SO_4	0.05 — 0.0001	0.005	123.6
Na_2SO_4	0.025 — 0.0001	0.001	117.2
KH_2PO_4	0.08 — 0.0001	0.005	113.1
MgSO_4	0.08 — 0.0001	0.001	110.5
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0.0025 — 0.0001	0.0005	110.3
Li_2SO_4	0.01 — 0.0001	0.005	108.2
KNO_3	0.01 — 0.0001	0.005	108.7
NaBr	0.008 — 0.0001	0.001	108.8
MgBr_2	0.007 — 0.0001	0.001	108.7
KBr	0.004 — 0.0001	0.001	108.0
$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	0.0025 — 0.001	0.0005	106.7
NaNO_3	0.0025 — 0.0001	0.0005	106.1
KCNS	0.002 — 0.0001	0.0005	112.5
NaCNS	0.002 — 0.0001	0.0005	107.9

Tabelle 47. Bei Weizenkeimlingen wirken auf das Gesamtwachstum fördernd: K-Salze ($\text{KCl} > \text{K}_2\text{SO}_4 > \text{KH}_2\text{PO}_4 > \text{KNO}_3$, KCNS), Na-Salze — ($\text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{NaBr} > \text{NaNO}_3 > \text{NaCNS}$), Mg-Salze ($\text{MgSO}_4 > \text{MgBr}_2 > \text{Mg}(\text{NO}_3)_2$), $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ und Li_2SO_4 . Abgesehen von KCl, stehen hier bei der

Förderung die Sulfate an erster Stelle und das Gesamtwachstum der Weizenkeimlinge wird nach der umgekehrten lyotropen Reihe der Anionen begünstigt. Nach dieser Reihenfolge der Anionen haben Neutralsalze auch das Wurzelwachstum von Keimlingen anderer Getreidearten und von Linsenkeimlingen gefördert. Da aber der Wassergehalt in Weizenkeimlingen, wie wir in den Tabellen 34 und 35 gesehen haben, ebenfalls nach dieser Anionenreihe steigt, so müssen wir annehmen, dass das erhöhte Wachstum der Keimlinge von der Quellung der Zellkolloide abhängt.

Tabelle 48. Die fördernde Wirkung der Salze auf das Gesamtwachstum von Linsenkeimlingen.

Salze	Konzentrationen von positiver Wirkung	Optim. Konz.	Max. Wachstum %
K_2SO_4	0.025 — 0.0001	0.005	117.4
NaH_2PO_4	0.01 — 0.0001	0.001	114.4
$Ca(CNS)_2$	0.0075 — 0.0001	0.001	113.7
KH_2PO_4	0.02 — 0.0001	0.005	112.6
$MgSO_4$	0.02 — 0.0001	0.0005	110.7
$(NH_4)_2SO_4$	0.003 — 0.0001	0.0005	112.5
$MgCl_2$	0.008 — 0.0001	0.0005	107.8
$Mg(NO_3)_2$	0.002 — 0.0001	0.0005	107.5
$NH_4H_2PO_4$	0.0025 — 0.0001	0.0005	107.2
KCl	0.008 — 0.0001	0.005	106.7
$Ca(H_2PO_4)_2$	0.01 — 0.0001	0.0005	106.6
$Ca(NO_3)_2$	0.001 — 0.0001	0.0005	106.6
$BaCl_2$	0.0008 — 0.0001	0.0005	108.3
KNO_3	0.002 — 0.0001	0.0005	105.6
NH_4Cl	0.0006 — 0.0001	0.0001 ?	109.5

Tabelle 48. Das Gesamtwachstum von Linsenkeimlingen wird gefördert durch K-Salze ($K_2SO_4 > KH_2PO_4 > KCl > KNO_3$), Mg-Salze ($MgSO_4 > MgCl_2 > Mg(NO_3)_2$), NH_4 -Salze ($(NH_4)_2SO_4 > NH_4H_2PO_4 > NH_4Cl$) und Ca-Salze ($Ca(CNS)_2 > Ca(H_2PO_4)_2 > Ca(NO_3)_2$). Auch hier steigt die Förderungsstärke der Anionen nach der umgekehrten lyotropen Reihe (eine Ausnahme bildet nur $Ca(CNS)_2$). Bemerkenswert ist es, dass die Zahl der fördernden Salze hier ziemlich gross ist, dreimal grösser als bei Avena.

Nun wollen wir auf die optimalen Wirkungskonzentrationen der Salze näher eingehen (Punkt 3).

Tabelle 49.

Keimlinge von :	Salze	Optimale ^a Konzentration	
		Stengel	Wurzel
Avena	LiNO ₃	0.001	< 0.0001
"	NH ₄ NO ₃	0.01	< 0.0001
"	NaNO ₃	0.01	< 0.0001
"	KNO ₃	0.01	< 0.0001
"	Mg(NO ₃) ₂	0.01	< 0.0001
"	Ca(NO ₃) ₂	0.01	< 0.0001
"	KCl	0.1	0.001
"	MgCl ₂	0.1	0.01
"	KBr	0.001	< 0.0001
"	Li ₂ SO ₄	0.001	< 0.0001
"	(NH ₄) ₂ SO ₄	0.01	0.001
"	MgSO ₄	> 0.1	0.01
"	KH ₂ PO ₄	0.01	0.001
"	NH ₄ Cl	< 0.0001	0.01
Triticum	NH ₄ CNS	0.0005	< 0.0001
"	KNO ₃	0.005	< 0.0001
"	NaNO ₃	0.001	< 0.0001
"	LiNO ₃	0.005	< 0.0001
"	Mg(NO ₃) ₂	0.001	< 0.0001
"	Ba(NO ₃) ₂	0.001	< 0.0001
"	Sr(NO ₃) ₂	0.0005	< 0.0001
"	Ca(NO ₃) ₂	0.0005	< 0.0001
"	KBr	0.001	< 0.0001
"	CaBr ₂	0.0005	< 0.0001
"	NH ₄ Cl	0.0005	< 0.0001
"	KCl	0.005	0.001
"	(NH ₄) ₂ SO ₄	0.0005	0.001
"	MgSO ₄	0.001	0.025
Lens	KCNS	0.001	< 0.0001
"	Ca(CNS) ₂	0.001	0.0005
"	NH ₄ NO ₃	0.0005	< 0.0001
"	NaNO ₃	0.001	< 0.0001
"	LiNO ₃	0.001	< 0.0001
"	Mg(NO ₃) ₂	0.005	< 0.0001
"	Ba(NO ₃) ₂	0.005	< 0.0001
"	CaCl ₂	0.0005	< 0.0001
"	MgSO ₄	0.001	< 0.0001
"	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	0.005	0.0005
"	MgCl ₂	0.0005	0.005
"	BaCl ₂	< 0.0001	0.0005
"	Ca(NO ₃) ₂	< 0.0001	0.0005

Wir haben schon früher bei der Analyse der Versuchsergebnisse beobachtet, dass die für das maximale Wachstum von Stengel (Koleoptil) oder Wurzel erforderliche Konzentration eines Salzes bei den verschiedenen Keimlingsarten nicht immer die gleiche ist und dass andererseits die optimalen Konzentrationen der

einzelnen Salze ebenfalls verschieden sind. Wir haben diese Erscheinungen auf die spezifische Wirkung der verschiedenen Salze und auf die Ungleichheit des Plasmas in Koleoptil-(Stengel-) und Wurzelzellen zurückgeführt. Meistens liegen die erforderlichen optimalen Salzkonzentrationen für das Wurzelwachstum etwas niedriger als für das Stengelwachstum. Es kommen aber auch Fälle vor, wo die optimalen Salzkonzentrationen für das Wurzelwachstum etwas höher liegen als für das Stengelwachstum, nämlich bei Salzen, in welchen beide Ionen das Wurzelwachstum fördern: NH_4Cl , MgCl_2 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, MgSO_4 . (In der Tabelle 49 sind diese Salze unterstrichen.)

Tabelle 49 zeigt uns die meisten Fälle, wo die optimalen Salzkonzentrationen für das Stengel-(Koleoptil-) und für das Wurzelwachstum verschieden sind. Wie aus diesen Angaben zu ersehen ist, kommen solche Konzentrationsabweichungen am häufigsten bei Nitraten vor. Da diese Salze das Wurzelwachstum der Getreidekeimlinge sehr stark herabsetzen, liegen ihre optimalen Konzentrationen für das Wurzelwachstum sehr tief — meistens unter 0.0001 n. Auch bei einigen Chloriden, Sulfaten und Phosphaten kommen solche Abweichungen der optimalen Konzentrationen vor: diese haben aber einen mehr spezifischen und von der Pflanzenart abhängigen Charakter.

Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse.

1. Die Aufkeimungsgeschwindigkeit der Samen wird direkt von den durch die Samenschale und die Mikropyle eingedrungenen Salzlösungen beeinflusst. Die stärkeren (0.1 n.) Konzentrationen der Neutralsalzlösungen setzen die Aufkeimungsgeschwindigkeit etwas herab. Eine Beschleunigung der Aufkeimung durch die niederen Salzkonzentrationen wurde bei schnellkeimenden Samen von *Avena*, *Triticum*, *Secale* und *Lens* nicht beobachtet. Die Quellungswassermenge der Reservestoffe, welche durch die Salze herabgesetzt wird, scheint auf die Aufkeimungsgeschwindigkeit ohne Wirkung zu sein.

2. Der Wassergehalt der Keimlingselemente wird von höheren Salzkonzentrationen herabgesetzt, von mässigen und niederen aber meistens gesteigert. Ein gefördertes Keimlingswachstum

ist stets mit erhöhtem Wassergehalt, resp. mit der Quellung der Zellkolloide, ein gehemmtes Wachstum dagegen mit der Entquellung der Zellkolloide verbunden. Die Quellung der Zellkolloide wird durch die Salzkonzentration und die Kolloidaktivität der An- und Kationen der einzelnen Salze bestimmt.

3. Bei der Auflösung der Endospermstärke in Weizenkörnern spielt die Scutellumdiastase eine Hauptrolle. Ihre Tätigkeit wird von stärkeren (0.1 n.) Konzentrationen der Neutralsalze gehemmt, von niederen Konzentrationen der meisten Salze aber gefördert.

Die Wirkung der Diastase auf *Amylum tritici* ist im Reagenzglas bei Vorhandensein von Salzionen eine andere als bei Weizenkörnern. Der Hauptunterschied in der Wirkung des Salzes besteht in beiden Fällen darin, dass die Tätigkeit der Diastase im Reagenzglas von 0.1 n. Salzkonzentrationen (ausser Sulfaten und Phosphaten) noch gefördert wird, was mit der kolloidchemischen Wirkung der Salze auf die leblose Stärke im Zusammenhang steht.

4. Die elektrische Ladung der Plasmakolloide wird durch die H- und OH-Ionenkonzentrationen der Lösungen bestimmt. Der isoelektrische Punkt der Plasmakolloide von Haferkeimlingen liegt in destilliertem Wasser bei pH 5.85, in Knopscher Nährlösung bei pH 5.65 und im Leitungswasser bei 5.55. Das Keimlingswachstum von *Avena* hat in Abhängigkeit von den H-Ionenkonzentrationen der Lösungen zwei Wachstumsoptima gezeigt: ein kleines Optimum liegt in destilliertem Wasser bei pH 4.5—5.25, ein grosses bei pH 6.25—8.0. Diese Wachstumsoptima werden durch die Ionisation der Plasmakolloide bedingt und ebenso wie der isoelektrische Punkt des Plasmas durch die Salzionen beeinflusst. In Versuchslösungen — 10 oder 15 ccm Lösungen auf 5 Filtrierpapierscheiben — verschiebt sich die Reaktion der Lösungen bald — schon nach 3 Tagen — nach der alkalischen Seite hin (pH 7.2—7.5), also in den Reaktionsbereich des grossen Wachstumsoptimums. Eine Versäuerung der Versuchslösungen — abgesehen von 0.1 n. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ — wurde unter den gegebenen Versuchsbedingungen im Laufe von 7 Tagen nicht beobachtet.

5. In 0.1 n. Konzentration der Neutralsalzlösungen wird das Keimlingswachstum von *Avena*, *Triticum*, *Secale* und *Lens* herabgesetzt, durch Li-, NH_4 - und Ba-Salze sogar ganz verhindert. Die hemmende Wirkung der Salzionen steigt in 0.1 n. Konzentration nach der lyotropen Reihe der Anionen: $\text{CNS} >$

$\text{NO}_3 > \text{Cl} > \text{Br} > \text{H}_2\text{PO}_4, \text{SO}_4$ und nach folgender Reihe der Kationen: $\text{Li} > \text{NH}_4 > \text{Ba} >> \text{Ca} > \text{K} > \text{Na} > \text{Mg}$.

6. In 0.01—0.001 n. Konzentrationen ist die Wirkung einiger Salzionen auf das Wurzel- und Stengel- (Koleoptil-) wachstum der Keimlinge eine spezifische. Das Koleoptilwachstum der Getreidekeimlinge wird von K- und NO_3 -Ionen am meisten begünstigt, das Stengelwachstum der Linsenkeimlinge aber von Mg-, SO_4 - und H_2PO_4 -Ionen. Das Wurzelwachstum aller Keimlingsarten wird von K-, Mg-, SO_4 - und Cl-Ionen gefördert, wobei das Ca-Ion zusammen mit anderen Ionen ebenfalls günstig wirkt. Die fördernde Wirkung der Anionen auf das Wurzelwachstum steigt nach der umgekehrten lyotropen Reihe. Die Wirkung der Kationen auf negativ geladene Plasmakolloide ist stärker ausgeprägt und wird von den Salzkonzentrationen mehr als die Anionenwirkung beeinflusst.

7. In 0.0001 n. Konzentration wirken Li-, NH_4 - und Ba-Ionen, welche in stärkeren Konzentrationen das Keimlingswachstum am meisten gehemmt haben, stärker fördernd auf das Wachstum der Keimlingselemente als die anderen Ionen. Da aber diese Ionen keinen ernährungsphysiologischen Wert haben, muss ihre Wirkung in dieser Konzentration als eine kolloidchemische (resp. quellungsfördernde) angesehen werden.

8. Die Konzentrationen von optimaler Wirkung sind bei den meisten Neutralsalzen für das Stengel- (Koleoptil-) und Wurzelwachstum die gleichen: es kommen aber auch viele Fälle vor, in denen sie verschieden sind. So liegen sie z. B. bei Nitraten für das Koleoptilwachstum viel höher als für das Wurzelwachstum.

9. Bei der Wirkung der Salzionen auf das Keimlingswachstum spielen die Salzkonzentrationen eine grosse Rolle; ausserdem wird diese Wirkung einerseits durch die Gestaltung des Plasmas in artverschiedenen Keimlingen und Keimlingselementen und andererseits durch die spezifischen kolloidchemischen und ernährungsphysiologischen Eigenschaften der Salzionen bedingt. Auch die Dauer der Versuche und die Ungleichheit der Reservestoffe in den Samen, besonders deren Salzgehalt, wirken dabei mit.

Es werden zwei Wirkungstypen der Salzionen in drei verschiedenen Konzentrationen aufgestellt.

Literatur.

- Aaltonen, V. T. Metsat. Koel. Julk. **9**, 1925.
- Abderhalden u. Fodor, A. Fermentf. **1**, 533, 1916; **4**, 191, 1920; **5**, 138, 1921.
- Addoms, R. M. Am. Journ. Bot. **10**, 211, 1923.
- Adler, L. Bioch. Zeitschr. **77**, 146, 1916.
- Aichele, F. u. Lehmann, E. Keimungsphysiologie der Gräser, Stuttgart 1931.
- Arndt, C. H. Soil Science **21**, 1, 1926.
- Arrhenius, O. Ökologische Studien in den Stockholmer Schären, 1920.
- Bodenreaktion und Pflanzenleben, Leipzig 1922.
 - Journ. Gener. Phys. **5**, 81, 1922.
 - Zeitschr. f. Pflanzenernähr. u. Düng. **3**, 129, 1928; **4**, 348, 1925; **5**, 195, 1926.
 - Kalkfrage, Bodenreaktion u. Pflanzenwachstum, Leipzig 1926.
- Atkins, W. R. G. Nature **108**, 80, 485, 1921.
- Notes of the Bot. School Trinity College **3**, 135, Dublin 1922.
 - Sci. Proc. R. Soc. Dublin 1924.
- Bach, A. Ber. Deutsch. Chem. Ges. **37**, 3755, 1905.
- Bioch. Zeitschr. **31**, 443, 1911.
- Bach, A. et Chodat, R. Ber. Deutsch. Chem. Ges. **35**, 1275, 2466, 3943, 1902.
- Bot. Zentralbl. **96**, 452, 1903.
 - Bot. Ztg. **63**, 141, 1903.
- Bechhold, H. Kolloide in Biologie und Medizin, Dresden-Leipzig 1929.
- Becker, A. Landw. Jahrb. **63**, 501, 1926.
- Bessenich, F. Jahrb. f. wiss. Bot. **63**, 231, 1924.
- Biedermann, W. Fermentf. **4**, 133, 1921.
- Bioch. Zeitschr. **129**, 582, 1922; **135**, 282, 1923; **137**, 35, 1923.
- Bierry, H. Recherches sur les diastases etc., Maloine 1911.
- C. R. Ac. Sc. **152**, 443, 465, 1911.
- Boas, F. Bioch. Zeitschr. **176**, 349, 1926.
- Die Pflanze als kolloides System, Naturw. u. Landw., München 1928.
- Boas, F. u. Merckenschlager, F. Centrbl. Bakt. **55**, 508, 1922.
- Bokorny, Th. Pfl. Arch. **111**, 341, 1906.
- Bioch. Zeitschr. **43**, 453, 1912; **50**, 1, 1913.
- Borowikow, G. Über die Einwirkung von salzartigen Stoffen auf die Wachstumsgeschwindigkeit der Pflanzen, Odessa 1915 (russisch).
- Brauner, L. Jahrb. wiss. Bot. **73**, 513, 1930.
- Bredemann, G. Landw. Jahrb. **63**, 369, 1926.
- Brenner, W. Öfersigt af Finska Vetensk.-Soc. förhandl. **60**, 19, 1918.
- Ber. Deutsch. Bot. Ges. **38**, 277, 1920.

- Brooks, S. C. Proc. Soc. Exp. Biol. and Medic. **22**, 409, 1930.
 — Protoplasma **8**, 389, 1929.
- Brown, A. J. Proc. Royal Soc. London **81**, 82, 1909.
 — Ann. of Bot. **21**, 79, 1906.
- Brown, H. T. and Morris, G. H. Journ. Chem. Soc. **57**, 375, London 1890.
- Bryan, O. C. Soil Sc. **13**, 271, 1922; **15**, 23, 1923; **15**, 375, 1925.
- Chodat, F. La concentration des ions hydrogène du sol etc., Genève 1924.
- Cole, S. W. Journ. of Physiol. **30**, 202, 1903.
- Collander, R. Soc. Sc. Fenn. Comm. Biol. **2**, 1, 1926.
 — Acta Bot. Fenn. **6**, 1, 1930.
- Czapek, F. Ber. Deutsch. Bot. Ges. **28**, 161, 1910.
 — Int. Zeitschr. phys.-chem. Biol. **1**, 108, 1914.
 — Biochemie der Pflanzen, Bd. I — 1913, II — 1920, III — 1921, Jena.
- Dahm, P. Jahrb. wiss. Bot. **63**, 273, 1924.
- Dixon, H. Nature **64**, 256, 1901.
- Dokan, Th. Kolloid-Zeitschr. **34**, 155, 1924.
- Domontowitsch, M. K. Journ. wiss. Landw. Moskau **1**, 191, 521, 1924 (russ.).
- Dubrunfaut et Cuisinier. Mémoire sur la saccharif. des féculs.
 Paris 1882 (zitiert nach Lehmann-Aichele).
- Effront. C. R. Ac. Sc. **115**, 1324, 1892.
- Eidam. Jahresber. Schles. Ges. f. vaterl. Cultur, Bot. Sect. 1877.
- Eisenmenger, W. S. Bull. Torrey Bot. Club **55**, 261, 1928.
- Ernström, E. Zeitschr. physiol. Chemie **119**, 190, 1922.
 — Bioch. Zeitschr. **141**, 40, 1924.
- Euler, H. Chemie der Enzyme I — 1920, II 1 — 1922, II 2 — 1927, München.
- Euler, H., Hedelius, Svanberg. Zeitschr. physiol. Chem. **110**, 190, 1920.
- Farr, C. H. Bull. Torrey Bot. Club **55**, 223, 529, 1928.
- Filter, P. Über die Wasseraufnahme und Keimung der Samen etc., Berlin 1914.
- Fischer, A. Ber. Deutsch. Bot. Ges. **25**, 22, 1907.
- Fischer, M. H. Ödem, Moskau 1913 (russ.); Seifen und Eiweissstoffe.
 Dresden 1922.
- Fitting, H. Jahrb. wiss. Bot. **56**, 1, 1915; **59**, 1, 1919.
- Fleischer. Beiträge zur Lehre von dem Keimen der Samen der Gewächse,
 1851 (zitiert nach Nobbe, 1876).
- Fodor, A. Das Fermentproblem, Dresden 1929.
- Gassner, G. Ber. Deutsch. Bot. Ges. **44**, 341, 1926.
 — Jahrb. wiss. Bot. **55**, 259, 1915.
- Gellhorn, E. Das Permeabilitätsproblem, Berlin 1929.
- Groh. Landw. Jahrb. **63**, 483, 1926.
- Gurewitsch, A. Jahrb. wiss. Bot. **70**, 657, 1929.
- Haberlandt, G. Landw. Centr. 1874, S. 353.
 — Ber. Deutsch. Bot. Ges. **8**, 1890.
 — Physiologische Pflanzenanatomie, Leipzig 1918.
- Haffner. Pfl. Arch. **196**, 15, 1922.
- Hansteen, B. Flora **78**, 1894, S. 418.
- Hansteen-Cranner, B. Jahrb. wiss. Bot. **47**, 368, 1910.
 — Planta **2**, 438, 1926.
- Hardy, W. B. Journ. of Physiol. **24**, 301, 1899.

- Hardy, W. B. Zeitschr. physik. Chemie **33**, 385, 1900.
- Hartig, Th. Bot. Zeitg. **24**, 49, 1866 (zitiert nach Nobbe, 1876).
- Harvey, N. Ann. of Bot. **23**, 181, 1901.
- Am. Journ. Physiol. **31**, 335, 1913.
- Intern. Zeitschr. phys. Chemie u. Biol. **1**, 463, 1914.
- Hassebrauk, K. Angew. Bot. **10**, 407, 1928.
- Herčík, F. Publ. Fac. Sci. de l'Univ. Massaryk **45**, Brünn 1925.
- Planta **6**, 679, 1929.
- Ber. wiss. Biol. 1929.
- Hixon, R. M. Medd. Vetenskapsk. Nobel-Inst. **4**, 1, 1920 (zitiert nach Mevius, 1927).
- Höber, R. Physikalische Chemie der Zelle und der Gewebe, Leipzig 1926.
- Hofmeister, Fr. Arch. exp. Pathol. u. Pharm. **24**, 247, 1888; **25**, 3, 1889.
- Arch. exp. Physiol. u. Pathol. **27**, 395, 1890.
- Humboldt, A. Aphorismen, Anhang, S. 156, 1793.
- Iljin, W. S. Protoplasma **3**, 558, 1928.
- Jacobi, B. Flora **86**, 289, 1899.
- Janse. Versl. en Med. Kon. Ak. Wet. **4**, 332, Amsterdam 1888 (zitiert nach Pantanelli).
- Joffe, I. S. Soil Sc. **10**, 301, 1911.
- Kahlenberg u. True. Journ. Am. Med. A. S. **27**, 138, 1896.
- Bot. Gaz. **22**, 81, 1896.
- Kaho, H. Acta et Comm. univ. Tartuensis **A V 4**, 1924.
- Biochem. Zeitschr. **117**, 87, 1921; **120**, 125, 1921; **144**, 104, 1924; **151**, 104, 1924.
- Ergebnisse der Biologie **1**, 380, 1926.
- Karrer, P. Einführung in die Chemie der polymeren Kohlenhydrate, Leipzig 1925.
- Kellner, O. Landw. Versuchsst. **17**, 408, 1874.
- Kerner, A. Sitzungsber. d. Nat.-med. Vereins zu Innsbruck 1873.
- Bot. Ztg. **31**, 437, 1873.
- Kisch, Br. Int. Zeitschr. phys. Chemie u. Biol. **1**, 60, 1914.
- Naturwiss. **2**, 533, 1914.
- Knop, W. Landw. Versuchsst. **2**, 65, 1860; **6**, 81, 259, 265, 1864.
- Konsuloff, St. Zellstim.-Forsch. **2**, 113, 1927.
- Körnicker, F. Landw. Samenkunde, Berlin 1922.
- Körnicker u. Werner. Handbuch des Getreidebaues, Berlin 1923.
- Kostytschew, S. Zeitschr. phys. Chemie **85**, 493, 1913.
- Ber. Deutsch. Bot. Ges. **31**, 125, 422, 1913.
- Krabbe, G. Jahrb. wiss. Bot. **18**, 346, 1887.
- Kuhn, R. Liebigs Ann. Chem. Pharm. **443**, 1, 1925.
- Ber. Deutsch. Chem. Ges. **57**, 1895, 1924.
- Kühn, J. Amtsbl. landw. Ver. Kgr. Sachsen 1872.
- Bot. Ztg. **31**, 502, 1873.
- Künzel, A. Bioch. Zeitschr. **209**, 326, 1928.
- Kurbatow, V. u. Glückmann, S. Protoplasma **8**, 34, 1930.
- Lehmann, E. u. Aichele, F. Keimungsphysiologie der Gräser, Stuttgart 1931.
- Lepeschkin, W. Ber. Deutsch. Bot. Ges. **28**, 81, 1910; **29**, 247, 1911; **30**, 528, 1912.

- Lepeschkin, W. Kolloid-Zeitschr. **13**, 181, 1913.
 — Kolloidchemie des Protoplasmas, Berlin 1924.
- Lillie, R. S. Am. Journ. Physiol. **17**, 89, 1907.
- Lintner, J. Pr. Chem. **34**, 378, 1886; **36**, 481, 1887.
- Loeb, J. Pfl.-Arch. **73**, 422, 1898.
 — Bioch. Zeitschr. **66**, 277, 1914.
 — Journ. Biol. Chem. **23**, 423, 1915.
 — Eiweisskörper, Berlin 1924.
- Loo, Th. Bull. Dep. Biol. **10**, 1, Canton 1931.
 — Journ. Fac. Agric. **30**, 1, Sapporo 1931.
- Loew, O. Ann. Bot. **16**, 590, 1902.
 — Flora **91**, 264, 1902; **102**, 96, 1911.
 — Bull. Coll. Agric. Tokyo **5**, 461, 1903.
- Lundegårdh, H. Bioch. Zeitschr. **146**, 564, 1924.
 — Kungl. Sv. Vetensk. handl. **47**, 3, 24, 1911.
- Lundegårdh, H. u. Morávek, V. Bioch. Zeitschr. **149**, 151, 291, 1924.
- Merkenschlager, F. Keimungsphysiologische Probleme, Naturw. u. Landw., München 1924.
- Mevius, W. Zeitschr. f. Bot. **16**, 641, 1924.
 — Reaktion des Bodens u. Pflanzenwachstum, Naturw. u. Landw., München 1927.
 — Jahrb. wiss. Bot., **66**, 183, 1927; **69**, 119, 1928.
- Mevius, W. u. Engel, H. Planta **9**, 1, 1929.
- Michaelis, L. Die Wasserstoffionenkonzentrationen, Berlin 1922.
- Michaelis, L. u. Davidson, H. Bioch. Zeitschr. **35**, 386, 1911.
- Michaelis, L. u. Pechstein, H. Bioch. Zeitschr. **59**, 79, 1914.
- Michaels, H. Bull. Soc. Chim. Belg. **21**, 198, 1907.
 — Arch. Intern. Physiol. **4**, 410, 1907.
 — Bull. Acad. R. Belg., Cl. Sci. 1909, S. 1076; 1913, S. 831.
 — Int. Zeitschr. f. phys. Chemie u. Biol. **4**, 1916.
- Moraczewski u. Hamerski. Bioch. Zeitschr. **208**, 299, 1929.
- Nabokich, A. J. Zur Frage der Reizagenzien des Wachstums, Odessa 1908 (russisch).
- Neuberg, C. Bioch. Zeitschr. **83**, 244, 1917; **88**, 432, 1918.
- Niethammer, A. Zellstim.-Forsch. **1**, 257, 1925.
 — Jahrb. wiss. Bot. **67**, 223, 1927.
 — Bioch. Zeitschr. **185**, 205, 1925.
- Niklewski, B., Krause, A. u. Lemańczyk, K. Jahrb. wiss. Bot. **69**, 101, 1928.
- Nobbe, F. Handbuch der Samenkunde, Berlin 1876.
 — Landw. Versuchsst. **7**, 371, 1865; **8**, 392, 1866; **9**, 71, 228, 1867.
- Nobbe, Schroeder u. Erdmann. Über die organische Leistung des Kaliums in der Pflanze, Chemnitz 1871.
- Noll, Flora **81**, 36, 1895.
- Nõmmik, A. Acta et Comm. Univ. Tartuensis A **XV** 1, 1928.
 — Agronomiia 1928, Anhang (estnisch).
- Olsen, G. Studies in the hydrogenion concentr. etc., Kopenhagen 1923.
 — Compt. Rend. Lab. Carlsborg **15**, 1, 1923; **16**, 2, 1925.
- Osborne, Th. B. The proteins of the wheat kernels, Washington 1907.

- Osborne, Th. B. *Am. Journ. Physiol.* **22**, 423, 1908.
- Osborne, Th. B. and Harris, J. F. *Am. Journ. Physiol.* **17**, 223, 231, 1906.
- Osterhout, W. J. V. *Science* **39**, 544, 1914.
- *Bot. Gaz.* **59**, 61, 1919.
- *Journ. Gener. Physiol.* **1**, 299, 1919; **8**, 131, 1925.
- Ostwald, Wo. *Koll.-Zeitschrift* **38**, 356, 1923.
- *Pfl. Arch.* **108**, 111, 1905.
- Otto. *Allg. Gartenz.* 1849, S. 263 (zitiert nach Nobbe, 1876).
- Overton, E. *Vierteljahrsschr. Naturf.-Ges. Zürich* **40**, 1, 1895; **44**, 88, 1899.
- *Studien über Narkose*, Jena 1901.
- *Pfl. Arch.* **92**, 115, 1902; **105**, 76, 1904.
- Palladin, W. *Ber. d. Bot. Ges.* **23**, 240, 1905; **26**, 378, 1908; **26**, 389, 1908.
- *Bioch. Zeitschr.* **44**, 318, 1912; **128**, 491, 1922.
- Palladin, W. u. Kostytschew, S. *Zeitschr. physiol. Chemie* **48**, 214, 1906.
- Pantanelli, E. *Jahrb. wiss. Bot.* **56**, 689, 1915.
- *Protoplasma* **7**, 129, 1929.
- Pauli, W. *Ber. chem. Physiol. u. Pathol.* **3**, 225, 1902; **5**, 27, 1903; **7**, 531, 1905.
- *Pfl. Arch.* **136**, 483, 1910.
- Pfeffer, W. *Pflanzenphysiologie*, Leipzig 1881.
- *Unters. Bot. Inst. Tübingen* **2**, 179, 1886.
- *Studien zur Energetik der Pflanzen*, Leipzig 1892.
- *Druck und Arbeitsleistung durch wachsende Pflanzen*, Leipzig 1893.
- Popoff, M. *Zellstim.-Forsch.* **1**, 257, 265, 1925; **2**, 105, 1927.
- Popoff u. Paspaleff. *Zellstim.-Forsch.* **1**, 39, 1925.
- Popoff, Paspaleff u. Dobreff. *Zellstim.-Forsch.* **2**, 131, 153, 1927; **3**, 1, 1927.
- Popoff u. Seisoff. *Bioch. Zeitschr.* **159**, 79, 1925.
- Porges, A. und Neubauer, E. *Bioch. Zeitschr.* **7**, 167, 1907.
- Porodko, Th. M. *Ber. Deutsch. Bot. Ges.* **44**, 7, 80, 1926.
- Port, J. *Bioch. Zeitschr.* **166**, 105, 1925; **170**, 377, 1926.
- *Protoplasma* **1**, 566, 1927; **2**, 401, 1927.
- *Acta et Comm. Univ. Tartuensis A VIII* **5**, 1928.
- *Landw. Jahrb., Sonderband — Wiss. Anstalten*, 1929, S. 25.
- Prianischnikow, D. N. *Ergebnisse der Biologie* **1**, 407, 1926.
- Pringsheim, E. G. *Planta* **11**, 528, 1930.
- Puriewitsch, K. *Jahrb. wiss. Bot.* **31**, 1, 1898.
- Reed, G. M. and Haas, A. R. C. *Am. Journ. Bot.* **11**, 78, 1924.
- *Hilgardia* **2**, 67, 1926.
- Remond. *Courrier de l'Ain* 1828 (zitiert nach Nobbe, 1876).
- Rippel, A. *Ber. Deutsch. Bot. Ges.* **36**, 202, 1918.
- Risse, O. *Pfl. Arch.* **212**, 375, 1926; **213**, 685, 1926.
- Robbins, W. J. *Am. Journ. Bot.* **10**, 412, 1923.
- Rona, P. u. and. *Bioch. Zeitschr.* **160**, 490, 1924.
- Rona und Kleinmann. *Bioch. Zeitschr.* **150**, 444, 1924.
- Rona und Mislowitzer. *Bioch. Zeitschr.* **140**, 517, 1923; **146**, 1, 1924.
- Rudolfs, W. *Soil Sc.* **11**, 277, 1921; **20**, 15, 1925.
- Ruhland, W. *Bioch. Zeitschr.* **54**, 59, 1913.
- *Kolloid-Zeitschr.* **14**, 48, 1914.

- Ruhland, W. Ber. Deutsch. Bot. Ges. **31**, 304, 553, 578, 1913.
 — Zeitschr. f. Bot. **1**, 747, 1909.
- Ruhland, W. und Hoffmann, C. Planta **1**, 1, 1925.
- Sabalitschka-Schulze. Fermentforsch. **8**, 428, 1925.
- Sachs, J. Physiologische Untersuchungen über die Keimung der Schminkbohne, Leipzig 1859. Landw. Versuchsst. **2**, 1860.
 — Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, Leipzig 1882.
- Salter, R. M. and McIlvaine, T. C. Journ. Agr. Res. **19**, 73, 1920.
- Saussure. Recherches chimiques sur la végétation, Paris 1804 (zitiert nach Czapek).
- Schäfer, A. Untersuchungen über die Keimungsbedingungen der Samen von Rotklee, Jena 1907.
- Schaffnit, E. Mitt. Deutsch. Landw. Ges. **42**, 1925.
- Schroeder, H. Flora **2** (102), 186, 1911.
- Schwendener, A. u. Krabbe, G. Jahrb. wiss. Bot. **25**, 323, 1893.
- Spiro, K. Bioch. Zeitschr. **93**, 384, 1919.
 — Hofm. Beitr. **4**, 300, 1903; **5**, 276, 1904.
 — Centralbl. f. allg. Pathol. **33**, 1, 1923.
- Stoklasa, J. u. and. Bioch. Zeitschr. **88**, 292, 1918; **91**, 37, 1918; **128**, 35, 1922.
- Tröndle, A. Arch. Sc. phys. et nat. **45**, 38, 167, 1918.
 — Jahrb. wiss. Bot. **48**, 171, 1910.
- Úlehla, V. Protoplasma **3**, 469, 1923.
- Vonhausen. Heyer's Forst- und Jagdzeitg. 1858, S. 461 (zit. nach Nobbe, 1876).
- Warburg, O. Pfl. Arch. **158**, 1914.
 — Bioch. Zeitschr. **153**, 479, 1924.
- Wherry, E. T. Ecology **1**, 42, 1920.
 — Ann. Rep. Sm. 1922.
- Wieland, H. Ber. Chem. Ges. **47**, 2085, 1914; **54**, 2353, 1921.
 — Arch. exp. Pathol. u. Pharm. **86**, 92, 1920; **87**, 1921.
- Willstätter, R. u. Steibelt, W. Zeitschr. f. physiol. Chemie **111**, 168, 1920.
- Willstätter, Kuhn u. Sobotka. Zeitschr. f. physiol. Chemie **129**, 33, 1923.
- Wittmack, K. Landwirtschaftliche Samenkunde, Berlin 1922.
- Wohlgemuth, J. Bioch. Zeitschr. **9**, 10, 1908.
- Wolfe, H. S. Bot. Gaz. **82**, 89, 1926.
- Wortmann. Bot. Zeitg. **47**, 229, 1889.
- Zaleski, W. Ber. Deutsch. Bot. Ges. **24**, 285, 1906; **32**, 87, 1914.
- Zollitsch, L. Flora **22** (122), 93, 1927.

Inhalt.

I. Teil.

1. Einführung	3
2. Methodisches	6
3. Vorversuche	10
1) Die Wirkung der Wassermenge des Keimbettes auf das Keimlingswachstum	10
2) Die Wirkung der Salze in verschiedenen Konzentrationen auf die Quellung der Samen	13
3) Die Wirkung der H-Ionenkonzentrationen auf das Keimlingswachstum	19
4) Die Wirkung der Salzionen auf die Enzymtätigkeit	35

II. Teil.

Spezialversuche.

1) Versuche mit <i>Avena sativa</i>	53
2) " " <i>Triticum vulgare</i>	67
3) " " <i>Secale cereale</i>	81
4) Die Wirkung der Salzionen auf das Gesamtwachstum der Getreidekeimlinge	90
5) Die Wirkung der Salzionen auf das Wachstum der Linsenkeimlinge	97
6) Die Wirkung einiger Salzkombinationen auf das Keimlingswachstum von <i>Triticum vulgare</i> und <i>Lens esculenta</i>	114
7) Die Wirkung der Salzionen auf das Längenwachstum, Roh- und Trockengewicht von <i>Triticum vulgare</i>	122

III. Teil.

Diskussion der Versuchsergebnisse	130
Literatur	161

