# ORIENTIERENDE VERSUCHE ÜBER DIE STIMULIERENDE WIRKUNG EINIGER SALZE AUF DAS WACHSTUM DER GETREIDEPFLANZEN

I

VON

HUGO KAHO

---

TARTU (DORPAT) 1925

C. Mattiesen, Dorpat.

In der letzten Zeit sind insbesondere von M. Popoff[1]) zahlreiche Versuche über die Stimulationswirkungen verschiedener chemischen Agentien auf das Wachstum der Getreidepflanzen angestellt worden. Durch diese Versuche ist es dem genannten Autor gelungen, den Ernteertrag um 30—50% zu steigern.

Ungeachtet der grossen praktischen Bedeutung, die eine durch die Hand des Experimentators willkürlich geleitete Wachstumsstimulation und die damit verbundene Erhebung des Ertrages haben könnten, sind die wissenschaftlichen Grundlagen der durch verschiedene chemische Stoffe erzielten stimulierenden Wirkung auf die pflanzliche Zelle noch völlig unbekannt. Die Meinungsäusserungen der meisten Autoren der neueren Zeit über die physiologische Natur der Stimulation tragen einen recht allgemeinen und deduktiven Charakter, sie sind grösstenteils durch keine exakten Versuche bestätigt und geben daher auch keine festen Anhaltspunkte zur näheren Begründung dieser offenbar sehr komplizierten physiologischen Erscheinung. Es gelingt heute noch nicht, sicher vorauszusagen, ob dieser oder jener Stoff gemäss seiner chemischen Konstitution in einer physiologischen Konzentration stimulierend oder hemmend auf das Wachstum einer beliebigen Pflanze wirken würde, und die bisher erhaltenen positiven Ergebnisse lassen sich kaum auf alle Pflanzen verallgemeinern.

Die Tatsache der Wachstumsstimulation durch chemische Stoffe ist nicht neu und wurde schon vor etwa fünfzig Jahren

---

1) Popoff, M. Über Zellstimulantien und ihre theoretische Begründung. Jahrb. der Univ. Sofia. **19**, II Heft 1. 1923.

Idem. Die Zellstimulation des Saatguts und ihre Bedeutung. Deutsche Landwirtsch.-Ges. 1924. St. 12.

Idem. Über die Stimulierung der Zellfunktionen. Biolog. Zentralbl. **42**, 395. 1922.

Idem. Zellstimulationen und ihre theoretische Begründung. Zellstimulationsforschungen **1**, 3. 1924.

zuerst bei niederen (Schimmelpilze) und alsdann bei höheren Pflanzen (Leguminosen und and.) beobachtet. Ich verweise hier auf die Namen von Raulin[1]), Schultz[2]), Pfeffer[3]), Richards[4]), Loew[5]), Ono[6]), Hattori[7]), Kanda[8]), Hueppe[9]) — die dieses Phänomen näher untersucht haben; es sei hier ferner auf die übersichtliche Zusammenstellung bei Nobbe[10]) und insbesondere bei Czapek[11]) verwiesen.

Eine experimentell begründete Theorie fehlt bei den älteren Autoren ebenfalls.

Im allgemeinen könnten bei den Wirkungen chemischer Stoffe auf Zellen folgende zwei Fälle in Betracht kommen: 1. die Wirkung erstreckt sich hauptsächlich auf die Oberflächenschichten des Plasmas und auf die Zellwand; 2. es werden alle Bestandteile der Zelle durch den Stoff beeinflusst.

Den ersteren Fall haben wir dann, wenn ein Stoff in das Plasma schwer eindringt und in erster Zeit an der Oberfläche Halt macht. Hierher gehören in erster Linie starke Mineralsäuren. Im Gegensatz zu der älteren Angabe von Pfeffer[12]), wonach gewisse Säuren beinahe momentan durch das Plasma in die Vakuole permeieren, was bei den Anthozyan führenden Pflanzen durch den Farbenumschlag sichtbar wird, zeigen die neuesten

---

1) Raulin, Etudes chimiques sur la végétation. Ann. d. scienc. naturell. V Sér. **11**, 252. 1869.

2) Schulz, H. Über Hefegifte. Pflügers Archiv **42**, 517. 1888.

3) Pfeffer, W. Über Election organischer Nährstoffe. Jahrb. für. wiss. Bot. **28**, 205. 1895.

4) Richards, H. M. Die Beeinflussung des Wachstums einiger Pilze durch chemische Reize. Jahrb. für wiss. Bot. **30**, 665. 1897.

5) Loew, O., K. Aso, S. Sawa. Über die Wirkung von Manganverbindungen auf Pflanzen. Flora **91**. 1902.

6) Ono, N. Über die Wachstumsbeschleunigung einiger Algen und Pilze durch chemische Reize. Journ. Coll. Science, Imp. Univ. Tokyo, **13**, Pt. 1. 1900.

7) Hattori, H. Studien über die Einwirkung des Kupfersulfats auf einige Pflanzen. Journ. Coll. Science, Imp. Univ. Tokyo, **15**, Pt. 3. 1901.

8) Kanda, M. Studien über die Reizwirkung einiger Metallsalze auf das Wachstum höherer Pflanzen. Journ. Coll. Science, Imp. Univ. Tokyo, **19**. 1904.

9) Hueppe, F. Naturwissenschaftliche Einführung in die Bakteriologie. 1896, Wiesbaden. S. 55.

10) Nobbe, Fr. Handbuch der Samenkunde. Berlin 1876.

11) Czapek, F. Biochemie der Pflanzen I. Jena 1913.

12) Pfeffer, W. Osmotische Untersuchungen. Leipzig 1877. S. 135.

Untersuchungen von Brenner[1]), dass starke anorganische Säuren, wie HCl, $H_2SO_4$, $HNO_3$, $H_3PO_4$, sowie auch stärker dissoziierte organische Säuren, wie Oxalsäure und Zitronensäure, beim Eindringen das Plasma mehr oder minder schädigen, insbesondere die Konzentrationen 0,001 m und höher, und ferner, dass in niedrigeren Konzentrationen der Anthozyanumschlag durchaus nicht momentan erfolgt. Dieses zeigt, „dass die lebenden Pflanzenzellen für die stark dissoziierten Säuren . . . mindestens sehr schwer durchlässig sind" (Höber)[2]).

Eine ausgesprochene stimulierende Wirkung der Säuren auf das Wachstum der Pflanzenzellen fanden Sarandinaki[3]) und Borowikow[4]). Borowikow untersuchte die Zuwachsgeschwindigkeit der Helianthuskeimlinge in saurem Medium. Es sei hier ein Beispiel angeführt.

| Lösung | Zuwachs in mm | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Nach 3 St. | In % % des Zuwachses in $H_2O$ | Nach weiteren 3 St. | In % % des Zuwachses in $H_2O$ | Nach weiteren 3 St. | In % % des Zuwachses in $H_2O$ |
| $H_2O$ | 54 | 100 | 46 | 83 | 76 | 139 |
| HCl — 0,0005 m | 95 | 177 | 62 | 117 | 53 | 100 |
| $HNO_3$ — 0,0005 m | 84 | 155 | 45 | 83 | 53 | 100 |
| $^1/_2H_2SO_4$—0,0005 m | 78 | 144 | 58 | 105 | 45 | 83 |
| $H_4C_2O_2$ — 0,0005 m | 67 | 122 | 40 | 72 | 46 | 83 |
| $H_2O$ | 50 | 94 | 50 | 94 | 70 | 128 |

Man sieht aus dieser Tabelle, dass die Keimlingssprosse nach 3-stündigem Aufenthalt in allen Säuren sich schneller ausstrecken als im Wasser. Im Wasser ist der Zuwachs 100%, in Säuren je nach der Stärke der Säuren 177—122%. Nach 6 Stun-

1) Brenner, W. Studien über die Empfindlichkeit und Permeabilität pflanzlicher Protoplasten für Säuren und Basen. Öfversigt af Finska vet. förhandl. **60**, Afd. A, № 4. 1918.

2) Höber, R. Physikalische Chemie der Zelle und der Gewebe. Leipzig 1922. S. 437.

3) Sarandinaki. Beobachtungen über die Wirkung der Salze auf das Wachstum (russisch). Mém. de la Soc. des naturalistes de la Nouvelle Russie **38**, 307. 1912.

4) Borowikow. Die Wirkung der salzartigen Stoffe auf die Wachstumsgeschwindigkeit des Pflanzenorganismus (russisch). Ebenda **41**, 1. 1916.

den ist der Zuwachs nur in HCl und $H_2SO_4$ grösser als im Wasser, nach 9 Stunden ist er in allen Säuren kleiner als im Wasser, die Säuren hemmen hier schon das Wachstum. Ausserlich betrachtet sieht es im ganzen so aus, dass in den Säurelösungen das Wachstum von Pflanzengeweben anfangs stark stimuliert wird und die Beschleunigung dann allmählich ausklingt.

Es fragt sich jedoch, inwiefern diese Ausdehnung der Hypokotyle in Gegenwart von Säure mit einem Wachstumsprozess bei normalen Verhältnissen identifiziert werden könnte.

Wir wissen ja aus den wohlbekannten Untersuchungen von Hofmeister[1]), Wo. Pauli[2]), Ostwald[3]), M. H. Fischer[4]) und and., dass die Elektrolyte die Quellung von Gelen beeinflussen, und zwar wird sie durch verdünnte Säurelösungen stark erhöht. Die Ausstreckung von Keimlingssprossen kommt durch das Flächenwachstum der Zellwand zustande. Bei den jungen Zellen ist die Wand im Zustande eines elastischen Gels und infolgedessen denselben kolloidchemischen Gesetzmässigkeiten wie alle toten Quellkörper unterworfen. In Säurelösungen schwillt die junge Zellwand stark auf (vgl. Kotte)[5]), und man könnte damit auch die rasche Verlängerung der Hypokotyle erklären, denn im allgemeinen stimmen die Ergebnisse von Sarandinaki und Borowikow mit einem Quellungsvorgang sehr gut überein: am besten dehnen sich die Sprosse in solchen Säurekonzentrationen aus, die dicht am letalen Grenzwert liegen und für das Leben der Zellen am gefährlichsten sind. In diesen Lösungen zeigen die Zellen auch eine starke Exosmose von Zellsaftstoffen, was auf eine Schädigung hinweist. Ferner sprechen noch einige andere Tatsachen, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll, dafür, dass die Wachstumsstimulierung der Keimlinge durch Säuren, die übrigens eine kurze Zeit dauert, dabei ein Maximum erreicht und dann allmählich fällt[6]), eher ein rein kolloidchemischer als physiologischer Prozess ist. Dieses beweist

---

1) Hofmeister, F. Arch. f. exp. Path. und Pharm. **27**, 395. 1890. **28**, 210. 1891.

2) Pauli, Wo. Pflügers Arch. **67**, 219. 1897. **71**, 1. 1898.

3) Ostwald, Wo. Pflügers Arch. **108**, 563. 1905.

4) Fischer, M. H. Das Oedem etc. Dresden 1910.

5) Tabulae biologicae, Bd. 1, 448. 1925.

6) Mit der Zeit sammelt sich die Säure, wenn auch langsam, in grösseren Mengen in der Vakuole, wobei das Plasma allmählich abzusterben beginnt.

auch der Umstand, dass die Entwicklung der Keimlinge in Wasserkulturen mit saurer Reaktion durch die letztere im allgemeinen nicht gefördert wird. Eine gewisse Ausdehnung der Zellwand als Folge der Quellung in Säuren müsste man wohl auch bei toten Keimlingen erwarten.

Dessenungeachtet können Säuren, insbesondere die organischen (Popoff), als Reizstoffe fungieren, die in erster Linie die Keimung der Samen anregen. So sagt Merkenschlager[1]: „In bestimmten für jede Säure und jeden Samen charakteristischen Konzentrationsverhältnissen sind die Säuren Reizsubstanzen und erhöhen die Entwicklung der Keime". Welche physiologische Prozesse in den Samenzellen durch Säuren in erster Reihe angeregt werden, das ist noch vollständig unerforscht. Es ist jedoch kaum anzunehmen, dass die Wirkung der Säuren bei den Samen sich nur auf die Oberfläche der Zellen erstreckt, denn bei der Keimung kommen hauptsächlich die Vorgänge im Inneren der Zellen in Betracht, nämlich die Quellung, d. h. die Anlagerung von Wasser an die Plasmateilchen und die Stoffe im Zellraum, ferner die enzymatischen Prozesse bei der Mobilisierung der Reservestoffe, der Atmung usw.

M. Popoff[2]) hat eine Hypothese aufgestellt, nach welcher alle Zellstimulantien eine Beschleunigung der Oxydationsprozesse im Inneren der Zelle bewirken. Dieser Autor meint, dass dieses am besten durch die Einwirkung der reduzierenden Verbindungen (!) zustande komme. Er sagt: „Nach den heutigen Auffassungen über die Zusammensetzung der Eiweisskörper wird angenommen, dass um einen inneren Kern, den Leistungskern (Ehrlich), nach Art der aromatischen Verbindungen viele Seitenketten angeordnet sind. Einige von diesen sind mit der Aufgabe betraut, den Sauerstoff aus dem umgebenden Medium labil zu binden, wir wollen sie Atmungsseitenketten nennen, und ihn dann anderen sauerstoffavideren Seitenketten des lebenden Moleküls weiterzugeben. Auf diese Weise kommt es zu einer Zir kulation des Sauerstoffs im lebenden Molekül.

Von dieser Auffassung ausgehend könnte man annehmen, dass das lebende Molekül in einem Stillstand der Lebensfunk-

---

1) Merkenschlager, F. Keimungsphysiologische Probleme. Freising-München, 1924. S. 13.

2) Popoff, M. Jahrbuch der Univ. Sofia **29**, 52. 1923.

tionen verbleiben würde, solange die Atmungsseitenketten mit Sauerstoff gesättigt sind oder wenn die weitere Abgabe des Sauerstoffs an die anderen Seitenketten langsam vor sich geht. In dem Moment aber, in welchem das lebende Molekül in Kontakt mit einer sauerstoffaviden Verbindung kommt, muss diese letztere, je nach der Stärke der Avidität, Sauerstoff aus den Atmungsseitenketten, wie auch aus den anderen sauerstoffbindenden Seitenketten des lebenden Moleküls loslösen und an sich ziehen. Auf diese Weise werden freie Affinitäten für den Sauerstoff im lebenden Molekül geschaffen; für ihre Sättigung müssen die sauerstofflabilen Atmungsseitenketten neue Sauerstoffmengen an sich ziehen und sie an die sauerstoffavideren Seitenketten des lebenden Moleküls weitergeben. Es würde dadurch zu einem Aufleben der Sauerstoffzirkulation im lebenden Molekül, es würde zu einer Hebung der Oxydationsprozesse kommen."

Ferner meint Popoff, dass reduzierende Stoffe nur in niedrigen Konzentrationen die Lebensprozesse der Zelle stimulieren, in höheren Konzentrationen sollen sie eine hemmende Wirkung ausüben.

Zu den reduzierenden Stoffen, die nach Popoff[1]) stimulierend wirken, gehören folgende Verbindungen:

„. . . 1. das CO und $CO_2$;
2. das Mg, Mn, K, Na, Fe, Ph, Hg und deren Salze;
3. das Arsen und seine Derivate;
4. die Alkohole der Kohlenwasserstoffe;
5. die Aldehyde, die Ketone und die Säuren der Alkohole;
6. die Glükose;
7. die Phenole (ein-, zwei-, dreiwertige) und ihre leicht oxydalen Derivate; die ein- und vielwertigen Phenosäuren;
8. einige Verbindungen aus der Gruppe der Terpene und Kampfer;
9. die Hypnotica und Anaesthetica wie auch leicht oxydablen Alkaloide;
10. bestimmte fluoreszierende Lösungen."

Die angeführten Stoffe gehören sehr verschiedenen Gruppen von Verbindungen mit recht verschiedenen che-

1) l. c.

mischen Eigenschaften an, und infolgedessen ist es kaum möglich, ihre physiologische Wirkung auf eine und dieselbe chemische Aktion zurückzuführen. So dringen die Schwermetallsalze sehr schwer oder fast gar nicht in die Zelle ein, ohne sie schwer zu schädigen, ferner wirken sie stark entquellend. Dagegen permeieren die Alkohole, Aldehyde, Ketone fast momentan in die Zelle und beeinflussen den kolloiden Zustand des Plasmas beinahe gar nicht.

Es ist sehr wahrscheinlich, dass gewisse Reizstoffe direkt oder indirekt in der Zelle eine erhöhte Atmungstätigkeit bewirken, denn eine Wachstumsstimulation bedeutet eine Beschleunigung aller Lebensprozesse in der Pflanze. Hier könnten nur exakte Versuche Klarheit schaffen und zeigen, inwiefern eine Steigerung der Atmungsintensität von dem Reduktionsvermögen der Stimulationsstoffe abhängig ist. Es ist aber ziemlich unverständlich, wie das von Popoff erwähnte $CO_2$ reduzierend wirken und dadurch eine Sauerstoffsättigung im Plasma beseitigen könnte. Wir wissen, dass beim Leiten des $CO_2$ durch Wasser Kohlensäure entsteht, wobei die isohydrischen Konzentrationen derselben eine nicht geringere Quellung der Quellkörper hervorrufen können, wie die der starken Mineralsäuren (Chiari)[1]). Es fragt sich darum, inwiefern die quellende Wirkung der Kohlensäure, die übrigens sehr leicht in die Zellen eindringt, die Keimung der Samen begünstigt.

Wir wollen damit nicht sagen, dass bei der chemischen Stimulation eine erhöhte Oxydation im Inneren der Zelle keine Rolle spielen könnte, doch ist es zurzeit nicht bekannt, dass alle die von Popoff erwähnten Verbindungen eine solche zu bewirken vermöchten. Es ist neuerdings von O. Warburg[2]) exakt bewiesen worden, dass nur die Eisensalze die Oxydationsvorgänge in der Zelle fördern und für die normale Lebenstätigkeit unentbehrlich sind. Er sagt ferner: „Bekanntlich enthält die lebende Zelle an autoxydablen Metallen nicht nur Eisen, sondern auch Kupfer, Mangan und andere Metalle, und man kann fragen, ob wir nicht besser täten, statt „Eisen" „Schwermetall" zu schreiben. Wir tun das

1) Chiari, R. Die Glutinquellung in Säuren und Laugen. Biochem. Zeitschr. **33**, 167. 1911.

2) Warburg, O. Über Eisen, den sauerstoffübertragenden Bestandteil des Atmungsferments. Biochem. Zeitschr. **152**, 479. 1924.

nicht, weil wir nicht wissen, ob Kupfer und Mangan lebensnotwendig sind, und weil die Mengen dieser Metalle im Vergleich zu ihrer Reaktionsfähigkeit zu klein sind". „Wir beschränken unsere Annahme also ausdrücklich auf das Eisen und lehnen eine Erweiterung auf andere Schwermetalle als zurzeit nicht begründbar ab".

## Versuche.

Die vorliegenden Versuche sind zur Orientierung über folgende Fragen angestellt worden:

1. Inwiefern beeinflusst das Beizen der Samen mit reinen Lösungen der Neutralsalze (d. h. wenn in der Lösung nur ein Salz vorhanden ist) den Ernteertrag: hat hier die verschiedene Quellungsaktivität der Salze eine Bedeutung?

2. Welchen Einfluss auf den Ertrag haben die Kombinationen von quellungsfördernden und quellungshemmenden Salzen?

Es ist in der letzten Zeit durch Versuche bewiesen worden, dass gerade die Quellungserscheinungen bei der pflanzlichen Zelle eine grosse Rolle spielen und mit ihnen immer in reversibler Weise gewisse physiologische Funktionsänderungen verbunden sind. Verschiedene quellungsfördernde Salze, die das Hydratationspotential der Plasmakolloide erhöhen, bewirken eine grosse Permeabilität des Plasmas, dagegen setzen die quellungshemmenden Salze die Durchlässigkeit herab[1]). Somit kann eine der wichtigsten Lebensfunktionen der Zelle — die Permeabilität für gelöste Stoffe — durch gewisse Elektrolyte in hohem Masse beeinflusst werden, und man könnte erwarten, dass die Vorbehandlung der Samen mit quellungsaktiven Stoffen auf die spätere Entwicklung der Pflanze nicht ohne Einfluss bleiben würde. Damit soll freilich nicht gesagt sein, dass die stimulie-

1) Kaho, H. Über die physiologische Wirkung der Neutralsalze auf das Pflanzenplasma. Acta et Comm. Univ. Dorpat. A V. 4. 1923.

Idem. Ein Beitrag zur Permeabilität des Pflanzenplasmas für die Neutralsalze. Biochem. Zeitschr. **123**, 284. 1921.

Idem. Über die Einwirkung von Säuren auf die Hitzegerinnung des Pflanzenplasmas. Biochem. Zeitschr. **144**, 104. 1924.

Idem. Über die Beeinflussung der Hitzekoagulation des Pflanzenplasmas durch die Salze der Erdalkalien. Biochem. Zeitschr. **151**, 104. 1924.

Hansteen-Cranner, Meldinger fra Norges Landbrukhöiskole B. **2**, 1. 1922.

Ruhland und Hoffmann, Arch. für wiss. Botanik **1**, 1. 1925.

rende Wirkung der Salze nur auf Quellungsprozesse zurückzuführen sei.

Zu den Versuchen diente eine Sommerweizensorte „Crescat", die aus Berlin von Aug. Bitterhof Sohn bezogen worden war. Ich konnte leider keine inländische reine Weizensorte ausfindig machen und war gezwungen mit fremdländischen Samen zu experimentieren, ein Umstand, der allerdings bis zu einem gewissen Grade nachteilig auf die Ergebnisse der Versuche wirken könnte.

Die Samenprüfung auf der Kontrollstation des Ackerbauministeriums in Tallinn (Reval) (Kontrollanalyse № 5119) ergab folgendes:

die Keimungsenergie in 3 Tagen — 87,3 %
der Keimungsprozentsatz — 90,6
das Gewicht von 1000 Samen — 53,06 gr.

Unter den Neutralsalzen wurden zum Beizen der Samen die Kaliumsalze gewählt, die im allgemeinen die Quellung besser fördern als die Natriumsalze, und zwar folgende lyotrope Reihe: KCNS, KJ, KBr, $KNO_3$, KCl, $KH_2PO_4$, K-Tartrat, $K_2SO_4$. Die Konzentration der Lösungen betrug bei allen Salzen 0,1 mol. An Salzkombinationen kamen zur Anwendung folgende:

1. KCNS 0,1 mol + $CaCl_2$ 0,05 mol
2. KBr 0,1 mol + $CaCl_2$ 0,05 mol
3. $KNO_3$ 0,1 mol + $CaCl_2$ 0,05 mol
4. $K_2SO_4$ 0,1 mol + $CaCl_2$ 0,05 mol
5. $KNO_3$ 0,2 mol + $MgCl_2$ 0,1 mol
6. $KNO_3$ 0,2 mol + $MgBr_2$ 0,1 mol
7. KBr 0,2 mol + $Mg(NO_3)_2$ 0,1 mol
8. $KNO_3$ 0,3 mol + $BaCl_2$ 0,1 mol
9. NaCNS 0,1 mol + $CoSO_4$ 0,01 mol
10. NaI 0,1 mol + $ZnSO_4$ 0,01 mol
11. $NaNO_3$ 0,1 mol + $NiSO_4$ 0,01 mol
12. NaCl 0,1 mol + $MnSO_4$ 0,01 mol
13. $Na_2SO_4$ 0,1 mol + $CoSO_4$ 0,01 mol
14. u. 15. $MgCl_2 + MnSO_4$; $MnCl_2 + MnSO_4$ 3 %
16. $MnBr_2$ 0,1 mol + $CoSO_4$ 0,1 mol
17. $Cd(NO_3)_2$ 0,1 mol + $CaCl_2$ 0,1 mol
18. $CdBr_2$ 0,1 mol + $MgCl_2$ 0,1 mol.

Die für die Versuche bestimmten Samen kamen auf 4—5 Stunden in die Salzlösungen, wonach die letzteren abgegossen

wurden und die feuchten bzw. etwas angetrockenen Samen 2—3 Stunden lang bis zum Aussäen in den Glasschalen blieben. Für die Kontrollversuche wurden die Samen 1. in destilliertes Wasser parallel mit den Salzlösungen gebracht; 2. trockene Samen ausgesät.

Für die Versuche wurde ein Landstück von etwa 11 × 14 m. im hiesigen botanischen Garten benutzt. Um einen mehr oder weniger einheitlichen Boden zu schaffen, wurde die Erde von der Oberfläche bis zu 20 cm Tiefe weggenommen, gesiebt, gut durchgemischt und wieder zerstreut. Für die Kulturen dienten über den ganzen Versuchsplatz in ungefähr NW-Richtung parallel laufende niedrige (ca 5 cm hohe und 70 cm breite) Beete, die durch quer übergelegte Holzstäbe in 114 viereckige Stücke (Parzellen) eingeteilt wurden. Auf eine jede Parzelle wurden hundert mit ein und derselben Salzlösung gebeizte Weizenkörner ausgesät. Um die Samen in gleicher Tiefe, sowie auch in gleichen Abständen voneinander zu pflanzen, wurden alle 100 Löcher für eine jede Parzelle mit einem Mal mit Hilfe eines Brettes gemacht, an dem 100 Stäbchen, wie etwa an einer Harke, in Schachbrettordnung befestigt waren. Die Tiefe der auf solche Weise hergestellten Löcher betrug 2,7 cm, der Abstand zwischen den Reihen, die in ungefähr OW-Richtung liefen — 12,5 cm; der Abstand der Löcher in einer Reihe betrug 5 cm[1]). Für einen jeden Versuch mit derselben Lösung waren vier Parzellen (400 Körner) bestimmt, die möglichst an verschiedenen Stellen des Versuchsfeldes gelegen waren.

Es sei hier noch hinzugefügt, dass etwa in der Mitte des östlichen Randes des Versuchsfeldes ein ca 20-jähriger und 5—6 m hoher Baum stand (Phellodendron amurense), der etwa ein Zehntel der ganzen Fläche des Feldes von Morgen bis 12 Uhr teilweise beschattete. Dieser Übelstand war leider wegen des äussersten Raummangels in unserem botanischen Garten nicht zu vermeiden. Die beschatteten Parzellen sind in den Tabellen mit einem * versehen und die Ergebnisse sind in den Durchschnittswerten nur in dem Falle miteinbegriffen, wenn sie keine markanten Abweichungen aufweisen. Ferner sind die Ergeb-

1) Für die Angaben, welche Bodentiefe und welcher Abstand für die Samen am günstigsten sind, bin ich meinem Kollegen Herrn Dozent Rootsi zum besten Danke verpflichtet.

## Übersichtstabelle der Mittelwerte.

| № | Stimulans | Das Gewicht von 100 Strohhalmen | Die Zahl der Körner in 1 Ähre | Das Gewicht von 1000 Körnern | Die Länge 1 Ähre |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Ohne Beizung (Kontrollvers.) | gr **264** | **38,3**±0,093 | gr **50,0**±0,094 | cm **9,91**±0,171 |
| 2. | $H_2O$ | 273 | 41,0±0,502 | 53,9±4,247 | 10,4 ±0,051 |
| 3. | $K_2SO_4$ | 265 | 39,3±1,042 | 59,2±1,957 | 9,85±0,235 |
| 4. | KCl | 274 | 43,0±0,269 | 60,0±2,190 | 10,58±0,292 |
| 5. | KBr | 284 | 39,6±0,565 | 57,1±3,152 | 10,88±0,118 |
| 6. | $KNO_3$ | 272 | 38,6±1,759 | 58,7±2,340 | 10,3 ±0,451 |
| 7. | $KH_2PO_4$ | 308 | 42,5±1,46 | 59,7±2,219 | 10,78±0,290 |
| 8. | Weinsaures K | 297 | 40,1±1,133 | 57,1±2,186 | 10,41±0,280 |
| 9. | KI | 317 | 41,8±2,685 | 56,0±1,824 | 9,84±0,533 |
| 10. | KCNS | 298 | 41,6±0,211 | 56,3±2,157 | 9,75±0,674 |
| 11. | $KNO_3+CaCl_2$ | 260 | 38,6±0,848 | 51,7±2,613 | 10,05±0,35 |
| 12. | $K_2SO_4+CaCl_2$ | 241 | 39,8±1,803 | 51,5±0,855 | 9,99±0,226 |
| 13. | $KCNS+CaCl_2$ | 243 | 37,4±2,317 | 55,9±0,809 | 9,1 ±0,403 |
| 14. | $KBr+CaCl_2$ | 255 | 39,7±1,347 | 51,9±1,847 | 10,7 ±0,446 |
| 15. | $KNO_3+MqCl_2$ | 259 | 42,8±0,93 | 50,5±0,701 | 10,0 ±0,244 |
| 16. | $KNO_3+MgBr_2$ | 255 | 41,8±0,555 | 54,1±1,909 | 9,6 ±0,111 |
| 17. | $KBr+Mg(NO_3)_2$ | 263 | 42,3±0,984 | 51,5±1,747 | 10,5 ±0,223 |
| 18. | $KNO_3+BaCl_2$ | 261 | 40,5±0,409 | 51,0±0,707 | 10,2 ±0,167 |
| 19. | $NaCNS+CoSO_4$ | 263 | 39,6±1,891 | 50,8±4,128 | 9,48±0,33 |
| 20. | $NaI+ZnSO_4$ | 274 | 39,1±1,82 | 51,8±2,788 | 9,87±0,391 |
| 21. | $NaNO_3+NiSO_4$ | 248 | 38,6±3,019 | 56,1±2,51 | 9,98±0,238 |
| 22. | $NaCl+MnSO_4$ | 271 | 40,4±2,21 | 48,1±1,756 | 10,21±0,423 |
| 23. | $Na_2SO_4+CoSO_4$ | 254 | 37,3±0,336 | 52,6±1,034 | 10,2 ±9,158 |
| 24. | $MgCl_2+MnSO_4$ | 316 | 41,3±0,949 | 48,8±0,302 | 11,2 ±0,506 |
| 25. | $MnCl_2+MnSO_4$ | 295 | 44,5±1,025 | 53,9±1,147 | 10,3 ±0,152 |
| 26. | $MnBr_2+CoSO_4$ | 267 | 38,2±0,561 | 51,6±0,957 | 9,74±0,156 |
| 27. | $Ca(NO_3)_2+CaCl_2$ | 253 | 36,7±0,495 | 49,6±1,839 | 9,62±0,435 |
| 28. | $CdBr_2+MgCl_2$ | 260 | 38,3±1,14 | 52,2±1,224 | 10,1 ±0,353 |

nisse einiger beschatteten, wie auch aus anderen Ursachen geschädigten Parzellen hier nicht angeführt.

Die Aussaat sowie auch die Ernte geschah zur üblichen Zeit. Die Aussaat wurde den 8-ten Mai (1924) vorgenommen. Bei

der Keimung, wie auch bei der weiteren Entwicklung der Weizenpflanzen waren sonst keine besonders augenfälligen Unterschiede zwischen den Kontroll- und den gebeizten Pflanzen zu bemerken, nur bei den mit Kaliumsalzen vorbehandelten Pflanzen war hier und da ein etwas üppigeres Wachstum zu beobachten.

Die Tabelle am Ende des Textes enthält die Resultate der Versuche. Die Zahlen einer jeden Reihe sind die von einer jeden Parzelle erhaltenen Ergebnisse. Die Zahl der Körner in einer Ähre ist ein Durchschnittswert aus 20 Ähren, die Länge einer Ähre — eine Durchschnittslänge aus 50 Messungen. Das aus jeder Parzelle stammende Stroh konnte nicht ohne weiteres gewogen und verglichen werden, da in allen Parzellen eine Anzahl der Pflanzen aus verschiedenen Ursachen geschädigt war. Deswegen wurden unter allen mit demselben Stoff gebeizten Pflanzen 100 Strohhalme von einer Durchschnittsqualität zum Vergleichen ausgewählt[1]).

Die in der Übersichtstabelle dargestellten Resultate können in zwei Hauptgruppen eingeteilt werden: 1. die bei der Beizung mit reinen Kaliumsalzen und 2. die mit verschiedenen Salzkombinationen erhaltenen Ergebnisse.

I. Gruppe №№ 3—10.

Das Stroh ist hier in allen Versuchen schwerer als das der Kontrollpflanzen. Der Durchschnittswert 289,4 ± 4,81 gr (von allen Kaliumpflanzen) ist etwa um 9,5 % grösser als der Kontrollwert 264 gr. Die Zahlen der Körner in den Ähren zeigen eine gewöhnliche Variationskurve, doch fällt sie nirgends niedriger als der Kontrollwert, in allen Fällen sind die Zahlen etwas grösser. Die Durchschnittszahl (40,8) übersteigt die Kontrollzahl (38,3) um 6,5%.

Eine deutlich wahrnehmbare Zunahme des Gewichts gegenüber den Kontrollpflanzen zeigen die Körner der mit den Kalisalzen behandelten Pflanzen. Durchschnittlich ist das Gewicht von 1000 Körnern um 16 % grösser (58,0 gr) als das Kontrollgewicht (50,0 gr). Die vierte in der Übersichtstabelle angeführte Grösse — die Länge der Ähren — schwankt innerhalb der Variationsgrenzen der Kontrolllänge; die Durchschnittszahl (10,31 cm) ist nur sehr wenig (um 4 %) grösser als die letztere.

1) Das Abwiegen des Strohs wurde 14 Tage nach der Ernte vorgenommen, nachdem das Stroh in einem warmen Raume gelegen hatte. Das Gewicht der Körner wurde etwa 3 Monate nach der Ernte bestimmt.

## II. Gruppe №№ 11—28.

Hier dienen als Beizmittel die Kombinationen der Alkalisalze und der Erdalkalien (№№ 11—18), ferner der Neutralsalze und der Schwermetallsalze (№№ 19—28, ausgenommen № 25 u. 26).

Das Strohgewicht ist unter 18 Fällen in 5 Fällen höher als der Kontrollwert (Maximum bei $MgCl_2+MnSO_4$), in allen anderen Fällen niedriger. Die Zahl der Körner in den Ähren zeigt eine Schwankung um einen Mittelpunkt (39,1), der etwas höher liegt als die Kontrollzahl (38,3). Im ganzen ist die Körnerzahl in 13 Fällen grösser (Maximum bei $MnCl_2 + MnSO_4$) und in 4 Fällen kleiner als der Kontrollwert, in einem Falle ist sie dem letzteren gleich. Das Gewicht der Körner ist hier freilich bei den meisten gebeizten Pflanzen etwas grösser als bei den Kontrollpflanzen, doch liegt es in den Variationsgrenzen der letzteren. Dasselbe kann man auch von der Ährenlänge sagen.

Aus den Daten № 2 ist ersichtlich, dass eine kurzdauernde Einquellung der Samen in Wasser einen günstigen Einfluss auf die spätere Entwicklung der Pflanzen ausübt.

Zusammenfassend kann man sagen, dass eine Vorbehandlung der Samen mit Lösungen von Kaliumsalzen eine Wachstumsstimulation und eine Hebung des Ertrages (des Stroh- und Samengewichts) um rund 10% zur Folge hat. Diese stimulierende Wirkung ist allen angewandten Kaliumsalzen mehr oder minder gemeinsam, und es ist schwierig, nach den vorliegenden Ergebnissen die einen Salze den anderen vorzuziehen, doch wirken, wie es uns scheint, Kaliumchlorid, Kaliumphosphat und bis zu einem gewissen Grade auch Kaliumnitrat und -sulfat in dieser Beziehung etwas besser.

Was die angeführten Salzgemische anbelangt, so haben sie unter den gegebenen Versuchsbedingungen keine stimulierende Wirkung. Eine unbeträchtliche Stimulation finden wir bei Mangansalzen, doch ist sie kleiner als bei den Kaliumsalzen.

Wir sehen also, dass gerade Kaliumsalze, insbesondere diejenigen, die als Nährsalze in Wasserkulturen Anwendung finden, das Wachstum fördern. Es bleibt die Frage unentschieden, ob wir es hier mit einem Nähreffekt zu tun haben — wenigstens teilweise, denn beim Beizen haftet das Salz an die Oberfläche der Samen, dringt in das Nährgewebe ein und könnte während der ersten Zeit von den Keimlingen als Nährsalz benutzt werden. An-

dererseits können Kaliumsalze kolloidaktiv wirken, indem sie die Quellung toter Quellkörper fördern. Zur vorläufigen Orientierung über die Frage, inwiefern die Kaliumsalze die Quellung von Samengeweben in Wasser beeinflussen, habe ich Quellungsversuche mit Weizensamen angestellt. Es kamen zur Anwendung Lösungen derselben Zusammensetzung und Konzentration, wie die, mit welchen die Samen gebeizt wurden. In jede Schale kamen 200 Weizenkörner, die von Zeit zu Zeit aus den Lösungen herausgenommen, mit Filtrierpapier getrocknet und gewogen wurden.

Die Quellung der Samen in Salzlösungen
Temp. 18—19°.

| Salze | Das Gewicht von 200 trokkenen Samen in gr. | Zunahme des Gewichts in gr | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | nach 5 St. | nach 13 St. | nach 24 St. | nach 48 St. |
| $H_2O$ | 10,03 | 2,42 | 3,51 | 4,39 | 5,27 |
| KCNS | 10,0 | 2,26 | 3,38 | 4,15 | 4,92 |
| KI | 10,01 | 2,27 | 3,32 | 4,11 | 4,83 |
| $KNO_3$ | 10,01 | 2,28 | 3,31 | 4,13 | 4,96 |
| KCl | 10,0 | 2,29 | 3,40 | 4,15 | 5,00 |
| K-Tartrat | 10,01 | 2,28 | 3,34 | 4,10 | 4,91 |
| $K_2SO_4$ | 10,0 | 2,30 | 3,35 | 4,13 | 4,97 |
| $KCNS + CaCl_2$ | 10,0 | 2,17 | 3,22 | 3,90 | 4,75 |
| $CoSO_4$ (0,1 m) | 10,0 | 2,22 | 3,26 | 4,09 | 4,75 |
| $MnCl_2 + MnSO_4$ | 10,02 | 2,18 | 3,24 | 4,09 | 4,75 |

Wir sehen aus der Tabelle, dass die Quellung der Samen am besten in Wasser vor sich geht, in allen Lösungen etwas schlechter. Die Salze wirken, wenn auch sehr schwach, quellungshemmend. Es besteht kein ausgeprägter Unterschied zwischen den Wirkungen der einzelnen Kaliumsalze, dagegen wirken die Salzgemische $KCNS + CaCl_2$, $MnCl_2 + MnSO_4$, wie auch $CoSO_4$ deutlich etwas mehr quellungshemmend als die reinen Kaliumsalze. Es ist aber kaum anzunehmen, dass diese kleine Differenz die einzige Ursache des Unterschiedes der physiologischen Wirkung der Kaliumsalze und der Salzgemische ist. Kaliumverbindungen beeinflussen bekanntlich stark die Permeabilität der Zellen. In reinen Lösungen dieser Salze ist sie beträchtlich grösser als in Salzgemischen.

Es könnte nicht ausgeschlossen sein, dass auch dieser Faktor hier eine Rolle spielt. Eine physiologisch gesteigerte Permeabilität könnte aber den Stoffaustausch der Keimlinge fördern.

Aus diesen Versuchen, die allerdings einen orientierenden Charakter tragen, geht ferner hervor, dass die Feldversuche für die nähere Untersuchung der Ursachen der chemischen Stimulation nicht so geignet sind wie die Laboratoriums- bzw. Treibhausversuche, bei welchen man mit grösserer Exaktheit arbeiten kann.

## Kurze Zusammenfassung.

Die vorliegenden Versuche haben gezeigt, dass eine Vorbehandlung der Weizensamen mit den Lösungen der reinen Kaliumsalze eine Wachstumsstimulation zur Folge hatte, die zu einer Steigerung des Ertrages (des getrockneten Stroh- und Körnergewichts) unter den gegebenen Versuchsbedingungen um rund 10% führte. Eine Beizung der Samen mit Gemischen von Alkalisalzen und Erdalkalien bzw. Schwermetallsalzen blieb ohne merkliche Wirkung, abgesehen von den Mangansalzen, die eine geringe Wachstumsstimulation bewirkten. Es ist nicht möglich, die Stimulationswirkung der Kaliumsalze mit ihrer Quellungsaktivität in direkten Zusammenhang zu bringen, obwohl es nicht unwahrscheinlich ist, dass der letzteren eine gewisse Bedeutung zukommt.

Eine kurzdauernde (4—5 St.) Einquellung der Samen in Wasser vor der Aussaat hatte einen günstigen Einfluss auf die spätere Entwicklung der Keimlinge.

Pflanzenphysiologisches Laboratorium
der Universität Tartu.
September 1925.

| Stimulans | Das Gewicht von 100 Strohhalmen | Die Zahl der Körner in 1 Ähre | Das Gewicht von 1000 Körnern | Die Länge 1 Ähre |
|---|---|---|---|---|
| | Gr. | | Gr. | cm. |
| Kontrollversuch. Die Samen trocken ausgesät | 264 | 33,7 | 53,0 | 9,7 |
| | | 40,2 | 52,4 | 10,35 |
| | | 40,6 | 52,5 | 9,25 |
| | | 34,2 | 44,0 | 10,4 |
| | | 39,8 | 51,0 | 10,15 |
| | | 39,9 | 49,5 | 9,1 |
| | | 41,2 | 49,0 | 9,9 |
| | | 38,0 | 48,7 | 10,4 |
| Aqua destill. | 273 | 33,6* | 42,7* | 11,05* |
| | | 40,4 | 55,7 | 10,4 |
| | | 40,5 | 44,0 | 10,35 |
| | | 42,3 | 62,0 | 10,55 |
| $K_2SO_4$ | 265 | 39,6 | 60,7 | 9,85 |
| | | 37,0 | 62.5 | 10,35 |
| | | 41,4 | 54,6 | 9,35 |
| KCl | 274 | 34,0* | 44,8* | 10,45* |
| | | 49,6 | 57,2 | 11,3 |
| | | 40,6 | 65,7 | 10,25 |
| | | 39,0 | 58,3 | 10,2 |
| KBr | 284 | 39,6 | 60,2 | 11,15 |
| | | 40,9 | 49,5 | 10,85 |
| | | 38,5 | 61,8 | 10,65 |
| $KNO_3$ | 272 | 42,7 | 57,5 | 11,05 |
| | | 35,4 | 64,2 | 9,4 |
| | | 37,7 | 54,5 | 10,45 |
| $KH_2PO_4$ | 308 | 44,6 | 57,2 | 11,3 |
| | | 44,1 | 65,2 | 10,95 |
| | | 39,0 | 56,9 | 10,1 |
| Weinsaures K | 297 | 41,2 | 50,2 | 10,9 |
| | | 43,8 | 56,5 | 10,85 |
| | | 37,0 | 60,4 | 9,5 |
| | | 38,5 | 61,3 | 10,4 |
| KI | 317 | 43,0 | 60,2 | 9,7 |
| | | 33,5 | 59,2 | 8,2 |
| | | 42,6 | 52,1 | 10,2 |
| | | 48,0 | 52,4 | 11,25 |
| KCNS | 298 | 48,3 | 59,3 | 11,25 |
| | | 39,5 | 58,5 | 9,6 |
| | | 37,0 | 51,0 | 8,4 |
| $KNO_3$ + $CaCl_2$ | 260 | 38,6 | 58,0 | 10,15 |
| | | 39,6 | 53,2 | 9,35 |
| | | 40,4 | 52,0 | 10,6 |
| | | 35,8 | 43,5 | 10,1 |
| $K_2SO_4$ + $CaCl_2$ | 241 | 36,5 | 52,7 | 10,3 |
| | | 38,3 | 52,6 | 9,95 |
| | | 45,9 | 52,2 | 9,7 |
| | | 38,5 | 48,5 | 10,0 |
| KCNS + $CaCl_2$ | 243 | 31,0 | 55,7 | 9,95 |
| | | 41,3 | 55,6 | 9,8 |
| | | 35,0 | 58,5 | 8,68 |
| | | 32,5 | 54,0 | 8,0 |
| KBr + $CaCl_2$ | 255 | 41,6 | 50,0 | 10,9 |
| | | 37,8 | 53,8 | 10,5 |
| | | 32,0* | 43,5* | 9,2* |
| $KNO_3$ + $MgCl_2$ | 259 | 43,2 | 50,0 | 10,1 |
| | | 44,6 | 49,4 | 9,5 |
| | | 33,9* | 47,8* | 11,45* |
| | | 40,7 | 52,2 | 10,5 |
| $KNO_3$ + $MgBr_2$ | 255 | 42,0 | 56,5 | 9,9 |
| | | 40,4 | 59,0 | 9,3 |
| | | 43,5 | 49,5 | 9,7 |
| | | 41,5 | 51,5 | 9,5 |
| KBr + $Mg(NO_3)_2$ | 263 | 43,6 | 49,4 | 11,1 |
| | | 41,5 | 49,0 | 10,1 |
| | | 44,6 | 57,5 | 10,7 |
| | | 39,5 | 50,0 | 10,0 |
| $KNO_3$ + $BaCl_2$ | 261 | 40,0 | 51,0 | 10,6 |
| | | 41,5 | 49,5 | 10,3 |
| | | 38,0* | 47,0* | 10,3* |
| | | 40,0 | 52,5 | 9,8 |
| NaCNS + $CoSO_4$ | 263 | 35,4 | 42,3 | 9,3 |
| | | 42,0 | 50,4 | 8,95 |
| | | 25,7* | 40,0* | 8,8* |
| | | 41,3 | 59,8 | 10,2 |
| NaI + $ZnSO_4$ | 274 | 40,8 | 45,5 | 10,75 |
| | | 38,5 | 55,9 | 9,85 |
| | | 34,4 | 58,7 | 10,3 |
| | | 42,9 | 47,3 | 8,7 |
| $NaNO_3$ + $NiSO_4$ | 248 | 35,4 | 51,5 | 9,5 |
| | | 48,0 | 55,0 | 10,5 |
| | | 39,5 | 62,0 | 9,95 |
| | | 31,1* | 47,0* | 9,75* |
| NaCl + $MnSO_4$ | 271 | 45,8 | 51,4 | 10,9 |
| | | 39,0 | 44,0 | 10,55 |
| | | 36,4 | 49,0 | 9,2 |
| | | 33,8* | 40,5* | 10,4* |
| $Na_2SO_4$ + $CoSO_4$ | 254 | 36,7 | 54,4 | 10,05 |
| | | 37,7* | 41,8* | 10,2* |
| | | 37,1 | 53,4 | 10,65 |
| | | 38,1 | 50,2 | 10,0 |

(Fortsetzung)

| Stimulans | Das Gewicht von 100 Strohhalmen | Die Zahl der Körner in 1 Ähre | Das Gewicht von 1000 Körnern | Die Länge 1 Ähre |
|---|---|---|---|---|
| | Gr. | | Gr. | cm. |
| $MgCl_2$ + $MnSO_4$ | 316 | 37,6* | 46,2* | 9,6* |
| | | 43,4 | 49,5 | 12,5 |
| | | 41,3 | 48,0 | 10,55 |
| | | 39,4 | 49,0 | 10,75 |
| $MnCl_2$ + $MnSO_4$ | 295 | 45,0 | 52,7 | 10,75 |
| | | 45,7 | 57,8 | 10,4 |
| | | 46,2 | 53,0 | 9,9 |
| | | 41,0 | 52,0 | 10,3 |
| $MnBr_2$ + $CoSO_4$ | 267 | 37,1 | 52,4 | 9,65 |
| | | 39,0 | 53,5 | 9,4 |
| | | 39,4 | 51,5 | 10,25 |
| | | 37,5 | 49,0 | 9,65 |
| $Cd(NO_3)_2$ + $CaCl_2$ | 253 | 36,0 | 47,0 | 10,0 |
| | | 37,5 | 52,2 | 9,25 |
| | | 24* | 42,5* | 9,85* |
| $CdBr_2$ + $MgCl_2$ | 260 | 39,6 | 55,2 | 9,85 |
| | | 37,0 | 49,2 | 10,35 |
| | | 35* | 40,0* | 9,75* |