

Ueber die Einwirkung höherer Temperaturen auf die Erhaltung der Keimfähigkeit der Samen.

Arbeiten aus dem pflanzenphysiologischen Institut am Polytechnikum zu Karlsruhe.

II.

Von Dr. L. Just.

Es ist eine bekannte Thatsache, dass die meisten saftigen Pflanzentheile durch eine Lufttemperatur von 51° C. in einer Zeit von 10—30 Minuten getödtet werden, während für die Abtödtung in Wasser eine Temperatur von $45\text{—}46^{\circ}$ C., die durch 10 Minuten einwirkt, hinreicht. Eine sorgfältige Bearbeitung dieser Frage verdanken wir Sachs¹⁾. In der eitrten Abhandlung von Sachs ist auch die betreffende Literatur angegeben, weshalb ich hier auf jene Zusammenstellung hinweise.

Ganz anders wie saftige, in voller Lebensthätigkeit stehende Pflanzentheile verhalten sich Organe, die Ruhezuständen des pflanzlichen Lebens entsprechen — insbesondere Samen.

Ich habe im Winter 1875/76 und 76/77 eine Reihe von Versuchen angestellt, welche die Frage betrafen: welche Temperaturen können Samen ertragen ohne ihre Keimfähigkeit einzubüssen? Die Untersuchungen wurden mit Gerste und Hafer angestellt. Bei einem Theil der Versuche war mir Herr Dr. Lenz, jetzt Assistent am pharmaceutischen Institut des Herrn Professor Fresenius in Wiesbaden, behilflich.

Bevor ich über die angestellten Versuche berichte, will ich die hierher gehörige Literatur, soweit mir dieselbe zugänglich war,

¹⁾ J. Sachs, Ueber die obere Temperaturgrenze der Vegetation. — Flora 1864. S. 5.

anführen. Die vielfachen Angaben über höhere Temperaturen, welche Sporen von Pilzen, Bacterien ertragen können, übergehe ich.

Ueber Erwärmung von Samen liegt eine ganze Reihe von Untersuchungen vor, in denen diese Frage mehr oder weniger eingehend, auch von verschiedenen Gesichtspunkten aus, behandelt wird.

F. Nobbe behandelt diese Frage in seinem Handbuch der Samenkunde S. 226 auf Grund der vorhandenen Literatur. Die von Nobbe citirte Schrift von M. Fleischer: Beiträge zur Lehre vom Keimen der Samen, war mir leider nicht zugänglich. Nobbe theilt auch mehrere Fälle mit (228), in denen es gelang, Samen nach einem Aufenthalt in kochendem Wasser keimfähig zu erhalten. Es gelingt dies jedoch nur bei solchen Samen, die während des Siedens nicht aufquellen, bei denen also das Wasser nicht in das Innere dringt.

Fiedler ¹⁾ machte nach Sachs' Angaben und unter dessen Leitung eine Reihe von Versuchen, bei denen Erbsen, Roggen, Linsen, Gerste, Mais, theils in lufttrockenem Zustand, theils nach vorangehender Quellung durch 24 Stunden, durch je eine Stunde bei verschiedenen Temperaturgraden erwärmt wurden. Es zeigte sich, dass von den lufttrockenen Samen nur Weizen noch eine Temperatur von 70—72° ertrug, aber auch nur mit bedeutender Schädigung der Keimfähigkeit. (Von 100 Samen keimte einer.) Gerste büsst schon mit 65° ihre Keimfähigkeit ein. Nach vorheriger Quellung ertragen nur noch Erbsen eine einstündige Erwärmung auf 53—54°, die Mehrzahl der Erbsen wird jedoch bei dieser Temperatur schon getödtet. (Von 100 Samen keimten 20.) Gerste stirbt schon mit 51° C.

Edwards und Colin ²⁾ setzten Samen von Hülsenfrüchten und Getreide der Einwirkung von Wasserdämpfen aus, welche 62° C. und 75° C. besaßen. Bei 62° C. war nach 15 Minuten nur die kleinere Hälfte getödtet; bei 72° C. hingegen hatten alle Samen ihre Keimfähigkeit eingebüßt.

Für Getreidearten, Hülsenfrüchte genügte schon eine längere Zeit andauernde Einwirkung von warmem Wasser von 35° C., um die Samen zu tödten. In feuchtem Sand ertragen sie längere Zeit 45° bis 60° C.

Pouchet ³⁾ fand, dass Samen, die in der ungewaschenen brasilianischen Schafwolle sich befanden, zum Theil noch keimten, wenn

¹⁾ Sachs, Experimentalphysiologie S. 66.

²⁾ Mém. de l'acad. des sciences naturelles II. Sér. 1. 1834. — Die Originalabhandlung stand mir nicht zur Verfügung, ich citire daher nach Nobbe's Handbuch der Samenkunde S. 228.

³⁾ Compt. rend. Bd. 63. S. 939.

die Wolle vier Stunden hindurch zum Zweck der Reinigung mit siedendem Wasser behandelt worden. Es handelte sich zumeist um Medicagosamen. Bei Versuchen, die nun mit andern Medicagosamen vorgenommen wurden, stellte sich heraus, dass nach längerem Kochen dieser Samen sich stets einzelne fanden, in die das Wasser nicht eingedrungen war. Diese Körner hatten ihre Keimfähigkeit zumeist behalten, während die anderen aufgequollenen, getödtet waren. Bei Versuchen mit andern Samen konnte ein analoges Verhalten nicht festgestellt werden. Nobbe¹⁾ bestätigte diese Erfahrung.

H. Hoffmann²⁾ liess Samen (mit den Steinhüllen) von Brombeere und Himbeere durch einige Stunden in siedendem Wasser verweilen, konnte aber nach dieser Behandlung niemals, nachdem die Samen in Erde ausgesäet waren, eine Keimung beobachten.

Wiesner³⁾ theilt in einer Abhandlung: „Ueber den Einfluss hoher Temperaturen auf die Keimfähigkeit einiger Samen“ mit: dass die Samen einiger Nadelhölzer eine Erwärmung auf 70° C. ertragen ohne die Keimfähigkeit zu verlieren. Einer vorherigen Trocknung waren diese Samen nicht ausgesetzt. Wiesner beobachtete auch, dass in der Mehrzahl der Fälle die erwärmten Samen schneller keimten als die nicht erwärmten.

Haberlandt F.⁴⁾ fand im Jahre 1863, dass Samen unter günstigen Umständen, d. h. wenn sie sehr trocken sind, eine 48stündige Erwärmung auf 100° ertragen, ohne getödtet zu werden. Der in Rede stehende Versuch wurde mit 88 Arten und Varietäten unserer Culturpflanzen aus 17 Familien ausgeführt und von jeder Art 20 Samenkörner entnommen. Die Samen gehörten den nachstehend genannten Familien an:

Gramineen (28 Arten), *Liliaceen* (3), *Chenopodiaceen* (2), *Polygonaceen* (1), *Urticeen* (1), *Compositen* (4), *Labiaten* (1), *Ranunculaceen* (1), *Solaneen* (2), *Rubiaceen* (1), *Coniferen* (8), *Papaveraceen* (1), *Lineen* (1), *Umbelliferen* (7), *Cucurbitaceen* (4), *Sanguisorbeen* (1), *Papilionaceen* (18). —

¹⁾ Versuchsstationen 15. S. 262. — Handb. der Samenkunde S. 228.

²⁾ Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung. Neue Reihe. Jahrgang 44. — 1868. — S. 36.

³⁾ Sitzungsberichte der Wiener Akademie der Wissenschaften. Bd. 64. I. Abtheilung S. 426.

⁴⁾ Allgem. land- und forstw. Zeit. I. Bd. 1863, p. 389ff. Ich entnehme dieses Citat, da mir das Original nicht zur Verfügung stand, der Abhandlung v. Höhnels: „Welche Wärmegrade trockene Samen ertragen ohne ihre Keimfähigkeit zu verlieren,“ in Wiss. praktische Untersuchungen auf dem Gebiet des Pflanzenbaues II. S. 79.

Die verschiedenen Species zeigten gegen den Einfluss der hohen Temperatur eine verschiedene Widerstandsfähigkeit. Während bei einer Temperatur von 100° C. eine grössere Zahl von Arten ihre Keimfähigkeit einbüsste, wurde bei der Einwirkung einer Temperatur von 56 oder 75° C. kein schädlicher Einfluss bemerkbar. Viele Samen keimten jetzt sogar früher als nicht erwärmte. —

Diese Haberlandt'schen Versuche ergeben ferner die That-
sache, dass eine vorsichtige und allmähliche Erwärmung lufttrockener Samen auf 56° — $87,5^{\circ}$ C. im Allgemeinen eine Verkürzung der Keimdauer zur Folge hat. Nimmt man nämlich aus allen Beobachtungen die Mittel, so erhält man für Erwärmungstemperaturen von:

$37,5^{\circ}$ C. 56° C. 75° C. $87,5^{\circ}$ C. 100° C. durch je 48 Stunden,
eine mittlere Keimdauer von:

5,45. 5,2. 5,2. 5,03. 7,47 Tagen.

Wie man sieht, nimmt die Keimdauer im Allgemeinen ab; erst bei einer dauernden Erwärmung auf 100° C. tritt eine bedeutende Verspätung ein, die nach Haberlandt möglicherweise zum Theil durch eine ausserordentliche Verhärtung von Samen- und Fruchthäuten bedingt ist.

Krasan ¹⁾ machte Untersuchungen über die Temperaturen, die der Weizensamen ertragen kann, ohne die Keimfähigkeit zu verlieren.

Er fand:

Starke Austrocknung der Samen unter dem Einfluss von Chlorecalcium bei gewöhnlicher Temperatur, hat keinen schädlichen Einfluss auf die Keimung. Getrocknete Samen ertrugen die Erwärmung um so leichter, je sorgfältiger die Austrocknung war. Die Samen büsst-
ten, bei sehr sorgfältiger Austrocknung, auch durch eine Temperatur von 100° C. ihre Keimfähigkeit nicht ein, zeigten aber doch eine Schädigung, die sich durch bedeutende Verzögerung des Eintritts der Keimung kundgiebt. Kr. stellte auch Beobachtungen über die Entwicklung der Keimpflänzchen an, und fand, dass dieselben, gegenüber normalen Pflanzen, sich um so langsamer entwickelten, je höher die bei der Erwärmung der Samen angewendete Temperatur war. Das Würzelchen blieb am meisten im Wachsthum zurück.

Ueber die Temperatur von 100° C. wurden diese Untersuchungen nicht fortgesetzt. Eine Beschleunigung der Keimung bei den erwärmten Samen hat K. nie beobachtet.

¹⁾ Sitzungsab. der Wiener Akademie der Wissenschaften, Wien 1873. LXVIII. Bd., I. Abth. p. 195.

In den Sitzungen der botanischen Section der Naturforscher-Versammlung zu Breslau¹⁾ hielt ich einen Vortrag über die Einwirkung höherer Temperaturen auf die Keimfähigkeit der Samen von *Trifolium pratense*. — Ich hatte festgestellt, dass die Samen bei einer Temperatur, die oberhalb 39° C. liegt, nicht mehr keimen. Samen, die in dunstgesättigter Atmosphäre einer Temperatur von 75° C. durch eine Stunde ausgesetzt waren, büssten ihre Keimfähigkeit ein. Es kommt hierbei auf die Dauer der Einwirkung an, so dass solche Samen, die durch 48 Stunden eine Temperatur von nur 50° C. in dunstgesättigter Luft ertragen hatten, nicht mehr keimten. Samen, die vor und während des Erwärmens sorgfältig getrocknet wurden, büssten erst nach Einwirkung einer Temperatur von 120° C. ihre Keimfähigkeit vollkommen ein, während sie Temperaturen, die unterhalb 120° C. lagen, ertrugen. Es handelte sich hierbei um Temperatureinwirkungen durch $\frac{1}{2}$ —2 Stunden. Unter allen Umständen zeigt sich, dass Samen, die einer hohen Temperatur ausgesetzt waren, meist langsamer und in geringerer Anzahl keimten, als solche, die eine niedere Temperatur ertragen hatten. Je sorgfältiger die Trocknung, desto geringer die Schädigung durch die hohe Temperatur. Jedoch kann man auch durch die sorgfältigste Trocknung eine sehr bedeutende Schädigung durch Temperaturen über 100° C. nicht beseitigen. Samen von *Trifolium pratense*, die sehr sorgfältig getrocknet und auf 100 und mehr Grad erwärmt waren, zeigten eine grössere Schädigung, wenn ihnen das für die Keimung nöthige Wasser schnell, während sie noch heiss waren, gegeben wurde, als wenn sie dasselbe langsam erhielten. Es entspricht dies ähnlichen Vorgängen, die man an Pflanzen, die Frostwirkungen unterlagen, beobachtete.

v. Höhnel²⁾ erwärmte Samen verschiedener Arten auf höhere Temperaturen und kam zu folgenden Resultaten:

- 1) Die meisten Samen können eine einstündige Erwärmung auf 110° C. durchmachen, wenn sie nur hinreichend trocken sind.
- 2) Die Maximaltemperatur, bis zu welcher Samen wenigstens 15 Minuten erwärmt werden können ohne ganz ihre Keimfähigkeit zu verlieren, liegt zwischen 110° und 125° C.

Im Uebrigen beweisen die Höhnel'schen Versuche, dass die

1) Botan. Zeitung 1875. S. 52.

2) v. Höhnel. Welche Wärmegrade trockene Samen ertragen, ohne ihre Keimfähigkeit einzubüssen. — Untersuchungen auf dem Gebiet des Pflanzenbaues, herausgegeben von F. Haberlandt. Bd. II. S. 77.

Schädigung der Samen um so grösser ist, je weniger sorgfältig die Trocknung stattfand. Die Schädigung giebt sich immer durch geringere Keimfähigkeit und Verlängerung der Keimdauer kund. —

Höhnel macht sehr richtig darauf aufmerksam, „dass es nicht statthaft ist, einen bestimmten Temperaturgrad als Grenzwert für eine bestimmte Art anzugeben, da ein solcher nur für ein bestimmtes Samenindividuum gilt, nicht aber für eine ganze Art, oder gar für alle Arten. Jene Individuen derselben Art, welche die längste Keimdauer haben, sind ihrem Tode am nächsten und werden auch unter den gewöhnlichsten Temperatur- und Feuchtigkeitschwankungen zuerst zu Grunde gehen, und daher auch bei geringeren Hitzegraden erliegen. Es finden zwischen den in allen Theilen bereits todtten Samen und den ganz gesunden alle möglichen Uebergänge statt.“

Es ist auch wohl sicher, dass Samen derselben Art, die unter verschiedenen klimatischen Verhältnissen, überhaupt unter verschiedenen Vegetationsbedingungen entstanden sind, sich in ihrer Widerstandsfähigkeit gegen Erhitzung verschieden verhalten.

Höhnel berücksichtigte auch die von mir angeregte Frage, ob stark getrocknete und erhitzte Samen bei schneller oder langsamer Wasserzuführung sich verschieden verhalten. Ich komme auf diesen Punkt weiter unten zurück.

Eine Beschleunigung der Keimung durch Erwärmung, wie sie von Haberlandt und Wiesner beobachtet wurde, konnte Höhnel in einzelnen Fällen auch constatiren, ohne jedoch „diesen schwer verständlichen Vorgang damit näher beleuchten zu können.“ Bei der Erwärmung befanden sich die Samen in den Höhnel'schen Versuchen in geschlossenen Reagenzgläsern. Die Samen wurden, was gewiss sehr vortheilhaft ist, mit feinen Messingfeilspähnen umgeben, damit ihre vollkommnere Erwärmung rascher vor sich gehen konnte.

Haberlandt¹⁾ stellte Versuche über die Frage an, welchen Einfluss die Temperatur des Quellungswassers auf die Keimfähigkeit hat. Die Untersuchungen wurden mit Weizen, Roggen, Gerste, Hafer, Mais, Hirse, Mohar, Moorhirse, Hanf, Buchweizen, Zuckerrüben, Lein, Rothklee, Luzerne, Fisoln, Erbsen, angestellt. Für jeden Einzelversuch kamen 100 Samen zur Verwendung. Die Versuche wurden in zweierlei Richtung angestellt, indem die Samen entweder direct in das auf eine bestimmte Temperatur gebrachte Wasser kamen, und

¹⁾ Haberlandt, Fr. Der Einfluss des Quellungswassers verschiedener Temperaturen auf die Keimfähigkeit der Samen. Wissenschaftl. prakt. Untersuchungen etc. Bd. II. S. 47.

dieser constanten Temperatur dann durch 5—10 Stunden unterlagen, oder indem sie erst 24 Stunden in Wasser von 12—15° C. gehalten wurden und dann in das Wasser von bestimmter Temperatur kamen.

Die Temperaturschwankungen des Wassers betrugen 30, 40, 50, 55° C. — Die Temperaturen von 30—40° C. wirkten durch 10 Stunden, die höhern Grade durch 5 Stunden. Von den Hauptgetreidearten kamen die Körner sowohl durch 5 wie durch 10 Stunden in den Wärmkasten.

Haberlandt¹⁾ hatte in einer frühern Arbeit die höchsten Keimungstemperaturen für eine Reihe von Samen festgestellt. Bei den oben erwähnten Versuchen stellte sich nun heraus, dass die Temperatur des Quellungswassers, ohne die Samen zu tödten, höher sein konnte als die höchste Keimungstemperatur. Für Weizen z. B. liegt die Grenze der Keimungstemperatur zwischen 31° C. und 37° C., während nach zehnstündigem Einquellen des Weizens in Wasser von 50° C. noch 62% keimen.

Es kommt hierbei also lediglich auf die Dauer der Einwirkung an, denn Wasser von wenig mehr als 37° C. tödtet die Samen, wenn es durch eine so lange Zeit einwirkt, wie sie die Samen unter gewöhnlichen Bedingungen von der Aussaat in das feuchte Keimbett, bis zum Beginn der Keimung brauchen. Dies beweisen auch schon die oben erwähnten Untersuchungen von Edwards und Colin.

Ferner zeigt H., „dass sich die nachtheilige Wirkung des warmen Quellungswassers bei jenen Samen, die vor der Einbringung in das warme Wasser noch durch 24 Stunden in Wasser von gewöhnlicher Zimmertemperatur eingeweicht waren, durchgehends in viel höherem Grade geltend macht, als bei jenen, welche eine solche vorhergehende Quellung nicht erfahren hatten.“

„Die Widerstandsfähigkeit der verschiedenen Arten gegen die schädigenden Einflüsse ist eine verschieden grosse und bei den einzelnen Versuchen wechselnde.“

Ferner untersuchte H., „ob für manche Samen auch die Einwirkung des Quellungswassers von gewöhnlicher Temperatur von Belang sei. Die Versuche wurden mit den Samen der Hauptgetreidearten so angestellt, dass je 100 Körner ohne vorausgehende Quellung, je 100 nach 24stündiger Quellung in kaltem und lauwarmem Wasser zur Keimung angestellt wurden. Die einzuquellenden Körner wurden in offenen Bechergläsern theils in einem ungeheizten Zimmer, theils

¹⁾ Landw. Versuchsstationen B. 17. S. 104.

in einem Wärmkasten, bei einer constanten Temperatur von $+ 3^{\circ}$ C. und $+ 18-20^{\circ}$ C. in destillirtem Wasser eingeweicht. Die Versuche zeigten, dass Weizen, Roggen, Rispenhirse, Mais, Reis, gar nicht oder kaum merklich durch das Einquellen in ihrer Keimfähigkeit alterirt wurden, während sich ein entschieden schädlicher Einfluss bei Gerste und Hafer geltend machte. Gerste leidet mehr als Hafer, der nur im bespelzten Zustand sich geschädigt zeigt. Der nachtheilige Einfluss steigert sich mit der Temperatur.“

Haberlandt giebt nicht an, wie hoch die Wassersäule war, die in den Bechergläsern über den eingequellten Samen stand. Ich glaube aber, dass hierauf sehr viel ankommt, denn je höher die Wassersäule, um so weniger Sauerstoff werden die Samen während der Quellung erhalten und dieser Sauerstoffmangel dürfte schon an sich eine Schädigung der Keimfähigkeit veranlassen. Wenigstens habe ich bei den Untersuchungen in der hiesigen Samenprüfungsanstalt wiederholt die Erfahrung gemacht, dass solche Samen, die bei der, vor dem Eintragen in den Keimapparat vorgenommenen Quellung mit einer Wasserschicht von 4—6 Centimeter Höhe bedeckt waren, schlechter keimten als Samen derselben Probe, die nur unter einer Wasserschicht von $\frac{1}{2}$ —1 Centimeter lagen.

Der Mangel an Sauerstoff dürfte auch bei den oben erwähnten Versuchen H.'s die schädigende Wirkung des warmen Wassers unterstützt haben, da die Einquellung in zugestöpselten Pulvergläsern vorgenommen wurde. Solche zugestöpselten Gläser wurden den offenen vorgezogen, weil es bei denselben der Verdunstung wegen nicht möglich war, eine constante Temperatur des Wassers zu erhalten.

„Beim Mais bewirkte der Aufenthalt in warmem Wasser von 30 und 40° C., durch 5 und 10 Stunden eine Beförderung der Keimfähigkeit, selbst dann, wenn der Einwirkung des warmen Wassers eine 24stündige Einquellung vorausging.“

Haberlandt¹⁾ stellte für eine Reihe von Samen fest, dass bei denselben die Keimung um so rascher eintritt und um so schneller verläuft, je jünger die Samen sind. Am schnellsten verlor Roggen seine Keimfähigkeit, auch Weizen zeigte schon nach wenig Jahren eine bedeutende Verminderung seiner Keimkraft, am längsten blieb Hafer keimfähig. —

¹⁾ Allgem. land- und forstwirtschaftliche Zeitung 1861, S. 261. — Jahresbericht über die Fortschritte auf dem Gesamtgebiet der Agriculturchemie B. 4. S. 72.

Haberlandt hat auch ausführliche Untersuchungen über die Dauer der Erhaltung der Keimfähigkeit verschiedener Samen gemacht ¹⁾.

Die Samen erhielten ihre Keimfähigkeit um so länger, je trockener sie aufbewahrt waren. Die Versuche erstreckten sich über einen Zeitraum von 10 Jahren.

Ueber diese Frage veröffentlichte auch Nie. Dimitrieviez ²⁾ eine Abhandlung, die die von Fr. Haberlandt gewonnenen Resultate bestätigte. D. arbeitete mit 21 Samenarten, die ein Alter von 6—12 Jahren hatten und die seiner Zeit von Haberlandt aufbewahrt worden waren.

Die letzten Abhandlungen, die direct mit der hier behandelten Frage nichts zu thun haben, habe ich in dieser Zusammenstellung der einschlägigen Literatur deshalb berücksichtigt, weil die Erscheinungen, die bei erwärmten Samen sich geltend machen, sehr viel Aehnlichkeit mit denjenigen haben, die man an den durch lange Zeiten hindurch (Jahre) unter verschiedenen Bedingungen bei gewöhnlicher Temperatur aufbewahrten Samen beobachtet.

W. Velten ³⁾ veröffentlichte eine Abhandlung über die Folgen der Einwirkung der Temperatur auf die Keimfähigkeit und Keimkraft der Samen von *Pinus Picea*, *Du Roi*. — V. unterscheidet zwischen Keimfähigkeit und Keimkraft. Unter Keimfähigkeit (Keimvermögen) versteht er „das Verhältniss des Keimprocentes für eine bestimmte oder unbestimmte Zeit, während welcher ein Same den Keimungsbedingungen ausgesetzt ist, gleichviel ob derselbe in einer gewissen Zeit einen grossen oder kleinen Keimling zum Vorschein kommen lässt.“ „Die Keimkraft (Keimungsenergie) hingegen wird daraus abgeleitet, ein wie grosses Volumen oder Gewicht oder welche Länge ein ausgewachsener Embryo für eine gegebene Zeit besitzt.“

Diese Definition für Keimkraft ist keineswegs ganz zutreffend. Bei gleicher Keimungsenergie können sicherlich Volumen und Gewicht zweier Keimpflanzen sehr verschieden ausfallen, wenn die ursprünglichen Samen nicht ganz gleichartig sind. Man muss jedenfalls Samen voraussetzen, bei denen das Verhältniss zwischen dem Gewicht des Embryos und der Reservestoffe durchaus dasselbe ist, in denen

¹⁾ Die Keimfähigkeit der Getreidekörner, ihre Dauer und die Mittel ihrer Erhaltung. Wiener landw. Zeitung 1873, S. 126. — Botanischer Jahresbericht I. S. 259.

²⁾ Fr. Haberlandt, Wissenschaftlich-praktische Untersuchungen auf dem Gebiet des Pflanzenbaues, Bd. I. S. 98.

³⁾ Sitzungsbericht der Kaiserl. Akademie der Wissenschaften in Wien. Bd. 74, II. Abth.

überdies die Gewichte der Embryonen sowohl wie der Reservestoffe gleich sind, in denen endlich Embryonen und Reservestoffe von durchaus gleicher Beschaffenheit, gleicher Entwicklung sind. Man wird mit einiger Sicherheit Samen, die diesen Anforderungen entsprechen, erhalten, wenn man dieselben zu gleicher Zeit von derselben Pflanze erntet und ausserdem nur solche von möglichst gleicher Beschaffenheit und besonders von gleichem Gewicht verwendet. Ferner wird man einen Ausdruck für die Keimungsenergie nicht von einer einzelnen Keimpflanze herleiten dürfen, sondern hierzu besser ein Durchschnittsergebnis, das sich aus der Verwendung einer grösseren Anzahl von Keimpflanzen ergibt, verwenden. Endlich ist es nicht zweckmässig, wie in obiger Definition geschehen, ganz allgemein vom Gewicht der Keimpflanzen zu sprechen; die Hauptsache ist jedenfalls das Trockengewicht. Dass man, um überhaupt einen brauchbaren Vergleich zwischen zwei Keimpflanzen anstellen zu können, im Stande sein muss, die Vegetationsbedingungen, unter denen die Pflanzen erzogen werden, vollkommen zu übersehen, ist selbstverständlich.

Velten benützte dann zur Bestimmung der Keimungsenergie lediglich die Volumengrössen der Keimpflanzen, da brauchbare Gewichtsbestimmungen wegen der stattfindenden Verdunstung schwer durchführbar waren, und Längenmessungen nicht gut brauchbar sind, da gleich lange unter gleichen Verhältnissen erwachsene Keimpflanzen „dick und dünner sein können.“ V. machte übrigens bei dieser Gelegenheit selbst einen Theil der obigen Erwägungen.

Die von V. verwendeten Samen waren von demselben Standorte zu gleicher Zeit geerntet. Die Samen wurden ohne vorherige Austrocknung durch 4 Stunden Temperaturen von 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 90, 100° C. ausgesetzt, dann bei einer Temperatur von 24° C. durch 24 Stunden eingequellt, und endlich in Keimapparate gebracht, die in einem Thermostaten standen, in welchem constant eine Temperatur von 24° C. herrschte. Die Keimversuche wurden, um die durch das Licht veranlassten Differenzen im Volumen auszuschliessen, alle im Dunkeln angestellt. Die Versuche wurden stets auf eine Zeit von 14 Tagen ausgedehnt. Ein Same wurde als gekeimt angenommen, wenn er, horizontal gelegt, an seiner austretenden Wurzelspitze eben die Wirkung der Schwerkraft durch eine schwache Krümmung nach abwärts verrieth.

Ich halte die Zeit von 14 Tagen für Keimversuche mit Samen von Nadelhölzern für viel zu kurz, denn es ist keineswegs richtig, dass die nach 14 Tagen noch keimenden Samen, „ausgesprochen leidend“ sind. Samen, die länger als 14 Tage in den Keimappara-

ten liegen, werden freilich leicht von Pilzen befallen, wenn man die Samen aber möglichst gegen das Verschimmeln schützt (Keimung in Erde), so erwachsen aus Samen, die selbst erst nach mehreren Wochen anfangen zu keimen, noch durchaus gesunde und normale Pflanzen.

Bei den Volumenbestimmungen benutzte V. die Keimpflanzen mit den Samenresten (Schalen). Nun ist es mir aber nach eigenen Versuchen sehr wahrscheinlich, dass die Aufquellungsfähigkeit der Samenschalen durch Erhitzen der Samen nicht unbedeutend vermindert wird. Wenn V. somit an den aus erhitzten Samen erzeugten Keimpflanzen geringere Volumina beobachtete als an den aus den nicht erhitzten Samen gewonnenen Pflanzen, so ist jedenfalls ein Theil dieser Volumendifferenz auf die erwähnte geringere Quellungsfähigkeit der Schalen zurückzuführen. Immerhin aber werden die von V. vorgenommenen Volumenbestimmungen noch geeignet sein, uns wenigstens eine Vorstellung von der Grösse der Keimungsenergie in den ersten Stadien der Keimung zu geben.

„Eine erste Versuchsreihe ergab nun, dass mit Erhöhung der Temperatur das Keimvermögen allmählich abnimmt, dass durch eine einstündige Erwärmung auf 80° C. der Nullpunkt der Keimfähigkeit fast erreicht ist. Die erwärmten Samen keimten fast durchgehends langsamer als die unerwärmten. Ein $\frac{1}{4}$ stündiges Erhitzen auf 40 bis 45° C. hatte kaum einen Einfluss auf die Keimfähigkeit.“

„Die Volumenbestimmungen ergaben, dass nicht nur das Keimungsvermögen, sondern auch die Keimkraft mit Erhöhung der Temperatur abnimmt, bis sie sich schliesslich dem Werthe Null nähert. Die Abnahme des Volumens erfolgt allmählich, man kann sagen proportional der Zunahme der Temperatur.“

Die von V. mitgetheilten Zahlen zeigen diese Proportionalität keineswegs. Bei der Temperatursteigerung

von $55-60^{\circ}$ C.	fiel das Volumen von 3,7 auf 3,4,
= $60-65^{\circ}$ C.	= = = = 3,4 = 3,0,
= $65-70^{\circ}$ C.	= = = = 3,0 = 1,9,
= $70-75^{\circ}$ C.	= = = = 1,9 = 1,8.

Die Volumina beziehen sich auf je 100 Keimpflanzen.

„Die Abnahme des Keimvermögens und der Keimkraft erfolgt in Folge der Erwärmung nicht in demselben Verhältniss.“

Bei einer zweiten Versuchsreihe ergaben sich im Allgemeinen ähnliche Resultate, aber es zeigte sich mit der Erhöhung der Temperatur ein wiederholtes Steigen der Keimzahl, wenn auch die der unerwärmten Samen nicht erreicht wurde. Bei Berücksichtigung der

Volumina der gekeimten Samen zeigte sich jedoch, dass die Keimkraft mit der Erhöhung der Temperatur allmählich abnimmt.

Bei den geringen Differenzen, die sich bei dieser zweiten Versuchsreihe ergaben, ist mir jedoch die Berechtigung jenes Schlusses sehr zweifelhaft. Ich führe hier die V.'sche Tabelle an, in der t = Temperatur, v . = Volumen ist.

t.	v.
0° C.	2,6.
40 =	2,7.
50 =	2,7.
60 =	2,3.
70 =	2,2.
80 =	1,8.

Die Volumina beziehen sich wieder auf 100 Pflanzen. Die höchste beobachtete Differenz beträgt nur 0,4 Cem., eine Differenz, die wohl ebenso leicht durch eine Abnahme in der Quellungsfähigkeit der Samenschalen, wie durch eine verminderte Keimungsenergie hervorgebracht sein kann.

Sehr interessant sind einige weitere Untersuchungsergebnisse, die V. mittheilt.

Fichtensamen, die im Winter nach der Ernte zur Keimung gebracht wurden, zeigten ein sehr geringes Keimprocent, während dieselben Samen im nächstfolgenden Sommer zur Keimung gebracht, eine sehr grosse Keimfähigkeit zeigten. Dieselben Samen nun, die im Winter jene geringe Keimfähigkeit zeigten (21%) wurden durch Erwärmung auf 55° C. durch 3 Stunden 21 Minuten zu einer sehr grossen Keimfähigkeit gebracht (97%). Veränderungen, die also unter natürlichen Verhältnissen die Länge der Zeit und die höhere Sommer-temperatur ganz allmählich hervorbringt, wurden durch den Einfluss einer Temperatur von 55° C. schnell bewirkt. Es wäre sehr wichtig zu untersuchen, ob bei irgend welchen anderen Samen sich ähnliche Erscheinungen geltend machen. Höchst wahrscheinlich sind wohl durch dieses Verhalten die von einigen Autoren mitunter beobachteten Thatsachen zu erklären, bei denen durch eine nicht zu weit getriebene Temperaturerhöhung nicht, wie gewöhnlich, eine Schädigung der Keimfähigkeit eintrat, sondern vielmehr eine Beförderung derselben. (Vergleiche oben S. 313. 314. 316.) Ebenso wie die Keimfähigkeit hatte auch die Keimkraft bei den im Winter auf 55° C. erwärmten Samen sehr zugenommen.

Ich halte übrigens für möglich, dass diese ganze Erscheinung darauf zurückzuführen ist, dass die Samen durch längeres Liegen, Risse in den Samenschalen bekommen und somit leichter aufquellen und keimen. Eine derartige Beförderung des Aufquellungsvermögens wird auch leicht durch Erwärmung erzielt werden können. — Samen, die im Winter, also kurze Zeit nach der Ernte, zu den Keimversuchen verwendet werden, haben jedenfalls noch eine sehr dichte

und wenig rissige Samenschale, die bei den Samen der Fichte ja ohnehin sehr fest ist. Man hat zunächst jedenfalls nicht nöthig, zur Erklärung jener Erscheinung tiefgehende physiologische Veränderungen im Samen vorauszusetzen. Hätte Velten seine Keimversuche durch längere Zeit als durch 14 Tage fortgesetzt, so würde er wohl auch im Winter eine höhere Keimfähigkeit der Samen beobachtet haben. Jedenfalls bedarf und verdient diese Frage einer erneuten Untersuchung.

Bei weiteren Untersuchungen, die ebenfalls im Winter an im vorhergehenden Herbst geernteten Samen vorgenommen wurden, suchte V. den Einfluss verschieden langer Erwärmung festzustellen. Bei einer Temperatur von 40° C. zeigte sich der günstige Einfluss der Erwärmung noch nach einer Einwirkung durch 41 Stunden. Bei 50° zeigt sich ein günstiger Einfluss bis zur Dauer durch 8 Stunden, während die durch 12 Stunden fortgesetzte Temperatureinwirkung schon eine Schädigung veranlasst. Aehnliches zeigt sich bei 60° . Höhere Temperaturen kamen nicht zur Anwendung.

Velten stellt am Schlusse seiner Abhandlung die gewonnenen Resultate wie folgt, zusammen:

- 1) Das Keimprocent sowohl, wie die Keimgeschwindigkeit, giebt keinen sichern Aufschluss über die Keimkraft der Samen.
- 2) Die Erwärmung der Samen kann einen günstigen oder ungünstigen Einfluss auf das Keimungsvermögen ausüben, je nachdem der physiologische Zustand ist, in dem der Same sich befindet.
- 3) Die Zeitdauer der Erwärmung ist von wesentlichem Einfluss auf die Entwicklung der Samen, indem längeres Erwärmen auf niedere Temperaturen denselben Effect wie kurzes Erwärmen auf höhere Temperaturgrade hervorrufen kann¹⁾.

Methoden.

Fast alle Keimungen wurden in den Nobbe'schen Keimapparaten vorgenommen. Die Apparate standen in einem Zimmer, in welchem durch einen Reguliöfen, der fortdauernd in Brand war, Monate hindurch eine nahezu constante Temperatur erhalten wurde²⁾. Die gekeimten Samen wurden täglich zu derselben Zeit aus den Keimapparaten entfernt. Selbstverständlich war dafür gesorgt, dass die Feuchtigkeitsverhältnisse in allen Apparaten möglichst gleichartig waren. Zu jedem Keimversuch wurden 100 Samen verwendet.

¹⁾ In dieser Fassung ist der Satz sicher nicht richtig. J.

²⁾ Ich kann die Meidinger'schen Füllöfen zur Herstellung constanter Temperaturen in grossen Räumen ganz besonders empfehlen.

Das Trocknen der Samen wurde mitunter durch Einstellen derselben in einen mit Schwefelsäure versehenen Exsiccator bewerkstelligt. In der Mehrzahl der Fälle jedoch wurden die Samen in folgender Weise getrocknet: In ein Reagenzglas kam eine mit ausgeglühtem Chlorcalcium gefüllte Papierhülse. Auf diese Hülse wurde eine zweite gesetzt, die die Samen enthielt, auf diese endlich wieder eine dritte, die wieder mit Chlorcalcium gefüllt war. Die so beschickten Gläser wurden durch gut schliessende Korke abgeschlossen und dann noch mit einer Kautschuckkappe versehen. Wenn es darauf ankam direct die Temperatur der Samen abzulesen, so war durch den Kork ein Thermometer in das Reagenzglas eingeführt und der Kork wurde dann mit einem aus Mehl und Leim hergestellten Kitt verschmiert. — In einzelnen Fällen wurden beide Trocknungsmethoden combinirt. Ueber die Dauer der Austrocknung finden sich die näheren Angaben unten in der Beschreibung der einzelnen Versuche. — Alle Erwärmungen der Samen fanden für Temperaturen bis zu 60° C. in Horstmannschen Thermostaten statt, die mit Hilfe eines Thermoregulators sehr leicht Monate hindurch auf einer constanten Temperatur erhalten werden können. Eine Beschreibung dieser Thermostaten gebe ich im Anhang. Für Temperaturen von 60—100° und darüber, wurden einfache Thermostaten verwendet und zwar grosse Gefässe aus verzinnem Eisenblech, die am Boden und an den Seiten mit einer doppelten Wand versehen sind und durch einen doppelwandigen Deckel verschlossen werden. Der Raum zwischen den beiden Wänden wird für Temperaturen bis zu 100° mit Wasser gefüllt, für höhere Temperaturen mit Glycerin von wechselnder Concentration oder mit Oel. Die zur Erwärmung dienende Gasflamme wird ebenfalls durch einen Thermoregulator regulirt.

Versuche.

Erste Versuchsreihe.

Welches ist die höchste Temperatur, bei der die Samen von Hafer und Gerste überhaupt noch keimen?

Die mehrfach wiederholten Versuche ergaben:

	Höchste Keimungstemperatur.		
	Just.	Sachs ¹⁾ .	Haberlandt ²⁾ .
Gerste	37—38° C.	36,2—37,5° C.	31,25—37,5° C.
Hafer	37—38,5° C.	Nicht untersucht.	31,25—37,5° C.

¹⁾ Pringsheim's, Jahrbücher II. S. 364.

²⁾ Versuchs-Stationen XVII. S. 113.

Ich habe in der vorstehenden Tabelle die früher von Sachs und Haberlandt gefundenen Zahlen neben die meinigen gestellt. Alle Zahlen stimmen nahezu überein. Bei den einzelnen Versuchen ergeben sich übrigens immer kleine Differenzen in der Anzahl der gekeimten Samen. Es ist sicher, dass es für eine Species kein ganz bestimmtes Temperatur-Maximum für die Keimung giebt; je nach der Abstammung der Individuen einer Species, je nach dem Grade der Ausbildung, nach dem Alter etc. wird die Maximaltemperatur, bei der noch Keimung eintritt, etwas höher oder niedriger liegen. Beim Hafer waren durch eine Temperatur von $38,5^{\circ}$ C. die Samen zumeist getödtet, in einzelnen Fällen aber kamen einige zur Keimung.

Die Samen erleiden durch den Einfluss der höchsten Keimungstemperatur eine Schädigung, die sich zunächst dadurch bekundet, dass die Keimung später eintritt, als bei der günstigsten Keimungstemperatur (Optimum). Bei Hafer und Gerste beträgt diese Verzögerung gegenüber dem Optimum gegen 24 Stunden. Die Verzögerung ist bei Gerste etwas grösser, als bei Hafer. — Auf dieses Verhalten macht auch F. Haberlandt¹⁾ aufmerksam und besonders Sachs²⁾.

Bei den vorstehend erwähnten Versuchen lagen die Samen in flachen Porzellanschalen auf feuchtem Fliesspapier. Die Schalen standen in den auf die betreffenden Temperaturen gebrachten Thermostaten. Die Thermometer waren unmittelbar zwischen die Keimpflanzen gestellt. In den Thermostaten befanden sich Gefässe mit Kalilauge zur Absorption der gebildeten Kohlensäure.

Zweite Versuchsreihe.

Wie verhalten sich die Samen von Gerste und Hafer in ihrer Keimfähigkeit, wenn sie in dunstgesättigter Luft verschiedenen Temperaturen ausgesetzt werden?

Durch mehrere Vorversuche stellte sich heraus, dass von den verwendeten Samen unter den gewöhnlichen Verhältnissen im Versuchsraum bei einer Temperatur von 20° C., von 100 Samen Gerste durchschnittlich 95, von Hafer 96 Samen keimten. Die Keimung war stets in längstens acht Tagen beendet und verlief derartig, dass schon nach 24 Stunden eine kleine Anzahl Samen keimte (5—10), dass nach ungefähr 60 Stunden eine grosse Zahl gekeimt war

1) Versuchs-Stationen B. XVII. S. 114. — Die oberen und unteren Temperaturgrenzen für die Keimung der wichtigeren landwirthschaftl. Sämereien.

2) Pringsheim's Jahrb. II. S. 352—360. Abhängigkeit der Keimung von der Temperatur.

(40—50). Die übrigen 30—45 Samen vertheilen sich dann auf die nächsten Tage und zwar in allmählich abnehmender Zahl. Die Keimung ist also eine ungleichförmige, mit einem Maximum am zweiten oder dritten Tage. Diese Erfahrung macht man übrigens bei allen Keimversuchen mit gesunden Samen unter normalen, günstigen Keimungsbedingungen. Selbstverständlich verschiebt sich der Eintritt des Keimungsmaximums, je nachdem die betreffende Species eine längere oder kürzere Zeit zur Keimung nöthig hat. Jedenfalls aber liegt dieses Keimungsmaximum bei allen Samen, die nicht sehr lange Zeit zur Keimung brauchen, wohl immer in der ersten Hälfte der Keimungszeit.

Um die Samen in dunstgesättigter Luft zu erhalten, wurde in den Thermostaten Wasser gegossen. Die Samen lagen in einer flachen Glasschale. Diese Schale war, um die Samen vor dem von dem Deckel des Thermostaten abtropfenden Wasser zu schützen, mit einer zweiten gewölbten Schale, deren Rand über die erste Schale übergreif, bedacht. Es war dafür gesorgt, dass die zweite Schale nicht fest auf der ersten auflag, so dass der Zutritt der dunstgesättigten Luft zu den Samen nicht gehindert war. Die Versuche wurden für die Temperaturen von 30°, 40°, 50°, 60°, angestellt. Die Samen blieben durch verschieden lange Zeiten in den Thermostaten und kamen dann in die Keimapparate.

A. Wirkung der Temperatur von 30°.

Tabelle I.

Es keimten nach Tagen:

	Aufenthalt im Thermo- staten.																							im Gesamten.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
a ¹ .	4 Tage.	0	12	51	12	8	—	2	2	1	2	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	92
b ¹ .	4 "	11	46	14	12	10	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	97
a ² .	6 "	0	6	30	12	8	6	5	5	4	4	3	1	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	84
b ² .	6 "	0	30	17	10	8	7	7	3	3	3	2	2	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	92
a ³ .	13 "	0	0	13	27	13	10	8	5	—	5	—	1	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	83
b ³ .	13 "	0	0	13	27	6	2	2	—	—	3	—	2	2	2	2	1	2	1	—	—	—	—	65
a ⁴ .	25 "	—	—	—	—	5	6	—	4	—	3	—	3	3	1	—	—	—	—	—	—	2	1	28
b ⁴ .	25 "	—	0	2	1	19	7	—	4	—	3	3	4	5	1	2	1	2	1	2	1	—	—	58

In der Tabelle bedeutet a Gerste, b Hafer. Es ist ersichtlich, dass der Hafer einen Aufenthalt in dunstgesättigter Luft durch vier

Stunden ohne Schädigung erträgt, während bei der Gerste unter diesen Verhältnissen bereits eine Verzögerung der Keimzeit eintritt. Je länger die Samen bei 30° in dunstgesättigter Luft verweilen, desto grösser wird die Schädigung, die sich durch immer grössere Abnahme der Keimfähigkeit und immer längere Keimdauer kundgibt. Das Keimungsmaximum tritt immer später auf und wird überdies um so unentlicher, je länger die Einwirkung der erwähnten Verhältnisse stattfindet¹⁾. Die Gerste wird mehr geschädigt, als der Hafer.

Es ist bekannt und zumal durch F. Haberlandt (siehe oben S. 318) durch ausgedehnte Versuche festgestellt, dass Samen unter den gewöhnlichen Verhältnissen ihre Keimfähigkeit je nach der Species und je nach der Individualität, mehr oder weniger schnell einbüßen. Während für Gerste und Hafer unter gewöhnlichen Bedingungen Jahre nöthig sind, um die Keimfähigkeit ganz aufzuheben, genügen dazu bei einer Temperatur von 30° C. in dunstgesättigter Luft wenige Monate. Ich habe die Keimversuche mit Samen, die länger als 25 Tage im Thermostaten weilten, nicht mehr angestellt, denn nach dieser Zeit waren die Samen regelmässig so sehr von Pilzen befallen, dass sie nicht mehr als brauchbares Material für weitere Untersuchungen dienen konnten. Die angestellten Versuche genügen übrigens schon vollkommen um zu zeigen, dass unter den erwähnten Versuchsbedingungen eine verhältnissmässig kurze Zeit genügt, um die Samen zu tödten. Wollte man einen bestimmten Ausdruck für die Zeit gewinnen, in welcher die Samen getödtet werden, so müsste man die Versuche so vornehmen, dass die Samen im Thermostaten vor dem Befallenwerden von Pilzen geschützt sind.

B. Wirkung einer Temperatur von 40° C.

Tabelle II.

Gekeimt nach Tagen:

	Aufenthalt im Thermo- staten.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Im Ganzen.
a ¹ .	4 Tage.	—	4	18	14	12	—	4	4	3	—	—	1	—	2	1	2	—	—	—	—	65
b ¹ .	4 "	—	2	23	12	12	2	4	4	—	5	4	4	3	1	—	1	—	—	—	—	77
a ² .	6 "	—	4	2	7	7	6	6	6	4	4	3	—	7	—	—	4	—	3	—	—	63
b ² .	6 "	—	8	16	12	9	10	7	5	—	4	2	—	1	—	—	1	—	—	—	—	75
a ³ .	13 "	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0
b ³ .	13 "	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	2

a. bedeutet wieder Gerste, b. Hafer. — So auch in allen folgenden Tabellen.

¹⁾ Die Zahlen, welche die Keimungsmaxima angeben, sind in den Tabellen fett gedruckt.

Bei der Temperatur von 40° zeigt sich die schädliche Wirkung nach 4 Tagen schon sehr deutlich, noch deutlicher nach 6 Tagen. Ueberhaupt treten die bei der Wirkung einer Temperatur von 30° C. beobachteten Thatsachen weit schneller auf. Nach 13 Tagen sind die Samen getödtet. Gerste leidet wieder mehr wie Hafer.

C. Wirkung einer Temperatur von 50° C.

Tabelle III.

Es keimten nach Tagen:

Aufenthalt im Thermo- staten.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Im Ganzen.
a ¹ .	1 Tag.	—	—	2	7	7	6	6	5	4	2	3	—	1	1	—	1	—	—	1	—	46
b ¹ .	1 "	—	—	8	16	10	8	7	5	2	3	2	—	1	—	1	—	—	2	—	—	65
a ² .	3 Tage.	} Keine Keimung mehr.																				
b ² .	3 "																					

Bei der Temperatur von 50° C. erleiden die Samen schon in der Zeit von 24 Stunden eine sehr bedeutende Schädigung, die grösser ist als diejenige, die eine Temperatur von 40° in vier Tagen bewirkt. In drei Tagen sind die Samen getödtet.

D. Wirkung einer Temperatur von 60° C.

Die Samen waren, nachdem sie 24 Stunden in dunstgesättigter Luft bei 60° verweilt hatten, durchweg getödtet.

Bei allen vorstehend beschriebenen Versuchen befand sich im Thermostaten ein Gefäss mit Kalilauge zur Kohlensäureabsorption. Ferner wurde durch die Thermostaten ein schwacher Luftstrom gesaugt. Die in den Thermostaten eintretende Luft war vorher auf die Temperatur des betreffenden Thermostaten gebracht worden.

Bei all diesen Versuchen in dunstgesättigter Luft beobachtete ich niemals eine Keimung der Samen im Thermostaten selbst, also lediglich unter dem Einfluss der Luftfeuchtigkeit. Die von den Samen aus der Luft bei constanter Temperatur aufgenommene Feuchtigkeit genügt also nicht, um die Samen zur Keimung zu bringen. Diese Erfahrung machte auch F. Haberlandt¹⁾, der

¹⁾ Aufnahme von gasförmigem Wasser durch die Samen, in F. Haberlandt's: Wissenschaftlich-praktische Untersuchungen auf dem Gebiet des Pflanzenbaues. Bd. I. S. 63.

durch eine Reihe Untersuchungen mit zahlreichen Samenarten feststellte, dass in dunstgesättigter Luft nur dann eine Keimung eintritt, wenn durch stärkere und häufige Temperaturschwankungen eine wiederholte Thaubildung auf den Samen stattfindet. Haberlandt, der seine Versuche bei gewöhnlicher Temperatur anstellte, zeigte auch, dass schon bei dieser Temperatur die Samen in dunstgesättigter Luft in verhältnissmässig kurzer Zeit, (in fünf Tagen) sehr bedeutende Schädigungen ihrer Keimfähigkeit erleiden.

Dritte Versuchsreihe.

Wie verhalten sich Samen von Gerste und Hafer, wenn sie in Wasser verschiedenen Temperaturen ausgesetzt werden?

Hierher gehören von den von mir angestellten Versuchen zunächst diejenigen, welche ich zur Feststellung der höchsten Keimungstemperaturen unternahm. (Vergl. oben S. 324.)

Fernere Versuche wurden in folgender Weise angestellt: Von den zu den Versuchen verwendeten Samen kamen immer je 100 in weite offene Reagenzgläser, in die so viel Wasser gegossen war, dass dasselbe nur 1 Centimeter über den Samen stand. Samen, die auf der Oberfläche des Wassers schwammen, wurden durch andere, untersinkende ersetzt. Diese Reagenzgläser wurden in ein zum Theil mit Wasser gefülltes Becherglas gestellt, welches dann in den Thermostaten kam. Das Thermometer zeigte die Temperatur des Wassers im Becherglas an. In dem Thermostaten befand sich wieder ein Gefäss zur Absorption der Kohlensäure. Es war ausserdem für Lüfterneuerung im Thermostaten gesorgt. Ferner wurde in den Innenraum des Thermostaten etwas Wasser gegossen, so dass eine Verdunstung von den Reagenzgläsern aus und damit eine Temperaturschwankung in dem dunstgesättigten Raum nicht stattfinden konnte. Die Samen erlitten ausserdem bei den getroffenen Einrichtungen keinen erheblichen Sauerstoffmangel. Die einzelnen Reagenzgläser wurden nach verschiedenen Zeiten aus dem Thermostaten herausgenommen und die Samen in die Keimapparate gebracht.

A. Einwirkung einer Temperatur von 45° C.

(Siehe Tabelle IV.)

Aus nachstehender Tabelle ist zunächst wieder ersichtlich, dass der Hafer die angegebenen Einflüsse besser erträgt als die Gerste. Letztere ist getödtet, wenn sie unter den erwähnten Versuchsbedingungen 5 Stunden im Thermostaten bleibt, während vom Hafer, auch nach einem Aufenthalt von 9 Stunden im Apparat, noch einige Samen

Tabelle IV.
Es keimten nach Tagen:

Aufenthalt im Thermostaten.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	Im Ganzen.	
a ¹ .	1 Stunde	0	1	25	19	20	17	2	0	1	0	1	1	Die übrigen Samen faulen.													—	—	—	87
b ¹ .	1 „	0	2	19	9	5	10	7	2	4	0	1	3	3	3	3	2	4	1	4	6	0	1	0	—	—	—	—	89	
a ² .	3 Stunden	0	0	0	0	0	7	4	10	10	10	1	0	2	2	2	1	1	2	1	0	Die übr. Samen faulen.						—	—	53
b ² .	3 „	0	0	12	16	12	14	3	0	4	2	0	4	1	1	1	1	1	0	1	Die übrigen Samen faulen.						—	—	73	
a ³ .	5 „	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Die Samen faulen.															—	—	—	—	0
b ³ .	5 „	0	0	1	0	12	6	14	2	5	5	1	2	1	2	0	0	1	0	Die übrigen Samen faulen.						—	—	52		
a ⁴ .	7 „	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Die Samen faulen.															—	—	—	—	0
b ⁴ .	7 „	0	0	0	0	0	0	5	3	1	0	7	6	2	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	Die übr. Samen faulen.			32	
a ⁵ .	9 „	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Die Samen faulen.															—	—	—	—	0
b ⁵ .	9 „	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	2	2	0	0	0	0	faulen.		—	—	9	

a. bedeutet Gerste, b. Hafer.

keimen. Der Eintritt des Keimungsmaximums verzögert sich um so mehr, je länger die Samen im Apparat verweilen. Ausserdem wird das Auftreten eines solchen Keimungsmaximums immer undeutlicher. Die durchschnittliche Keimzeit wird mit der längern Temperatureinwirkung eine immer ausgedehntere, die Zahl der keimenden Körner eine immer geringere. Bei den Hafersamen, die 9 Stunden im Thermostaten verweilt hatten, trat die Keimung erst nach 15 Tagen ein.

Es zeigt sich bei diesen wie bei allen Keimversuchen mit erwärmten Samen, dass dieselben regelmässig um so mehr der Fäulniss unterliegen, je mehr sie durch die Temperatur geschädigt sind. Samen, die überhaupt noch lebensfähig sind, haben auch die Fähigkeit, der Fäulniss mehr zu widerstehen. Samen, die in Wasser erwärmt wurden, faulen jedoch leichter als solche, die trocken, selbst auf hohe Temperaturen erhitzt wurden und nachher in Wasser kamen.

B. Einwirkung einer Temperatur von 55° C.

Tabelle V.

Es keimten nach Tagen:

	Aufenthalt im Thermo- staten.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Im Ganzen.
a ¹ .	½ Stunde.	0	12	15	14	9	4	10	8	2	0	0	0	1	0	2	1	faulen.				78
b ¹ .	½ "	0	4	11	13	7	5	11	9	3	7	2	1	0	2	2	1	faulen.				78
a ² .	1 "	0	0	0	4	16	13	14	10	6	2	0	2	1	0	2	0	3	faulen.			71
b ² .	1 "	0	0	0	0	2	7	5	17	17	18	0	1	2	0	3	0	3	faulen.			75
a ³ .	3 Stunden.	0	0	0	0	0	0	0	0	faulen.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0
b ³ .	3 "	0	0	0	0	0	0	0	0	faulen.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0

a. bedeutet Gerste, b. Hafer.

Es zeigt sich, dass sowohl Hafer wie Gerste nach einem Aufenthalt von drei Stunden im Thermostaten getötet sind. Im Uebrigen zeigen sich die bei der Einwirkung von 45° C. eingetretenen Erscheinungen bei den Temperaturen von 55° C. um so schneller und deutlicher.

C. Einwirkung einer Temperatur von 65° C.

Diese Temperatur wurde nur von einigen Hafersamen durch eine halbe Stunde ertragen, während Gerste nach einem halbstündigen Aufenthalt im Thermostaten getötet war.

Nachstehend stelle ich noch die von Fr. Haberlandt¹⁾ und die von mir gewonnenen Resultate, soweit es sich um die Einwirkung warmen Wassers auf die Erhaltung der Keimfähigkeit von Hafer und Gerste handelt, nebeneinander.

Gerste.	Haberlandt.	Procente der gekeimten Samen.
a) Controlprobe		98.
b) bei 30° C. durch 5 Stunden		58.
c) = 30° C. = 10 =		36.
d) = 40° C. = 5 =		5.
e) = 40° C. = 10 =		1.
f) = 50° C. = 5 =		0.

Hafer.		
a) Controlprobe		100.
b) bei 30° C. durch 5 Stunden		88.
c) = 30° C. = 10 =		76.
d) = 40° C. = 5 =		36.
e) = 40° C. = 10 =		18.
f) = 50° C. = 5 =		8.
g) = 50° C. = 10 =		0.

Gerste.	Just.	Procente der gekeimten Samen.
a) Controlprobe		95.
b) bei 45° C. durch 1 Stunde		87.
c) = 45° C. = 3 Stunden		73.
d) = 45° C. = 5 =		9.
e) = 55° C. = $\frac{1}{2}$ Stunde		78.
f) = 55° C. = 1 =		71.
g) = 65° C. = $\frac{1}{2}$ =		0.

Hafer.		
a) Controlprobe		96.
b) bei 45° C. durch 1 Stunde		89.
c) = 45° C. = 3 Stunden		73.
d) = 45° C. = 5 =		52.
e) = 45° C. = 7 =		32.
f) = 45° C. = 9 =		9.
g) = 55° C. = $\frac{1}{2}$ Stunde		78.
h) = 55° C. = 1 =		75.
i) = 65° C. = $\frac{1}{2}$ =		18.

¹⁾ Wissenschaftlich praktische Untersuchungen. Bd. II. S. 53.

Aus dieser Zusammenstellung geht deutlich genug hervor, dass bei meinen Versuchen die Samen eine etwas grössere Widerstandsfähigkeit gegen die schädigenden Einflüsse der Wärme zeigten. Ich glaube, diese Differenz lässt sich lediglich dadurch erklären, dass die Samen bei meinen Versuchen gegen Sauerstoffmangel mehr geschützt waren. (Vergleiche oben S. 317 und 318.)

Ausführliche Untersuchungen über die Schädigung der Samen durch warmes Wasser verdanken wir zumal Fr. Haberlandt. (Siehe oben S. 316.)

Hier sind auch die Untersuchungen Fiedler's zu berücksichtigen. (Siehe oben S. 312.)

Hierher gehören auch die Untersuchungen von Ant. Zoehl¹⁾ über die Frage: „Wie lange behalten die Samen im Wasser ihre Keimfähigkeit?“ — Z. stellte seine Versuche mit zahlreichen Samenarten in der Weise an, dass er über die Samen einen continuirlichen Strom Wassers von gewöhnlicher Temperatur fliessen liess. Von jeder Samenart wurde nach verschiedenen Zeiten eine Anzahl Samen zum Keimen ausgelegt. Es zeigte sich, dass nach 69 Tagen die Mehrzahl der Samen getödtet war. Gegen diese Untersuchungen ist jedoch eine Einwendung zu machen. Schon während des Aufenthaltes im Wasser fingen manche Samen an zu keimen, während zu den Keimversuchen die übrig bleibenden noch nicht gekeimten Samen verwendet wurden. Nun giebt es aber bekanntlich selbst bei den besten Samen in einer grösseren Zahl immer einige, die an und für sich nicht keimen, bei manchen Samen machen diese todten Individuen sogar einen grossen Procentsatz aus. Je länger also Z. seine Versuche fortsetzte, um so mehr muss er es in den Fällen, in denen vorher eine Keimung im Wasserbehälter eintrat, mit Samen, die schon an sich todt waren und nicht erst durch den Einfluss des Wassers ihre Keimfähigkeit verloren hatten, zu thun gehabt haben. Es ist ohnehin auffallend, dass bei den Z.'schen Versuchen nicht die Mehrzahl der Samen anfang zu keimen. Wenn dies nicht geschah, so kann dies wohl nur daran liegen, dass die Samen sich so tief unter Wasser befanden, dass es ihnen an Sauerstoff mangelte. Dieser Sauerstoffmangel wird nun wohl an sich schon schädigend auf die Keimfähigkeit eingewirkt haben, so dass Zoehl es in all' seinen späteren Versuchen wahrscheinlich mit Samen zu thun hatte, die sowohl durch den Einfluss des Wassers wie durch Sauerstoffmangel geschädigt waren. Die Frage, wie sich Samen unter Wasser, bei

¹⁾ Fr. Haberlandt, Wissenschaftlich praktische Untersuchungen auf dem Gebiete des Pflanzenbaues. Bd. I, S. 89.

verschiedenen Temperaturen, einerseits bei Sauerstoffmangel, andererseits bei ungehindertem Zutritt von Sauerstoff verhalten, bedarf jedenfalls einer besonderen Untersuchung. Immerhin aber dienen die zahlreichen und ausgedehnten Z.'schen Versuche ganz wohl dazu, zu zeigen, dass die Samen schon durch den Einfluss des Wassers von gewöhnlicher Temperatur in mehr oder weniger kurzer Zeit eine Schädigung der Keimfähigkeit erleiden.

Vierte Versuchsreihe.

Wie verhalten sich die Samen von Gerste und Hafer, wenn sie, in ausgetrocknetem Zustand, der Einwirkung höherer Temperaturen ausgesetzt werden?

A. Einwirkung einer Temperatur von 100° C. (I.)

Ueber die Art der Trocknung ist bereits oben das Nöthige (Methoden) mitgetheilt. Für die Versuche, deren Resultate in nachstehender Tabelle VII. verzeichnet sind, wurden die Samen, bevor sie in die Reagenzgläser kamen, durch drei Tage im Exsiccator über Schwefelsäure gehalten. In der Tabelle bedeutet a. Gerste, b. Hafer, m. Gerste, n. Hafer. Die Samen für die Versuche a—a⁴, b—b⁴ wurden sehr allmählich getrocknet und erwärmt. Die Reagenzgläser lagen erst 10 Tage bei gewöhnlicher Temperatur im Zimmer, dann wurden sie durch einen Tag auf 30° C., durch zwei Tage auf 50° C. erwärmt und kamen dann erst in den Thermostaten von 100° C. — m. m.¹ n. n.¹ kämen direct in offenen Reagenzgläsern in den Thermostaten von 100° C., nachdem sie 3 Tage bei gewöhnlicher Zimmertemperatur über Schwefelsäure gehalten waren. Ueber die Zeit, durch welche die Samen im Thermostaten verweilen, giebt die nachstehende Tabelle VII. Aufschluss.

Es ist ersichtlich, dass die Hafersamen wieder die Versuchsbedingungen besser ertrugen als die Gerstesamen. Während bei der Gerste, die durch 24 Stunden einer Temperatur von 100° C. ausgesetzt war, die Keimfähigkeit sehr gelitten hatte, zeigt dieselbe beim Hafer erst eine geringe Abnahme. Auch die mittlere Keimzeit ist bei der Gerste viel grösser geworden¹). — Gerste und Hafer aber ertragen auch durch 48 Stunden eine Temperatur von 100° C. ohne ganz getödtet zu werden.

Wenn der Hafer sich auch weniger geschädigt zeigt als die Gerste, so tritt die erste Keimung jedoch bei ihm meist etwas später ein, was sich wohl durch die geringere Quellungsfähigkeit des Hafers erklärt. Die gesammte Keimzeit ist bei Hafer meist länger als bei

¹) Mittlere Keimzeit-Anzahl der auf die ganze Keimzeit fallenden Tage, dividirt durch die Anzahl der in der ganzen Keimzeit gekeimten Samen.

Gerste, es keimen aber in gleichen Zeiten von Hafer mehr Samen als von Gerste. Diese Erfahrungen bestätigten auch die Versuche v. Höhnel's¹⁾. Im Uebrigen zeigt sich auch bei diesen Versuchen wieder, gegenüber der Keimung unter normalen Verhältnissen, die Verschiebung oder das gänzliche Fortfallen des Keimungsmaximums (Gerste a⁴), der spätere Eintritt der Keimung, Verlängerung der absoluten und mittleren Keimzeit, Verkleinerung des Keimprocent's. All' diese Erscheinungen werden um so deutlicher, je länger die Temperaturwirkung dauert.

Wie wesentlich für die Erhaltung der Keimfähigkeit ein möglichst geringer Wassergehalt der Samen ist, dies zeigen m. m¹. n. n¹. Die zu diesen Versuchen verwendeten Samen hatten eine sehr unvollständige Trocknung erfahren, bevor sie erwärmt wurden (3 Tage über Schwefelsäure), und es keimte schon nach Einwirkung der Temperatur von 100° C. durch nur sechs Stunden kein einziger Same mehr.

B. Einfluss einer Temperatur von 100° C. (II.)

(Siehe Tabelle VIII.)

Die in dieser Versuchsreihe angestellten Untersuchungen sollten zunächst dazu dienen, den Einfluss mehr oder weniger sorgfältiger Trocknung noch deutlicher zu machen. Die benutzten Samen waren zwei Tage über Schwefelsäure getrocknet worden, bevor sie in die Reagenzgläser kamen. Die in bekannter Weise beschickten Reagenzgläser blieben 10 Tage bei gewöhnlicher Zimmertemperatur liegen. Der Aufenthalt im Thermostaten belief sich für alle Samen auf drei Tage.

a¹. und b¹. kamen ohne vorherige allmähliche Erwärmung direct in den Thermostaten. Es zeigt sich, dass Gerste nahezu getötet ist und dass auch der Hafer eine bedeutende Schädigung erfuhr.

a². und b². wurden, bevor sie in den Thermostaten von 100° C. kamen, durch 7 Tage bei einer Temperatur von 50° C. erhalten. Mit dieser sorgfältigen Trocknung steigt auch sofort wieder die Keimfähigkeit sowohl für Gerste wie für Hafer.

a³. und b³. wurden noch sorgfältiger getrocknet. Die Reagenzgläser wurden 9 Tage bei 50° C., 2 Tage bei 60° C., 2 Tage bei 80° C. erhalten und kamen erst dann in den Thermostaten von 100° C. Es ergibt sich nach dieser sorgfältigeren Trocknung für

¹⁾ Fr. Haberlandt's Wissenschaftlich praktische Untersuchungen auf dem Gebiet des Pflanzenbaues. II. S. 85.

Tabelle VIII.

Es keimten nach Tagen:

Aufenthalt im Thermostaten.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	Im Ganzen.
a ¹ .	3 Tage.....	0	0	0	0	0	4	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	Der Rest in Fäulniss.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7.
b ¹ .	3 „	0	0	0	0	0	0	0	2	0	7	0	0	7	4	0	0	0	3	0	4	Rest in Fäulniss.	—	—	—	—	—	—	—	—	29.
a ² .	3 „	0	0	0	7	0	0	7	1	0	4	1	0	0	2	0	1	0	1	Rest in Fäulniss.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	24.
b ² .	3 „	0	0	0	3	0	0	1	8	0	5	2	4	6	5	4	3	0	1	2	3	0	1	0	3	Rest in Fäulniss.	—	—	—	—	51.
a ³ .	3 „	0	0	20	11	11	2	2	3	3	0	2	0	0	0	4	0	Rest in Fäulniss.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	58.
b ³ .	3 „	0	0	1	2	1	1	1	2	11	2	3	1	3	0	0	3	0	2	0	3	0	14	0	8	Rest in Fäulniss.	—	—	—	—	58.

die Gerste, in geringerem Grade auch für Hafer, sogleich wieder eine grössere Steigerung der Keimfähigkeit. Bei der Gerste tritt auch wieder ein sehr deutliches Keimungsmaximum ein.

Auch bei all diesen Versuchen zeigen sich die mehrfach erwähnten Schädigungen mehr oder weniger deutlich. Bemerkenswerth ist auch, wie mit der sorgfältigeren Trocknung bei a^3 . und b^3 . auch eine zeitigere Keimung eintritt als bei a^1 . und b^1 .

Bei diesen Versuchen suchte ich auch festzustellen, ob das schnelle oder langsame Abkühlen und die Geschwindigkeit der Wasserzufuhr zu den erhitzen Samen, von Bedeutung für die Erhaltung der Keimfähigkeit sei. Demgemäss blieben a^3 . und b^3 , nachdem sie aus dem Thermostaten von 100^0 C. herausgenommen waren, in den Reagenzgläsern und kamen so durch 2 Stunden in eine Temperatur von 50^0 C., durch weitere 2 Stunden in eine Temperatur von 30^0 C. Dann wurden die Samen aus den Reagenzgläsern entfernt und in trockene Keimapparate gebracht, in denen sie durch 2 Tage bei gewöhnlicher Temperatur im Versuchsraum liegen blieben, so dass sie durch Hygroscopicität aus der Luft geringe Mengen Wasser aufnehmen konnten. Jetzt erst wurden die Samen in den Keimapparaten angefeuchtet. Zwei andere Reagenzgläser wurden bis zu dem Aufenthalt im Thermostaten ebenso behandelt wie a^3 . und b^3 . Die Samen kamen aber, nachdem sie drei Tage der Temperatur von 100^0 C. ausgesetzt waren, aus den Reagenzgläsern direct in die feuchten Keimapparate, in deren Keimschale vorher noch etwas Wasser von 10^0 C. gegossen war. Bei der nun folgenden Keimung zeigte sich bei beiden Versuchsreihen durchaus kein nennenswerther Unterschied in der Anzahl der gekeimten Samen, der Keimdauer etc.

Ich hatte früher (vergl. S. 315) bei erwärmten Samen von *Trifolium pratense* nachgewiesen, dass dieselben stärker geschädigt werden, wenn sie noch heiss mit Wasser befeuchtet werden, als wenn sie nach vorheriger Abkühlung ganz allmählich angefeuchtet werden. Ich hatte den Versuch damals wiederholt mit günstigem Erfolge angestellt. Immerhin ist mir die Sache jedoch noch zweifelhaft, da es sich um Samen handelte, die über 100^0 erwärmt, in ihrer Keimfähigkeit sehr stark geschädigt waren. Wenn nun von solchen Samen in dem einen oder andern Fall einige mehr oder weniger keimen, so kann dies ebenso durch die grössere oder geringere Schädigung, die die Erwärmung hervorgebracht hat, bedingt sein, wie durch den Einfluss der langsameren oder schnelleren Zuführung von Wasser.

v. Höhnel hat, auf die von mir gegebene Anregung hin (vergl. S. 316),

diese Frage bei seinen Untersuchungen ebenfalls berücksichtigt. Höhnel hatte Samen von *Rumex patientia* und *Trifolium hybridum* auf 118—121° C. erhitzt. Eine Partie wurde schnell befeuchtet und zum Keimen ausgelegt, eine andere wurde einige Tage an der Luft liegen gelassen und dann zum Keimen ausgelegt. Von den schnell angefeuchteten keimte aus mehreren Hundert Samen von *Rumex patientia* 1, *Trifolium hybridum* 1. Von den allmählich angefeuchteten keimten von *Rumex patientia* 1, *Trifolium hybridum* 2. Diese eine Keimpflanze mehr bei *Trifolium hybridum* kann natürlich kaum dazu dienen, eine Bestätigung meiner früheren Angabe zu liefern. Die Versuche zur Lösung dieser Frage müssen übrigens nach anderen Methoden angestellt werden, als sie von mir und v. Höhnel angewendet wurden. Ich bin gegenwärtig mit Untersuchungen in dieser Richtung beschäftigt und behalte mir vor, über das Resultat derselben späterhin zu berichten.

C. Wirkung einer Temperatur von 110° C.

(Hierzu Tabelle IX.)

Trocknung und Erwärmung der Samen wie für die Versuche bei 100° C.
a. und b. Seite 334.

Die nachstehende Tabelle bedarf nach dem oben Gesagten keiner weiteren Erläuterung. Die Schädigung der Samen ist eine der höheren Temperatur entsprechende grössere.

D. Wirkung einer Temperatur von 122° C.

(Hierzu Tabelle X.)

Trocknung und Erwärmung der Samen wie für die Versuche bei 100° C.
a. und b. Seite 334.

Es ist ersichtlich, dass nur die Hafersamen noch die Temperatur von 122° C. in nennenswerther Weise ertragen. Von den Gerstensamen ist nach einer halbstündigen Einwirkung der Temperatur nur noch einer nach acht Tagen zur Keimung gekommen. Auch der Hafer zeigt nach einem halbstündigen Aufenthalt im Thermostaten eine bedeutende Schädigung. Es ist aber bemerkenswerth, wie die höchste Keimzeit auf 29 Tage verlängert ist. Der Hafer erträgt die Temperatur von 122° C. selbst durch drei Stunden ohne ganz getödtet zu sein. Nach 12 Stunden ist sowohl Hafer wie Gerste getödtet.

E. Wirkung von Temperaturen, die höher als 122° C. liegen.

Die bei wechselnden Temperaturen bis zu 136° C. angestellten Versuche zeigten durchgehend, dass die Samen von Hafer und Gerste jene Temperaturen nicht ertragen, wenn sie selbst nach sorgfältigster Trocknung auch nur 20 Minuten lang der betreffenden Temperatur unterlagen.

Bei allen Versuchen, bei denen Temperaturen von 100—136° C. in Anwendung kamen, waren die Thermometer direct in die Reagenzgläser eingefügt, so dass sie also unmittelbar die Temperatur der Samen angaben. Die angegebenen Zeiten wurden von dem Moment an gerechnet, in welchem die Thermometer nach Einführung der Samen in die Thermostaten wieder die gewünschte Temperatur zeigten.

Ich habe bei diesen Untersuchungen vornehmlich Temperaturen über 100° C. in Anwendung gebracht, da es ja durch frühere Untersuchungen bekannt war, dass getrocknete Samen Temperaturen bis zu 100° C. ohne Verlust ihrer Keimfähigkeit ertragen können.

Es zeigt sich also, dass Samen, nach sehr sorgfältiger Trocknung, Temperaturen bis zu 122° C. ohne gänzlichen Verlust der Keimfähigkeit ertragen können. Ich stimme jedoch v. Höhnel durchaus bei, wenn derselbe sagt, dass man wohl für keine Species eine bestimmte Temperatur wird angeben können, bei der die getrockneten Samen sterben. Es ist wohl sicher, dass die Individualität der Samen (Abstammung, Heimath, Alter, Grad der Ausbildung) immer geringe Schwankungen der Tödtungstemperatur veranlassen wird. (Vergl. S. 316.) Die ungemein verlängerte Keimzeit für einzelne Samen hat etwas sehr Auffallendes. Diese Thatsache erinnert an die Erscheinungen, die man bei saftigen Pflanzentheilen als „Wärmestarre“ bezeichnet, ohne dass ich behaupten will, dass beiderlei Erscheinungen durch gleiche Ursachen bedingt seien.

F. Wirkung einer Temperatur von 60° C.

Ich hatte vor Beginn der bisher beschriebenen Experimente einige Versuche angestellt, welche mir zeigten, dass die Hafersamen beim Austrocknen ihr Wasser langsamer abgeben als die Gerstensamen. Wenn also die Austrocknung der Samen nicht energisch genug vorgenommen wurde, so konnten die Gerstensamen nur noch geringeren Wassergehalt zeigen, während die Hafersamen weit grössere Wassermengen enthielten. Es war anzunehmen, dass unter solchen Verhältnissen die Hafersamen bei Erwärmung mehr geschädigt werden,

als die Gerstensamen, obgleich diese, wie alle bisherigen Versuche zeigen, eine geringere Widerstandsfähigkeit gegen die Einflüsse höherer Temperaturen besitzen, als jene. Dass dies sich nun so verhält, zeigten einige Versuche, deren Resultate in der nachstehenden Tabelle verzeichnet sind.

Tabelle XI.

	Aufenthalt im Thermostaten.	Es keimten nach Tagen:														Im Ganzen.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
a.	3 Tage.....	5	56	19	10	6	1	0	1	—	—	—	—	—	—	98.
b.	3 Tage.....	0	3	7	18	12	4	2	2	3	1	1	1	faul.		54.

Die Samen waren für diesen Versuch 2 Tage über Schwefelsäure gehalten und kamen dann in bekannter Weise mit Chlorecalcium in die Reagenzgläser. Die Gläser blieben zwei Tage bei gewöhnlicher Luft liegen, kamen dann durch einen Tag in eine Temperatur von 30° C. und dann erst in den Thermostaten von 60° C. Wie sich zeigt, hatte der Hafer eine bedeutende Schädigung der Keimfähigkeit erlitten.

Aus diesen Versuchen ergibt sich aber noch ein anderes interessantes Resultat. Die Gerste zeigt nämlich gar keine Schädigung ihrer Keimfähigkeit, im Gegentheil ist dieselbe befördert. Die Keimung trat etwas zeitiger (um einige Stunden) ein, als unter gewöhnlichen Bedingungen, das Keimungsmaximum, das überaus gross ist, zeigt sich schon am zweiten Tage.

Es ist dies der einzige Fall, in dem bei meinen Versuchen eine Beschleunigung und Begünstigung der Keimung durch Erwärmung der Samen eintrat. Solche Beförderungen der Keimung durch Erwärmung sind nun von andern Beobachtern auch schon nachgewiesen, so von Haberlandt (vergl. S. 314), Velten (vergl. S. 322), Wiesner (vergl. S. 313). Auch v. Höhnelt theilt mit, dass er bei seinen Versuchen in einzelnen Fällen eine Beschleunigung der Keimung beobachtet habe (vergl. S. 316).

Unter gewöhnlichen Bedingungen brauchen die zum Keimen aus gelegten Samen, bei genügender Temperatur und genügender Feuchtigkeit, je nach der Species eine mehr oder weniger lange Zeit, um in einen Zustand zu kommen, in welchem die einzelnen Theile des Keim's anfangen zu wachsen. Es wäre nun möglich, dass die Samen bei geringem Wassergehalt und nicht zu hoher Temperatur (60—70° C.)

schneller in jenen Zustand gelangen als unter normalen Bedingungen. Welcher Art die begünstigenden Einflüsse sind, ob es sich um tiefer gehende physiologische Erscheinungen, oder nur um eine Auflockerung und leichtere Quellungsfähigkeit der Samenschale handelt, darüber ist zunächst natürlich nichts auszusagen.

Sicherlich schadet jede Temperatur oberhalb des oberen Nullpunktes für die Keimung, bei ganz durchnässten Samen um so mehr, je höher die Temperatur ist und je länger dieselbe einwirkt und ferner wird von einem gewissen Wassergehalt der Samen an irgend eine Temperatur oberhalb des oberen Nullpunktes für die Keimung, im Allgemeinen um so mehr schaden, je grösser der Wassergehalt der Samen ist. Es bleibt aber die Einschränkung bestehen, dass Temperaturen bis zu 60—70 ° C. auf die Keimfähigkeit mancher Samen günstig einwirken können, wenn der Wassergehalt derselben eine bestimmte Grenze nicht überschreitet.

Wenn Samen oder Sporen in kochendem Wasser ihre Keimfähigkeit nicht verlieren, so wird dies wohl immer nur daran liegen, dass sie durch irgend welche Organisationsverhältnisse längere Zeit vor dem Eintritt des Wassers in die inneren Gewebe geschützt sind.

Wie die Tödtung der Samen durch hohe Temperaturen stattfindet, ist zunächst nicht aufgeklärt. Sicherlich aber hat diese Tödtung nichts mit dem Gerinnen des Eiweiss' zu thun, denn die Samen sterben auch bei Temperaturen, die unter der Gerinnungstemperatur des Eiweiss' liegen, wenn jene Temperaturen nur genügend lange einwirken, und können andererseits Temperaturen oberhalb der Gerinnungstemperatur, selbst wenn sie nicht ganz trocken sind, durch mehrere Stunden ertragen. Diese Thatsache hebt auch Sachs¹⁾ für saftige Pflanzentheile gegenüber H. Hoffmann²⁾ hervor.

Ebenso sind auch nur die Schädigungen der Keimfähigkeit durch Erwärmung zunächst nicht aufgeklärt. Ob es sich dabei um eine starke Verhärtung und somit geringere Quellungsfähigkeit der Schale handelt (F. Haberlandt vergl. S. 314), oder um irgend welche andere Dinge, ist nicht zu sagen. Diese Seite der Frage bedarf noch weiterer Untersuchungen.

Ich glaube doch, dass die Schädigungen nicht bloss die Samenschale treffen, sondern viel tiefer gehen. Bei fernerem eingehenderen Untersuchungen wären das Verhalten der Samenschale, das Verhalten

¹⁾ Sachs in Flora 1864. S. 9. 34. 39. 75. — Ueber die obere Temperaturgrenze der Vegetation.

²⁾ H. Hoffmann in Pringsheim's Jahrbüchern II. S. 327.

der Reservestoffe, die histologischen Eigenschaften des Keims resp. des Endosperms, die osmotischen Erscheinungen zu berücksichtigen. Sehr wichtig wären chemische Untersuchungen, Auftreten von Fermenten, Veränderungen der Reservestoffe etc. Da bei den stark geschädigten Samen eine sehr lange Keimdauer bemerkbar ist, mögen die Reservestoffe durch die Temperaturwirkungen vielleicht in einen Zustand übergeführt werden, in dem sie unter dem Einfluss von Fermenten nur sehr langsam in eine für die Entwicklung des Keim's brauchbare Form übergehen. Von ganz besonderer Wichtigkeit wären ferner Beobachtungen über die weitere Entwicklung der Keimpflanzen, sowohl während der Keimung wie in späteren Stadien. Die bisherigen Beobachtungen Velten's (vergl. S. 319) und Krasan's (vergl. S. 314) leisten in dieser Hinsicht noch nicht viel.

Ich habe diese Dinge nur deshalb angedeutet, um auf die Richtung, die weitere Untersuchungen zu nehmen haben, hinzuweisen.

Nachstehend stelle ich einige Sätze auf, die sich aus den Beobachtungen Anderer und meinen eigenen ergeben.

1) Es giebt kein ganz bestimmtes Temperatur-Maximum für die Keimung der Samen einer Species. Dasselbe macht vielmehr, je nach der Individualität der einzelnen Samen, geringe Schwankungen.

2) Die Samen erleiden durch die Einwirkung des Temperatur-Maximums während der Keimung eine Schädigung, die sich sowohl durch die Verlängerung der Keimungszeit bemerkbar macht, wie durch langsamere Entwicklung der Keime.

3) Die Keimung gesunder Samen verläuft unter normalen, günstigen Keimungsbedingungen ungleichförmig. Das heisst, von einer grösseren Zahl der zur Keimung ausgelegten Samen beginnt zu irgend einer Zeit eine geringe Anzahl zu keimen, später steigt die Zahl der in gleichen Zeiträumen keimenden Samen, erreicht ein Maximum, um dann allmählich bis auf Null zu fallen. — Beginn und Beendigung der Keimung, Eintritt des Maximums, sind sowohl nach den Species, wie nach der Samenbeschaffenheit innerhalb einer Species verschieden.

4) Unter den gewöhnlichen Verhältnissen verlieren Samen ihre Keimfähigkeit, je nach der Species und je nach der Individualität der betreffenden Samen mehr oder weniger schnell. Dieser Verlust der Keimfähigkeit tritt in dunstgesättigter Luft um so schneller ein, je höher die Temperatur ist; bei einer Temperatur von ungefähr 60° C. schon in 24 Stunden, aber auch bei gewöhnlicher Temperatur zeigt sich in dunstgesättigter Luft bei einigen Samen sehr schnell eine Schädigung der Keimfähigkeit.

5) In dunstgesättigter Luft kommen Samen, allein unter dem Ein-

fluss der Luftfeuchtigkeit, nicht zur Keimung, wenn die Temperatur constant bleibt. Eine Keimung kann nur dann eintreten, wenn durch grössere und wiederholte Temperaturschwankungen eine Thaubildung auf den Samen stattfindet.

6) Viele Samen erleiden durch den Aufenthalt in Wasser eine Schädigung ihrer Keimfähigkeit, die je nach Species und Individualität, mehr oder weniger schnell eintritt. Wenn schon Wasser von gewöhnlicher Temperatur diese Schädigung hervorbringt, so tritt dieselbe doch um so schneller ein, je höher die Temperatur ist. Immerhin aber können Samen eine Temperatur, die nicht zu hoch oberhalb des Keimungsmaximums liegt (bis 55°), in Wasser mehrere Stunden ertragen.

7) Befinden sich die Samen bei der Erwärmung unter Wasser in Sauerstoffmangel, so leiden sie mehr als bei ungehindertem Zutritt des Sauerstoffs.

8) Samen, die nass und gequollen sind, zeigen zwar gegen die schädigenden Einwirkungen höherer Temperaturen einen etwas grösseren Widerstand als saftige Pflanzentheile (Stengel, Blätter etc.), indessen ist der Unterschied kein sehr bedeutender. Ein grosser Unterschied besteht aber darin, dass Samen um so besser gegen die Schädigungen durch hohe Temperaturen geschützt sind, je mehr sie ausgetrocknet werden, während saftige Pflanzentheile schon durch das Austrocknen an sich zu Grunde gehen.

9) Wenn auch Samen durch sorgfältige Austrocknung gegen die Schädigungen hoher Temperaturen sehr geschützt werden können, so gelingt es doch selbst durch die weitgehendste Austrocknung nicht, die Schädigungen durch hohe Temperaturen ganz zu beseitigen.

10) Die höchsten Temperaturen, die manche Samen in ausgetrocknetem Zustand ertragen können, liegen zwischen 120 und 125° C. Man kann jedoch für die Samen einer Species keineswegs eine ganz bestimmte Tödtungstemperatur angeben, dieselbe wird vielmehr je nach der Individualität der Samen geringe Schwankungen zeigen. Ausserdem werden auch die Samen verschiedener Species bei verschiedenen Temperaturgraden getödtet.

11) Sicherlich schadet jede Temperatur oberhalb des oberen Nullpunktes für die Keimung, bei ganz durchnässten Samen um so mehr, je höher die Temperatur ist und je länger dieselbe einwirkt und ferner wird bei nicht ganz trockenen Samen irgend eine Temperatur oberhalb des oberen Nullpunktes für die Keimung, im Allgemeinen um so mehr schaden, je grösser der Wassergehalt der Samen ist. Es bleibt aber die Einschränkung bestehen, dass Temperaturen bis zu $60-70^{\circ}$ C. (mitunter wohl noch höher) auf die Keimfähig-

keit mancher Samen günstig wirken, wenn der Wassergehalt derselben eine bestimmte Grösse nicht überschreitet.

12) Wenn Samen in kochendem Wasser ihre Keimfähigkeit nicht verlieren, so wird dies wohl immer nur daran liegen, dass die betreffenden Organe durch irgend welche Organisationsverhältnisse gegen den Eintritt des warmen Wassers in die inneren Gewebe geschützt sind.

13) Die durch Wärmewirkungen hervorgebrachten Schädigungen der Samen, sowohl feuchter, wie trockener, (vergl. No. 4) haben grosse Aehnlichkeit mit denjenigen Schädigungen, die die Samen unter natürlichen Verhältnissen bei zunehmendem Alter erleiden, wenigstens so weit es sich um Beginn der Keimung, Keimdauer, Keimprocente handelt.

14) Die durch hohe Temperaturen hervorgebrachten Schädigungen machen sich in folgender Weise geltend: Der Beginn der Keimung wird verzögert. — Die absolute Keimzeit ¹⁾ sowohl, wie die relative ²⁾ wird verlängert. — Das Keimungsmaximum tritt immer später ein und wird immer undeutlicher. Das Keimungsprocent wird geringer.

15) Die Tödtung der Samen durch Temperaturwirkungen (25 bis 125° C.) hat nichts mit dem Gerinnen des Eiweiss zu thun.

Anhang.

Beschreibung des Horstmann'schen Thermostaten.

Der Thermostat besteht aus einem cylindrischen Gefäss, welches mit dreifacher Wand versehen ist Fig. I. Seite 348. Der Raum zwischen den Wänden a. und b. wird mit Wasser gefüllt. Durch den Raum zwischen den Wänden b. und c. strömt die warme Luft, welche von einer unter dem Thermostaten stehenden Gasflamme ausgeht. Durch feine Oeffnungen, die in dem oberen Theil dieses Raumes angebracht sind, tritt diese warme Luft aus dem Thermostaten heraus. Der mit doppelter Wand versehene Deckel des Thermostaten hat mehrere Durchbohrungen zur Einführung von Thermometern sowie eines Thermoregulators zur Regulirung der Flamme. Es genügt übrigens für die meisten Fälle durchaus, wenn man den Thermoregulator nicht in den Deckel einfügt, sondern durch eine der beiden Oeffnungen, die zur Füllung des Wasserraums bestimmt sind o. p. — Wird der übergreifende Rand des Deckels verkittet, so kann

¹⁾ Die Zeit, die vergeht, bis bei einer bestimmten Anzahl Samen (in unserm Fall je 100) die letzten gekeimten Samen auftreten.

²⁾ Vergl. Seite 334 Anmerkung.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Beiträge zur Biologie der Pflanzen](#)

Jahr/Year: 1877

Band/Volume: [2_3](#)

Autor(en)/Author(s): Just Leopold

Artikel/Article: [Ueber die Einwirkung höherer Temperaturen auf die Erhaltung der Keimfähigkeit der Samen 311-348](#)