

Die ersten Stadien der Kohlensäureausscheidung bei quellenden Samen.

Von **O. Jauerka**.

(Mit Tafel VII u. VIII.)

A. Einleitung.

Die Pflanzenatmung stellt nach Ad. Mayer¹⁾ einen jener elementaren physiologischen Vorgänge dar, auf deren Suche eine rationelle Physiologie vor allem ausgehen muß, und deren Erörterung sich vor allem lohnt. Beschäftigt man sich näher mit diesem Problem, so sieht man, falls die Atmung als eine von den mannigfachen Äußerungen der Lebenstätigkeit aufgefaßt wird, bei weiterem Vordringen immer mehr ein, daß man dieses Leben an sich nicht näher zu begreifen und zu definieren vermag, da die Summe seiner Merkmale mit unserer wachsenden Erkenntnis ins Ungemessene steigt und seine Begrenzungen immer weiter ins Ungewisse fliehen. Es gelingt nur Faktoren zu isolieren, durch deren Einzelstudium man dann rückschließend die Lebensvorgänge im allgemeinen deuten zu können hofft. Solche Erwartungen treiben wohl auch mit die intensiven Untersuchungen, welche immer mehr Licht zu bringen wünschen in unsere trotz gewaltiger Fortschritte noch nicht ganz klaren Vorstellungen hinsichtlich der tierischen und pflanzlichen Atmung.

Von allen Seiten, besonders von derjenigen der enzymatischen Forschung, rückt man gegen dieses Gebiet vor und behandelt jeden einzelnen nur bekannten Faktor für sich und seine Beziehungen zu den anderen, um dann auf das Ganze, auf die Atmung als einheitlichen Prozeß zu schließen. Daß man diesen Prozeß bis in seine innersten Phasen jemals wird voll erkennen können, ist, wie schon oben angedeutet, kaum zu erwarten. Dagegen sprechen schon jetzt die zahlreichen Erklärungsversuche und Hypothesen; man braucht hierbei nur an diejenigen zu denken, welche sich auf den Vorgang der enzymatischen Wirksamkeit beziehen.

In anderer Hinsicht erkennen wir aber immer mehr, wie parallel die Lebensvorgänge im tierischen und pflanzlichen Organismus ver-

¹⁾ Adolf Mayer, Über den Verlauf der Atmung beim keimenden Weizen. Landw. Versuchsstat. 1875 (18), S. 245.

laufen — ich erinnere hierbei nur an die Phytohaematine Palladins¹⁾; auch andere²⁾ Autoren finden eine weitgehende Analogie —, und gerade diese Analogie erweckt gewiß in uns das große Interesse zu dem Studium der pflanzlichen Physiologie. Wir wollen eben die Grenzen unserer Erkenntnis bezüglich des Lebens und seiner Erscheinungen so weit wie möglich vorrücken; — dieses Leben klarer und deutlicher zu erkennen ist unser innigstes Streben.

Die überaus reiche Literatur von dem Entdecker der Pflanzenatmung Ingenhouß (1779) bis zur Gegenwart zeugt von dem Eifer, mit welchem man sich dem Studium des Respirationsprozesses widmete. In neuerer Zeit ist es vor allem die Palladinsche Schule, welche Fortschritte auf diesem Gebiete zu verzeichnen hat. Mannigfache Wandlungen haben die Anschauungen erfahren, mochten sie sich auf den Atmungsverlauf als solchen oder den Einfluß einzelner Faktoren auf diesen Prozeß beziehen. Vor allem tritt uns bei diesen Untersuchungen als ein besonders wichtiger Faktor die Temperatur entgegen.

Nehmen wir trockne Samen und untersuchen sie auf ihre Atmungs-tätigkeit, so finden wir, daß mittels der üblichen Methoden keine Kohlensäureausscheidung nachzuweisen ist. Der Stoffwechsel in den Zellen lufttrockner Samen vollzieht sich so schwach, daß man von einer eigentlichen Kohlensäureproduktion kaum noch sprechen kann. Die Samen ruhen also. Bietet man ihnen dagegen die Möglichkeit, Wasser aufzunehmen, so ändert sich das Bild, man möchte fast sagen, mit einem Schlage. Je nach der Höhe der Temperatur wird das Wasser mehr oder minder begierig aufgesogen —, die Samen quellen. Zunächst sehen wir physikalische, dann chemisch physiologische und wahrscheinlich auch morphologische Änderungen am Samen vor sich gehen: die Pflanze erwacht; man kann z. B. eine deutliche Steigerung der Atmungsintensität beobachten. Dieses Erwachen der Pflanze aus dem Ruhestadium im Samen, in welchem sie auf günstige Keimungsbedingungen harrt, speziell diesen Beginn einer deutlich wahrnehmbaren Atmung näher zu untersuchen, soll das Ziel der vorliegenden Abhandlung sein. Die Fragestellung lautet also etwa: wann und wie beginnt eine merkliche Atmung, d. h.:

¹⁾ Palladin vereinigt darunter die als Atmungspigmente bezeichneten oxydierten Chromogene, um auf ihre dem Haematin des Blutes gleiche physiologische Bedeutung hinzuweisen. W. P., „Über das Wesen der Pflanzenatmung“. *Biochem. Zeitschr.* XVIII. 1909, S. 151—206, und „Die Atmungspigmente der Pflanzen“. *Zeitschr. für physiologische Chemie* LV. 1908, S. 207.

²⁾ E. Abderhalden und A. Schittenhelm, „Die Wirkung der proteolyt. Fermente keimender Samen des Weizens und der Lupinen auf Polypeptide“. *Zeitschr. für physiol. Chemie* Bd. 49, 1906, S. 26.

- a) welche Bedingungen sind nötig, um eine solche wahrnehmbare Atmung zu veranlassen, und wann sind ihre ersten Spuren nachweisbar,
 b) lassen die gefundenen Resultate irgend welche anatomischen und chemisch physiologischen Gesetzmäßigkeiten erkennen?

Es ist bei einem derartigen Problem von vornherein zu erwarten, daß es sich darum handeln wird, minimale Veränderungen in der Atmungsgröße oder im physiologischen Verhalten mit Sicherheit festzustellen, daß man daher zunächst sein Augenmerk auf eine sehr empfindliche und dabei sichere Methode zu lenken hat. Ist dann an der Hand einer großen Zahl von einheitlichen Untersuchungen eine sichere Grundlage geschaffen, so kann man bei weiterem Fortschreiten darauf fußen und durch Variationen besonders bezüglich des Materials einen tieferen Einblick in die Einzelvorgänge des Gesamtprozesses bekommen.

B. Untersuchungen.

I. Methodischer Teil.

Die Pflanzenatmung beruht im wesentlichen auf Sauerstoffabsorption und der Ausscheidung von Kohlensäure und Wasser. Läßt man das letztere unberücksichtigt, so kann man den Respirationsprozeß in zweierlei Hinsicht untersuchen: einmal kann die Sauerstoffaufnahme, dann die Kohlensäureabgabe verfolgt werden. Man könnte auch beide Betrachtungsweisen kombinieren und das quantitative Verhältnis beider Größen $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$ prüfen sowie seine etwaigen Änderungen näher verfolgen¹⁾. Das letztere Verfahren ist jedoch für unsere Zwecke nicht gerade praktisch, da die Änderung eines Quotienten auf der Änderung zweier Größen beruhen kann. Da ferner anzunehmen ist, daß die bei einer minimalen Atmungsintensität aufgenommenen Sauerstoffmengen aus methodischen Gründen zu gering sein würden, als daß sie hätten genau festgestellt werden können, so beschränkte ich mich auf die Bestimmung der ausgeschiedenen Kohlensäurequanten.

a. Methode.

Als Grundlage für die Methode diente die bekannte Versuchsanstellung von Pettenkofer-Pfeffer²⁾, die so modifiziert wurde,

¹⁾ z. B. G. Bonnier et L. Mangin, Recherches sur les variations de la respiration avec le développement des plantes. *Annal. d. scienc. natur.* VII. série, T. 2, 1885.

²⁾ W. Pfeffer, Über intramolekulare Atmung. Untersuchungen aus dem botan. Institut zu Tübingen, I. S. 636 (1881—85). Vergl. W. Palladin und S. Kostytschew in Abderhaldens Handbuch zu biochem. Arbeitsmethoden, III. 1910, S. 479.

wie es langwierige Vorversuche als praktisch erwiesen. Ein kohlenstofffreier Luftstrom wurde über das Untersuchungsmaterial geleitet und die mitgerissene Kohlensäure an eine Kalkwasserlösung von bekanntem Titer gebunden. Als Maßstab der Atmungsintensität wählte ich die Zeit, innerhalb deren eine bestimmte Menge Kohlensäure abgetrennt wurde.

Der Apparat.

Um den Apparat besonders für ausgedehnte Versuche dicht gegen die Einwirkung der atmosphärischen Kohlensäure abzuschließen, waren große Schwierigkeiten zu überwinden. Denn Gummistopfen und auch gute Gummischlauchverbindungen erwiesen sich nicht einwandfrei; und doch hat sich die Mehrzahl der bisherigen Autoren mit Gummidichtungen begnügt. Nur Kolkwitz¹⁾ scheint von pflanzenphysiologischer Seite diese Fehlerquelle bisher berücksichtigt zu haben; wenigstens hebt er allein hervor, daß Gummi Sauerstoff aufnimmt und Kohlensäure abscheidet. Dieser Übelstand mußte besonders dann zu befürchten sein, wenn höhere Temperaturen bei den Versuchen verwendet wurden. Die anderen Autoren konnten auch diese Fehlerquelle bis zu einem gewissen Grade unberücksichtigt lassen insofern, als sie mit konstanten Zeiten und größeren Kohlensäuremengen arbeiteten und so ganz gut einen relativen und kleinen Fehler in Anrechnung bringen konnten. Bei den hier angestellten Versuchen mußte dies vermieden werden, da die Dauer der Versuche außer von anderen Faktoren besonders von der Temperatur abhing und die Zeit so von vornherein unbestimmt war. So hätte man bei der zu erwartenden minimalen Atmung leicht falsche Schlüsse ziehen können.

Auch Versenken unter Wasser bietet keine Sicherheit, wovon man sich leicht überzeugen kann: man fülle ein Reagensglas mit destilliertem Wasser, mache es eine Spur alkalisch und deute dies durch einen Indikator, etwa Phenolphthalein, an. Das Glas wird mit einem sauberen (Gummi- oder) Korkstopfen verschlossen und unter Wasser gebracht. Schon nach einigen Stunden verschwindet die Alkalinität, wie der Indikator anzeigt. Die Lösung wird neutralisiert, und zwar durch die im Wasser gelöste Kohlensäure.

Selbst Glasschliffe sind erst auf ihre Güte hinsichtlich eines dichten Luftverschlusses zu prüfen. Dies kann man sehr leicht, indem man die Schliffe unter Quecksilber bringt und den Apparat unter Druck setzt: an den undichten Stellen springt dann das Quecksilber empor, und man sieht so die Luft entweichen. Einzige Sicherheit bieten nur direkte Gasverschmelzungen und, soweit es nötig ist, gute, gefettete

¹⁾ R. Kolkwitz, Über die Atmung der Gerstenkörner. Blätter für Gersten-, Hopfen- und Kartoffelbau. Nov. 1901, S. 370—383.

Glasschliffe, die man zweckmäßig noch unter Quecksilber bringt (vergl. Fig. 2).

Die Untersuchungen wurden an zwei Apparaten vorgenommen: der eine war speziell für hohe, der andere für niedere Temperaturen gebaut. Bei mittleren (Zimmer-)Temperaturen wurden beide benutzt.

Der Luftstrom wurde nicht durchgesogen, wie die meisten Autoren es getan haben, sondern durchgedrückt. Den Vorteil dieses Verfahrens hatten mir Vorversuche gezeigt; auch Kolkwitz¹⁾ weist schon darauf hin. Zwei große Wasserflaschen, welche je 25 l faßten, wurden dazu verwandt; durch Abheben wurde die Luft durch den Apparat gepreßt. Der gleiche Gang wurde mittels Klemmschrauben so reguliert, daß etwa 3 l Luft stündlich durchgeleitet wurden. Vorgepumpt, wie ich das Befreien des Apparates von atmosphärischer Kohlensäure in der Vorperiode bezeichnen möchte, wurde schneller.

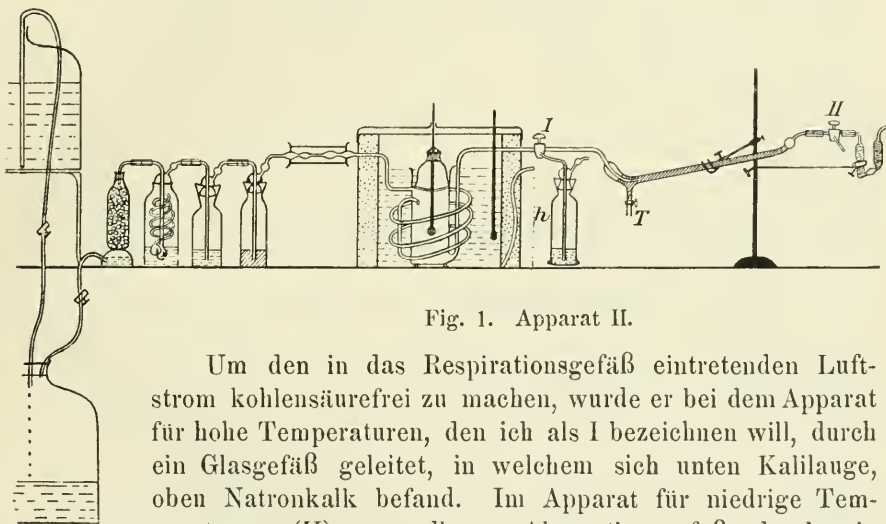


Fig. 1. Apparat II.

Um den in das Respirationsgefäß eintretenden Luftstrom kohlensäurefrei zu machen, wurde er bei dem Apparat für hohe Temperaturen, den ich als I bezeichnen will, durch ein Glasgefäß geleitet, in welchem sich unten Kalilauge, oben Natronkalk befand. Im Apparat für niedrige Temperaturen (II) war dieses Absorptionsgefäß durch ein U-rrohr mit Bimsteinstückchen ersetzt, welche mit Kalilauge durchtränkt waren. Weiter passierte an beiden Apparaten die Luft eine große Waschflasche mit Spiralgang und eine gewöhnliche Waschflasche; beide enthielten ebenfalls Kalilauge. Diese wurde aus chemisch reinem Stangenkali hergestellt. Es folgte eine weitere Waschflasche, welche die gleiche Lösung wie die später sich anschließende Pettenkoferröhre enthielt. Diese Lösung sollte zum Vergleich dienen und anzeigen, daß der Luftstrom vor seinem Eintritt in das Respirationsgefäß tatsächlich frei von Kohlensäure war. Beim Apparat II war diese Ver-

¹⁾ R. Kolkwitz, Über den Einfluß des Lichtes auf die Atmung der niederen Pilze. Jahrb. für wiss. Botanik. Bd. XXXIII. 1899.

O. Jauerka, Die ersten Stadien der Kohlensäureausscheid. bei quellend. Samen. 198

gleichsflasche weggelassen worden, nachdem sicher festgestellt war, daß auch er kohlenäuredicht hielt.

Die ersten Waschflaschen waren mit dickem Luftpumpenschlauch verbunden und ganz nah aneinander gerückt, so daß die Glasenden innerhalb des Schlauches aufeinander stießen. Von der Stelle an, wo die Dichtigkeit auf Kohlensäure von größter Wichtigkeit war, besaß der Apparat nur Glasverbindung, d. h. die berührenden Enden der einzelnen Teile waren vom Glasbläser aneinander geschmolzen. Die Vergleichsflasche war mit dem sich anschließenden Schlangenrohr durch einen Ostwaldschen Doppelschliff verbunden. Ein Doppelschliff war gewählt, um die Schliffe gut ineinander drehen zu können. Durch Gummiband wurden sie dauernd noch weiter ineinander gepreßt. Dem Schliff folgte ein Schlangenrohr, Respirationsgefäß, Dreiweghahn und Pettenkoferröhre; die Anordnung kann man aus der Figur 1 ersehen. Die letzten 5 Teile waren aneinander geschmolzen, bildeten also mit der letzten Vergleichsflasche ein Stück und waren sämtlich aus Glas hergestellt. Scheinbar sieht das Ganze sehr zerbrechlich aus. In Wirklichkeit aber machen die mannigfachen Glaswindungen das System sehr elastisch. Dadurch, daß alles aus Glas und alles zusammengeschmolzen war, konnte man den Apparat für hohe und tiefe Temperaturen benutzen, ohne befürchten zu müssen, daß Verbindungen mit verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten irgendwie Undichtigkeiten hervorrufen konnten.

Das Respirationsgefäß stand in einem Wasserthermostaten, dessen hohe und mittlere Temperaturen bei I mittels Sicherheitsleuchtgasbrenners und Reichardtsehen Thermoregulators eingestellt und konstant gehalten werden konnten. Die tiefen Temperaturen wurden bei II durch Eis und Eiswasser erreicht, welches man in gewissen Mengen zutropfen ließ. Vom Boden dieses Wasserthermostaten für niedere Temperaturen ging ein Rohr ab und stieg bis zu der im Thermostaten gewünschten Wasserhöhe (h) an. Dieses sollte das zufließende Wasser regulieren und das zu Boden sinkende Wasser von 4° C. entfernen. Die Wasserthermostaten bestanden aus Metallgefäßen, die durch Packungen bei I mit Kieselgur und Asbest, bei II mit Sägespänen, Watte und Filz vor Wärmeverlust geschützt waren. Doch konnte bei dem Thermostaten für hohe Temperaturen die Gasflamme durch eine Aushöhlung den Boden des inneren wassergefüllten Gefäßes erreichen (s. Figur 2).

Die Luft wurde durch das im Wasserbade befindliche Glasschlangenrohr auf die gewünschte Temperatur vorgewärmt, trat von oben in das Atemgefäß ein und wurde vom Boden aus weiter geleitet, damit die dorthin sinkende ausgeatmete Kohlensäure, die ja schwerer ist als die atmosphärische Luft, mitgerissen würde. Vorversuche

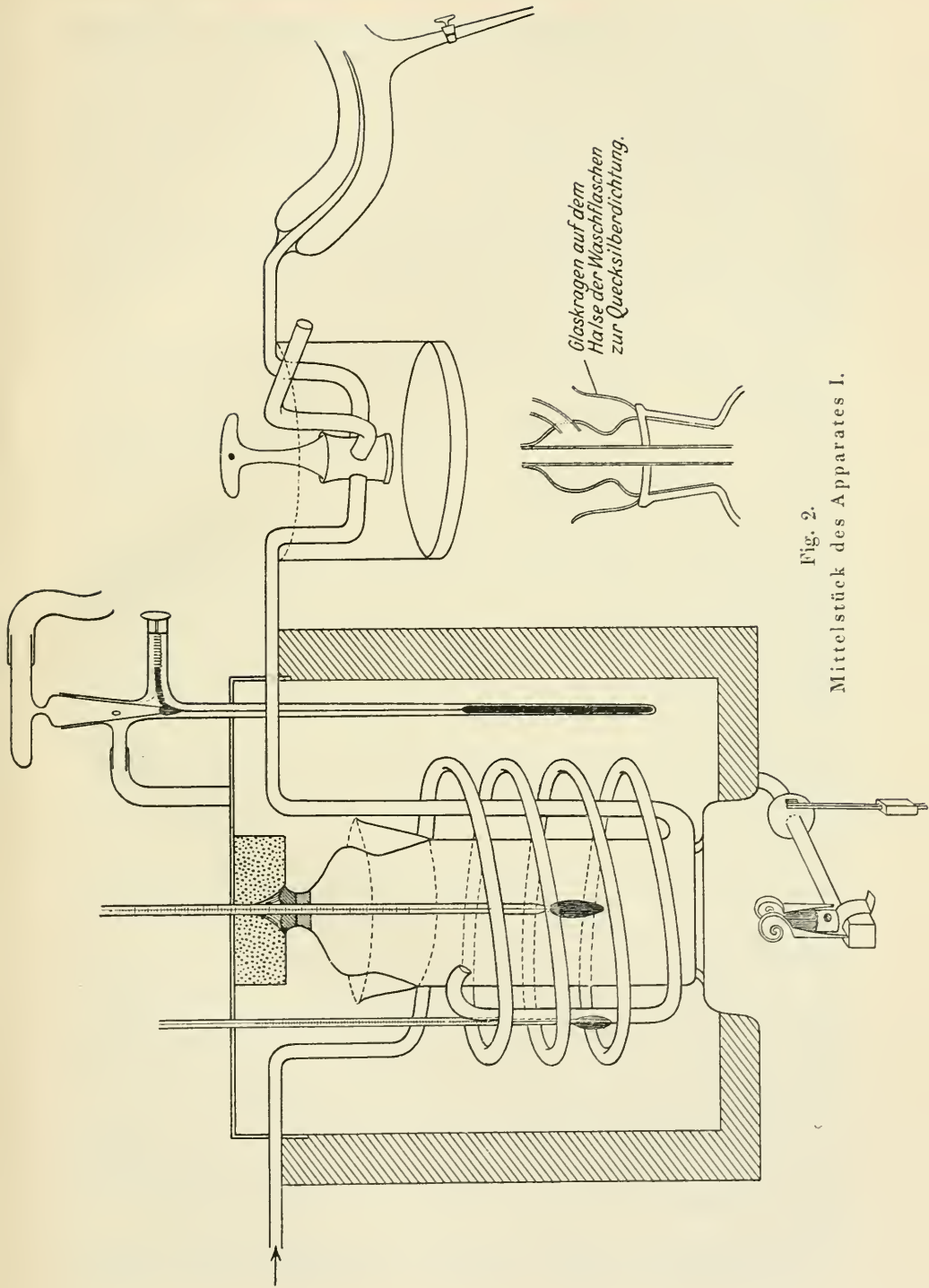


Fig. 2.
Mittelstück des Apparates I.

O. Jauerka, Die ersten Stadien der Kohlensäureausscheid. bei quellend. Samen. 200
 zeigten, daß das Schlangenrohr seinen Anforderungen in Bezug auf die Vorerwärmung des Luftstromes besonders auch bei hohen Temperaturen genügte.

Der Deckel des Respirationsgefäßes besaß einen Glasschliff mit Quecksilberdichtung. Er hatte oben eine Öffnung, die etwa 2 cm flaschenhalsartig ausgezogen war. Durch diese wurde ein Thermometer gesteckt, welches bis zum Untersuchungsmaterial herabreichte. Das Thermometer saß in einem tief eingepreßten Gummistopfen, über den Quecksilber geschichtet war. Die noch übrig bleibende Vertiefung wurde mit Siegellack, in einem Falle (bei 65%) mit einem Gemisch von diesem mit Gips, zugeschmolzen.

Der Luftstrom trat aus dem Respirationsgefäß durch einen Dreiweghahn in die Pettenkoferröhre. Dieser Dreiweghahn war so eingerichtet, daß er nötigenfalls auch unter Quecksilber hätte gesetzt werden können, eine Vorsichtsmaßregel, die sich nachher bei Verwendung von gutem Hahnfett als unnötig erwies. Das Zuleitungsrohr war in die Pettenkoferröhre eingeschmolzen (s. Figur 2) und in eine feine Öffnung ausgezogen, damit die Luftperlen recht fein austreten konnten. Infolge des Innendruckes und der Kapillaritätskonstanten kann man leicht durch geeignete Stellung der Glashähne einen gleichmäßigen Gang der Luftbläschen erreichen (Kolkwitz). An dem unteren Knie der Pettenkoferröhre war ein Glastubus mit Hahn angeschmolzen, um durch ihn von der Nebenleitung des zweiten Dreiweghahns II aus durch Saugen die Röhre schnell beschicken zu können. Dies war wichtig, damit die Lösung nicht zu lange mit der atmosphärischen Luft in Berührung kam. Wie ich später bemerkte, hatte Rischawi¹⁾ schon eine im Prinzip ähnliche Verbesserung vorgeschlagen.

An die Pettenkoferröhre schloß sich mittels Luftpumpenschlauchverbindung wieder ein Dreiweghahn und an dessen einem Ende eine U-röhre mit Bimsteinstückchen und Kalilauge an, um das Eindringen der atmosphärischen Luft in den Apparat von dieser Stelle aus zu verhindern. Diese Schlauchverbindung erwies sich beim Stillstand des Apparates nicht sicher gegen das Eindringen von Kohlensäure, wohl aber war sie tagelang kohlensäuredicht beim Durchdrücken des Luftstromes. Die Pettenkoferröhre wurde deshalb erst immer kurz vor dem Durchleiten des Luftstromes frisch beschickt.

Der Dreiweghahn I war gewählt, um durch die eine Bohrung das Respirationsgefäß vor dem eigentlichen Versuche gut und bequem von Kohlensäure befreien zu können, welche beim Beschicken des

¹⁾ L. Rischawi, Einige Versuche über die Atmung der Pflanzen. Landw. Versuchsstat. 1876 (19), S. 321.

Apparates aus der Atmosphäre unvermeidlich mit hineingelange. Es wurde bei dem Vorpumpen einfach ein kohlenstofffreier Luftstrom eine ausgemessene Zeitlang durch die Nebenleitung gedrückt, die durch eine Waschflasche mit Kalilauge vor dem Rücktritt der Kohlensäure aus der Luft geschützt war. Die Nebenleitung am zweiten Dreiweghahn diente, wie gesagt, dazu, durch Ansaugen die Pettenkofer-röhre durch den Tubus (T) schnell füllen zu können (Fig. 1); dies konnte leicht während des Vorpumpens geschehen.

Die Dimensionen des Respiationsgefäßes waren ziemlich klein gewählt, um möglichst schnell auf die gewünschte Temperatur zu kommen und den schädlichen Raum zu verringern: Respiationsgefäß + Schlangenrohr + Zu- und Ableitung faßten rund 240 ccm. Das Respiationsgefäß hatte einen Durchmesser = 4 cm und eine Höhe = 13 cm. Die Wasserthermostaten sind auf den Figuren im Verhältnis zu klein dargestellt.

Die Lösung.

Als Maßstab für die Atmung wurde diejenige Zeit angesehen, innerhalb deren die Samen so viel Kohlensäure ausgeschieden hatten, daß sie damit eine alkalische Lösung von bekanntem Titer neutralisieren konnten. Die Untersuchung bez. der Atmungsintensität kann in diesem Falle natürlich nur relativ sein, da ihre Größe vom Titer der Lösung abhängt. Je geringer der Titer ist, um so weniger Kohlensäure brauchen die Samen auszuschleiden, um die Lösung zu neutralisieren; um so eher sehen wir also den durch einen Indikator angezeigten Umschlag erreicht, welcher nach meiner Methode den Beginn einer deutlichen Atmung darstellen soll. Je empfindlicher dieser Umschlag eingestellt ist, um so größer wird aber auch die Wirksamkeit der unvermeidlichen Fehler sein, wie sie beim Einfüllen der Lösung etc. begangen werden. Man muß sich also davor hüten, die Feinheit der Methode auf die Spitze zu treiben.

Langwierige Versuche hatte ich angestellt mit Nilblausulfat als Indikator. Die alkalische Lösung ist dabei rot und schlägt bei der Neutralisation in Blau um. Hierbei erschien mir Kalkwasser geeigneter als das sonst gebräuchliche Barytwasser. Kurze Versuche z. B. bei hohen Temperaturen mit Nilblau zeigten ganz befriedigende Resultate. Bei lang andauernden Versuchen mit minimaler Atmung bildeten sich dagegen ausfallende Salze, an die der (alkalisch) rote Farbstoff gebunden wurde, so daß die nunmehr farblose Lösung nicht in Blau umschlagen konnte.

Es wurde zu diesen Versuchen abgekochtes destilliertes Wasser, abgestandenes Leitungswasser, auch mit Zusatz von Alkohol, um die Fällung des Farbstoffes zu verhindern, oder von Chlornatriumlösung

O. Jauerka, Die ersten Stadien der Kohlensäureausscheid. bei quellend. Samen. 202

benutzt, um einen leichteren Umschlag zu erzielen, — aber immer derselbe negative Erfolg.

Phenolphthalein zeigte diese unliebsame Nebenerseheinung nicht und lieferte besonders bei hohen Temperaturen den Umschlag recht scharf. Bei niederen Temperaturen, wo nur minimale Spuren von Kohlensäure ausgeschieden werden, dauert der Umschlag länger; aber bei einiger Übung kann man auch hier die Zeit des Umschlages besonders mittels Vergleichsröhrens ziemlich genau feststellen. Das destillierte Wasser, welches für die Lösung in der Pettenkoferröhre benutzt wurde, mußte, um ein gleichmäßiges Ausgangsmaterial zu haben, stets ausgekocht werden; andernfalls konnten beträchtliche Verschiedenheiten hinsichtlich der Resultate auftreten¹⁾. Von der komplizierten Einrichtung Blaekmanns²⁾, die Titration unter Kohlensäureabschluß auszuführen, glaubte ich absehen zu können, da unter konstanten Bedingungen eingefüllt und eine Rücktitration aus später angeführten Gründen (s. S. 211) nicht vorgenommen wurde.

Es wurden immer 220 cem abgekochten destillierten Wassers benutzt. Diesem Quantum wurden 0,75 cem $\frac{1}{40}$ normal Kalkwasser + 7 Tropfen Phenolphthaleinlösung (1 g Phenolphthalein + 50 cem absol. Alkohol + 50 cem Wasser in einer Tropfflasche) zugesetzt. Das Kalkwasser wurde mit $\frac{1}{40}$ normal Oxalsäure titriert und der Titer häufig revidiert. Von dieser Lösung gingen 120 cem in die Pettenkoferröhre; diese Menge besaß also an Kalkwasser

$$\frac{0,75 \cdot 120}{220} = \frac{4,50}{11} = 0,409 \text{ cem.}$$

Die absorbierte Kohlensäure, welche diese Lösung zu neutralisieren vermag, findet man in Grammen, wenn man diese Zahl durch 40 dividiert und mit dem Kohlensäureäquivalent für 1 cem der Normal-säure = 0,022 multipliziert. Man erhält $\frac{0,41 \cdot 0,022}{40} = \frac{0,00451}{20}$

$$= 0,0002255 \text{ g}$$

$$= 0,225 \text{ mg.}$$

Der Rest der angerichteten Lösung kam in ein Vergleichsröhren von gleichem Querschnitt wie die Pettenkoferröhre und wurde unter Quecksilber gebracht. Bei den späteren Versuchen konnte ich infolge der Übung das Vergleichsröhren fortlassen. Mit dieser Lösung habe ich fast stets gearbeitet, da sie für meine Zwecke gerade die geeignete Empfindlichkeit besaß. Sie ist intensiv rot gefärbt und zeigt

¹⁾ Vesterberg, Titrimetrische Bestimmung von Kohlensäure. Zeitschrift für physikal. Chemie, Bd. 70.

²⁾ F. F. Blaekmann, Experimental Researches on Vegetable Assimilation and Respiration. Nr. I, Philosophical Transactions, S. 485 (1895), u. Annals of Botany Vol. IX, S. 101.

schon minimale Spuren von Kohlensäure durch einen verschleierten Farbton lange vor der Neutralisation an.

Es kamen immer rund 7 g lufttrockene Samen in das Respirationsgefäß. Die auf dieses Gewicht entfallende Zahl kann man sich leicht aus dem angegebenen Korngewicht berechnen; sie steigt also, je leichter die Samen sind. So kamen von *Brassica* 1750 auf dieses Gewicht, von Weizen etwa 135 Stück.

Irgend welche Periodizitäten (vergl. z. B. Arthur Meyer und Nicolas Deleano in *Zeitschrift für Botanik*, III. Jahrg., 10. Heft 1911 und die dort angeführte Literatur) waren in diesen Keimungsstadien nicht zu berücksichtigen. Da der Wasserthermostat den Lichteinfluß ausschaltete, fielen auch die dadurch etwa hervorgerufenen Komplikationen um so eher hinweg, als die Versuche höchstens auf 48 Stunden ausgedehnt wurden und dann in diesen Fällen die betreffende Wasseraufnahme so gering war, daß von einer intensiveren Lebenstätigkeit nicht die Rede sein konnte. Ganz anders liegen natürlich die Verhältnisse, wenn man mit einigen Tagen alten Keimlingen operiert, wo man z. B. auch den Einfluß der Laboratoriumsluft zu berücksichtigen hat. Die Samen scheinen in den von mir untersuchten frühen Quellungsstadien noch recht unempfindlich zu sein, wie die späteren Versuche zeigen werden.

Lufttrockene Samen geben nur so minimale Spuren von Kohlensäure ab, daß es mit Hilfe der üblichen (Pettenkofer-, Kaliapparat-) Methoden und auch der meinen in kürzeren Zeiträumen nicht möglich ist, diese Ausscheidung festzustellen. Es kam nun darauf an, den Zeitpunkt festzulegen, wo eine merkliche Steigerung der Kohlensäureproduktion einsetzt, die man als ein Verlassen des Ruhestadiums, als eine Äußerung des neu erwachenden Lebens ansehen kann. Dazu mußten die lufttrockenen Samen erst gewisse Mengen an Wasser aufnehmen.

Es bot anfangs Schwierigkeiten, wie den Samen das Wasser zur Aufnahme geboten werden sollte. Feuchter Sand und Erde eigneten sich schon aus technischen Rücksichten nicht; andererseits gaben Hobelspäne, Fließpapier und Filz mit Wasser befeuchtet schon nach relativ kurzer Zeit (2 Stunden) beträchtliche Kohlensäuremengen ab. Ob diese Erscheinung auf Absorption oder auf Tätigkeit von Mikroorganismen oder der Wirkung beider beruhte, wurde nicht näher untersucht. Am besten eigneten sich feuchte Leinenlappen, die vor jedem Versuche regelmäßig mindestens 15 Minuten lang ausgekocht wurden, um die anhaftenden Keime und Kohlensäuremengen, auch häufig zurückgebliebene Stoffe von vorhergegangenen Versuchen möglichst zu beseitigen und unschädlich zu machen. Wurden sie z. B. nur unter der Wasserleitung gesäubert, so zeigten sie eine deutliche

Kohlensäureabgabe. Die Samen wurden schnell in die frisch ausgekochten und infolge der Verdunstungskälte rasch abkühlenden Lappen eingewickelt und in ein Glaskörbchen gesetzt. Dieses war überall, besonders auch unten von großen Löchern durchbohrt, so daß die Luft ungehindert durchstreichen konnte, und paßte gerade in das Respirationsgefäß. Nun wurde der Deckel schnell aufgesetzt und mit Gewichten belastet, um einem eventuellen Hochgehen desselben durch den ziemlich starken Innendruck vorzubeugen, was besonders leicht bei hohen Temperaturen, wo das zwischen dem Schiffe befindliche Gemisch von Fett und Quecksilber flüssig wurde, hätte eintreten können.

Die Vorperiode.

Hierauf wurde 20—30 Minuten vorgepumpt. Diese relativ kurze Zeit genügte vollständig dazu, den Apparat von der beim Beschießen in ihn mit hineingelangten atmosphärischen Kohlensäure zu befreien, besonders wenn er lange genug vorher, z. B. bei Vorversuchen, in Gang gehalten war; diese Zeit war auch nötig, damit die Samen die gewünschte Untersuchungstemperatur annehmen konnten. Denn nach den thermoelektrischen Versuchen von Kuyper¹⁾, welcher in ähnlicher Richtung mit jungen Keimlingen operierte, genügen dazu ungefähr 12 Minuten, da besonders mit kleinen Samen und mit relativ geringen Mengen gearbeitet wurde, so daß nicht etwa die inneren von den peripherisch liegenden Samen an der Temperaturanpassung gehindert wurden. Länger als 20 Minuten brauchte nicht wegen der geringen Dimension des Respirationsraumes vorgepumpt zu werden, wie Dichtigkeitsversuche von 30 Stunden anzeigten. Vielleicht waren am Schluß der Vorperiode zwar noch äußerste Spuren von Kohlensäure im Apparat, diese vermochten aber nicht mehr eine Entfärbung der Phenolphthaleinlösung herbeizuführen. Theoretisch könnte man ja durch das Vorpumpen nie einen völlig kohlenstofffreien Raum erzielen. In der Praxis spielen aber solche Restspuren gegenüber den unvermeidlichen Fehlern (beim Einfüllen der Reaktionslösung) keine Rolle.

Viel länger als 20 Minuten durfte auch nicht vorgepumpt werden, da besonders bei hohen Temperaturen die Samen ev. schon merklich geatmet hätten und die dabei produzierte Kohlensäure für die Reaktionsgeschwindigkeit der „Anfangsatmung“ verloren gegangen wäre. Bei tiefen Temperaturen wurde das Vorpumpen länger ausgedehnt, da ja bei niederen Wärmegraden die Kohlensäure schwerer auszutreiben ist. Hier durfte auch längere Zeit darauf verwandt werden wegen der sehr langsamen Wasseraufnahme: in einer Stunde wurden

¹⁾ J. Kuyper, Über den Einfluß der Temperatur auf die Atmung der höheren Pflanzen. Recueil des Trav. bot. néerlandais VII. 1910.

bei $+ \frac{1}{2}^{\circ}$ C von Weizen (Sorte: Blaue Dame) nur 0,54% Wasser aufgenommen, also die Fruchtschale wohl gerade imprägniert.

Dichtigkeitsversuche von längerer Dauer (6—48 Stunden) wurden oft zwischen den einzelnen Untersuchungen vorgenommen, und zwar befanden sich dabei die ausgekochten Lappen im Apparat.

b. Das Untersuchungsmaterial.

Als Untersuchungsmaterial dienten die verschiedensten mono- und dicotylen Samenarten. Es mußte bei der Wahl darauf gesehen werden, eine große Anzahl von Individuen bei jedem Versuche benutzen zu können, um etwa vorhandene Individualcharaktere¹⁾ und andere Komplikationen zu unterdrücken, wie sie durch die Lage der Samen zur aufzunehmenden Feuchtigkeit hervorgerufen werden können. Versuche mit großen Samen (*Vicia Faba*, *Lupinus albus*) zeigten dies. Auch schmiegen sich kleine Samen, die ich so für die relativ geringe Maßeinheit von 7 g wählen mußte, viel leichter den befeuchtenden Lappen an, nehmen so schneller Wasser auf, und es besteht dadurch von vornherein die große Wahrscheinlichkeit, daß sie um so eher mit ihrer gesteigerten Kohlensäureausscheidung beginnen und einen Umschlag in der Pettenkoferröhre herbeiführen werden.

Alle Samen keimten gut bis auf die absichtlich zum Vergleich herangezogenen Dattelkerne.

Lange Zeit operierte ich mit Weizen, der mir nebst Analysen vom hiesigen landw. Institut gütigst zur Verfügung gestellt war²⁾. Dieser eignet sich gut für derartige Versuche, und auch frühere Autoren haben vielfach mit diesem Material gearbeitet.

Ferner wurden *Helianthus annuus*, *Lupinus nanus*, *Eryum Lens*, *Trigonella Foenum graecum*, *Brassica Napus*, *Ricinus Gibsoni* und *Phoenix dactylifera* untersucht. Diese bezog ich von einer hiesigen Samenhandlung. Welche Gesichtspunkte bei der Wahl dieses Materials leiteten, wird, um Wiederholungen zu vermeiden, bei der Einzelbesprechung angegeben werden.

Außer bei den Zucker- und Diastasebestimmungen wurde absichtlich, um jede Reizwirkung zu vermeiden, nur mit ganzen Samen gearbeitet.

Bis auf diejenigen Werte, wo es besonders vermerkt ist, wurde die prozentuale Wasseraufnahme auf das Gewicht lufttrockner Samen bezogen, wobei allerdings nicht dem Gewichtsverlust durch die

¹⁾ Nobbe (Handbuch der Samenkunde) und Detmer (Vergleichende Physiologie des Keimungsprozesses der Samen, Jena 1880) behandeln z. B. den Einfluß der Individualität und der Testa der Samen auf den Quellungsprozeß.

²⁾ Dafür möchte ich an dieser Stelle nochmals Herrn Geh. Rat Wohltmann meinen verbindlichsten Dank aussprechen.

Kohlensäureabgabe. Die Samen wurden schnell in die frisch ausgekochten und infolge der Verdunstungskälte rasch abkühlenden Lappen eingewickelt und in ein Glaskörbchen gesetzt. Dieses war überall, besonders auch unten von großen Löchern durchbohrt, so daß die Luft ungehindert durchstreichen konnte, und paßte gerade in das Respirationsgefäß. Nun wurde der Deckel schnell aufgesetzt und mit Gewichten belastet, um einem eventuellen Hoehgehen desselben durch den ziemlich starken Innendruck vorzubeugen, was besonders leicht bei hohen Temperaturen, wo das zwischen dem Schlicke befindliche Gemisch von Fett und Quecksilber flüssig wurde, hätte eintreten können.

Die Vorperiode.

Hierauf wurde 20—30 Minuten vorgepumpt. Diese relativ kurze Zeit genügte vollständig dazu, den Apparat von der beim Beschieken in ihn mit hineingelangten atmosphärischen Kohlensäure zu befreien, besonders wenn er lange genug vorher, z. B. bei Vorversuchen, in Gang gehalten war; diese Zeit war auch nötig, damit die Samen die gewünschte Untersuchungstemperatur annehmen konnten. Denn nach den thermoelektrischen Versuchen von Kuyper¹⁾, welcher in ähnlicher Richtung mit jungen Keimlingen operierte, genügen dazu ungefähr 12 Minuten, da besonders mit kleinen Samen und mit relativ geringen Mengen gearbeitet wurde, so daß nicht etwa die inneren von den peripherisch liegenden Samen an der Temperaturanpassung gehindert wurden. Länger als 20 Minuten brauchte nicht wegen der geringen Dimension des Respirationsraumes vorgepumpt zu werden, wie Dichtigkeitsversuche von 30 Stunden anzeigten. Vielleicht waren am Schluß der Vorperiode zwar noch äußerste Spuren von Kohlensäure im Apparat, diese vermochten aber nicht mehr eine Entfärbung der Phenolphthaleinlösung herbeizuführen. Theoretisch könnte man ja durch das Vorpumpen nie einen völlig kohlensäurefreien Raum erzielen. In der Praxis spielen aber solche Restspuren gegenüber den unvermeidlichen Fehlern (beim Einfüllen der Reaktionslösung) keine Rolle.

Viel länger als 20 Minuten durfte auch nicht vorgepumpt werden, da besonders bei hohen Temperaturen die Samen ev. schon merklich geatmet hätten und die dabei produzierte Kohlensäure für die Reaktionsgeschwindigkeit der „Anfangsatmung“ verloren gegangen wäre. Bei tiefen Temperaturen wurde das Vorpumpen länger ausgedehnt, da ja bei niederen Wärmegraden die Kohlensäure schwerer auszutreiben ist. Hier durfte auch längere Zeit darauf verwandt werden wegen der sehr langsamen Wasseraufnahme: in einer Stunde wurden

¹⁾ J. Kuyper, Über den Einfluß der Temperatur auf die Atmung der höheren Pflanzen. *Revue des Trav. bot. néerlandais* VII. 1910.

bei $+ \frac{1}{2}^{\circ}$ C von Weizen (Sorte: Blaue Dame) nur 0,54% Wasser aufgenommen, also die Fruchtschale wohl gerade imprägniert.

Dichtigkeitsversuche von längerer Dauer (6—48 Stunden) wurden oft zwischen den einzelnen Untersuchungen vorgenommen, und zwar befanden sich dabei die ausgekochten Lappen im Apparat.

b. Das Untersuchungsmaterial.

Als Untersuchungsmaterial dienten die verschiedensten mono- und dicotylen Samenarten. Es mußte bei der Wahl darauf gesehen werden, eine große Anzahl von Individuen bei jedem Versuche benutzen zu können, um etwa vorhandene Individualcharaktere¹⁾ und andere Komplikationen zu unterdrücken, wie sie durch die Lage der Samen zur aufzunehmenden Feuchtigkeit hervorgerufen werden können. Versuche mit großen Samen (*Vicia Faba*, *Lupinus albus*) zeigten dies. Auch schmiegen sich kleine Samen, die ich so für die relativ geringe Maßeinheit von 7 g wählen mußte, viel leichter den befeuchtenden Lappen an, nehmen so schneller Wasser auf, und es besteht dadurch von vornherein die große Wahrscheinlichkeit, daß sie um so eher mit ihrer gesteigerten Kohlensäureausscheidung beginnen und einen Umschlag in der Pettenkoferröhre herbeiführen werden.

Alle Samen keimten gut bis auf die absichtlich zum Vergleich herangezogenen Dattelkerne.

Lange Zeit operierte ich mit Weizen, der mir nebst Analysen vom hiesigen landw. Institut gütigst zur Verfügung gestellt war²⁾. Dieser eignet sich gut für derartige Versuche, und auch frühere Autoren haben vielfach mit diesem Material gearbeitet.

Ferner wurden *Helianthus annuus*, *Lupinus nanus*, *Eryum Lens*, *Trigonella Foenum graecum*, *Brassica Napus*, *Ricinus Gibsoni* und *Phoenix dactylifera* untersucht. Diese bezog ich von einer hiesigen Samenhandlung. Welche Gesichtspunkte bei der Wahl dieses Materials leiteten, wird, um Wiederholungen zu vermeiden, bei der Einzelbesprechung angegeben werden.

Außer bei den Zucker- und Diastasebestimmungen wurde absichtlich, um jede Reizwirkung zu vermeiden, nur mit ganzen Samen gearbeitet.

Bis auf diejenigen Werte, wo es besonders vermerkt ist, wurde die prozentuale Wasseraufnahme auf das Gewicht lufttrockener Samen bezogen, wobei allerdings nicht dem Gewichtsverlust durch die

¹⁾ Nobbe (Handbuch der Samenkunde) und Detmer (Vergleichende Physiologie des Keimungsprozesses der Samen, Jena 1880) behandeln z. B. den Einfluß der Individualität und der Testa der Samen auf den Quellungsprozeß.

²⁾ Dafür möchte ich an dieser Stelle nochmals Herrn Geh. Rat Wohlmann meinen verbindlichsten Dank aussprechen.

Alle diese Erörterungen sprechen also dafür, daß die in der Reaktion der Phenolphthaleinlösung festgestellte Kohlensäure auch wirklich von den Samen produziert wird.

b. Atmung lufttrockner Samen.

Untersucht man mittels der üblichen Methoden die Kohlensäureausscheidung von lufttrocknen Samen, so gelingt es nicht, eine solche nachzuweisen. Daher mag es auch kommen, daß man bis in neuere Zeit an einer solchen Kohlensäureproduktion überhaupt gezweifelt hat¹⁾ und den Beginn der Kohlensäureabgabe sowie einer merklichen Steigerung der Sauerstoffaufnahme mehr an den Schluß der Quellung verlegte. Manche Autoren schwankten in ihrer Stellungnahme dazu; andere konnten sich nicht vorstellen, daß die Atmung nach vollendeter Reife völlig sistiert werden und dann bei der Keimung neu erstehen sollte. Auch ruhende Kartoffeln etc. zeigen ja eine Kohlensäureausscheidung. Detmer²⁾ war z. B. der Ansicht, daß die Atmungsprozesse in lufttrocknen Samen so langsam verlaufen, daß man sie nicht nachweisen kann. Demnach müssen also große Kornmassen nach und nach an Gewicht verlieren, was auch festgestellt werden konnte³⁾. Man hätte so von dem Verlust an Trockensubstanz, der Temperatur und Zeit ganz gut auf die Atmungsintensität schließen können, eine Methode, wie sie Ad. Mayer⁴⁾ bei seinen Atmungsversuchen mit keimendem Weizen verwandte.

Eine endgültige Lösung hat Kolkwitz⁵⁾ in seiner Untersuchung „Über die Atmung der Gerstenkörner“ gebracht. Er führt meines Wissens auch zum ersten Male zahlenmäßige Belege für den Atmungsbetrag ruhender Samen an, welche er mit Hilfe einer ganz eigenartigen Methode feststellte. Er sammelte in einem zugeschmolzenen Gefäß, in welchem sich eine große Menge Samen befanden, durch längeres Aufbewahren bei konstanter Temperatur die exhalierete Kohlensäure an, ließ sie von Barytlauge absorbieren und stellte dann deren Titer fest. Danach wurden von 1 kg lufttrockner Samen bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 10 bis 12% innerhalb 24 Stunden 0,3 bis 0,4 mg Kohlensäure abgegeben. Wir müssen dabei wohl annehmen, daß auch das Endosperm am Leben ist⁶⁾ und atmet, wenn auch der Embryo

¹⁾ z. B. Pfeffer, Pflanzenphysiologie, 2. Aufl. 1897, I, S. 576.

²⁾ W. Detmer, Über die Einwirkung verschiedener Gase auf Pflanzenzellen. Landw. Jahrb. 1882, 11, S. 229.

³⁾ A. Müntz, Sur la Conservation des grains par l'ensilage. Compt. rend. 1881, T. XCII, S. 137 u. 97. ⁴⁾ A. Mayer, l. c.

⁵⁾ R. Kolkwitz, l. c. und: Über die Atmung ruhender Samen. Ber. der Deutsch. Bot. Ges. Bd. 19, S. 285, 1901.

⁶⁾ Hansteen und Pfeffer, Über die Ursache der Entleerung der Reservestoffe aus Samen. Flora Erg. Bd. 79 (1894).

im Vergleich dazu bedeutend intensiver Kohlensäure ausscheidet¹⁾. Um einen Begriff von dieser äußerst minimalen Kohlensäureabgabe zu bekommen, muß man sich vorstellen, daß ein Apparat, welcher schon auf 0,2 mg Kohlensäure reagiert, wie der meine, etwa 50 Tage ununterbrochen in Betrieb gehalten werden müßte, um mit Sicherheit anzuzeigen, daß 10 g lufttrockne Samen atmen. Wenn daher verschiedene bedeutende Forscher eine Atmung lufttrockner Samen in Abrede stellten, so ist dies daraus zu verstehen. Ebenso war näheres über den zeitlichen Beginn und die Art und Weise einer Atmungssteigerung bei quellenden Samen bisher nicht bekannt. Deshalb wendete ich meine Aufmerksamkeit diesen Fragen zu und suchte festzustellen, welchen Einfluß die Temperatur sowie die Art der Wasseraufnahme und der Reservestoffe auf dieses Einsetzen ausüben.

Kolkwitz²⁾ teilt in seiner Arbeit noch mit, daß ein Feuchtigkeitsgehalt von etwa 15 bis 16%, bezogen auf Trockengewicht, einen Wendepunkt in der Konsistenz des Gerstensamens bezeichnete, und daß auch damit die Atmungskurve intensiv zu steigen anfinge.

Zunächst stellte ich wiederholt Versuche mit lufttrocknen Samen von *Lupinus albus*, *Helianthus* und *Triticum* an, konnte aber, wie es ja nach den Befunden von Kolkwitz vorauszusehen war, bei der geringen Samenmenge nicht die geringste Entfärbung an der Reaktionslösung konstatieren. Auch ein sechsständiger Versuch bei 50° zeigte noch keine Kohlensäureausscheidung. Hierbei ist aber zu bemerken, daß meine Samen, welche in einem Laboratoriumsschrank lagerten, einen sehr geringen Feuchtigkeitsgrad besaßen. Er betrug bei lufttrocknen Weizenkörnern (Blaue Dame) nur 6,637% bezogen auf Trockengewicht. Zur Bestimmung wurden 10,020 g lufttrockene Weizenkörner bei 90° $\frac{5}{4}$ Stunden lang im Trockenschrank getrocknet und kamen dann 8 Tage in einen Exsiccator. Sie wogen danach 9,355 g. Also beträgt die Gewichtsabnahme 0,665 g, und man erhält den oben angegebenen Feuchtigkeitsgrad von 6,64% für lufttrocknen Weizen. (Von diesen getrockneten Weizenkörnern keimte in einem Monat nicht eines aus.) Bei diesem geringen Wassergehalt würde es natürlich noch viel schwieriger sein, eine merkliche Kohlensäureausscheidung nachzuweisen.

c. Erste merkliche Kohlensäureabgabe — Schwellenwerte.

Die Kohlensäureabgabe lufttrockner Samen verläuft also so schwach, daß man sie nur auf Umwegen feststellen kann. Um auf

¹⁾ C. Burlakow, Über die Atmung des Keimes des Weizens. Arb. der Naturf. Gesellschaft der Kaiserl. Univ. zu Charkow XXXI. 1897, Beilage S. I-XV.

²⁾ R. Kolkwitz, l. c.

direkt experimentellem Wege eine Kohlensäureproduktion während des Versuches beobachten zu können, muß man Samen mit höherem Feuchtigkeitsgehalte benutzen. Ich wollte nun denjenigen Feuchtigkeitsgrad bestimmen, wo man gerade eine merkliche Kohlensäureabgabe feststellen kann.

Für diese Untersuchungen ließ ich die Samen etwas Wasser von nassem Fließpapier aufnehmen und brachte sie dann, ohne sie in die feuchten Lappen zu wickeln, in den Apparat. Die Lappen kamen jedoch, wenn auch von den Samen getrennt — sie lagen ebenfalls in dem Glaskörbchen, ein Lappen unter, einer über dem Samen, von diesen durch Glasplatten gesondert — gleichfalls mit in den Apparat, da sonst den Samen bei höheren Temperaturen aus physikalischen Gründen Feuchtigkeit entzogen wurde. Denn die durchgedrückte Luft passiert die vorgeschalteten Waschflaschen bei Zimmertemperatur und ist deshalb bei der Thermostatentemperatur weit vom Taupunkt. Der mitgenommene Wasserdampf kondensiert sich dann an den kälteren Teilen nach Verlassen des geheizten Wasserthermostaten. So wird dem Respirationraum Feuchtigkeit entzogen. Bei derartigen „Schwellenversuchen“, wie ich sie zur Festlegung des gesuchten Feuchtigkeitsgrades anstellen mußte, ist es natürlich von größtem Interesse, daß der prozentuale Wassergehalt, den die Samen beim Einbringen in den Apparat besaßen, gewahrt wird. Denn einen Schwellenwert kann man nur so bestimmen, daß man darüber und darunter liegende feste Werte, in diesem Falle Feuchtigkeitsgrade mit und ohne merklicher Kohlensäureabgabe immer mehr einander nähert.

Die in den hier angeführten Versuchen auftretenden geringen prozentualen Schwankungen liegen wohl innerhalb der Fehlergrenze der nicht leicht einheitlich zu bestimmenden Wägungen.

Tab. II. **Schwellenversuche mit Weizen.**

(Blaue Dame.)

Datum	Aufn.- Temp.	Gewichtszunahme in %		Im Apparat		Temp.	Resultat
		vor Versuch	nach Versuch	Vor- periode	Um- schlag		
1.XII.	29 ⁰	8,9%	9,3%	12 ³² -12 ⁵²	8 ¹²	18,5 ⁰	Umschlag
6.XI.	25 ⁰	8,6	8,3	11 ⁷ -11 ²⁷	2 ¹⁵	30 ⁰	=
13.XI.	28 ⁰	5,7	6,0	9 ³⁰ -10 ⁰	10 ⁵⁵	50 ⁰	=
6.XI.	25 ⁰	4,7	4,3	10 ²⁶ -10 ⁴⁶	12 ⁶	50 ⁰	=
24.XI.	29 ⁰	3,9	4,1	11 ³⁷ -11 ⁵⁷	3 ⁴⁰	37 ⁰	=
23.XI.	29 ⁰	3,7	3,7	9 ⁵² -10 ¹²	4 ²⁰	25 ⁰	nur schwache Entfärb.
16.XI.	27 ⁰	3,6	3,4	10 ¹⁵ -10 ²⁸	2 ³⁰	45 ⁰	noch keine Entfärb.

Man sieht aus diesen Versuchen, daß es äußerst schwierig ist, einen bestimmten Feuchtigkeitsgehalt im Apparat bei den verschiedenen

Temperaturen konstant zu halten. Dabei ist auch zu berücksichtigen, daß hier wie bei allen angeführten Daten ein geringes Schwanken in der zweiten Dezimale der Gewichtszunahme auf die prozentuale Änderung einen großen Einfluß ausübt; darum sind auch die Gewichtsprozente nur auf eine Dezimale angegeben.

Die erste merkliche Kohlensäureabgabe bekam ich, wenn ich Weizen samen (Sorte Blaue Dame) mit etwa 4% Feuchtigkeitsgehalt bezogen auf lufttrockene Samen in den Apparat brachte, d. h. mit 11,3% bezogen auf Trockensubstanz. Bei diesen Untersuchungen wurden vorzugsweise hohe Temperaturen benutzt, um die mit diesem Feuchtigkeitsgrade Hand in Hand gehende Atmungsintensität möglichst zu steigern und so recht klar vor Augen zu führen. Die schädigende Wirkung höherer Temperaturen tritt in diesem Quellungsstadium nur sehr langsam ein (s. S. 34). Unter diesem Betrage von 4% Wasseraufnahme war eine Atmung und eine Steigerung der Kohlensäureproduktion gerade noch an dem etwas Blasserwerden der Lösung zu bemerken. War dieser Wert aber erreicht, so konnte man deutlich eine, wenn auch noch schwache Kohlensäureabgabe nachweisen.

Streng genommen bestimmt der Wert von etwa 4% Wasseraufnahme keine Schwelle, da ja auch darunter bei genügender Dauer der Versuche Atmung festgestellt werden könnte. Es ist mehr, wie Kolkwitz sagt, ein Wendepunkt der Atmungskurve bei steigendem Wassergehalt. Die hier für Weizen bei einem Feuchtigkeitsgrade von 11,5% festgestellte Atmungssteigerung entspricht offenbar der von Kolkwitz beobachteten bei 15% für Gerste (beides bezogen auf Trockengewicht). Auch für Helianthuskerne wurde dieser Wendepunkt bestimmt; er lag zwischen 4,5 und 8, also etwa bei 6% bezogen auf das lufttrockene Material.

Tab. III. **Helianthuskerne.**

Datum	Gewichtszunahme	Endgewicht	in %	Im Apparat	Temp	Resultat
30. V.	4,00—4,77	4,75	19%	8 ⁵⁵ —10 ⁵⁵	20°	Umschlag
31. V.	4,05—4,50	4,48	11	6 ³⁰ —8 ⁴⁵	20°	"
31. V.	4,00—4,18	4,18	4,5	10 ⁰ —2 ³⁰	20°	kaum Entfärbung
2. VI.	4,00—4,32	4,32	8,0	9 ²⁰ —10 ²⁵	20°	Umschlag

Rücktitrieren war bei so minimalen Spuren von Atmung nicht möglich, wollte man nicht durch die dabei mitspielenden Fehler ein falsches Bild von der Atmungsintensität bekommen. In diesem Stadium der „Quellung“ zeigt die Atmung noch recht geringe Energie. Man kann die ausgeschiedenen Kohlensäuremengen zwar mit größerer Deutlichkeit im Vergleich zu der Atmung trockner Samen feststellen,

aber die richtige Lebenskraft scheint noch zu fehlen, der junge Keim scheint noch nicht die Führung über die gesamte Lebenstätigkeit übernommen zu haben.

Um das Verhalten der Kohlensäureausscheidung bei weiterer Wasseraufnahme, so zu sagen, unter natürlichen Bedingungen zu beobachten, wurden die Samen in die ausgekochten feuchten Lappen gepackt, sodaß sie nun im Apparat Wasser aufnehmen konnten.

d. Wasseraufnahme.

Bezüglich der Wasseraufnahme will ich mich kurz fassen, da ja dieses Gebiet hinlänglich bearbeitet ist.

Bei längerem Verweilen in dampfgesättigter Atmosphäre absorbieren zwar die Samen eine gewisse Menge von Wasser, doch vermag diese noch nicht eine Keimung zu veranlassen. Man muß bei derartigen Versuchen natürlich Temperaturschwankungen vermeiden, um Kondensation auszuschließen. Einige Samen von *Lupinus albus*, welche sich in einer feuchten Kammer auf trockener Unterlage befanden, wurden bei Zimmertemperatur in einen gut wärmeisolierten Raum gestellt. Ein Same war beim Aufsetzen der Glasglocke der feuchten Kammer von einem Wassertropfen benetzt worden. Dieser Same keimte, wenn auch sehr langsam, aus. Die übrigen Samen strafften sich zwar, faulten aber nach einiger Zeit. Man hätte die Samen unter sterilen Verhältnissen keimen lassen und dazu etwa einen Apparat benutzen müssen, wie ihn W. Polowzow¹⁾ für derartige Zwecke konstruierte.

Nach allen bisherigen Versuchen scheint sich nur zu ergeben, daß Samen wohl Wasser verdichten können, daß dieser Betrag aber nicht hinreicht, die Entfaltung des Embryo zu ermöglichen, vielmehr zur Keimung tropfbar flüssiges Wasser nötig ist; Nobbe²⁾ geht noch weiter und meint, daß die im freien Boden obwaltenden Temperaturschwankungen scheinbar nicht geeignet sind, die Kondensation und die Aufnahme des in der Bodenluft suspendierten Wasserdampfes durch Samen zu befördern und mangelnde Bodennässe zu kompensieren.

Das Minimum der zur Keimung erforderlichen Wassermenge wurde von Kleemann³⁾ untersucht: es ist bei den einzelnen Samenarten verschieden, so daß bei einem gewissen Prozentgehalt an Wasser eine Samenart (z. B. Getreide) schon zu keinem vermag, während eine andere (besonders Leguminosensamen) dem Verderben anheimfällt. Eine ebensolche Verschiedenheit besteht hinsichtlich der Wasser-

¹⁾ W. Polowzow, Untersuchungen über die Pflanzenatmung. Mémoires de l'Acad. des scienc. de St. Petersbourg VIII. série, T. 12, Nr. 7, 1901.

²⁾ Nobbe, Handbueh der Samenkunde. Berlin 1876.

³⁾ Kleemann, Inaug.-Diss. und Preisaufgabe. München 1905.

kapazität (Quellungskapazität Detmers), d. h. des maximalen Betrages an Wasser, den ein Same aufzunehmen vermag. Mit einer größeren Wasserkapazität (z. B. Erbsen im Vergleich zu den Cerealien) geht dann auch eine raschere Aufnahmefähigkeit Hand in Hand¹⁾. Nach R. Hoffmann²⁾ beträgt die Wasseraufnahme bis zur Entwicklung des Wurzelkeims für Weizen 45,5%

Linse 93,4%

Raps 51,0%

Helianthus 56,5%

Lupine (nach Siewert, Versuchsstat. XII. 307) 100—130% Wasser. Im allgemeinen scheinen die harz- und ölhaltigen Samen sowie die Cerealien die geringste, die Leguminosen die höchste Kapazität für trockbar flüssiges Wasser zu besitzen³⁾.

Eine einheitliche Samenart wird aber unter gleichen Verhältnissen durchschnittlich immer dasselbe Bild der Wasseraufnahmekurven zeigen, und so wird zu erwarten sein, daß unter gleichen Bedingungen die Samen immer nach einer bestimmten Zeit ein bestimmtes Quantum Wasser aufgenommen haben, sodaß man etwa einen Feuchtigkeitsgehalt erhält, bei dem die Atmungskurve ein charakteristisches Bild zeigt. Die Zeitdauer wird je nach der Temperatur verschieden sein, und zwar mit steigender Temperatur kürzer, da die Wasseraufnahme um so schneller verläuft, je höher die Aufnahmetemperatur liegt. Es werden also die entsprechenden Quellungsstadien früher erreicht.

Die Tabellen⁴⁾ zeigen dies näher!

Tab. IV. *Pisum sativum*.

Nach	17,5°	24,4°	31,2°
1 Std.	0,62%	0,73%	0,87%
2 "	1,24	1,95	2,24
3 "	2,61	2,93	4,48
4 "	3,10	4,15	6,22
5 "	—	—	—
6 "	5,84	7,32	10,45
7 "	7,08	8,54	12,44
8 "	8,07	10,24	14,93
9 "	10,56	11,46	16,91
10 "	11,55	13,41	18,15
11 "	13,04	14,63	20,40
24 "	30,43	33,41	44,53

Tab. V. *Lupinus albus*.

Nach	17,5°	24,4°	31,2°
1 Std.	0,81%	0,69%	2,27%
2 "	2,19	2,78	5,00
3 "	3,57	4,39	7,27
4 "	5,41	6,48	9,09
5 "	—	—	—
6 "	7,96	8,79	13,64
7 "	9,34	10,18	16,14
8 "	10,26	11,57	18,18
9 "	12,34	13,43	21,59
10 "	13,03	14,58	23,18
11 "	15,34	15,70	26,13
24 "	30,79	35,42	52,96

¹⁾ Eberhard, Untersuchungen über das Vorquellen der Samen. Diss. Jena 1906.

²⁾ Hoffmann, Landw. Versuchsstat. VII. 47.

³⁾ Vergl. Czapek, Biochemie der Pflanzen. Jena 1905.

⁴⁾ Vergl. dazu die Wasseraufnahmekurven.

Tab. VI. *Triticum vulgare*.

Nach	17,5°	24,4°	31,2°
1 Std.	2,62%	3,10%	2,85%
2 "	5,13	7,82	6,32
3 "	7,13	8,82	9,05
4 "	8,88	10,56	11,55
5 "	—	—	—
6 "	12,14	13,54	15,71
7 "	14,15	15,53	17,72
8 "	16,14	16,77	18,96
9 "	16,89	18,01	21,68
10 "	18,15	19,50	22,67
11 "	19,65	20,99	23,97
24 "	30,16	32,17	35,57

Tab. VII. *Vicia Faba maior*.

Nach	17,5°	24,4°	31,2°
1 Std.	0,09%	0,10%	0,68%
2 "	0,19	0,30	1,48
3 "	0,39	0,60	2,28
4 "	—	—	—
5 "	0,58	1,60	5,03
6 "	1,17	2,41	6,17
7 "	1,27	2,81	7,09
8 "	1,46	3,32	9,15
9 "	1,56	4,22	11,52
10 "	1,76	5,03	12,35
24 "	7,81	20,12	27,00

Es wurden immer dieselben Portionen gewogen. Die Samen lagen zur Wasseraufnahme auf nassem Fließpapier in feuchter Kammer. Es sind dies trotz der gleichen Versuchsanstellung doch keine einheitlichen Aufnahmebedingungen: sie sind in diesem Falle günstig für kleine Samen, da diese am meisten Aussicht haben, mit ihren wasseransaugenden Organen, Nabel und Mikropyle, sich der Feuchtigkeit anzuschmiegen und so mit Wasser zu imbibieren¹⁾; auch kommt ein relativ viel größerer Teil der Oberfläche der Einzelsamen mit dem Quellungswasser in direkte Berührung. Anders liegen die Verhältnisse bei großen Samen, wie *Vicia Faba*, wo die Eintrittsstelle des Wassers in den Samen seitlich in die Luft ragt und nicht direkt von dem Wasser benetzt wird. Daher kommt es auch, daß bei derartiger Versuchsanordnung die Erbsen, welche im Vergleich zu den Cerealien eine größere Wasserkapazität besitzen, in den ersten Stunden langsamer Wasser aufnehmen als die zahlreicheren und kleineren Weizenkörner.

Um daher einheitlichere Aufnahmebedingungen zu schaffen, wurden die Samen in nasse Lappen gewickelt, wo ihnen allseitig Feuchtigkeit geboten wurde. So wurde mit *Trigonella Foenum graecum* verfahren:

Tab. VIII. *Trigonella Foen. graec.*

Nach	29,2°	40,8°	55,6°
1 Std.	4,43%	13,14%	27,14%
2 ¹ / ₂ "	17,00	34,14	52,43
4 "	33,00	53,57	80,57
5 ¹ / ₂ "	51,00	68,87	106,00
7 "	62,14	84,28	122,14
8 ¹ / ₂ "	78,57	98,86	137,14

¹⁾ Vergl. hierzu G. Haberlandt, Schutzrichtungen d. Keimpflanze. Wien 1877.

Trigonella mit seiner Schleimschale und seinem Schleimendosperm zeigt also den Unterschied in der Schnelligkeit der Wasseraufnahme bei den verschiedenen Temperaturen in den ersten Stunden recht gut. Die Wasseraufnahme wird aber durch die sie unterbrechenden Wägungen sehr gestört, so daß man die hier gefundenen Werte nicht ohne weiteres mit denjenigen vergleichen kann, welche ich bei denselben Zeiten und Temperaturen bei meinen Atmungsversuchen (siehe z. B. S. 240) im Atmungsapparat gefunden habe.

Versuche mit Helianthuskernen zeigten, daß auch unter ganz gleichen Bedingungen die Wasseraufnahme etwas verschieden verläuft, so daß also ein bestimmter Feuchtigkeitsgrad nicht immer nach gleicher Dauer erreicht zu sein braucht.

Zwei Tabellen zeigen dies näher; die eine weist eine schlechte, die andere eine sehr gute Übereinstimmung der entsprechenden Feuchtigkeitsgrade auf.

Helianthuskerne.

Tab IX. 44,8°.			Tab. X. 25,5°.		
Nach	I.	II.	Nach	I.	II.
1 Std.	16,0%	20,75%	1 Std.	11,10%	10,0%
2 "	27,75	31,50	2 "	20,64	21,0
3 "	33,75	35,50	3 "	27,61	28,25
4 "	40,00	36,25	4 "	33,58	32,25
5 "	42,50	38,75	5 "	37,31	38,25

Die Differenzen sind im allgemeinen bei höheren Temperaturen nicht größer als bei niederen.

Die Quellung an sich stellt einen rein physikalischen Vorgang dar. Je nach dem Widerstande, der dem Eindringen des Wassers entgegengesetzt wird, findet man eine verschieden schnelle Wasseraufnahme. Diese Schnelligkeit wird z. B. bei Lupinus durch die Pallisadenschicht sehr beeinflußt. Die Menge des im Quellungsprozeß verbrauchten Wassers hängt schon vom Wasserverlust bei der Reife der Samen ab. Auch der verschiedene Klebergehalt bedingt ein verschiedenes Wasserbedürfnis¹⁾ (vergl. S. 228). Daß die Quellung rein physikalisch wirkt, kann man z. B. daraus ersehen, daß mit Toluol wirklich (s. S. 243) abgetötete Samen in ihrer Quellung nicht behindert werden, die sogar häufig so weit geht, daß die Samenschale aufplatzt. Wir haben gleichwohl anzunehmen, daß bei keimfähigen Samen schon während des Quellungsstadiums die Radicula mit ihrem

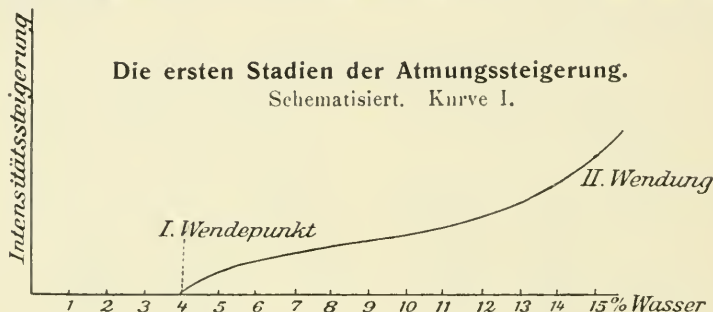
¹⁾ Bogdanoff, Ost- und westpreußische Samen. Landw. Versuchsstat. XLII. 1893.

O. Jauerka, Die ersten Stadien der Kohlensäureausscheid. bei quellend. Samen. 216

Wachstum beginnt. Denn bald nach dem Erreichen des Quellungsmaximums tritt ja die Wurzel aus dem Samen heraus. Wir müssen also den Beginn der erwachenden Lebenstätigkeit schon in das Quellungsstadium hinein verlegen, und es ist zu vermuten, daß damit die Kohlensäureproduktion bedeutend gesteigert wird. Es ist jedoch die Frage, ob wir bei der Steigerung der Atmungsintensität durch die Wasseraufnahme¹⁾ bei der Quellung für irgend einen Feuchtigkeitswert eine besonders starke Zunahme der Kohlensäureausscheidung beobachten können.

III. Die ersten Stadien der Steigerung der Kohlensäureabgabe beim quellenden Weizen (Monocotylen).

Bei meinen Untersuchungen mit Weizen bekam ich nun bei einem bestimmten Wassergehalt einen zweiten Wendepunkt, welcher gegen-



über dem zuerst festgestellten (s. S. 211) eine bei weitem stärkere Intensitätssteigerung der Kohlensäureabgabe zeigt. Vor diesem Punkt ist die Kohlensäureproduktion ziemlich schwach²⁾ und gegen den Einfluß der Temperatur nicht besonders empfindlich. Ist jedoch dieser zweite kritische Punkt erreicht, so wird die Reaktionsflüssigkeit in der Pettenkoferröhre schnell entfärbt, mag sie auch in stärkerem oder geringerem Grade (in gewissen Grenzen natürlich) basisch gewesen sein. Die Temperatur übt dabei die bekannten Wirkungen auf die Reaktionsgeschwindigkeit aus, wie sie für physiologische Prozesse charakteristisch sind. — Hinsichtlich der Lage dieses Intensitätswendepunktes spielt sie jedoch keine Rolle; diese hängt, wie es scheint, nur vom Wassergehalte ab.

¹⁾ Daß die Atmungsintensität mit dem Wassergehalt steigt, ist ja hinlänglich bekannt. Auch Hellriegel deutet mit großer Bestimmtheit auf eine unmittelbare Abhängigkeit der organischen Produktion von dem Grade der Wasserversorgung hin. Beiträge zu den naturw. Grundlagen des Ackerbanes. Braunschweig 1883, S. 568 ff.

²⁾ Sie beträgt für den von Kolkwitz betrachteten Wendepunkt etwa 0,01 mg CO₂ in zwei Stunden für 10 g Material.

a. Grundlegende Versuche mit „Blauer Dame“.

Nach einer größeren Anzahl von Vorversuchen mit *Lupinus albus*, *Pisum sativum* und *Triticum vulgare* wurde anfangs nur mit einer bestimmten Weizensorte, der „Blauen Dame“, gearbeitet, um einen ganz sicheren Untergrund für weitere Untersuchungen zu bekommen. Es wurde die Temperatur von 5 zu 5 Grad gesteigert, um einen klaren Einblick in die damit verbundene Steigerung der Atmungsintensität zu erhalten. Als untere Grenze waren $+5^{\circ}$ C. gewählt. Weizen atmet zwar schon bei Temperaturen unter 0° (1) und keimt auch bereits auf Eis (2), doch versprach ich mir von solchen Versuchen wegen ihrer langen Dauer wenig. 65° C. wurden als obere Temperaturgrenze angewandt, obwohl es vielleicht ganz interessant gewesen wäre, die Wirkung noch höherer Temperaturen auf die Enzyme zu studieren. Solche Untersuchungen sind aber einerseits an so weit wie möglich isolierten Enzymen im einzelnen schon angestellt, auch hätte bei noch weiterer Steigerung das Untersuchungsmaterial kaum die gewünschte Temperatur in der kurzen Vorperiode annehmen können, die aus oben angeführten Gründen nicht länger ausgedehnt werden durfte; andererseits waren die Samen sämtlich zwischen 55 — 60° abgetötet, wenn sie die zur Erreichung des charakteristischen Wendepunktes der Atmungsintensität nötige Wassermenge aufgenommen hatten, wie später angestellte Keimversuche zeigten. Es keimten bei niederen Temperaturen 88%, nach den Versuchen bei 50° noch 31% und bei 55° kaum noch 2%. Man kann daher schwer von einem Temperaturmaximum bei Quellungsversuchen sprechen. Es sind immer vereinzelte Individuen darunter, welche sich durch „Keimverzug“, d. h. schwere Quellbarkeit, vor den anderen auszeichnen und so ganz gut höhere Temperaturen überstehen. Der Zeitfaktor spielt bei diesen Untersuchungen mit die wichtigste Rolle (3).

Bei allen diesen Versuchen konnte ich beobachten, daß die Atmungsintensität auch dann noch zunahm, wenn ich die Temperaturgrenze von noch lebendem zu schon abgetötetem Material überschritt. (Diese Grenze stellt natürlich keinen bestimmten Temperaturgrad dar.) So hat man wohl auch auf Grund dieser Betrachtungen einige Berechtigung dazu, die Atmungstätigkeit nur als die Summe enzymatischer Prozesse aufzufassen (Palladin); dabei kann das Leben

1) Bis -2° C. nach Detmer, Beobachtungen über die normale Atmung der Pflanzen. Ber. der Deutsch. Bot. Ges. X. Heft 8, S. 535.

2) Uloth, Über die Keimung von Pflanzensamen in Eis. Flora, Jahrg. 54, 1871, S. 185—88.

3) Vergleiche hierzu Harper Goodspeed, The temperature coefficient of the duration of life of barley grains. Bot. Gazette LI. March 1911, S. 220—224.

recht wohl einen Einfluß auf die Energie des Atmungsverlaufes ausüben, wenn auch die Stoffumsetzung nur von Enzymen bewirkt wird. Es ist daher durch die hier angestellten Untersuchungen noch nicht einwandfrei bewiesen, daß das Einsetzen einer intensiveren Kohlensäureproduktion durch den Beginn der Lebenstätigkeit bedingt ist, wiewohl es wahrscheinlich ist. Denn es ist anzunehmen, daß durch die beginnende Tätigkeit des lebenden Plasmas neue Enzyme gebildet werden, welche eine gesteigerte Dissimilation bewirken. Eingehende Studien über die Mengenverhältnisse der Enzyme könnten hierüber vielleicht mehr Licht verbreiten.

Schon die Quellungsversuche zeigen, daß bei tiefer Temperatur die Wasseraufnahme sehr langsam vor sich geht. Daher ist zu erwarten, daß hier die Atmung im Vergleich zu höheren Temperaturen langsam verlaufen wird. Dies bestätigte ein Versuch bei $+1/2^{\circ}$ C.

Zwei Portionen Weizen (Blaue Dame) à 7 g kamen, in feuchte Lappen gewickelt, in ein kleines Glasgefäß, welches mit einem Kork verschlossen war, durch den ein Thermometer bis zu den Samen herabreichte. Dieses Gefäß wurde ganz mit Schnee und Eis umpackt und in einen großen Trichter gestellt. Dieser stand 28 Stunden im Eis des Eisschrankes im Keller. Beim Auspacken zeigte das Thermometer wenig über 0° C. Die eine Portion wurde gewogen und zeigte 14,3% Wasseraufnahme, während die andere schnell ohne Lappen in den Apparat II gebracht wurde, dessen Temperatur ebenfalls wenig über 0° war; er stand ganz in Eis gepackt. Nach sieben Stunden war die Lösung in der Pettenkoferröhre durch den sie passierenden Luftstrom hell geworden und zeigte somit deutliche Atmung an.

Auch bei 5° C. dauerten die Wasseraufnahme und somit die Intensitätssteigerung noch recht lange: rund 17 Stunden. Gerade bei dieser langsamen Wasseraufnahme, wo also die einzelnen Feuchtigkeitsgrade langsam durchlaufen werden, konnte man sehen, wie hier die Atmung trotz steigenden Wassergehaltes nur ganz allmählich intensiver wurde. Die niedrige Temperatur schwächt natürlich auch ihrerseits die Atmungsintensität. Erst bei etwa 14—15% Feuchtigkeitsgehalt, bezogen auf lufttrockene Samen, erhielt man eine bemerkenswerte Intensitätssteigerung, sodaß die Phenolphthaleïnlösung relativ bald, wenn auch bedeutend langsamer als bei höheren Temperaturen, entfärbt wurde. Auch bei diesen Versuchen wurde der Apparat mindestens stündlich auf seine richtige Temperatureinstellung hin kontrolliert. Die Versuche bei 10° dauerten durchschnittlich 11 Stunden an. Mit steigender Temperatur wurde die Dauer der Reaktionszeiten kürzer, so daß bei den Versuchen bei 60° nach ca. $3/4$ Stunde der Umschlag der Lösung erreicht war (s. Tab. XI auf S. 220—223).

Tab. XII. Weizen — Blaue Dame.

0,5 ccm Kalkwasser + 0,2 ccm Phen.

Datum	Vorperiode	Um- schlag	Gesamt- dauer in Minuten	Haupt- peri- ode	Gewichts- zunahme in g	in %	Temp.
15. VIII.	2 ⁰⁰ —2 ³⁰	8 ⁴⁵	405	375	7,00—7,92	13,1	15 ⁰
=	2 ⁸ —2 ³⁵	8 ⁵⁰	402	375	7,00—7,88	12,6	15 ⁰
10. VIII.	4 ²⁰ —5 ¹⁵	8 ⁴⁰	260	225	7,00—7,93	13,3	20 ⁰
=	4 ³⁰ —5 ⁰⁰	8 ²⁰	230	200	7,00—7,92	13,1	20 ⁰
28. VIII.	8 ⁴⁵ —9 ⁵	12 ⁴⁵	240	220	7,00—8,02	14,6	25 ⁰
=	3 ¹⁵ —3 ³⁵	7 ¹³	238	218	7,00—8,00	14,3	25 ⁰
23. V ¹ .	8 ²⁵ —8 ⁵⁰	11 ⁵	160	135	7,00—7,95	13,6	30 ⁰
26. VI.	11 ²⁸ —11 ⁴⁵	2 ²⁰	172	155	7,05—8,01	13,6	30 ⁰
14. VII.	2 ³³ —2 ⁴⁸	4 ³³	120	105	7,00—7,91	13,0	35 ⁰
18. VII.	4 ⁴⁵ —5 ⁰⁰	7 ⁰⁰	135	120	7,00—7,95	13,6	35 ⁰
13. VII.	2 ⁵⁰ —3 ⁵	4 ³⁰	100	85	7,00—7,91	13,0	40 ⁰
29. VII.	9 ³¹ —9 ⁵¹	11 ²⁰	109	89	7,00—7,95	13,6	40 ⁰
6. VII.	3 ⁵⁸ —4 ¹⁴	5 ²⁰	82	66	7,00—7,92	13,1	45 ⁰
13. VII.	9 ⁵⁴ —10 ¹⁰	11 ¹⁴	80	64	7,00—7,97	13,8	45 ⁰
11. VII.	1 ³⁸ —1 ⁵³	2 ⁵⁰	72	52	7,00—7,90	12,9	50 ⁰
3. VII.	2 ⁵⁶ —3 ¹³	4 ⁰¹	65	45	7,00—7,90	12,9	50 ⁰
12. VII.	10 ⁵ —10 ²⁶	11 ²⁸	73	52	7,00—7,92	13,1	50 ⁰

Vor den Versuchen der Tabelle XI war schon mit derselben Weizensorte, aber bei geringerem Titer der Umschlagslösung gearbeitet worden. Es waren nur 0,5 ccm Kalkwasser + 0,2 ccm Phenolphthalein zur Herstellung der Lösung verwandt worden, und so brauchten nur 0,15 mg Kohlensäure absorbiert zu werden. Dementsprechend braucht nicht so viel Kohlensäure zur Neutralisation produziert zu werden; die Reaktionszeit wird kürzer, die Wasseraufnahme braucht zur Intensitätssteigerung der Kohlensäureabgabe nicht so groß zu werden (vergl. Tabelle XII); — es wird aber doch fast wieder der Betrag von 14% Feuchtigkeit bezogen auf lufttrockene Samen im Verlauf des Gesamtversuches erreicht, und dies veranlaßte mich zu dem Schluß, daß hier in einem kleinen Intervall von aufeinanderfolgenden Feuchtigkeitsgraden eine beträchtliche Intensitätsänderung der Kohlensäureproduktion stattfinden müsse (vergl. Kurve I).

Da die zuletzt verwandte Lösung etwas blaß gefärbt war, so wurde schon der leichteren Übersicht halber bei allen übrigen Versuchen die bereits oben erwähnte intensiv rot gefärbte Lösung von 220 ccm abgekochtem, destilliertem Wasser + 0,75 ccm Kalkwasser ($\frac{1}{40}$ norm.) + 7 Tropfen (= 0,15 ccm) Phenolphthalein benutzt, zu deren Neutralisation 0,225 mg Kohlensäure absorbiert werden mußten.

Tab. XI. Weizen — Blaue Dame.
0,75 cem Kalkwasser + 7 Tropfen Phen.

Datum	Vorperiode	Um- schlag	Gesamtdauer in Minuten	im Mittel	Haupt- peri- ode	im Mittel	Gewichts- zunahme in g	in % Temp.	Faktor für Van't Hoff	Bemerkungen
23/24. VIII.	2 ³⁵ —3 ⁵ nehm. 2 ³⁰ —3 ⁰⁰ =	8 ⁴⁰ früh 8 ⁵ =	Std. Min. 18 5 = 1085 17 35 = 1055		Min. 1055 1025		7,00—8,08 7,00—8,06	15,4 15,1		} Beide Versuche dieselbe Lösung.
25. VIII.	3 ²⁵ —3 ⁵⁵ früh 3 ³⁰ —4 ⁰⁰ =	7 ²⁵ abds. 7 ⁴⁰ =	16 10 = 960 16 13 = 973	1009	930 940	979	7,00—7,99 7,00—8,01	14,1 14,4	—	
25/26. VIII.	7 ³⁰ —8 ²⁰ abends 8 ⁰⁰ —8 ³⁰ =	12 ³ mittg. 12 ⁵⁰ =	16 13 = 973 16 50 = 1010		943 980		7,00—8,04 7,00—8,05	14,9 15,0		
16. VIII.	1 ⁴⁸ —2 ¹⁰	12 ⁵⁰	662		640		6,99—8,02	14,6		
17. VIII.	1 ⁴⁵ —2 ²⁰	12 ⁴⁵	660		625		7,00—8,07	15,3		
21. VIII.	12 ²⁵ —12 ⁵⁵ 3 ⁰⁰ —3 ³⁰	12 ⁰⁰ 2 ¹⁵	695 675		665 645	659,4	7,00—8,10 7,00—8,02	15,7 14,6		
22. VIII.	1 ³⁵ —2 ²⁰ 1 ⁴⁵ —2 ²⁵	1 ²⁰ 1 ²⁵	705 700	690,6	660 660		7,00—8,08 7,05—8,15	15,4 15,6		
28. VIII.	10 ⁰⁰ —10 ²⁵ 10 ⁷ —10 ³⁰	10 ¹⁵ 9 ⁴⁰	735 693		710 670		7,00—8,08 7,00—8,00	15,4 14,3		
18. VIII.	10 ¹⁹ —10 ⁵⁰	6 ¹⁰	471		440		7,00—8,01	14,4		
27. VIII.	6 ³³ —6 ¹⁵ früh 6 ⁴⁰ —7 ⁰⁰	2 ³⁰ 2 ¹⁰	477 450		462 430		6,99—8,00 7,00—8,00	14,5 15,0		
29. VIII.	10 ¹⁶ —10 ⁴¹	6 ²³	487		462	449,7	7,00—8,01	14,4		} 979 = 2,177 449,7
30. VIII.	6 ⁴⁵ —7 ¹⁵ früh 6 ⁵² —7 ²²	2 ³⁵ 3 ⁶	470 494	475,6	440 464		7,00—7,99 7,00—8,00	14,1 14,3		
31. VIII.	7 ⁵⁰ —8 ²⁰	3 ⁵⁰	480		450		7,02—8,10	15,4		

10. VIII.	840—910	228	348	318	7,00—8,08	15,4	20 ⁰	} 659,4 = 2,004 329
=	850—920	240	350	320	7,05—8,18	16,0	20 ⁰	
26. VIII.	245—33	818	333	315	7,00—8,01	14,4	20 ⁰	
=	35—320	855	350	335	7,00—8,00	14,3	20 ⁰	
27. VIII.	250—35	830	340	325	7,00—8,02	14,6	20 ⁰	
30. VIII.	323—348	950	387	362	7,00—8,07	15,3	20 ⁰	} 449,7 = 1,79 251
24. VIII.	837—852	130	293	278	7,00—8,09	15,6	25 ⁰	
25. VIII.	300—320	735	275	255	7,00—8,04	14,9	25 ⁰	
27. VIII.	840—900	100	260	240	7,03—8,11	15,4	25 ⁰	
1. IX.	945—1010	217	272	247	7,02—8,07	15,0	25 ⁰	
=	950—1015	219	269	244	7,00—7,99	14,1	25 ⁰	} 491,6 = 1,72 329
=	318—338	748	270	250	7,02—8,08	15,1	25 ⁰	
=	320—340	753	273	253	7,00—8,04	14,9	25 ⁰	
7. IX.	1050—1110	312	262	242	7,02—8,01	14,1	25 ⁰	
2. IX.	758—823	1130	212	187	7,00—8,05	15,0	30 ⁰	
=	81—826	1116	195	170	7,02—8,02	14,3	30 ⁰	
=	1155—1215	330	215	195	7,01—8,05	14,8	30 ⁰	
7. IX.	1200—1220	333	213	193	7,00—8,00	14,3	30 ⁰	
8. IX.	37—322	636	209	194	7,00—8,01	14,4	30 ⁰	
=	1035—1055	215	220	200	7,00—8,05	15,0	30 ⁰	} 251 = 1,79 140
=	233—253	615	222	202	7,00—8,05	15,0	30 ⁰	
17. VII.	917—937	1145	148	128	7,00—8,00	14,3	35 ⁰	
3. IX.	1133—1153	216	163	143	7,01—8,04	14,3	35 ⁰	
=	1140—1200	224	164	144	7,05—8,16	15,7	35 ⁰	
6. IX.	936—951	1214	158	143	7,00—7,98	14,0	35 ⁰	} 251 = 1,79 140
=	152—212	450	178	158	7,00—8,04	14,9	35 ⁰	
9. IX.	925—945	1150	145	125	7,00—8,00	14,3	35 ⁰	
{7. IX.	1215—1230	150	95	80	7,02—7,74	10,5	35 ⁰]	

² ganz neue und nicht ausgekochte Lappen.

Tab. XI. Weizen — Blaue Dame.
0,75 cem Kalkwasser + 7 Tropfen Pflanz.

(Fortsetzung.)

Datum	Vorperiode	Umschlag	Gesamtdauer in Minuten	im Mittel	Haupt- peri- ode	im Mittel	Gewichtszunahme in g	in %	Temp.	Faktor für Van't Hoff	Bemerkungen
4. IX.	9 ⁴⁸ —10 ⁸	11 ⁴⁷	119		Min.		7,05—8,14	15,5	40 ⁰	191,6 99,7 = 1,90	
=	9 ⁵⁵ —10 ¹⁰	11 ⁴⁹	114	116	99	99,7	7,00—8,01	14,4	40 ⁰		
=	1 ²⁵ —1 ⁴⁰	3 ¹⁰	105		90		7,00—8,01	14,4	40 ⁰		
=	1 ³⁰ —1 ⁴⁵	3 ¹⁵	105		90		7,00—8,02	14,7	40 ⁰		
=	3 ⁴⁵ —4 ⁰⁰	6 ⁰⁰	135		120		7,00—8,08	15,4	40 ⁰		
9. IX.	3 ¹⁴ —3 ³⁴	5 ¹⁴	120		100		7,02—8,00	13,9	40 ⁰		
5. IX.	9 ⁵⁰ —10 ¹⁰	11 ¹⁰	80		60		7,05—8,13	15,3	45 ⁰	140 66 = 2,1	
=	10 ⁵ —10 ²⁸	11 ²⁸	83	85	60	66	7,02—8,17	16,3	45 ⁰		
=	1 ²⁸ —1 ⁴⁵	2 ⁵⁰	82		65		7,00—8,00	14,3	45 ⁰		
=	1 ³⁵ —1 ⁵⁰	2 ⁵⁶	81		66		7,00—7,93	13,3	45 ⁰		
=	3 ¹⁴ —3 ³⁷	4 ⁴⁵	91		68		7,01—7,99	14,0	45 ⁰		
=	3 ¹⁹ —3 ³⁸	4 ⁵⁰	91		72		7,00—8,00	14,3	45 ⁰		
13. VII.	7 ⁴⁵ —8 ⁰³	9 ¹³	88		70		7,00—7,97	13,9	45 ⁰		
3. VII.	9 ⁰⁰ —9 ²⁰	10 ¹⁵	75		55		7,00—7,97	13,9	50 ⁰	99,7 53 = 1,88	
=	1 ²¹⁵ —1 ²³⁵	1 ³⁰	75	70	55	53	7,00—8,00	14,3	50 ⁰		
12. VII.	8 ³⁰ —8 ⁵⁰	9 ³⁷	67		47		7,00—8,04	14,8	50 ⁰		
17. VII.	5 ²⁹ —5 ⁴⁴	6 ³⁷	68		53		7,00—8,06	15,1	50 ⁰		
=	8 ¹⁹ —8 ³⁴	9 ³⁰	71		56		7,00—8,00	14,3	50 ⁰		
6. IX.	3 ³² —3 ⁴⁷	4 ⁴⁵	73		58		7,00—8,05	15,0	50 ⁰		
7. IX.	5 ⁰⁰ —5 ¹⁵	6 ⁰⁷	67		52		7,00—7,95	13,6	50 ⁰		
9. IX.	5 ¹⁰ —5 ³⁰	6 ²⁰	70		50		7,00—8,03	14,7	50 ⁰		

Mit steigender Temperatur ist also, wenn auch nicht proportional, so doch stets eine Steigerung der Atmungsintensität zu verzeichnen. Fragen wir uns dabei, wie weit die Regel von Van't Hoff¹⁾ für die Steigerung der Atmungsintensität bei 10° Temperaturerhöhung zutrifft, so sehen wir, daß der Faktor bald abnimmt und die Regel gerade noch für 20° C. zutrifft. Die Hauptperiode bei 5° dauert 979 Minuten, bei 15° 449,7 Min. Daraus findet man die Verhältniszahl $\frac{979}{449,7} = 2,177$.

$$\begin{aligned} \text{Für } 15^\circ \text{ beträgt also der Faktor für Van't Hoff } \frac{A_5}{A_{15}} &= 2,177, \\ = 20^\circ \quad = \quad = \quad = \quad = \quad = \quad = \quad = \quad & \frac{A_{10}}{A_{20}} = 2,004, \\ = 25^\circ \quad = \quad = \quad = \quad = \quad = \quad = \quad = \quad & \frac{A_{15}}{A_{25}} = 1,79. \end{aligned}$$

Die übrigen Faktoren kann man aus der Tabelle XI ersehen. Die daraus konstruierte Atmungskurve II wurde so gewonnen, daß die Intensität der Kohlensäureproduktion bei 5° gleich 1 gesetzt wurde; diese Grundeinheit wurde mit den Faktoren der Van't Hoff'schen Regel multipliziert: also bei 15° ist die Intensität 2,177mal so groß wie bei 5°, also = 2,177; bei 25° = 2,177 · 1,79 = 3,89 usw. Durch das einfachere Titrieren würde man wegen der zu geringen Kohlensäuremengen kaum so genaue Werte erzielen können. Zum Vergleiche habe ich auch eine Kurve nach der Regel von Van't Hoff mit dem konstanten Faktor 2 und eine hypothetisch abgerundete Kurve mit angegeben (vergl. Atmungskurven II).

Man sieht aus diesen berechneten Werten nach Van't Hoff und aus der Atmungskurve II, daß die Steigerung der Kohlensäureproduktion nicht proportional mit der Temperatur verläuft, sondern sich in einer nach der Abszisse der Temperatur im unteren Teil konvexen Kurve²⁾ darstellt, deren Ordinaten die zu den betreffenden Temperaturen gehörenden Atmungsintensitäten anzeigen. Für junge Keimpflanzen von Triticum fand Kuyper³⁾, daß auch hier nur von 0°—20° die Regel von Van't Hoff zutrifft.

Weiter aber sehen wir, und das ist von besonderem Interesse, daß in der Nähe derjenigen Temperaturen, welche auf das Plasma tödlich wirken, der Faktor nach Van't Hoff noch einmal zunimmt

¹⁾ Van't Hoff schreibt in seiner „Theoretischen und physikalischen Chemie“: Bei weitem die meisten Reaktionen zeigen durch Ansteigen der Temperatur um 10° eine Verdoppelung bis Verdreifachung der Geschwindigkeit. Auch die Menge ausgeatmeter Kohlensäure, die Respiration von Weizen, Lupinen etc. zeigt zwischen 0° und 25° solche Beschleunigung.

²⁾ Vergl. H. Clausen, Beiträge zur Kenntnis der Atmung der Gewächse und des pflanzlichen Stoffwechsels. Landw. Jahrb. 19, 1890, S. 893.

³⁾ J. Kuyper, l. c.

(s. Tab. XI); die Intensität der Kohlensäureproduktion steigt also in stärkerem Maße an, und zwar gerade bei den Temperaturen, wo nach früheren Autoren¹⁾ das Optimum der Atmung liegen sollte (40° bis 45°). Nach neueren Untersuchungen hat sich herausgestellt, daß es kein eigentliches Optimum der Atmung gibt. Unter gewissen Bedingungen²⁾ kann man zwar recht wohl von einem Optimum der Atmungsintensität sprechen, aber nicht allgemein von dem Optimum. Dieses ist verstellbar durch Veränderung der Beobachtungszeit. Man nimmt jetzt wohl allgemein an, daß dabei zwei übereinandergreifende Prozesse beteiligt sind, wobei jeder sein Minimum, Optimum und Maximum besitzt. Je nach der bestimmten Untersuchungstemperatur des Gesamtprozesses wird jeder in seiner Wirkung mehr oder minder beeinflußt werden; die positive und negative Gesamtwirkung stellt uns die für die betreffende Temperatur festgestellte Atmungsintensität dar. Blackmann²⁾ z. B. führt die Ursache des Rückganges in der Intensität zurück auf ein Antienzym oder die Vernichtung eines Enzyms.

Bei derartigen Versuchen kommt es natürlich auf die Dauer der Vorperiode an. Denn je länger diese ausgedehnt ist, um so mehr werden auch zumal hohe Temperaturgrade schädigend auf die Enzyme einwirken, und man bekommt so in der Hauptperiode einen falschen, zu geringen Wert für die Atmungsintensität. Der Wert wird um so mehr sich dem eigentlichen nähern, je kürzer die Vorperiode gewählt ist. Blackmann hat denselben Gedankengang und meint, daß ein abenteuerlicher Beobachter, dessen Methode nur mit $\frac{1}{4}$ Stunde Vorperiode arbeiten würde, ein experimentelles Optimum über 40° C. erreichen würde und vielleicht so nahe dem Auslöschungspunkt, daß er entscheiden würde, es gäbe kein wirkliches Optimum. Bei solchen Untersuchungen, wie den vorliegenden, ist man gezwungen, eine fast derartig kurze Vorperiode zu wählen, da sonst eine merkliche Kohlensäureabgabe besonders bei hohen Temperaturen schon in die Vorperiode gefallen und so für die allgemeine Reaktionszeit verloren gegangen wäre. Man hätte vielleicht kein klares Bild von der mit fortschreitender Quellung auch bei hohen Temperaturen verbundenen Intensitätssteigerung der Kohlensäureproduktion bekommen.

¹⁾ z. B. W. Detmer, Beobachtungen über die norm. . . l. c. Er findet ein Optimum der Atmung bei 40° für Triticum und Lupinus. Auch Chudiakow (Landw. Jahrb. 23. 1894, S. 333) — Beiträge zur Kenntnis der intramolekularen Atmung — konnte an stark gequollenen Samen (1—2 Tage) bei 40° die intensivste Kohlensäureproduktion beobachten, erkennt aber mit Recht, daß es sich hier nicht um ein Optimum handelt, sondern daß das Material durch die weitere Temperatursteigerung nur geschädigt wird.

²⁾ F. F. Blackmann, Optima and limiting factors. *Annales of Botany* Vol. XIX.

Daß der Van't Hoff'sche Faktor sich hier im Gegensatz zu den Versuchen anderer Autoren, welche mit jungen Keimpflanzen operierten, bis zur Abtötungstemperatur auf solcher Höhe (vergl. Tab. XI) erhält, liegt wohl an der schon angedeuteten großen Widerstandsfähigkeit der Samen gegen die schädigenden Temperatureinflüsse (s. u.). Der Faktor wird erst da beträchtlich kleiner und die Atmungskurve II konkav, wo die Samen abgetötet werden. Es scheinen sich also in den hier behandelten frühen Quellungsstadien neben den rein chemischen auch physiologische Prozesse abzuspielen. Man sieht aus Tabelle XI eine dauernde Steigerung der Kohlensäureproduktion mit der Temperatur, und zwar bis zu Werten, wo von einem Leben des Pflanzenorganismus nicht mehr die Rede ist, wie die Aussaat zeigte. Dies ist vielleicht der Grund dafür, daß wir kein eigentliches Optimum der Atmung feststellen können, weil eben dieser Prozeß im großen und ganzen von einer Summation enzymatischer Tätigkeiten dargestellt wird und nur bis zu einem gewissen Grade von dem Leben und seinem regulatorischen Eingreifen abhängig ist.

Man könnte vielleicht der Ansicht sein, daß die Steigerung der Kohlensäureabgabe mit höheren Temperaturen deshalb nicht so intensiv fortschreitet, weil die Enzyme schnell durch die Einwirkung der Wärme vernichtet würden. Um einen Einblick in diese Verhältnisse zu bekommen, wurden 7 g Weizen bei 52° C. in den Apparat gebracht, also bei einer Temperatur, bei welcher junge Keimpflanzen bald geschädigt werden.

Material: Strubeschlesischer. Dauer des Versuchs: 10⁵⁸—11¹⁸—11⁵⁰.
Vorperiode = 20 Min., Hauptperiode = 32 Min.

Gewichtszunahme 7,00—7,98 g = 14,0%.

Darauf kamen die Samen bei diesem konstanten Feuchtigkeitsgehalt, wo sie also intensive Kohlensäureabgabe zeigen, wieder in den Apparat (getrennt von den Lappen); denn es sollte ja untersucht werden, in welcher Zeit die Enzyme bei konstantem Wassergehalt geschädigt werden. Während der Zwischenpausen, auch die ganze Nacht hindurch, wurde die exhalierete Kohlensäure durch die Nebenleitung des Apparates fortgeschafft.

7. XII. 1⁴—1¹⁸ = 14 Min. Reaktionszeit

3¹⁰—3³² = 22 " "

4²²—4⁴⁴ = 22 " "

8. XII. morgens 10¹⁵—10⁴³ = 28 Min. Reaktionszeit

nachm. 4²⁰—6¹³ = 113 " "

Am Schluß des Versuches wogen die Samen 8,00 g = 14,3%.

Also erst nach beträchtlicher Einwirkung der hohen Temperatur wurde die Tätigkeit der Enzyme geschädigt. Man muß dabei be-

denken, daß das Optimum für Diastase erst bei 63° (Kjeldahl)¹⁾ liegt. Aber die Samen sind auch sonst in diesen frühen Quellstadien, wie auch aus anderen hier angegebenen Versuchen hervorgeht, ganz im Gegensatz zu den Keimpflanzen recht widerstandsfähig. Ich hätte ganz gut die Vorperiode länger ausdehnen können, wenn es mir nur darauf angekommen wäre, die Intensitätssteigerung der Kohlensäureabgabe mit der Temperatur in frühen Quellungsstadien zu untersuchen. Dabei hätte ich aber nicht beobachten können, wie viel Kohlensäure bei fortschreitender Quellung produziert wird bis zu der Erreichung eines bestimmten Quellstadiums. Diese Menge ist nach den von mir gefundenen Resultaten (besonders Tab. XI) immer gleich; (wenigstens liegen die Schwankungen innerhalb der Fehlergrenze).

Da bei hohen Temperaturen die Samen voraussichtlich immer mehr Zeit brauchen als bei niederen, um die Untersuchungstemperatur anzunehmen, wurden bei einigen Versuchen die zu untersuchenden lufttrocknen Samen vorgewärmt. Sie wurden zu diesem Zwecke abgewogen (7 g) in einem verschlossenen Reagenzglas in den betreffenden Wasserthermostaten gebracht und so bei der späteren Untersuchungstemperatur $\frac{1}{4}$ Stunde lang vorgewärmt. Dabei verloren sie im Höchsfalle 0,01 g an Gewicht.

Tab. XIII. Weizen — Blaue Dame.

Datum	Vorperiode	Um- schlag	Gesamt- dauer in Minuten	Haupt- peri- ode	Gewichts- zunahme in g	in %	Temp.	Bemer- kungen
4. VII.	3 ²¹ —3 ⁴¹	4 ³	42	Min. 22	7,00—8,20	17,14	65°	
5. VII.	8 ²⁵ —8 ⁴⁵	9 ¹⁵	50	30	7,00—8,20	17,14	65°	
6. VII.	9 ¹⁸ —9 ⁴³	10 ³	45	20	7,00—8,12	16,0	65°	
"	10 ⁴⁰ —11 ¹⁵	11 ³⁰	50	15	7,00—8,12	16,0	65°	*)

*) Der letzte Versuch war nicht vorgewärmt und dient zum Vergleich.

Nach dem Vorerwärmen wurden die Samen schnell in die ausgekochten feuchten Lappen gewickelt und kamen in den Apparat. Nach diesen wenigen Daten scheint kurzes Vorerwärmen²⁾ keinen Einfluß in diesen frühen Entwicklungsstadien auszuüben. Wegen der längeren Vorperiode erscheint im Vergleich zu Tab. XI die Hauptperiode nur etwas kürzer. Man sieht daraus, daß die Hauptproduktion an Kohlensäure erst nach Beendigung der Vorperiode (20 Minuten) einsetzt.

¹⁾ Résumé du compt. rend. des travaux du Lab. Carlsberg 1879.

²⁾ Vergl. Vorerwärmen und Atmungssteigerung bei Müller-Thurgau, Schneider-Orelli, Beiträge zur Kenntnis der Lebensvorgänge in ruhenden Pflanzenteilen. Flora 101. Bd. 3. Heft, S. 309.

Eine größere (doppelte) Menge von Samen ruft wohl den Umschlag der Reaktionsflüssigkeit etwas eher hervor, da eben doppelt so viel Material atmet; aber doch wird auch hier der charakteristische Schwellenwert von annähernd 14% Wassergehalt bis zum Umschlag der Indikatorlösung erreicht.

30. XI. 14,01 g Blaue Dame. Temp. 35° C.

Dauer von $10^8 - 10^{28} - 12^{23} = 135$ Min.
Vorp.

Gewichtszunahme: 14,01—15,92 g = 13,64%.

b. Vergleichsversuche mit anderem Weizen.

Außer dieser Weizensorte (Blaue Dame) wurden noch zwei andere hinsichtlich des mit dem Einsetzen einer deutlichen Atmung verbundenen Feuchtigkeitsgehaltes untersucht: „Strubes Schlesischer“ Ernte 1910 und „Turkestanischer Sommerweizen“ 1910. Die verschiedenen Weizensorten gestatten an der Hand der beigegebenen Analysen einen gewissen Einblick in die Beziehung zwischen Atmungsintensität und dem gebotenen Atmungsmaterial.

Analysen.

Sorte	Trocken- substanz	Asche	Roh- protein	Stick- stoff	Korn-*) gewicht
Blaue Dame 1910 St.III.03C07	83,27	1,88	12,88	2,06	5,10
Strubes Schlesischer 1910	85,12	1,94	14,50	—	5,08
Turkestan. Sommerw. 1910	84,64	2,24	16,38	2,62	3,54

*) Korngewicht heißt das Durchschnittsgewicht in g von 100 Körnern.

Tab. XIV. Strubes Schlesischer 1910.

Dat.	Vorperiode	Um- schlag	Gesamt- dauer	Haupt- periode	Gewichts- zunahme	in %	Temp.
3. XII.	10 ⁵⁶ —11 ¹⁶	2 ⁵⁷	241	221	7,00—8,03	14,7	25°
"	11 ⁷ —11 ²⁷	2 ²	175	155	7,00—8,01	14,4	30°
"	3 ¹⁸ —3 ³⁵	5 ¹⁷	119	99	7,00—8,01	14,4	35°
"	2 ³⁸ —2 ⁵⁸	4 ²³	105	85	7,00—8,04	14,8	40°
"	4 ⁴⁷ —5 ⁷	5 ⁵¹	64	44	7,00—7,94	13,4	45°
"	6 ¹⁵ —6 ³⁵	7 ¹⁶	61	41	7,00—8,02	14,6	50°

Tab. XV. Turkest. Sommerweizen 1910.

Dat.	Vorperiode	Um- schlag	Gesamt- dauer	Haupt- periode	Gewichts- zunahme	in %	Temp.
13. XI.	9 ⁵⁴ —10 ¹⁴	3 ⁰⁰	306	286	7,00—8,18 g	16,8	20°
10. XI.	9 ¹² —9 ³²	11 ⁵¹	159	139	7,00—8,13 g	16,1	25°
15. XI.	8 ³⁹ —8 ⁵⁹	10 ⁴¹	122	102	7,02—8,12 g	15,7	30°
16. XI.	8 ⁵⁷ —9 ¹⁷	10 ³⁸	101	81	7,00—8,08 g	15,4	35°
14. XI.	11 ⁴¹ —12 ³	1 ⁵	84	64	7,00—8,00 g	14,3	40°
10. XI.	2 ¹⁵ —2 ³⁵	3 ¹⁷	62	42	7,00—8,10 g	15,7	45°

Vergleicht man die Analysen und die Reaktionszeiten miteinander, so sieht man deutlich, daß mit steigendem Proteïn- und Stickstoffgehalt die Umschlagszeiten kürzer werden; es wird in der Zeiteinheit mehr Kohlensäure produziert, die stickstoffreichen Samen atmen intensiver.

Schon rein äußerlich sieht man einen deutlichen Unterschied zwischen den verschiedenen Weizensorten: die Körner der „Blauen Dame“ sind sehr groß und mehlig, während diejenigen vom „Turkestan. Weizen“ ein glasiges Aussehen besitzen und klein sind. „Strubes Schles.“ nimmt eine Zwischenstellung ein, steht aber näher der „Blauen Dame“. Auf diese scheinbaren Beziehungen gründet sich eine gewisse Abneigung der Brauer gegen die Verwertung glasiger Gerste zur Malzbereitung, da sie annehmen, daß die mehlig-stärke-reich ist, die glasige dagegen sehr eiweißreich, weshalb sie ihr auch geringere Keimungsenergie zuschreiben. Man muß jedoch bei einem derartigen Schluß sehr vorsichtig sein¹⁾.

Aus Tabelle XI für „Blaue Dame“ ersieht man, daß die Feuchtigkeitsgrade, welche die Samen beim Umschlag der Lösung angenommen haben, bei den verschiedensten Untersuchungstemperaturen nicht mehr variieren als bei derselben Temperatur. Dies brachte mich zuerst mit zu der Ansicht, daß es sich bei den angeführten Werten um Schwellenwerte handelt, da die Samen vorher, d. h. bei niederem Wassergehalt, auch bei hohen Temperaturen nur geringe Atmung zeigen und diese Verhältnisse sich ändern, sobald der Schwellenwert erreicht ist. Und zwar ist die Steigerung so intensiv, daß ich an diesen Punkt die ersten Regungen der neu erwachenden plasmatischen Lebens-tätigkeit verlegen möchte.

c. Untersuchungen auf Zucker und Diastase.

Um näher zu erkennen, daß es sich in den von mir untersuchten frühen Quellungsstadien um ein merkliches Einsetzen, zum mindesten eine Steigerung der Lebenstätigkeit handelt, suchte ich festzustellen, ob neue, wenn auch sehr kleine Mengen von Diastase in den für die Versuche benutzten Samen sich nachweisen ließen, ferner ob durch die kurze Lebenstätigkeit Zucker neu gebildet oder etwa vorhandener durch die kurze, gesteigerte Atmung verarbeitet sei. Gewöhnlich wurden die Samen in einer Mühle zermahlen, und der daraus hergestellte, öfter filtrierte Auszug wurde auf Fehling reduzierenden Zucker geprüft. Zur näheren Untersuchung gelangte nur eine Weizensorte, die „Blaue Dame“. Durch sorgfältiges Titrieren mit Fehlingscher

¹⁾ Just und Heine, Mehlig und glasige Gerste. Landw. Versuchsstat. 36, 1889, S. 269.

Lösung konnte ich mit Sicherheit weder in den ungequollenen noch in den gequollenen Weizenkörnern eine reduzierende Zuckerart feststellen. Zwar schien sich in vereinzeltten Fällen in dem Extrakt beider Art von Körnern Kupferoxydul auszusecheiden, doch war es eben nicht ganz sicher nachweisbar, zumal die Flüssigkeit ziemlich trüb war und auch Fällen mit Bleiacetat wenig nützte. Überdies ist die Fehlingsche Reaktion nicht eindeutig. V. Grafe¹⁾ konnte bei seinen „Studien über den microchemischen Nachweis verschiedener Zuckerarten mittels der Phenylhydrazinmethode“ im ruhenden Gerstenkorn gleichfalls keinen Zucker nachweisen und erst nach 24stündigem Quellen charakteristische Maltosereaktion bemerken; auch nach E. Schulzes und Ch. Godets²⁾ „Untersuchungen über die in den Pflanzensamen enthaltenen Kohlehydrate“ fehlen die reduzierenden Kohlehydrate in ungekeimten Samen der Cerealien. Auch mit dem Polarisations-Saccharimeter konnte kein Zucker nachgewiesen werden; doch möchte ich diesen Untersuchungen wegen mangelnder Genauigkeit weniger Wert zulegen.

Der Umstand, daß kein Zucker festgestellt werden konnte, spricht noch nicht gegen die Annahme der in dieser Zeit erwachenden Lebens-tätigkeit. Es könnte ja von der sich vermehrenden Diastase ein etwas größeres Quantum von Zucker bereitgestellt werden, das seiner-seits nun die Atmung unterstützt und so eine Steigerung der Intensität hervorruft, dabei aber selbst wieder mit veratmet wird, so daß man die tatsächliche Zuckezunahme quantitativ nicht nachweisen und nur aus der gesteigerten Atmung vermuten kann.

Deshalb erschien mir auch die quantitative Untersuchung der Diastase in gequollenen und ungequollenen Samen von Wichtigkeit. Zunächst wurde die Anwesenheit von Diastase nachgewiesen:

25 g Weizen (Blaue Dame) wurden lufttrocken mit chemisch reinem Seesand fein verrieben und mit 500 cem 1prozentigem Toluolwasser sechs Stunden bei Zimmertemperatur extrahiert. Der Auszug wurde mehrfach filtriert und mußte 18 Stunden auf 1prozentige lösliche Stärke (*Amylum solubile Merck*) einwirken, die auf ihre Reinheit hin vorher untersucht war; — denn *Amylum* wird durch die Vorbehandlung zuweilen in Dextrin übergeführt, wie die Jodreaktion bei einer anderen Probe derselben Herkunft zeigte. — Am Schluß erhielt man die Fehlingsche Reaktion. Von der ausgeschiedenen Kupfermenge darf man aber nicht ohne weiteres auf die Zuckermenge

¹⁾ V. Grafe, Sitzungsber. der Wiener Akad. der Wissensch. Math.-Naturw. Klasse 114, Abt. 1, 1905.

²⁾ Schulze und Godet, Zeitschrift für physiol. Chemie, Bd. 61, 1909, S. 279.

schließen¹⁾, da ein Gewichtsteil Zucker ganz verschiedene Mengen Kupferoxydul reduziert, je nachdem derselbe auf eine mehr oder minder kupferreiche Flüssigkeit einwirkt. Jedenfalls handelt es sich aber nur um geringe Diastasemengen, wie auch andere Autoren²⁾ nur Spuren des diastatischen Enzyms im ruhenden Weizen etc. feststellen konnten. Man muß sich wohl vorstellen, daß aller Zucker veratmet ist und von der spärlichen Diastase gerade so viel Material für die Veratmung bereitgestellt wird, wie erforderlich ist, ein völliges Erlöschen der Lebensenergie zu verhindern. Es muß mit Reservematerial gespart werden, damit eine ev. große Ruheperiode überstanden werden kann und dann noch so viel davon vorhanden ist, den noch nicht autotrophen jungen Keimling mit der erforderlichen Nahrung zu versehen.

Um etwaige Änderungen im Diastasegehalt festzustellen, ging ich von der Betrachtungsweise aus, daß man aus ihrer Wirksamkeit auf ihre Gegenwart wie auf die größere oder geringere Menge schließen könne. Es wurde die bei Oppenheimer³⁾ empfohlene Methode von Wohlgemut⁴⁾ angewandt, wobei eine Reihe von Reagensgläsern, welche in Eiswasser stehen, und von denen jedes 5 ccm 1prozentige Stärkelösung enthält, mit absteigenden Mengen von der zu untersuchenden Fermentlösung beschießt wird. Diese wirkt eine bestimmte Zeit bei höherer Temperatur (35°) ein. Aus der Dauer der Einwirkung, der Temperatur und der späteren Färbung mit einem Tropfen $N/_{10}$ Jodlösung kann man dann je nach der Maßeinheit (z. B. 1 ccm Speichel auf 250 ccm Stärke) die diastatische Wirksamkeit bestimmen und daraus auf die Mengenverhältnisse relativ schließen. Mittels dieser Methode gelang es mir in keinem Falle, einen Unterschied im Diastasegehalt zwischen unbenutzten Samen und solchen, die schon geatmet hatten, festzustellen. Nur in einem Falle konnte ich einen solchen Unterschied konstatieren, als ich eine ähnliche Methode verwandte wie H. Wohllebe⁵⁾ bei seinen „Untersuchungen über die Ausscheidung des diastatischen Enzyms bei Samen“. Dieser hatte nur eine Zunahme des Gehaltes an Protease in gequollenen Samen

1) Soxlet, Chemisches Zentralblatt 1873. Allihn, Zeitschrift für analyt. Chemie 18, 348.

2) E. Eisenberg, Beiträge zur Kenntnis der Entstehungsbedingungen diastatischer Enzyme in höheren Pflanzen. Flora 1907, Bd. 97, S. 347–374. W. Detmer, Botan. Zeitung, Bd. 37, 1883, S. 601. Vergl. Verhältnis von Kupfer zur Diastasemenge. Czapek I. 342. Linz (Pringsheim 29, 1896, S. 267) gibt eine Tabelle über Beziehung von Kupfermenge und Diastase.

3) Oppenheimer, Fermente und ihre Wirkungen. 1910.

4) Wohlgemut, Methode zur quant. Best. der diastat. Ferm. Biochem. Ztg. 1X, 1, 1908.

5) Wohllebe, Diss. Leipzig 1911, l. c.

von *Triticum sativum* gegenüber ungequollenen feststellen können, für Diastase aber nicht das gleiche bemerkt.

Es wurde 10prozentige warme Gelatinelösung mit 1prozentiger löslicher Stärke versetzt. Davon wurden in Petrischalen Platten gegossen und diese im Dampfsterilisator längere Zeit erhitzt, um die Wirkung spezifischer Mikroben auszuschließen, welche die verkleisterte Stärke in dextrinartige Substanzen überzuführen vermögen, welche letztere zwar Fehlingsche Lösung nicht reduzieren, wohl aber die Jodreaktion beeinflussen¹⁾. Nach dem Erkalten und Erstarren wurden auf die Platten in aufsteigender Reihenfolge 0,1–0,6 ccm der zu untersuchenden Fermentlösung gebracht. Diese wurde wie oben hergestellt. Die Diastase wirkte dann 5½ Tage bei durchschnittlich 12° auf die Stärke ein. Danach wurden die Platten mittels Jodjodkaliumlösung untersucht, wie weit und besonders in welchem Grade die Diastase die Stärke in Zucker übergeführt hatte. Dabei ließ sich nach dem Abspülen der Jodjodkaliumlösung feststellen, daß in der Fermentlösung, welche aus den gequollenen Samen hergestellt war, mehr Diastase sein mußte, als in derjenigen der unbenutzten Samen. Wenigstens besaßen die mit der letzteren versehenen Platten nicht so scharf konturierte Höfe. Demnach hat eine wenn auch äußerst minimale Zunahme der Diastase während der kurzen Quellung stattgefunden. Dies kann man wohl als eine Äußerung von geringer Lebenstätigkeit auffassen, und ich möchte wenigstens bei der hier untersuchten Weizensorte die ersten Regungen der neuen Tätigkeit des Plasmas mit dem Auftreten der intensiveren Atmung verbinden.

IV. Die Abhängigkeit der beginnenden Intensitätssteigerung.

(Untersucht zumeist an Dicotylen.)

Um einen etwas tieferen Einblick in die Fragen zu bekommen, welche Rolle die das Wasser aufnehmende Oberfläche und die Reservestoffe auf die Atmung der quellenden Samen ausüben, wurden noch andere, und zwar meist dicotyle Samen untersucht. Hierbei möchte ich gleich hervorheben, daß weniger Wert darauf gelegt wurde, ob es sich beim Umschlag der Lösung um einen Schwellenwert der Atmungsintensität der gequollenen Samen handelte oder nur um einen Feuchtigkeitsgrad, der eben erreicht war, als das Produkt aus Atmungsintensität \times Zeit zum Umschlag genügte. Es wurden also die darunter liegenden Feuchtigkeitsgrade nicht auf ihre Intensität hin untersucht. Bei einigen Samen (*Helianthus*, *Lupinus*, *Ervum Lens*)

¹⁾ Schardinger, Bildung kristallisierter Polysaccharide aus Stärkekleister durch Microbien. Zentralblatt für Bakteriologie, 29. Bd. Febr. 1911.

scheint es sich um einen ähnlichen, wenn auch nicht so intensiven Steigerungsgrad der Atmungskurve zu handeln (vielleicht spielt hierbei die mehr isolierte Lage des Embryo beim Weizen eine Rolle), bei anderen (*Ricinus*, *Brassica*, *Trigonella*) scheint es sich um gewöhnliche Durchgangswerte der Atmungssteigerung zu handeln, da sich eine, wenn auch geringe, Tendenz dazu bemerkbar macht, daß bei höheren Temperaturen schon etwas geringere Feuchtigkeitsgrade genügen als bei niederen, um dieselbe Produktion an Kohlensäure zu ergeben. Man darf die von mir angeführten Werte der Wasseraufnahme also nicht so verstehen, daß bei allen Temperaturgraden bei gleichem Wassergehalt die Atmungsintensität gleich groß sei, weil sie genügt, den Umschlag in der Pettenkoferröhre herbeizuführen, und daß sie nur deshalb bei höheren Temperaturen stärker erscheine, weil die Quellung intensiver verlaufe, die entsprechenden Feuchtigkeitsgrade also eher erreicht werden. Es atmet z. B. Raps bei einem Wassergehalt von 26,4% bei 20° C. innerhalb 29 Minuten dasselbe Quantum an Kohlensäure aus wie bei nur 22,3% Wassergehalt und 50° C. innerhalb 6½ Minuten. Ferner dauerte der Umschlag der Lösung mit Weizen (*Strubes Schles.*) bis zu einer Wasseraufnahme von 12,3% bei 30° C. 139 Minuten; bei konstantem Wassergehalt (12,3%) und derselben Temperatur genügten (2 Stunden später) nur 60 Minuten. (Bei *Brassica* konnte bei 31° und entsprechendem konstanten Wassergehalt in den aufeinanderfolgenden Stunden zunächst noch eine ganz geringe Steigerung der Atmungsintensität beobachtet werden.)

a. Von der Größe der wasseraufnehmenden Oberfläche.

Aus dem Korngewicht geht hervor, daß vom Turkestanischen Sommerweizen (3,54) weit mehr Körner auf die stets benutzten 7 g kommen als von der Blauen Dame (5,10). Die aufnehmende Gesamtoberfläche ist also bei jenem größer; es wird daher auch mehr Wasser in der Zeiteinheit aufgenommen und die Atmungsintensität kann somit schneller gesteigert werden. Da nun beim Weizen die Wasseraufnahme am Embryo stattfindet und sich das Wasser zunächst in der Aleuronschicht nach der Spitze des Samens zu ausbreitet¹⁾, so werden gerade diejenigen Schichten getroffen, welche G. Haberlandt²⁾ als ein zur Zeit der Keimung Diastase bildendes und ausscheidendes Drüsengewebe ansieht (wie auch schon eine starke Sekretion von Protease

¹⁾ H. Schröder, Über die selektiv permeable Hülle des Weizenkorns. *Flora*, 2. Heft 1911, S. 186.

²⁾ G. Haberlandt, Die Kleberschicht des Grasendosperms als Diastase ausscheidendes Drüsengewebe. *Ber. der Deutsch. Bot. Ges.* VIII, 40.

[s. o.] in gequollenen Samen von *Triticum sativum* konstatiert werden konnte). Die kleineren Samen vom Turkestan. Weizen müssen aber auch, da sie im ganzen eine größere Oberfläche vorstellen, mehr Wasser absorbieren: die durchschnittliche Wasseraufnahme bei den Körnern der Blauen Dame beträgt bis zur Erreichung des Umschlags 14,68%, beim Turkestan. Weizen dagegen 15,66%. (Vergl. hierzu die Versuche mit *Ricinus* S. 235.)

Den Einfluß der Größe der Oberfläche auf die Wasseraufnahme und das damit verbundene Einsetzen einer merklichen Kohlensäureausscheidung kann man z. B. an der Linse und der Zwerglupine studieren, wenn auch nur bis zu einem gewissen Grade, da die Artcharaktere und die Natur der Reservestoffe für die Steigerung der Atmungsintensität wohl die größere Rolle spielen. Beide Samenarten besitzen dieselbe flache Gestalt, aber *Lupinus nanus* ist viel kleiner und leichter und seine Samen stellen nur winzige Blättchen, somit eigentlich nur Oberfläche dar. Es kommen daher bei demselben Gewicht (7 g) bedeutend mehr Individuen davon als von der Linse in den Apparat. Die Oberfläche, die Zahl der Micropylen und somi

Tab. XVI. *Ervum Lens*.

Korngewicht = 7,48.

Datum	Vorperiode	Umschlag	Gesamtdauer	Hauptperiode	Gewichtszunahme in g	in %	Temp.
3. XI.	8 ³⁰ —8 ⁵⁵	1 ²⁰	290	265	7,00—8,51	21,6	15 ⁰
=	8 ³⁵ —9 ⁰⁰	1 ⁰⁰	265	240	7,02—8,58	22,2	15 ⁰
4. XI.	9 ⁰⁰ —9 ²⁰	12 ³⁰	210	190	7,00—8,60	22,9	20 ⁰
=	9 ¹³ —9 ³³	12 ⁵⁴	221	201	7,00—8,61	23,0	20 ⁰
6. XI.	4 ³² —4 ⁵²	7 ²⁰	168	148	7,00—8,52	21,7	25 ⁰
=	4 ⁴⁰ —5 ⁰⁰	7 ³⁵	170	150	7,02—8,67	23,5	25 ⁰
7. XI.	8 ⁵⁵ —9 ¹⁵	11 ⁷	132	112	7,00—8,63	23,3	30 ⁰
=	11 ¹³ —11 ³³	12 ⁵¹	98	78	7,03—8,56	21,8	35 ⁰
=	11 ⁴⁵ —12 ⁵	1 ²⁰	95	75	7,04—8,62	22,4	35 ⁰
=	1 ²³ —1 ⁴³	2 ³⁶	73	53	7,00—8,52	21,7	40 ⁰
9. XI.	12 ²⁶ —12 ⁴⁶	1 ⁴⁵	79	59	7,03—8,67	23,7	40 ⁰
=	9 ³⁸ —9 ⁵⁸	10 ³⁵	57	37	7,01—8,62	22,9	45 ⁰
=	10 ⁵³ —11 ¹³	11 ⁵⁵	62	42	7,02—8,68	23,6	45 ⁰
8. XI.	10 ⁰⁰ —10 ²⁰	10 ⁴⁸	48	28	7,03—8,71	23,9	50 ⁰
9. XI.	12 ¹⁷ —12 ³⁷	12 ⁵⁷	40	20	7,05—8,63	23,1	50 ⁰
[7. XI.	9 ²⁷ —9 ⁴⁷	11 ²²	115	95	7,00—8,50	21,4	30 ⁰]
10. XI.	1 ¹⁴ —1 ³⁴	1 ⁵³	39	19	7,00—8,49	21,3	55 ⁰
=	2 ² —2 ²²	2 ³⁸	36	16	7,04—8,63	23,2	55 ⁰
=	9 ² —9 ²²	9 ³⁴	32	12	7,00—8,47	21,0	60 ⁰
=	9 ⁴⁶ —10 ⁶	10 ²²	36	16	7,01—8,53	21,7	60 ⁰

die Aussicht auf eine schnelle Wasseraufnahme ist bei *Lupinus nanus* viel größer. Trotzdem sehen wir, daß von der Lupine (Tab. XVII)

in der Zeiteinheit kaum halb so viel Wasser aufgenommen wird wie von der Linse (Tab. XVI). Der anatomische Bau der Samenschale, besonders die schwere Durchlässigkeit der Pallisadenschicht¹⁾ mag hieran mit die Schuld tragen. Andererseits brauchen die Lupinen auch nicht ein solches Quantum an Wasser aufzunehmen, um intensiver zu atmen; sie erreichen bei einem Feuchtigkeitsgrade von 11% schon dieselbe Atmungsstufe wie die Linsen bei 22%. Jene würden also bei schnellerer Wasseraufnahme z. B. bei Temperaturschwankungen im Freien und der damit verbundenen Kondensation von Wasser nur noch eher dem Verderben anheimfallen, als es ohnehin schon der Fall ist.

Die Tatsache, daß die Lupinen schon bei niederem Feuchtigkeitsgehalt so intensiv atmen, ist offenbar auf denselben Grund zurückzuführen, der sich schon bei der stärkeren Kohlensäureproduktion des Turkestan. Weizens gegenüber den stärkereichen Weizensorten geltend gemacht hatte: auf den hohen Stickstoffgehalt.

Tab. XVII. *Lupinus nanus*.

Korngewicht = 0,62.

Datum	Vorperiode	Um- schlag	Gesamt- dauer	Haupt- periode	Gewichts- zunahme in g	in %	Temp.
21. XI.	1 ⁴³ —2 ³	6 ⁴⁴	301	281	7,00—7,75	10,7	15 ⁰
"	1 ⁵³ —2 ¹³	6 ⁴²	289	269	7,00—7,81	11,6	15 ⁰
22. XI.	4 ⁴⁵ —5 ⁵	7 ²³	158	138	7,00—7,79	11,3	25 ⁰
"	4 ⁵⁹ —5 ¹⁹	7 ²⁶	147	127	7,00—7,76	10,9	25 ⁰
21. XI.	11 ⁰⁰ —11 ²⁰	12 ⁵⁰	110	90	7,00—7,79	11,3	35 ⁰
"	11 ⁹ —11 ²⁹	12 ⁵⁶	107	87	7,00—7,78	11,1	35 ⁰
"	9 ¹¹ —9 ³¹	10 ²⁸	77	57	7,00—7,82	11,7	45 ⁰
"	9 ²⁵ —9 ⁴⁵	10 ⁴⁵	80	60	7,00—7,80	11,4	45 ⁰

Um einen noch besseren Einblick zu bekommen in die Rolle, welche die Oberflächenverhältnisse hinsichtlich der Wasseraufnahme spielen, wurden aus einer Samensorte (*Ricinus Gibsoni*), welche die meisten Größenunterschiede der einzelnen Individuen zeigte, 7 g der ausgesucht größten und 7 g der kleinsten Samen miteinander verglichen. Im ersten Falle kamen 17 Stück, im zweiten 41 auf dies Gewicht. Trotzdem die 41 nach Beendigung des Versuches einen größeren Feuchtigkeitsgrad zeigten, so atmeten sie doch nicht so intensiv wie die 17 großen Samen.

Wahrscheinlich kommt dies daher, daß die zahlreichen kleinen Samen, welche eine größere Oberfläche darstellen als die auf dasselbe Gewicht kommenden großen Samen, erst ein gewisses größeres

¹⁾ G. Haberlandt, Über die Quellungsunfähigkeit der Leguminosen. 1880.

Tab. XVIII. *Ricinus Gibsoni*.

Datum	Vorperiode	Um- schlag	Gesamt- dauer in Minuten	Haupt- peri- ode	Gewichts- zunahme in g	in %	Temp.	Zahl
23. XI.	9 ⁴² —10 ²	10 ⁴²	60	40	7,05—7,72	9,5	48 ⁰	41
"	10 ⁵⁷ —11 ²⁷	10 ⁴⁵	48	18	6,95—7,35	5,0	48 ⁰	17

Quantum Wasser gebrauchen, um diese zu imprägnieren. Die Samenschale an sich birgt nur geringe Spuren von Enzymen (meist gar keine), so daß die zur Durchtränkung der Samenschale aufgenommenen Wassermengen für eine Steigerung der Atmungsintensität nicht in Betracht kommen. Deshalb wurde die Fruchtshale bei den unten zu besprechenden Versuchen mit *Helianthus* entfernt. Endlich wäre bei den hier (Tab. XVIII) angeführten Versuchen zu bedenken, ob nicht trotz des gleichen äußeren Aussehens der Samen eine Verschiedenheit der Sorten vorliegt; man müßte also für derartige Untersuchungen die Samen selbst ernten.

b. Von der Natur der Reservestoffe.

Bei den übrigen Versuchen mit *Ricinus* wurde auf ein gleichmäßig großes Material gesehen, die Resultate sind dementsprechend einheitlicher.

Tab. XIX. *Ricinus Gibsoni*.

Korngewicht = 22,85.

Datum	Vorperiode	Um- schlag	Gesamt- dauer in Minuten	Haupt- peri- ode	Gewichts- zunahme in g	in %	Temp.	Bemer- kungen
18. XI.	10 ⁴ — 10 ²⁴	10 ⁵⁹	55	35	7,00—7,60	8,6	50 ⁰	} H ₂ O im Apparat
"	11 ⁵ — 11 ²⁵	12 ³	58	38	7,02—7,63	8,7	50 ⁰	
20. XI.	9 ⁵ — 9 ²⁵	10 ⁸	63	43	7,12—7,70	8,2	45 ⁰	
"	9 ¹⁷ —9 ³⁷	10 ²⁵	68	48	7,13—7,82	9,7	45 ⁰	
"	10 ³² —10 ⁵²	12 ¹⁸	106	86	7,15—7,82	9,4	37 ⁰	
"	10 ⁵⁷ —11 ¹⁷	1 ²	125	105	7,02—7,62	8,5	35 ⁰	
"	1 ⁶ — 1 ³⁶	5 ³	357	327	7,00—7,70	10,0	25 ⁰	
"	1 ²⁴ —1 ⁴²	5 ⁶	343	323	7,15—7,87	10,7	25 ⁰	
22. XI.	8 ⁵⁰ —9 ¹⁰	4 ¹²	442	422	7,17—7,93	10,8	15 ⁰	
"	8 ⁵⁵ —9 ¹⁸	4 ¹⁸	440	420	7,07—7,86	11,1	15 ⁰	

Bei niederen Temperaturen verläuft die Atmung auffallend langsam; besonders macht sich dies bemerkbar, wenn man dazu die intensivere Atmung bei höheren Temperaturen in Vergleich zieht. Zu erklären ist dieses Ansteigen der Atmungskurve wohl daher, daß wir es mit einer Pflanze wärmerer Klimate zu tun haben. Ferner sehen

wir, daß schon recht geringe Feuchtigkeitsgrade genügen, um eine intensive Atmung zu veranlassen. Dieser Umstand ist wohl wieder den Reservestoffen, in diesem Falle dem Eiweißreichtum, zuzuschreiben.

Helianthus! Diese Früchte besitzen eine stark verholzte Schale, welche für Wasser nur schwer durchlässig ist und daher die Aufnahme stark verzögern würde. Deshalb wurden sie davon befreit und so, geschält, zu den Versuchen benutzt. Da es hierbei nicht ohne Verletzungen abgeht, war zu befürchten, daß dadurch eine traumatische Reizung hinsichtlich der Kohlensäureausscheidung hervorgerufen und die Resultate der Untersuchung verwirrt werden konnten. Allein eine solche Reizung trat scheinbar nicht ein; wenigstens variieren die gefundenen Werte nicht mehr als diejenigen der übrigen Samen. Vielleicht stellte sich trotzdem eine Reizung, d. h. Steigerung der Kohlensäureproduktion ein entweder später, so daß sie für den Versuch nicht weiter in Betracht kam, oder sie fiel in den Versuch hinein, trat dann aber so gleichmäßig auf, daß sie je nach den einzelnen Temperaturen und Geschwindigkeitssteigerungen stets das gleiche und einheitliche Bild ergab (s. Tab. XX). Wahrscheinlich sind aber diese Früchte wie auch die übrigen Samen in den frühen Quellungsstadien ebenso gegen diese Reize wie gegen andere Schädigungen noch recht unempfindlich.

Tab. XX. *Helianthus* — geschält.

Dat.	Vorperiode	Um- schlag	Ges.- Dauer in Min.	Haupt- peri- ode	Gewichts- zunahme in g	in %	Temp.	Be- merkungen
26. V.	1 ⁸ — 11 ³⁵	240	212	182	4,02—5,02	25,1	15 ⁰	} Früchte abgetöt., Vergleichspflan- zen keimten gut.
"	4 ¹⁵ —4 ³⁰	7 ⁵⁰	215	200	4,03—5,05	25,3	16 ⁰	
25. V.	2 ³¹ —2 ⁴⁶	6 ¹²	201	186	4,01—5,00	24,9	17 ⁰	
29. V.	9 ³⁸ —9 ⁵³	12 ¹⁶	158	143	4,00—4,98	24,5	25 ⁰	
"	12 ²² —12 ³⁷	2 ⁵⁵	153	138	4,00—4,92	23,0	25 ⁰	
23. V.	12 ⁰⁰ —12 ¹⁵	2 ⁰⁰	120	105	4,03—5,00	24,6	30 ⁰	
"	10 ⁸ —10 ²³	11 ³¹	83	68	4,02—5,01	24,8	34 ⁰	
"	2 ³⁵ —2 ⁵⁰	3 ⁵⁷	82	67	4,00—5,03	25,7	36,5 ⁰	
24. V.	9 ⁹ —9 ²⁴	10 ¹⁵	66	51	4,00—5,00	25,0	41 ⁰	
23. V.	7 ⁵⁸ —8 ¹⁴	8 ⁵⁹	61	47	4,00—4,95	23,7	42 ⁰	
22. V.	10 ²⁵ —10 ⁴⁰	11 ²³	58	38	4,00—5,00	25,0	50 ⁰	
"	11 ⁴³ —12 ⁰⁰	12 ³⁹	56	39	4,00—5,02	25,5	50 ⁰	
"	3 ¹⁸ —3 ³⁰	4 ¹³	55	43	4,04—4,98	23,3	50 ⁰	
18. V.	10 ⁴⁵ —11 ⁰⁰	11 ³⁵	50	35	4,00—4,98	24,5	55 ⁰	
"	12 ⁵ —12 ²⁵	12 ⁵⁵	50	28	4,02—5,01	24,8	55 ⁰	

Wir sehen aus diesen Versuchen, wie viel schneller die Helianthuskerne besonders auch bei niederen Temperaturen mit einer intensiveren Kohlensäureproduktion beginnen können als Weizen; andererseits müssen sie aber in der kürzeren Zeit größere Mengen an Wasser aufnehmen,

um den zum Einsetzen einer intensiveren Kohlensäureabgabe erforderlichen Feuchtigkeitsgrad zu erreichen. Die Wasseraufnahme wird durch das Fehlen der Fruchtschale bedeutend erleichtert und findet wahrscheinlich allseitig statt, während Weizen fast nur im Bezirk des Embryo Wasser aufzunehmen vermag. Bei höheren Temperaturen sind die Unterschiede besonders der Turkestan. Weizensorte gegenüber nicht mehr groß. Wenn trotzdem die Atmung bei *Helianthus* noch intensiver verläuft, so ist daran zu erinnern, daß diese Früchte viel Fett gespeichert haben, und daß fettreiche Samen besonders intensiv atmen (besonders die Sauerstoffaufnahme ist groß).

Die *Helianthus*schalen gaben auch für sich allein innerhalb neun Stunden Spuren von Kohlensäure ab¹⁾ und hatten in dieser Zeit 42,3% Wasser aufgenommen.

Weiter ist bekannt, daß fettreiche Samen im allgemeinen auch reicher an Eiweiß sind als Kohlehydrat führende Nährgewebe. Dies kann man z. B. deutlich ersehen, wenn man *Triticum vulgare* mit *Brassica Rapa* daraufhin vergleicht²⁾:

Untersuchungsmaterial	in % der Trockensubstanz		
	Kohlehydrat	Fett	Eiweiß
<i>Triticum vulgare</i>	68,65	1,85	12,04
<i>Brassica Rapa</i>	24,41	33,53	20,48

Gerade Raps und Mohn sollen aber das Fett ihres Samens nach Czapek nicht als Reservestoff benutzen, was eigentlich nicht recht einzusehen ist, da auch im Preßsaft von Raps³⁾ wie von anderen fetthaltigen Samen die Fette gespalten werden. Man kann auch aus Tabelle XXI eine besonders bei hohen Temperaturen sehr intensive Kohlensäureabgabe ersehen, die ich bis zu einem gewissen Grade doch dem Fettgehalt zuschreiben möchte, wenn auch sonst dieser nicht weiter als Reservematerial benutzt werden sollte.

c. Von der Schnelligkeit der Wasseraufnahme.

Ein anderer wohl ebenso bedeutender Faktor für das so baldige Einsetzen einer intensiven Kohlensäureproduktion ist die schnelle Wasseraufnahmefähigkeit der Brassicasamen mittels ihrer Schleimschicht.

Auch bei niederen Temperaturen geht die Quellung ziemlich schnell vor sich, und somit wird es den Samen bald möglich, eine intensivere Kohlensäureabgabe zu zeigen, auch wenn dazu größere Wassermengen

¹⁾ Vergl. H. Wohlleben, l. c. ²⁾ Czapek, Biochemie der Pflanzen I, S. 97.

³⁾ Fermentreaktion im Preßsaft fettreicher Keimlinge. Astrid und Hans Euler, Ztschr. für physiolog. Chemie 51, 1907.

(verglichen mit Weizen) erforderlich sind. Die Atmung steigt aber auch mehr mit dem Wassergehalte als bei konstantem Feuchtigkeitsgrade mit der Temperatur. Die Wasseraufnahme verläuft bei Brassica sogar noch etwas schneller als bei den geschälten Helianthusfrüchten. Auch scheint die Regel von Van't Hoff noch für höhere Temperaturen zuzutreffen.

Tab. XXI. *Brassica Napus*.

Korngewicht = 0,40.

Datum	Vorperiode	Unschlag	Gesamtdauer in Minuten	Hauptperiode	Gewichtszunahme in g	in %	Temp.
30. X.	8 ³⁰ —9 ⁰⁰	12 ⁰⁰	210	180	7,00—8,54	22,0	15 ⁰
"	8 ⁴⁰ —9 ¹⁰	12 ¹⁸	218	188	7,00—8,59	22,7	15 ⁰
1. XI.	8 ⁵¹ —9 ¹¹	12 ¹²	201	181	7,00—8,65	23,6	15 ⁰
28. 10.	8 ⁴⁴ —9 ⁴	11 ³⁶	172	152	7,00—8,65	23,6	20 ⁰
"	8 ⁵³ —9 ¹³	11 ⁴⁶	173	153	7,00—8,63	23,3	20 ⁰
2. XI.	8 ⁵⁸ —9 ¹⁸	11 ²⁰	142	122	7,00—8,62	23,1	20 ⁰
30. X.	3 ⁵⁵ —4 ²⁰	5 ⁵⁰	115	90	7,00—8,57	22,4	25 ⁰
31. X.	8 ⁴⁰ —9 ⁵	10 ⁴⁵	120	95	7,00—8,63	23,3	25 ⁰
"	11 ¹ —11 ²¹	12 ⁵²	111	91	7,00—8,61	23,0	25 ⁰
27. X.	12 ⁴⁰ —1 ¹⁰	2 ¹⁰	90	60	7,00—8,60	22,9	30 ⁰
"	3 ⁰⁰ —3 ²⁰	4 ³⁰	90	70	7,00—8,63	23,3	30 ⁰
"	5 ¹⁰ —5 ²⁵	6 ⁴¹	91	76	7,00—8,54	22,0	30 ⁰
"	2 ⁵² —3 ¹²	3 ⁵⁷	65	45	7,00—8,64	23,4	35 ⁰
30. X.	3 ⁴⁷ —4 ¹²	4 ⁵³	62	37	7,00—8,58	22,5	35 ⁰
"	5 ³⁰ —5 ⁵⁵	6 ⁴⁰	70	45	7,00—8,66	23,7	35 ⁰
31. X.	8 ⁵² —9 ¹³	9 ⁵²	60	39	7,00—8,64	23,4	40 ⁰
2. XI.	9 ⁵ —9 ²⁵	10 ⁰⁰	55	35	7,00—8,59	22,7	40 ⁰
"	10 ⁷ —10 ²⁷	11 ⁰⁰	53	33	7,00—8,54	22,0	40 ⁰
31. X.	10 ¹² —10 ³²	11 ⁰⁰	48	28	7,00—8,67	23,9	45 ⁰
"	11 ¹⁷ —11 ³⁷	12 ⁰³	46	26	7,00—8,54	22,0	45 ⁰
1. XI.	9 ⁵⁴ —10 ¹⁴	10 ³³	44	24	7,00—8,56	22,3	45 ⁰
31. X.	12 ¹⁵ —12 ³⁵	12 ⁵²	37	17	7,00—8,43	20,43	50 ⁰
2. XI.	11 ¹⁴ —11 ³⁴	11 ⁵⁰	36	16	7,00—8,48	21,1	50 ⁰
10. XI.	4 ¹² —4 ³²	4 ⁴²	30	10	7,00—8,42	20,3	55 ⁰
"	5 ³ —5 ²³	5 ³²	29	9	7,00—8,40	20,0	55 ⁰
11. XI.	3 ² —3 ³⁰	3 ³⁷	35	15	7,00—8,46	20,9	55 ⁰
10. XI.	10 ⁴⁶ —11 ⁶	11 ¹⁴	28	8	7,00—8,45	20,7	60 ⁰
"	11 ²⁸ —11 ⁴⁸	11 ⁵⁶	28	8	7,00—8,45	20,7	60 ⁰

Wie Brassica nimmt auch Trigonella schnell Wasser auf, und zwar mit Hilfe seiner Schleimschale und seines Schleimdosperms¹⁾. Die Aufnahme ist nicht ganz so intensiv und dauert länger, da vor allem eine größere Menge Wasser absorbiert werden muß als bei

¹⁾ H. Nadelmann, Über die Schleimdosperme der Leguminosensamen. Ber. der Deutsch. Bot. Ges. Bd. VII, 1889, Heft 5, S. 248—255.

Raps. Die Kohlensäureproduktion verläuft auch nicht so energisch trotz des hohen Feuchtigkeitsgehaltes von 27%. Dieser ist aber im Vergleich zu der hohen Wasserkapazität der Trigonellasamen (vergl. S. 214) noch ziemlich niedrig. Die Schwankungen bei der Feststellung des Wassergehaltes, die wir bei allen Samen beobachten konnten, werden hier durch die schnelle Quellung natürlich vergrößert.

Tab. XXII. *Trigonella Foen. graec.*

Datum	Vorperiode	Um- schlag	Gesamt- dauer in Minuten	Haupt- periode	Gewichts- zunahme in g	in %	Temp.
28. XI.	9 ²⁸ —9 ⁴⁸	3 ⁵⁴	386	366	7,00—8,89	27,0	15 ⁰
=	9 ³⁸ —9 ⁵⁸	4 ⁰⁰	382	362	7,00—8,95	27,9	15 ⁰
27. XI.	1 ⁵⁸ —2 ¹⁸	5 ¹⁰	192	172	7,00—9,09	29,9	25 ⁰
=	2 ¹⁰ —2 ³⁰	5 ³¹	201	181	7,00—9,12	30,2	25 ⁰
29. XI.	12 ⁵⁰ —1 ¹⁰	3 ⁴⁷	177	157	7,00—9,04	29,1	25 ⁰
27. XI.	11 ²³ —11 ⁴⁸	1 ¹¹	108	83	7,00—8,96	28,0	35 ⁰
29. XI.	10 ³³ —10 ⁵³	12 ⁴⁰	127	107	7,00—9,07	29,8	35 ⁰
25. XI.	9 ¹⁸ —9 ³⁸	10 ⁴⁵	87	67	7,02—9,10	29,6	37 ⁰
25. XI.	9 ² —9 ²²	10 ²	60	40	7,00—8,65	23,6	45 ⁰
29. XI.	2 ⁵⁵ —3 ¹⁵	3 ⁵³	58	38	7,00—8,65	23,6	45 ⁰
25. XI.	10 ⁵² —11 ¹²	11 ⁵⁴	62	42	7,00—8,95	27,9	46 ⁰
29. XI.	8 ²² —8 ⁴²	8 ⁵⁷	35	15	7,00—8,82	26,0	55 ⁰
=	9 ¹² —9 ³²	9 ⁴⁷	35	15	7,00—8,55	22,1	55 ⁰
=	10 ³ —10 ²³	10 ³⁹	36	16	7,00—8,58	22,6	55 ⁰

Endlich wurden Dattelkerne hinsichtlich ihrer Wasseraufnahme und der damit verbundenen Steigerung der Atmungsintensität untersucht.

Tab. XXIII. *Phoenix dactylifera.*

Datum	Vorperiode	Um- schlag	Ges- dauer in Min.	Haupt- peri- ode	Gewichts- zunahme in g	in %	Temp.	Be- merkungen
4. XII.	9 ³⁶ —9 ⁵⁶	6 ⁰⁰	504	484	7,00—7,47	6,7	30 ⁰	} Nur mit Wasser,
=	9 ⁴⁵ —10 ⁵	5 ²⁵	460	440	7,02—7,45	6,1	30 ⁰	
5. XII.	9 ²⁵ —9 ⁴⁵	1 ²⁰	240	220	7,04—7,60	7,9	30 ⁰	} mit Wasser und Alkohol gereinigt
6. XII.	4 ²⁵ —4 ⁴⁵	9 ³⁰	300	280	7,07—7,55	6,8	30 ⁰	
=	4 ³⁴ —4 ⁵⁴	9 ³²	298	278	7,35—7,91	7,6	30 ⁰	

Die Samen nehmen sehr langsam Wasser auf, und auch die Kohlensäureproduktion verläuft recht schwach. Auch hierfür muß man wohl einerseits den festgefügtten anatomischen Bau, andererseits das Reservematerial, in diesem Falle die schwer angreifbare Reservezellulose¹⁾ verantwortlich machen.

¹⁾ J. Grüß, Studien über Reservezellulose. Wiss. Original-Mitteilung im Botan. Zentralblatt, Bd. 70, 1897, S. 242.

Es wurden immer 9 Kerne benutzt, welche ungefähr 7 g wogen. Die Samen wurden mit einer Bürste in fließendem Wasser gründlich gereinigt und kamen bei den beiden ersten Versuchen frisch in den Apparat. Sie waren äußerlich fettig, so daß sie nur schwer Wasser annahmen. Die übrigen Samen reinigte ich deshalb kurz mit absolutem Alkohol und trocknete sie dann im Zimmer. Der Ätherauszug aus einer Vergleichsportion zeigte nach dem Verdunsten einen talgartigen Rückstand, der sich gegen Alkanna indifferent verhielt. Die mit Alkohol behandelten Samen zeigten (Versuch 3—5) eine schnellere Wasseraufnahme und damit ein früheres Einsetzen der intensiveren Kohlensäureproduktion. Nobbe ¹⁾ bestreitet dagegen irgend welche Einwirkung von absolutem Alkohol auf die Quellbarkeit der Samen und führt die Hemmnisse des Schwellprozesses lediglich auf den anatomischen Bau zurück und die Art, wie die verschiedenen Schichten das Wasser aufnehmen und weiterführen.

Sollte es sich nicht bei den Dattelversuchen um eine andere Dattelsorte handeln, so wäre auch in diesem Falle das frühere Erreichen einer intensiveren Atmung von einer schnelleren Wasseraufnahme abhängig zu machen.

V. Das Verhalten von quellenden Samen.

a. Bei Behandlung mit Toluol.

Nach den Atmungsversuchen bei 55° C. und darüber war das Material, wie die Keimversuche zeigten, abgetötet. Trotzdem ließ sich bei diesen Temperaturen eine besonders auffällige Änderung in dem Einsetzen der intensiveren Kohlensäureabgabe nicht konstatieren; die Kurve (II) steigt weiter, wenn auch weniger steil. Vielleicht liegt dies daran, daß von dem abgetöteten Plasma nicht neue Enzyme gebildet werden können, daß die regulatorische Kraft des Lebens fehlt, oder daß die Samen doch nicht schnell genug auf die gewünschte hohe Temperatur gebracht werden können. An eine schnelle Schädigung der Enzyme durch diese Temperaturen ist wohl nach dem Versuche S. 226 nicht zu denken. Dieser zeigt schon, daß die Samen noch recht resistent sind.

Zur weiteren Klärung dieser Fragen hätten Kohlensäureabgaberversuche bei tieferen Temperaturen mit abgetöteten Samen angestellt werden müssen. Dabei mußte von lufttrocknem Material, das noch nicht gequollen war, ausgegangen werden, da gequollene und wieder getrocknete Samen eine ganz andere Atmungskurve zeigen²⁾. Flüssigkeiten durften also zum Abtöten vor dem eigentlichen Versuche nicht

¹⁾ Nobbe, l. c., S. 116.

²⁾ Kolkwitz, l. c.

verwendet werden. Hohe Temperaturen werden von relativ trocknen Samen ohne besondere Schädigung einige Zeit ertragen¹⁾. Läßt man sie weiter bis zur Abtötung einwirken, so werden voraussichtlich auch die Enzyme geschädigt, oder es destilliert organische Substanz hinweg, wie ich bei Trocknungsversuchen mit Weizen bei 180—220° bemerken konnte. Auch gegen niedere Temperaturen (bis — 80°)²⁾ sind Samen widerstandsfähig; es war daher auch die bekannte Abtötungsmethode Palladins³⁾ nicht anwendbar. Chloroform konnte wegen Bildung von Phosgen, welches in Salzsäure und Kohlensäure zerfällt und so die Lösung in der Pettenkoferröhre neutralisiert, nicht verwandt werden. Die einzige Möglichkeit zum Abtöten bei niederen Temperaturen während des Versuches schien mir Toluol zu bieten. Ich ließ daher kleine, schnell quellende Samen 20 Minuten in Toluolwasser vorquellen, wickelte sie in Toluollappen und brachte sie in den Apparat, vor den noch eine Waschflasche mit Toluol geschaltet war. In dem Respirationsraum stand außerdem ein kleines Gefäß mit Toluol. Die Luft im Apparat war also ganz mit Toluoldämpfen gesättigt; — Toluol soll ja für Enzyme von allen Giften am wenigsten schädlich wirken⁴⁾. Der Apparat zeigte ohne Samen bei 2½ Stunde langem Durchleiten keinen Einfluß der Toluoldämpfe auf die alkalische Lösung, wie es bei Chloroform der Fall war.

Tab. XXIV. Toluolversuche.

Datum	Objekt	Vorperiode	Umschl.	Ges.-dauer in Min.	Hauptperiode	Gewichtszunahme in g	in %	Temperatur	Bemerkungen
12. XII.	Brassica	3 ⁵¹ —4 ¹¹	5 ⁰⁰	69	49	7,00—9,05	29,3	30°	Toluollappen + Toluolflasche
16. XII.	StrubeSchles.	4 ⁵¹ —5 ¹¹	7 ³⁵	164	144	7,02—8,30	18,2	35°	= + Toluolgefaß
17. XII.	"	3 ⁴⁴ —4 ⁴	7 ¹²	208	188	7,00—8,55	22,1	35°	= " "
18. XII.	Brassica	9 ⁵¹ —10 ¹¹	11 ²⁴	93	73	7,00—8,75	25,0	35°	= + 3 Min vorher in Toluolwasser
"	"	1 ³⁵ —1 ⁵⁵	2 ³⁴	59+20	(59)	7,00—8,25	17,9	35°	= + 20 Min.vorh. in Toluolwasser
"	"	5 ⁴⁵ —6 ⁵	6 ⁴⁶	61+20	(61)	7,00—8,29	18,5	35°	= " "
"	Trigonella	3 ¹⁰ —3 ³⁰	5 ⁴	116+15	(116)	7,00—9,04	29,1	35°	= + 15 Min. "

In den 20 Min. hatten die Brassicasamen im Toluolwasser 16% an Gewicht zugenommen.

Aus den Versuchen scheint im allgemeinen hervorzugehen, daß Toluol, wenn es mit den Samen in direkte Berührung kommt, etwas hemmend auf die Wasseraufnahme wirkt. Wahrscheinlich werden die osmotischen Eigenschaften der Plasmamembran in diesem Sinne be-

1) Edwards u. Colin, Annal. des scienc. nat. Botan. 1834, Ser. 11, T. 1, S. 264.

2) de Candolle, L'effet des très basses températures sur la faculté germinative des graines de plusieurs espèces. Verhandl. der Schweiz. Naturf. Ges. in Bern. LXI. Jahresvers. Bern 1879 (erschienen 1880), S. 110—111.

3) Palladin, Atmungs-pigmente, l. e. 4) Oppenheimer, l. e.

einflußt¹⁾. Doch blieb die Einwirkung auf die Lebensstruktur des Protoplasmas weit hinter dem erwarteten Erfolge zurück. Denn als die Samen in feuchte Kammern gebracht wurden, keimten die meisten von ihnen auf dem nassen Fließpapier aus, und zwar Weizen und besonders *Trigonella* sogar viel energischer als unter gewöhnlichen Bedingungen. Hier hatte also das Toluolwasser als Reiz gewirkt. Toluol ist mithin kein sicheres Abtötungsmittel für widerstandsfähige Organismen, wie z. B. auch aus folgenden Versuchen hervorgeht, die wiederholt angestellt wurden:

Auf je 50 Rapsamen, welche sich in 10 kleinen, nummerierten Leinenbeuteln befanden, wirkte gesättigtes Toluolwasser ein, und zwar in aufsteigender Zeitfolge 5, 10 . . . 45, 50 Min. lang. Die Samen wurden darauf 6—10 Stunden in fließendem Wasser gewaschen und dann zum Keimen auf nasses Fließpapier gebracht. Dabei zeigte sich, daß zwar etwa die Hälfte der Samen abgetötet war; die übrigen keimten aber aus, und zwar konnte man bei den einzelnen aufeinander folgenden Portionen nicht irgend welche Abstufung der Einwirkung des Toluolwassers bemerken. Gewöhnlich keimten die Samen mit kürzester (5 Min.) und längster Toluolbehandlung, also die beiden Grenzen, am ergiebigsten.

Wir sehen daher aus diesen Versuchen, daß die Samen in frühen Quellungsstadien außerordentlich widerstandsfähig sind, und daß man kein Mittel hat, sie abzutöten, ohne auch die Enzyme zu vernichten.

7,03 g Weizen (Blaue Dame) kamen $\frac{1}{4}$ Stunde lang in kochendes Wasser und nahmen darin 36,3% Wasser auf, waren also sicher abgetötet. Trotzdem hatten sie in 19 Stunden bei 35° C. etwa 0,14 mg Kohlensäure (Anfangstiter 0,42 cem $\frac{1}{40}$ n. Oxs. — Endtiter 0,17 cem) an den passierenden Luftstrom abgegeben. Auch nach Kolkwitz²⁾ geben zerschrotete, mit 2% Quecksilberchloridlösung behandelte Gerstenkörner noch 30 mg Kohlensäure innerhalb 24 Stunden pro Kilogramm ab.

Es verwischen sich also die Grenzen von Leben und Tod wie von Ruhe zum erwachenden Leben, und die Kohlensäureabgabe allein ist kein Kriterium für das Leben.

b. Im Wasserstoffstrom.

Endlich wurden Versuche im Wasserstoffstrom angestellt, um zu sehen, ob die intramolekulare Atmung mehr oder weniger Zeit benötigt, um dieselben Kohlensäurequanten zu liefern wie die normale

¹⁾ W. W. Lepeschkin, Über die Einwirkung anaesthetisierender Stoffe auf die osmotischen Eigenschaften der Plasmamembran. Ber. der Deutsch. Bot. Ges. Jahrg. 29, Heft 6, 1911. Vergl. auch Johannsen, Äther- und Chloroformnarkose und deren Nachwirkung. Wiss. Original-Mitt. im Bot. Zentralblatt. Bd. 68, 1896, S. 337.

²⁾ R. Kolkwitz, Über die Atmung, I. c.

O. Jauerka, Die ersten Stadien der Kohlensäureausscheid. bei quellend. Samen. 244

Atmung. Es wurde einfach statt des gewöhnlichen kohlenstofffreien Luftstromes ein kohlenstofffreier Wasserstoffstrom über das Atmungs-material geleitet. Der Wasserstoff wurde für diese Versuche aus einer Bombe der Griesheimer Fabrik Elektron entnommen; er war arsenfrei. Die letzten Spuren von Sauerstoff, mit denen er vermischet war, wurden in einer 1½ m langen Pettenkoferröhre, welche bei jedem Versuche frisch mit Pyrogallussäure und Kalilauge gefüllt wurde, absorbiert. Dahinter war noch eine Waschflasche mit Pyrogallol gehalten. Hier diente diese Flüssigkeit als Indikator auf Sauerstoff. Die Mischung wurde zu diesem Zweck in heißem Zustande unter Paraffinöl hergestellt und nahm dabei einen gelbbraunen Farbton an, der in tief dunkles Braun umschlug, wenn die Pettenkoferröhre nicht ganz absorbierte. Die alkalische Phenolphthaleinlösung zeigte innerhalb 2½ Stunden keine Entfärbung durch den bloßen Wasserstoffstrom.

Tab. XXV. Wasserstoffversuche.

Datum	Objekt	Vorperiode	Umschlag	Ges.-dauer in Min.	Hauptperiode	Gewichtszunahme in g	in %	Temperatur	Bemerkungen
12. XII.	Brassica	5 ³² —5 ⁵²	6 ³¹	59	39	7,00—8,40	20,0	30 ⁰	
13. XII.	"	9 ⁴⁴ —10 ⁴	10 ²⁴	40	20	7,00—8,98	?	36 ⁰	
"	"	3 ⁹ —3 ²⁹	4 ⁶	57	37	7,00—8,60	22,9	35 ⁰	
"	"	4 ³² —4 ⁵²	5 ²⁸	56	36	7,00—8,41	20,1	30 ⁰	
14. XII.	"	2 ⁴⁵ —3 ⁵	4 ¹²	87	67	7,00—8,60	22,9	25 ⁰	
"	Ricinus	8 ¹⁰ —8 ³⁰	9 ⁵²	104	84	7,00—7,69	9,09	35 ⁰	
15. XII.	"	9 ⁵⁸ —10 ¹⁸	12 ¹³	135	115	7,04—7,84	11,3	25 ⁰	
"	Trigonella	2 ² —2 ²²	4 ³²	150	130	7,00—8,62	23,1	25 ⁰	
"	"	6 ⁵⁵ —7 ¹⁵	8 ²³	88	68	7,00—8,82	26,0	35 ⁰	Titer absichtl. stärker

Die Wasseraufnahme verläuft also etwas schneller im Wasserstoffstrom und, wie es scheint, unabhängiger von der Temperatur als bei normaler Atmung. Somit kann aneh die gesteigerte Kohlensäureproduktion eher beginnen, da die nötigen Feuchtigkeitsgrade früher erreicht werden. Dies ist wohl nicht anders als rein physikalisch zu erklären. Die Kohlensäure scheint infolge der schnelleren Wasseraufnahme in der Zeiteinheit nur intensiver ausgeschieden zu werden. Wir sehen also, daß die Kohlensäureproduktion bei Sauerstoffabschluß nicht etwa langsamer, sondern eher energischer stattfindet. Dies wäre eigentlich kaum zu erwarten gewesen nach Detmers¹⁾ Untersuchungen, weil danach in den Zellen höherer Pflanzen bei Abwesenheit des freien Sauerstoffs kein stärkeumbildendes Ferment erzeugt werden kann und nach S. 231 nur sehr geringe Mengen von Diastase im luft-trockenen Samen vorhanden sind. Vielleicht waren aber doch noch

¹⁾ W. Detmer, Über die Entstehung stärkeumbildender Fermente in den Zellen höherer Pflanzen. — Botan. Zeitung 1883, 37, S. 601.

Spuren von Sauerstoff im Material (z. B. die Chromogene Palladins, welche Kostytschew als Sauerstoffspeicher ähnlich dem Oxyhämoglobin auffaßt¹⁾), welche eine Oxydation vor der Hand bewirkten; vielleicht entstammte die Kohlensäure auch nur einem intramolekularen Eiweißzerfall. Außerdem kann ja auch der Oxydationsapparat lange vor Abschluß der Kohlensäureausscheidung außer Funktion gesetzt werden, und die intramolekulare Atmung von gequollenen Samen zeigt nach Chudiakow²⁾ fast dasselbe Bild wie die normale, also z. B. Steigerung der Intensität durch die Temperatur. Ferner beobachtete Palladin³⁾, daß der Preßsaft aus erfrorenen Stengeln von *Vicia Faba* in Wasserstoffatmosphäre gleiche Kohlensäuremengen liefert wie in normaler. Dasselbe fand man auch bei dem Saft von *Aspergillus niger* und erfrorenen Zwiebeln von *Allium Cepa*. Es soll ja nach den Arbeiten von Pfeffer, Polszeniusz, Godlewski u. a. kein wesentlicher Unterschied zwischen Atmung und Gärung bestehen. Es ist offenbar nicht im Sauerstoff die primäre Ursache der Atmung zu suchen, sondern in den vom lebenden Plasma gebotenen Dispositionen⁴⁾.

Wenn aber auch der Quellungsprozeß unabhängig von dem Sauerstoffzutritt verläuft, so sieht man doch jede Weiterentwicklung der dem Luftzutritt entzogenen Samen stocken (Nobbe).

c. Zur Sauerstoffaufnahme.

Auch das Einsetzen einer merklichen Sauerstoffaufnahme wurde mit einem etwas modifizierten Apparat nach Godlewski⁵⁾ unter den nötigen Vorsichtsmaßregeln verfolgt. Es scheint für Weizen (Strubes Schles.) zeitlich etwas langsamer als dasjenige der Kohlensäureproduktion zu erfolgen, war aber schon in frühen Quellungsstadien sicher nachzuweisen. Dies würde den Untersuchungen von G. Bonnier und L. Mangin⁶⁾ sowie denen von Godlewski entsprechen, welche im Anfang der Keimung von *Triticum* als Wert für den Quotienten $\frac{CO_2}{O} = 1,05$ fanden, also schon ein geringes Überwiegen der Kohlensäureabgabe feststellen konnten. Die Temperatur würde bei derartigen Versuchen natürlich zu berücksichtigen sein; denn bei höheren Temperaturen soll die Sauerstoffaufnahme nicht so begünstigt sein,

1) S. Kostytschew, Über den Vorgang der Zuckeroxydation bei der Pflanzenatmung. Zeitschr. für physiol. Chem. 67, 1910.

2) Chudiakow, l. c.

3) W. Palladin, Über den verschiedenen Ursprung der während der Atmung der Pflanzen ausgeschiedenen Kohlensäure. Ber. der Deutsch. Bot. Ges. XXIII. S. 240—247.

4) Pfeffer, Pflanzenphysiologie 1897, I, 7.

5) Godlewski, Beiträge zur Kenntnis der Pflanzenatmung. Pringsh. Jahrb. 13, S. 491, 1882.

6) l. c.

wie die Kohlensäureproduktion¹⁾. Am ehesten würde man vielleicht eine merkliche Steigerung der Sauerstoffaufnahme an fetthaltigen Samen studieren können, weil hier zur Überführung des Fettes in Kohlehydrate, zum Teil auch zu seiner völligen Verbrennung viel Sauerstoff verbraucht wird, ohne daß eine entsprechende Kohlensäuremenge für denselben auftreten kann²⁾, daher denn hier $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}} < 1$.

Solche Beobachtungen der Sauerstoffaufnahme müßten natürlich noch viel genauer, und zwar gasometrisch³⁾ angestellt werden; dann würde man aus der $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$ -Kurve für aufeinanderfolgende Keimungsstadien bessere Schlüsse ziehen können, welche Rolle die chemische Zusammensetzung der Reservestoffe spielt.

C. Schluß.

In den ersten Quellungsstadien, wo sich schon eine deutliche Steigerung der Atmungsintensität bemerkbar macht, scheinen sich im allgemeinen fast nur chemische Prozesse im Samen abzuspielen, und die Atmung selbst stellt wohl nur das Ergebnis der Tätigkeit einer Summe enzymatischer Vorgänge dar. Sie hängt außer von der Enzymmenge von der Temperatur und von der Quantität und Qualität des Materials ab, wie es von einem Teil der wirksamen Enzyme zubereitet wird; der andere Teil arbeitet in den einzelnen Phasen der Atmung selbst.

Ist das Plasma „abgetötet“, so können keine neuen Enzyme mehr gebildet werden, wohl aber bleiben die alten Enzyme unter Umständen wirksam. Wahrscheinlich ist in solchen Fällen die Kohlensäureausscheidung hauptsächlich durch anaerobe Prozesse und nicht durch Oxydation bedingt⁴⁾. Mit der Zeit werden die noch übrig gebliebenen Enzyme durch Temperatur- und Lichteinfluß geschädigt und verlieren, da kein neuer Nachschub geschaffen wird, an Gesamtenergie und -wirkung. Die Pflanzen wären in bezug auf die Atmung dann „tot“, wenn die Enzyme zerstört sind.

Scheinbar besteht auch eine Beziehung zwischen Keimfähigkeit und Atmungsintensität, man hat sie aber bisher noch nicht sicher feststellen können⁵⁾. Vielleicht wäre dies mit einer Erklärung für den Verlust der Keimfähigkeit, daß das Plasma nicht mehr imstande ist, gewisse (vielleicht einzelne) für die Keimung und Ernährung des Keimlings nötige Enzyme zu schaffen, wenn auch sonst die Samen

1) Ad. Mayer, Agrikulturchemie, I. Band, 1901. 2) Vergl. Czapek, l. c.

3) E. Abderhalden, Handbuch . . . l. c., führt Methoden an.

4) L. Iwanoff, Berichte der Deutsch. Bot. Ges. 29. Jahrg. Heft 8, S. 570, 1911.

5) Hausmann u. Iwanissowa, Bull. du Jardin imp. bot. de St. Pétersbourg IX. 5, S. 97-106, 1909.

noeh einige Zeit am Leben bleiben und atmen könnten. Auch Detmer¹⁾ sueht den Verlust der Keimfähigkeit aus dem ungemein herabgesetzten Stoffwechsel zu erklären. Damit wäre auch der so häufig gemachte Einwurf erledigt, warum die Samen aufhören sollten zu leben und zu atmen, da doch noeh Reservematerial in Hülle und Fülle vorhanden wäre. Dieses muß eben erst in einen Zustand versetzt werden, in welehem es für die Atmung angegriffen werden kann. Allerdings gibt es auch noeh andere Gründe für den Verlust der Keimfähigkeit; Nobbe führt drei Momente an: Quellungsunfähigkeit der Samen, bereits eingetretene Zersetzung der organischen Reservestoffe und die Leblosigkeit des Embryo. Im allgemeinen scheint die Keimfähigkeit von einer gewissen Disposition des lebenden Plasmas abzuhängen, welche man sich in labilem Zustande befindlich vorstellen kann. Nach einer gewissen Zeit, die von äußeren Bedingungen wie von der Individualität abhängt, schlägt dieser dann in einen stabilen, nicht mehr keimfähigen Modus um. Lebenskraft und Keimfähigkeit nehmen dabei nicht in gleichem Maße ab; sie sowie die Keimungsenergie sind nach Hiltner²⁾ scharf zu trennen.

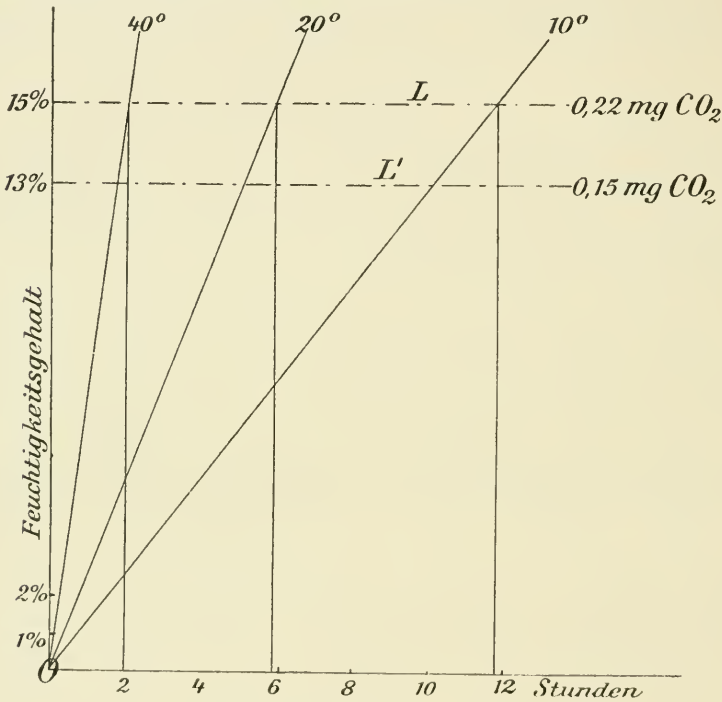
Vor allem scheint bei diesen Vorgängen der Wassergehalt und der Wechsel der Feuchtigkeit von Bedeutung zu sein. Denn stark getrocknete Samen verlieren schneller ihre Keimfähigkeit als lufttrockene. Demselben Grund möechte ich — abgesehen vom Alter — die relativ geringe Keimfähigkeit der von mir untersuchten Weizensorte (Blaue Dame) zusehreiben; die Samen besaßen je nach den Trockengewichtsbestimmungen nur einen geringen Feuehtigkeitsgrad (s. S. 209). Auch der Wasserverlust (Erntewitterung) bei der Reife mag in Beziehung stehen zu den Keimresultaten.

Aus den in der vorliegenden Arbeit angeführten Tabellen war einerseits eine sehr frühe Steigerung der Kohlensäureproduktion bei quellenden Samen zu konstatieren und konnte beim Abtöten der Samen durch hohe Temperaturen (s. S. 34), abgesehen von der schwächeren Steigerung der Atmungskurve (II) kein Unterschied in der Kohlensäureabgabe wahrgenommen werden, ein Umstand, der dafür spricht, daß die Atmung als solehe nur auf enzymatischen Vorgängen beruht. Man muß also vorsichtig sein, wenn man von einer Änderung der Atmungsintensität auf eine entsprechende Änderung der übrigen, zumal der Lebensvorgänge im Pflanzenorganismus schließen will. Andererseits ist als ein wichtiges Resultat der mitgeteilten Untersuchungen anzusehen, daß die bis zu einem bestimmten (frühen) Quellungsstadium

¹⁾ Detmer, Landw. Jahrb. 1882, 11, S. 229.

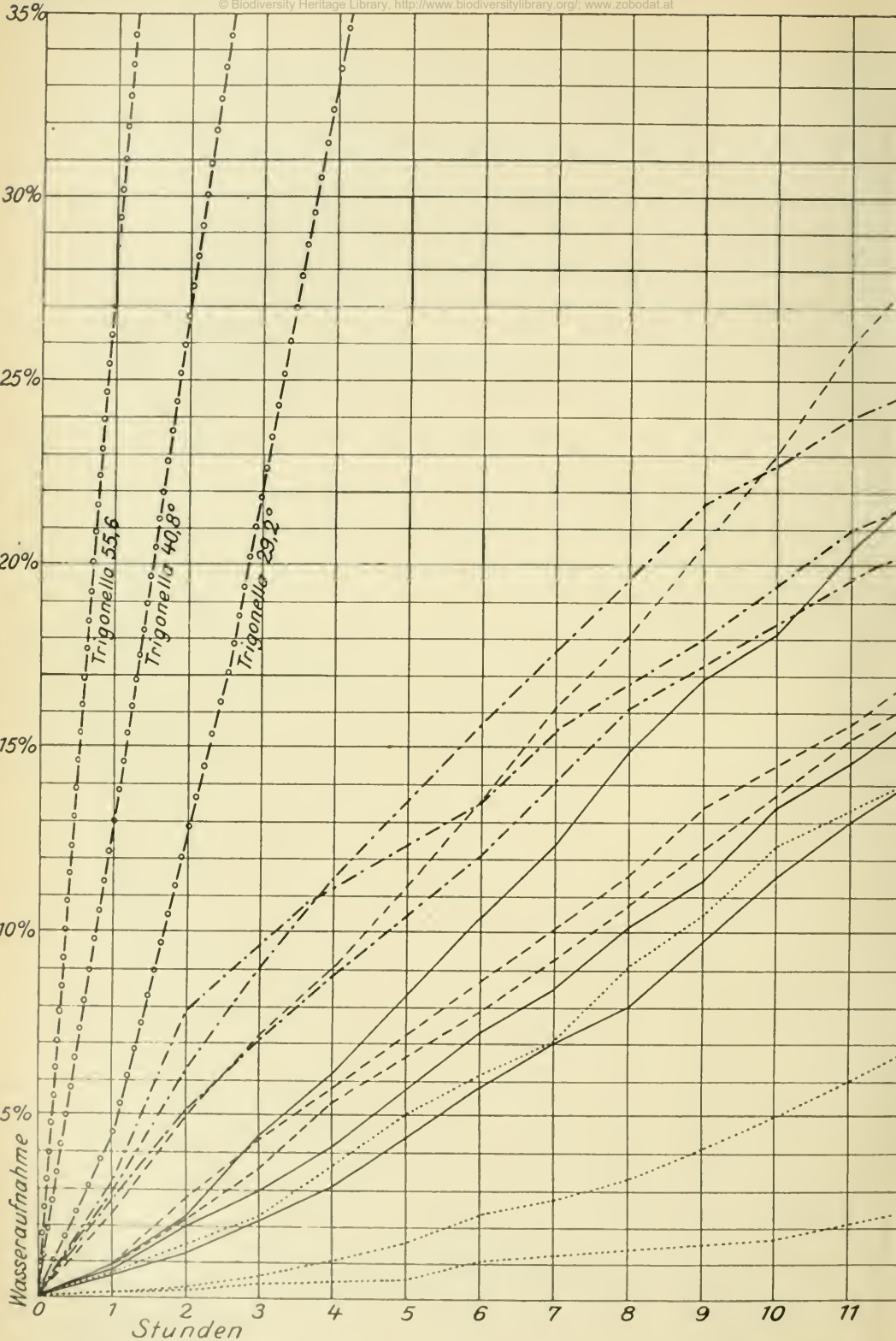
²⁾ Hiltner, Arb. an der biolog. Abt. für Land- und Forstwissenschaft am Kaiserl. Gesundheitsamt, Bd. 3, 1902.

bei gleichmäßig fortschreitender Quellung ausgeschiedene Kohlensäuremenge unabhängig von der Temperatur weitgehend konstant ist und eine für jede einzelne Samenart charakteristische Größe hat. Als Hauptfaktoren sprechen dabei mit: der anatomische Bau und die Natur der Reservestoffe. Jener bestimmt die Geschwindigkeit der Quellung, diese die Intensität der Atmung. Bei tiefen Temperaturen wird eben in der dazu gehörigen langen Zeit nur ebensoviele Kohlensäure produziert, wie bei höheren Temperaturen in kurzer Zeit, oder wie Detmer sagt: „das gleiche Entwicklungsstadium erheischt auch das gleiche Opfer an organischen Reservestoffen.“



Blaue Dame (Tab. XI u. XII).

Graphisch dargestellt würde dies etwa durch eine Linie (L, L') auszudrücken sein, welche parallel zur Abszisse der Zeit verläuft, bei einem auf der Ordinate abgetragenen bestimmten Feuchtigkeitsgrade alle die für die verschiedenen Temperaturen erhaltenen Wasseraufnahmekurven schneidet und gleichzeitig eine gewisse, empirisch gewonnene Größe von bis dahin (bei fortschreitender Quellung!) geleisteter Kohlensäureproduktion (0,22 mg CO₂ z. B.) ausdrückt. Diese Größe nimmt im Sinne der Ordinaten zu. Man könnte so gewisse Schwellenwerte sehr gut graphisch festlegen.

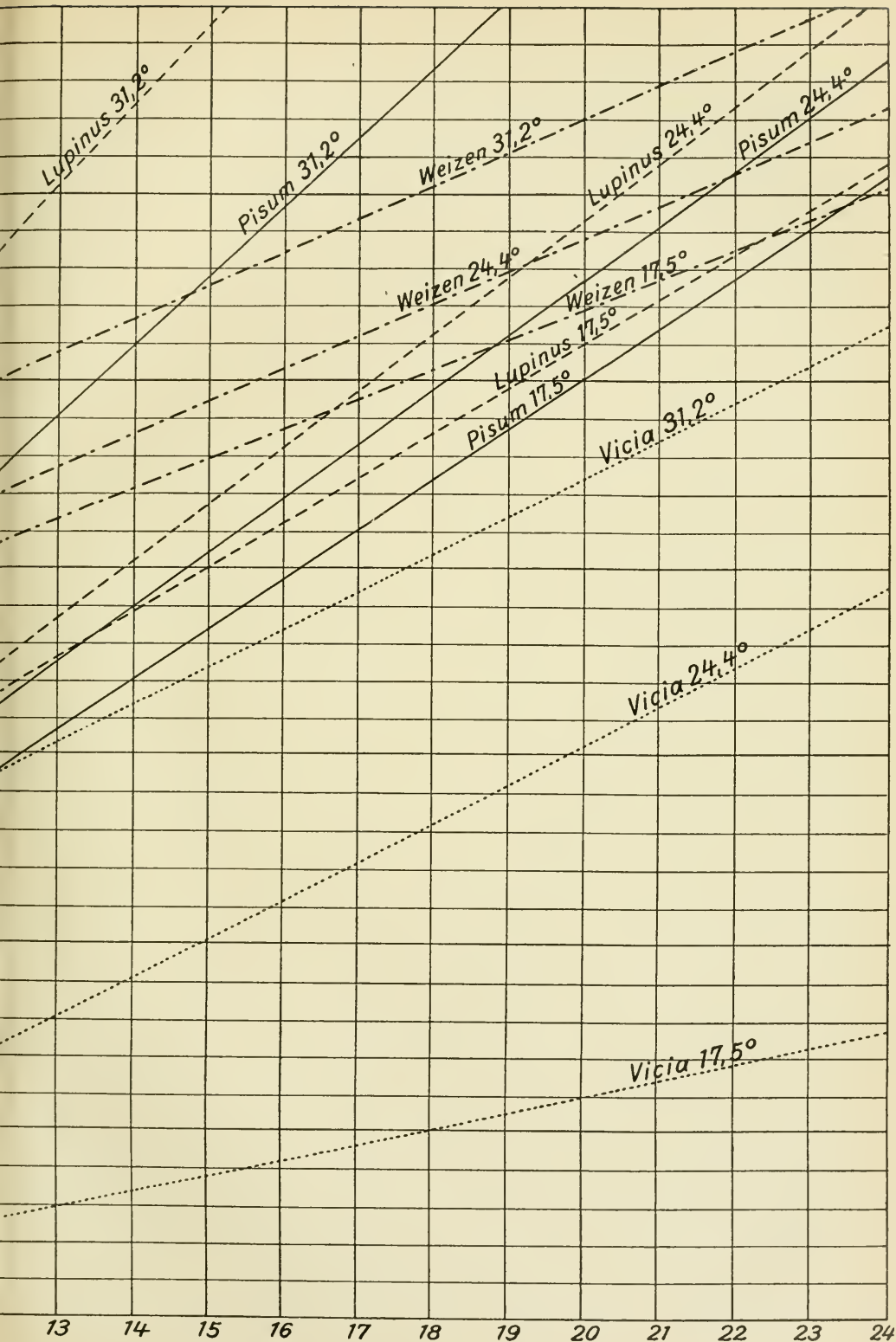


Wasseraufnahme

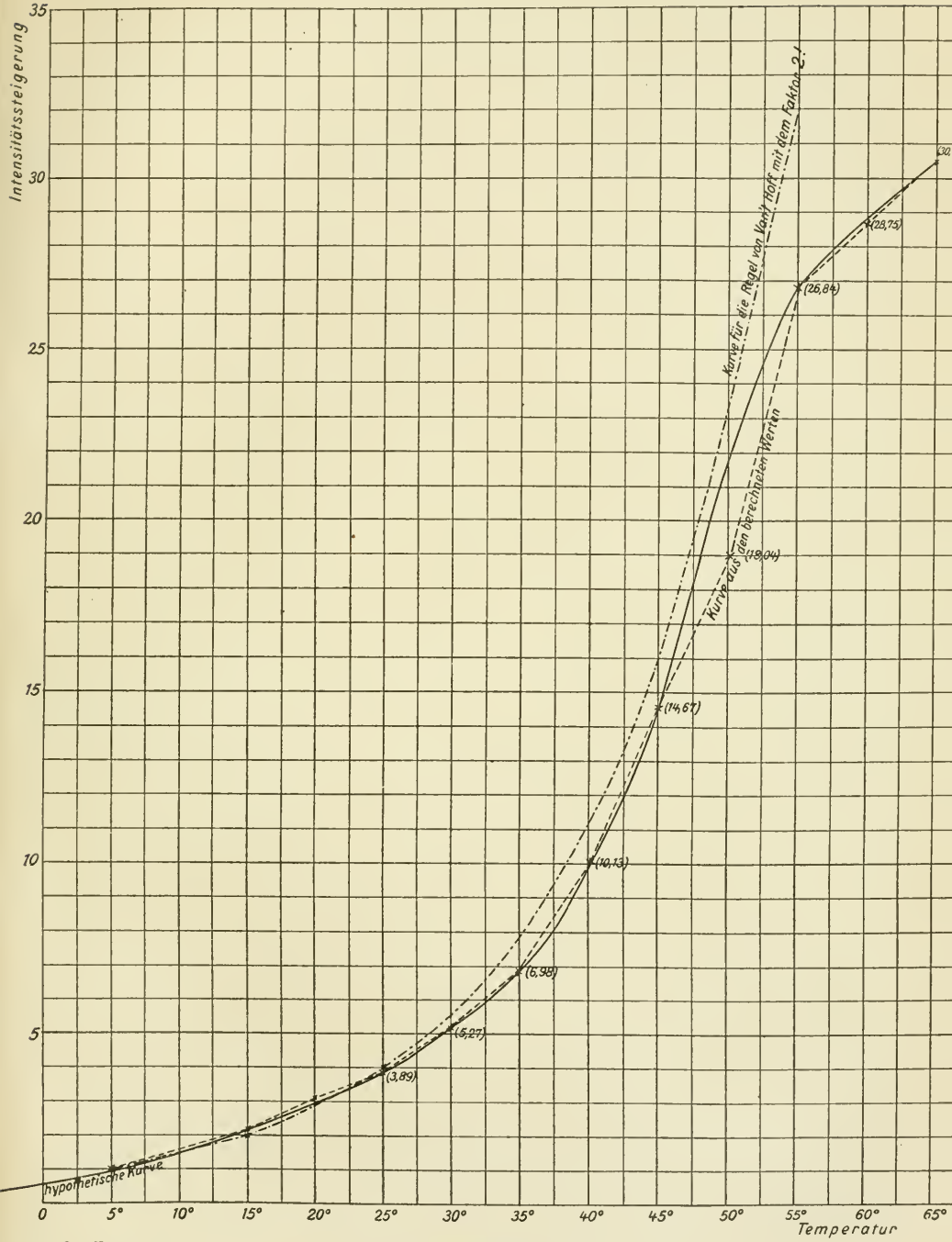
Stunden

O. Jauerka.

Wasseraufnahme



Beiträge zur Biologie der Pflanzen, Band XI, Tafel VIII.



O. Jauerka.

Atmungskurve II.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1912

Band/Volume: [11_2](#)

Autor(en)/Author(s): Jauerka O.

Artikel/Article: [Die ersten Stadien der Kohlensäureausscheidung bei quellenden Samen 193-248](#)