Über Wärmeproduktion bei keimenden Samen.

Von

Erich Leick, Konstantinopel.

Der Stoffwechsel der oxydativen Atmung ist stets von einer positiven Wärmetönung begleitet.[1]) Die dadurch bedingte Temperaturerhöhung läßt sich bei vielen Pflanzen während des Keimungsstadiums besonders leicht nachweisen.[2]) Einmal besitzen keimende Samen eine sehr beträchtliche Atmungsintensität,[3]) zum anderen scheint gerade während der ersten Entwickelungsperiode ein besonders großer Bruchteil der im Atmungsstoffwechsel entbundenen Energie in Wärmebewegung transformiert zu werden.[4]) Nehmen wir noch hinzu, daß der Keimungsprozeß unabhängig vom Lichte verläuft, daß infolge des Fehlens der Blattorgane die Verdunstung eine geringfügige ist, daß die meist schwache Oberflächenentwicklung einer Wärmeanhäufung Vorschub leistet, und daß die Homogenität des ganzen Organs auch eine entsprechende Gleichartigkeit seines physiologischen Zustandes zur Folge hat, so erscheint es verständlich, daß an keimenden Samen besonders zahlreiche thermometrische und kalorimetrische Messungen vorgenommen worden sind. Gerade bei keimenden Samen ist der Gedanke sehr naheliegend, Wachstum, Atmung und Wärmeproduktion könnten nicht nur in kausaler Verbindung stehen, sondern auch direkt einander proportional sein.[5]) Dieser Satz bedarf aber

---

[1]) Vergl. Leick, E., Über Wärmeproduktion u. Temperaturzustand lebender Pflanzen. (Biolog. Centralbl. Bd. 36. 1916.) — Leick, E., Über das thermische Verhalten d. Vegetationsorgane. (Sep. a. d. Mittl. d. naturwiss. Ver. f. Neuvorpomm. u. Rügen. Bd. 43. 1911. p. 3—5.)

[2]) Deswegen benutzt man keimende Samen sehr häufig zur Demonstration des Wärmephänomens.

[3]) „L'intensité de la respiration varie avec le développement pendant la période germinative, par exemple, elle passe par un maximum.“ Vergl. Bonnier, Gaston, u. Mangin, Louis, Recherches sur la respiration des tissus sans chlorophylle. (Ann. d. scienc. nat. Sér. 6. Bot. T. 18. 1884. p. 380.)

[4]) Vergl. p. 3 d. vorliegenden Arbeit.

[5]) Vergl. Leick, E., Über d. thermische Verhalten ruhender Pflanzenteile (Knollen, Zwiebeln, Früchte, lufttrockene Samen). (Zeitschrift f. Naturwiss. — Im Druck!) — Leick, E., Über d. therm. Verhalten der Vegetationsorgane. (Sep. a. d. Mittl. d. naturwiss. Ver. f. Neuvorpommern u. Rügen. Bd. 43. 1911. p. 7.)

einer sehr weitgehenden Einschränkung. Mag auch zwischen Atmung und Wärmeproduktion oft ein annähernd proportionales Verhältnis bestehen,[1]) zwischen Wachstum und Atmung ist das keineswegs der Fall. Ich brauche ja nur an die Blütenstände der Araceen zu erinnern.[2])

Die Atmungsintensität wird entweder aus dem Sauerstoffkonsum oder aus der Kohlensäureabgabe erschlossen. Macht man die in vielen Fällen sicher zutreffende Annahme, das Atmungsmaterial hätte vornehmlich aus Kohlenhydraten bestanden, so läßt sich unter Zugrundelegung des Gaswechsels die reale Wärmeproduktion in Kalorien berechnen. Diese berechnete Wärmemenge braucht nicht in allen Fällen der empirischen, d. h. der durch direkte Kalorimetermessung gefundenen, genau zu entsprechen. Namentlich G. Bonnier hat bei keimenden Samen von Roggen, Bohnen und Erbsen[3]) und später bei keimender Gerste[4]) mit Hilfe des Kalorimeters eine grössere Anzahl von Wärmeeinheiten ermittelt, als die Berechnung ergab. Die Unrichtigkeit der älteren Bonnier'schen Angaben hat Rodewald durch folgende Berechnung eruiert.[5]) Alle im Kalorimeter entbundene Energie muß der Substanz des keimenden Samens entstammen. Bonnier gibt nun an, daß von 1 g Pflanzensubstanz pro Minute bis zu 120 Kalorien entwickelt würden. Die Verbrennungswärme des Erbsenmehls, um die es sich hier handelt, beträgt nach den Ermittelungen Franklands[6]) 3936 Kalorien. Nehmen wir auch nur den Mittelwert des Bonnier'schen Resultates, d. h. 60 Kal. pro 1 g und pro 1 Min., und setzen obendrein noch als Verbrennungswärme des Erbsenmehls 4800 Kal. an, so würde trotzdem bei einem ungefähr gleichmäßigen Verlaufe der Keimung die gesamte Substanz des Samens bereits in 80 Min. restlos oxydiert sein. Das stimmt naturgemäß nicht mit den Tatsachen überein. Bei seinen späteren Untersuchungen[7]) fand Bonnier für 1 kg Pflanzensub-

---

[1]) „Jedenfalls haben wir kein Recht, unter allen Umständen eine Proportionalität zwischen Atmung und Wärmeproduktion anzunehmen, sondern wir müssen an Hand der Tatsachen vielmehr zu der Überzeugung kommen, daß je nach den äußeren Verhältnissen und dem Entwicklungszustande eines Organes prozentual verschiedene Mengen der Atmungsenergie als Wärme hervortreten.“ Leick, E., l. c. 1911. p. 10.

[2]) Vergl. Leick, E., Untersuchungen üb. d. Blütenwärme d. Araceen. Greifswald 1910. — Leick, E., Die Erwärmungstypen d. Araceen u. ihre blütenbiolog. Deutung. (Ber. d. deutsch. bot. Gesellsch. Bd. 33. 1915. p. 518–536.)

[3]) Bonnier, G., Sur la quantité de chaleur dégagée par les végétaux pendant la germination. (Bull. d. la soc. botan. de France. T. 27. 1880. p. 141.)

[4]) Bonnier, G., Recherches sur la chaleur végétale. (Ann. d. scienc. nat. Sér. 7. Botan. T. 18. 1893. p. 1—34. — Vergl. auch Leick, E., Über d. therm. Verhalten ruhender Pflanzenteile. (Zeitschr. f. Naturwiss. — Im Druck!)

[5]) Rodewald, H., Über d. Wechselbeziehung zwischen Stoffumsatz und Kraftumsatz in keimenden Samen. (Journ. f. Landw. Bd. 31. 1883. p. 439.)

[6]) Frankland, Jahresber. f. Chem. 1866. p. 734.

[7]) Bonnier, G., l. c. 1893. p. 1–34.

stanz pro Stunde als empirische Wärmemenge 3,72 Kal.[1]), während die Berechnung aus dem Sauerstoffverbrauch 2,7 Kal., die gleiche Berechnung aus der Kohlensäureproduktion sogar nur 1,74 Kal. ergab.[2]) Eine derartige ansehnliche Wärmeproduktion würde in gutem Einklange stehen mit der sehr bedeutenden Temperatursteigerung, die den Keimungsprozeß zu begleiten pflegt. Die Differenz zwischen den tatsächlich zu Tage tretenden Kal. und den aus dem Atmungsgaswechsel berechneten versucht Bonnier durch die Annahme umfangreicher Spaltungsprozesse, die neben der Sauerstoffatmung einherlaufen sollen, zu erklären. Wie weit ein derartiger hypothetischer Schluß den Tatsachen entspricht, muß dahingestellt bleiben. Da auch die auf anderem Wege ermittelten Resultate Wilsings und Rodewalds, von denen weiter unten die Rede sein soll,[3]) ergeben haben, daß zum mindesten ein sehr hoher Prozentsatz[4]) der im Atmungsprozeß entbundenen Energiemenge der Wärmeerzeugung anheimfällt, so ergibt sich daraus wohl mit großer Wahrscheinlichkeit, daß die Differenz zwischen der möglichen und der empirischen Wärmebildung nicht durch die mit dem Wachstum verbundene Arbeitsleistung zustande kommt.[5]) Dieser Annahme würde auch die — allerdings noch nicht sichergestellte — Tatsache entsprechen, daß in späteren Entwickelungsstadien der Pflanze, in denen die Wachstumstätigkeit schon bedeutend eingeschränkt ist, die empirische Wärmeproduktion geringer ausfällt als die berechnete.[6]) Übrigens muß auch darauf hingewiesen werden, daß jeder mechanischen Leistung nur ein sehr unbedeutendes Wärmeaequivalent entspricht,[7]) und daß auch durch rein physikalische Vorgänge (Osmose, Imbibition usw.) sehr erhebliche Außenleistungen zustande kommen können.[8]) Doch haben wir wohl kaum zu erwarten, daß der Nutzeffekt der

---

[1]) Hier sind natürlich — ebenso wie bei den folgenden Angaben — kg-Kalorien gemeint.

[2]) Vergl. Pfeffer, W., Handb. d. Pflanzenphys. 2. Aufl. Bd. 2. 1904. p. 833—834. — Bonnier, G., Ann. d. scienc. nat. Sér. 7 Botan. T. 18. 1893. p. 27—28.

[3]) Vergl. p. 12, 23 u. 28 der vorliegenden Arbeit.

[4]) Eine Ausnahme macht ein Versuch Rodewalds, bei dem nur 48% der Atmungsenergie für die Wärmeproduktion Verwendung fanden. Rodewald hebt dabei selber die Möglichkeit eines Versuchsfehlers hervor. — Vergl. Rodewald, H., Quantitative Untersuch. üb. die Wärme- u. Kohlensäure-Abgabe atmender Pflanzenteile. (Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 18. 1887. p. 263—345. — Rodewald, H., Untersuch. üb. d. Stoff- u. Kraftumsatz im Atmungsprozeß d. Pfl. (Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 19. 1888. p. 221 - 294.)

[5]) Vergl. Pfeffer, W., Handb. d. Pflanzenphys. 2. Aufl. Bd. 2. 1904. p. 833. „Aus den besagten Verhältnissen ist aber zu ersehen, daß die Differenz zwischen der gefundenen und berechneten Wärmeproduktion nicht durch die Arbeitsleistungen bei dem Wachstum bedingt sind.“

[6]) Bonnier, G., Recherches sur la chaleur végétale. (Ann. d. scienc. nat. Sér. 7. Botan. T. 18. 1893. p. 1—34.) Bonnier ist der Ansicht, daß die später in der Pflanze vor sich gehende Speicherung von Reservematerial mit wärmebindenden Kondensationen verknüpft ist.

[7]) 42350 gcm = 1 g-Kalorie.

[8]) Vergl. p. 5 der vorliegenden Arbeit. — Rodewald, H., Journ. f. Landw. Bd. 31. 1883. p. 438 - 439.

pflanzlichen Zelle viel erheblicher ausfällt als der der tierischen. Er wird zwar den Nutzeffekt unserer Wärmekraftmaschinen wesentlich übersteigen, aber trotzdem voraussichtlich noch nicht 50 % der aufgewendeten Energie erreichen.

Eine ganz andere Frage ist es, ob nicht durch jede Arbeitsleistung — ähnlich wie im tierischen Organismus — eine Steigerung der Wärmeproduktion hervorgerufen wird. Die bisher bekannten Tatsachen würden einer derartigen Annahme nicht widerstreiten, aber sie sind auch keineswegs imstande, sicheren Vermutungen als Grundlage zu dienen. Mit Recht hebt daher W. Pfeffer hervor: „Ob bei den Pflanzen, analog wie bei den Tieren (bei denen allerdings die experimentelle Prüfung leichter ist), mit der Steigerung der äußeren Arbeitsleistung eine Zunahme oder eine Abnahme der Wärmeproduktion verknüpft ist, wurde noch nicht untersucht.“ [1])

Die einwandfreie Feststellung der beim Keimungsprozeß produzierten Wärmeeinheiten wird durch die Begleiterscheinungen der Quellung sehr erschwert. Kommen trockene Samen mit Wasser in Berührung, so erfolgt eine sehr energische Wasseraufnahme, die mit einer Volumenvergrößerung Hand in Hand geht. Zwei Faktoren sind es, die diese Wirkung zustande bringen, einmal die osmotische Energie, zum anderen die Quellung. [2]) Als quellbares Material dienen die Membranen und in noch viel höherem Maße die gespeicherten Stärkemassen. [3]) Für die Beurteilung der Quellungserscheinungen ist die Vorstellung maßgebend, die man sich von der Molekularstruktur eines Körpers macht. Entweder haben wir mit Naegeli [4]) anzunehmen, daß alle quellbaren Substanzen sich aus Mizellen zusammensetzen, die sich mit einer mehr oder weniger mächtigen Wasserhülle umgeben können, oder wir sprechen den quellbaren Körpern nach Bütschli [5]) eine

---

[1]) Pfeffer, W., Handb. d. Pflanzenphys. 2. Aufl. Bd. 2. 1904. p. 834.

[2]) Wiesner führt die Wärmeentbindung bei der Quellung auf die Verdichtung des Wassers in den Geweben des Samens zurück. — Vergl. Wiesner, J., Experimental-Unters. üb. d. Keimung d. Samen. (Sitzungsber. d. Ksl. Akad. d. Wiss. Wien. Bd. 64, I. 1871. p. 415 ff.) — Pfeffer, W., Handb. d. Pflanzenphys. 2. Aufl. Bd. 1. 1897. p. 63.

[3]) Rodewald, H., Üb. d. Quellung der Stärke. (Die landw. Versuchs-Stat. Bd. 45. 1894. p. 201—227.) — Rodewald, H., Unters. üb. die Quellung d. Stärke. Kiel u. Leipzig. 1896. — Rodewald, H., Üb. Quellungs- u. Benetzungserscheinungen. (Zeitschr. f. physik. Chem. Bd. 33. 1900.) — Rodewald, H., u. Kattein, A., Die spezifische Wärme d. Weizenstärke als Funktion ihres Wassergehaltes u. d. Temperatur. (Zeitschr. f. physik. Chem. Bd. 33. 1900. p. 540-544.) — Rodewald, H., u. Kattein, A., Üb. natürliche u. künstl. Stärkekörner. (Zeitschr. f. physik. Chem. Bd. 33. 1900. p. 579—592.) — Riecke, E., Zur Lehre von d. Quellung. (Nachricht. d. Kgl. Ges. d. Wissensch. zu Göttingen. Math.-physik. Kl. 1894. Heft 1.)

[4]) Nägeli, C. v., Pflanzenphysiolog. Untersuchungen. Bd. 3. 1858. — Nägeli, C. v., Theorie d. Gärung. 1879. p. 133. — Nägeli, C. v., Mechan.-physiolog. Theorie der Abstammungslehre. München u. Leipzig. 1884.

[5]) Bütschli, O., Unters. üb. die mikroskop. Schäume u. d. Protoplasma. Leipzig. — Bütschli, O., Verhandl. d. Naturhist. Ver. Heidelberg. N. F. Bd. 6. p. 287.

waben- oder netzartige Struktur zu, deren Hohlräume von Füllwasser eingenommen werden. Inwieweit die mannigfachen Beobachtungstatsachen der einen oder der anderen Theorie als Grundlage dienen können, soll hier nicht untersucht werden.[1]) Die Erfahrung hat gelehrt, daß die Intensität der Wasseraufnahme von dem Trockenheitsgrade abhängig ist, und daß eine verschieden feste Bindung des Quellungswassers erfolgt.[2]) Durch die Quellung kann eine überraschend große Arbeitsleistung zustande kommen. Ein quellender Holzkeil vermag das festeste Gestein zu sprengen, und quellende Erbsen treiben die Knochennähte des Schädels mit Leichtigkeit auseinander. Bei einem Versuche von Hales vermochten quellende Erbsen den mit 83,5 kg beschwerten Deckel eines eisernen Gefäßes zu heben.[3]) H. Rodewald wies nach, daß 1 g trockene Stärke beim Quellen einen Druck von 2523 Atmosphären auszuüben vermag.[4]) Die maximale Arbeit, die durch 1 g Stärke geleistet werden kann, beträgt demnach 1125 gm. Für lufttrockenes Laminarialaub bestimmte J. Reinke die von 1 kg beim Quellen geleistete Arbeit auf 200 kgm.[5]) Der Quellungsprozeß ist stets mit einer positiven Wärmetönung verknüpft. Unter „Quellungswärme" versteht man diejenige Wärmemenge, die durch die Sättigung einer Gewichtseinheit trockener Substanz mit Wasser bei normalem Luftdrucke zustande kommt.[6]) Die Quellungswärme ist der absoluten Temperatur proportional und beträgt für Stärke bei 0° 21,64 Kal. Die mögliche Arbeitsleistung beträgt in diesem Falle 11,33 % der Quellungswärme.

Da die durch den Quellungsprozeß erzeugte Wärme in keinem unmittelbaren Zusammenhange mit den vitalen Vorgängen steht, sondern lediglich auf rein physikalische Ursachen zurückzuführen ist, kommt sie für das Problem der physiologischen Wärmepro-

---

[1]) Vergl. Jost, L., Vorlesungen üb. Pflanzenphys. 2. Aufl. Jena 1908. p. 482—484. — Vergl. auch Wiesner, Jul., Untersuch. üb. d. Organisation der veget. Zellhaut. (Sitzungsber. d. Ksl. Ak. d. Wiss. Wien. Bd. 93. 1886.) — Wiesner, Jul., Anatomie u. Physiologie d. Pfl. 5. Aufl. Wien 1906. p. 34.

[2]) Reinke, Joh., (Unters. üb. Quellung. Hansteins bot. Abhandlung. Bd. 4. 1879. p. 70) konnte an einem Laminariastück, das 1,026 g H_2O aufgenommen hatte, nachweisen, daß successiv pro Stunde folgende Wassermengen abgegeben wurden: 148 mg; 115 mg; 105 mg; 91 mg; 74 mg; 84 mg; 68 mg; 57 mg; 51 mg.

[3]) Pfeffer, W., Handb. d. Pflanzenphys. 2. Aufl. Bd. 1. 1897. p. 64. — Vergl. auch die umfangreiche Literatur über diesen Gegenstand, z. B.: Gain, Bullet. d. l. soc. botan. d. France. T. 41. 1894. p. 490. — Bogdanoff, Landw. Versuchs-Stat. Bd. 42. 1893. p. 311. — Coupin, Ann. d. scienc. nat. Sér. 8. Bot. T. 2. 1895. p. 129. — Régnard, Compt. rend. d. l. soc. d. Biolog. 1889. p. 252. — Schindler, Wollnys Forsch. auf d. Gebiete d. Agrikulturphysik. Bd. 4. 1881. p. 194. — Nobbe, Samenkunde. 1876.

[4]) Rodewald, H., Üb. d. Quellung d. Stärke. (Die landw. Versuchs-Stat. Bd. 45. 1894. p. 227.) — Rodewald, H., Thermodynamik d. Quellung mit spezieller Anwendung auf die Stärke u. deren Molekulargewichtsbestimmung. (Zeitschr. f. physik. Chemie. Bd. 24, II. 1897. p 193—218.)

[5]) Reinke, Joh., Unters. üb. Quellung. (Hansteins botan. Abhandl. Bd. 4. 1879. p. 59.)

[6]) Rodewald, H., l. c. 1894. p. 225.

duktion nicht weiter in Betracht. Auf den Temperaturzustand keimender Samen vermag sie allerdings einen sehr erheblichen Einfluß auszuüben. Ihre Wirkung erstreckt sich aber nur auf wenige Stunden. Sobald die Quellung ihren Höhepunkt erreicht hat, sinkt der Wert der Quellungswärme auf 0° herab. Temperaturüberschüsse, die nach diesem Zeitpunkte beobachtet werden, sind also einzig und allein der physiologischen Oxydation zuzuschreiben. Die Erwärmungskurve quellender und keimender Samen zeigt dementsprechend zwei Maxima, von denen das erste schon nach wenigen Stunden erreicht wird und durch den Quellungsprozeß bedingt ist.[1]) Dieses erste Maximum kommt auch dann zustande, wenn man gemahlenen Samen anwendet[2]) oder die Untersuchungsobjekte in ein irrespirables Gas bringt. In beiden Fällen bleibt das zweite Maximum, das ja an den normalen Ablauf physiologischer Vorgänge gebunden ist, aus.[3]) Das mag genügen, um eine richtige Beurteilung der verschiedenen Versuchsergebnisse zu ermöglichen.

Wir gehen jetzt dazu über, die wichtigsten Resultate der einschlägigen Arbeiten zusammenzustellen. Schon seit sehr langer Zeit war die Tatsache bekannt, daß beim Mälzen der Gerste eine beträchtliche Temperatursteigerung zustande kommt, deren verderblicher Wirkung man durch Umschaufeln der keimenden Samenhaufen begegnen muß. Kurze Hinweise auf diese Erscheinung finden sich bei Thomson[4]) und später bei Tiedemann (1830).[5])

---

[1]) Vergl. d. Untersuchungen von Jul. Wiesner auf p. 22 der vorliegenden Arbeit.

[2]) Jul. Wiesner verwendete zu einem derartigen Versuche 25 g gemahlenen Hanfsamen, der mit destilliertem Wasser übergossen wurde. Folgende Temperaturen traten dabei zu Tage:

Temp. d. gemahlenen Samen vor d. Befeuchtung.	Nach d. Befeuchtung.	Diff.
1) 21,8°	22,6°	0,8°
2) 21,9°	23,1°	1,2°
2) 22,1°	23,6°	1,5°
4) 21,5°	22,5°	1,0°
5) 21,6°	22,5°	0,9°

Wiesner, J., Experimental-Untersuchungen üb. die Keimung d. Samen (Sitzungsber. d. Ksl. Akad. d. Wiss. zu Wien. Bd. 64, I. 1871. p. 415 f. Heft 1—5).

[3]) Auch in einer völlig sauerstoffreien Atmosphäre verschwindet die Eigenwärme nicht vollkommen, da an die Stelle der aëroben Atmung die intramolekulare Atmung tritt, durch die wenigstens noch Spuren von Wärme entbunden werden. J. Eriksson stellte folgende durch intramolekulare Atmung hervorgerufenen Temperaturüberschüsse fest:

Keimpfl. von	*Hordeum vulgare*	+ 0,2° C.
„ „	*Raphanus sativus*	+ 0,2° C.
„ „	*Ervum Lens*	+ 0,2° C.
„ „	*Trifolium pratense*	+ 0,1° C.
„ „	*Avena sativa*	+ 0,1° C.
„ „	*Cannabis sativa*	+ 0,1° C.

Eriksson, J., Über Wärmebildung durch intramolekulare Atmung. (Unters. a. d. Bot. Inst. zu Tübingen. Bd. 1. Leipzig 1881—1885. p. 112.)

[4]) Thomson, Système de Chimie. 5. éd. T. 4. p. 344.

[5]) Tiedemann, Die Physiologie des Menschen. Bd. 1. 1830. p. 451—452

Die sehr unklaren und verworrenen Vorstellungen, die man zu Beginn des vorigen Jahrhunderts vom Keimungsprozesse hatte,[1]) brachten es zuwege, daß man dem ganzen Vorgange und seinen Begleiterscheinungen vom Standpunkte des Physiologen aus nur wenig Bedeutung beimaß und das Studium der Keimungswärme völlig vernachlässigte. Die ersten genauen Untersuchungen auf diesem Gebiete verdanken wir H. R. Goeppert (1832).[2]) Er bediente sich bei seinen Versuchen der sog. Zusammenhäufungsmethode. Keimende Samen wurden in ein Holzgefäß, das mit einer Werghülle umgeben war, gebracht. Durch den durchbohrten Deckel des Gefäßes wurde ein genau kalibriertes Thermometer bis zur Mitte des Haufens eingeführt.[3]) Die Beobachtungen fanden in einem Raume von ungefähr konstanter Temperatur statt.[4]) Bei diesem Verfahren muß allerdings sorgfältig darauf Bedacht genommen werden, daß die Untersuchungsobjekte nicht durch Schimmelbildung und Fäulnis anormal beeinflußt werden. Aus diesem Grunde sind langsam keimende, voluminöse Samen — wie die von *Phaseolus* und *Vicia Faba* — und viel Schleim enthaltende Samen — wie die Leim- und Quittensamen — überhaupt nicht verwendbar, und auch bei anderen Keimlingen sind meist nur die Versuchsergebnisse der ersten Tage völlig einwandfrei. Außerdem muß berücksichtigt werden, daß die Untersuchungsobjekte bei dieser Methode keineswegs unter naturgemäßen Lebensbedingungen stehen. Die Transpiration ist sehr eingeschränkt, die Wachstumsvorgänge sind durch Lichtmangel verändert, die Atmung zeigt infolge der Wärmestauung und der Anhäufung von Kohlendioxyd im geschlossenen Raume eine mehr oder weniger erhebliche Beeinflussung. Die erzielten Temperaturüberschüsse hängen selbstverständlich in erster Linie von der Menge des zusammengehäuften Materials und der Wärmeundurchlässigkeit der Umhüllung ab.[5]) Je mehr Samen man übereinander schichtet, und je sorgfältiger man sie mit schlechten Wärmeleitern umgibt, umso beträchtlicher fällt die Erwärmung aus. Die so gewonnenen Resultate lassen sich also nur

---

[1]) Der Keimungsprozeß wurde von Lord Bacon für eine Art von Fäulnis gehalten. Spätere Forscher (z. B. Hornberg, Lemery, Malpighi, Böhmer, Senebier) bezeichneten ihn als eine „weinige Gährung". Vergl. Göppert, H. R., Üb. Wärmeentwicklung in lebenden Pflanzen. Ein Vortrag. Wien 1832. p. 8—9.

[2]) Göppert, H. R., l. c. 1832.

[3]) Vergl. Leick, E., Üb. d. therm. Verhalten d. Vegetationsorgane. (Sep. a. d. Mittl. d. naturwiss. Ver. f. Neuvorpommern u. Rügen. Bd. 43. 1911. p. 26.) — Hier finden sich auch Angaben über die Erwärmung zusammengehäufter Sproßteile. Genau die gleiche Untersuchungsmethode wurde in neuerer Zeit von H. Molisch angewendet. Vergl. Molisch, H., Üb. hochgradige Erwärmung lebender Laubblätter. (Bot. Ztg. Bd. 66, I. 1908. p. 211—233.)

[4]) Um verläßliche Resultate zu gewinnen, ist es unumgänglich notwendig, die Außentemperatur konstant zu erhalten. Vergl. hierüber: Leick, E., Üb. Wärmeproduktion u. Temperaturzustand lebender Pflanzen. (Biolog. Centralbl. Bd. 36. 1916.) — Leick, E., Unters. üb. d. Blütenwärme d. Araceen. Greifswald 1910. — Leick, E., Studien üb. Wärmeentwicklung bei Blütenständen u. Einzelblüten (mit Ausschluß d. Araceenblütenstände). Biblioth. botan. (Im Druck!)

[5]) Vergl. Leick, E., l. c. 1910. p. 13—14.

innerhalb sehr weiter Grenzen miteinander in Vergleich stellen. Schließlich ist auch noch darauf Bedacht zu nehmen, daß die Außentemperatur möglichst konstant sein muß, damit nicht allein durch ihre Schwankungen Temperaturdifferenzen zustande kommen.[1]) Eine der Goeppert'schen Versuchsreihen mag hier folgen:[2])

Differenz:

Zeit (1831).	Beobachtungs-raum.	1) 1500 g Weizen, 2 Tg. gequoll.	2) 1500 g Hafer, 4 Tg. gequoll.	3) 1500 g Mais, 3 Tg. gequoll.
23. April	12,0° R.	+ 1,0° R.	+ 1,0° R.	+ 1,0° R.
24. „	11,1° „	6,9° „	5,9° „	3,9° „
25. „	10,8° „	9,2° „	9,2° „	5,2° „
26. „	10,5° „	9,5° „	9,5° „	6,5° „
27. „	8,6° „	11,4° „	11,4° „	9,4° „
28. „	9,6° „	13,4° „	12,4° „	8,4° „
29. „	11,7° „	11,3° „	10,3° „	7,3° „
30. „	12,8° „	10,2° „	9,2° „	4,2° „
1. Mai	13,4° „	10,6° „	10,6° „	3,6° „
2. „	12,0° „	12,0° „	13,0° „	5,0° „
3. „	12,4° „	11,6° „	12,6° „	3,6° „
4. „	14,4° „	10,6° „	11,6° „	1,6° „
5. „	13,1° „	14,9° „	14,9° „	2,9° „

Dazu ist allerdings zu bemerken, daß die letzten Temperaturdifferenzen beim Weizen und beim Hafer sicherlich durch die Tätigkeit von Mikroorganismen (Schimmelbildung und Fäulnis zeigten sich schon Ende April!) anormal gesteigert sind. Die störende Wirkung der Quellung konnte sich nicht bemerkbar machen, da die Ablesungen erst nach vollendeter Quellung begannen.

Berücksichtigen wir nur die ersten Beobachtungstage, in denen der Keimungsprozeß noch völlig normal verlief, so lassen sich aus den Goeppert'schen Angaben folgende Mittelwerte berechnen:

		Temperaturüberschuß:
1) *Carum carvi.* 1 kg, 24 Std. eingeweicht	Mittel aus 10 Beobachtungstagen	5,3° C.
2) *Zea Mais.* 1,5 kg, 3 Tg. eingeweicht	Mittel aus 12 Beobachtungstagen	6,1° C.
3) *Cannabis sativa.* 0,5 kg, 24 Std. eingeweicht	Mittel aus 6 Beobachtungstagen	6,9° C.
4) *Pisum sativum.* 1,5 kg, 24 Std. eingeweicht	Mittel aus 6 Beobachtungstagen	8,3° C.
5) *Avena sativa.* 1,5 kg, 4 Tg. eingeweicht	Mittel aus 5 Beobachtungstagen	9,3° C.
6) *Triticum vulgare.* 1,5 kg, 2 Tg. eingeweicht	Mittel aus 5 Beobachtungstagen	9,5° C.
7) *Spergula arvensis.* 0,5 kg, 24 Std. eingeweicht	Mittel aus 5 Beobachtungstagen	11,9° C.
8) *Trifolium repens.* 1 kg, 24 Std. eingeweicht	Mittel aus 4 Beobachtungstagen	15,4° C.
9) *Brassica napus.* 1 kg, 24 Std. eingeweicht	Mittel aus 8 Beobachtungstagen	17,0° C.

[1]) Vergl. p. 7 der vorliegenden Arbeit.
[2]) Göppert, H. R., l. c. 1832. p. 12.

Besonders bemerkenswert ist der hohe Eigenwärmegrad ölhaltiger Samen *(Brassica napus)*. Wir werden auf die Bedeutung dieser Erscheinung weiter unten zu sprechen kommen.[1])

Daß die Wärmeentwicklung tatsächlich durch den Keimungsprozeß bedingt ist, daß aber die später einsetzende Tätigkeit der Schimmelpilze und der Bakterien ganz unabhängig vom Keimungsvorgange ebenfalls eine Erwärmung zur Folge hat, wurde durch nachstehenden Versuch klar bewiesen. 1 kg Weizenkörner wurde 3 Tage lang in 60 %igem Alkohol eingeweicht, dann ausgewaschen und zum Keimen angesetzt. Da der Quellungsprozeß bereits beendet war, die Keimung aber infolge der Abtötung der Zellen unterblieb, so zeigte sich 9 Tage hindurch keine Spur von einer Temperaturerhöhung. Dann begannen die Schimmelpilze und die saprogenen Bakterien schnell um sich zu greifen und erzeugten durch ihr massenhaftes Auftreten und ihre intensive Atmungstätigkeit eine Erwärmung bis zu 33° R.[2]) Von älteren Autoren[3]) war die Ansicht vertreten worden, die Umwandlung der Stärke in Zucker, die während der Keimung erfolgt, sei ein rein chemischer, von den vitalen Erscheinungen unabhängiger Vorgang, und gerade durch ihn würde die Wärmeentbindung veranlaßt.[4]) Auch diese Anschauung wußte Goeppert experimentell zu widerlegen. 1 kg Weizensamen wurde so weit zur Keimung gebracht, daß Plumula und Würzelchen bereits die Länge des Samens zeigten, und die Vorratsstoffe wenigstens zum größten Teile in Zucker umgewandelt waren. Dann wurde die ganze Masse getrocknet und erst nach 3 Wochen von neuem befeuchtet.[5]) Die Keimlinge regenerierten die Wurzeln und zeigten dann eine völlig normale Weiterentwickelung. Obgleich also die Zuckerbildung so gut wie vollendet war, traten in den folgenden Tagen nachstehende Temperaturüberschüsse ein: + 2° R, + 5° R, + 8° R, + 16° R, (Schimmelbildung).[6]) Die wahre Ursache des Wärmephänomens blieb Goeppert als einem Anhänger der *vis vitalis* verborgen.

Auf einem völlig anderen Wege ist Boussingault (1838 und 1864)[7]) der Lösung des Problems nähergekommen. Seine

---

[1]) Vergl. p. 14 der vorliegenden Arbeit.

[2]) Vergl. Göppert, H. R., l. c. 1832. p. 15. — Wie hoch die Außentemperatur bei diesem Versuche war, gibt Göppert leider nicht an.

[3]) Kirchhof, Über Zuckerbildung aus Stärkemehl durch Kleber. (Schweigers Journ. Bd. 14. p. 385.)

[4]) Vergl. über die Umwandlung von Stärke in Zucker: Einhof, Gehlens neues allgem. Journ. d. Chemie. Bd. 4. p. 478. — Müller-Thurgau, H., Üb. Zuckeranhäufung in Pflanzenteilen infolge niederer Temperatur. (Landw. Jahrb. 1882. p. 751—828). — Müller-Thurgau, H., Über das Gefrieren u. Erfrieren der Pflanzen. II. Teil. (Landw. Jahrb. Bd. 15. 1886. p. 453—609.)

[5]) Bereits Th. de Saussure hatte nachgewiesen, daß bei vielen Samen die unterbrochene Keimung unter Neubildung des Würzelchens wieder aufgenommen werden kann.

[6]) Göppert, H. R., l. c. 1832. p. 16.

[7]) Boussingault, Recherches chimiques sur la végétation, entreprises dans le but d'examiner si les plantes prennent de l'azote à l'atmosphère. (Ann. de chimie et de phys. Sér. 2. T. 67. 1838. p. 5—54.) — Ann. d. scienc. nat. Sér. 2. Bot. T. 10. 1838. p. 257 ff. — Compt. rend. T. 58. 1864. p. 883 ff. — Vergl. auch: Sachs, Jul., Handbuch d. Experimental-Phys. d. Pfl. Leipzig 1865. p. 20—21 u. p. 362—363.

Untersuchungen lassen allerdings die bei der Keimung auftretende Wärme unberücksichtigt, aber die von ihm ausgeführten Elementaranalysen ermöglichen es, nicht nur einen genaueren Einblick in Wesen und Verlauf der Keimung zu gewinnen, sondern auch eine annähernde Berechnung über Umfang und Art der Energietransformationen aufzustellen. Ein solcher Versuch ist an Hand der Boussingault'schen Resultate von Jacob Schmitz[1]) unternommen worden. In den folgenden Ausführungen wollen wir uns die Hauptzüge seiner Beweisführung zu eigen machen. Die ersten Keimungsversuche stellte Boussingault bei Lichtzutritt an. Ein derartiges Verfahren ist aber nicht zulässig, da sich unmöglich der Zeitpunkt angeben läßt, wo die Keimung vollendet ist, und die assimilatorische Tätigkeit der Laubblättchen beginnt. Durch die Assimilation wird aber eine Stoffproduktion in die Wege geleitet, die die Spuren der Dissimilation, auf die es hier allein ankommt, mehr oder weniger verwischt. Diese Fehlerquelle vermied Boussingault später dadurch, daß er die Samen im Dunkeln keimen ließ. Die wichtigsten Ergebnisse waren folgende:[2])

I. 10 Erbsen keimten im Dunkeln 26 Tage lang.

			C	H	O	N
Gesamtgewicht:	2,168 g;	vor der Keimung:	1,040 g;	0,137 g;	0,897 g;	0,094 g;
„	1,007 „;	nach der Keimung:	0,473 „;	0,065 „;	0,397 „;	0,072 „;
Gesamtverlust:	1,161 g;	Verlust:	0,567 g;	0,072 g;	0,500 g;	0,022 g;

II. 46 Weizenkörner keimten im Dunkeln 20 Tage lang.

			C	H	O	N
Gesamtgewicht:	1,628 g;	vor der Keimung:	0,758 g;	0,095 g;	0,718 g;	0,057 g;
„	0,675 „;	nach der Keimung:	0,293 „;	0,043 „;	0,282 „;	0,057 „;
Gesamtverlust:	0,953 g;	Verlust:	0,465 g;	0,052 g;	0,436 g;	0,000 g;

III. 1 Maiskorn keimte im Dunkeln 20 Tage lang.

			C	H	O	N
Gesamtgewicht:	0,5196 g;	vor der Keimung:	0,2354 g;	0,0336 g;	0,2420 g;	0,0086 g;
„	0,2890 „;	nach der Keimung:	0,1448 „;	0,0195 „;	0,1160 „;	0,0087 „;
Gesamtverlust:	0,2306 g;	Verlust:	0,0906 g;	0,0141 g;	0,1260 g;	0,0001 g;

Die Samen nehmen im Atmungsprozeß fortwährend Sauerstoff auf und geben Kohlendioxyd ab. Wir haben uns also vorzustellen, daß der verlorene Kohlenstoff eine Verbrennung zu Kohlensäureanhydrid erfahren hat. Von Verbindungen des Wasserstoffes kommt einzig und allein Wasser in Betracht, dessen Bildung von mehreren Forschern während der Keimung beobachtet wurde.[3]) Nehmen wir hinzu, daß die Verluste an Wasserstoff und

[1]) Schmitz, J., Üb. d. Eigenwärme d. Pfl. [Inaug.-Diss.] Jena 1870. p. 32—39.

[2]) Vergl. Sachs, J., Handb. d. Experimental-Physiol. d. Pfl. Leipzig 1865. p. 20—21. — Schmitz, J., l. c. 1870. p. 33—34.

[3]) Th. de Saussure wies zuerst nach, daß der Gewichtsverlust der Keimlinge erheblicher ist, als die Kohlensäurebildung zuläßt. — Saussure, Th. de, Recherches chimiques sur la végétation. 1804. p. 17. — Einen direkten Beweis für die Bildung von H_2O während der Keimung lieferten Oudemans u. Rauwenhoff. — Vergl. Gries, Rech. anat. et phys. sur la germin. 1864. p. 14. und ferner: Laskowsky, Landw. Versuchsstat. Bd. 17. 1874. p. 231. — Vergl. auch: Pfeffer, W., Handb. d. Pflanzenphys. 2. Aufl. Bd. 1. 1897. p. 534. — Jost, L., Vorlesungen üb. Pflanzenphys. 2. Aufl. Jena 1908. p. 226.

an Sauerstoff annähernd in dem Verhältnis 1:8 stehen,[1]) d. h. also in demselben Verhältnis, in dem diese Elemente im Wasser verbunden sind, so bleibt wohl kaum ein Zweifel, daß der Wasserstoff zu H_2O oxydiert wurde. Die Stickstoffmenge hat so gut wie gar keine Veränderung erfahren. Jeder Oxydationsvorgang hat notwendig eine Entbindung von chemischer Energie zur Folge. Der Wert der transformierten Energiemenge läßt sich in Kalorien ausdrücken. Nehmen wir an, die Elemente befänden sich unverbunden nebeneinander im Samen, so können wir aus den Verbrennungswärmen von Kohlenstoff und Wasserstoff die freiwerdenden Kalorien berechnen. Diese Rechnung gestaltet sich für Erbse, Weizen und Mais folgendermaßen:

1 g	Kohlenstoff	liefert	durch	Verbrennung	8080	Kalorien
0,567 g (10 Erbsen)	„	„	„	„	4581	„
0,465 g (46 Weizenkörner)	„	„	„	„	3757	„
0,0906 g (1 Maiskorn)	Kohlenstoff	„	„	„	732	„

1 g	Wasserstoff	liefert	durch	Verbrennung	34462	Kalorien
0,072 g (10 Erbsen)	„	„	„	„	2481	„
0,052 g (46 Weizenkörner)	„	„	„	„	1792	„
0,0141 g (1 Maiskorn)	„	„	„	„	486	„

1) **10 Erbsen:**	Verbrennungswärme des C:	4581	Kalorien
	„ „ H:	2481	„
	Gesamtmenge der entbundenen Energie:	7062	„
	Jede Erbse produzierte also pro Tag:	**27,2**	„
2) **46 Weizenkörner:**	Verbrennungswärme des C:	3757	Kalorien
	„ „ H:	1792	„
	Gesamtmenge der entbundenen Energie:	5549	„
	Jedes Weizenkorn produzierte also pro Tag:	**6,0**	„
3) **1 Maiskorn:**	Verbrennungswärme des C:	732	Kalorien
	„ „ H:	486	„
	Gesamtmenge der entbundenen Energie:	1218	„
	Das Maiskorn produzierte also pro Tag:	**60,9**	„

Die vorstehenden Werte wurden ermittelt auf Grund der Annahme, daß die Elemente unverbunden im Samen vorhanden seien. Diese Annahme trifft aber auf keinen Fall zu, sondern der Samen setzt sich aus komplizierten organischen Verbindungen zusammen. Da die in Frage kommenden Verbindungen durchweg schon sauerstoffhaltig sind, so muß die oben berechnete Anzahl von Kalorien auf jeden Fall zu groß ausgefallen sein. Trotzdem sind bereits

[1]) Das Verhältnis H:O betrug genau berechnet bei den verschiedenen Objekten: Erbse 1:7,0; Weizen 1:8,4; Mais 1:8,9; (Bohne 1:8,0).

diese Werte ganz erheblich geringfügiger als die von G. Bonnier[1]) durch direkte Kalorimetermessung für Roggen, Bohnen und Erbsen gefundenen. Dieser Forscher gibt — wie schon erwähnt — an, daß in manchen Keimstadien pro 1 g und pro 1 Min. bis 120 Kal. entbunden würden. Wenn wir auch zugeben müssen, daß sich die oben von uns berechneten Zahlen als Durchschnittswerte aus einer ziemlich langen Keimzeit darstellen, daß sie sich auf eine kleinere Gewichtseinheit beziehen, und daß die gesamte freiwerdende Energie als Wärme zu Tage treten soll, so bleibt die Differenz doch noch immer sehr groß. Zu ihrer Ueberbrückung genügt nicht die unerwiesene Annahme umfangreicher Spaltungsvorgänge[2]) und auch nicht die von Wilsing aufgestellte Hypothese der Asparaginbildung.[3]) Wir kommen also auch auf diesem Wege zu der Überzeugung, daß die Bonnier'schen Resultate[4]) viel zu hoch ausgefallen sein müssen. In exakter Weise ist hierfür, wie wir sahen,[5]) von H. Rodewald der Beweis geliefert worden.

Wir haben uns jetzt die Frage vorzulegen, ob wir nicht in irgend einer Weise feststellen können, welcher Art die Substanzen waren, die der physiologischen Oxydation anheimgefallen sind. Alle oben erwähnten Samen bestehen zum weitaus größten Teile aus Stärke. Boussingault konnte nachweisen, daß 22 Maiskörner, die 6,386 g Stärke enthielten, nach 20 tägiger Keimung 5,609 g, d. h. also 88 % ihres Gesamtgehaltes, an Stärke eingebüßt hatten.[6]) Außerdem war schon von Th. de Saussure[7]) dargetan worden, daß bei keimenden, stärkehaltigen Samen der Respirationsquotient $\frac{CO_2}{O_2} = 1$ ist, ein Umstand, der ebenfalls auf die Verbrennung von Kohlenhydraten schließen läßt. Sehen wir also zu, ob nicht die Atmungsverluste an C, H und O der prozentualen Zusammensetzung der Stärke entsprechen! 100 Teile Stärke enthalten:[8])

49,38	Teile	O
44,45	„	C
6,17	„	H

Wir vergleichen hiermit die prozentuale Zusammensetzung der oben angegebenen Verluste:

---

[1]) Bonnier, G., Bullet. de la soc. botan. de France. T. 27. 1880 p. 141.

[2]) Vergl. p. 3 der vorliegenden Arbeit.

[3]) Vergl. Wilsing, Journ. f. Landw. Bd. 32. 1884. — Rodewald, H., Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 19. 1888. p. 293.

[4]) Vergl. p. 2–3 der vorliegenden Arbeit.

[5]) Es handelt sich hier immer nur um die ältere Arbeit Bonniers (1880). Auf die neuere (1893) kommen wir erst später zu sprechen.

[6]) Vergl. Schmitz, J., Üb. d. Eigenwärme der Pfl. [Inaug.-Diss.] Jena 1870. p. 39.

[7]) Saussure, Théod. de, Recherches chimiques sur la végétation. 1804. (§ 2.)

[8]) H. Rodewald gibt folgende Zusammensetzung d. Stärke an: O 48,15 %; C 44,44 %; H 7,41 %. — Vergl. Rodewald, H., Journ. f. Landw. Bd. 31. 1883. p. 412.

1) Erbse:	44,0 %	O
	49,8 %	C
	6,3 %	H
2) Weizen:	45,7 %	O
	48,8 %	C
	5,5 %	H
3) Mais:	54,6 %	O
	40,0 %	C
	6,2 %	H
4) Bohne:	49,1 %	O
	44,4 %	C
	6,5 %	H

Das Atmungsmaterial der Bohne würde demnach ziemlich genau die Zusammensetzung der Stärke zeigen. Bei Erbse und Weizen dagegen scheinen neben der Stärke auch noch geringe Mengen von sauerstoffärmeren Körpern (etwa Fette, Öle) in Betracht zu kommen. Im übrigen ist die Exaktheit der Analyse nicht derartig, daß wir eine genaue Uebereinstimmung in allen Fällen erwarten dürften. Wir können hiernach wohl als erwiesen ansehen, daß bei Erbse, Weizen, Mais und Bohne in erster Linie Stärke veratmet worden ist. Dann aber sind wir in der Lage, mit Hilfe der Verbrennungswärme der Stärke bedeutend zuverlässigere Werte für den tatsächlichen Energieumsatz als die oben angeführten zu berechnen. Die Verbrennungswärme des Erbsenmehls beträgt nach den Untersuchungen Franklands 3936 Kal.[1]) Weizen-, Mais- und Bohnenmehl können keine sehr wesentliche Abweichung von dieser Verbrennungswärme aufweisen. Für Kartoffel- und Reisstärke wurde eine mittlere Verbrennungswärme von 4116 Kal. festgestellt.[2]) Für unsere Berechnung, in der es sich ja doch nur um angenäherte Werte handelt, genügt es, 4000 Kal. als Verbrennungswärme zu Grunde zu legen. Daß die so gewonnenen Zahlen doch immer nur sehr bedingte Gültigkeit besitzen, geht daraus hervor, daß neben Stärke sehr wohl auch noch geringe Mengen anderer Substanzen mit einer viel beträchtlicheren Verbrennungswärme oxydiert sein können.

I. 10 Erbsen; 26 Tage Keimzeit.
Verlust an C + H + O = 1,139 g;
gesamte Verbrennungswärme = 4483 Kal. (7062);[3])
jede Erbse produzierte also pro Tag **17,3** Kal. (27,2).

II. 46 Weizenkörner; 20 Tage Keimzeit.
Verlust an C + H + O = 0,953 g;
gesamte Verbrennungswärme = 3812 Kal. (5549);
jedes Weizenkorn produzierte also pro Tag **4,1** Kal. (6,0).

III. 1 Maiskorn; 20 Tage Keimzeit.
Verlust an C + H + O = 0,2306 g;
gesamte Verbrennungswärme = 922 Kal. (1218);
das Maiskorn produzierte also pro Tag **46,1** Kal. (60,9).

---

[1]) Frankland, Jahresber. f. Chem. 1866. p. 734. — Vergl. auch: Rodewald, H., Journ. f. Landw. Bd. 31. 1883. p. 439.

[2]) Vergl. Landw. Jahrb. Bd. 13. 1884. p. 554.

[3]) In Klammern sind die früher berechneten Werte beigefügt.

IV. 1 Bohne; 26 Tage Keimzeit.

Verlust an C + H + O = 0,3596 g;
gesamte Verbrennungswärme = 1438 Kal. (—);
die Bohne produzierte also pro Tag **55,3** Kal. (—).

Die große Verschiedenheit der vorstehenden Werte erklärt sich wohl in der Hauptsache aus der stark voneinander abweichenden Größe der Samen. Dabei ist zu beachten, daß das Volumen des Samens nach zwei Richtungen hin in Betracht kommt. Der größere Samen zeigt einmal eine größere Anzahl atmender Zellen, zum anderen aber auch einen größeren Vorrat an Atmungsmaterial, der es ermöglicht, viele Tage hindurch die gleiche Atmungsintensität zu unterhalten. Während ein Weizenkorn nach 20 Tagen Keimzeit nur noch eine sehr geringe Menge von Kohlenhydraten besitzt, zeigt die Bohne selbst nach 26 Tagen noch einen reichen Vorrat von Reservestoffen. Es unterliegt also keinem Zweifel, daß die mittlere Atmungsintensität bei großen Samen ungleich beträchtlicher ausfallen muß als bei kleinen. Damit stimmen die — allerdings im höchsten Grade anfechtbaren — Resultate Bonniers überein.[1]) Weizenkeimlinge, deren Wurzeln durchschnittlich 1,5 cm, und deren Sprossen ca 1 cm maßen, wiesen trotz einer Keimzeit von nur wenigen Tagen pro 1 kg und pro 1 Min. eine Wärmeentbindung von nur 20 Kal. auf. Keimende Maissamen dagegen produzierten pro 1 kg und pro 1 Min. nach 7 Tagen noch 138 Kal. und nach 15 Tagen sogar noch 90 Kal.

Wesentlich anders liegen die Verhältnisse bei öl- und fetthaltigen Samen.[2]) Die Speicherung fetter Öle gehört durchaus nicht zu den Seltenheiten, sondern scheint bei der Mehrzahl der Samen wenigstens in geringem Umfange stattzufinden. Bei manchen Samen stellen die Fette sogar die Hauptmasse des Reservematerials dar. Folgende Zusammenstellung mag als Beweis dienen:[3])

1.	Mandel:	53,68 % Fett
2.	Haselnuß:	66,47 % „
3.	Mohnsamen:	47.69 % „
4.	Kokosnuß:	67,00 % „

Diese Fette können teils als plastische, teils als trophische Stoffe Verwendung finden. Da fetthaltige Samen während der Keimung stets eine nicht unbeträchtliche Menge von Fettsäuren (etwa Palmitinsäure, Stearinsäure, Arachninsäure, Ölsäure, Eru-

---

[1]) Bonnier, G., Recherches sur la chaleur végétale. (Ann. d. scienc. nat. Sér. 7. Botan. T. 18. 1893. p. 23).

[2]) Detmer, W., Keimung ölhaltiger Samen. Jena 1875. — Detmer, W., Vergleichende Physiologie des Keimungsprozesses. Jena 1880. — Schmitz, J., Üb. die Eigenwärme der Pflanzen. [Inaug.-Diss]. Jena 1870. p. 39—41.

[3]) Jost, L., Vorlesungen üb. Pflanzenphys. 2. Aufl. Jena 1908. p. 181.

kasäure usw.)[1]) enthalten,[2]) so haben wir uns vorzustellen, daß durch die enzymatische Wirkung der Lipase eine hydrolytische Spaltung der Fette in Glyzerin und Fettsäure herbeigeführt wird. Die weitere Umwandlung dieser Spaltungsprodukte kann ohne Zweifel verschiedene Wege einschlagen. Durch mikroskopische Untersuchungen wurde bereits von Julius Sachs[3]) festgestellt, daß die Fette und ihre Spaltungsprodukte nicht selten zu Kohlenhydraten oxydiert werden. Diese können dann durch weitere Sauerstoffaufnahme in Kohlendioxyd verwandelt werden oder auch in Form von Cellulose dem Aufbau von Zellmembranen dienen. Werden im Atmungsprozeß nur Kohlenhydrate der physiologischen Verbrennung unterworfen, so ist die Menge des gebildeten Kohlendioxydes genau gleich der Menge des absorbierten Sauerstoffes. Das Gesamtvolumen einer limitierten Luftmenge wird also durch den Atmungsgaswechsel nicht verändert. Dementsprechend zeigt der Respirationsquotient $\frac{CO_2}{O_2}$ den Wert 1.[4]) Nun aber wurde bereits durch Théodore de Saussure nachgewiesen, daß der Respirationsquotient in sehr vielen Fällen von dem Normalwerte 1 abweicht und namentlich bei der Keimung ölhaltiger Samen stets sehr viel kleiner (bis 0,3) ausfällt.[5]) Dieses Ergebnis ist dann später durch zahlreiche Forschungen bestätigt worden.[6]) So haben namentlich Bonnier und Mangin[7]) genaue Untersuchungen über

---

[1]) Eine vollständige Aufzählung der in Pflanzen vorkommenden Fettsäuren findet sich in Czapek, F., Biochemie der Pflanzen. 1913. Bd. 1. p. 106.

[2]) Vergl. Schmidt, R. H., Flora od. Allg. bot. Zeitg. Bd. 74. 1891. p. 300.

[3]) Sachs, J., Bot. Ztg. Bd. 17. 1859. p. 177.

[4]) Saussure, Th. de, Recherches chimiques sur la végétation. Übersetzt von Voigt. 1804. — Im übrigen läßt sich aus der Tatsache, daß der Respirationsquotient = 1 ist, nicht mit Sicherheit darauf schließen, daß nur Kohlenhydrate zur Veratmung gelangt sind. Es ist sehr wohl denkbar, daß verschiedene Stoffe bis zu verschiedenen Grenzen oxydiert werden, sodaß dadurch das Verhältnis $\frac{CO_2}{O_2}$ den Wert 1 annimmt. — Vergl. Jost, L., Vorl. üb. Pflanzenphys. 2. Aufl. Jena 1908. p. 227.

[5]) Saussure, Th. de, De l'altération de l'air par la germination. (Mém. de la soc. d. phys. et d'hist. nat. de Génève. T. 6. 1833. p. 547 u. 554.) — Teilweise abgedruckt in: Ann. d. scienc. nat. Sér. 2. Botan. Paris 1834. p. 270 ff. — Saussure, Th. de, Bibl. univers. de Génève. Bd. 40. 1842. p. 368.

[6]) Ich verweise auf: Godlewski, Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 13. 1882. p. 491. — Déherain et Maquenne, Compt. rend. T. 101. 1885. p. 887. — Palladin, Ber. d. deutsch. bot. Gesellsch. 1886. p. 327. — Jumelle, Rev. génér. de botan. T. 4. 1892. p. 112. — Jönsson, Compt. rend. T. 109. 1894. p. 440. — Purjewicz, Bot. Centralbl. Bd. 58. 1894. p. 372. — Hesse, Zeitschr. f. Hyg. Bd. 15. 1893. p. 17. — Mesnard, Ann. d. scienc. nat. Sér. 7. Bot. T. 18. 1893. p. 295. — Richards, Ann. of Bot. Vol. 10. 1896. p. 577.

[7]) Bonnier, G., et Mangin, L., Ann. d. scienc. nat. Sér. 6. Bot. T. 17. 1884. p. 209. — T. 18. p. 293—381. — T. 19. p. 218. — Sér. 7. T. 2. 1886. p. 315 u. 365. — T. 3. p. 5. — Vergl. auch: Pfeffer, W., Handb. d. Pflanzenphys. 2. Aufl. Bd. 1. 1897. p. 534. — Jost, L., Vorl. üb. Pflanzenphys. 2. Aufl. Jena 1908. p. 230.

den Gaswechsel keimender Samen angestellt, die für Linum usitatissimum an successiven Tagen folgende Werte ergaben: Respirationsquotient = 0,30; 0,34; 0,39; 0,40; 0,63; 0,64. In welcher Weise ist das Überwiegen der Sauerstoffabsorption zu erklären? [1]) Auf jeden Fall müssen unvollkommene Verbrennungen stattgefunden haben. Entweder ist ein Teil der fetten Öle nur bis zu Kohlenhydraten oder aber ein Teil der Kohlenhydrate nur bis zu sauerstoffreicheren Säuren (etwa Oxalsäure) oxydiert worden. Natürlich können auch beide unvollkommenen Oxydationen nebeneinander stattgefunden haben. Die Bildung von Oxalsäure als intermediärem Atmungsprodukt scheint bei den höheren wie bei den niederen Pflanzen weit verbreitet zu sein, [2]) pflegt aber unter normalen Verhältnissen keinen großen Umfang anzunehmen. Eine Ausnahme machen nur die Crassulaceen, bei denen während der Nacht eine beträchtliche Ansäuerung stattfindet, die am Tage wieder ausgeglichen wird. Bei ihnen muß also der Respirationsquotient im Dunkeln einen kleineren Wert als 1 aufweisen, im Hellen dagegen einen größeren. [3]) Bei der Keimung ölhaltiger Samen ist der Sachverhalt ein anderer. Experimentell wurde festgestellt, daß die Fette und Öle vielfach zu Kohlenhydraten (Stärke, Zucker, Cellulose) oxydiert werden. [4]) Nach den Untersuchungen von Ed. Peters über die Keimung von *Cucurbita Pepo* stellt sich die Stoffumwandlung während der Keimung folgendermaßen dar: [5])

1000 Samen *Cucurbita Pepo* enthalten:

Bestandteile	Vor der Keimung	I. Keimperiode	II. Keimperiode	III. Keimperiode [6])
Öl:	136,65	103,51	56,43	12,98
Zucker:	Spuren	3,81	9,48	12,80
Gummi (Dextrin):	,,	2,56	3,55	6,13
Stärke:	0	8,89	17,50	6,63
Cellulose:	8,34	9,33	12,23	21,20

---

[1]) Die Sauerstoffaufnahme kann so beträchtlich sein, daß allein durch sie eine Gewichtszunahme der Trockensubstanz zustande kommt. — Vergl. Detmer, W., Physiologie d. Keimung. Jena 1880. p. 335.

[2]) Das ergibt sich schon aus dem sehr häufigen Vorkommen von oxalsaurem Kalk.

[3]) Vergl. Aubert. Rev. génér. de botan. T. 4. 1892. p. 330. — Vergl. auch p. 17 der vorliegenden Arbeit.

[4]) Vergl. p. 15 der vorliegenden Arbeit.

[5]) Peters, Ed., Zur Keimungsgeschichte des Kürbissamens. (Die landw. Versuchs-Stat. 1861. p. 1. H. 7.) — Sachs, Jul., Handb. d. Experimental-Physiol. d. Pfl. Leipzig 1865. p. 363—366.

[6]) Die 3 Keimperioden werden von Ed. Peters wie folgt unterschieden:

1. Keimperiode: Hauptwurzel noch unverzweigt, 2—4 cm lang, hypocotyles Glied sehr kurz, Cotyledonen noch in der Samenschale.

2. Keimperiode: 2—6 Nebenwurzeln von 2—3 cm Länge, hypocotyles Glied beginnt sich zu strecken, Cotyledonen an der Basis grün.

3. Keimperiode: Keimwurzelsystem entwickelt, hypocotyles Glied gestreckt, Cotyledonen ausgebreitet und grün. Laubblätter beginnen sich zu entfalten.

Was lehrt uns diese Zusammenstellung? Der Ölgehalt nimmt während der Keimung schnell bis auf $^1/_8$ ab, während der Gehalt an Zucker, Gummi und Cellulose fortwährend zunimmt. Stärke fehlt im ruhenden Samen völlig, erscheint aber zu Beginn der Keimung in ziemlich beträchtlicher, schnell wachsender Menge, um dann im letzten Keimstadium wieder zum guten Teile zu verschwinden. Wenn wir auch zugeben müssen, daß die Versuche insofern nicht ganz einwandfrei sind, als gegen Ende des Keimungsprozesses infolge des Lichtzutrittes die Assimilationstätigkeit begann, so geht doch aus dem gesamten Verlaufe der Keimung mit überzeugender Klarheit hervor, daß zunächst die Fette zu Kohlenhydraten — besonders Stärke — oxydiert werden, und daß dann wenigstens ein Teil der Stärke einer vollständigen Verbrennung anheimfällt. Hiermit stimmt die oben angeführte Tatsache,[1]) daß der Respirationsquotient mit fortschreitender Entwickelung dem Werte 1 immer näher kommt, aufs beste überein. Ferner muß, wenn unsere Auffassung den Tatsachen entspricht, der Respirationsquotient von Ölpflanzen, die zur Fruktifikation schreiten, erheblich größer als 1 ausfallen, da jetzt genau der umgekehrte Prozeß wie bei der Keimung eintritt, nämlich die Bildung von Öl aus sauerstoffreicheren Verbindungen (Kohlenhydraten). Tatsächlich ist an verschiedenen Objekten ein derartiger Nachweis gelungen. So fand Gerber[2]) bei *Ricinus* zur Zeit der Fruchtbildung den Quotienten $\frac{CO_2}{O_2}$ bis zu 4,71. Schließlich sei auch noch auf die Ernährungsversuche an Pilzen hingewiesen, die ebenfalls ein übereinstimmendes Resultat ergaben. *Penicillium glaucum* zeigte bei Ernährung mit Zucker den Respirationsquotienten 1, bei Ernährung mit Äthylamin, also einer sauerstoffärmeren Verbindung, 0,67, bei Ernährung mit Weinsäure, die bekanntlich mehr Sauerstoff enthält als die Kohlenhydrate, dagegen 2,9.[3]) Damit haben wir wenigstens in großen Zügen eine Übersicht über die wichtigsten Stoffumsetzungen beim Keimungsprozeß ölhaltiger Samen gewonnen, und wir können nun der Frage nähertreten, ob wir uns nicht auch einen Einblick in den quantitativen Verlauf der den Stoffwechsel begleitenden Energietransformationen verschaffen können. Gelingt uns das, so wird damit auch zugleich das Problem der Wärmeproduktion seiner Lösung nähergebracht. Von vornherein ergibt sich als Forderung aus unserer Darstellung des Keimungsprozesses, daß die ölhaltigen Samen entsprechend der doppelten Oxydation (Öl zu Kohlenhydrat, Kohlenhydrat zu Kohlensäure), die sich in ihnen vollzieht, eine beträchtlichere Wärmeentbindung und damit auch eine beträchtlichere Temperatursteigerung aufweisen müssen, als vorwiegend stärkehaltige Samen.

---

[1]) Vergl. p. 16 der vorliegenden Arbeit.

[2]) Gerber, Congr. intern. de bot. Paris. Compt. rend. 1900. p. 55. — Vergl. Jost, Ludw., Vorl. üb. Pflanzenphys. 2. Aufl. Jena 1908. p. 230.

[3]) Diakonow, Ber. d. deutsch. bot. Gesellsch. 1887. p. 115. — Vergl. Pfeffer, W., Handb. d. Pflanzenphys. 2. Aufl. Bd. 1. 1897. p. 534. — Purjewicz, Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 35. 1900. p. 573.

Nun ging tatsächlich bereits aus den Untersuchungen Göpperts hervor, daß die höchste Eigenwärme den ölhaltigen Samen von *Brassica napus* zukommt.[1]) Dadurch haben wir bereits ein qualitatives Bild von der in Frage stehenden Erscheinung erhalten. Gelingt es nun nicht, in ähnlicher Weise, wie wir es bei stärkehaltigen Samen versuchten, auf Grund der Stoffumsetzungen und der Verbrennungswärmen der in Betracht kommenden Substanzen durch Berechnung eine annähernd quantitative Einsicht in den Energiehaushalt zu gewinnen? Sehen wir zu! Die sehr zuverlässigen und sorgfältigen Angaben von Ed. Peters über *Cucurbita Pepo*[2]) unterrichten uns für jede Keimperiode von dem Verlust an Öl und dem Gewinn an Kohlenhydraten. Bezeichne ich die Verbrennungswärme des Öles mit A, diejenige des Zuckers mit a, des Gummis mit b, der Stärke mit c und der Cellulose mit d, so würde sich die Berechnung der tatsächlichen Energieentbindung (nicht ohne weiteres der Wärmeproduktion gleichzusetzen!) folgendermaßen gestalten:[3])

I. Keimungsperiode (ca 5 Tage) für 1000 Kürbissamen:

Verlust an Öl:	136,65	— 103,51	=	33,14 g;
Gewinn an Zucker:	3,81	— 0,01[4])	=	3,80 g;
Gewinn an Gummi (Dextrin):	2,56	— 0,01[4])	=	2,55 g;
Gewinn an Stärke:	8,89	— 0,00	=	8,89 g;
Gewinn an Cellulose:	9,33	— 8,34	=	0,99 g.

Von 1000 Kürbissamen wurden also während der I. Keimungsperiode produziert: 33,14 A — (3,8 a + 2,55 b + 8,89 c + 0,99 d) Kal. Wir haben nun die mit A, a, b, c und d bezeichneten Verbrennungswärmen festzustellen. Wir benutzen dazu die von F. Stohmann und seinen Mitarbeitern bestimmten Werte:[5])

Verbrennungswärme A: Öl.

Leinöl	9302	Kal.
Olivenöl	9314	„
Olivenöl	9455	„
Mohnöl	9431	„
Rüböl	9481	„
Rüböl	9602	„

---

[1]) Vergl. p. 8—9 der vorliegenden Arbeit.

[2]) Vergl. p. 16 der vorliegenden Arbeit.

[3]) Vergl. Schmitz, J., l. c. 1870. p. 41.

[4]) Für die Angabe „Spuren“ habe ich 0,01 g gesetzt.

[5]) Stohmann, F., Kalorimetrische Untersuchungen: I. Stohmann, F. u. Rechenberg, C. v., Die kalorimetrische Untersuchungsmethode. II. Stohmann, F., Rechenberg, C. v., Wilsing, H., u. Rodatz, P., Die Wärmewerte der wichtigsten Nährstoffe und Körperbestandteile. (Landw. Jahrb. Bd. 13. 1884. p. 513—581).

Ätherischer Extrakt aus:

Leinsamen	9080	Kal.
Hanfsamen	9160	„
Mohnsamen	9269	„
Senfsamen	9352	„
Rapssamen	9404	„
Rübsensamen	9449	„

Das Öl des Kürbissamens muß eine ganz ähnliche Verbrennungswärme aufweisen. Wir nehmen als angenäherten Wert **9400** Kal. an.

Verbrennungswärme a: Zucker.

Dextrose	3692	Kal.
Laktose	3659	„
Arabinose	3695	„
Milchzucker	3667	„

Wir nehmen als angenäherten Wert **3600** Kal. an.

Verbrennungswärme b: Gummi (Dextrin).

Stärkegummi oder Dextrin ist ein Kohlenhydrat, das als Zwischenprodukt bei der Umwandlung von Stärke in Zucker auftritt. Wir können also wohl annehmen, daß seine Verbrennungswärme ungefähr die Mitte hält zwischen den Verbrennungswärmen von Zucker und Stärke.

Zucker	3600	Kal.
Stärke	4116	„

Als Zwischenwert wollen wir **3900** Kal. wählen.

Verbrennungswärme c: Stärke.

Stärke 4116 Kal.
Wir runden ab auf **4100** Kal.

Verbrennungswärme d: Cellulose.

Cellulose 4146 Kal.
Wir runden ab auf **4150** Kal.

Demnach haben wir folgende Rechnung auszuführen:

$33{,}14 \cdot 9400 - (3{,}8 \cdot 3600 + 2{,}55 \cdot 3900 + 8{,}89 \cdot 4100 + 0{,}99 \cdot 4150)$ Kal. $= 311516 - (13680 + 9945 + 36449 + 4108{,}5)$ Kal. $= 311516 - 64182{,}5$ Kal. $=$ **247333,5** Kal.

Jeder Samen produzierte mithin während der ersten Keimungsperiode ca 247 Kal. Da diese Periode mit 5 Tagen sicherlich hoch genug geschätzt ist,[1]) dürfte die Energieentbindung pro Samen und pro Tag annähernd **50** Kal. betragen.

Wir führen jetzt die gleiche Rechnung auch für die beiden folgenden Keimungsstadien und für die gesamte Keimzeit durch:

[1]) Vergl. p. 16 der vorliegenden Arbeit.

II. Keimungsperiode (ca 5 Tage) für 1000 Kürbissamen:

Verlust an Öl:	103,51	— 56,43	=	47,08 g;
Gewinn an Zucker:	9,48	— 3,81	=	5,67 g;
Gewinn an Gummi (Dextrin):	3,55	— 2,56	=	0,99 g;
Gewinn an Stärke:	17,50	— 8,89	=	8,61 g;
Gewinn an Cellulose:	12,23	— 9,33	=	2,90 g.

Von 1000 Kürbissamen wurden während der II. Keimungsperiode produziert:

47,08 A — (5,67 a + 0,99 b + 8,61 c + 2,90 d) Kal. = 47,08 · 9400 — (5,67 · 3600 + 0,99 · 3900 + 8,61 · 4100 + 2,9 · 4150) Kal. = 442552 — 71609 Kal. = **370943** Kal.

Jeder Samen produzierte demnach während der II. Keimungsperiode ca 371 Kal. Nehmen wir auch für dieses Stadium 5 Tage in Anspruch, so ergibt sich pro Tag und pro Samen eine Produktion von ungefähr **74,2** Kal.

III. Keimungsperiode (ca 6 Tage) für 1000 Kürbissamen:

Verlust an Öl:	56,43	— 12,98	=	43,45 g;
Verlust an Stärke:	17,50	— 6,63	=	10,87 g;
Gewinn an Zucker:	12,80	— 9,48	=	3,32 g;
Gewinn an Gummi (Dextrin):	6,13	— 3,55	=	2,58 g;
Gewinn an Cellulose:	21,20	— 12,23	=	8,97 g.

Von 1000 Kürbissamen wurden während der III. Keimungsperiode produziert:

(43,45 A + 10,87 c) — (3,32 a + 2,58 b + 8,97 d) Kal. = (43,45 · 9400 + 10,87 · 4100) — (3,32 · 3600 + 2,28 · 3900 + 8,97 · 4150) Kal. = 452997 — 58069,5 Kal. = **394927,5** Kal.

In jedem Kürbissamen wurden also während der III. Keimungsperiode ungefähr 395 Kal. entbunden. Wir werden kaum fehlgehen, wenn wir diesem Stadium eine Dauer von etwa 6 Tagen zuschreiben. Dann würde jeder Samen pro Tag ca **66** Kal. produziert haben. In diesem Entwickelungstadium macht sich vielleicht schon der Einfluß der Assimilation störend bemerkbar,[1]) so daß das Resultat noch unzuverlässiger ist als die vorhergehenden.

IV. Die gesamte Keimzeit (ca 16 Tage).

Als Mittelwert für die tägliche Energieentbindung eines Kürbissamens während der gesamten Dauer der Keimung ergeben sich: **63,4** Kal.

Vergleichen wir dieses Resultat mit den entsprechenden Werten bei stärkehaltigen Samen,[2]) so sehen wir sofort, daß ölhaltige Samen eine durchweg beträchtlichere Energieentbindung

[1]) Vergl. p. 16 der vorliegenden Arbeit.
[2]) Vergl. p. 13—14 der vorliegenden Arbeit.

aufweisen. Ein derartiges Ergebnis steht aber im besten Einklange mit der Tatsache, daß bei der Keimung von Ölsamen eine höhere Eigenwärme auftritt als bei Stärkesamen. Die Erscheinung findet ihre Erklärung in der zweifachen Oxydation, die in ölhaltigen Samen notwendig statthaben muß. Es bedarf wohl kaum einer nochmaligen Erwähnung, daß die vorstehend berechneten Zahlen keine absolute Gültigkeit beanspruchen, sondern nur als Annäherungswerte aufzufassen sind.

Schließlich lehrt uns das Beispiel der ölhaltigen Samen noch, daß die Wärmeentwickelung durchaus nicht immer der Kohlensäureabgabe proportional zu sein braucht. Fällt der Respirationsquotient $\frac{CO_2}{O_2}$ kleiner als 1 aus, so muß der Quotient $\frac{\text{gemessene Wärme}}{\text{berechnete Wärme}}$ größer als 1 sein, und umgekehrt, wenn $\frac{CO_2}{O_2}$ größer als 1 ist, so muß $\frac{\text{gemessene Wärme}}{\text{berechnete Wärme}}$ kleiner als 1 sein. Eine ungefähre Übereinstimmung zwischen der empirischen Wärmeproduktion und der aus der Kohlensäureentwickelung berechneten ist nur dann zu erwarten, wenn die Messungen sich über einen langen Zeitraum erstrecken, so daß man annehmen kann, daß die verschiedensinnigen Differenzen sich gegenseitig ausgeglichen haben.[1])

Bei den Untersuchungen von Julius Wiesner (1871, 1872)[2]) wurden neben Temperaturmessungen auch Kohlensäurebestimmungen ausgeführt. Leider erfolgten diese in sehr unregelmäßigen Zeitabständen und mit einer wechselnden Samenmenge, so daß sie zu quantitativen Berechnungen nicht verwendet werden können. Als Untersuchungsobjekte dienten die Samen von Mais, Gerste, Hafer, Weizen, Hanf und verschiedenen Nadelhölzern.[3]) 0,5 kg Hanfsamen wurden in einen Musselinbeutel getan und in Wasser gehängt, das die Temperatur der Umgebung besaß. Nach kurzer Zeit wurde das Wasser abgegossen und ein Thermometer in der Mitte der Samenmasse befestigt. Die Außentemperatur wurde möglichst konstant gehalten. Am 5. Keimtage stellte man das Maximum mit 7,5° Temperaturüberschuß fest. Ein Versuch, der in gleicher Weise mit 0.25 kg Gerste ausgeführt wurde, zeigte ebenfalls am 5. Tage der Keimung das Eigenwärmemaximum mit + 4,7°. Leider sind die beiden Versuchsreihen infolge der verschiedenen Gewichtsmengen und der erheblich voneinander abweichenden Außentemperaturen[4]) nicht unmittelbar miteinander

---

[1]) Vergl. Rodewald, H., Quantitative Untersuchungen über die Wärme- und Kohlensäureabgabe atmender Pflanzenteile. (Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 18. 1887. p. 343—344.)

[2]) Wiesner, J., Experimental-Untersuchungen über die Keimung der Samen. (Sitzungsber. d. Kais. Akad. d. Wissensch. zu Wien. Bd. 64. Abt. I. 1871. p. 415—433.) — Wiesner, J., Gang der Temperatur und Ursachen der Erwärmung beim Keimen. (Landw. Versuchs-Stat. Bd. 15. 1872. p. 135 ff.)

[3]) z. B. *Pinus laricio* und *Pinus silvestris*.

[4]) Der Hanf keimte bei ca + 15.5° C. die Gerste dagegen bei ca + 20,0° C.

vergleichbar. Immerhin sehen wir auch hier, daß die Wärmeproduktion in den ölhaltigen Hanfsamen beträchtlicher ausfällt als in den mit Stärke gefüllten Gerstensamen. Denn wenn auch die verwendete Samenmenge im letzten Falle eine geringere war, so reicht dieser Umstand doch nicht hin, um die große Differenz der Eigenwärmen zu erklären, zumal da die Keimung der Gerste sich bei höherer Temperatur vollzog. Das wichtigste Ergebnis der Wiesner'schen Untersuchungen ist darin zu erblicken, daß hier zum ersten Male experimentell die Tatsache festgestellt wurde, daß während des ersten Keimungsstadiums die durch den Quellungsprozeß hervorgerufene Wärmeproduktion den Temperaturzustand sehr wesentlich beeinflußt. Die Eigenwärme macht sich bald nach der Befeuchtung der Samen bemerkbar, während Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe erst nach Stunden in die Erscheinung treten. Ein Beispiel mag hier zur Erläuterung folgen:[1])

0,5 g Hanfsamen . 1. Juni.

Zeit.	Temperaturüberschuß.	Gebildete CO_2 in mg.
8 Uhr vorm.	+ 0,0°	0,0 mg
8³⁰ „ „	+ 0,2°	— —
9 „ „	+ 0,4°	— —
9³⁰ „ „	—	0,0 mg
10 „ „	+ 0,7°	0,0 „
11 „ „	+ 1,1°	0,0 „
12 Uhr mittags	+ 2,2°	0,0 „
1 „ nachm.	+ 2,5°	1,0 „

Nachdem Wiesner noch eine ganze Reihe von Experimenten mit gemahlenen Samen ausgeführt hatte, die bei der Berührung mit Wasser ausnahmslos eine temporäre Erwärmung aufwiesen,[2]) kam er zu folgendem Schlusse: „Aus den im vorgehenden mitgeteilten Beobachtungen geht mit aller Bestimmtheit hervor, daß beim Keimen der Samen die CO_2-Bildung später als die Wärmeentwicklung eintritt, woraus sich ergibt, daß die CO_2-Bildung nicht die einzige beim Keimakte beteiligte Wärmequelle bildet. Die oben angeführten Beobachtungen lehren ferner, daß eine weitere Wärmequelle in der Wasseraufnahme der Samen zu suchen ist. Die mit Wasser in Berührung kommenden Samen verdichten nämlich das in ihre Gewebe eintretende Wasser, wobei Wärme frei wird. Die ersten beim Keimakte freiwerdenden Wärmemengen werden wohl bloß durch diese Wasserverdichtung hervorgerufen."[3])

Wiesner stellte auch den durch die Keimung hervorgerufenen Substanzverlust fest. Es ergaben sich folgende Werte:

---

[1]) Vergl. Wiesner, J., l. c. 1871.

[2]) Vergl. p. 6 der vorliegenden Arbeit.

[3]) Vergl. Wiesner, J., l. c. 1871.

I. Trockengewicht von 166 Hanfkörnern:	2,709 g;	
„ „ 166 Hanfkeimlingen:	1,364 g;	
Verlust an Trockensubstanz:	1,345 g	= 49 %.
(Keimzeit 5. Tage).		
II. Trockengewicht von 63 Gerstenkörnern:	1,793 g;	
„ „ 63 Gerstenkeimlingen:	1,431 g;	
Verlust an Trockensubstanz:	0,362 g	= 20 %.
(Keimzeit 6 Tage).		

Im Gerstensamen ist fast ausschließlich Stärke magaziniert. Nach unseren früheren Auseinandersetzungen dürfen wir annehmen, daß hier als Atmungsmaterial nur Stärke wesentlich in Betracht kommt. Nehmen wir als Verbrennungswärme dieser Substanz 4100 Kal. an,[1]) so erhalten wir die von 63 Samen in 6 Keimtagen entbundene Energiemenge durch folgende Rechnung:

$$0{,}362 \cdot 4100 = 1484{,}2 \text{ Kal.}$$

oder pro Samen und pro Tag:

$$1484{,}2 : 378 = \mathbf{3{,}93} \text{ Kal.}$$

Vergleichen wir diesen Wert mit dem früher[2]) für Weizen berechneten (4,1), so ergibt sich eine gute Uebereinstimmung. Eine entsprechende Rechnung läßt sich für den Hanf nicht durchführen, da hier neben Stärke sicherlich auch eine ansehnliche Ölmenge veratmet wird. Leider sind wir nicht imstande, die Richtigkeit der Annahme, daß ausschließlich Stärke im Gerstensamen veratmet wurde, dadurch zu beweisen, daß der Gehalt der exhalierten CO_2-Menge an Kohlenstoff der in dem verbrannten Stärkequantum enthaltenen Kohlenstoffmenge gleichkommt. Die Kohlensäurebestimmung wurde nämlich anfänglich mit einer größeren Anzahl von Samen ausgeführt, so daß sie einen zu beträchtlichen Wert aufweisen muß.

Von besonderer Bedeutung sind die Untersuchungen H. Rodewalds (1883),[3]) da hier nicht nur genaue Elementaranalysen ausgeführt wurden, sondern auch eine direkte Bestimmung der Verbrennungswärmen der Samensubstanz und der Keimlingssubstanz stattfand. Der Stoffumsatz wurde in folgender Weise ermittelt. Samen von *Trifolium pratense* wurden zunächst einer genauen Trockensubstanzbestimmung unterworfen. Dann wurde eine Anzahl gleichartiger Samen unter den größten Vorsichtsmaßregeln, durch welche eine Stoffaufnahme mit dem zugeführten Wasser und eine Stoffproduktion durch assimilatorische Tätigkeit vermieden wurde, bei 20°—25° zum Keimen gebracht. Nach 5 resp. nach 9 Tagen wurden die Keimlinge im Trockenschrank bei 105°

[1]) Vergl. p. 19 der vorliegenden Arbeit.
[2]) Vergl. p. 13 der vorliegenden Arbeit.
[3]) Rodewald, H., Über die Wechselbeziehungen zwischen Stoffumsatz und Kraftumsatz in keimenden Samen. (Journ. f. Landw. Jahrg. 31. 1883. p. 407—439).

getrocknet und dann ebenfalls einer Trockensubstanzbestimmung unterworfen. Es ergaben sich folgende Verluste:

I. Versuch: 5 Keimtage.

Trockensubstanz der Samen:	4,0924 g;	
„ der Keimlinge:	3,4865 g;	
Verlust:	0,6059 g	= 14,81 %.

II. Versuch: 9 Keimtage.

Trockensubstanz der Samen:	3,8015 g;	
„ der Keimlinge:	2,8542 g;	
Verlust:	0,9473 g	= 24,92 %.

Die Atmungsverluste zeigten nachstehende prozentuale Zusammensetzung:

I. Versuch:	II. Versuch:
O 41,31 %	O 33,27 %
C 49,68 %	C 57,88 %
H 9,01 %	H 8,86 %

Vergleichen wir diese Werte mit der Zusammensetzung der Stärke,[1]) so sehen wir, daß das Atmungsmaterial im ersten Falle annähernd die Zusammensetzung der Stärke aufweist, im zweiten Falle dagegen zuviel C und zu wenig O enthält. Es muß hier also neben Stärke eine Substanz von der ungefähren Konstitution der Fette veratmet sein. Machen wir die Annahme, es handelte sich um ein Gemisch von 60 Teilen Stärke und 40 Teilen Fett (Ölsäure $C_{18} H_{34} O_2$), so würden wir folgende Zusammensetzung erhalten:

	O	C	H
60 Teile Stärke:	28,92;	26,64;	4,44;
40 Teile Fett:	4,52;	30,64;	4,84;
100 Teile des Gemisches:	33,44;	57,28;	9,28;

Diese Werte würden mit denen des zweiten Versuches gut übereinstimmen.

Wir wenden uns jetzt der Ermittelung des Kraftumsatzes zu. Zunächst sind wir imstande, aus den oben festgestellten Atmungsverlusten und aus den Verbrennungswärmen der verbrauchten Substanzen die Kalorien zu berechnen, die von 1 g Trockensubstanz pro Tag geliefert wurden. Die Rechnung würde sich folgendermaßen gestalten:

I. Versuch:

4,0924 g Trockensubstanz ergaben 0,6095 g Verlust in 5 Tagen;

1 g Trockensubstanz ergab $\frac{0,6095}{4,0924}$ g Verlust in 5 Tagen;

1 g Trockensubstanz ergab $\frac{0,6095}{4,0924 \cdot 5}$ g Verlust in 1 Tag.

[1]) Vergl. p. 12 der vorliegenden Arbeit.

Das Atmungsmaterial bestand aller Wahrscheinlichkeit nach in der Hauptsache aus Stärke. Die Verbrennungswärme der Stärke beträgt rund 4100 Kal.[1]) Die Verbrennungswärme des pro 1 g Trockensubstanz und pro Tag berechneten Substanzverlustes beträgt also:

$$\frac{0{,}6095 \cdot 4100}{4{,}0924 \cdot 5} \text{ Kal.} = \mathbf{122{,}1} \text{ Kal.}$$

II. Versuch:

3,8015 g Trockensubstanz ergaben 0,9473 g Verlust in 9 Tagen;

1 g Trockensubstanz ergab $\frac{0{,}9473}{3{,}8015}$ g Verlust in 9 Tagen;

1 g Trockensubstanz ergab $\frac{0{,}9473}{3{,}8015 \cdot 9}$ g Verlust in 1 Tag.

Veratmet wurde in diesem Falle wahrscheinlich ein Gemisch, bestehend aus ca 60 Teilen Stärke und 40 Teilen Fett.[2]) Die Verbrennungswärme dieses Gemisches setzt sich folgendermaßen zusammen:

Stärke:	1 g	4100 Kal.;	0,6 g	2460 Kal.
Fett:	1 g	9400 „ [3])	0,4 g	3760 „

Verbrennungswärme der Gemisches: 6220 Kal.

Danach erhalten wir als Verbrennungswärme des pro 1 g Trockensubstanz und pro 1 Tag berechneten Atmungsverlustes folgenden Wert:

$$\frac{0{,}9473 \cdot 6220}{3{,}8015 \cdot 9} \text{ Kal.} = \mathbf{172{,}2} \text{ Kal.}$$

Diese so gewonnenen Werte geben an, wieviel Energieeinheiten tatsächlich im Atmungsprozesse entbunden wurden. Die verhältnismäßig hohen Zahlenwerte erklären sich wenigstens zum Teil aus der hohen Temperatur der Umgebung (20°—25°), durch die ohne Zweifel eine sehr energische Atmung in die Wege geleitet wurde. Es muß aber noch als sehr fraglich gelten, wieviel von dieser berechneten Energiemenge tatsächlich in die Erscheinung getreten ist. Wir können uns sehr wohl vorstellen, daß ein Bruchteil der freiwerdenden Energie gleich wieder als chemische Energie beim Aufbau neuer Verbindungen, so namentlich der hochmolekularen Eiweißstoffe, Verwendung findet. Dadurch würde der zurückbleibenden Substanzmenge eine Anreicherung an Energie zuteil. Unsere Erfahrung, die uns lehrt, daß der Atmungsprozeß für die Erhaltung des Lebens von absolut grundlegender Bedeutung ist, würde also gegen eine derartige Auffassung

[1]) Vergl. p. 19 der vorliegenden Arbeit. — Der von Rodewald angegebene Wert (4479 Kal.) ist wahrscheinlich zu hoch gegriffen.

[2]) Vergl. p. 24 der vorliegenden Arbeit.

[3]) Vergl, p. 18-19 der vorliegenden Arbeit. — Rodewald nimmt als Verbrennungswärme des Fettes nach C. v. Rechenberg (Journ. f. prakt. Chem. Bd. 22. 1880.) 9886 Kal. an. Auch dieser Wert ist unzweifelhaft zu beträchtlich.

von der Bedeutung des Atmungsprozesses nichts einzuwenden haben. Trotzdem dürfen wir der oben geschilderten Auffassung natürlich erst dann Bedeutung beimessen, wenn sie auf experimentellem Wege irgend eine Bestätigung erfahren hat. Wollen wir also einen wirklichen Einblick in den Energiehaushalt gewinnen, so ist uns mit der Berechnung der transformierten Energiemengen noch wenig geholfen. Wir hätten zunächst die Frage aufzuwerfen: Wieviele von den in Freiheit gesetzten Energieeinheiten sind zur Wärmeproduktion und zur Leistung mechanischer Arbeit (namentlich Transpiration) ausgenutzt worden? Zur Entscheidung dieser Frage schlägt Rodewald folgenden Weg ein. Die in Wärmebewegung transformierten und zu mechanischen Leistungen verwendeten Energieeinheiten sind tatsächlich in Verlust gegangen. Energieeinheiten aber, die sich beim Zustandekommen neuer chemischer Verbindungen betätigten, müssen als solche in der zurückbleibenden Substanz gebunden werden. Wenn es also gelingt, die Verbrennungswärme der zu Anfang der Keimung vorhandenen Trockensubstanz zu bestimmen und ebenso die Verbrennungswärme der am Schlusse der Keimung gebildeten Substanz der jungen Pflänzchen, so muß die Differenz zwischen diesen beiden Verbrennungswärmen angeben, wieviele Kal. tatsächlich verloren gegangen sind. Wohlgemerkt, die Größe der im Atmungsprozesse vor sich gegangenen Energieumsetzungen kann hierbei nicht zu Tage kommen, wenn nicht vorausgesetzt wird, daß die gesamte Energie der physiologischen Oxydation der Wärmeproduktion oder unter Umständen auch der Leistung mechanischer Arbeit dienen soll.

Die experimentelle Prüfung der eben angedeuteten Fragen hat mit sehr großen Schwierigkeiten zu kämpfen. In wirklich zuverlässiger Weise wurde sie zum ersten Male von Rodewald durchgeführt. Das Verfahren war kurz folgendes: Die gemahlene Substanz der Samen und später der Keimlinge wird mit der $7\,^1/_2$-fachen Menge Kaliumchlorat[1]) unter Zusatz von Wasser aufs innigste zu einem Teige verknetet, aus dem dann die zylinderförmigen Verbrennungssätze hergestellt werden. Nachdem diese Verbrennungssätze sorgfältig getrocknet und genau gewogen sind, werden sie an ihrem unteren Ende mit einem Zündsatze[2]) versehen und in ein zu diesem Zwecke besonders konstruiertes Verbrennungsgefäß[3]) gebracht. Den ganzen Apparat setzt man in ein Bunsen'sches Eiskalorimeter, das mit einer umfangreichen Konservierungsvorrichtung versehen ist, entzündet den Verbrennungssatz mit Hilfe eines Induktoriums und berechnet die entbun-

---

[1]) Ein ähnliches Verfahren wurde bereits von Frankland und später von Stohmann (Journ. f. prakt. Chem. N. F. Bd. 19. 1879.) in Anwendung gebracht.

[2]) Die Masse des Zündsatzes wurde gemischt aus 4 g Schwefelantimon, 4 g Kaliumchlorat und 0,2 g Zucker (als Klebstoff). — Vergl. Rodewald, H., l. c. 1883. p. 416.

[3]) Dieses Verbrennungsgefäß ist — ebenso wie das benutzte Kalorimeter — in der zitierten Arbeit eingehend beschrieben und auf einer besonderen Tafel abgebildet.

dene Wärmemenge aus dem Gewichte des Quecksilberschälchens. Natürlich sind dann noch die nötigen Korrektionen anzubringen, da mit der Pflanzensubstanz ja auch noch Kaliumchlorat und Zündsatz verbrannt worden sind. Das Ergebnis war folgendes:

I. Versuch:

Samen:	4,0924 g	Trockensubstanz mit	20118 Kal.
Keimlinge:	3,4865 g	„ „	18555 Kal.
Veratmet:	0,6095 g	Trockensubstanz mit	1563 Kal.

Auf 1 g der ursprünglichen Trockensubstanz kommen also in 5 Keimtagen $\frac{1563}{4,0924}$ Kal.

Auf 1 g der ursprünglichen Trockensubstanz kommen also in 1 Keimtage $\frac{1563}{4,0924 \cdot 5}$ Kal. = **76,3** Kal.

II. Versuch:

Samen:	3,8015 g	Trockensubstanz mit	18688 Kal.
Keimlinge:	2,8542 g	„ „	13032 Kal.
Veratmet:	0,9473 g	Trockensubstanz mit	5656 Kal.

Auf 1 g der ursprünglichen Trockensubstanz kommen also in 9 Keimtagen $\frac{5656}{3,8015}$ Kal.

Auf 1 g der ursprünglichen Trockensubstanz kommen also in 1 Keimtage $\frac{5656}{3,8015 \cdot 9}$ Kal. = **165,3** Kal.

Vergleichen wir diese Werte mit den vorher aus dem Substanzverlust berechneten[1]) (122,1 u. 172,2 Kal.), so sehen wir sofort, daß jene erheblich höher ausfallen. Demnach wird tatsächlich eine geringere Energiemenge in Freiheit gesetzt, als dem Substanzverluste entspricht. Es hat also eine Energiezunahme der Restsubstanz stattgefunden. Da es sehr wenig glaubhaft erscheint, daß während der Keimung von außen eine Energiezufuhr stattgefunden haben kann,[2]) so bleibt uns nur die Annahme, daß es sich um remanente Energie der physiologischen Oxydation handelt. Beim ersten Versuche würden nur 62,5 % der berechneten Energie wirklich abgegeben worden sein, bei dem zweiten dagegen 96,0 %. Es entsteht somit die Frage, welcher Art die Energie bindenden Stoffumsetzungen waren. Daß solche stattgefunden haben müssen, ist selbstverständlich, da sich der energetische Wert eines ruhenden Systems nicht ändern kann. Zunächst richten wir unser Augenmerk auf die Umwandlungsprodukte der Stärke. Stärke hat neben Cellulose die höchste Verbrennungswärme (nämlich Stärke 4116 Kal., Cellulose 4146 Kal.),[3])

---

[1]) Vergl. p. 25 der vorliegenden Arbeit.

[2]) Die Keimung ging im Dunkeln vor sich. Eine wirkliche Aneignung einer von außen zugeführten Energiemenge findet wohl nur im Assimilationsprozesse statt.

[3]) Vergl. Landw. Jahrb. Bd. 13. 1884. p. 580.

so daß durch die Entstehung eines neuen Kohlenhydrates aus Stärke keine Energie gebunden werden kann. Verbindungen mit höherem Kohlenstoffgehalt — wie Essigsäure, Propionsäure, Alkohol — können auf keinen Fall durch Oxydation aus Amylum hervorgegangen sein. Zahlreiche organische Säuren — wie Ameisensäure, Oxalsäure, Äpfelsäure, Zitronensäure — weisen einen geringeren Kohlenstoffgehalt als die Stärke auf, sie können also sehr wohl durch die Oxydation dieses Stoffes entstehen. Da aber der Energieinhalt aller derartigen Verbindungen geringer ist als derjenige der Stärke, so müßte bei ihrer Bildung gerade umgekehrt Energie abgegeben werden. Es bleibt uns demnach nur die Annahme übrig, daß die Eiweißstoffe eine Speicherung von Atmungsenergie herbeigeführt haben, indem vielleicht ihre Zersetzungsprodukte einen größeren Energieinhalt aufweisen als die unzersetzten Eiweißstoffe, aus denen sie hervorgegangen sind. Danach würde also die schon oft geäußerte Vermutung an Glaubwürdigkeit gewinnen, daß nämlich die Eiweißstoffe in die Destruktion des Atmungsprozesses mit hineingezogen werden.[1])

Leider reicht die Zahl der Untersuchungen noch nicht aus, um über die vielen wichtigen Fragen, die wir hier nur flüchtig streifen konnten, etwas Genaueres auszusagen. Ja, nicht einmal für die oben angeführten Werte kann eine völlige Zuverlässigkeit in Anspruch genommen werden, da es bisher an genauen experimentellen Nachprüfungen an einer größeren Zahl von Objekten fehlt. Nur Wilsing[2]) hat auf Stohmanns Veranlassung die Rodewald'schen Versuche wiederholt. Er bediente sich dabei aber einer anderen Methode zur Bestimmung der Verbrennungswärmen[3]) und benutzte auch für die Berechnung andere Werte. Seine Resultate weichen von denen Rodewalds erheblich ab. Er fand nämlich, daß sich für 100 berechnete Kalorien aus der Bestimmung der Verbrennungswärmen 111, 104, 117 und 112 Kalorien ergaben.[4]) Dieses auffällige Resultat versucht Wilsing durch die Annahme zu erklären, daß während der Keimung eine Asparaginbildung stattfindet, die mit einer positiven Wärmetönung verknüpft ist. Ob diese Deutung den Tatsachen entspricht, oder ob die positive Differenz durch anderweitige Ursachen bedingt ist, oder ob die Unstimmigkeiten nur durch die Verschiedenheit der Methoden und ihrer nicht genügend berücksichtigten Fehlerquellen hervorgerufen sind, darüber läßt sich vorläufig nichts Bestimmtes aussagen. In Betracht zu ziehen ist auf jeden Fall, daß die Kompliziertheit des Untersuchungsverfahrens sehr leicht zu beträcht-

---

[1]) Vergl. Leick, E., Über Wärmeproduktion und Temperaturzustand lebender Pflanzen. (Biolog. Centralbl. Bd. 36. 1916. p. 245—247.)

[2]) Wilsing, Journ. f. Landw. Bd. 32. 1884. — Wilsing, Jahrb. d. Agrikulturchem. 1884. p. 118. — Angegeb. b. Pfeffer, W., Handb. d. Pflanzenphys. 2. Aufl. Bd. 2. 1904. p. 836.

[3]) Stohmann'sche Methode: Vergl. Journ. f. prakt. Chem. N. F. Bd. 19. 1879. — Stohmann, Kalorimetrische Untersuchungen. (Landw. Jahrb. Bd. 13. 1884. p. 513—581).

[4]) Zitiert nach Rodewald, H., Pringsh. Jahrb. f. wissensch. Bot. Bd. 19. 1888. p. 293.

lichen Fehlern Veranlassung geben kann. Die Resultate der Rodewald'schen Arbeiten würden mit unserer bisherigen Auffassung des Atmungsprozesses durchaus harmonieren, doch dürfen wir darin naturgemäß keine Bürgschaft für ihre Richtigkeit suchen.

Schließlich haben wir uns noch mit den Untersuchungen Gaston Bonniers (1880, 1886, 1892, 1893),[1]) von denen schon wiederholentlich die Rede war,[2]) zu beschäftigen. Daß die Ergebnisse seiner ersten Arbeit nicht zutreffend sind, haben wir bereits früher ausführlich dargetan. Aber auch die späteren Untersuchungen Bonniers[3]) sind keineswegs einwandsfrei. Es handelt sich hier um direkte kalorimetrische Messungen der durch den Lebensprozeß entbundenen Wärmeeinheiten. Diese Messungen wurden mit Hilfe des Berthelot'schen Wasser-Kalorimeters[4]) und des Regnault'schen Thermokalorimeters (stationäres Kalorimeter) ausgeführt. Die so ermittelten Wärmequantitäten wurden in Parallele gestellt mit den aus dem Sauerstoffkonsum und der Kohlensäureabgabe berechneten. Setzen wir auch voraus, daß alle Werte wirklich einwandsfrei festgestellt seien, so könnte sich doch auf keinen Fall eine Übereinstimmung ergeben, da die Größe des Energieumsatzes, der an die verschiedenartigsten stofflichen Veränderungen geknüpft ist, nicht ohne weiteres aus dem Gaswechsel zu ersehen ist.[5]) So muß z. B. bei ölhaltigen Samen die aus der Kohlensäureabgabe berechnete Energieentbindung viel zu klein ausfallen. Schon aus diesem Grunde ist den Ergebnissen Bonniers keine allzu große Bedeutung beizumessen. Die von Bonnier aufgestellte Behauptung, daß die reale Wärmeproduktion namentlich während der Keimungsperiode erheblicher ausfiele, als der tatsächlichen Energieentbindung entspräche, ließe sich wenigstens unter Umständen durch Quellungswärme, Spaltungsvorgänge usw. erklären. Ob aber in allen Fällen diese Faktoren hinreichend ansehnliche Wärmemengen produzieren, um das Bonnier'sche Resultat zu rechtfertigen, muß sehr zweifelhaft erscheinen.[6]) Weitere Erörterungen hierüber sind zwecklos, da die von dem französischen

---

[1]) Bonnier, G., Sur la quantité de chaleur dégagée par les végétaux pendant la germination. (Bull. de la soc. botan. de France. T. 27. 1880. p. 141). — Bonnier, G., Sur les quantités de chaleur dégagées et absorbées par les végétaux. (Compt. rend. de l'Acad. d. scienc. 1886. 22 fév.) — Bonnier, G., Note sur la comparaison entre la chaleur dégagée par les végétaux et la respiration. (Compt. rend. de la soc. de biol. 1892. 6 fév.) — Bonnier, G., Recherches sur la chaleur végétale. (Ann. d. sc. nat. Sér. 7. Bot. T. 18. 1893. p. 1—34).

[2]) Vergl. p. 2—3, 12, 14 der vorliegenden Arbeit.

[3]) Besonders: l. c. 1893.

[4]) Berthelot, Essai de mécanique chimique. T. 1. Paris 1879. p. 139.

[5]) W. Pfeffer bemerkt hierüber: „Deshalb läßt sich auch aus der Produktion von Kohlensäure und dem Konsum von Sauerstoff, beziehungsweise aus dem Vergleich beider, das Quantum chemischer Energie nicht bestimmen, das speziell im Atmungsprozeß disponibel wurde." — Pfeffer, W., Handb. d. Pflanzenphys. 2. Aufl. Bd. 2. 1904. p. 832.

[6]) Daß durch solche Zertrümmerungen erhebliche Temperatursteigerungen zustande kommen können, muß allerdings zugegeben werden, doch sind sie bislang nur bei Anaërobionten beobachtet worden. — Vergl. Pfeffer, W., Handb. d. Pflanzenphys. 2. Aufl. Bd. 2. p. 844—847.

Forscher angewendete Arbeitsmethode in keiner Weise physiologisch zulässig ist. Die zur Untersuchung bestimmten Keimlinge wurden nämlich direkt in das Wasser des Kalorimeters geworfen, so daß sie von vornherein unter völlig anormalen Verhältnissen standen.[1]) Aber auch die Bestimmungen, bei denen sich die Keimlinge in einem abgeschlossenen Behälter befanden, müssen als unzulässig bezeichnet werden, da das zur Verfügung stehende Luftvolumen viel zu klein war. Schließlich kann man sich auch nicht einverstanden erklären mit der Art und Weise, in der die Bestimmung des Gaswechsels stattfand, da bei der limitierten Luftmenge sehr bald eine Anhäufung von Kohlendioxyd eintritt, wodurch dann der weitere Verlauf der Atmung beeinträchtigt werden muß. Das mag genügen, um die Unzuverlässigkeit der Bonnier'schen Resultate zu charakterisieren und die Unmöglichkeit darzutun, sie zum Ausgangspunkte weitreichender Spekulationen zu machen.

Nachtrag.

Als sich die vorliegende Arbeit bereits im Drucke befand, gelangte ein Separat von Lucie C. Doyes in meine Hand, das sehr wertvolle Untersuchungen über die „Energie-Umsetzungen während der Keimung von Weizenkörnern" (Extrait du Recueil des Travaux botaniques Néerlandais. Vol. XII. Livr. 4. 1915. p. 369—423; mit 2 Taf.) enthält. Besondere Bedeutung gewinnt die zitierte Arbeit dadurch, daß nicht nur der Energieverlust während der Keimung mit Hilfe der Verbrennungswärme ermittelt wurde, sondern auch gleichzeitig die Feststellung der als Wärme entbundenen Energiequantitäten stattfand. Leider muß ich es mir versagen, an dieser Stelle näher auf die Untersuchungsmethode sowie auf die gewonnenen Resultate einzugehen.

Bei der Durchsicht der einschlägigen Literatur sind von mir zwei beachtenswerte Arbeiten übersehen worden. Ich will es wenigstens nicht unterlassen, die Titel hier noch anzufügen:

1. G. J. Peirce: A new respiration calorimeter. Botanical Gazette. Vol. 46. 1908.
2. G. J. Peirce: The liberation of heat in respiration. Botanical Gazette. Vol. 53. 1912.

---

[1]) Es ist auch sehr wohl denkbar, daß die gekeimten Samen, die sich vorher nur in feuchter Luft befanden, bei der Berührung mit dem Wasser noch eine weitere Quellung erfuhren.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Botanisches Centralblatt

Jahr/Year: 1917

Band/Volume: BH_33_1

Autor(en)/Author(s): Leick Erich

Artikel/Article: Über Wärmeproduktion bei keimenden Samen 309-338