

Ueber das thermische Verhalten der Vegetationsorgane.

Von

Erich Leick, Greifswald.

Die ausdauernden Gewächse der gemässigten und kalten Zonen sind imstande, vorübergehend erhebliche Minustemperaturen zu ertragen. Diese Tatsache rief im Jahre 1775¹⁾ die Vermutung wach, die Pflanzen könnten befähigt sein, durch aktive Wärmeproduktion den Temperaturzustand ihrer Gewebe selbsttätig zu regulieren. Die in diesem Sinne unternommenen Messungen führten zu einer scheinbaren Bestätigung der theoretischen Spekulation. Baumstämme und Zweige zeigten tatsächlich während der kalten Jahreszeit in ihrem Innern höhere Temperaturen als die umgebende

1) John Hunter: Experiments of animals and vegetables, with respect to the power of producing heat. Philosophical Transactions: Bd. 65. Teil I. 1775 p. 446—458. — Uebersetzung ins Franz.: Observ. sur la Physique etc. p. Rozier: Bd. 9. 1777. p. 294 ff. — Uebersetzung ins Deutsche: Leipziger Samml. zur Phys. u. Naturgesch.: Bd. 1. 1779. p. 420—436. — John Hunter: Of the heat of animals and vegetables. Philosophical Transactions: Bd. 68. Teil I. 1778. p. 7—49. — Uebersetzung ins Franz.: Observ. sur la Physique etc. p. Rozier: Bd. 17. 1781. p. 12—23 u. 116—128. Es handelt sich in diesen Arbeiten um Untersuchungen an Pinus, Phaseolus, Tulipa (Zwiebel) und Juglans. Ferner wird auf Grund der Beobachtungen von Blagden behauptet, dass lebende Zweige im Gegensatz zu abgestorbenen, feuchten Zweigen im Winter nicht gefrieren. Vgl. die Angabe Göpperts: H. R. Göppert: Ueber die Wärmeentwicklung in den Pflanzen, deren Gefrieren und die Schutzmittel gegen dasselbe. Breslau 1830. p. 147.

Atmosphäre.¹⁾ Diese physikalisch ohne weiteres verständliche Tatsache wurde in unkritischer und vorschneller Weise physiologisch gedeutet. Das hatte naturgemäss schwere Irrtümer zur Folge. Erst in neuerer Zeit gelangte man zu der Erkenntnis, dass den physikalischen Verhältnissen in weitgehendstem Masse Rechnung zu tragen ist.²⁾ Ausserdem kann eine Wärmeproduktion immer nur in solchen Geweben vor sich gehen, die aus lebenden, aktiv tätigen Zellen aufgebaut sind. Damit scheidet also der verholzte Stamm als physiologisch zulässiges Untersuchungsobjekt ein für alle Mal aus.

Zu den Grundeigenschaften des Protoplasten gehört es, ununterbrochen Energietransformationen in seinem Innern zu vollziehen, als deren Endresultat sich stets die für die Aufrechterhaltung der physiologischen Leistung notwendige Energiequantität ergibt. Die auf die Schaffung disponibler Energie gerichteten Prozesse fassen wir in ihrer Gesamtheit unter dem physiologischen Begriff der Atmung zusammen.³⁾ Soweit unsere Erfahrungen reichen, handelt

1) Die Literatur über diesen Gegenstand ist kurz zusammengestellt in: E. Leick: Untersuchungen über die Blütenwärme der Araceen. Greifswald 1910. p. 6.

2) Vgl. z. B. Th. Hartig: Ueber die Temperatur der Baumluft. *Allgem. Forst- u. Jagdzeitung*. Jan.-Heft. 1873 (Just: Bot. Jahresber. 1. Jahrg. 1873. p. 508—509). — Th. Hartig: Ueber die Temperatur der Baumluft im Vergleich zur Bodenwärme und zur Wärme der den Baum umgebenden Luftschichten. *Allgem. Forst- u. Jagdzeitung* 1874. p. 145—152 (Just: Bot. Jahresber. 2. Jahrg. 1874. p. 760). — Hartig: *Forstl. naturwissensch. Zeitschr.* 1892. Heft 3, 10 u. 12 (angegeben bei Pfeffer: *Handbuch der Pflanzenphysiologie*. 2. Aufl. Bd. 2. Leipzig 1897—1904. p. 849). — Egon Ihne: Ueber Baumtemperatur unter dem Einfluss der Insolation. *Allgem. Forst- u. Jagdzeitung (Supplem.)* Bd. 12. 1883. Heft 4 (Juli) (Ref.: Bot. Centralbl. Bd. 15. 1883. p. 231). — Hermann Müller-Thurgau: Ueber das Gefrieren und Erfrieren der Pflanzen. 2. Teil. *Landwirtsch. Jahrbücher*. Bd. 15. 1886. p. 453—609. (Der 1. Teil der Arbeit befindet sich in: *Landwirtsch. Jahrbücher*. Bd. 9. 1880. p. 134—189.) — M. Büsgen: *Bau und Leben der Waldbäume*. 1897.

3) Wir sehen hier davon ab, dass in der Zelle auch auf anderem Wege (z. B. durch Osmose, durch molekulare Umlagerungen u. s. w.) gelegentlich Energiepotentiale geschaffen werden können.

es sich dabei stets um Oxydationsvorgänge, die sich teils mit, teils ohne Zuhilfenahme des atmosphärischen Gasgemenges (anaërobe Atmung, Spaltungsatmung, intramolekulare Atmung) vollziehen. In den weitaus meisten Fällen verläuft die Atmung aërob. Aërobe sowie anaërobe Atmung scheinen nun stets mit einer positiven Wärmetönung verknüpft zu sein.¹⁾ Das gilt in gleichem Masse für Tiere und Pflanzen. Die entbundenen Wärmequantitäten können bei den höheren Tieren (den Homiothermen) durch Ausbildung komplizierter Regulierungseinrichtungen gestaut werden, so dass sie dadurch zu einem unentbehrlichen Lebensfaktor werden.²⁾ Auch im Pflanzenreiche kennen wir Vorgänge, die mit einer so erheblichen Wärmeproduktion verknüpft sind, dass wir nicht umhin können, die gesteigerte Wärmeentbindung als Selbstzweck zu betrachten. Das gilt in erster Linie von den Blütenständen der Araceen.³⁾

1) Julius Wiesner: Anatomie und Physiologie der Pflanzen. 5. Aufl. Wien 1906. p. 328: „Was zunächst die chemischen Vorgänge anbelangt, welche zu einem Wärmegewinn der Pflanze führen, so sind hier vorerst die Oxydationsvorgänge hervorzuheben.“ — August Pütter: Vergleichende Physiologie. Jena 1911. p. 494: „Wärme entsteht bei allen Energieumwandlungen innerhalb der lebendigen Substanz als Nebenprodukt, aber während Elektrizität und Licht nur in äusserst geringen Mengen als Nebenprodukte irgendwelcher stofflichen Umwandlungen auftreten, nimmt die Wärme einen sehr bedeutenden Anteil an den gesamten Umwandlungen.“ — Bereits Jean Senebier (Physiologie végétale. Bd. 3. Genève 1800) erkannte den Atmungsprozess als die wahre Ursache des Wärmephänomens. Experimentelle Beweise erbrachten zuerst Hubert (Bory de St. Vincent: Voyage dans les quatre principales îles des mers d’Afrique. Bd. 2. Paris 1804. — Deutsche Uebersetzung von D. Bidermann. Weimar 1805. p. 41—53) und Théodore de Saussure (De l’action des fleurs sur l’air, et de leur chaleur propre. Ann. de chim. et de phys. par Gay-Lussac et Arago. Bd. 21. (3). 1822. p. 279—303). — Vergl. auch: E. Leick: l. c. p. 7.

2) „Die ausgiebigste Verwertung hat die Wärmeproduktion im Haushalte der Säugetiere und Vögel gewonnen, in dem sie zu einer notwendigen Bedingung geworden ist, die die hohe Eigentemperatur dieser Formen erhält.“ August Pütter: l. c. p. 495.

3) Vergl. über diesen Gegenstand: E. Leick: Untersuchungen über die Blütenwärme der Araceen. Greifswald 1910. Hier finden

Lassen wir aber diese Spezialerscheinung bei Seite, so können wir uns — dem derzeitigen Stande unserer Erkenntnis entsprechend — nur den Worten von Ludwig Jost anschliessen: „Die Wärme kann nur Nebenprodukt sein — ja sie muss geradezu als ein Verlust an verwendbarer Energie bezeichnet werden.“¹⁾

Also: wo lebende Zellen sind, da muss auch im Atmungsprozess eine Wärmeerzeugung stattfinden. Keineswegs ist es aber notwendig, dass diese Wärmeerzeugung (der „Wärmegewinn“) auch zu einer messbaren Eigenwärme, d. h. zu einer Erhöhung der Temperatur über die der Umgebung führt.²⁾ Die Beobachtung lehrt uns vielmehr, dass der Temperaturzustand des Pflanzenkörpers demjenigen der poikilothermen Tiere gleichzusetzen ist. Die entbundenen Wärmemengen kommen nicht zur Anhäufung, sondern verfallen unmittelbar nach ihrer Entstehung der Vernichtung durch Leitung, Strahlung und Transpiration.³⁾ Namentlich der letztgenannte Vorgang, der im Pflanzenreiche von so fundamentaler Bedeutung ist, und der in der Regel durch den Wasserreichtum der

sich auch genaue Literaturangaben. — E. Leick: Die Temperatursteigerung der Araceen als blütenbiologische Anpassung. In der Festschrift des Greifswalder Gymnasiums. 1911. p. 121—139.

1) Ludwig Jost: Vorlesungen über Pflanzenphys. 2. A. Jena 1908. p. 291. — W. Pfeffer: Handbuch der Pflanzenphysiologie. 2. A. Bd. 2. 1904. p. 831. „Die Wärmeproduktion ist also bei den Pflanzen nicht Selbstzweck, sondern nur eine Begleiterscheinung der Zertrümmungen im Betriebsstoffwechsel, die derart sind und auch wohl derart sein müssen, dass bei ihrer Realisierung chemische Energie in Wärme transformiert wird.“ — Vergl. ferner: W. Pfeffer: Studien zur Energetik der Pflanzen. Bd. 18 der Verhandl. d. math.-naturw. Kl. d. Kgl. Sächs. Ges. d. Wiss. Leipzig 1893. p. 151—276.

2) A. Pütter: Vergleichende Physiologie. Jena 1911. p. 494. „Bei der Mehrzahl der Organismen ist die Produktion von Wärme eine funktionell bedeutungslose Erscheinung, die im allgemeinen nur durch besondere Methoden nachweisbar ist, da meist die rasche Wärmeabgabe an das Medium eine wirkliche Erwärmung der Tiere oder Pflanzen über die Temperatur ihrer Umgebung verhindert.“

3) Auch noch andere Wärme absorbierende Prozesse können in Betracht kommen (z. B. Reduktionsvorgänge, chemische Spaltungen, Umwandlungen fester und flüssiger Körper in gasförmige).

Gewebe und durch die flächenhafte Ausbreitung des Pflanzenkörpers begünstigt wird, ist mehr als alles andere für den thermischen Zustand massgebend.¹⁾ In der Mehrzahl der Fälle wird die Transpiration sogar eine Herabminderung der Gewebetemperatur unter die der Umgebung mit sich bringen. Trotz alledem muss bei geeigneter Versuchsanordnung (z. B. Göppertsche Zusammenhäufungsmethode) und bei genügender Feinheit unserer Messinstrumente die Wirkung der positiven Wärmetönung nachweisbar sein.²⁾ Allerdings muss auch an dieser Stelle betont werden, dass wir hier eine äusserst scharfe Grenze ziehen müssen zwischen Qualitäts- und Quantitätsmessungen.³⁾ Der numerische Wert der aus den Energietransformationen resultierenden Wärmeeinheiten kann nur auf kalorimetrischem Wege ermittelt werden. Da nun aber die experimentellen Schwierigkeiten eine derartige Untersuchungsmethode meist zur Unmöglichkeit machen⁴⁾, han-

1) Julius Wiesner: Anatomie u. Physiologie der Pflanzen. 5. A. Wien 1906. p. 329. „Den tiefgreifendsten Einfluss übt in dieser Beziehung die Transpiration auf die Pflanze aus.“

2) Das gleiche gilt für die poikilothermen Tiere. Vergl. L. Krehl u. F. Soetbeer: Untersuchungen über Wärmeökonomie der poikilothermen Wirbeltiere. Archiv für die ges. Physiologie. Bd. 77. 1899. p. 611—638. — Bohr: Centralbl. f. Physiologie. Bd. 17. 1903. p. 526. — Bekannt ist die Erscheinung, dass ein Bienenschwarm im Innern seines Korbes die Temperatur bis auf 30° oder gar 40° zu steigern vermag. Vergl. Max Verworn: Allgemeine Physiologie. 4. A. Jena 1903. p. 274. — A. Pütter: Vergleich. Physiologie. Jena 1911. p. 495.

3) Vergl. E. Leick: Untersuchungen über die Blütenwärme der Araceen. Greifswald 1910. p. 10—15.

4) Einwandfreie Untersuchungen liegen vor von H. Rodewald: Quantitative Untersuchungen über die Wärme- und Kohlensäure-Abgabe atmender Pflanzenteile. Pringsheims Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 18. 1887. p. 263—345. — Untersuchungen über den Stoff- und Kraftumsatz im Atmungsprozess der Pflanze. Pringsheims Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 19. 1888. p. 221—294. — Pringsheims Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 20. 1889. p. 261—291.

Die kalorimetrischen Messungen Gaston Bonniers erregen nach verschiedenen Seiten hin Bedenken: Gaston Bonnier: Bullet. d. l. soc. botan. d. France. Bd. 27. 1880. p. 141. — Ann. d. sc. nat. Bot. (6.) Bd. 18. 1884. p. 293—381. — Compt. rend. d. l'Acad. des sciences.

delt es sich im folgenden ausschliesslich um thermometrische Messungen, d. h. um Qualitätsmessungen im energetischen Sinne. Das thermische Verhalten der Gewebemassen wird festgestellt. Damit gewinnen wir eine komplexe Grösse, die von zahlreichen Faktoren abhängig ist, deren einer auch die nicht zu eruierende Menge der tatsächlich entbundenen Kalorien ist. „Keine Temperaturangabe vermag uns direkt Aufschluss zu geben über den energetischen Wert der Wärmeentbindung. Zu solchen quantitativen Ermittlungen bedürfen wir nicht nur der Feststellung der Temperatur, sondern auch der Feststellung der Substanzmengen und ihrer spezifischen Wärmen. Da sich die beiden letztgenannten Grössen in den allermeisten Fällen, in denen es sich um lebende Gebilde handelt, nicht feststellen lassen, so kann auf diesem Wege im allgemeinen auch kein Einblick in den Energiehaushalt der Organismen gewonnen werden“. ¹⁾

Unter „Vegetationsorganen“ verstehen wir hier alle nicht in einem inaktiven, ruhenden Zustande ²⁾ befindlichen Organe, soweit sie nicht in unmittelbarer Beziehung zu den der Fortpflanzung dienenden Prozessen stehen. Es handelt sich hier demnach um junge Pflanzen, Knospen, grüne Sprosse und Blätter. Da der Temperaturzustand der Gewebe mit in erster Linie durch die Intensität ihrer physiologischen Oxydation bedingt ist, wollen wir dieser zunächst unsere Aufmerksamkeit zuwenden.

1886. — Compt. rend. de la soc. de biologie. 1892. — Ann. d. sc. nat. Bot. (7.) Bd. 18. 1893. p. 1—34.

1) „Auch aus der Menge, der chemischen Beschaffenheit und der Verbrennungswärme des Atmungsmaterials lassen sich, vorausgesetzt, dass die Verbrennung eine vollständige ist oder die Verbrennungswärmen der restierenden Substanzen bekannt sind, die entbundenen Kalorien berechnen. Allerdings kann man derartige Ermittlungen nur dann vornehmen, wenn die vorhandenen Stoffquantitäten nicht durch assimilatorische Tätigkeit — was ja bei Vegetationsorganen unter normalen Verhältnissen der Fall ist — eine fortwährende Veränderung erfahren.“ Vergl. E. Leick: l. c. p. 10—11.

2) Wie z. B. Samen, Früchte, Knollen und Stämme.

Experimentelle Untersuchungen haben gelehrt, dass die Atmungsgrösse in hohem Grade von der Aktivität des Protoplasmas abhängt.¹⁾ Die Pflanzenorgane, mit denen wir es hier zu tun haben, zeigen ein starkes Wachstum und eine gesteigerte Lebenstätigkeit. Wenn sich die Atmungsgrösse nun auch keineswegs immer als Funktion der pro Zeiteinheit ermittelten Zuwachsgrösse darstellt²⁾, so besteht trotzdem eine gewisse Beziehung zwischen Wachstum und Atmung. Je plasmareicher die Zellen sind, die das betreffende Organ zusammensetzen, um so lebhafter wird im allgemeinen die physiologische Oxydation verlaufen.³⁾ Der prozentuale Gehalt an embryonalem Gewebe würde also für die Atmungsgrösse eines Pflanzenteiles wesentlich in Frage kommen. Hierin ist wahrscheinlich der Grund für die experimentell festgestellte Tatsache zu erblicken, dass die Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe⁴⁾ bei jugendlichen Organen fast stets relativ viel

1) „Auch bei gleichen äusseren Bedingungen unterscheidet sich das ruhende Plasma der Knollen, Zwiebeln, Bäume etc. durch eine viel geringere Atmungsintensität von dem tätigen.“ Vergl. Ludwig Jost: Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. 2. A. Jena 1908. p. 223.

2) „Da aber das Wachstum nicht allein von der physiologischen Verbrennung abhängt, so ist an ein bestimmtes Verhältnis zwischen Wachstum und Atmungstätigkeit nicht zu denken.“ Vergl. W. Pfeffer: Handbuch der Pflanzenphysiologie. 2. A. Bd. 1. 1897. p. 525.

Die grössten, bisher bei Pflanzen beobachteten Atmungsintensitäten kommen den Blütenständen der Araceen, d. h. also ausgewachsenen Organen, zu. Vergl. Garreau: Ann. d. sc. nat. Bot. (3.) Bd. 15. 1851. p. 1 ff. — G. Kraus: Abhandl. d. naturf. Ges. zu Halle. Bd. 16. 1883—1886. p. 37—76 u. 261—358. — G. Kraus: Ann. d. Jard. bot. d. Buitenzorg. Bd. 13. 1896. p. 271. — Vergl. auch meine mehrfach zitierte Arbeit.

3) Das behält seine Richtigkeit, auch wenn das Protoplasma je nach den äusseren Verhältnissen und seinen in der Struktur begründeten Dispositionen recht verschiedenartige Atmungszustände aufweisen kann. Aller Wahrscheinlichkeit nach hängt die Atmung von dem Vorhandensein gewisser Enzyme ab. Es wäre von grösster Wichtigkeit zu wissen, ob eine Proportionalität zwischen Atmungsintensität und Enzymmenge besteht, und ferner, ob die Enzymmenge durch die Plasmaquantitäten reguliert wird. Vergl. Ludwig Jost: l. c. p. 223.

4) Zur Bestimmung der Atmungsgrösse kommt meist eine quantitative Ermittlung der Kohlensäureabgabe in Anwendung, die man

erheblicher ist als bei ausgewachsenen.¹⁾ Die Atmungskurve wird dementsprechend mit zunehmender Entwicklung bis zu einem Maximum emporsteigen, um dann in demselben Masse abzufallen, in dem die vitalen Vorgänge nachzulassen beginnen.²⁾

In Uebereinstimmung mit den an anderen Pflanzenorganen gemachten Beobachtungen weisen auch Knospen und junge Blätter unter gleichen Aussenbedingungen stets eine intensivere Oxydation auf als ausgewachsene Spross-
teile und Blätter.³⁾ Leider lassen sich die Angaben der verschiedenen Autoren meist nicht unmittelbar in Vergleich stellen, da sie einmal bei stark voneinander abweichenden

mit Hilfe titrierten Barytwassers in einer Pettenkoferschen Röhre vornimmt. Völlig einwandfrei sind die auf diesem Wege gewonnenen Resultate nicht.

1) Julius Sachs: Handbuch der Experimentalphys. der Pflanzen. Leipzig 1865. p. 279: „Junge, sich entfaltende, noch wachsende Blätter verbrauchen mehr Sauerstoff als fertig entfaltete derselben Pflanzen; ebenso ist die Atmung der Blätter von kurzer Lebensdauer ausgiebiger als die der langlebigen und fleischig massiven.“ — Vergl. Jacob Schmitz: Ueber die Eigenwärme der Pflanzen. Inaug.-Diss. Jena 1870. p. 54.

2) Eine derartige Kulmination weist z. B. die von Rischavi an 40 Weizenkeimpflänzchen festgestellte Atmungskurve auf. Vergl. Rischavi: Landwirtsch. Versuchsst. Bd. 19. 1876. p. 321. Die Abb. findet sich in zahlreichen Lehr- und Handbüchern.

3) Corenwinder wies nach, dass junge Sprosse und Knospen selbst bei starker Belichtung der Atmosphäre Sauerstoff entziehen. Die Atmung übertrifft in ihnen also die Assimilation. Vergl. Jacob Schmitz: l. c. 1870. p. 49.

Der Nachweis, dass die Atmung chlorophyllhaltiger Organe im Lichte neben der photosynthetischen Kohlenstoffassimilation einherläuft, ist nicht leicht zu erbringen, da der Atmungsgaswechsel von dem antagonistischen Assimilationsgaswechsel meist vollkommen verdeckt wird. Die Trennung beider Prozesse kann man durch Einwirkung von Chloroform (Cl. Bernard 1873), Blausäure (Adolf Mayer 1879) oder Aether (Ewart 1896) erzwingen, da die Assimilation durch Narkotika eher eine Hemmung erfährt als die Atmung. Es muss aber als sehr unwahrscheinlich bezeichnet werden, dass es auf diesem Wege gelingt, die Assimilation restlos auszuschalten und trotzdem die Atmung in keiner Weise zu alterieren (das wollen Bonnier und Mangin erreicht haben!). Vergl. hierüber: Ludwig Jost: l. c. p. 223—224.

Aussentemperaturen ermittelt wurden, zum anderen sich bald auf die Sauerstoffaufnahme, bald auf die Kohlensäureabgabe beziehen und zum dritten nicht für ein einheitliches Mass (Aubert: 1 gr Frischgewicht; Garreau: 1 gr Trockengewicht; de Saussure: Volumen des Organs) berechnet sind.¹⁾

Aus der Tatsache, dass bei Knospen und jungen Blättern ein besonders energischer Stoffwechsel vorhanden ist, darf man noch nicht ohne weiteres auf eine erhöhte Wärmeproduktion schliessen. Diese stellt ja — wenigstens soweit sie durch die physiologische Verbrennung hervorgerufen ist — immer nur eine Komponente der gesamten Energietransformation dar. Nur ein Bruchteil der durch die Atmung entbundenen Energie kann als Wärme zu Tage

1) Ich gebe nachstehend einige Daten, die der Jost'schen Zusammenstellung (l. c. p. 221) entnommen sind:

Aubert (Revue gén. d. Bot. Bd. 4. 1892. p. 203): Grüne Sprosse:

Cereus macrogonus:

3,00 mm³ Sauerstoff pro 1 gr Frischgew. in 1 Stunde.

Phyllocactus grandiflorus:

28,70 mm³ Sauerstoff pro 1 gr Frischgew. in 1 Stunde.

Sedum acre:

72,45 mm³ Sauerstoff pro 1 gr Frischgew. in 1 Stunde.

Picea excelsa:

44,10 mm³ Sauerstoff pro 1 gr Frischgew. in 1 Stunde.

Faba vulgaris:

96,60 mm³ Sauerstoff pro 1 gr Frischgew. in 1 Stunde.

Triticum sativum:

291,00 mm³ Sauerstoff pro 1 gr Frischgew. in 1 Stunde.

Garreau (Ann. d. sc. nat. (3.) Bot. Bd. 15. 1851. p. 1): Knospen (die Angaben sind auf 1 mm³ und auf 1 Stunde umgerechnet!):

Syringa:

1458 mm³ Kohlensäure pro 1 gr Trockengew. in 1 Stunde.

Sambucus nigra:

1416 mm³ Kohlensäure pro 1 gr Trockengew. in 1 Stunde.

Ribes nigrum:

2000 mm³ Kohlensäure pro 1 gr Trockengew. in 1 Stunde.

Tilia europaea:

2750 mm³ Kohlensäure pro 1 gr Trockengew. in 1 Stunde.

Wenn sich diese Zahlen auch nicht unmittelbar vergleichen lassen, so geht doch aus ihnen hervor, dass die Atmungsgrösse der Knospen eine sehr beträchtliche ist.

treten. Würde die chemische Energie in allen Fällen restlos in Wärmebewegung verwandelt, so wären ja Atmung und Wärmeproduktion identische Vorgänge, und man müsste imstande sein, die Atmung durch Wärmezufuhr von aussen zu ersetzen.¹⁾ Das widerspricht aber nicht nur unserer Vorstellung vom Energiehaushalte der Organismen, sondern steht auch in einem schroffen Gegensatz zu den Ergebnissen der experimentellen Forschung. Aber auch die tatsächlich erzeugte Wärmemenge braucht durchaus nicht nur zur Erhöhung der Temperatur Verwendung zu finden, sondern kann unmittelbar eine weitere Transformation erfahren. 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 Ueberzeugung kommen, dass je nach den äusseren Verhältnissen und dem Entwicklungszustande eines Organes prozentual verschiedene Mengen der Atmungsenergie als Wärme hervortreten. Hierdurch erklärt es sich vielleicht auch, dass Hans Molisch²⁾ gerade bei der Accumulierung ausgewachsener Blätter sehr erhebliche Temperatursteigerungen hat feststellen können. Ferner ist hier auf die Tatsache zu verweisen, dass Rodewald³⁾

1) „Wenn nun aber der gesamte Inhalt des Atmungsmaterials an chemischer Energie durch die Atmung als Wärme frei gemacht würde, so könnten wir an der früher gegebenen Deutung der Atmung nicht festhalten. Soll die Atmung eine Quelle der Energie zum Unterhalt des Lebensbetriebes liefern, so kann die chemische Energie nicht völlig in Wärme umgesetzt werden; denn sonst müsste man ja, wie schon hervorgehoben wurde, die Atmung durch von aussen zugeführte Wärme ersetzen können, was nicht der Fall ist.“ Ludwig Jost: l. c. p. 291.

2) Hans Molisch: Ueber hochgradige Selbsterwärmung lebender Laubblätter. Bot. Zeitg. Bd. 66. 1908. I. Abt. p. 211—233 (Just: Jahrb. 1908 (Bd. 36) I. p. 686—687). Vergl. auch p. 166 der vorliegenden Arbeit.

3) H. Rodewald: Quantitative Untersuchungen über die Wärme- und Kohlensäureabgabe atmender Pflanzenteile. Pringsheims Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 18. 1887. p. 344. Die Untersuchung an Aepfeln ergab, dass die in Wirklichkeit gemessene Wärmemenge 99,2 % der aus der CO₂-Abgabe berechneten betrug. — H. Rodewald: Untersuchungen

bei Früchten und Stammknollen, Wilsing¹⁾ und Bonnier²⁾ bei keimenden Samen, G. Kraus³⁾ bei Aroideenblütenständen eine Wärmeproduktion fanden, die ungefähr der gesamten Atmungsenergie äquivalent war, während G. Bonnier⁴⁾ bei ausgewachsenen Blättern und Spross teilen eine viel geringere Wärmeabgabe konstatierte, als sich durch Berechnung aus der Atmungsgrösse ergab.⁵⁾

über den Stoff- und Kraftumsatz im Atmungsprozess der Pflanze. Pringsheims Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 19. 1888. p. 292. Bei Kohlrabiknollen fand man durch Messung 90,3 bis 90,7 % der berechneten Wärmemenge. Diese Angaben gelten für den Fall, dass neben Traubenzucker Oxalsäure veratmet wurde. Nehmen wir dagegen eine Oxydation von Traubenzucker und Bernsteinsäure an, so stellen sich die Zahlen auf 94,5 bis 97,3 %.

1) Wilsing: Journ. f. Landwirthsch. Bd. 32. 1884. Er fand bei keimenden Samen 104 bis 117 % der berechneten Wärmemenge. Den Ueberschuss an Wärme versucht Wilsing durch Asparaginbildung zu erklären. — H. Rodewald (l. c. 1888. p. 293) ermittelte bei keimenden Samen einmal 48 %, das andere Mal 95 %. Er gibt zu, dass bei der ersten Angabe ein Versuchsfehler möglich sei. — Vergl. auch H. Rodewald: Ueber die Wechselbeziehungen zwischen Stoffumsatz und Kraftumsatz in keimenden Samen. Journal für Landwirtschaft. Bd. 31. 1883. p. 407—439.

2) G. Bonnier: Recherches sur la chaleur végétale. Ann. d. sc. nat. (7.) Bot. Bd. 18. 1893. p. 1—34.

Ein Vergleich seiner kalorimetrischen Messungen mit den berechneten Kalorien, die auf Grund der eingeatmeten Sauerstoffmenge und der ausgeatmeten Kohlensäuremenge ermittelt wurden, ergab, dass die Samen die doppelte Zahl von Wärmeeinheiten entbinden als der tatsächlichen Sauerstoffatmung entspricht. Es muss also noch dahingestellt bleiben, ob diese Ergebnisse ihre Bestätigung finden.

3) Gregor Kraus: Sitzungsber. d. Naturf. Ges. zu Halle vom 23. Febr. 1884 (vorläufige Mitteilung!). — Gregor Kraus: Ueber die Blütenwärme bei *Arum italicum*. Abhandl. d. Naturforsch. Ges. zu Halle. Bd. 16. 1883—1886. 1. Teil: p. 37—76. 2. Teil: p. 259—358. — Gregor Kraus: Physiologisches aus den Tropen. III. Ueber Blütenwärme bei Cycadeen, Palmen und Araceen. Ann. du jard. bot. de Buitenzorg. Bd. 13. 1896. p. 217—275.

4) G. Bonnier: l. c.

5) Die Resultate Bonniers stehen bis zu einem gewissen Grade im Widerspruch mit den von Hans Molisch gewonnenen. Wir müssen aber in Betracht ziehen, dass — abgesehen von der Unsicherheit der Bonnierschen Zahlen — die grosse Verschiedenheit der Untersuchungs-

An und für sich ist es sehr wohl denkbar, dass die Wachstumsvorgänge mit einer erheblicheren positiven Wärmetönung verknüpft sind als die vitalen Prozesse, die sich in den ausgewachsenen Pflanzenorganen abspielen.¹⁾ Zu einer Entscheidung dieser Frage bedürfte es einer genauen experimentellen Prüfung, die aber, wie wir schon früher sahen, mit sehr grossen Schwierigkeiten zu kämpfen haben würde. Solange wir allerdings nur auf Grund der bei konstanten Aussenbedingungen gemessenen Temperaturen Rückschlüsse auf die tatsächliche Wärmeproduktion zu machen suchen, werden wir auf die Ermittlung der feineren Schwankungen der Wärmeerzeugung völlig verzichten müssen und uns damit begnügen, wenigstens über die Extreme dieser Schwankungen einigermaßen sichere Aufklärung zu erlangen. Bei der Feststellung dieser groben Umrisse mag es dann auch wohl gestattet sein, wenigstens in der Mehrzahl der Fälle ein annäherndes Verhältnis zwischen Temperatursteigerung und erhöhter Atmung ohne weitere Spezifizierung anzunehmen.²⁾

methoden und ihrer Begleitumstände einen Vergleich in keiner Weise zulassen. Es ist ja auch garnicht abzusehen, in wie weit die durch die Zusammenhäufung geschaffenen Anormalitäten die Atmung und die Wärmebildung zu modifizieren vermögen. Auf jeden Fall muss die künstliche Wärmestauung wenigstens anfänglich eine Beschleunigung der physiologischen Verbrennung zur Folge haben.

1) W. Pfeffer: Handbuch der Pflanzenphysiologie. 2. A. Jena 1897—1904. Bd. 2. p. 833 (unten!).

2) Die Berechtigung einer derartigen Annahme ist durch zahlreiche Beobachtungen sehr wahrscheinlich gemacht worden. („Die empirischen Erfahrungen lassen aber keinen Zweifel, dass die Wärmeproduktion zumeist in überwiegender Weise dem Betriebsstoffwechsel — der Sauerstoffatmung oder dem anaëroben Umsatz — zufällt.“ W. Pfeffer: l. c. Bd. 2. p. 830.) Dementsprechend ist es gebräuchlich, von einer Erhöhung der Atmungsintensität auch auf eine erhöhte Wärmeproduktion, und umgekehrt von dieser auf jene zu schliessen. („Durch die Abnahme und Zunahme der Atmungstätigkeit wird zumeist, wenigstens in den Hauptzügen, auch die Veränderung der Wärmeproduktion angezeigt.“ W. Pfeffer: l. c. Bd. 2. p. 830.) Unzulässig ist es aber, auf diesem Wege auch quantitative Werte ermitteln zu wollen. Von manchen älteren Forschern wird sogar Temperatur-

Die Objekte, deren Temperaturzustand wir hier näher studieren wollen, sind ausnahmslos chlorophyllhaltig und weisen daher bei Lichtzutritt Assimilation auf. Kann die Assimilation an sich eine Einwirkung auf den Temperaturzustand ausüben? Die endgültige Beantwortung dieser Frage ist nur dann möglich, wenn wir über den energetischen Charakter des Assimilationsprozesses völlig aufgeklärt sind. Das ist aber bis heute noch keineswegs der Fall. Daraus erklärt es sich, dass die Stellungnahme der Forscher recht verschieden ist. Hier sei zunächst auf einige Autoren hingewiesen, die die Assimilation direkt als einen „kälteerzeugenden“ (also endothermen!) Prozess betrachten. W. Schumacher meint: „Wesentlich bestimmend für die Temperatur des Pflanzengewebes ist die Verdunstung und die Sauerstoffausscheidung.“¹⁾ In gleichem Sinne hatte sich schon vorher J. Sachs geäußert. Er sagt: „Dagegen kommen drei Momente sehr allgemein zur Geltung: die Wärmeleitung, die Strahlung und die durch Sauerstoffabscheidung bewirkte „Wärmebindung“ (Abkühlung).“²⁾ Ähnliche Äußerungen treffen wir auch bei Jacob Schmitz³⁾ und bei Kerner von Marilaun⁴⁾. Die meisten neueren Arbeiten lassen diese Seite des Problems unberührt, eben weil eine sichere Entscheidung nur auf Grund experimenteller Erfahrungen möglich wäre. Es besteht natürlich kein Zweifel, dass dieselbe Energiemenge,

zustand und Wärmeproduktion ohne Berücksichtigung der Aussenbedingungen in den engsten Konnex gebracht, ein Verfahren, dem man mit grösster Vorsicht begegnen muss.

1) W. Schumacher: Die Physik d. Pflanze. Ein Beitrag zur Physiologie, Klimatologie u. Kulturlehre d. Gewächse. Berlin 1867. p. 384.

2) Julius Sachs: Handbuch der Experimentalphysiologie der Pflanzen. 4. Bd. von Hofmeister: Handbuch der physiolog. Botanik. Leipzig 1865. p. 49.

3) Jacob Schmitz: Ueber die Eigenwärme d. Pflanzen. Inaug.-Diss. Jena 1870. p. 30. „Demnach verbraucht die Pflanzenwelt bei ihrer vegetativen Tätigkeit Wärme, die dem eigenen Körper und der Umgebung entzogen wird.“ Siehe auch p. 50 und p. 54.

4) Kerner von Marilaun: Pflanzenleben. Bd. 1. Leipzig und Wien 1891.

die durch Verbrennen der organischen Substanz als Wärme disponibel wird, zur Bildung der betreffenden Substanzen im Assimilationsprozess notwendig war. Wenn nun auch die Assimilation mit Sicherheit als ein endothermer Vorgang erkannt ist, so ist damit noch nichts ausgesagt über die Quellen der notwendigen Energie. Auf Grund zahlreicher Erfahrungstatsachen sind wir zu der unbestreitbaren Erkenntnis gelangt, dass die Kohlenstoffassimilation ihrem Wesen nach eine Photosynthese ist, d. h. ein Prozess, in dem die eingestrahlte Lichtenergie die Hauptrolle spielt. In welcher Weise hierbei aber die notwendigen Energieumsetzungen von statten gehen, darüber lässt sich nicht einmal eine Vermutung aufstellen.¹⁾ Unmöglich wäre es natürlich nicht, dass bei dem Zustandekommen des Assimilationsprozesses Wärmeenergie den umgebenden Medien entzogen würde. Ebenso gut denkbar wäre aber auch der umgekehrte Fall, dass nämlich die Lichtenergie zunächst ganz oder teilweise in Wärmeenergie transformiert würde, und dass ein Bruchteil dieser Wärmeenergie als solche unmittelbar auf die benachbarten Stoffteilchen übertragen würde. In diesem Falle wäre also der Enderfolg der Assimilation nicht eine Abkühlung, sondern im Gegenteil eine Erwärmung. Das Experiment hat uns bisher für keine der beiden Anschauungen einen sicheren Anhalt gegeben.

1) L. Jost: Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. 2. A. Jena 1908. p. 287: „In welcher Weise wird die eingeführte Energie umgestaltet? So gut wie im Organismus chemische Verbindungen auftreten, die nur er zu bilden vermag, so gut könnten auch Energieformen in ihm entstehen, die anderwärts nicht bekannt sind. Einstweilen wissen wir aber von solchen spezifisch organischen Energien nichts. Aber wir kennen die Veränderungen der eingeführten Energie überhaupt nur sehr wenig.“

A. Pütter: Vergleichende Physiologie. Jena 1911. p. 434. „In welcher Weise die strahlende Energie auf die Stoffe übertragen wird, die unter ihrer Einwirkung Verbindungen von höherem Energiegehalt bilden, als ihn das Ausgangsmaterial besass, darüber wissen wir nichts; wir müssen diese erste und fundamentalste Energieumwandlung in lebenden Systemen, die Photosynthese des Zuckers, die eine allgemeine Bedingung für den Bestand des Lebens auf der Erde ist, einfach hinnehmen.“

Immerhin können wir sagen, dass die Annahme eines Wärmeverbrauches durch die Photosynthese nicht nur von unseren Anschauungen über den Charakter dieses Vorganges abweicht, sondern auch in manchen Punkten unseren bisherigen Erfahrungen nicht entspricht.¹⁾ Schwer verständlich wäre es, dass dann manche Pflanzen, wie die Tatsachen lehren, noch bei ausserordentlich niedriger Temperatur die Kohlensäurezersetzung auszuüben vermögen.²⁾ Ferner müsste eine assimilierende Pflanze, die plötzlich ins Dunkle gebracht wird, zunächst eine Temperatursteige-

1) L. Jost äussert sich folgendermassen: „Es ist schon früher ausgeführt worden, dass alle pflanzliche Tätigkeit an bestimmte, engbegrenzte Temperaturen gebunden ist. Damit ist aber durchaus nicht gesagt, dass die Wärme des Aussenmediums eine Energiequelle für die Pflanze darstellt.“ — — — „Was wir eigentlich wissen möchten, wäre, ob die Pflanze eine solche Wärmezufuhr von aussen her nötig hat, und auf diese Frage können wir keine sichere Antwort geben; aller Wahrscheinlichkeit nach braucht sie dieselbe nicht.“ (Im Original nicht gesperrt!) Ludw. Jost: Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. 2. A. Jena 1908. p. 287.

2) Der Nullpunkt der Assimilation ist sehr grossen Schwankungen unterworfen. Während die Algen des Polarmeeres noch bei einer Temperatur wenig über 0° eine sehr lebhaft Sauerstoffproduktion aufweisen, beginnt bei Tropenpflanzen (z. B. *Epidendrum*, *Aspidium violascens*, *Mimosa*) die erste nachweisbare Kohlensäurezersetzung erst bei c. $+5^{\circ}$ (Ewart: Journ. Linn. Soc. Bd. 31. 1896. p. 400). Für unsere mitteleuropäische Flora verlegte Boussingault (*Ann. d. sc. nat.* (5.) Bot. Bd. 10. 1869. p. 336. — *Agronom.* Bd. 5. 1874. p. 16) das zur Assimilation notwendige Temperaturminimum in die Gegend von 0° (*Pinus Laricio*: $+0,5^{\circ}$ bis $+2,5^{\circ}$; Wiesengräser: $+1,5^{\circ}$ bis $+3,5^{\circ}$. — Vergl. auch Heinrich: *Landwirtsch. Versuchsstation.* Bd. 13. 1871. p. 136: *Hottonia palustris*: $+4,5^{\circ}$). Sehr bemerkenswert sind die Resultate, die Jumelle (*Compt. rend.* Bd. 112. 1891. p. 1462) bei seinen Untersuchungen erhielt. So stellte er eine ganz schwache Assimilationstätigkeit bei *Picea excelsa* noch bei einer Temperatur von -35° fest und für *Juniperus* eine solche sogar bei -40° . Kreuzler (*Landwirtsch. Jahrbücher*: Bd. 17. 1888. p. 161. — l. c. Bd. 16. 1887. p. 711) fand für Brombeere, Bohne, *Ricinus* und Kirschlorbeer den Schwellenwert bei c. $-2,4^{\circ}$. Diesen ausserordentlich niedrigen Temperaturen gegenüber schreibt J. Sachs (*Experimentalphysiologie.* 1865. p. 55) der *Vallisneria spiralis* als Minimum $+6,0^{\circ}$ zu, und Cloëz und Gratiolet (*Flora* 1851. p. 750) den *Potamogeton*-arten sogar eine unterste Temperaturgrenze von $+10,0^{\circ}$.

rung zeigen, da jetzt der Wärmeverbrauch durch die Assimilation wegfällt, während die Konzentration des Atmungsmaterials zunächst noch keine nennenswerte Veränderung aufweisen kann. Die Versuche Dutrochets¹⁾ mit verdunkelten Sprossen ergaben keine Temperaturerhöhung, sondern ein allmähliches Ausklingen der Eigenwärme, entsprechend der fortschreitenden Aufzehrung der oxydablen Substanzen. Auch die Tatsache, dass man an assimilierenden Pflanzenteilen unter normalen Verhältnissen²⁾ nur einen minimalen Temperaturüberschuss oder in den meisten Fällen sogar eine Temperaturerniedrigung im Vergleich zur Aussentemperatur beobachtet, kann uns nicht von der abkühlenden Wirkung der Assimilation überzeugen, sondern lässt sich ungezwungen aus den physikalischen Verhältnissen, insonderheit aus der Transpiration erklären. Insofern als der Temperaturzustand von der Wasserverdunstung abhängig ist, liesse sich allerdings innerhalb sehr enger Grenzen eine Abhängigkeit von der Belichtung konstatieren, da die Oeffnung der Stomata bis zu einem gewissen Grade von den Bedürfnissen der Assimilation beeinflusst wird (Lichtreiz!).³⁾

Wir wenden uns nun einer kurzen Betrachtung der morphologischen Verhältnisse und der durch sie bedingten physikalischen Einwirkungen zu. Im Gegensatz zu den massigen Speicher- und Achsenorganen zeigen die Blätter eine sehr starke Oberflächenentwicklung. Dadurch wird den äusseren Temperatureinflüssen zwar Gelegenheit gegeben, sich schnell dem Untersuchungsobjekte mitzuteilen

1) Dutrochet: Recherches sur la chaleur propre des êtres vivans à basse température. Ann. d. sc. nat. (2.) Bot. Bd. 13. 1840. p. 1—49; 65—85. — Vergl. p. 161 der vorliegenden Arbeit.

2) Die hohen Temperaturüberschüsse, die mit Hilfe der Göppertschens Zusammenhäufungsmethode ermittelt wurden (vergl. p. 27 u. p. 42 der vorliegenden Arbeit!), sind einerseits auf die Summierung der Einzelwirkungen, andererseits auf die Begünstigung der Wärmestauung und der mit ihr notwendig verknüpften Oxydationssteigerung zurückzuführen.

3) „Häufig konstatiert man mit dem Einsetzen stärkerer Beleuchtung ein weiteres Oeffnen der Spalten, z. B. bei *Amaryllis*, *Aspiditra*.“ Ludw. Jost: l. c. p. 51.

und so auch ihre Extreme voll zur Geltung zu bringen¹⁾, aber andererseits begünstigt die grosse Oberfläche die Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung.²⁾ Es wird also bei nicht konstanten Aussentemperaturen die Gefahr eines verzögerten Ausgleiches verringert, dafür aber durch die Erleichterung der Wärmeabgabe eine neue Fehlerquelle geschaffen. Sprosssteile zeigen ihrer Form entsprechend Vorteile wie Nachteile etwas weniger ausgeprägt. Knospen sind für Temperaturmessungen insofern besonders geeignete Objekte, als sie auf engem Raume zahlreiche Blattorgane vereinigen. Die früher häufig ausgesprochene Behauptung, die Knospen müssten auch infolge ihrer intensiven Lebenstätigkeit eine ansehnliche Wärmeproduktion aufweisen, ist nicht ohne weiteres anzuerkennen.³⁾ So sollen z. B. die schon erwähnten Untersuchungen von Hans Molisch⁴⁾ lehren, dass auch durch die Zusammenhäufung ausgewachsener Blätter sehr bedeutende Temperaturüberschüsse erzielt werden können.

Ihrer physiologischen Aufgabe gemäss besitzen alle Blätter (und grünen Sprosssteile) eine mehr oder weniger lebhaft Transpiration. Stomatär wie kutikulär findet ununterbrochen eine Abgabe von Wasserdampf statt. Die Transpirationsgrösse ist in erster Linie von der Flächenausdehnung des Blattes, der Beschaffenheit seiner Kutikula⁵⁾ und der Anzahl und Anordnung der Spaltöffnungen⁶⁾

1) Vergl. W. Pfeffer: Handbuch der Pflanzenphysiologie. 2. A. Bd. 2. 1904. p. 850.

2) Vergl. E. Leick: Untersuchungen über die Blütenwärme der Araceen. Greifswald 1910. p. 12—13.

3) Vergl. p. 135 der vorliegenden Arbeit.

4) Hans Molisch: Ueber hochgradige Erwärmung lebender Laubblätter. Bot. Ztg. Bd. 66. 1908. I. Abt. p. 211—233. Es muss allerdings dahingestellt bleiben, wie weit die Lebenstätigkeit der Blätter noch als normal zu bezeichnen war. Siehe auch p. 43 der vorliegenden Arbeit.

5) Ein Apfel, der seiner Kutikula beraubt wurde, zeigte pro Stunde und pro cm² Oberfläche eine 55 mal so grosse Wasserabgabe als ein unverletzter. Vergl. Boussingault: Agronomie. Bd. 6. 1878. p. 349.

6) Die Unterseite (gelegentlich auch die Oberseite) der Laubblätter zeigt pro mm² eine sehr wechselnde Anzahl von Stomata. Die

abhängig. Es existieren also alle Uebergänge von einer minimalen Transpiration bis zu einer sehr ausgiebigen. Ja, es ist sogar denkbar, dass die Wasserabgabe eines Blattes beinahe denselben Betrag erreicht als die einer gleich grossen, offenen Wasserfläche.¹⁾ Die Transpiration kann namentlich an sonnigen Standorten und an heissen Tagen bei genügender Bodenfeuchtigkeit eine sehr beträchtliche Höhe erreichen. Einige Daten mögen den Beweis liefern:²⁾

- 1) Eine Pflanze von *Zea Mays* transpiriert durchschnittlich pro 24 St. $81 \text{ cm}^3 \text{ H}_2\text{O}$;
- 2) Eine Pflanze von *Cannabis sativa* transpiriert durchschnittlich pro 24 St. $193 \text{ cm}^3 \text{ H}_2\text{O}$;
- 3) Eine Pflanze von *Helianthus annuus* transpiriert durchschnittlich pro 24 St. $471 \text{ cm}^3 \text{ H}_2\text{O}$;
- 4) Dieselbe Pflanze an einem heissen Tage über $1000 \text{ cm}^3 \text{ H}_2\text{O}$;
- 5) Eine einzelnstehende Eiche (700000 Blätter) in 5 Monaten $111200 \text{ kg H}_2\text{O}$;
- 6) Ein Morgen (25,53 a) Kohlpflanzen in 4 Monaten $2000000 \text{ l H}_2\text{O}$;
- 7) Ein Morgen (25,53 a) Hopfen in 4 Monaten $3\text{—}400000 \text{ l H}_2\text{O}$;
- 8) Ein ha Buchenwald (115jähriger Bestand) in 6 Monaten $2,4\text{—}3,5 \text{ Millionen l H}_2\text{O}$.

Extreme betragen 40 und 716. Vergl. L. Jost: l. c. p. 46. — Eine interessante Zusammenstellung gibt Gustav Anders: Lehrbuch der allgemeinen Botanik. Leipzig 1909. p. 179. — Vergl. ferner A. Nathanson: Allgemeine Bot. Leipzig 1912. p. 111. — Strasburger, Jost, Schenck, Karsten: Lehrbuch der Botanik für Hochschulen. 10. A. Leipzig 1910. p. 99.

1) Eine von zahlreichen Poren durchsetzte Membran kann bei einer bestimmten Anordnung der Poren so auf die Diffusion der Gase wirken, als wenn überhaupt kein Hindernis vorhanden wäre. Brown und Escombe: Philosoph. Transactions B. Bd. 193. 1900. p. 223. — Livingston: Relation of desert plants to soil etc. Washington 1906.

2) Ich entnehme diese Angaben der „Pflanzenphysiologie“ von F. G. Kohl. Marburg 1903. p. 72. Die ersten drei Werte sind umgerechnet.

Wenn wir bedenken, dass zur Verdunstung von 1 kg Wasser von 0° 607 Wärmeeinheiten nötig sind, und dass diese Wärmemenge fast ausschliesslich den pflanzlichen Geweben entzogen wird, so erkennen wir sofort, dass der Temperaturzustand des Pflanzenkörpers in sehr hohem Grade von der Transpiration abhängig sein muss.¹⁾ Weiterhin wird uns aus dieser Tatsache verständlich, dass alle flächenförmig ausgebreiteten Organe infolge ihrer lebhaften Verdunstung meist niedriger temperiert sein müssen als ihre Umgebung, dass dagegen Knospen und reichbeblätterte Kurztriebe, bei denen durch Zusammenhäufung der Blattorgane und eventuell auch durch adiabatische Umhüllung (Knospenschutz!) eine starke Verminderung der Transpiration mit einer Wärmestauung Hand in Hand geht, unter günstigen Umständen Temperaturüberschüsse zeigen können. Man hat mit Recht darauf hingewiesen, dass die durch Wasserabgabe hervorgerufene Abkühlung in günstiger Weise der Temperatursteigerung durch Insolation entgegenzuwirken vermag.²⁾ Allerdings ist dabei zu berücksichtigen, dass die der Insolation am meisten ausgesetzten Oertlichkeiten infolge ihrer Wasserarmut nur eine Xerophytenflora beherbergen können, d. h. also Gewächse, die mit besonderen Vorrichtungen zur Transpirationseinschränkung ausgestattet sind. Wir müssen annehmen, dass hier infolge eigentümlicher Anpassung der Protoplasmastrukturen — ähnlich wie bei den thermophilen Organismen — die durch Insolation erzeugten hohen Gewebetemperaturen ohne Schädigung ertragen werden können. „Man sieht also, wie auch die Resistenz gegen hohe Temperatur eine Eigenschaft derjenigen Pflanzen sein muss, die im trocknen Klima existenzfähig sind, und man begreift, dass durchaus nicht alle Pflanzen sich an solche Lebensverhältnisse anpassen

1) H. R. Göppert: Ueber Wärmeentwicklung in der lebenden Pflanze. Ein Vortrag. Wien 1832. p. 19—20.

2) „Ist also die Verdunstung ein Regulator der Temperatur der Pflanzen, so wird man bei schwach transpirierenden Gewächsen eine starke Erwärmung in der Sonne beobachten müssen.“ L. Jost: l. c. p. 54.

konnten.“¹⁾ Da die Insolationswirkung in keinem unmittelbaren Zusammenhange²⁾ mit der Wärmeproduktion steht, sei hier nur mit wenigen Worten auf einige einschlägige Arbeiten hingewiesen. Askenasy (1875)³⁾ konnte bei Fettpflanzen, die einer direkten Besonnung ausgesetzt waren, Temperaturerhöhungen bis zu 24° (*Sempervivum alpinum*; gemessene Temperatur 52°) feststellen, d. h. also Wärmegrade, die von den meisten Gewächsen nicht mehr ertragen werden.⁴⁾ Zu gleicher Zeit zeigten stark transpirierende Pflanzen (*Aubrietia deltoides* und *Gentiana cruciata*) unter den gleichen äusseren Bedingungen nur 4°—7° Ueberschuss.⁵⁾ Dass die durch Sonnenstrahlung erzeugte Erwärmung in nicht unbeträchtlicher Masse auch von der spezifischen Färbung der Pflanzenorgane, von ihrer epidermalen Beschaffenheit (Behaarung, Lackierung, Papillen u. s. w.) sowie von der Verdampfung ätherischer Oele abhängig ist, mag hier nur angedeutet sein.⁶⁾

Die leicht wahrnehmbare Tatsache, dass die meisten vegetierenden Pflanzenteile kälter als die umgebende Luft

1) Ludwig Jost: l. c. p. 54.

2) Ein mittelbarer Zusammenhang ist vorhanden, da die Steigerung der Temperatur auch eine Steigerung der Atmung und damit der Wärmeproduktion zur Folge haben kann.

3) Askenasy: Bot. Ztg. Jahrg. 1875. p. 441.

4) Hans Molisch (Bot. Ztg. Bd. 66. Abt. I. p. 218) brachte beblätterte Zweige von *Pirus domestica*, *Robinia Pseudacacia*, *Carpinus Betulus*, *Salix Caprea*, *Acer platanoides* und *Juglans regia* 24 Stunden lang in einen dunklen Thermostaten. Die Temperatur im Innern des feucht gehaltenen Einsatzcylinders betrug 47°. Nur die Blätter von *Robinia* und *Salix* waren bei Beendigung des Versuches noch intakt und lebensfähig.

5) Aehnliche Untersuchungen, die die Resultate Askenasys bestätigten, wurden von Ursprung (Die physikalischen Eigenschaften der Laubblätter. Bibliotheka botanica. Heft 60. 1903), Haberlandt (Sitzungsber. d. Wiener Akad. Bd. 101. Abt. 1. 1892. p. 787) und von Passerini (Nuov. giorn. botan. italian. Bd. 8. 1901. p. 69) ausgeführt. — Vergl. auch W. Pfeffer: Handb. d. Pflanzenphys. 2. A. Bd. 2. 1904. p. 848 und L. Jost: l. c. p. 54. — F. Darwin (Botanical Gazette. Bd. 37. 1904. p. 81 ff.) konstruierte für ähnliche Zwecke einen selbstregistrierenden Apparat.

6) Vergl. W. Pfeffer: l. c. Bd. 2. 1904. p. 848.

sind, hat früher nicht selten zu der Annahme eines besonderen Kälteerzeugungsvermögens geführt. Auf die Argumente, die man zur Begründung dieser Hypothese beibrachte, soll hier nur in aller Kürze verwiesen werden. G. Vrolik (1796)¹⁾ kommt auf Grund seiner Beobachtungen zu dem Schlusse, dass die Pflanzen im Treibhause die Fähigkeit besäßen, die Hitze zu vermindern; denn das Innere saftreicher Blätter (*Mesembrianthemum*, Aloë, Agave) sei kälter als die umgebende Luft. Schrank (1802)²⁾ stellte fest, dass innerhalb blätterreicher Baumkronen eine niedrigere Temperatur herrsche als sonst im Schatten. Er folgerte daraus, dass durch die vitale Tätigkeit auch Kälte erzeugt werden könne. Dass diese Erscheinung lediglich der Transpiration zuzuschreiben ist, wurde 1829 von Schübler³⁾ und 1830 von H. R. Göppert⁴⁾ nachdrücklich hervorgehoben. Auch die Untersuchungen Johns⁵⁾, der bei *Mesembrianthemum crystallineum* eine Temperatur von $+4^{\circ}$ R. feststellte, während die Luft 10° R. warm war, wurden durch die Göppertschen Nachprüfungen⁶⁾ richtig gestellt.

1) G. Vrolik: Dissert. medic. botan. sistens observationes de defoliat. vegetabilium, nec non de viribus plantarum ex principiis botanicis dijudicandis. Lugdun Batav. 1796. — Vergl. Reils Archiv für Physiol. Bd. 3. p. 394—395 und H. R. Göppert: Ueber Wärmeentwicklung in den Pflanzen, deren Gefrieren und die Schutzmittel gegen dasselbe. Breslau 1830. p. 173—176.

2) Schranks Briefe an Nau, naturhistorischen, physikalischen und ökonomischen Inhalts. Erlangen 1802. p. 169. — Vergl. Asclepion. Berlin. 2. März 1811. p. 275 u. 6. März 1811. p. 297. — Vergl. ferner: Jacob Schmitz: Ueber die Eigenwärme der Pflanzen. Inaug.-Dissert. Jena 1870. p. 25—26.

3) W. Neuffer: Untersuchungen über die Temperaturveränderungen der Vegetabilien und verschiedene damit in Berührung stehende Gegenstände. Inaug.-Diss. Tübingen 1829. p. 25.

4) H. R. Göppert: Ueber die Wärmeentwicklung in den Pflanzen, deren Gefrieren u. die Schutzmittel gegen dasselbe. Breslau 1830. p. 150.

5) John: Neue chemische Untersuchungen mineralischer, vegetabilischer und animalischer Substanzen p. 8. Angegeben bei H. R. Göppert (l. c. 1830. p. 173) und bei G. R. Treviranus (Biologie oder Philosophie der lebenden Natur für Naturforscher und Aerzte. Göttingen 1818. Bd. 1. p. 1—20).

6) H. R. Göppert: l. c. 1830. p. 173.

Nicht nur durch die Verdunstungskälte kann die Temperatur flächenhaft ausgedehnter Pflanzenorgane unter die der nächsten Umgebung herabgedrückt werden, sondern auch durch die schnelle Abgabe strahlender Wärme in klaren Nächten (besonders im Frühjahr und Herbst). Daraus erklärt es sich, dass empfindliche Gewächse sehr wohl erfrieren können, wenn das Thermometer noch lange nicht den Nullpunkt erreicht hat, und dass Rasenflächen bis zu 8° kälter sein können als die Atmosphäre.¹⁾ Ebenso wie die Transpiration die schädliche Wirkung einer zu intensiven Sonnenstrahlung auszugleichen vermag, begegnet die Wärme entbindende Kondensation des Wasserdampfes bei der Taubildung einer zu energischen Abkühlung.²⁾

Fassen wir unsere bisherigen Betrachtungen zusammen, so haben wir folgendes zu sagen: Vegetierende Sprosssteile, junge Pflanzen, Blätter und Knospen sind während der Zeit ihrer Entwicklung durch eine ziemlich lebhaftete Atmung ausgezeichnet. Die mit der physiologischen Verbrennung Hand in Hand gehende, aber durchaus nicht von ihr allein bedingte, bald mehr bald weniger intensive Wärmeproduktion kann unter gewöhnlichen Verhältnissen den Temperaturzustand nicht wesentlich beeinflussen; denn die sehr erhebliche Oberflächenentfaltung muss notwendig eine schnelle Wärmeabgabe sowie eine beträchtliche Transpiration zur Folge haben, so dass dadurch etwaige Temperaturüberschüsse nicht nur sofort wieder beseitigt werden, sondern die Temperatur der Untersuchungsobjekte sich fast stets sogar niedriger erweist als die der umspülenden

1) Vergl. Boussingault: Die Landwirtschaft. Uebers. v. Graeger. 2 A. 1851. p. 401. — Boussingault: Agronomie. Chim. agricole et Physiol. Bd. 2. 1861. p. 380. — Tyndall: Fragmente aus der Naturwissenschaft. Uebers. von H. Helmholtz. 1874. p. 232. — H. Müller-Thurgau: Ueber das Gefrieren und Erfrieren der Pflanzen. (2. Teil). Landwirtsch. Jahrb. Bd. 15. 1886. p. 557. — Th. Hormén: Bot. Ztg. Jahrg. 1894. p. 277. — W. Pfeffer: Handbuch d. Pflanzenphysiologie. 2. A. Bd. 2. 1904. p. 849. — Julius Sachs: Handbuch d. Experimentalphysiologie der Pflanzen. Leipzig 1865. p. 52.

2) Jamin: Naturforscher. 1879. p. 140. — Wollny: Forschungen a. d. Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. 15. 1892.

Luft. Nur wenn es gelingt, entweder den schnellen Temperatureausgleich zu hemmen¹⁾ oder die Wasserverdunstung auf ein Minimum zu reduzieren²⁾, kann man auf eine messbare Eigenwärme rechnen. Aber auch dann wird es noch nötig sein, um grosse Fehlerquellen zu vermeiden, alle Beobachtungen bei einer konstanten Aussentemperatur vorzunehmen.³⁾

Wir wenden uns jetzt den speziellen Forschungsergebnissen zu. Von den älteren Autoren ist es namentlich John Hunter (1775)⁴⁾, der in allen Teilen des Pflanzenkörpers, also auch in den grünen Sprossen und Blättern, eine selbstregulatorische Wärmeproduktion für erwiesen hält. Seine hauptsächlich an Baumstämmen vorgenommenen Messungen lassen, wie es nach den vorstehenden Ausführungen wohl ohne weiteres verständlich ist, überhaupt keine physiologische Bewertung zu.⁵⁾

Einen grossen Fortschritt bedeuten die umfassenden und sehr sorgfältigen Untersuchungen Fontanas (1806).⁶⁾

1) z. B. Zusammenhäufungsmethode. Zuerst wurde sie von H. R. Göppert angewendet, in neuster Zeit von Hans Molisch. Vgl. p. 152 und p. 167 der vorliegenden Arbeit.

2) Beobachtungen in dampfgesättigter Atmosphäre (feuchte Kammer!). Siehe weiter unten (p. 154) die Untersuchungen von Dutrochet! Eine völlige Beseitigung der Transpiration ist nicht möglich. — Vergl. Julius Sachs: Ueber eine Methode, die Quantitäten der vegetabilischen Eigenwärme zu bestimmen. Sitzungsber. d. Wien. Akademie d. Wissensch. Math.-naturwiss. Kl. Bd. 26. 1857.

3) Vergl. H. R. Göppert: Ueber Wärmeentwicklung in der lebenden Pflanze. Ein Vortrag. Wien 1832. p. 20. — E. Leick: Untersuchungen über die Blütenwärme der Araceen. Greifswald 1910. p. 13.

4) Hunter stützt sich z. T. auf Beobachtungen Blagdens. — Vergl. H. R. Göppert: Ueber die Wärmeentwicklung in den Pflanzen, deren Gefrieren und die Schutzmittel gegen dasselbe. Breslau 1830. p. 147. — Vergl. auch p. 127 der vorliegenden Arbeit; hier sind in einer Fussnote die Schriften Hunters angegeben.

5) Vergl. p. 128 der vorliegenden Arbeit.

6) Fontana: Ueber die Wärme, Farbe und Empfindung der Pflanzen. Neues Journal d. ausländ. medicin.-chirurg. Literatur, hrsgb. von Harles u. Ritter. Bd. 5. Stück II. Erlangen 1806. p. 45—68. — Angegeben bei H. R. Göppert (l. c. 1830. p. 176—177.), G. R. Treviranus (Biologie oder Philosophie der lebenden Natur für Naturforscher

Nicht weniger als 4600 Temperaturmessungen wurden von ihm ausgeführt. Fontana ist der erste, der eine einwandfreie Untersuchungsmethode in Anwendung bringt und seine Experimente mit der nötigen Präzision ausführt. Er geht von der durch die früheren Versuche (an Baumstämmen) bewiesenen Tatsache aus, dass der Wärmezustand im Pflanzeninnern in hohem Masse von der Temperatur des Bodens abhängig ist. Aus diesem Grunde bringt er seine Untersuchungsobjekte auf hängenden Platten in einen Keller von konstanter Temperatur. Alle Teile des die Wurzel umgebenden Erdreichs müssen sich also schliesslich auf diese konstante Temperatur einstellen. Direktes Sonnenlicht wird durch Vorhänge abgehalten. In regelmässigen Abständen werden Luftproben entnommen und auf ihre Zusammensetzung hin untersucht. So wird fortwährend kontrolliert, ob sich die Pflanzen unter normalen Vegetationsbedingungen befinden. Diese Angaben genügen, um zu zeigen, dass Fontanas Methode die der früheren Forscher an Exaktheit bedeutend übertrifft. Besonders wichtig ist, dass hier zum ersten Male bei konstanter Aussentemperatur gearbeitet wird. Die Zuverlässigkeit der Resultate erfährt dadurch eine bedeutende Steigerung. Die Kritik, die G. R. Treviranus¹⁾ an Fontanas Versuchsanordnung übt, scheint keineswegs gerechtfertigt. Seine Behauptung, jeder Körper müsse eine ihm eigentümliche Temperatur besitzen, die von derjenigen der Umgebung abweiche, ist — solange eine direkte Insolation ausgeschlossen ist — physikalisch unrichtig. Fontana kommt auf Grund seiner Beobachtungen zu folgendem Ergebnis: Die vegetativen Organe besitzen keine messbare Wärme-produktion und auch keine Wärmeregulation (abgesehen

und Aerzte. Göttingen 1818. Bd. 1.) und W. Schumacher (Die Physik der Pflanze. Ein Beitrag zur Physiologie, Klimatologie und Kulturlehre der Gewächse. Berlin 1867. p. 392.) — Fontana arbeitete mit Cactus-, Aloë-, Mesembrianthemum- u. Kohlarten, Euphorbien, vegetierenden Sprossen von *Solanum tuberosum* u. s. w.

1) G. R. Treviranus: Biologie oder Philosophie der lebenden Natur für Naturforscher und Aerzte. Göttingen 1818. Bd. 1. p. 17—18.

von den rein physikalischen Vorgängen der Transpiration und der Taubildung). Der Temperaturzustand der Gewächse ist also lediglich von der Wärme des umgebenden Mediums abhängig.¹⁾ Die im Freien (d. h. bei schwankenden Aussentemperaturen) beobachteten Temperaturabweichungen lassen sich auf physikalischem Wege völlig befriedigend erklären.

Wie wenig man sonst in damaliger Zeit den physikalischen Verhältnissen Rechnung trug, davon mögen uns die Angaben Slevogts (1807)²⁾ eine Probe liefern. Aus der Tatsache, dass die Schneedecke in der Umgebung von Baumstämmen und an Stellen, die mit *Calluna vulgaris*, *Vaccinium vitis idaea* und *Vinca minor* bestanden sind, schneller verschwindet als auf dem nackten Erdboden, wird ohne weiteres auf eine lebhaftere Wärmeerzeugung geschlossen. Die Unhaltbarkeit einer derartigen Beweisführung war schon längst vor dem Erscheinen der Slevogtschen Arbeit von Th. de Saussure³⁾ nachgewiesen worden. Später haben Nau (1811)⁴⁾ und auch H. R. Göppert

1) Die einzige Ausnahme machte ein Pilz, *Fungo porcino* (toskanische Schwammart), der stets c. 0,5° höher temperiert war als die Luft.

2) Slevogt: Beiträge zu Salomé's Bemerkungen über die innere Wärme der Vegetabilien verglichen mit der der Atmosphäre. Hermbstädts Archiv der Agrikulturchemie. Bd. 3 (1. Heft). Berlin 1807. — Vgl. auch Salomé: Observations sur la température interne des végétaux, comparée à celle de l'atmosphère. Ann. d. chim. Bd. 40. 1803. p. 113—122. Übers.: Hermbstädts Archiv der Agrikulturchemie. Bd. 2. 1805. p. 154—160. — Allgem. Journ. d. Chem. von Scherer. Bd. 5. p. 686—692.

3) Vergl. Jean Senebier: Physiologie végétale. Bd. 3. 1800. p. 317.

4) Nau: Hat man bis jetzt durch Versuche und Beobachtungen eine eigentümliche Wärme in Gewächsen erwiesen? Annalen der Wetterauischen Gesellsch. für die gesamte Naturkunde. Bd. 1. p. 27—37. — Übers. ins Franz.: Journ. de phys., de chim. et d'hist. nat. 1811. p. 193 (vergl. H. R. Göppert: l. c. 1830. p. 146—150). — Die häufiger angegebenen Untersuchungen Baldes (Asklepion od. Allgem. mediz.-chirurg. Wochenblatt. Hrsgb. von Wolfart, Berlin 1811. p. 275—287 u. 297—301.) erweisen sich als ein dreistes Plagiat der Nauschen Arbeit. — Nau nahm eine Nachprüfung der Versuche von Hunter, Schöpf und Salomé vor.

(1830)¹⁾ die oben angegebene Erscheinung durchaus zutreffend gedeutet. Nau (1811)²⁾, L. C. Treviranus (1829)³⁾ und H. R. Göppert (1830)⁴⁾ sprechen sich mit Entschiedenheit gegen das Vorhandensein einer selbsttätigen Wärmeentbindung im Pflanzenkörper aus.

Das Verfahren, dessen sich H. R. Göppert bei seinen späteren Versuchen (1832)⁵⁾ bediente, war dasselbe, das wir heute noch zur Demonstration des Wärmephänomens ganz allgemein anwenden, die sog. Zusammenhäufungsmethode.⁶⁾ Keimende Samen, Sprosse, Blätter, Blüten und Knollen wurden in einem tiefen Holzgefäß, das auf allen Seiten mit einer Werghülle umgeben war, übereinander geschichtet, und die Temperatur in der Mitte des Haufens mit einem Thermometer gemessen. Die Aussentemperatur war annähernd konstant. Auf diese Weise gelang es, ziemlich erhebliche Wärmeüberschüsse zu erzielen, so dass sich an dem Vorhandensein einer unter normalen Bedingungen nicht nachweisbaren Eigenwärme der Vegetationsorgane nicht mehr zweifeln liess. Göppert selber äussert sich wie folgt: „Jedoch glaube ich, aus allen bisherigen Untersuchungen den Schluss ziehen zu dürfen, dass unbestreitbar (und zwar in allen Perioden des Pflanzenlebens) vom Keimen bis zur Blütenentwicklung freie, selbst für unsere wärmemessenden Instrumente bemerkbare Wärme

1) H. R. Göppert: l. c. 1830. p. 150.

2) Nau untersuchte Zweige von *Pinus silvestris* und Blätter von *Citrus aurantium*. Die Untersuchungsmethode war primitiv und wenig zuverlässig.

3) Ludolph Christian Treviranus: Entwickelt sich Licht und Wärme beim Leben der Gewächse? Zeitschr. für Physiologie. Hrsgb. von Tiedemann, G. R. Treviranus u. L. C. Treviranus. Bd. 3. Darmstadt 1829. p. 257—268. — Unter anderen Objekten benutzte Treviranus auch ein Blatt von *Cheiranthus cheiri*.

4) Untersucht wurden: *Euphorbia caput Medusae*, Aloë distans, *Cactus stellatus*.

5) H. R. Göppert: Über Wärmeentwicklung in lebenden Pflanzen. Ein Vortrag. Wien 1832.

6) Technisch findet diese Methode Verwertung bei der Bereitung des Malzes.

sich entbindet.“¹⁾ Wir können uns damit begnügen, die Hauptergebnisse in einer Übersicht zusammenzustellen:²⁾

- 1) 28 Lot (= 448 gr) Haferpflanzen von 5 Zoll Länge:
Max. + 3,1⁰;
- 2) 20 Stämme von Zea Mays (zusammengeb.): + 1,0⁰
bis + 1,5⁰;
- 3) 20 Stämme von Cyperus esculentus (zusammengeb.):
+ 1,0⁰ bis + 1,5⁰;
- 4) 500 gr Pflanzen von Hyoscyamus niger (blühend):
Max. + 1,8⁰;
- 5) 2000 gr Pflanzen von Sedum acre: + 1,5⁰ bis + 2,0⁰;
- 6) 500 gr Zweige von Pinus } + 1,5⁰ bis + 2,0⁰;
- 7) 500 gr Zweige von Abies } + 1,5⁰ bis + 2,0⁰;
- 8) 500 gr Zweige von Eupatorium cannabinum: + 1,5⁰
bis + 2,0⁰;
- 9) 500 gr Zweige von Solidago arguta (blühend): + 1,5⁰
bis + 2,0⁰;
- 10) 500 gr Pflänzchen von Spargula arvensis: Max.
+ 9,5⁰;³⁾
- 11) 500 gr Erbsenpflänzchen (2—4 Zoll lang): Max.
+ 5,3⁰;
- 12) Dieselben Erbsenpflanzen, nachdem sie eine Länge
von 10—12 Zoll erreicht hatten: Max. + 3⁰.

Diese Werte sind natürlich in erster Linie von der Menge der zusammengehäuften Objekte, ihrer körperlichen Beschaffenheit (ob grosse Zwischenräume oder nicht!) und von der adiabatischen Umhüllung abhängig. Erst in zweiter Linie sind als massgebende Faktoren zu nennen: die Atmungsintensität, die Menge des vorhandenen Atmungs-materials, die chemische Zusammensetzung der trophischen Stoffe, die Beeinflussung der physiologischen Oxydation

1) H. R. Göppert: l. c. 1832. p. 26. Dieses Resultat ist um so bemerkenswerter, als Göppert sich in seinen früheren Schriften gegen das Vorhandensein jeglicher Wärmeproduktion ausgesprochen hatte.

2) H. R. Göppert: l. c. 1832. p. 21 ff.

3) Die Ursache für diesen sehr beträchtlichen Temperaturüberschuss erblickt Göppert in der Zartheit der Pflänzchen, wodurch die einzelnen Exemplare sich sehr dicht aneinander drängen lassen (p. 23!).

durch Temperatursteigerung, der Wasserreichtum der Gewebe und die Transpirationsgrösse. Da die Schwankungen der Aussentemperatur viel geringer waren als die beobachteten Temperaturdifferenzen, können wir in den vorstehenden Resultaten zwar einen sicheren Beweis für das tatsächliche Vorhandensein einer — pathologischen oder physiologischen — Wärmeentbindung erblicken, aber über den wirklichen Temperaturzustand der einzelnen Pflanze sowie über die reale Grösse der Wärmeproduktion sagen sie nicht das geringste aus.

Temperaturmessungen an einzelnen Objekten können nur dann Aussicht auf Erfolg haben, wenn man die abkühlende Wirkung der Transpiration ganz oder wenigstens zum Teil ausschaltet und obendrein die peinlichste Sorgfalt darauf verwendet, die Aussentemperatur längere Zeit hindurch völlig konstant zu erhalten. Diesen Anforderungen versuchen die zahlreichen Beobachtungsreihen Dutrochets (1840)¹⁾ zu entsprechen. Die Methode war folgende: die eine Lötstelle eines Becquerelschen Thermomultiplikators wurde in das Untersuchungsobjekt eingebohrt, während sich die andere in einem gleichartigen, aber abgetöteten Pflanzenteile befand. Die Messung wurde unter einer Glasglocke in einer gleichmässig temperierten, mit Feuchtigkeit gesättigten Atmosphäre vorgenommen.²⁾ Eine solche

1) H. J. Dutrochet: Réponse à la Note lue par M. Becquerel à l'Académie des sciences, dans sa séance du 17. juin dernier, relativement au procédé pour évaluer la température des végétaux. Ann. d. sc. nat. (2.) Bot. Bd. 12. 1839. p. 84—89. (Junge Sprosse von *Campanula media*, *Ailanthus glandulosa* u. *Sambucus nigra*.) — H. J. Dutrochet: Recherches sur la température propre des végétaux. Ann. d. sc. nat. (2.) Bot. Bd. 12. 1839. p. 77—82. — H. J. Dutrochet: Recherches sur la chaleur propre des êtres vivans à basse température. Ann. d. sc. nat. (2.) Bot. Bd. 13. 1840. p. 1—49 u. 65—85. — H. J. Dutrochet: Note à l'occasion des observations de M. van Beek sur la température propre des plantes. Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences. Bd. 10. 1840. p. 47—48.

2) Genauere Beschreibungen der Dutrochetschen Methode finden sich ausser in der Originalarbeit auch bei Wilhelm Schumacher: Die Physik der Pflanze. Ein Beitrag zur Physiologie, Klimatologie und Kulturlehre der Gewächse. Berlin 1867. p. 392—393. — Julius

Versuchsordnung übertrifft zwar die früheren an Präzision — man denke nur an die grosse Empfindlichkeit der Thermonadel! —, ist aber dem ungeachtet auch nicht völlig einwandfrei. Der Aufenthalt in einer limitierten, mit Wasserdampf gesättigten Luftmenge ist keineswegs normal. Auch durch die unvermeidliche Verletzung beim Einstossen der Thermonadel und eventuell auch beim Abtrennen des Objektes von der Pflanze können pathologische Veränderungen hervorgerufen sein. Schliesslich ist der abgetötete Spross auch physikalisch nicht mehr gleichwertig mit dem lebenden, so dass allein dadurch geringe Temperaturabweichungen hervorgerufen sein können.¹⁾ Zieht man alle diese Einwände gebührend in Erwägung, so lässt sich die Möglichkeit nicht bestreiten, dass die beobachteten minimalen Temperaturdifferenzen innerhalb der unvermeidlichen Fehlergrenzen liegen. Jacob Schmitz äussert sich über die Untersuchungen Dutrochets folgendermassen:²⁾ „Wie man ersieht, handelt es sich bei der Temperatur der einzelnen Spross-Individuen um sehr kleine Wärmespuren, die bei Dutrochet im günstigsten Falle $0,3^{\circ}$ bis $0,4^{\circ}$ betragen.

Sachs: Handbuch der Experimentalphysiologie der Pflanzen. Leipzig 1865. p. 301—304 (Abb.!). — W. Pfeffer: Handbuch der Pflanzenphysiologie. 2. A. Leipzig 1897—1904. Bd. 2. p. 836 (Abb.!). — Ludwig Jost: Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. 2. A. Jena 1908. p. 288.

Die Thermonadel wurde zur Feststellung der Pflanzeigenwärme schon vor Dutrochet von van Beek und Bergsma angewendet. — Vergl. van Beek et Bergsma: Expériences sur la température des végétaux. (Lettre). Ann. d. sc. nat. (2.) Bot. Bd. 12. 1839. p. 90—91. — Van Beek: Température propre des plantes. Compt. rend. Bd. 10. 1840. p. 36—38.

1) Vergl. W. Pfeffer: l. c. Bd. 1. 1897. p. 221. „Mit dem Tode werden diese Eigenschaften modifiziert und gewöhnlich wird damit, wie schon das schnelle Austrocknen toter Pflanzenteile vermuten lässt, wie auch direkte Versuche lehren, die Wasserverdunstung beschleunigt. — Vergl. ferner Hugo v. Mohl: Botan. Ztg. Jahrg. 1847. p. 323. — Nägeli: Sitzungsber. d. Bayrisch. Akad. d. Wissensch. Bd. 1. 1861. p. 262. — Just: Cohns Beiträge zur Biologie. Bd. 1. 1875. p. 24.

2) Jacob Schmitz: Über die Eigenwärme der Pflanzen. Jnaug.-Diss. Jena 1870. p. 19. — Vergl. auch Julius Sachs: Handbuch der Experimentalphysiologie der Pflanzen. Leipzig 1865. p. 302.

Mit Recht hält man einen solchen Wert für eine zweifelhafte Grösse. Indessen sprechen doch die jahrelang bis zum Ueberdruss (jusqu'à la satiété) fortgesetzten Beobachtungen des geschickten Forschers entschieden dafür, dass er jede denkbare Fehlerquelle vermieden (?), und die Ablenkung seiner Nadel nur durch die infolge des Lebensprozesses entstehende Wärme hervorgerufen sei.“ Auf jeden Fall wird man als Resultat anerkennen müssen, dass die Temperatur der vegetierenden Sprosse und Blätter durch die ohne Zweifel vorhandene Wärmeproduktion nur sehr unwesentlich beeinflusst wird, dass aber in erster Linie die physikalischen Verhältnisse (Wärmeabgabe an der Oberfläche, Transpiration usw.) für den sehr geringen Grad der Eigenwärme verantwortlich zu machen sind. Rückschlüsse auf die Grösse der tatsächlichen Wärmeentbindung dürfen aus den Zahlenwerten nicht gezogen werden, da wir die Wirkung der wärmeentführenden Faktoren nicht einmal schätzungsweise anzugeben imstande sind. Die wichtigsten Beobachtungsergebnisse Dutrochets lasse ich hier in gedrängter Kürze folgen.¹⁾ Der ansehnlichste Temperaturüberschuss fand sich alle Mal am Grunde der Terminalknospe. Von hier aus nahm die Eigenwärme mit dem fortschreitenden Alter der Sprosstheile stetig ab und sank selbst im jüngsten Holze²⁾ auf 0° , während der Markkörper noch Spuren aufwies. Der durchschnittliche Temperaturüberschuss hält sich in der Nähe von $0,1^{\circ}$, der maximale erreicht (bei *Euphorbia Lathyris*) $0,34^{\circ}$ (um 1^h nachm.). Befindet sich die eine Lötstelle in der freien Luft, so treten sofort Minustemperaturen auf, die nicht selten $-0,5^{\circ}$ erreichen. Folgende Maxima wurden beobachtet:³⁾

1) Vergl. Jacob Schmitz: l. c. p. 16—19. — Julius Sachs: Handbuch der Experimentalphysiologie der Pflanzen. Leipzig 1865. p. 301—304. — W. Pfeffer: Handbuch der Pflanzenphysiologie. 2. A. Bd. 2. 1904. p. 836, 839 und 844. — Ludwig Jost: Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. 2. A. Jena 1908. p. 289.

2) Z. B. von Linde, Ulme, Eiche.

3) H. J. Dutrochet: Recherches sur la chaleur propre des êtres vivans à basse température. Ann. d. sc. nat. (2.) Bot. Bd. 13. 1840. p. 44. — Auch abgedruckt bei Jacob Schmitz: l. c. p. 17 und bei Julius Sachs: l. c. p. 303.

Rosa canina L. 10 ^h vorm.	+ 0,21 ⁰ ;
Allium porrum L. 11 ^h vorm.	+ 0,12 ⁰ ;
Borrago officinalis L. 12 ^h mitt.	+ 0,09 ⁰ ;
Euphorbia Lathyris L. 1 ^h nachm.	+ 0,34 ⁰ ;
Papaver somniferum L. 1 ^h nachm.	+ 0,21 ⁰ ;
Cactus flagelliformis L. 1 ^h nachm.	+ 0,12 ⁰ ;
Helianthus annuus L. 1 ^h nachm.	+ 0,22 ⁰ ;
Impatiens balsamina L. 1 ^h nachm.	+ 0,11 ⁰ ;
Ailanthus glandulosa Desf. 1 ^h nachm.	+ 0,16 ⁰ ;
Campanula medium L. 2 ^h nachm.	+ 0,31 ⁰ ;
Sambucus nigra L. 2 ^h nachm.	+ 0,21 ⁰ ;
Lilium candidum L. 2 ^h nachm.	+ 0,28 ⁰ ;
Asparagus officinalis L. 3 ^h nachm.	+ 0,25 ⁰ ;
Lactuca sativa L. 3 ^h nachm.	+ 0,09 ⁰ .

Werden die Beobachtungen bei zu niedriger Aussen-temperatur — etwa unter + 15⁰ — vorgenommen, so zeigt sich keine Erwärmung, wahrscheinlich infolge der zu geringen Atmungsintensität.¹⁾ Sehr auffällig ist die Erscheinung, dass die Eigenwärme eine deutliche tägliche Amplitude aufweist. Während des Vormittages steigt die Eigenwärmekurve an, kulminiert in der Zeit von 10^h vorm. bis 3^h nachm. und fällt gegen abend wieder ab, um während der Nacht entweder völlig zu verschwinden oder auf ein Minimum herabzusinken. Auch hierfür entnehme ich ein Beispiel der Dutrochetschen Arbeit:²⁾

1) Auch Théodore de Saussure (Mémoires d. Genève. Bd. 6. 1833. p. 251) und Jacob Schmitz (l. c. p. 22) stellten bei verminderter Aussen-temperatur eine geringere Eigenwärme fest. Dieselbe Erscheinung wurde von Gaston Bonnier (Ann. d. sc. nat. (7.) Bot. Bd. 18. 1893. p. 21) quantitativ ermittelt. — Vergl. W. Pfeffer: l. c. Bd. 2. 1904. p. 341. — Auch bei den Blütenständen der Araceen hängt die Wärmeerzeugung in hohem Masse von der Temperatur der Umgebung ab. — Vergl. hierüber Oskar Hoppe: Beobachtungen der Wärme in der Blütenscheide einer Colocasia odora (Arum cordifolium). Nova acta d. Ksl. Leop.-Carol.-Deutsch. Akad. d. Naturforscher. Bd. 41. Halle 1879. p. 199—252. — E. Leick: l. c. 1910. p. 44.

2) Vergl. H. J. Dutrochet: l. c. 1840. p. 42. — Verkürzt angegeben bei Jacob Schmitz: l. c. 1870. p. 17. — Siehe auch Julius Sachs: l. c. 1865. p. 303.

Euphorbia Lathyris: beobachtet am 3. Juni bei c. 17°
(16,8° bis 17,8°) Aussentemperatur:

6 ^h vormitt.	0,09°;	2 ^h nachm.	0,28°;
7 ^h „	0,11°;	3 ^h „	0,28°;
8 ^h „	0,12°;	4 ^h „	0,18°;
9 ^h „	0,18°;	5 ^h „	0,12°;
10 ^h „	0,25°;	6 ^h „	0,06°;
11 ^h „	0,28°;	7 ^h abends	0,03°;
12 ^h mittags	0,31°;	8 ^h „	0,03°;
1 ^h nachm.	0,34°;	9 ^h „	0,015°;
		10 ^h abends	0,00°.

Diese auffällige Periodizität der Erwärmung, die in gewissem Sinne an die Temperaturschwankung der homoiothermen Tiere erinnert, findet sich in ausgeprägter Weise bei den Araceen¹⁾ und wahrscheinlich auch bei manchen Hutpilzen (hier allerdings in viel geringerem Masse). Die Ursache für diese Erscheinung kann entweder auf einer periodischen Steigerung der Wärmeproduktion oder auf einer periodischen Verminderung des Wärmeverlustes oder endlich auf beiden Vorgängen beruhen. Leider fehlt es vor der Hand an genügend zahlreichen und genügend sicheren experimentellen Erfahrungen, um die Frage endgültig entscheiden zu können. Unter den erwärmenden Einflüssen steht, wie wir gesehen haben, die physiologische Verbrennung obenan. Es liegt also die Vermutung nahe, dass die tägliche Erwärmungsperiode durch eine entsprechende Atmungsperiode hervorgerufen ist. Eine derartige rythmische Aenderung der Atmungsgrösse ist tatsächlich für die Blütenstände der Araceen²⁾ und für viele Crassu-

1) „Für alle Araceen ist eine mehr oder weniger ausgeprägte Periodizität der Erwärmung nachgewiesen worden.“ — — „Eine besonders ausgesprochene Periodizität tritt bei *Colocasia odora* (abweichend nur die Angabe Huberts!) und bei den *Philodendron*-Arten hervor, d. h. bei den Araceen, die nicht mit einem nackten Appendix ausgestattet sind.“ Vergl. E. Leick: l. c. 1910. p. 44.

2) L. Garreau: Mémoires sur les relations qui existent entre l'oxigène consommé par le spadice de l'*Arum italicum*, en état de paroxysme, et la chaleur qui se produit. Ann. d. sc. nat. (3.) Bot.

laceen¹⁾, bei denen eine nächtliche Ansäuerung stattfindet, nachgewiesen worden. Bei allen anderen Pflanzen dagegen ergaben die bisherigen Untersuchungen keine ausgeprägte Tagesperiode.²⁾

Bonnier und Mangin³⁾ konnten sogar in manchen Fällen eine Herabsetzung der Atmungsintensität durch die Lichtwirkung feststellen, d. h. also einen Vorgang, der eine Einschränkung der Wärmeproduktion und damit wahrscheinlich auch eine Erniedrigung der Temperatur zur Folge haben müsste. Von Pringsheim⁴⁾ allerdings wird

Bd. 16. 1851. p. 250—256. — L. Garreau: Nouvelles recherches sur la respiration des plantes. Ann. d. sc. nat. (3.) Bot. Bd. 16. 1851. p. 271—292.

Die Aenderung der Atmungsintensität geht am besten hervor aus folgender Zusammenstellung für *Arum italicum*, die sich auf den Sauerstoffkonsum pro Stunde (angegeben in cm³) bezieht:

Stunde.	Exemplar I.	Exemplar II.	Exemplar III.
1.	39 cm ³	75 cm ³	45 cm ³
2.	57 cm ³	95 cm ³	70 cm ³
3.	75 cm ³	125 cm ³	95 cm ³
4.	100 cm ³	85 cm ³	140 cm ³
5.	50 cm ³	55 cm ³	85 cm ³
6.	20 cm ³	25 cm ³	35 cm ³
Zusammen:	341 cm ³	460 cm ³	470 cm ³

In weiteren

18 Stunden: 184 cm³ 230 cm³ 300 cm³

Vergl. Ludwig Jost: l. c. 2. A. 1908. p. 222.

1) Vergl. Warburg: Untersuchungen aus dem bot. Institut zu Tübingen. Bd. 2. 1886. p. 53. — Ad. Mayer: Die Sauerstoffabscheidung fleischiger Pflanzen. 1876. — Gregor Kraus: Der Stoffwechsel bei den Crassulaceen. 1886. (Separat aus d. Abhandl. d. Naturforsch. Ges. zu Halle. Bd. 16.) — W. H. de Vriese: Periodizität im Säuregehalt der Fettpflanzen. 1884. (Separat aus Mededeelingen d. Akad. in Amsterdam.) — Vergl. ferner W. Pfeffer: l. c. 2. A. 1897—1904. Bd. 1. p. 309—310 (hier genaue Literaturangaben!), p. 532; Bd. 2. p. 844.

2) Kolkwitz: Jahrb. für wiss. Bot. Bd. 33. 1899. p. 128. — Vergl. W. Pfeffer: l. c. 2. A. 1897—1904. Bd. 1. p. 573—574; Bd. 2. p. 844. — Ludw. Jost: l. c. 2. A. 1908. p. 232.

3) Bonnier u. Mangin: Ann. d. sc. nat. (6.) Bot. Bd. 17. 1884. p. 281. — Bonnier u. Mangin: Ann. d. sc. nat. (6.) Bot. Bd. 18. 1885. p. 353.

4) Pringsheim: Jahrbücher für wiss. Bot. Bd. 12. 1879—1881. p. 374. — Pringsheim: Berichte der deutsch. botan. Ges. Bd. 4. 1886. p. LXXXIV.

— im engsten Zusammenhange mit seiner Assimilationstheorie — die Behauptung aufgestellt, die Oxydation in der Zelle erfahre durch den Lichtzutritt eine Beschleunigung. Dagegen weist Pfeffer¹⁾ darauf hin, dass eine derartige Annahme im Widerspruch mit unseren experimentellen Erfahrungen steht.²⁾ Dass allerdings gewisse Beziehungen zwischen Belichtung und physiologischer Oxydation vorhanden sein müssen, lässt sich kaum bezweifeln. Nur wird es sich wohl meist nicht um unmittelbare, sondern vielmehr um mittelbare Lichtwirkungen handeln. Das Licht übt einen Einfluss auf die Stellung der Stomata aus, das Licht ruft den Assimilationsgaswechsel hervor, der seinerseits sicherlich für die Atmungsintensität in Frage kommt, das Licht bedingt die Bildung der Assimilate, deren Konzentration nicht ohne Bedeutung für die physiologische Verbrennung sein kann. Auch das Zustandekommen und die Tätigkeit der Atmungsenzyme können möglicher Weise unter dem Einflusse des Lichtes modifiziert werden. Aber das sind — wie schon gesagt — bislang alles nur Vermutungen, die bei einer kritischen Behandlung des Themas vorläufig ausscheiden müssen. Nach unseren bisherigen Erfahrungen also lassen sich die täglichen Oscillationen der Eigenwärme nicht unmittelbar auf den Verlauf des Atmungsprozesses zurückführen.

Dutrochet prüfte das Verhalten der Pflanzen bei lange wähernder Verdunkelung. Es zeigte sich, dass im Dunkeln zunächst nur eine graduelle Aenderung der Temperaturkurve eintritt, die erst am vierten Tage zum völligen Erlöschen der Eigenwärme führt. Folgende Zusammenstellung mag das Gesagte erläutern:³⁾

1) W. Pfeffer: l. c. 2. A. 1897—1904. Bd. 1. p. 325 u. p. 574.

2) Ludwig Jost sagt über die Abhängigkeit der Atmung vom Lichte: „Soviel ist freilich sicher, dass das Licht keinen wesentlichen Einfluss auf die Atmung nimmt“. (l. c. 2. A. 1908. p. 232.)

3) H. J. Dutrochet: l. c. 1840. p. 47—49. — Vergl. Jacob Schmitz: l. c. 1870. p. 18.

Campanula medium:

22. Mai: hell.	Max. 2 ^h	nachmitt.	+ 0,31 ⁰ ;
23. Mai: dunkel.	„ 2 ^h	„	+ 0,18 ⁰ ;
24. Mai: dunkel.	„ 2 ^h	„	+ 0,12 ⁰ ;
25. Mai: dunkel.	„ 2 ^h	„	+ 0,11 ⁰ ;
26. Mai: dunkel.	„ 2 ^h	„	+ 0,00 ⁰ ;
27. Mai: wieder hell.	„ 2 ^h	„	+ 0,09 ⁰ ;
28. Mai: hell.	„ 2 ^h	„	+ 0,15 ⁰ .

Das Nachlassen der täglichen Amplitude bei längerer Lichtentziehung lässt sich leicht aus der Abnahme des Atmungsmaterials erklären, die notwendig eine Herabminderung der Atmungsintensität und der mit ihr verknüpften Wärmeproduktion zur Folge haben muss.¹⁾ In entsprechender Weise zeigt sich bei schwach assimilierenden Pflanzen bereits während der Nacht ein Rückgang der Atmung, der aber vermieden wird, wenn die Photosynthese während des Tages künstlich gesteigert wird.²⁾ Auch das von Dutrochet beobachtete langsame Anschwellen der Maxima (siehe die Tabelle!), sobald die normale Belichtung wieder hergestellt ist, spricht für eine derartige Auffassung. Demnach erscheint es kaum angebracht, die Periodizität der Erwärmung mit derjenigen der Wachstums- und Bewegungsvorgänge in Parallele zu setzen und sie als einen „durch den Beleuchtungswechsel induzierten Vorgang“³⁾ zu betrachten. Unsere bisherigen Erfahrungen nötigen uns dazu, eine sehr enge Verknüpfung zwischen dem Verlauf des Atmungsprozesses und der Wärmeproduktion anzunehmen. Da nun, wie wir oben sahen, der numerische Wert der Oxydation in den meisten Fällen durch die Belichtung scheinbar garnicht oder sogar in negativem Sinne beeinflusst wird, so könnte man wohl daran denken, dass die einzelnen Phasen der Energietransformation durch die Lichtwirkung verschoben

1) W. Pfeffer: l. c. 2. A. 1897—1904. Bd. 1. p. 574. — Borodin (Bot. Jahresber. 1876. p. 920) stellte bei Zweigen, die sich dauernd im Dunkeln befanden, eine Abnahme der Atmungsgrösse fest.

2) Vergl. Areboe: Forschungen a. d. Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. 16. 1893. p. 459.

3) Vergl. W. Pfeffer: l. c. 2. A. 1897—1904. Bd. 2. p. 844.

würden, und zwar in der Weise, dass die zur Wärmezeugung dienende Componente eine Vergrößerung erführe. Im Einklange hiermit stände die Tatsache, dass die Zuwachsbewegung am Tage retardiert wird, und dass der Gesamtwert der Atmung infolge der Belichtung zurückgeht. Allerdings wendet Pfeffer gegen eine derartige Auffassung mit Recht ein, dass auch ausgewachsene Organe eine deutliche Periodizität der Eigenwärme aufweisen, die auf keinen Fall mit einer Retardierung der Wachstumsvorgänge in Verbindung stehen kann. Er sagt: „Ferner kann diese Erwärmungsperiodizität nicht, oder doch nicht allgemein, durch eine Veränderung des Energieverbrauches bei Zunahme und Abnahme der Wachstumstätigkeit bedingt sein. Denn wenn zumeist die Zuwachsbewegung am Tage, also dann, wenn die Körpertemperatur steigt, retardiert wird, so vollzieht sich doch die hohe Erwärmung bei den Aroideen in Organen, die nahezu ausgewachsen sind¹⁾, und nach Dutrochet kommt auch dem ausgewachsenen Cactusstengel eine tägliche Erwärmungsperiodizität zu“ (p. 844). Trotzdem aber bliebe noch Raum für die oben angedeutete Auffassung, nur müsste man zugestehen, dass die Steigerung der Erwärmungskomponente im Atmungsverlaufe nicht in jedem Falle mit der Einschränkung der Zuwachsbewegung in Verbindung zu stehen braucht. Wenn übrigens, wie die bisherigen Versuche zu lehren scheinen, die Kulmination der Eigenwärmekurve nicht mit derjenigen der Atmungskurve zusammenzufallen braucht, so ist doch kaum daran zu zweifeln, dass die Zunahme der Körpertemperatur wenigstens sekundär auf die Atmungsintensität zurückwirken muss. Jedenfalls wird die Entscheidung der ganzen Frage in erster Linie davon abhängen, wie weit es uns gelingt, in den komplizierten Mechanismus der Atmung Licht zu bringen. Alle Vermutungen — die oben mitgeteilten nicht ausgenommen — sind keineswegs imstande, die Sachlage wesentlich zu klären. Bislang ist nur die eine Tatsache

1) Diese Tatsache fällt allerdings nicht sehr erheblich ins Gewicht, da die Temperatursteigerung im Blütenkolben der Araceen eine ganz spezielle blütenbiologische Anpassung darzustellen scheint.

sicher gestellt, dass alle erheblichen Temperaturüberschüsse mit einer primären oder sekundären Steigerung des Sauerstoffkonsumes, d. h. also mit einer Steigerung der physiologischen Verbrennung Hand in Hand gehen.¹⁾ Die Art und Weise der kausalen Verknüpfung ist aber damit durchaus noch nicht festgelegt.

Wir haben bisher die Ursache für die Periodizität nur in einer Veränderung der tatsächlichen Wärmeproduktion gesucht. Wie wir aber oben ausführten, kann auch eine rythmische Aenderung der Wärmeabgabe in Betracht kommen. Um hierüber eine Entscheidung zu treffen, haben wir einmal unser Augenmerk auf die Schwankungen der Aussenverhältnisse zu richten, zum anderen auf die zu gleicher Zeit in der Pflanze verlaufenden physiologischen Vorgänge. Ganz ohne Zweifel muss eine Erhöhung der Aussentemperatur auch die Atmungsgrösse beeinflussen.²⁾ Da aber auch zahlreiche Beobachtungen bei konstanter Lufttemperatur eine sehr deutliche Periode zeigten³⁾, so ist die Lufttemperatur für das fragliche Phänomen sicherlich nicht ausschlaggebend. Wenn daher Ludwig Jost

1) Vergleiche besonders die Beobachtungen an den Blütenständen der Araceen. E. Leick: Untersuchungen über die Blütenwärme der Araceen. Greifswald 1910.

2) Aus den Versuchen von W. Vrolik und W. H. de Vriese (Tijschrift voor natuurlijke geschiedenis en physiologie. Bd. 2. 1836. p. 296—314. — Recherches sur l'élévation de température du spadice du Colocasia odora. Ann. d. sc. nat. (2.) Bot. Bd. 5. 1836. p. 134—146. — Nouvelles expériences sur l'élévation de la température du spadice d'une Colocasia odora, faites au jardin botanique d'Amsterdam. Ann. d. sc. nat. (2.) Bot. Bd. 11. 1839. p. 65—85 u. s. w.) ergibt sich eine gewisse Parallelität zwischen den Schwankungen der Lufttemperatur und der Körpertemperatur von Colocasia odora. — Vergl. auch Julius Sachs: Handb. d. Experimentalphysiologie der Pflanzen. Leipzig 1865. p. 295.

3) Vergl. die Untersuchungen Dutrochets (l. c.) und diejenigen des Verfassers (l. c.)! — Auch Gregor Kraus (Ueber die Blütenwärme bei Arum italicum. Abhandl. d. Naturforsch. Ges. zu Halle. Bd. 16. 1883—1886. I. Teil. p. 37—76; II. Teil. p. 259—358) u. Oskar Hoppe (Beobachtungen der Wärme in der Blütenscheide einer Colocasia odora. Nova Acta. d. Ksl. Leop.-Carol.-Deutsch. Akad. d. Naturforscher. Bd. 41. Halle 1879. p. 199—252) arbeiteten bei annähernd konstanter Temperatur. — Vergl. Julius Sachs: l. c. 1865. p. 293—294.

in seinem vortrefflichen Werke sagt:¹⁾ „Die nächste Ursache dieser Periodizität muss natürlich mit einer periodischen Aenderung in der Aussenwelt verknüpft sein, es ist aber zur Zeit nicht genauer verfolgt, ob etwa die Temperatur in diesem Sinne wirkt“, so können wir diesem Satze nur sehr bedingt beipflichten. Die primäre Ursache für das Wärmemaximum ist die Aussentemperatur auf keinen Fall. Auch der Beleuchtungswechsel kann nicht die unmittelbare Ursache sein, da — wie wir näher erörterten — die Eigenwärmeschwankungen sich auch im Dunkeln Tage lang fortsetzen. Der durch die Belichtung hervorgerufene Assimilationsprozess kann aus demselben Grunde nicht sehr wesentlich in Frage kommen, zumal da auch an chlorophyllfreien Organen dieselbe Erscheinung zu Tage tritt. Die Transpiration schliesslich wird durch die Lichtwirkung vermehrt²⁾, kann also auf den Temperaturverlauf höchstens negativ einwirken. Wir kommen demgemäss auch hier zu dem Schlusse, dass sich die tägliche Amplitude der Eigenwärme als das Endglied einer komplizierten Verkettung physiologischer Vorgänge darstellt. In irgend einer Weise muss natürlich eine Abhängigkeit von der Umwelt vorhanden sein, doch lässt sich darüber nichts sicheres aussagen, zumal da wir über die spezifischen Dispositionen im Zellinnern nicht orientiert sind. Wir müssen uns deshalb auch heute noch dem Urteile von Julius Sachs³⁾ anschliessen: „Nach Dutrochets Angaben ist es sehr wahrscheinlich, dass ausserdem eine in der Pflanze selbst liegende, noch unbekannte Ursache den periodisch wechselnden Betrag der Eigenwärme bestimmt.“

Von Interesse ist die Nachprüfung einiger Versuche Dutrochets durch A. van Beek (1840)⁴⁾, der sich ebenfalls

1) Ludwig Jost: Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. 2. A. Jena 1908. p. 290.

2) Vergl. W. Pfeffer: l. c. 1897—1904. Bd. 1. p. 228; Bd. 2. p. 844.

3) Julius Sachs: l. c. 1865. p. 293.

4) A. van Beek: Température propre des plantes. Compt. rend. Bd. 10. 1840. p. 36—38. — Vergl. H. J. Dutrochet: Note à l'occasion des observations de M. van Beek sur la température propre des plantes.

der thermo-elektrischen Messmethode bediente. Seine Resultate stimmen in allen wesentlichen Punkten mit denen Dutrochets überein. So stellte er bei einer Hyazinthenknospe einen Temperaturüberschuss von $+1,0^{\circ}$ fest. Blätter von *Sempervivum spatulatum* und *Sedum cotyledon* zeigten nur dann eine messbare Eigenwärme, wenn sie noch im Wachs-tume begriffen waren. Dieser Ueberschuss betrug im Maxi-mum bei *Sedum cotyledon* $+0,25^{\circ}$. Dutrochet hatte bei den allermeisten Blättern überhaupt keine Temperaturerhöhung konstatieren können. Nur bei *Sempervivum tectorum* fand er $+0,03^{\circ}$. Dieses Ergebnis ist durchaus verständlich, wenn wir uns vergegenwärtigen, dass die meisten Blätter im Verhältnis zu ihrem Volumen eine ganz ausserordentlich grosse Oberfläche besitzen, die für einen sofortigen Tem-peraturausgleich sorgt. Bei den fleischigen Blättern der *Crassulaceen* liegen die Verhältnisse ungleich günstiger. Der höhere Wert van Beeks findet vielleicht seine Erklärung in dem günstigen Entwicklungszustande des Blattes.

Jacob Schmitz verwandte bei seinen Untersuchungen im Winter 1868¹⁾ eine Methode, die gewissermassen die Mitte hält zwischen der Göppertschen und der von Du-trochet benutzten. Sechs Knospen von *Aesculus hippo-castanum*, die im Februar abgeschnitten und kurze Zeit im Zimmer gehalten waren, wurden in einen geräumigen Glasballon gebracht, dessen Boden mit feuchtem Sande bedeckt war. Neben den Sprossen befand sich zur Ab-sorption der gebildeten Kohlensäure ein Schälchen mit Kalilauge. Das Gefäss wurde durch einen Stopfen, in dem sich ein Lüftungsrohr und ein genaues Thermometer be-fanden, fest verschlossen. Um möglichst konstante Tem-peraturen zu erzielen, wurde der ganze Apparat in einen grossen Wasserbehälter eingesenkt. Zum Vergleich diente ein in entsprechender Weise hergerichteter Glaskolben, der sich in demselben Becken befand. Trotz aller Vorsichts-

Compt. rend. Bd. 10. 1840. p. 47—48. — Vergl. ferner: Jacob Schmitz: l. c. 1870. p. 18 u. 24.

1) Jacob Schmitz: Ueber die Eigenwärme der Pflanzen. Inaug.-Diss. Jena 1870.

massregeln schwankte die Temperatur während der drei Versuchstage (7.—9. Febr.) in dem leeren Raume zwischen $14,40^{\circ}$ und $20,88^{\circ}$. Die Zuverlässigkeit der erzielten Werte muss dadurch naturgemäss beeinträchtigt werden. Der maximale Temperaturüberschuss betrug $1,11^{\circ}$, der minimale $0,22^{\circ}$, der durchschnittliche (berechnet aus 63 Beobachtungen) $0,64^{\circ}$. Wir sehen also, dass die erzielte Eigenwärme geringer ist, als die von Göppert ermittelte, dagegen viel erheblicher als die von Dutrochet festgestellte. Ein derartiges Ergebnis stand zu erwarten, da es sich in den vorliegenden Versuchen um eine viel kleinere Anzahl von Sprossindividuen handelt als bei Göppert, aber um eine grössere als bei Dutrochet. Ein Rückschluss von der Grösse der Temperaturdifferenz auf die Grösse der tatsächlichen Wärmeproduktion ist um so weniger möglich, als die Beobachtungsobjekte sich in einem abgeschlossenen Raume befanden, in dem sich naturgemäss die erzeugte Wärme anhäufen musste. Eine derartige Wärmestauung wirkt ausserdem auch unmittelbar auf die Atmungsintensität ein, die durch sie eine künstliche Steigerung erfährt. Ebenso ist für die Feststellung der täglichen Oszillationen die geschilderte Versuchsanordnung denkbar ungünstig, da die im Glasballon zurückbleibende Wärme infolge des langsamen Ausgleiches nivellierend wirken muss. Obendrein hat Schmitz — abgesehen von einem Tage — seine Messungen in sehr unregelmässigen Abständen vorgenommen. Trotzdem lässt sich wenigstens in der einen Beobachtungsreihe eine geringe Tagesamplitude nicht verkennen.¹⁾

In neuester Zeit wurde die Göppertsche Zusammenhäufungsmethode von Hans Molisch (1908)²⁾ angewendet, um die Eigenwärme ausgewachsener Blätter näher zu studieren. Die Versuchsanordnung war eine sehr einfache.

1) 9^h vorm. $0,22^{\circ}$; 12^h mitt. $0,99^{\circ}$; 11^h abends $0,54^{\circ}$.

2) Hans Molisch: Ueber hochgradige Erwärmung lebender Laubblätter. Bot. Ztg. Bd. 66. I. Abt. 1908. p. 211—233. — Vergl. Just: Jahresber. 1908 (Bd. 36). I. p. 686—687. — Vergl. auch p. 136 u. p. 143 der vorliegenden Arbeit.

Blattmassen von 3—5 kg Frischgewicht wurden in einen Weidenkorb gebracht, der oben mit einem durchbohrten Pappdeckel verschlossen war. Das sehr lange Thermometer ragte weit hervor, während sich das Quecksilbergefäss in der Mitte des Blatthaufens befand. Um Wärmeausstrahlung und Wärmeleitung möglichst zu reduzieren, wurde der ganze Korb in eine geräumige, mit Holzwolle angefüllte Kiste gebracht; die Skala des Thermometers konnte oberhalb des Kistendeckels abgelesen werden.¹⁾ Zur Verwendung kamen frische, unbenetzte Blätter folgender Pflanzen: *Pirus communis*, *Carpinus Betulus*, *Robinia Pseudacacia*, *Tilia spec.*, *Iuglans regia*, *Salix Caprea*, *Cytisus Laburnum*, *Vitis vinifera*, *Canna spec.*, *Hedera Helix*, *Brassica*, *Bergenia spec.*, *Funkia spec.*, *Caladium nymphaefolium*, *Picea spec.*, *Tradescantia viridis*. Die Transpiration war bei allen Versuchen nicht ganz ausgeschaltet, da der Wasserdampf durch die Lücken des Weidengeflechtes in die zahlreichen Hohlräumchen der Holzwolle eindringen konnte. Die Beobachtungen wurden in einem Raume vorgenommen, dessen Temperatur nur geringe Schwankungen aufwies. Die wichtigsten Resultate dieser Untersuchungen sollen zunächst kurz aufgezählt werden:

- 1) Die Blätter vieler Pflanzen erwärmen sich überraschend stark, oft so stark, dass die maximale Temperaturgrenze des Lebens überschritten wird (besonders stark ist die Erwärmung z. B. bei *Robinia Pseudacacia*, *Carpinus Betulus* und *Pirus communis*).
- 2) Im Gegensatz dazu zeigen die Blätter anderer Pflanzen (z. B. *Funkia*, *Caladium nymphaefolium*, *Picea*, *Hedera Helix*, *Bergenia*, *Tradescantia viridis*) eine sehr geringfügige Wärmeproduktion.
- 3) Die Blätter, die sich im abgepflückten Zustande durch eine grosse Haltbarkeit auszeichnen (z. B. immergrüne

1) Handelt es sich um einen Demonstrationsversuch, dessen Effekt zahlreichen Zuschauern anschaulich gemacht werden soll, so verwendet man zweckmässig statt des Thermometers eine tubulierte, unten geschlossene Glasröhre, die mit Aether angefüllt ist. Das Sieden des Aethers beginnt bei $34,5^{\circ}$ (vergl. l. c. p. 217. Hier auch eine Abb.!).

Blätter von Hedera, Picea und Bergenia) scheinen sich stets auch am wenigsten zu erhitzen.

- 4) Der Verlauf der Selbsterwärmung vollzieht sich in folgender Weise: rasches Ansteigen innerhalb der ersten 24 Stunden, dann Absinken für kurze Zeit, erneutes Ansteigen zu einem zweiten Maximum, das das erste noch übertreffen kann, sehr langsames Ausklingen der Eigenwärme.
- 5) Die Maxima der Eigenwärme sind in der nachstehenden Tabelle aufgeführt¹⁾:

Name der Blätter.	I. Maxim.	II. Maxim.	Die höchsten absolut. Temper.
1) Pirus communis:	44,1 ⁰ ;	32,7 ⁰ ;	59,0 ⁰ ;
2) Carpinus Betulus:	29,0 ⁰ ;	22,7 ⁰ ;	51,5 ⁰ ;
3) Robinia Pseudacacia:	27,0 ⁰ ;	33,7 ⁰ ;	57,2 ⁰ ; (2. Max.)
4) Tilia spec.:	32,8 ⁰ ;	34,9 ⁰ ;	52,1 ⁰ ; (2. Max.)
5) Juglans regia:	35,2 ⁰ ;	29,0 ⁰ ;	49,7 ⁰ ;
6) Salix Caprea:	32,6 ⁰ ;	32,6 ⁰ ;	47,6 ⁰ ; (2. Max.)
7) Cytisus Laburnum:	27,6 ⁰ ;	27,1 ⁰ ;	45,6 ⁰ ;
8) Vitis vinifera:	25,3 ⁰ ;	27,1 ⁰ ;	44,3 ⁰ ; (2. Max.)
9) Canna spec.:	18,1 ⁰ ;	—	32,2 ⁰ ;
10) Hedera Helix:	6,6 ⁰ ;	—	23,1 ⁰ ;
11) Brassica (Krautkopf):	0,7 ⁰ ;	—	18,5 ⁰ ;
12) Bergenia spec.:	3,5 ⁰ ;	—	17,0 ⁰ .

- 6) Das erste Maximum ist ausschliesslich durch die Atmungstätigkeit der lebenden Blätter bedingt, während das zweite Maximum dem Auftreten zahlloser Mikroorganismen auf den nunmehr abgestorbenen Blättern zuzuschreiben ist.²⁾
- 7) Das erste Maximum kann sich über den Wärmetod der Blätter hinaus noch kurze Zeit fortsetzen. Die Ursache

1) Hans Molisch: l. c. 1908. p. 222.

2) Dieses Ergebnis steht in einem gewissen Gegensatz zu den Erfahrungen, die J. Behrens mit Geizen von Tabakpflanzen machte. Er fand nur ein Maximum (c. 14⁰), das schon zum grössten Teile auf die Tätigkeit von Bakterien zurückzuführen war. — Vergl. J. Behrens: Weitere Beiträge zur Kenntnis der Tabakpflanze. IX. Ueber Mikroorganismen des Tabaks nach der Ernte. Landwirtschaftl. Versuchstationen. Bd. 46. 1896. p. 165 ff.

hierfür erblickt H. Molisch in postmortalen Oxydationen („tote Oxydation“).¹⁾

8) Angefeuchtete Blätter zeigen nicht nur eine erheblich geringere Temperatursteigerung²⁾, sondern sterben auch schon früher ab als unbenetzte Blätter.

Zur Kritik der Untersuchungsmethode verweisen wir auf unsere Ausführungen über die Göppertschen Experimente.³⁾ Wenn die erzielten Temperaturüberschüsse hier wesentlich höher ausfallen, so liegt das einerseits an der grösseren Quantität des Untersuchungsmaterials, andererseits an der vollkommeneren adiabatischen Umhüllung.⁴⁾ Bei der Verwertung der Beobachtungsergebnisse muss man grosse Vorsicht walten lassen, da die zahlreichen möglichen Fehlerquellen nur sehr schwer kontrollierbar sind.

In erster Linie ist zu berücksichtigen, dass die Lebensverhältnisse der Blätter während des Versuches durchaus pathologisch sind. Die Assimilation ist dauernd sistiert, die Transpiration eingeschränkt, der Stofftransport unterbunden. Die künstliche Wärmestauung vermag nicht nur eine anormale Steigerung der physiologischen Oxydation nach sich zu ziehen, sondern kann möglicherweise den gesamten Stoffwechsel in ungewohnte, krankhafte Bahnen lenken. Es würde keineswegs überraschend sein, wenn unter den genannten Verhältnissen der wahrscheinlich auf enzymatischen Wirkungen beruhende Atmungsprozess durch das Auftreten gewisser Stoffwechselprodukte eine beträchtliche Steigerung erführe. Die stimulierende Wirkung, die manche Gifte (z. B. Formaldehyd) schon bei sehr kleiner Dosis auszuüben vermögen, ist ja genugsam bekannt.⁵⁾

1) Vergl. V. Grafe: Studien über Atmung und tote Oxydation. Sitzungsber. der Ksl. Wiener Akad. d. Wiss. Math.-naturw. Kl. Bd. 114. Abt. I. 1905. p. 183.

2) Das Wasser verstopft einerseits die Spaltöffnungen und sorgt andererseits für eine schnelle Ableitung der Wärme.

3) Vergl. p. 153 der vorliegenden Arbeit.

4) Zu beachten ist auch, dass Göppert z. T. Pflanzen (Pinus, Sedum) benutzte, die sich nur schwach zu erwärmen pflegen.

5) Eine Atmungssteigerung kann z. B. auch durch Anaesthetica und Antipyretica herbeigeführt werden. — Vergl. Jacobi: Flora. Bd. 86. 1899. p. 289. — Zalenski: Bot. Zentralbl. Bd. 95. 1902. p. 251.

In dem angedeuteten Sinne wirkt anfänglich unzweifelhaft auch die Zunahme des CO_2 -Gehaltes in der umgebenden Luft.¹⁾ Ferner ist zu berücksichtigen, dass auch die traumatische Reizung zu erheblichen Störungen führen kann.²⁾ Aus alledem ergibt sich, dass wir bei diesen Versuchen nicht ohne weiteres eine Proportionalität zwischen der beobachteten Selbsterwärmung und der normalen Atmungsintensität annehmen dürfen. Die Unsicherheit der Ergebnisse zeigt sich am deutlichsten in der überraschend kräftigen Wirkung postmortaler Oxydationen. Von ihnen sagt Hans Molisch³⁾: „Eine so bedeutende positive Wärmetönung, wie sie durch postmortale chemische Umsetzungen in Birnenblättern zutage tritt, ist meines Wissens noch nicht beobachtet worden; denn sie ist laut Angabe des Thermometers grösser als die im lebenden Blatte zustande gekommene. Ob diese postmortalen Umsetzungen zum Teil schon im lebenden Blatte Platz greifen und neben der Atmung parallel verlaufen oder mit ihr verkettet sind, lässt sich nicht ohne weiteres sagen; jedenfalls erreichen sie im toten Blatte ein Maximum und gehen dann wieder zurück.“ Mit diesen Ausführungen in auffälligem Wider-

1) Vergl. Ludwig Jost: l. c. 2. A. Jena 1908. p. 233. — Uebersteigt der Prozentgehalt an CO_2 schliesslich eine gewisse Grenze, so wird er allerdings die umgekehrte Wirkung ausüben.

2) Vergl. Hans Molisch: l. c. 1908. p. 223. — Vergl. ferner J. Böhm: Über die Respiration der Kartoffel. Botan. Ztg. Jahrg. 1887. p. 686. — J. Böhm: Verhandl. der zoolog.-botan. Ges. in Wien. Bd. 42. 1892. p. 47ff. — J. Böhm: Bot. Zentralbl. Bd. 1. 1892. p. 202. — C. Stich: Die Atmung der Pflanze bei verminderter Sauerstoffspannung und bei Verletzungen. Flore 1891. p. 15. — W. Pfeffer: Die Steigerung der Atmung und der Wärmeproduktion nach Verletzung lebensfähiger Pflanzen. (Traumatische Reaktionen, welche von Dr. H. M. Richards im bot. Inst. näher studiert wurden.) Berichte üb. d. Verhandl. d. Kgl. Sächs. Ges. d. Wissensch. zu Leipzig. Math.-physische Kl. Bd. 48. 1896. p. 384—389. — Herbert Maule Richards: The respiration of wounded plants. Annals of Botany. Bd. 10. 1896. p. 531—582. — Smirnoff: Rev. gén. de Bot. Bd. 15. 1903. p. 26. — Krasnosselski: Berichte d. deutsch. bot. Ges. Bd. 23. 1905. p. 142. — Ludwig Jost: l. c. 2. A. Jena 1908. p. 233.

3) Hans Molisch: l. c. 1908. p. 219.

spruch steht eine andere Stelle der Arbeit, an der es heisst¹⁾: „Die Selbsterhitzung lebender Blätter bis zur oberen Temperaturgrenze des Lebens stellt ein merkwürdiges Beispiel dafür dar, dass ein lebendes Gebilde durch eine normale Funktion, durch die Atmung, ums Leben kommen kann.“ Man wird zugestehen müssen, dass der Ausdruck „normale Funktion“ hier nicht am Platze ist. Aus den vorstehenden Erörterungen geht weiter hervor, dass wir die Ursache für die nur unbedeutende Selbsterwärmung mancher Blätter nicht ausschliesslich in deren geringfügigen Atmung suchen dürfen. Allerdings soll damit nicht in Zweifel gezogen werden, dass der physiologischen Verbrennung der Haupteinfluss zuzuschreiben ist.²⁾

Einen wertvollen Ausbau erhalten die Beobachtungen durch die Versuche, die Hans Molisch mit abgeschnittenen, beblätterten Zweigen von *Carpinus Betulus* und *Robinia Pseudacacia* anstellte. Hierbei befanden sich die Blätter im normalen Zusammenhange mit den Achsenorganen, und auch die Wundwirkung war wesentlich verringert. Ein Zweigbündel von 1,30 m Höhe und 0,30 m Breite ergab bei *Carpinus* innerhalb von 15 Stunden eine Plusdifferenz von 10,9°. Mit einem Bündel armlanger Sprosse von *Robina* im Gesamtgewicht von 11,5 kg wurde ein Temperaturüberschuss von 20,0° (in 12 Stunden) erzielt.³⁾

Von grossem Interesse ist die schnelle Zunahme der Mikroflora nach dem Absterben der Blätter.⁴⁾ Wahrscheinlich sind es hinausdiffundierende Stoffe, die — wenigstens zunächst — als Nährmaterial in Betracht kommen.⁵⁾ Die intensive Atmung der Mikroorganismen im Verein mit Pro-

1) Hans Molisch: l. c. 1908. p. 215.

2) Vergl. p. 138 der vorliegenden Arbeit.

3) Die Versuchsanordnung war die gleiche wie bei den früheren Versuchen.

4) H. Molisch konnte mikroskopisch feststellen, dass eine erhebliche Zunahme der Bakterien und Schimmelpilze stets erst nach dem Überschreiten des ersten Maximums stattfand.

5) Vergl. Max Düggeli: Beitrag zur Kenntnis der Selbsterhitzung des Heues. Naturwiss. Zeitschr. f. Land- u. Forstwiss. Bd. 4. 1906. p. 466—478 u. 489—506.

zessen rein chemischer Natur ruft dann das zweite Maximum hervor. Die Bedingungen für das Zustandekommen der bakteriellen Tätigkeit sind nach H. Miede:¹⁾

- 1) Genügende Grösse der Blattmasse.
- 2) Ausreichender Feuchtigkeitsgrad.
- 3) Vorhandensein löslicher organischer Stoffe.
- 4) Zutritt von Sauerstoff.
- 5) Gegenwart von Bakterien.

Welche Bakterienarten hierbei in Betracht kommen, ist hauptsächlich beim Heu näher untersucht worden.²⁾ Hier sei nur erwähnt, dass mehrere scharf getrennte Mikroflora aufeinander folgen. *Bacillus coli forma foenicola* treibt zunächst die Temperatur bis auf $+40^{\circ}$; dann stirbt er ab und findet in *Bacillus calfactor* einen Nachfolger, durch den eine Steigerung bis auf $+70^{\circ}$ erreicht wird.³⁾ Bactericide Stoffwechselprodukte und zu starke Erwärmung bereiten schliesslich allen Saprophyten den Untergang, so dass sich als Endresultat eine „Selbststerilisation“ des Heues ergibt.

1) H. Miede: Die Selbsterhitzung des Heues. Eine biologische Studie. Jena 1907.

2) Ausser den vorstehenden Arbeiten sind noch zu nennen. H. Miede: Über die Selbsterhitzung des Heues. Anhang zu F. Falke: Die Braunheubereitung. 2. A. (Arbeiten d. deutsch. landw. Ges. 1905. Heft 111. p. 76—91.) — H. Miede: Über Selbsterhitzung. Mediz. Klinik. Bd. 18. 1907. (Ref. im Zentralbl. f. Bakt. II. Abt. Bd. 20. 1907. p. 162 und in Just: Jahresber. Bd. 36. Abt. I. 1907. p. 725.) — F. W. J. Boekhout u. J. J. Ott. de Vries: Über Selbsterhitzung des Heues. Zentralbl. f. Bakt. Bd. 18. II. Abt. 1907. p. 27—29. — F. W. J. Boekhout u. J. J. Ott. de Vries: Über die Selbsterhitzung des Heues. Zentralbl. f. Bakt. Bd. 21. II. Abt. 1908. p. 398—407. — Medem: Ueber Selbstentzündung und Brandstiftung. Heft 5: Presskohlen. Heu. Greifswald 1904.

3) Bekannt ist die Selbstentzündung des Heues. Zur Selbstentzündung ist eine Temperatur von c. $+300^{\circ}$ notwendig. Daraus geht hervor, dass die Bakterien nicht unmittelbar die Ursache der Entzündung sein können. Die Temperaturzunahme über $+70^{\circ}$ hinaus beruht wahrscheinlich auf Oxydationsprozessen, bei denen das in der Pflanze vorhandene Eisen als Katalysator wirkt. (Vergl. hierüber die zitierten Arbeiten von Boekhout u. de Vries!)

Zum Schlusse sei auf einen Versuch verwiesen, den ich selber im Oktober 1904 ausführte. Als Untersuchungsobjekt diente eine kräftige, von unten an stark verzweigte Cinerarie, deren Knospen kurz vor dem Aufblühen standen. Die Höhe der Pflanze über der Erde mass 33,5 cm, die Höhe der Pflanze mit Topf 43 cm. Das Laubwerk bestand aus c. 40 ausgewachsenen Blättern. Die Pflanze befand sich bei Beginn der Untersuchung schon seit 24 Stunden in einem Zimmer von annähernd konstanter Temperatur.¹⁾ Ein genau kalibriertes Thermometer wurde in die reichlich angefeuchtete Erde des Blumentopfes eingesenkt, während ein zweites Thermometer mitten zwischen den Blättern der Pflanze aufgehängt wurde. Die Messung des Temperaturzustandes im Innern der Sprosse wurde mit Hilfe einer Thermonadel (Konstantan-Eisen) ausgeführt.²⁾ Das Thermoelement war durch eine längere Drahtleitung³⁾ an ein Widemannsches Spiegelgalvanometer angeschlossen, das sich in einem Vorraume befand. Auf diese Weise konnte man zunächst die Differenz zwischen Innen- und Aussen-temperatur feststellen, ohne das in unmittelbarer Nähe der Pflanze befindliche Thermometer zu alterieren. Die Astatierung des Galvanometers wurde von aussen mit Hilfe eines kräftigen Stabmagneten bewirkt. Der innere Widerstand des Apparates wurde durch die Nebeneinschaltung kleiner Spulen möglichst herabgesetzt. Der Abstand der am Fernrohr befestigten Skala vom Spiegel betrug 2 m. Bei der Kalibrierung der Nadel ergab sich als Mittelwert für 1 Skalenteil eine Differenz von 0,0739°. Die eine Lötstelle des Thermoelementes⁴⁾ wurde in einen grünen Spross von 0,44 cm Durchmesser 12 cm von der

1) Vergl. E. Leick: l. c. 1910. p. 75. — In diesem Falle schwankte die Temperatur innerhalb von 24 Stunden zwischen 12,4° und 12,0°.

2) Länge des Konstantandrahtes der Nadel 12 cm, Durchmesser 1 mm. Länge der Eisendrähte an der Nadel 30 cm, Durchmesser ebenfalls 1 mm.

3) Länge der Leitung bis zur Schaltvorrichtung 12 m, von dieser bis zum Galvanometer 6 m. Dicke der benutzten Drähte 0,9 mm.

4) Beide Lötstellen waren mit Firnis überzogen.

obersten Knospe entfernt und 21 cm oberhalb des Erdbodens in der Mitte des Internodiums eingestossen. Die freie Lötstelle befand sich etwa 10 cm von der Pflanze entfernt und war von dieser durch einen Pappschild getrennt.¹⁾ Es wurden nur zwei Ablesungen ausgeführt, da ich für später eine noch günstigere Versuchsanordnung beabsichtigte. Am Vormittage zeigte der Untersuchungsraum $12,0^{\circ}$, der Spross dagegen war um $0,31^{\circ}$ kühler (seine Temperatur betrug $11,69^{\circ}$!). Vergleich man aber diese Innentemperatur mit der zwischen dem Laubwerk der Pflanze gemessenen, so ergab sich eine Eigenwärme von $0,09^{\circ}$. Am Mittage desselben Tages zeigte sich zwischen Zimmer und Spross eine negative Differenz von $0,27^{\circ}$, dagegen zwischen Laubwerk und Sprossinnern eine positive Differenz von $0,18^{\circ}$. Gegenüber dem Erdreich war der Spross im ersten Falle um $0,24^{\circ}$, im zweiten um $0,38^{\circ}$ wärmer. Ihrer geringen Zahl wegen fallen die vorstehenden Angaben nicht wesentlich ins Gewicht, immerhin gewinnen sie durch den Vergleich mit den aus früheren Beobachtungen ermittelten Werten etwas an Bedeutung. Sie zeigen uns, ebenso wie die umfangreichen Untersuchungen Dutrochets es getan haben, dass die Temperatur der vegetativen Organe des Pflanzenkörpers in erster Linie von der Temperatur der Umgebung abhängt. Der schnelle Temperaturengleich und die meist recht lebhafteste Transpiration bewirken es, dass die tatsächlich vorhandene, aber wahrscheinlich nur wenig ausgiebige Wärmeproduktion in den meisten Fällen nicht einmal ausreicht, einer Temperatureniedrigung wirksam entgegenzutreten. Das thermische Verhalten der Vegetationsorgane entspricht somit in allen wesentlichen Punkten demjenigen der poikilothermen Tiere.

1) Diese Vorsichtsmaßregel erwies sich als sehr notwendig, da die Pflanze infolge der Transpiration dauernd von einer Schicht kälterer Luft umgeben war.

Berichtigung.

Seite 142 Note 2 Zeile 2 lies statt p. 27: p. **153** und statt
p. 42: p. **168**.

Seite 143 Note 4 Zeile 4 lies statt p. 43: p. **169**.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen aus dem naturwissenschaftlichen Vereine von Neu-Vorpommern und Rügen](#)

Jahr/Year: 1911

Band/Volume: [43](#)

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

Artikel/Article: [Ueber das thermische Verhalten der Vegetationsorgane 127-174](#)