

Über den Temperaturzustand verholzter Achsenorgane.

Von

Erich Leick, Greifswald.

Chronologische Literaturübersicht.

In diesem Verzeichniss sind nicht nur die Originalarbeiten aufgeführt, sondern auch die Werke umfassenderen Inhaltes, die das Problem der Pflanzeneigenwärme berühren.

- 1) 1775. John Hunter: Experiments of animals and vegetables, with respect to the power of producing heat. Philosoph. Transactions. Bd. 65. 1775. Teil I. p. 446-458. — Übersetz. ins Franz.: Observat. sur la physique etc. p. Rozier. Bd. 9. 1777. p. 294. — Übersetz. ins Deutsche: Leipziger Samml. zur Phys. u. Naturgesch. Bd. 1. 1779. p. 420-436.
- 2) 1778. John Hunter: Of the heat of animals and vegetables. Philosoph. Transactions. Bd. 68. Teil I. 1778. p. 7-49. — Übersetz. ins Franz.: Observat. sur la physique etc. p. Rozier. Bd. 17. 1781. p. 12-23 u. 116-128.
- 3) 1788. Joh. David Schoepf: Über die Temperatur der Pflanzen. Der Naturforscher. 23. Stück. Halle 1788. p. 1-36.
- 4) 1790. A. Bierkander: Gazette de littérature de Jena. 1790. p. 638.¹⁾

1) Trotz größter Mühe ist es mir nicht gelungen, eine Zeitschrift mit dem angegebenen Titel ausfindig zu machen. Ich muß also auf die Quellen verweisen, aus denen ich geschöpft habe: 1. Senebier: Bd. 3. p. 311. — 2. Rameaux: p. 6. — In der allgemeinen Literaturzeitung von 1790 ist die Arbeit nicht enthalten!

- 5) 1794. Uslar: Fragmente neuerer Pflanzenkunde. Braunschweig 1794. p. 79.
- 6) 1800-1801. Jean Senebier: Physiologie végétale. 3 Bde. 1801. Genèvres 1800-1801. Besonders: Bd. 3. 1801. p. 317.
- 7) 1803. Salomé: Observations sur la température interne des végétaux, comparée à celle de l'atmosphère. Annales de chim. Bd. 40. 1803. p. 113-122. — Übers.: Hermbstaedt's Archiv d. Agrikulturchemie. Bd. 2. 1805. p. 154-160. — Allgem. Journ. d. Chem. von Scherer. Bd. 5. p. 686-692.
- 8) 1803. Hassenfratz: Sur la nutrition des végétaux. Ann. de chim. (1792?) — Übers.: Hermbstaedt's Archiv d. Agrikulturchemie. Bd. 1. Berlin 1803. p. 113.
- 9) 1804. Théodore de Saussure: Recherches chimiques sur la végétation. Paris 1804.
- 10) 1806. Fontana: Über die Wärme, Farbe und Empfindung der Pflanzen. Neues Journal d. ausländ. mediz.-chirurg. Literatur. Hrsgb. von Harles u. Ritter. Erlangen 1806. Bd. 5. St. 2. p. 45-68.
- 11) 1807. Slevogt: Beiträge zu Salomé's Bemerkungen über die innere Wärme der Vegetabilien, verglichen mit der der Atmosphäre. Hermbstaedt's Archiv der Agrikulturchemie. Bd. 3. Berlin 1807. p. 46.
- 12) 1808. S. F. Hermbstaedt: Über die Fähigkeit der lebenden Pflanzen, im Winter Wärme zu erzeugen. Magazin der Ges. naturforsch. Freunde zu Berlin. 2. Jahrg. 1808. p. 316.
- 13) 1808. S. F. Hermbstaedt: Grundsätze der experimentellen Kameral-Chemie. Berlin 1808. p. 323.
- 14) ? S. F. Hermbstaedt: Über Zuckergewinnung aus einheimischen Gewächsen. Gehlens Journ. für Phys. etc. Bd. 8. p. 593-594.
- 15) 1809. Nau: Hat man bis jetzt durch Versuche und Beobachtungen eine eigentümliche Wärme in Gewächsen erwiesen? Annalen der Wetterauischen Gesellschaft für die gesamte Naturkunde. Bd. 1. 1809. p. 27-37. — Übers. ins Franz.: Journ. de phys., de chem. et d'histoire nat. 1811. p. 193.
- 16) 1810. Willdenow: Grundriß der Botanik. Berlin 1810. p. 374.
- 17) 1811. Balde: Asklepeion oder allgem. mediz.-chirurg. Wochenblatt. Hrsgb. von Wolfart. Berlin 1811. p. 275-287 u. p. 297-301. — Es handelt sich hier scheinbar um ein dreistes Plagiat der oben angeführten Nau'schen Arbeit.

- 18) 1817. G. Schübler: Die physischen Eigenschaften der Erden. Landwirtsch. Blätter von Hofwyl. Hrsgb. von v. Fellenberg. Aarau 1817. p. 5-98. — Auszug: J. S. C. Schweigger's Journ. für Physik u. Chemie. Bd. 2. 1817. p. 189-215. (Die Arbeit enthält eine Tabelle aus der „Bibliothèque britannique“!)
- 19) 1818. Gottfried Reinhold Treviranus: Biologie oder Philosophie der lebenden Natur für Naturforscher und Ärzte. Bd. 5. Göttingen 1818. p. 1-20 (§ 1. „Wärme der Pflanzen.“).
- 20) 1819. J. Ed. Smith: Anleitung zum Studium der Botanik. Übers. von J. H. Schultes. Wien 1819. p. 71.
- 21) 1823-1828. Carl Heinrich Schultz: Die Natur der lebendigen Pflanze. Erweiterung und Bereicherung der Entdeckungen des Kreislaufs im Zusammenhange mit dem ganzen Pflanzenleben, nach einer neuen Methode dargestellt. Bd. 1. Berlin 1823. Bd. 2. („Die Fortpflanzung und Ernährung der Pflanzen.“) Stuttgart u. Tübingen 1828.
- 22) 1824. F. Strauß: Grundlehren der allgemeinen Chemie in Anwendung auf das Forstwesen. Erfurt und Gotha 1824. p. 213.
- 23) 1826. F. A. Halder: Beobachtungen über die Temperatur der Vegetabilien. Inaug.-Diss. Tübingen 1826. — Die hier angegebenen Versuche scheinen größtenteils von G. Schübler ausgeführt zu sein.¹⁾
- 24) 1827. G. Schübler: Beobachtungen über die Temperatur der Vegetabilien und einige damit verwandte Gegenstände. Poggendorf's Annalen der Physik u. Chemie. Bd. 10. Leipzig 1827. p. 581-592. — Es handelt sich um einen Abdruck der Halder'schen Dissertation!
- 25) 1829. Ludolph Christian Treviranus: Entwickelt sich Licht und Wärme beim Leben der Gewächse? Zeitschr. für Physiologie. Hrsgb. von Tiedemann, G. R. u. L. C. Treviranus. Bd. 3. Darmstadt 1829. p. 257-268.
- 26) 1829. W. Neuffer: Untersuchungen über die Temperaturveränderungen der Vegetabilien und verschiedene damit in Beziehung stehende Gegenstände. Inaug.-

1) Daraus erklärt es sich auch wohl, daß an vielen Stellen (z. B. bei Göppert, Dutrochet, Pfeffer) G. Schübler als Verfasser angegeben wird. In Wirklichkeit stammt die Dissertation von Halder und ist nur unter dem Präsidium von Schübler gedruckt.

104 *E. Leick: Über den Temperaturzustand verholzter Achsenorgane.*

- Diss. Tübingen 1829. — Auch hier handelt es sich wohl z. T. um Schüblersche Untersuchungen!
- 27) 1830. H. R. Göppert: Über die Wärmeentwicklung in den Pflanzen, deren Gefrieren und die Schutzmittel gegen dasselbe. Breslau 1830.
- 28) 1832. H. R. Göppert: Über Wärmeentwicklung in der lebenden Pflanze. Ein Vortrag. Wien 1832.
- 29) 1832. A. P. de Candolle: *Physiologie végétale, ou exposition des forces et des fonctions vitales des végétaux*. 3 Bde. Paris 1832. — Aus dem Franz. übersetzt u. mit Anm. versehen von Joh. Röper. Stuttgart u. Tübingen 1833.
- 30) 1836. Gottl. Wilhelm Bischoff: *Lehrbuch der Botanik*. Bd. 2. I. Teil. Allgem. Bot. (5. Bd. d. Naturgesch. d. drei Reiche.) Stuttgart 1836. Besonders: p. 448-449.
- 31) 1838. Meyen: *Neues System der Pflanzenphysiologie*. Bd. 2. Berlin 1838.
- 32) 1840. 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. (Cap. I, § 1. „De la chaleur propre des tiges végétales.“ p. 13-49.) — Hier ist auch die ältere Literatur eingehend besprochen!
- 33) 1843. Rameaux: *Des températures végétales*. Ann. d. sc. nat. (2) Bot. Bd. 19. 1843. p. 5-35.
- 34) 1845. Ludwig Adolf Neugebauer: *De calore plantarum*. Inaugural-Diss. Breslau 1845.
- 35) 1846. H. W. Dove: *Über den Zusammenhang der Wärmeveränderungen der Atmosphäre mit der Entwicklung der Pflanzen*. Berlin 1846.
- 36) 1854. Krutsch: *Untersuchungen über die Temperatur der Bäume im Vergleich zur Luft- und Bodentemperatur*. Jahrbuch d. Kgl. Sächs. Akad. für Forst- und Landwirtschaft zu Tharand. Bd. 10. (2. Folge: Bd. 3.) 1854. — Hier finden sich zahlreiche Angaben über ältere Literatur!
- 37) 1858. Becquerel: *Du thermomètre électrique et de son emploi pour la détermination de la température de l'air, de celle de la terre et des végétaux*. Compt. rend. Bd. 47. 1858. p. 717-848.
- 38) 1860. Becquerel: *Wilda's Zentralbl.* 1860. p. 325. (Untersuchungen von Bravais u. Thoma.)
- 39) 1865. Julius v. Sachs: *Handbuch der Experimental-Physiologie der Pflanzen*. 4. Bd. von Hofmeister: *Handb. der physiologischen Bot.* Leipzig 1865.

- 40) 1867. Wilhelm Schumacher: Die Physik der Pflanze. Ein Beitrag zur Physiologie, Klimatologie und Kulturlehre der Gewächse. Berlin 1867. Besonders: p. 394-396.
- 41) 1870. Jacob Schmitz: Über die Eigenwärme der Pflanzen. Inaugural-Diss. Jena 1870.
- 42) 1873. Vonhausen: Untersuchung über den Rindenbrand der Bäume. Allgem. Forst- und Jagdzeitung. 1873.
- 43) 1873. Th. Hartig: Über die Temperatur der Baumlucht. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung. Januar 1873. — Just's bot. Jahresber. **1.** Jahrg. 1873. p. 508-509.
- 44) 1874. Th. Hartig: Über die Temperatur der Baumlucht im Vergleich zur Bodenwärme und zur Wärme der den Baum umgebenden Luftschichten. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung. 1874. p. 145-152. — Just's bot. Jahresber. **2.** Jahrg. 1874. p. 760.
- 45) 1880. Hermann Müller-Thurgau: Über das Gefrieren und Erfrieren der Pflanzen. I. Teil. Landwirtschaftl. Jahrbücher. Bd. **9.** 1880. p. 134-189.
- 46) 1881. Hoffmann: Zum Frostphänomen des Winters 1879-1880. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung. 1881. — Ref.: Bot. Zentralblatt. Bd. **9.** 1882. p. 126.
- 47) 1883. Egon Ihne: Über Baumtemperatur unter dem Einfluß der Insolation. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung. (Supplem.) Bd. **12.** 1883. Heft 4. (Juli.) — Ref.: Bot. Zentralblatt. Bd. **15.** 1883. p. 231.
- 48) 1886. Hermann Müller-Thurgau: Über das Gefrieren und Erfrieren der Pflanzen. II. Teil. Landwirtschaftl. Jahrb. Bd. **15.** 1886. p. 453-609.
- 49) 1887. Julius v. Sachs: Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. 2. Aufl. 1887.
- 50) 1892. R. Hartig: Die Erhitzung der Bäume nach völliger oder teilweiser Entnadelung. Forstl. naturwissenschaftl. Zeitschr. 1892. Heft 3, 10, 12.¹⁾
- 51) 1892. W. Pfeffer: Studien zur Energetik der Pflanze. Abhandl. der math.-phys. Klasse d. Kgl. Sächs. Ges. d. Wiss. Bd. **18.** (Bd. 31 d. ges. Abhandl.) Leipzig 1892. p. 151-276.
- 52) 1894. Prinz: Botan. Jahresber. 1894. Teil I. p. 226.
- 53) 1897. Hans Molisch: Untersuchungen über das Erfrieren der Pflanzen. Jena 1897.

1) Da mir die genannte Zeitschrift nicht zugänglich war, zitiere ich nach W. Pfeffer: Bd. **2.** 2. Aufl. 1904. p. 849 u. W. Neger: Biologie der Pflanzen. Stuttgart 1913. p. 82.

- 54) 1897. Büsgen: Bau und Leben der Waldbäume. 1897.
 - 55) 1901. Passerini: Nuovo giornale botan. italiano. Bd. 8.
1901. p. 69. (Angegeben bei W. Pfeffer: Bd. 2.
2. Aufl. 1904. p. 848 u. W. Neger: 1913 p. 87
Anm.!)
 - 56) 1903. Max Verworn: Allgemeine Physiologie. Ein Grund-
riß der Lehre vom Leben. 4. Auflage. Jena 1903.
 - 57) 1904. W. Pfeffer: Pflanzenphysiologie. Ein Handb. der
Lehre vom Stoffwechsel und Kraftwechsel in der
Pflanze. 2. Aufl. 2 Bde. Leipzig 1897-1904. Be-
sonders: Bd. 2. p. 828-851.
 - 58) 1906. Julius Wiesner: Anatomie und Physiologie der
Pflanzen. (1. Bd. der „Elemente der wissenschaftl.
Bot.“) 5. Aufl. Wien 1906. Besonders: p. 325-330.
 - 59) 1908. Ludwig Jost: Vorlesungen über Pflanzenphysio-
logie. 2. Aufl. Jena 1908. Besonders: p. 289-292.
 - 60) 1908. Julius Wiesner: Versuche über die Wärmever-
hältnisse kleiner von der Sonne bestrahlter Pflanzen-
organe. Ber. d. deutsch. bot. Ges. 1908.
 - 61) 1910. Erich Leick: Untersuchungen über die Blüten-
wärme der Araceen. Greifswald 1910.
 - 62) 1911. Erich Leick: Über das thermische Verhalten der
Vegetationsorgane. Mitteilungen aus dem natur-
wissensch. Verein für Neuvorpommern und Rügen.
Bd. 43. 1911. p. 127-174.
 - 63) 1911. August Pütter: Vergleichende Physiologie. Jena
1911. Besonders: p. 384-400 u. p. 494-495.
 - 64) 1913. W. Neger: Biologie der Pflanzen auf experimen-
teller Grundlage (Bionomie). Stuttgart 1913. Be-
sonders: p. 80-87.
 - 65) ? John: Neue chemische Untersuchungen minerali-
scher, vegetabilischer und animalischer Substanzen.
(Angegeben bei G. R. Treviranus: Biologie oder
Philosophie d. lebenden Nat. f. Naturforscher u.
Ärzte. Göttingen 1818. Bd. 1. p. 1-20 und bei
H. R. Göppert: Über die Wärmeentwicklung in
den Pflanzen. Breslau 1830. p. 173.)
 - 66) ? Bibliothèque britannique. Meteorologische Ta-
bellen. — Fortlaufende Angaben über die Tem-
peratur im Innern eines Baumstammes. (Ange-
geben bei Senebier, H. R. Göppert u. Rameaux!)
-

Verholzte Pflanzenteile sind die denkbar ungünstigsten Objekte für den Nachweis einer physiologischen Wärmeproduktion. Nahezu der gesamte Holzkörper eines Baumstammes oder eines Zweiges besteht aus Zellen, deren Lebenstätigkeit bereits vollkommen erloschen ist.¹⁾ Die äussere Rindenschicht oberhalb des Phellogens setzt sich ebenfalls aus toten, luftführenden Zellen zusammen. Intakte Protoplasten haben nur die innere Rinde und die Teilungsmeristeme, Cambium und Phellogen, sowie die allerjüngsten Holz- und Bastzellen aufzuweisen. Hier allein können sich also vitale Prozesse, insonderheit wärmeentbindende Oxydationsvorgänge abspielen. Bei weitem am stärksten sind die Wachstumserscheinungen im Cambium, das dementsprechend durch einen lebhaften Stoffwechsel und eine intensive Sauerstoffatmung ausgezeichnet ist. Die Folge davon muss notwendig eine mehr oder weniger erhebliche Wärmeproduktion sein; denn wir wissen mit Sicherheit, dass bei den Energietransformationen, die durch die Atmung eingeleitet werden, stets ein Teil der disponiblen Energie in Wärme umgesetzt wird.²⁾ Der Einfluss dieser Wärmeproduktion auf den Temperaturzustand des ganzen Stammes hängt aber in erster Linie von der Zahl der lebensfähigen Zellen, von der Masse der indifferenten Gewebe und von der Schnelligkeit des Temperatúrausgleiches ab. Der anatomische Bau des Stammes lehrt uns, dass die Cambialschicht nur aus wenigen Zellagen besteht, die zwischen sehr umfangreichen, toten Gewebekomplexen eingebettet liegen. Die durch die Atmung erzeugte Wärme wird daher sofort durch Leitung nach allen Richtungen hin ausgebreitet und erzeugt infolgedessen nur eine so minimale Temperatur-

1) W. Pfeffer: „Da nur die lebendigen Zellen atmen und Wärme produzieren, so ist klar, daß Organe, in denen sich viele tote oder in geringem Grade tätige Zellen befinden, eine nur geringe Temperatursteigerung selbst dann erfahren, wenn eine Anzahl von Zellen sehr energisch arbeitet.“ Handb. 2. Aufl. B. 2. 1904. p. 830.

2) Vgl. E. Leick: Untersuchungen über die Blütenwärme der Araceen. Greifswald 1910. p. 53 und 54. — W. Pfeffer: Handb. d. Pflanzenphys. 2. Aufl. Bd. 2. 1904. p. 831. — L. Jost: Vorlesungen über Pflanzenphys. 2. Aufl. Jena 1908. p. 291.

steigerung der ganzen Masse, dass sie praktisch nicht mehr nachweisbar ist. Wenn wir noch in Betracht ziehen, dass im Holzkörper, oder doch wenigstens in seiner Splintschicht, ununterbrochen der Saftstrom aufwärts steigt, dass sich in einem Teile der Phloënzellen die in den Blättern gebildeten Eiweissmassen abwärts bewegen, so ist ohne weiteres klar, dass hierdurch ein schneller Temperaturausgleich geschaffen werden muss. Besonders der den Stamm passierende Transpirationsstrom übt eine nicht zu unterschätzende Wirkung aus. Ist doch nach den Angaben Rameaux's¹⁾ ein transpirierender Baum um 10° kälter als ein abgestorbener, und wird doch — wie wir den Untersuchungen Th. Hartig's²⁾ entnehmen — durch die Entfaltung der Knospen die Temperatur des Stamminnern erheblich herabgemindert. Endlich muss in diesem Zusammenhange auch der Beobachtung R. Hartig's³⁾ gedacht werden, nach der die Entblätterung der Baumkrone infolge Aufhörens der Transpiration eine Erhöhung der Stammtemperatur zur Folge hat.⁴⁾

1) Vergl. p. 130 der vorliegenden Arbeit! 2) Vergl. p. 133 der vorliegenden Arbeit! 3) Vergl. p. 135 der vorliegenden Arbeit!

4) Vergl. hierüber auch W. Neger: Biologie der Pflanzen auf experimenteller Grundlage. Stuttgart 1913. p. 83. — Man vergleiche mit den oben angeführten Beispielen die Ergebnisse, die Askenasy (Botan. Zeitung. Jahrg. 1875. p. 441 ff.) an Xerophyten und Mesophyten bei direkter Sonnenbestrahlung gewonnen hat:

		Temp. d. Pfl.	Temp. d. Luft.	Differenz.
Xerophyten	Sempervivum alpinum:	49° C	31° C	+ 18° C
	" ":	52° C	28° C	+ 24° C
	Sempervivum arenarium:	49° C	28° C	+ 21° C
	Opuntia Raffinesquiana:	43° C	28° C	+ 15° C
Mesophyten	Aubrietia deltoides:	35° C	31° C	+ 4° C
	Gentiana cruciata:	35° C	28° C	+ 7° C

Daraus ergibt sich deutlich, dass die Gewächse mit stärkerer Transpiration infolge der Verdunstung eine ganz erhebliche Abkühlung erfahren. — Vergl. auch Erich Leick: Über das thermische Verhalten der Vegetationsorgane. Mitteilungen aus d. naturwiss. Verein für Neuvorpommern u. Rügen. Bd. 43. Greifswald 1911. p. 146.

Schliesslich kommt auch noch durch die Ausstrahlung¹⁾ und durch die selbst im Stamme nicht vollkommen unterdrückte Transpiration ein Wärmeverlust zustande. Aus allem geht mit vollkommener Sicherheit hervor, dass in Anbetracht der physikalischen Verhältnisse die Wärmeproduktion des Cambiums für den Temperaturzustand des ganzen Stammes garnicht nennenswert in Frage kommen kann.²⁾ Die übrigen wärmebildenden Prozesse, die sonst noch im Stamme vor sich gehen müssen, wie z. B. die Reibung bei der Flüssigkeitsbewegung in den Capillaren, können noch viel weniger in Rechnung gesetzt werden.³⁾ Es muss dem-

1) Der Wärmeverlust durch Strahlung ist allerdings bei den Achsenorganen meist sehr viel geringer als bei den Blättern, die nicht nur eine im Verhältnis zu ihrem Volumen grössere Oberfläche zu besitzen pflegen, sondern auch durch ihre mehr horizontale Lage einen viel ansehnlicheren Wärmeverlust erfahren. Julius Wiesner sagt hierüber (*Anatom. u. Physiol. d. Pfl.* 1906. p. 330.): „Die Wärmeausstrahlung ist namentlich in klaren Nächten eine beträchtliche und unter übrigens gleichen Verhältnissen desto grösser, je mehr sich der betreffende Pflanzenteil der horizontalen Lage, und desto geringer, je mehr er sich der vertikalen Lage nähert, da die Grösse der Ausstrahlung mit dem Kosinus des Neigungswinkels wächst (Leslie-Fouriersches Gesetz).“

2) Durchaus zutreffend bemerkt daher J. Sachs (*Handb. d. Experimental-Physiologie der Pflanzen.* 1865. p. 49.): „Obwohl in jeder Pflanze beständig durch Aufnahme von Sauerstoff und Bildung von Kohlensäure in den wachsenden Geweben Wärme frei wird und zur Temperaturerhöhung des Gewebes beitragen muß und in manchen Fällen wirklich in auffallendem Grade beiträgt, so ist doch im allgemeinen die Ausgiebigkeit dieser Wärmequelle so überaus gering, daß sie gegenüber den anderen Ursachen, welche die Temperatur im Innern der Pflanze bestimmen, für den hier verfolgten Zweck (Bestimmung der Temperatur im Innern der Pflanzenteile) ganz übersehen werden darf“. — Vgl. auch den Abschnitt über Atmung l. c. p. 263-290. — A. Pütter: *Vergleichende Physiologie.* Jena 1911. „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) Julius Wiesner: *Anatomie und Physiologie der Pflanzen.* 5. Aufl. Wien 1906. p. 328-329. „Bezüglich der physikalischen Vor-

nach als müssig bezeichnet werden, auf dem Wege direkter thermometrischer Messung eine Wärmeerzeugung in verholzten Pflanzenteilen nachweisen zu wollen.

Wenn frühere Forscher¹⁾ geglaubt haben, es fände im Stamme — ebenso wie im gesamten Pflanzenkörper — eine selbsttätige Wärmeregulation statt, um dadurch die unheilvollen Wirkungen der Winterkälte auszuschalten, so beruht eine derartige Anschauung auf einer völligen Verkennung des wahren Sachverhaltes.²⁾ Die von ihnen ins Feld geführte Tatsache, dass trotz erheblicher Kältegrade der Atmosphäre die Säfte im Innern der Pflanze nicht gefrieren,³⁾ erklärt sich zum Teil aus dem sehr geringen Wärmeleitungsvermögen des Holzes namentlich in horizontaler Richtung,⁴⁾

gänge ist hervorzuheben, dass bei allen Verdichtungsprozessen Wärme frei wird, so bei der Umwandlung von Gasen in flüssige oder feste Körper. In die Pflanze eintretendes Wasser wird häufig in deren Geweben, nämlich in den Zellmembranen und Stärkekörnchen verdichtet, wobei gleichfalls Wärme frei wird. — Es gibt aber auch eine Reihe chemischer und physikalischer Vorgänge, welche in der lebenden Pflanze mit einem Wärmeverbrauch verknüpft sind, bei welchen Wärme gebunden wird.“

1) z. B. John Hunter: Vgl. d. Literaturverzeichnis!

2) Vergl. Erich Leick: Über das thermische Verhalten der Vegetationsorgane. Mitteilungen aus d. naturwissensch. Verein f. Neuvorpommern u. Rügen. Bd. 43. 1911. p. 127.

3) S. F. Hermbstaedt: Über die Fähigkeit der lebenden Pflanzen, im Winter Wärme zu erzeugen. Magaz. d. Ges. naturf. Freunde zu Berlin. 2. Jahrg. 1908. p. 316. — Gehlen's Journ. für Phys. etc. Bd. 8. p. 593-94. — Er beobachtete, daß der Saft von *Acer saccharinum* im Winter noch flüssig aus einem Bohrloche ausströmte, während der im Gefäß befindliche Saft bereits gefroren war. (Angegeben bei C. H. Schultz und bei H. R. Göppert. 1830. p. 144.)

4) Vgl. Knoblauch: Über d. Zusammenhang zwischen physik. Eigensch. u. d. Struktur bei versch. Hölzern. Polytechn. Zentralbl. von Schnedermann und Böttcher. 1859. — Annal. d. Phys. u. Chem. Bd. 105. 1858. p. 623.

Wärmeleitungsvermögen $\frac{\text{Längsrichtung}}{\text{Querrichtung}}$ bei trockenen Holzfasern:

1. Akazie, Buxbaum, Cypresse 1,25 : 1.
2. Flieder, Hollunder, Weißdorn, Nußbaum, Buche,
Rüster, Eiche 1,45 : 1.
3. Weide, Kastanie, Linde, Erle, Birke, Fichte,
Kiefer 1,8 : 1.

zum Teil auch durch die Gefrierpunktserniedrigung bei Lösungen.¹⁾

In früherer Zeit sind besonders an Baumstämmen zahlreiche Temperaturmessungen vorgenommen worden. Man führte sie stets in der Weise aus, dass man den Stamm bis zu einer gewissen Tiefe anbohrte, dann ein Thermometer in das Bohrloch einsenkte und den Zugang luftdicht verschloss. Wenn nun die in dieser Weise angestellten Beobachtungen gelehrt haben, dass die Temperatur im Innern von Baumstämmen fast immer erheblich von der

Vgl. ferner: Aug. de la Rive u. Alphonse de Candolle: Über die Wärmeleitung in verschiedenen Hölzern in Richtung der Form u. senkrecht gegen dieselbe. *Biblioth. univers.* Bd. 39. p. 106. — *Memoires de la société de phys. de Genève* Bd. 4. p. 70-75. — *Bull. des sciences nat.* 1828. — Vollständ. Übers.: *Annalen d. Phys. u. Chem.* Bd. 14. 1828. p. 590-595. — Julius Wiesner: *Die Rohstoffe des Pflanzenreichs.* 1873. p. 292. — Sowinsky: *Bot. Jahresber.* 1875. p. 773. — Sonstige Literaturangaben siehe bei J. Sachs: *Handb. d. Experimental-Physiol. d. Pfl.* Leipzig 1865. p. 50 und bei W. Pfeffer: *Handb. d. Pflanzenphysiol.* 2. Aufl. Bd. 2. 1904. p. 850 Anm. — Julius Wiesner äussert sich, wie folgt (*Anatomie u. Physiol. d. Pfl.* 5. Aufl. Stuttgart 1906. p. 329.): „Die Wärmefortpflanzung geschieht in den Geweben der Pflanze nicht gleichmässig. Jede Zelle leitet in der Richtung der Verdickungsschichten die Wärme leichter als senkrecht darauf, deshalb in der Richtung der Zellachse rascher als in querer Richtung. Aus faserförmigen Zellen zusammengesetzte Gewebe leiten die Wärme besser in der Faserrichtung als quer. Überzieht man Lindenbast auf einer Seite mit einer dünnen Schicht von Stearin und berührt man mittels einer glühenden Nadel die andere Seite, so schmilzt das Stearin in Form einer Ellipse, deren grosse Achse der Faserrichtung parallel läuft. Es erklärt sich nunmehr aus dem anatomischen Baue des Holzes und den Wärmeleitungsverhältnissen der Pflanzenzelle, warum man auf Längsschnitten von mit Stearin überzogenen Hölzern Schmelzellipsen, auf dem Querschnitte hingegen Schmelzkreise bekommt, wenn die schmelzbaren Flächen mit einer glühenden Nadel in Berührung gebracht werden. Jedes Gefässbündel, jeder Stamm leitet also die Wärme in der Richtung der Achse besser als in querer Richtung.“

1) Nach Senebier's Beobachtungen wird das Gefrieren auch dadurch verzögert, daß die Flüssigkeit sich in Haarröhrchen befindet. Er gibt an, daß das Wasser in Capillaren erst bei -7° gefriert. — Vergl. auch A. Fischer: *Beiträge zur Physiologie der Holzgewächse.* *Jahrbücher für wissensch. Botan.* Bd. 12. 1891.

Temperatur des umgebenden Mediums abweicht, so ist diese Tatsache aus physikalischen Gründen leicht verständlich. Infolge des sehr schlechten Wärmeleitungsvermögens des umhüllenden Korkmantels und des Holzkörpers können die äusseren Schwankungen sich nicht so schnell auf das Innere des Stammes ausdehnen; hier müssen vielmehr Temperaturen herrschen, die mehr oder weniger dem mittleren Wärmezustand der Atmosphäre entsprechen.¹⁾ Zu berücksichtigen ist ferner, dass durch den aufsteigenden Saftstrom eine gewisse Kommunikation zwischen den tieferen Erdschichten und dem Bauminnern geschaffen wird. Auch aus diesem Grunde wird eine Annäherung an die mittlere Jahres-, Monats- oder — bei dünnen Objekten und in den oberen Schichten dickerer Stämme — an die mittlere Tagestemperatur erfolgen müssen, wie eine solche ja für den Wärmezustand des Erdbodens längst nachgewiesen ist.²⁾ Somit kann es also keinem Zweifel unterliegen; dass man die beobachteten Wärmephänomene im Innern verholzter Pflanzenkörper nur vom Standpunkte des Physikers auffassen und erklären darf, niemals aber von dem des Physiologen. Damit soll natürlich nicht gesagt

1) Vgl. Krutsch (Untersuchungen über die Temp. d. Bäume im Vergl. zur Luft- u. Bodentemp. Jahrbuch d. Kgl. Sächs. Akad. f. Forst- u. Landwirtsch. zu Tharand. Bd. 10. [2. Folge Bd. 3.] 1854.): „Die Temperatur eines Baumes hängt von der Luft- und Bodentemperatur ab, deren beider gleichzeitiger Einwirkung die der Erdoberfläche näher liegenden Teile des Stammes, sowie die nur in geringer Tiefe unter derselben befindlichen Wurzeln ausgesetzt sind, während die oberen Teile des Stammes von der Lufttemperatur, die tieferliegenden Wurzeln von der Bodentemperatur allein ihre Wärme erhalten, ohne daß jedoch eine Grenze gezogen werden kann, bis zu welcher Höhe des Stammes die Einwirkung der Bodentemperatur reicht, und bis zu welcher Tiefe die Lufttemperatur Einfluß auf die Wurzel hat“. — J. Sachs: Experimental-Phys. d. Pfl. Leipzig 1865. p. 50-51. — W. Schumacher: Physik d. Pfl. Berlin 1867. p. 383. — Vergl. auch die Arbeiten von Nau, Fontana, Schübler, Göppert, Dutrochet u. s. w.

2) Vergl. besonders die Arbeiten von H. W. Dove u. Th. Hartig. — H. W. Dove: Über den Zusammenhang der Wärmeveränderungen der Atmosphäre mit der Entwicklung der Pflanzen. Berlin 1846. — Th. Hartig: Über die Temp. der Baumluft. Allgem. Forst- und Jagdzeitung. Januar 1875. Just's bot. Jahresber. 1. Jahrg. 1875. p. 508-509.

sein, dass die in Frage stehenden Erscheinungen physiologisch bedeutungslos wären. Das nicht!¹⁾ Nur für das Problem der Pflanzeneigenwärme können sie nicht wesentlich in Betracht kommen. Wenn ich es trotzdem unternehme, in Verbindung mit dem Wärmephänomen auch die Untersuchungen über die Temperatur der Baumstämme kritisch zu sichten, so geschieht das aus historischen Gründen. Gerade an den Baumstämmen glaubte man zuerst beweisen zu können, dass die Pflanze nicht nur die Fähigkeit der Wärmeproduktion, sondern auch der Wärmeregulation besäße.

Dass von einer Wärmeregulation bei pflanzlichen Organismen nicht die Rede sein kann, ist heute genugsam bekannt.²⁾ Wärmeproduktion dagegen findet fortwährend in den lebensfähigen Zellen statt, doch gibt es nur wenige Fälle, in denen sie sich mühelos nachweisen lässt. Nur

1) Da eine supramaximale Erwärmung des Cambiums vermieden werden muss, so ist die Pflanze bestrebt, durch adiabatische Umhüllung einer zu starken Insolationswirkung vorzubeugen. Lichtbäume (Araucarie, Kiefer, Lärche, Eiche, Erle, Platane u. a.) zeigen im allgemeinen eine starke Entwicklung der Borke, während Schattenbäume (Buche, Tanne u. a.) nur mit dünner Borke bekleidet sind. Starkrindige Bäume werden dementsprechend auch viel seltener vom Rindenbrand befallen als dünnrindige. Schattenbäume, die plötzlich freigelegt werden, sind dieser durch Absterben des Cambiums hervorgerufenen Erkrankung besonders ausgesetzt (vergl. Vonhausen: Untersuchung über den Rindenbrand der Bäume. Allgem. Forst- u. Jagdzeitung. 1873!). Die Untersuchungen R. Hartig's (Die Erhitzung der Bäume nach völliger oder teilweiser Entnadelung. Forstl. naturwiss. Zeitschr. 1892!) haben gezeigt, dass die Temperatur des Cambiums um so höher steigt, je dünner die Rinde ist, und dass die Sonnenseite des Baumstammes 8—10° wärmer sein kann als die Schattenseite. — Vergl. W. Neger: l. c. 1913. p. 82 und p. 135 der vorliegenden Arbeit!

2) Erich Leick: Über das thermische Verhalten der Vegetationsorgane. Mitteil. aus dem naturwiss. Verein für Neuvorpommern und Rügen. Bd. 43. Greifswald 1911. p. 127-174. — Ludwig Jost (Vorlesungen über Pflanzenphysiol. 2. Aufl. Jena 1908. p. 289.): „Die Wärmebildung macht die Pflanze nicht etwa unabhängig von der Aussentemperatur.“ — W. Pfeffer (Handb. d. Pflanzenphys. 2. Aufl. Bd. 2. Leipzig 1904. p. 828.): „Den Pflanzen kommt eine Wärmeregulation wie den warmblütigen (homiothermen) Tieren nicht zu, vielmehr steigt und fällt ihre Körpertemperatur, analog wie die kaltblütiger (poikilothermer) Tiere, mit der Temperatur des umgebenden Mediums.“

wenn sich bei einer andauernden Konstanz der Aussen-temperatur, die sich sowohl auf die Luft wie auf das Erdreich erstrecken müsste, eine messbare Temperaturerhöhung einstellen würde, könnte man an eine Einwirkung der physiologischen Wärmeproduktion auf den Temperaturzustand des betreffenden Objektes denken. Ob aber eine solche Temperaturdifferenz ausschliesslich durch die Wärmeentbindung bei der Atmung bedingt wäre, oder etwa durch die Reibung bei der Wasserbewegung, die Quellung der Membranen usw. liesse sich auch dann noch nicht entscheiden. Ludwig Jost bemerkt hierüber¹⁾: „Inwieweit diese Prozesse im einzelnen tatsächlich eine Rolle spielen, wissen wir nicht, wir werden aber kaum fehl gehen, wenn wir annehmen, dass sie von sekundärer Bedeutung sind, und dass tatsächlich die Atmung in erster Linie als Quelle der vegetabilischen Wärme zu bezeichnen ist.“ Auf keinen Fall darf man Rückschlüsse auf die produzierten Wärmequantitäten machen.²⁾ Bisher liegt keine einzige Beobachtung vor, aus der wir entnehmen könnten, dass die Atmungstätigkeit des Cambiums eine messbare Beeinflussung der Gesamttemperatur herbeizuführen imstande wäre. Die physikalischen Verhältnisse machen — wie schon gesagt — ein derartiges Resultat auch durchaus unwahrscheinlich. Wir können demnach nicht umhin, den Temperaturzustand von Baumstämmen als eine blosse Funktion der Aussenbedingungen aufzufassen.³⁾

1) Ludwig Jost: l. c. 2. Aufl. Jena 1908 p. 291. — Vergl. auch W. Pfeffer: Studien zur Energetik d. Pfl. Abhandl. d. math.-physik. Klasse d. Kgl. Sächs. Ges. d. Wiss. Bd. 18. Leipzig 1893. p. 189. — W. Pfeffer (Handb. d. Pflanzenphys. 2. Aufl. Bd. 2. Leipzig 1904. p. 832.): „Eine einigermaßen exakte Ermittlung des Anteils, welcher den einzelnen Vorgängen und Faktoren zufällt, ist bis dahin noch nicht gelungen.“

2) „Keine Temperaturangabe vermag uns direkt Aufschluß zu geben über den energetischen Wert der Wärmeentbindung.“ E. Leick: Untersuchungen über die Blütenwärme der Araceen. Greifswald 1910. p. 10. — W. Pfeffer (Handb. d. Pflanzenphys. 2. Aufl. Bd. 2. 1904. p. 832.): „Lässt sich aus der Veränderung der Körpertemperatur im allgemeinen ersehen, ob mehr oder weniger Wärme erzeugt wird, so ist doch die Kenntnis der produzierten Wärmemenge nur durch direkte (calorimetrische) Bestimmung zu gewinnen.“

3) Vergl. W. Pfeffer: Handb. d. Pflanzenphys. 2. Aufl. Bd. 2. p. 847.

Die in früherer Zeit meist auf Grund falscher Voraussetzungen ausgeführten Messungen können aus diesem Grunde nur ein historisches Interesse beanspruchen. Wir können uns also damit begnügen, in aller Kürze eine Übersicht über die wichtigsten Arbeiten und ihre Resultate zu geben.¹⁾

Die ersten Untersuchungen an Baumstämmen wurden von dem Engländer John Hunter (1 u. 2)²⁾ im Jahre 1775 ausgeführt. Er geht — ebenso wie mehrere Forscher nach ihm — von der völlig irrigen Annahme aus, dass die Pflanzeneigenwärme notwendig sei, um ein Gefrieren der Pflanzensäfte während des Winters zu vermeiden. Daraus erklärt es sich, dass seine Temperaturmessungen an verschiedenen Stämmen³⁾ (z. B. Kiefer, Nussbaum,⁴⁾ Pappel, Platane, Fichte, Tanne) ausnahmslos in der kälteren Jahreszeit vorgenommen wurden. Er fand — wie es sich von selber versteht — meist einen mehr oder weniger erheblichen Temperaturüberschuss (bis zu 6°) im Innern der Baumstämme. Dieses Ergebnis verführte ihn zu der völlig irrigen Behauptung, die Pflanzen besäßen eine von der Aussentemperatur unabhängige Körperwärme, die das Gefrieren der Säfte im Winter verhindere.⁵⁾ Die Unhaltbarkeit einer solchen Anschauung wurde später von Senebier,

1) Ausführliche Literaturangaben finden sich in den Arbeiten von Göppert (Über die Wärmeentwicklung in den Pflanzen, deren Gefrieren u. d. Schutzmittel gegen dasselbe. Breslau 1830.) und von Krutsch (Unters. über d. Temp. d. Bäume im Vergl. zur Luft- und Bodentemp. Tharander Jahrbuch Bd. 10. [2. F. Bd. 3.] 1854.).

2) Diese Zahlenangaben beziehen sich auf das Literaturverzeichnis!

3) Hunter experimentierte auch mit Blättern, Zwiebeln und grünen Sprossen. — Vergl. E. Leick: Über das thermische Verhalten der Vegetationsorgane. Mitteil. aus d. naturwiss. Verein für Neuvorpommern u. Rügen. Bd. 43. 1911. p. 127.

4) Der Stamm des Nußbaumes war 9 Fuß hoch und hatte einen Umfang von 2 Fuß. Das Bohrloch, das sich in einer Höhe von 5 Fuß über der Erde befand, war 11 Zoll tief.

5) Ausgepresste Pflanzensäfte von Kohl und Spinat gefrieren nach Hunters Beobachtungen erst bei — 3°. — Vergl. Carl Heinrich Schultz: Die Fortpflanzung u. Ernährung d. Pfl. Bd. 2. 1828. p. 180.

Nau, Fontana, L. C. und G. R. Treviranus, Schübler, Göppert, Dutrochet¹⁾ u. a. überzeugend dargetan.

Aus dem Jahre 1783 stammen die von David Schöpf (3)²⁾ in Amerika (New-York) vorgenommenen Untersuchungen, die in der Hauptsache dasselbe Bild zeigen. Als Untersuchungsobjekte dienten die verschiedenartigsten Stämme, so von Eiche, Kirsche, Buche, Kastanie, Rote Zeder, Hickory usw. Schöpf stützt sich auf genau dieselben falschen Voraussetzungen wie Hunter, dass nämlich jede Eisbildung in der Pflanze notwendig deren Tod bedeuten müsse. Überdauern nun — so schliesst er weiter — manche Pflanzen sehr geringe Temperaturgrade, so kann das nur mit Hilfe selbsttätiger Wärmeerzeugung geschehen. Er geht sogar soweit, in den Gewächsen eine umfangreiche Wärmeregulation anzunehmen, die nicht nur die untere, sondern auch die obere Temperaturgrenze beherrsche. Seine auf Grund der Phlogiston-Theorie und der Vis vitalis unternommenen Erklärungsversuche können natürlich dem heutigen Stande der Wissenschaft nicht mehr gerecht werden.

Versuche von ganz ähnlicher Art wurden 1790 in Schweden von Bierkander (4)³⁾ ausgeführt. Er stellte fest, dass die Temperatur im Innern der Baumstämme nicht selten geringer ist, als die Temperatur der umgebenden Luft. Er glaubte hierin einen Beweis dafür zu erblicken, dass die Pflanze eine Regulation zur Vermeidung hoher Wärmegrade besässe.

In den meteorologischen Tabellen der „Bibliothèque britannique“ (66)⁴⁾ finden sich fortlaufende Angaben über die Temperaturen im Innern von Baumstämmen, die

1) Siehe weiter unten! Vergl. auch das Literaturverzeichnis!

2) Veröffentlicht wurden die Versuche erst 1788.

3) Gazette de littérature de Jena. 1790. p. 638. Angegeben bei Senebier: *Physiol. végét.* Bd. 3. p. 311 u. b. Rameaux: *Ann. d. sc. nat.* (2) Bot. Bd. 19. 1843. p. 6. In der „Allgem. Jenaer Literaturzeitung“ von 1790 war die Arbeit nicht aufzufinden. Ich beschränke mich daher auf die Angaben Senebiers.

4) Angegeben bei J. Senebier: l. c. Bd. 3. p. 311-312 und bei Rameaux: l. c. p. 6. — Das Werk selber konnte ich trotz meiner Bemühungen nicht erhalten.

ebenfalls ergeben, dass die Baumstämme im Sommer meist niedriger, im Winter dagegen höher temperiert sind als ihre Umgebung.

Eine umfangreiche, kritische Zusammenstellung der bis dahin erzielten Ergebnisse finden wir in der 1800 erschienenen „Physiologie végétale“ des bekannten Pflanzenphysiologen Jean Senebier (6). Er steht der Annahme eines Wärmeregulationsvermögens sehr skeptisch gegenüber und hebt mit Recht hervor, dass den physikalischen Bedingungen, unter denen die Beobachtungen stattfanden, nicht genügend Rechnung getragen sei. Auch die Bedeutung der Transpiration (l'évaporation) für den Wärmezustand der Vegetabilien hat er richtig erkannt.¹⁾ Schliesslich verdanken wir ihm auch noch die Anregung zu neuen Experimenten, die zur Lösung des Eigenwärmeproblems beizutragen vermögen.

Über ausführliche Messungen berichtet 1803 Salomé (7), der durch eine Äusserung des bekannten Genfer Naturforschers und Philosophen Charles Bonnet zu seiner Arbeit angeregt wurde.²⁾ Leider gibt er nicht an, welche Baumart für die Untersuchung gewählt wurde. Der Stamm wurde 2,60 m über der Erde 25 cm tief angebohrt, und das Thermometer, das bis in den Markkörper („le corps médullaire de la tige“) reichte, luftdicht eingekittet. Ein Vergleichsthermometer von derselben Beschaffenheit wurde in einer unbehauenen, lufttrockenen Holzklobe von gleichem Durchmesser („dans un morceau de bois en grume, de même diamètre, et séché à l'aire libre“) in entsprechender Weise

1) l. c. p. 313. „Je suis du moins persuadé que la fraîcheur des forêts est peut-être autant produite par l'évaporation que par l'absence du soleil.“

2) Charles Bonnet: Bd. 4 de ses ouvrages, édition de 1782. p. 177. „Quoique la plante ne nous paraisse pas chaude au toucher, on ne saurait douter qu'elle ne possède un certain degré de chaleur qui lui est propre, et qui pendant l'hiver surpasse celle de l'air ambiant. La circulation des sucs ne cesse pas, elle n'est que ralentie. Elle suppose essentiellement un certain degré de chaleur des végétaux, se rapproche assez de celle des animaux à sang froid, telle que celle des poissons à coquilles aujourd'hui vers testacés.“

befestigt.¹⁾ Eine derartige Versuchsanordnung²⁾ ist aber keineswegs einwandfrei; denn das Wärmeleitungsvermögen muss aus rein physikalischen Gründen in beiden Fällen sehr verschieden sein, so dass allein dadurch nicht unwesentliche Temperaturdifferenzen bedingt sind, die natürlich mit einer selbständigen Wärmeproduktion nichts zu tun haben. Eine vollkommen zutreffende Beurteilung der in Frage stehenden Verhältnisse finden wir bereits bei H. J. Dutrochet.³⁾ Er sagt: „L'arbre vivant est imbibé de liquides, l'arbre mort est desséché et ses organes cellulaires ou vasculaires sont remplis d'air. Ce dernier, comparé au premier, est donc bien moins facilement perméable à la chaleur, il doit acquérir plus lentement la température de l'air environnant. Dès-lors, les thermomètres plongés dans ces deux arbres indiqueront des différences de température, qui seront les résultats de la différence de perméabilité de ces arbres pour la chaleur environnante; cette nouvelle cause d'erreur est encore inévitable: il faut donc renoncer à recherches, par des observations de ce genre, si les arbres possèdent une chaleur propre.“

Salomé setzte seine Beobachtungen sechs Monate hindurch fort. Das Resultat seiner Untersuchungen können wir folgendermassen zusammenfassen: bei niedrigen Aussen-temperaturen (unter $+ 14^{\circ}$) ist das Innere des Baumstammes meist wärmer als die Luft, bei höheren Aussen-temperaturen (über $+ 14^{\circ}$) dagegen kälter.⁴⁾ Während die Schwankungen der Lufttemperatur 2° bis 26° betrugen,

1) Da dieses Vergleichsthermometer keine wesentlich anderen Temperaturen zeigte, als ein in der Luft befindliches, unterblieben diese Ablesungen bei den späteren Versuchen.

2) Ähnliche parallele Versuchsreihen wurden auch schon von Hunter, dann von Schübler und in neuerer Zeit von Th. Hartig aufgestellt. Siehe weiter unten!

3) H. J. Dutrochet: Recherches sur la chaleur propre des êtres vivans à basse température. Ann. d. sc. nat. (2) Bot. 1840. Bd. 13. p. 15.

4) Als Beispiel führe ich zwei Beobachtungen Salomé's an:

	Lufttemperatur.	Baumtemperatur.	Differenz.
1.	$+ 2^{\circ}$	$+ 9^{\circ}$	$+ 7^{\circ}$
2.	$+ 26^{\circ}$	$+ 16^{\circ}$	$- 10^{\circ}$

pendelten die Innentemperaturen zwischen 9° und 19° . Die Differenz zwischen Innen- und Aussentemperatur ist demnach während der kälteren Jahreszeit meist positiv, während der wärmeren meist negativ. Entsprechend zeigt sich während eines Sommertages am Morgen sowohl wie am Abend ein Temperaturüberschuss im Innern, am Mittage dagegen eine oft erhebliche Minustemperatur. Wir sehen also, dass der Wärmezustand des Baumstammes sich als viel stabiler erweist als derjenige der Atmosphäre.¹⁾ Bemerkenswert ist schliesslich auch noch die Tatsache, dass bei lang andauerndem Regen das Thermometer im Bauminnern einen niedrigeren Stand einnimmt als das Vergleichsthermometer.²⁾ Offenbar handelt es sich hier um die abkühlende Wirkung eines verstärkten Transpirationsstromes.³⁾

Die vorstehend angedeuteten Ergebnisse finden eine ungezwungene Erklärung in den physikalischen Versuchsbedingungen. Salomé's Schlussfolgerung, dass die Pflanzen sich bezüglich der Wärmeproduktion verhielten „à-peu-près comme l'organisation animale“⁴⁾ müssen wir also entschieden zurückweisen. Wenn die Resultate der eben besprochenen Untersuchungen zum Teil nicht mit denen späterer Forscher übereinstimmen, so darf uns das nicht Wunder nehmen. Sowohl die klimatischen wie die Bodenverhältnisse sind nach Zeit und Ort erheblichen Schwankungen unterworfen und zeitigen dementsprechend abweichende Zahlenwerte.

Die Arbeiten S. F. Hermbstaedts (12, 13 und 14)⁵⁾ bringen nichts wesentlich Neues. Der Verfasser steht auf

1) Die Folgerung Salomé's, der Baum sei bestrebt, stets eine mittlere Temperatur von ungefähr 10° innezuhalten, ist natürlich unzutreffend.

2) Ein Regen von 14 Stunden kühlte die Luft auf 6° , das Bauminnere dagegen auf 3° ab.

3) Vergl. p. 134 der vorliegenden Arbeit!

4) Die ganze Stelle (p. 120) lautet: „Les physiciens ne manqueront pas de mettre en note cette observation qui annonce que la vie végétale se comporte, à l'égard de sa chaleur thermométrique interne, à-peu-près comme l'organisation animale.“

5) Vergl. p. 110 der vorliegenden Arbeit! — Die ersten Beobachtungen Hermbstaedts stammen bereits aus dem Jahre 1796.

demselben Standpunkte wie Hunter, Schöpf und Salomé und schreibt den Pflanzen wärmeregulatorische Tätigkeiten, die analog wie bei den höheren Tieren verlaufen sollen, zu. Er glaubt diese Annahme durch seine Untersuchungen an *Acer saccharinum* bestätigt zu finden.¹⁾

In die Spuren Senebiers tritt 1805 Fontana (10)²⁾ mit einer sehr grossen Anzahl (4600!) von sorgfältig ausgeführten Messungen. „Fontana ist der erste, der eine

Die Veröffentlichung erfolgte aber erst im Jahre 1808. — Hermbstaedt stellte auch Versuche mit Knollen an. — Vergl. C. H. Schultz: l. c. Bd. 2. 1828. p. 181-182.

1) Bei einer Aussentemperatur von -5° R. stellte er im Innern des Stammes $+2^{\circ}$ R fest, bei -10° R noch $+1^{\circ}$ R. — Vgl. H. R. Göppert: Über die Wärmeentwicklung in d. Pflanzen. Breslau 1830. p. 144. — Die Zahlenangaben, die sich bei Carl Heinrich Schultz (Die Fortpflanzung und Ernährung der Pflanzen. Bd. 2. 1828. p. 182.) finden, sind nicht zutreffend. — Derselbe Forscher gelangt auf Grund der Beobachtungen Salomé's und Hermbstaedt's zu folgender falschen Vorstellung (l. c. p. 182.): „Die Wärmeleitungskraft der Körper kommt bei allen diesen Versuchen freilich sehr in Anschlag, und ein absolutes Vermögen, sich von der äusseren Temperatur unabhängig zu erhalten, besitzen die Pflanzen wie die Tiere auch nicht, aber dass unter dem Gefrierpunkt ihr Lebensprozess noch fort dauert, zeigt offenbar, dass sie sich in einer bestimmten Temperatur erhalten können. Sie widerstehen dem Gefrieren durch die Fortdauer ihrer inneren Bewegung. Am auffallendsten ist dies im Sommer, wo sie sich wie die Eidechsen und Frösche in der grössten Hitze immer kalt erhalten. Hier teilt sich die Wärme durchaus nicht mit. Ein totes Stück Holz wird, von der Sonne beschienen, heiß; aber die lebendigen Pflanzen bleiben immer kalt, daher der kühle Schatten der Bäume, der durch nichts anderes hervorgebracht wird. Auch ist es die Ausdünstung nicht, die die Kälte erzeugt, da Teile, die nicht ausdünsten, auch kalt sind, und ein Stück nasses Holz im Sonnenschein bei allem Dampf, der daraus aufsteigt, heiss wird, wogegen die lebendigen Blätter in der Hitze sich kühl erhalten.“ — — (p. 183.): „Aus der Vergleichung und Vereinigung aller dieser Erscheinungen geht demnach offenbar hervor, dass sich innerhalb gewisser Hitze- und Kältegrade der Luft oder des Wassers, worin sie leben, die Pflanzenindividuen in einer eigentümlichen inneren Temperatur erhalten.“

2) Ein genauer Bericht über Fontanas Versuche findet sich bei G. R. Treviranus: Biologie oder Philosophie d. lebenden Natur. Bd. 1. Göttingen 1818. p. 15ff. — Vergl. auch Göppert: l. c. p. 176-177.

einwandfreie Untersuchungsmethode in Anwendung bringt und seine Experimente mit der notwendigen Präzision ausführt. Er geht von der durch die früheren Versuche bewiesenen Tatsache aus, dass der Wärmezustand im Pflanzeninnern in hohem Masse von der Temperatur des Bodens abhängig ist. Aus diesem Grunde bringt er seine Untersuchungsobjekte¹⁾ auf hängenden Platten in einen Keller von konstanter Temperatur. Alle Teile des die Wurzel umgebenden Erdreiches 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 konstanten Aussentemperaturen gearbeitet wird.“ Nur unter dieser Bedingung können die Resultate Anspruch auf Zuverlässigkeit machen. „Die Kritik, die G. R. Treviranus²⁾ 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 — also auch die Baumstämme — besitzen keine messbare Wärmeproduktion und auch keine Wärmeregulation. Der Temperaturzustand der Gewächse ist also lediglich von der Wärme des umgebenden Mediums abhängig.³⁾ Die im Freien (das heisst bei schwankenden Aussentemperaturen) beobachteten Tem-

1) Die verschiedenartigsten vegetativen Pflanzenteile wurden untersucht.

2) G. R. Treviranus: l. c. p. 17-18.

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

peraturabweichungen lassen sich auf physikalischem Wege völlig befriedigend erklären.“¹⁾

Im Anschluss an die Beobachtungen Salomé's weist Slevogt (11) 1807 darauf hin, dass der Schnee am Fusse der Baumstämme, sowie an Stellen, die mit Pflanzen bedeckt sind, schneller wegtau als am freien Erdboden. Aus dieser Tatsache glaubt er Rückschlüsse machen zu können auf eine den Gewächsen eigentümliche Entbindung von Wärme. Er liefert damit ein klassisches Beispiel für die Gedankenlosigkeit in physikalischen Dingen, die wir bei den Physiologen der damaligen Zeit nicht ganz selten antreffen. „Die Unhaltbarkeit einer derartigen Beweisführung war schon längst vor dem Erscheinen der Slevogt'schen Arbeit von Th. de Saussure nachgewiesen worden.“²⁾

Eine kritische Nachprüfung der Untersuchungen von Hunter, Schöpf und Salomé wurde im Jahre 1809 von Nau (15) vorgenommen.³⁾ Durch zahlreiche Experimente

1) Diese Zitate sind meiner Arbeit „Über das thermische Verhalten der Vegetationsorgane“ (l. c. p. 150-151) entnommen.

2) E. Leick: l. c. 1911. p. 151. — Vergl. auch Jean Senebier: *Physiologie végétale*. Bd. 3. 1800. p. 317. — Eine zutreffende Deutung der genannten Erscheinung finden wir auch bei Nau (Hat man bis jetzt durch Versuche und Beobachtungen eine eigentümliche Wärme in Gewächsen erwiesen? *Annalen der Wetterauischen Ges. für die gesamte Naturkunde*. Bd. 1. 1809. p. 27-37. — Übers. ins Franz.: *Journ. de phys., de chim. et d'hist. nat.* 1811. p. 193.) und bei H. R. Göppert (Über die Wärmeentwicklung in d. Pflanzen. Breslau 1830. p. 149-150.).

3) Die häufiger angegebenen Untersuchungen Balde's (17) erweisen sich scheinbar als ein Plagiat der Nau'schen Arbeit. Vergl. Göppert: l. c. 1830. p. 150-152. „Indem ich nun zur Anzeige der Versuche von Balde (Asklepeion od. Allgem. mediz.-chirurg. Wochenbl. v. Wolfart. Berlin, den 2. März 1811. p. 275-287; den 6. März. p. 297-301.) übergehe, gerate ich in eine ganz eigene Verlegenheit; ich weiss nämlich nicht, ob ich die Übereinstimmung derselben mit den oben von Nau angeführten als ein sonderbares Spiel des Zufalls oder als ein schreien- des literarisches Plagiat betrachten soll. Leibniz und Newton entdeckten bekanntlich unabhängig voneinander gleichzeitig den Infinitesimalkalkül, warum sollte es nicht auch geschehen können, dass zwei voneinander entfernt lebende Naturforscher gleichzeitig Versuche auf gleiche Weise mit denselben Pflanzen anstellten. Freilich zeigte bei jenen doch die verschiedene Darstellung und Entwicklung die beiden unbestreitbar zu-

erbringt er den Beweis, dass die früheren Resultate sich als eine notwendige Folge der gegebenen physikalischen Bedingungen darstellen, dass sie infolgedessen in keiner Weise den Rückschluss auf eine messbare Wärmeproduktion gestatten. Die Richtigkeit seiner Behauptungen erhärtet er durch eine Reihe von Beobachtungen an leblosen Körpern, die sich in allen wesentlichen Punkten ebenso wie die Baumstämme verhalten.¹⁾

Von seinen in grosser Zahl ausgeführten Versuchen, über die unter anderen H. R. Göppert sehr eingehend Bericht erstattet²⁾, seien hier nur die Messungen an einem Buchenstamme hervorgehoben. Am 4. Januar 1809 wurden Löcher in die Wurzel und den Stamm einer Buche gebohrt und mit Thermometern versehen. Am Nachmittage um 4¹/₂ Uhr, als das Aussenthermometer — 2° zeigte, war das Quecksilber im Stamm nur ganz wenig unter 0° gesunken. Zu gleicher Zeit ergab das Thermometer in der Wurzel + 2°, während im benachbarten Erdreiche + 2¹/₂° abgelesen wurde. H. R. Göppert bemerkt dazu (l. c. p. 148.): „Also könnte man jetzt schliessen, ist es im Baume wärmer als in der Atmosphäre, und nicht allein in der Wurzel, sondern auch im Stamm! So haben freilich Hunter, Schöpf und Salomé aus ihren Versuchen geschlossen und sind eben deswegen in Irrtümer verfallen. Die Temperatur der

kommende Originalität, hier aber finden wir zu unserer Verwunderung auch in dieser Hinsicht, selbst in der Art des Ausdrucks, eine merkwürdige Übereinstimmung.“ — Die Folgerungen, die Balde aus seinen angeblichen Beobachtungen zieht, sind den Nau'schen Anschauungen diametral entgegengesetzt. Da Göppert demselben Manne auch noch ein zweites Plagiat nachzuweisen vermag, erübrigt es sich, den Inhalt der Baldeschen Arbeit hier zu berücksichtigen. — Vergl. auch E. Leick: l. c. 1911. p. 151.

1) Eine ähnliche Versuchsanordnung benutzte später Egon Ihne. Vgl. p. 134 der vorliegenden Arbeit! — H. R. Göppert (l. c. 1830. p. 146.) urteilt über Nau's Versuche wie folgt: „In der Tat sind seine Versuche so entscheidend, dass sie wenigstens bei vielen den Glauben an jene eigentümliche Äusserung des vegetabilischen Lebens sehr zu erschüttern vermochten.“

2) H. R. Göppert: Über die Wärmeentwicklung in d. Pflanzen. Breslau 1830. p. 146-150.

Atmosphäre änderte sich gegen Abend schneller; so schnell konnte unmöglich die Temperatur des Baumes im Innern folgen, denn das Holz nimmt wegen seiner geringen Wärmeleitungsfähigkeit nur nach und nach die Temperatur der warmen wie die der kalten Atmosphäre an.“

Auch Gottfried Reinhold Treviranus (19) kommt 1818 am Schlusse seiner Betrachtungen zu dem gleichen Ergebnisse wie die beiden vorgenannten Forscher. Er sagt: „Doch dieser Einwendungen ohngeachtet bleibt immer so viel gewiss, dass im allgemeinen das Vermögen der Pflanzen, Wärme zu erzeugen, entweder garnicht vorhanden ist, oder auf einer weit niedrigeren Stufe steht, als dem Gewächs von einigem Nutzen sein kann. Die geringe Wärmekapazität des lebenden Pflanzenkörpers und dessen Verbindung mit der Erde, dies sind die beiden Mittel, wodurch die Pflanze vor den Abwechselungen und den Extremen der atmosphärischen Temperatur geschützt ist.“¹⁾

Sehr umfangreiche und sorgfältige Untersuchungen wurden im Jahre 1826 von G. Schübler (24) und F. A. Halder (23)²⁾ ausgeführt. Sie liefern ein wertvolles Material zur Beurteilung der in Frage kommenden Verhältnisse und vervollständigen aufs beste die Angaben der früheren Forscher. Besonders beachtenswert ist, dass sie uns auch über das Verhalten der Temperatur in den verschiedenen horizontalen Schichten Aufschluss geben.³⁾

1) G. R. Treviranus: Biologie oder Philosophie der lebend. Natur. Bd. 5. Göttingen 1818. I. p. 18 u. 19.

2) F. A. Halder: Beobachtungen über die Temperatur der Vegetabilien. Inaug.-Diss. Tübingen 1826. — Die Arbeit wurde unter dem Präsidium Schübler's gedruckt und enthält eine genaue Beschreibung der Versuche dieses Forschers. Dieselbe Abhandlung wurde 1827 in Poggendorf's Annalen d. Phys. u. Chem. (Bd. 10. p. 581-592.) wörtlich abgedruckt. Hier ist aber als Autor nur G. Schübler angegeben. Dadurch wurde manche Verwirrung in den Literaturangaben hervorgerufen. — Eine gründliche und umfangreiche Würdigung dieser Untersuchungen findet sich bei H. R. Göppert: l. c. Breslau 1830. p. 153-157.

3) Vornehmlich auf die Schübler'schen Versuche stützt sich auch Dutrochet: Ann. d. sc. natur. (2) Bot. Bd. 13. 1840. p. 14 ff. Als Untersuchungsobjekt wurde besonders Ulme und Rottanne benutzt.

Schübler fasst das Ergebnis seiner Beobachtungen folgendermassen zusammen: „Die Vegetabilien suchen zwar eine gewisse mittlere Temperatur beizubehalten, die jedoch nicht als Folge einer sich in ihrem Innern entwickelnden Wärme angesehen werden kann, sondern die sich vollkommen durch die schlechte Wärmeleitungsfähigkeit der vegetabilischen Fasern und des Holzes erklärt, wodurch die Temperatur der umgebenden Luftschichten nur langsam in das Innere der Pflanzen eindringen kann; ihre Befestigung in dem Erdreiche selbst, dessen Temperatur schon in geringer Tiefe nur wenigen Veränderungen unterworfen ist, muss gleichfalls dazu beitragen, ihnen eine mehr gleichförmige, der mittleren Temperatur, in welcher sie stehen, sich mehr nähernde Wärme zu erhalten.“¹⁾

In den folgenden Jahren setzte Schübler seine Untersuchungen fort und übergab sie 1829 in einer Dissertation von W. Neuffer (26) der Öffentlichkeit. „Alle diese Beobachtungen beweisen wie die früheren, dass den Bäumen nicht das Vermögen eigen ist, durch ihre Vegetations-tätigkeit in bemerkbarem Grade Wärme wie die höheren, warmblütigen Tiere zu entwickeln, dass sie aber wohl die Fähigkeit besitzen, die Temperatur der Luft und der Erdschichten, in welchen sie wurzeln, je nach dem verschiedenen Trieb der Säfte in verschiedenem Verhältnis in sich zu leiten und durch Verdunstung zum Teil wieder abzugeben, wodurch ihre Temperatur bald grösser, bald geringer wird, als die der umgebenden Luft.“²⁾ Auf Grund der Angaben, die in der *Bibliothèque britannique* enthalten sind, hatte Schübler schon früher folgende Tabelle berechnet:³⁾

1) Vergl. Poggendorf's Ann. Bd. 10. 1827. p. 589-590. — Eine eingehende Würdigung der Schübler'schen Untersuchungen findet sich auch bei H. R. Göppert: l. c. 1830. p. 153-157.

2) Zitiert nach H. R. Göppert: l. c. 1830. p. 163.

3) G. Schübler: Die physischen Eigenschaften der Erden. Landwirtsch. Blätter von Hofwyl. Hrsgb. von v. Fellenberg. Aarau 1817. p. 5-98. — Auszug: J. S. C. Schweigger's Journ. für Physik und Chemie. Bd. 2. 1817. p. 189-215. — Vergl. auch H. R. Göppert: l. c. 1830. p. 155.

Kastanienbaum beobachtet in Genf 1796-97.

Thermometer in einem 6 Zoll tiefen Bohrloche der Nordseite.

Monat.	Mittlere Temp. der Luft.	Mittlere Temp. des Baumes.	Differenz.
Januar:	+ 2,73 ⁰	+ 2,55 ⁰	— 0,48 ⁰
Februar:	+ 2,17 ⁰	+ 2,41 ⁰	+ 0,24 ⁰
März:	+ 2,71 ⁰	+ 2,44 ⁰	— 0,23 ⁰
April:	+ 8,07 ⁰	+ 8,77 ⁰	+ 0,70 ⁰
Mai:	+ 10,59 ⁰	+ 10,09 ⁰	— 0,50 ⁰
Juni:	+ 12,85 ⁰	+ 11,88 ⁰	— 0,97 ⁰
Juli:	+ 13,86 ⁰	+ 12,99 ⁰	— 0,87 ⁰
August:	+ 15,01 ⁰	+ 14,63 ⁰	— 0,38 ⁰
September:	+ 13,49 ⁰	+ 13,50 ⁰	+ 0,01 ⁰
Oktober:	+ 8,81 ⁰	+ 8,88 ⁰	+ 0,07 ⁰
November:	+ 4,23 ⁰	+ 4,16 ⁰	— 0,07 ⁰
Dezember:	+ 0,03 ⁰	— 0,19 ⁰	— 0,16 ⁰

Überraschend ist, dass sich bei der Zusammenstellung der Mittelwerte für die verschiedenen Jahreszeiten stets Minusdifferenzen ergeben:¹⁾

	Luft.	Baum.	Differenz.
Winter:	+ 1,61 ⁰	+ 1,49 ⁰	— 0,12 ⁰
Frühling:	+ 7,12 ⁰	+ 7,10 ⁰	— 0,02 ⁰
Sommer:	+ 13,90 ⁰	+ 13,16 ⁰	— 0,74 ⁰
Herbst:	+ 8,84 ⁰	+ 8,84 ⁰	— 0,00 ⁰
Ganzes Jahr: . . .	+ 7,87 ⁰	+ 7,65 ⁰	— 0,22 ⁰

Solche Angaben besitzen aber naturgemäss keine allgemeine Gültigkeit, sondern sind vom Klima des Beobachtungsortes, von der Baumart, der Bodenbeschaffenheit (ob feucht, ob trocken!), der Höhe des Bohrloches über der Erde, der Tiefe des Bohrloches und schliesslich von der Häufigkeit der Beobachtung abhängig. Im Grunde genommen besagt die Tabelle ja auch nur, dass unter den gegebenen Verhältnissen der Abstand des Bauminnern vom täglichen Maximum der Lufttemperatur grösser war als vom täglichen Minimum.

1) Vergl. Jacob Schmitz: Über die Eigenwärme der Pflanzen. Inaug.-Dissert. Jena 1870. p. 15. — Dieselbe Tabelle findet sich auch bei H. R. Göppert: l. c. 1830. p. 155.

Zu einem negativen Resultate führten auch zahlreiche Experimente, die im Jahre 1829 von Ludolph Christian Treviranus (25) ausgeführt wurden.¹⁾ Als Ursache für die häufige Abweichung der Innentemperatur von der Aussentemperatur wird die Kommunikation mit tieferen Erdschichten und die schlechte Wärmeleitung des Holzes angegeben. Die falschen Vorstellungen, die L. C. Treviranus von dem Atmungsvorgange bei Tier und Pflanze hat, verführen ihn dazu, für alle Fälle — auch bei den Blütenständen der Aroideen — eine selbständige Wärme-Produktion in Abrede zu stellen.²⁾

1) Es wurden die Stammteile folgender Pflanzen untersucht: *Sambucus nigra*, *Syringa vulgaris*, *Rubus idaeus*, *Juglans regia*, *Vitis quinquifolia*. — In einem Falle sank die Temperatur des Bauminnern bis auf -22° , ohne dass dadurch eine dauernde Schädigung der Pflanze entstanden wäre.

2) Treviranus stützt sich in seiner Behauptung vornehmlich auf folgende Punkte:

1. Ein Vergleich der von den verschiedenen Forschern gewonnenen Resultate ergibt eine Abweichung in den wesentlichsten Punkten.
2. Trotz zwölfjähriger Beobachtung konnte Th. de Saussure bei *Arum italicum*, der am häufigsten untersuchten Aracee, niemals eine messbare Eigenwärme feststellen.
3. Die Höhe der beobachteten Temperaturüberschüsse wird sehr verschieden angegeben.
4. Auch über die Zeit der maximalen Erwärmung gehen die Meinungen weit auseinander.
5. Das Abschneiden und Aufspalten der Araceenkolben bringt keine Veränderung des Wärmephänomens hervor.
6. Bei seinen eigenen Untersuchungen an den verschiedensten Araceen wurden nur Temperaturüberschüsse von $\frac{1}{2}^{\circ}$ bis 1° beobachtet, „dergleichen ein durch geringfügige Ursachen, z. B. die blosse Nähe oder das Atmen des Beobachters, gestörtes Gleichgewicht der Wärme schon hervorzubringen vermag.“
7. Bei der Berührung mit der Zungenspitze fühlt sich der Kolben stets minder kalt als die übrigen Teile an; das kann die falsche Meinung veranlasst haben, beruht aber auf einem geringeren Wärmeleitungsvermögen.

Er sagt am Schlusse seiner Abhandlung (l. c. p. 268.): „Ich glaube demnach, so weit meine Erfahrungen reichen, überwiegende Gründe dafür zu haben, dass bei den Pflanzen keine Entwicklung von Licht und Wärme als Resultat des Lebensprozesses statt habe.“

Sehr umfangreiche Studien über Pflanzeneigenwärme hat H. R. Göppert in den Jahren 1830 (27) und 1832 (28) veröffentlicht. Ganz besonderes Interesse wendet er der Frage zu, ob die Gewächse imstande sind, sich durch selbsttätige Wärmeproduktion vor dem Erfrieren zu schützen. Er stellt daher eingehende Versuche an über die Einwirkung der Kälte auf die pflanzlichen Gewebe. Auf Grund des mikroskopischen Befundes weist er nach, dass die Anschauung, das Gefrieren der Säfte hätte stets eine Zerreissung der Zellmembranen zur Folge, irrig ist, und dass von vielen Pflanzen Eisbildung in den Zellen sehr wohl ertragen wird.¹⁾ Man ist also nicht berechtigt, aus der Tatsache, dass die Gewächse tiefe Temperaturen ohne Schaden überstehen, auf eine aktive Erwärmung im Innern zu schliessen. In seiner Arbeit „Über die Wärmeentwicklung in den Pflanzen, deren Gefrieren und die Schutzmittel gegen dasselbe“ (1830) referiert Göppert dann sehr eingehend über die bis 1830 erschienene Literatur. Dabei disponiert er folgendermassen:

- 1) „Die Pflanzen sollen die Fähigkeit besitzen, eine ihnen eigentümliche Wärme zu erzeugen, und sich so gegen die ungünstigen Einflüsse der Temperatur zu schützen vermögen.“ Es handelt sich in diesem Abschnitte um die Untersuchungen von: Hunter, Schöpf, Uslar, Salomé, Hermbstaedt, Hassenfratz, Nau, Blagden, Slevogt, Balde, G.R. Treviranus, Willdenow, Smith, Rudolphi, Strauß, Schübler, Fontana.

Eine eingehende Widerlegung dieser Anschauung findet sich in meiner Arbeit: Untersuchungen über die Blütenwärme der Araceen. Greifswald 1910.

1) Schon vor Göppert hatte Aubert du Petit Thouars darauf hingewiesen, dass es in den Pflanzen keineswegs selten zur Bildung von Eiskristallen käme, und dass dieser Vorgang keine Vernichtung des pflanzlichen Lebens zur Folge haben brauche. Der Satz Freyers: „Kein belebter Körper kann gefrieren“ ist mithin falsch. Vergl. hierüber Aubert du Petit Thouars: *Le verger francais, ou traité général de la culture des arbres fruitiers qui croissent en pleine terre dans les environs de Paris etc. contenant un memoire sur les effects de la gelée dans les plantes.* Paris 1817. — Vergl. auch H. R. Göppert: l. c. 1830. p. 30 u. 147.

- 2) „Die Pflanzen sollen nur zur Zeit der Begattung in ihren Blüten eine höhere Temperatur erzeugen.“
Untersuchungen über die Wärme der Blüten!
- 3) „Die Pflanzen sollen nicht die Fähigkeit besitzen, eine ihnen eigentümliche Wärme zu erzeugen, wohl aber werde ihnen Wärme aus der Erde mitgeteilt und sie auf diese Weise vor dem schädlichen Einfluss der Kälte geschützt.“

Am Ende des ersten Abschnittes teilt der Verfasser eine grössere Zahl von Temperaturmessungen mit, die er an Kartoffelknollen, Tazettenzwiebeln, Rüben und Äpfeln ausgeführt hat. Er bestreitet die Fähigkeit der Gewächse, sich in wahrnehmbarem Masse selbsttätig zu erwärmen. „Alle diese Beobachtungen beweisen wie die früheren, dass den Bäumen nicht das Vermögen eigen ist, durch ihre Vegetationstätigkeit in bemerkbarem Grade Wärme wie die höheren, warmblütigen Tiere zu entwickeln, dass sie aber wohl die Fähigkeit besitzen, die Temperatur der Luft und der Erdschichten, in welchen sie wurzeln, je nach dem verschiedenen Trieb der Säfte in verschiedenem Verhältnis in sich zu leiten und durch Verdunstung zum Teil wieder abzugeben, wodurch ihre Temperatur bald grösser, bald geringer wird, als die der umgebenden Luft.¹⁾

Diesem Urteile Göppert's können wir unbedingt beipflichten. Es muss aber hervorgehoben werden, dass Göppert weit über das Ziel hinausschiesst, wenn er an einer anderen Stelle sagt: „Pflanzen besitzen in keiner Epoche ihres Lebens die Fähigkeit, eine eigene Wärme zu erzeugen.“²⁾ Bereits zwei Jahre später (1832) macht derselbe Autor Mitteilungen über eine grosse Zahl von Experimenten (Zusammenhäufungsmethode!), aus denen sich ganz unzweifelhaft ergibt, dass unter besonderen Umständen eine lebhaft Wärmeentbindung in der Pflanze nachweisbar ist.³⁾

1) H. R. Göppert: l. c. 1830. p. 163. Die Sperrung des Original-Textes habe ich hier unterdrückt.

2) l. c. p. 228. Auch hier ist die Sperrung beseitigt.

3) Vergl. H. R. Göppert: Über Wärmeentwicklung in der lebenden Pflanze. Ein Vortrag. Wien 1832. Am Schlusse dieser Arbeit

Mit einigen Versuchen, deren Ergebnisse das zu Anfang dieses Abschnittes entworfene Bild durchaus bestätigen, macht uns 1843 Rameaux (33) bekannt. Besonders studierte er den Einfluss direkter Insolation auf den Temperaturzustand des Stammes.¹⁾ Seine Untersuchungen finden später ihre Fortsetzung und Ergänzung durch die Arbeiten R. Hartig's.²⁾

H. W. Dove (35) weist 1846 darauf hin, dass in vielen Fällen die Wirkung der Insolation auf die Baumstämme erheblicher ist als die entgegengesetzte Wirkung der Wärme-

(p. 26) heisst es: „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 sich entbindet, und sich die Pflanzen durch diese Eigentümlichkeit, die, wie ich glaube, durch meine Versuche ausser Zweifel gesetzt ist, auch hierin als belebte Wesen der höheren Reihe der Organisationen den Tieren anschliessen, den Tieren, die auf ihren niedrigsten Stufen eine überraschende Ähnlichkeit hinsichtlich dieses physiologischen Vorganges zeigen.“ — Vergl. auch E. Leick. l. c. 1911. p. 152-154.

1) Als Untersuchungsobjekt diente Stamm und Ast einer Pappel. Er stellte unter anderem fest, dass in einem lebenden Baumstamme infolge der durch starke Transpiration der Blätter hervorgerufenen Wasserbewegung die Temperatur um 10° geringer sein kann, als in einem abgestorbenen Holzkörper. Wurde der lebende Baum seiner Äste beraubt, so stimmten nach einiger Zeit die Temperaturen in beiden Stämmen beinahe überein. Vergl. W. Pfeffer: l. c. 2. Aufl. Bd. 2. Leipzig 1904. p. 849. — J. Sachs: Handb. d. Experimental-Phys. d. Pfl. Leipzig 1865. p. 51. — In diesem Zusammenhange sei auch auf die Beobachtung von Stahl (Biologie des Chlorophylls. 1909.) verwiesen, dass die Flachsprosse von *Opuntia monacantha*, die senkrecht von der Sonne getroffen werden, um 9° wärmer sind als solche, die eine schräge Besonnung erfahren. — W. Neger (l. c. p. 87.) verweist ferner auf Passerini (Nuovo giornale botan. italiano Bd. 8. 1901. p. 69.), der das Innere besonnener Sprosse von *Opuntia ficus indica* um 15° wärmer fand als die umgebende Luft.

2) R. Hartig: Die Erhitzung der Bäume nach völliger oder teilweiser Entnadelung. Forstl. naturwiss. Zeitschr. 1892. — R. Hartig: Doppelringe als Folge von Spätfrost. Forstl. naturwiss. Zeitschr. 1895. — Vergl. auch W. Neger: Biologie d. Pfl. Stuttgart 1913. p. 82-83 u. p. 135 der vorliegenden Arbeit!

ausstrahlung während der Nacht. Daraus folgt, dass die mittlere Temperatur der Sprosssteile die mittlere Temperatur der Luft in der Regel übertreffen muss.¹⁾

Auch die Einwirkung der Bodentemperatur ist nicht gering. Schon in einer Tiefe von wenigen Metern treffen wir auf die Indifferenzzone, die allerdings nach Klima, Bodenverhältnissen und Beschattungsdauer oscilliert. Pflanzen mit ausgedehntem Wurzelsystem leben also in einem dem Seeklima angenäherten Temperaturzustande. Etwa 7 Meter tiefe Schichten weisen die niedrigste Temperatur im Juli, die höchste dagegen im Januar auf. Es kann die Wurzel sich also im Sommer in einer kälteren Umgebung befinden, als im Winter.²⁾

Aus dem Jahre 1854 stammen die Untersuchungen von Krutsch (36), die nach dem Urteile von Julius Sachs alle vorangegangenen an Umfang und Gründlichkeit übertreffen. Wir begnügen uns damit, die wichtigsten Resultate in wenigen Sätzen zu fixieren:³⁾

- 1) Je dicker ein Stamm ist, um so abweichender sind die Wärmegrade, die an den verschiedenen Stellen seines Innern gemessen werden.
- 2) In dünnen Stammteilen sind die Minima und Maxima excessiver als in dicken; die letzteren zeigen eine geringere mittlere Tagestemperatur als die ersteren.
- 3) Während die unteren Partien des Stammes vornehmlich von der Bodentemperatur abhängig sind, kommt für die höher gelegenen Teile in erster Linie die Lufttemperatur in Betracht.
- 4) Die Differenz zwischen Aussen- und Innentemperatur ist während des Tages meist negativ, während der Nacht dagegen positiv.

1) Vergl. J. Sachs: Handb. d. Experimental-Physiologie d. Pflanzen. Leipzig 1865. p. 51. — Dieses Resultat steht im Gegensatz zu der oben (p. 126) angegebenen, von Schübler berechneten Tabelle, nach der sich als jährlicher Mittelwert — 0,22° ergibt.

2) Im besten Einklange hiermit steht die oben (p. 123) angeführte Beobachtung Nau's, dass das Innere einer Buchenwurzel im Januar bei — 2° Lufttemperatur + 2° (also 4° Temperaturüberschuss!) aufweist.

3) Vergl. J. Sachs: l. c. p. 50-51. Vergl. auch p. 112 Anm. der vorliegenden Arbeit! Untersucht wurden Weymouthskiefer und Ahorn.

- 5) Im Winter ist der Stamm morgens wärmer, mittags kälter und abends in allen Teilen wiederum wärmer als die Luft.
- 6) Im Frühlinge ist der Stamm morgens kälter, mittags ebenfalls kälter, abends dagegen oben wärmer und nur unten kälter als das umgebende Medium.
- 7) Im Sommer ist der Stamm morgens und mittags kälter, abends in den höheren Teilen wärmer, in den unteren Teilen kälter als die Luft. Der Temperaturverlauf entspricht wenigstens qualitativ demjenigen des Frühjahres.
- 8) Im Herbste ist der Stamm, ebenso wie in den vorangegangenen Jahreszeiten, morgens und mittags kälter, abends aber oben und unten wärmer als die umgebende Luft.
- 9) Dickere Stämme erreichen die Maxima und Minima der Tagestemperatur nicht, dünne Äste dagegen können bis auf das Aussenminimum sinken und bei längerer Insolation das Aussenmaximum übersteigen.
- 10) Die Bodentemperatur erzeugt in den inneren Schichten der Stammbasis ein tägliches Minimum, das niedriger als dasjenige der Luft ist.
- 11) Das monatliche Temperatur-Mittel übersteigt in den höheren Stammteilen dasjenige der Luft, bleibt aber weiter unten hinter ihm zurück.
- 12) Analog den höheren und den niedrigeren Teilen verhalten sich auch die äusseren und die inneren.
- 13) Die Wurzel zeigt Winter (Einfluss des kalten Stammes) wie Sommer (Einfluss des kalten Tiefenwassers) eine niedrigere Temperatur als das benachbarte Erdreich.
- 14) Je nach dem physikalischen Verhalten der verschiedenen Holzarten erfahren die geschilderten Verhältnisse quantitative Abänderungen.¹⁾

1) In der Weymouthskiefer z. B. geht infolge des grösseren Wärmeleitungsvermögens der Temperatúrausgleich viel schneller vor sich als in den meisten anderen Bäumen.

Bequerel (37 u. 38) stellt 1858 Beobachtungen an einem Pflaumenbaume¹⁾ mit Hilfe von Thermonadeln an. Er stützt sich hauptsächlich auf die Untersuchungen von Bravais und Thomas²⁾, deren Ergebnisse für uns ohne nennenswerte Bedeutung sind.

Die wenigen Untersuchungen der letzten 50 Jahre haben die vorstehenden Resultate in allen wesentlichen Punkten bestätigt und dargetan, dass je nach den physikalischen Eigenschaften der Pflanzensubstanz und nach den Aussenbedingungen erhebliche Modifikationen eintreten können.

Th. Hartig veröffentlicht 1873 (43) und 1874 (44) eine grössere Anzahl von Temperaturmessungen an Baumstämmen. Er liefert den Beweis, dass bei Waldbäumen die Temperaturkurve des Stammes derjenigen des Bodens sehr ähnlich ist. Wird der Stamm direkt von der Sonne getroffen, so ist die innere Schwankung viel erheblicher als im Schatten.³⁾ In horizontaler Richtung erfolgt der Temperatúrausgleich bedeutend langsamer als in vertikaler.⁴⁾ Je tiefer die untersuchte Schicht liegt, um so mehr werden ihre Maxima und Minima verzögert. Das ergibt sich beispielsweise aus folgender Zusammenstellung:

Tiefe des Bohrloches.	Max.	Min.
4 cm:	6 ^h ab.	6 ^h morg.
8 cm:	8 ^h ab.	8 ^h morg.
12 cm:	10 ^h ab.	10 ^h morg.

Das geringe Wärmeleitungsvermögen des Stammes, sowie die Kommunikation mit wärmeren Erdschichten be-

1) Auch an einem Ahorn wurden Messungen vorgenommen.

2) Vergl. Wilda's Zentralblatt. 1860. p. 325.

3) Bei einer äusseren Tages-Amplitude von 20° zeigte sich im Innern eines beschatteten Stammes eine solche von 2—3°, im Innern eines besonnten Stammes dagegen eine Schwankung bis zu 7°. — Th. Hartig: Üb. d. Temperatur der Baumlufte. Allgem. Forst- und Jagdzeit. Januar 1873. — Vergl. auch p. 112 der vorliegenden Arbeit!

4) Hierüber finden sich eingehende Literaturangaben auf p. 110 der vorliegenden Arbeit. — Vergl. auch J. Sachs: Experimental-Physiol. d. Pfl. Leipzig 1865. p. 50.

dingt es, dass im Winter der Stamm häufig viel höhere Temperaturen aufweist als die umgebende Luft. So sank das Thermometer im Innern des Baumes bei einer Aussentemperatur von -15 bis -22° nur auf -13° .¹⁾

In einer späteren Arbeit²⁾ teilt derselbe Autor seine Beobachtungen an zwei nahezu 200jährigen Eichen mit. Die Messungen wurden ein ganzes Jahr hindurch fortgesetzt. Der eine Baum war abgestorben, der andere befand sich in vollkräftiger Vegetation.³⁾ Die Thermometer befanden sich in gleichtiefen Bohrlöchern. Die abgelesenen Temperaturen wurden nicht nur miteinander verglichen, sondern auch mit der Luft- und Bodentemperatur. Während der Winterruhe ergaben sich nur geringfügige Differenzen zwischen dem toten und dem lebenden Stamme. Zur Zeit der Knospenschwellung zeigte sich der letztere durchschnittlich etwas wärmer. Sobald aber die Blätter voll entfaltet waren, sank die Temperatur im Innern infolge des kräftigen Transpirationsstromes und stellte sich dauernd niedriger ein als in dem abgetöteten Stamme. Je höher die Aussentemperatur steigt, um so lebhafter wird die Verdunstung, um so mehr bleibt die Temperatur des lebenden Baumes hinter der des abgestorbenen zurück.

Aus dem Jahre 1882 stammen die Untersuchungen von Egon Ihne (47). Besonders die Wirkungen der Insolation auf Baumstämme und Zweige wurden eingehend geprüft.⁴⁾ An sonnigen Tagen ergaben die Messungen folgende Resultate:

- 1) Die Temperaturmaxima werden um so grösser, je näher die Schichten der besonnten Oberfläche liegen.
- 2) Bei langer Insolation kann sich der Stamm trotz der adiabatischen Borkenhülle bis auf 40° erhitzen.

1) Vergleiche die Angaben bei W. Pfeffer: l. c. 2. Aufl. Bd. 2. Leipzig 1904. p. 851.

2) Th. Hartig: Allgem. Forst- und Jagdzeit. 1874. p. 145-152.

3) Ähnliche Untersuchungen wurden bereits von Salomé und Rameaux ausgeführt. Vergl. diese!

4) Vergl. p. 130 der vorliegenden Arbeit!

- 3) Die Sonnenseite kann bis zu 20^0 wärmer werden als die Schattenseite.¹⁾
- 4) Das Maximum tritt um so später ein, je tiefer innen sich das Thermometer befindet.
- 5) Die Temperatur der Äste steigt schneller als die des dicken Stammes.
- 6) Das höchste Maximum erreicht der Stamm.
- 7) Nach Überschreitung des Maximums fällt die Temperatur ziemlich schnell wieder ab.

Ihne tat durch weitere Experimente überzeugend dar, dass sich alle seine Ergebnisse ungezwungen aus den physikalischen Versuchsbedingungen erklären lassen. Eine grössere Anzahl von Messungen wurde an Blechröhren von verschiedenem Durchmesser, die mit Sand gefüllt waren, vorgenommen. Sie ergaben durchaus analoge Werte.

Schliesslich haben wir noch der Untersuchungen R. Hartig's (50)²⁾ zu gedenken, die nicht unwesentliche Resultate zu Tage gefördert haben. Schon an einer früheren Stelle dieser Arbeit³⁾ wurde die durch R. Hartig zuerst festgestellte Tatsache erwähnt, dass die Temperatur im Innern des Baumstammes zu steigen beginnt, sobald man die Krone ihrer Blätter (resp. Nadeln) beraubt und so den Transpirationsstrom auf ein Minimum herabdrückt. Ferner ist der Umstand von Bedeutung, dass die Kambialschicht um so stärker erwärmt wird, je dünner die Borke ist. Temperaturüberschüsse von $8-10^0$ sind auf der Sonnenseite keine Seltenheit.⁴⁾ Es kann also bei schwacher Borkenentwicklung leicht zu supra-maximalen Erwärmungen kommen, die dann die Erscheinung

1) Vergl. die Angaben bei Müller-Thurgau: Landwirtsch. Jahrb. Bd. 15. 1886. p. 531. — R. Hartig: Forstl. naturw. Zeitschr. 1892. Heft 3, 10, 12. — Prinz: Botan. Jahresber. Bd. 1. 1894. p. 226. — Büsgen: Bau und Leben der Waldbäume. 1897. — W. Pfeffer: Handb. d. Pflanzenphys. 2. Aufl. Bd. 2. Leipzig 1904. p. 894.

2) Eine zweite Arbeit desselben Autors ist versehentlich nicht in das Literaturverzeichnis aufgenommen worden: R. Hartig: Doppelringe als Folge von Spätfrost. Forstl. naturwiss. Zeitschrift. 1895.

3) Vergl. p. 108 der vorliegenden Arbeit!

4) Vergl. W. Neger: Biologie der Pflanzen. Stuttgart 1913. p. 82.

des Rindenbrandes¹⁾ zur Folge haben. Wie verschiedenartig die Insolationswirkung unter gleichen äusseren Umständen ausfallen kann, geht aus der Angabe R. Hartig's hervor, dass bei einer Lufttemperatur von $+37^{\circ}$ das Kambium der dünnborkigen Fichte auf der besonnten Seite bis auf $+55^{\circ}$ erhitzt wird, während ein dickborkiger Kiefernstamm zu gleicher Zeit im Kambium nur $+40^{\circ}$ aufweist. Demnach ist die Fichte den Gefahren einer zu starken Sonnen- oder auch Frostwirkung mehr ausgesetzt als die Kiefer. Damit übereinstimmend fand R. Hartig an einem Fichtenstamm Spätfrostringe, die bis zu den 10- und 12-jährigen Teilen abwärts reichten, während sie bei einer benachbarten Kiefer nur an den jüngsten Teilen (etwa bis zum 6-jährigen Holz) nachweisbar waren.²⁾

Wir können somit die Akten über den vorliegenden Gegenstand als geschlossen betrachten. Die zahlreichen Untersuchungen haben mit Sicherheit ergeben, dass die Temperaturen im Innern von Baumstämmen mehr oder weniger erheblich von den Lufttemperaturen abweichen. Diese Abweichungen sind aber ausschliesslich durch die physikalischen Verhältnisse hervorgerufen und dürfen auf keinen Fall mit vitalen Vorgängen in unmittelbare Verbindung gebracht werden. Das Vorhandensein einer Wärme-produktion innerhalb der lebenden Gewebeschichten des Stammes ist theoretisch nicht zu bezweifeln. Die Beeinflussung des Temperaturzustandes des gesamten Stammes muss aber unter allen Umständen eine minimale sein, so dass sie infolge der zahlreichen Fehlerquellen, die die angewendete Untersuchungsmethode notwendig mit sich bringt, niemals durch direkte Messung ermittelt werden kann.

1) Vergl. Vonhausen: Untersuchung über den Rindenbrand der Bäume. Allgem. Forst- u. Jagdzeitung. 1873.

2) Vergl. hierüber die Ausführungen Neger's: l. c. 1913. p. 82-83.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1912

Band/Volume: [44](#)

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

Artikel/Article: [Über den Temperaturzustand verholzter Achsenorgane 101-136](#)