

# **Die Wärmeentwicklung der Pflanze.**

Von

**Hofrat Prof. Dr. Hans Molisch.**

---

Vortrag, gehalten den 12. Dezember 1917.

Mit 5 Textfiguren.

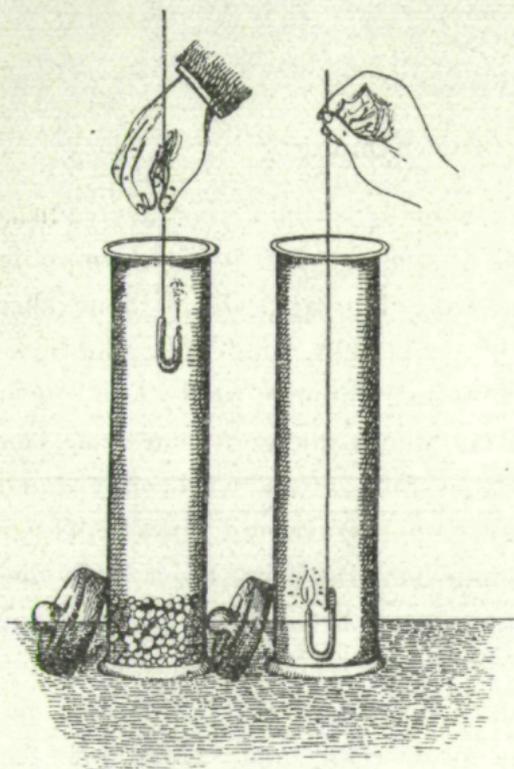


## 1. Die Atmung.

Der Schleier, der über dem Geheimnis des Lebens liegt, ist noch ziemlich dicht. Aber je tiefer man in das Getriebe des Lebens eindringt, desto deutlicher zeigt sich immer mehr und mehr, daß ein grundsätzlicher Unterschied zwischen Pflanze und Tier nicht besteht — auch nicht in der Atmung. Wenn das Tier atmet, so nimmt es Sauerstoff auf und verbrennt damit organische Substanz zu Kohlensäure und Wasser. Heute kann man noch in manchen Büchern lesen, daß der Pflanze angeblich eine umgekehrte Atmung zukomme: während das Tier bei der Atmung Sauerstoff aufnimmt und Kohlensäure abgibt, soll die Pflanze umgekehrt Kohlensäure aufnehmen und Sauerstoff entbinden. Dies beruht auf einem Irrtum. Die Pflanze atmet so wie das Tier, aber in der grünen Pflanze geht während der Belichtung noch ein anderer Prozeß, die Kohlensäure-Assimilation, vor sich und diese ist durch einen der Atmung entgegengesetzten Gaswechsel charakterisiert. Die Kohlensäure-Assimilation geht nur in den grünen Teilen der Pflanze und nur im Lichte vor sich. Die Atmung hingegen spielt sich in jedem Teil

der Pflanze ab, gleichgültig ob beleuchtet oder verdunkelt, gleichgültig ob grün oder nicht grün. Zwei einfache Versuche sollen uns darüber belehren, daß

die Pflanze bei der Atmung Sauerstoff verbraucht und Kohlensäure entwickelt.



Figur 1.

Verbrauch des Sauerstoffs bei der Atmung.  
(Original.)

Versuch I. Ich nehme zwei Glaszylinder — Fig. 1 — und fülle den einen mit einer Handvoll keimender Erbsensamen, den andern lasse ich leer. Beide werden durch gut eingeriebene Glasstöpsel von der äußeren atmosphärischen Luft abgeschlossen und in einem warmen Zimmer finster aufgestellt.

Taucht man nach etwa 24 Stunden in das Erbsengefäß ein brennendes Kerzchen, so erlischt es sogleich, aber in den leeren Kontrollzylinder eingeführt, brennt es dauernd weiter. Das Erlöschen des Kerzchens in dem ersten erfolgt, weil die keimenden

Erbsen den in dem abgesperrten Luftraum vorhandenen Sauerstoff verbraucht haben. Damit ist aber jenes Gas, das die Verbrennung unterhält, entfernt.

Versuch II. Um den Beweis zu liefern, daß bei der Atmung Kohlensäure entwickelt wird, genügt es, wieder zwei gleiche Glaszylinder zu nehmen, beide mit etwas klarer Ätzkalklösung zu füllen und den einen mit einem lebenden, beblätterten Sproß, z. B. des Flieiders oder der Linde, so zu versehen, daß der Sproß sich über der Kalklösung befindet. Der zweite Zylinder dient zur Kontrolle. Schon nach einigen Stunden, sicher nach einem Tage, hat sich die früher klare Ätzkalklösung in dem Gefäße mit dem Sproß infolge der Bildung von Kohlensäure, beziehungsweise von kohlen-saurem Kalk, getrübt, während in dem Kontrollgefäß ohne Zweig die Flüssigkeit sich klar erhalten hat, da keine Kohlensäure gebildet wurde.

Die Intensität der Atmung ist bei verschiedenen Gewächsen sehr verschieden. Kakteen, Hauswurz, überhaupt Pflanzen, die man wegen ihrer fleischigen oder dicklichen Blätter oder Stämme als Fettpflanzen oder Sukkulente bezeichnet, und Schattenpflanzen atmen schwach oder mäßig. Pilze, Keimlinge und Blüten dagegen atmen stark. Nimmt man die Menge der gebildeten Kohlensäure, bezogen auf das Frischgewicht, als Maß für die Intensität der Atmung an, so läßt sich leicht erkennen, daß keimende Samen oder rasch wachsende und sich vermehrende Pilze ebenso oder noch intensiver atmen als der Mensch.

Wenn die Atmung einen Oxydationsvorgang, also eine Verbrennung darstellt, dann muß dabei Wärme entstehen. Dem scheint aber die gewöhnliche Erfahrung zu widersprechen, denn wenn man im Waldesschatten die Blätter berührt, so erscheinen sie nicht wärmer als die Luft der Umgebung, sondern eher kühler. Der Grund davon liegt darin, daß die durch die Atmung erzeugte Wärme durch zwei Vorgänge wieder rasch entführt wird: durch die Wärmeausstrahlung und die Transpiration.

Jeder Körper strahlt Wärme aus, und zwar um so mehr, je größer seine Oberfläche ist. Die der Pflanze ist meistens sehr groß, die Blätter sind ja zumeist flächenartig entwickelt und deshalb geben sie die Wärme auch leicht ab.

Wärme entführend wirkt auch die Transpiration, d. i. die Abgabe von Wasser in Form von Dampf durch die Oberfläche der Pflanze. Legt man auf den Handteller einen Tropfen einer rasch verdampfenden Flüssigkeit, z. B. Alkohol oder Äther, so hat man sofort die Empfindung der Kälte. Zur Umwandlung von Flüssigkeit in Dampf ist eben Wärme notwendig und diese liefert die Hand, daher die Empfindung der Kälte. Wenn nun ein Blatt Wasser verdampft, so wird ihm gleichfalls Wärme entzogen; es bildet sich Verdunstungskälte und diese bewirkt zusammen mit der Wärmeausstrahlung, daß die in der Pflanze erzeugte Atmungswärme nicht zum Vorschein kommt. Ja die Verdunstungskälte läßt die Pflanze sogar häufig kühler erscheinen als die Luft der nächsten Umgebung. Sorgt

man aber dafür, daß die beiden wärmeentziehenden Erscheinungen nahezu oder völlig ausgeschlossen werden, so ist es leicht, auch die Wärmeentwicklung der Pflanze mit Sicherheit zu erweisen. Stark atmende Blüten, Keimlinge und auch frische Laubblätter eignen sich ganz besonders zu Versuchen über Selbsterwärmung.

## 2. Die Selbsterwärmung von Laubblättern.

Die Atmungsgröße der Blätter hat man lange Zeit unterschätzt, aber ich<sup>1)</sup> konnte mich überzeugen, daß gerade die Laubblätter vieler Gewächse sich stark zu erwärmen vermögen, wofür die Versuche in folgender Weise angestellt werden:

Ein Weidenkorb von etwa 40 cm Höhe und 30 cm mittlerer Breite wird mit frisch gepflückten Blättern, z. B. von der Hainbuche, Birne oder der falschen Akazie, gefüllt, was etwa einem Frischgewicht von 3—5 Kilogramm Blätter gleichkommt. Die obere freie Korbfläche wird mit Pappendeckel bedeckt, ein Thermometer mitten in die Blattmasse eingeführt, der Korb in eine Holzkiste gestellt und der Raum zwischen Kiste und Korb mit einem schlechten Wärmeleiter, mit Holzwohle ausgefüllt. Um die Wärmeausstrahlung und Wärmeleitung möglichst zu verhindern, wird das Ganze noch mit einem Tuche mehrfach umhüllt.

Unter diesen Umständen erwärmen sich die Blätter vieler Gehölze schon innerhalb eines Tages sehr be-

---

<sup>1)</sup> Molisch H., Über hochgradige Selbsterwärmung lebender Laubblätter. Botanische Zeitung, 1908, p. 211.

deutend, oft bis zur oberen Temperaturgrenze des Lebens, wie folgende Tabelle zeigt:

Frisch gepflückte Blätter von	Lufttemperatur in C°	Temperatur- maximum der Blätter C°	Innerhalb Stunden
<i>Pirus communis</i> (Birne) . .	15	59	27
<i>Carpinus betulus</i> (Hainbuche)	23	51·5	15
<i>Robinia pseudacacia</i> (Akazie)	24	51	13
<i>Tilia</i> sp. (Linde) . . . . .	18	50·8	27·5
<i>Juglans regia</i> (Wallnuß) . . .	15	49·7	43·5
<i>Salix caprea</i> (Sahlweide) . .	15	47·1	22
<i>Cytisus laburnum</i> (Goldregen)	18	45·6	18·5
<i>Vitis vinifera</i> (Weinstock) .	17	43·3	28

Einen genaueren Einblick in den Verlauf des Temperaturanstieges gibt der folgende mit den Blättern der Hainbuche angestellte Versuch.

Beginn des Experiments am 27. Juni 1907, Ende am 11. Juli 1907. Frischgewicht der Blätter 3·5 kg.

Datum		Temperatur der Zimmerluft C°	Temperatur der Blätter C°	Datum		Temperatur der Zimmerluft C°	Temperatur der Blätter C°
27. VI.	2 <sup>h</sup> p. m.	23	22	27. VI.	8 <sup>h</sup> p. m.	23	35·5
	3 "	23	25		9 "	23	35·7
	5 "	23	28		10 "	23	41·4
	6 "	23	30		11 "	23	43·9
	7 "	23	33·7	28. VI.	5 <sup>h</sup> a. m.	22·5	51·5

Datum	Temperatur der Zimmerluft C°	Temperatur der Blätter C°	Datum	Temperatur der Zimmerluft C°	Temperatur der Blätter C°
28. VI. 7 <sup>h</sup> a. m.	22·5	50·5	1. VII. 5 <sup>h</sup> p. m.	24·5	46·8
8 "	22	50	6 "	24·5	46·9
9 "	22	49·2	10 "	24·5	47·2
10 "	22	48·6	2. VII. 4 <sup>h</sup> a. m.	24·5	47
12 "	22	46·8	7 "	24·5	46·8
2 <sup>h</sup> p. m.	22	44·6	10 "	24·5	46·5
3 "	22	43	1 <sup>h</sup> p. m.	24·5	46·2
5 "	22	41·6	5 "	24·5	45·9
6 "	22	40·7	9 "	24·5	45·1
7 "	22	39·9	3. VII. 7 <sup>h</sup> a. m.	24	43·2
10 "	22	38	12 "	24	41·9
29. VI. 5 <sup>h</sup> a. m.	22	34·9	1 <sup>h</sup> p. m.	24	41·6
7 "	22	34	4 "	23	40·7
8 "	22	34	5 "	23	40
10 "	22	33·9	10 "	23	39·8
1 <sup>h</sup> p. m.	22·5	33·7	4. VII. 5 <sup>h</sup> a. m.	22	36
6 "	22·5	33·7	10 "	22	35
30. VI. 11 <sup>h</sup> a. m.	22·5	39·4	12 "	22	34·5
12 "	22·5	39·6	6 <sup>h</sup> p. m.	22	32·2
1 <sup>h</sup> p. m.	22·5	40·1	5. VII. 5 <sup>h</sup> a. m.	21·5	31·1
9 "	22·5	42·7	1 <sup>h</sup> p. m.	21·5	30·1
1. VII. 4 <sup>h</sup> a. m.	23·3	43·9	5 "	21·5	29·5
6 "	23·3	42·2	10 "	21·5	29
8 "	23·3	44·7	6. VII. 5 <sup>h</sup> a. m.	23	29
9 "	23·3	45·2	12 "	23	28·9
10 "	23·5	45·5	10 <sup>h</sup> p. m.	23	29·3
12 "	23·5	46	7. VII. 6 <sup>h</sup> a. m.	23·5	29·3
2 <sup>h</sup> p. m.	24·1	46·7	6 <sup>h</sup> p. m.	23·5	29

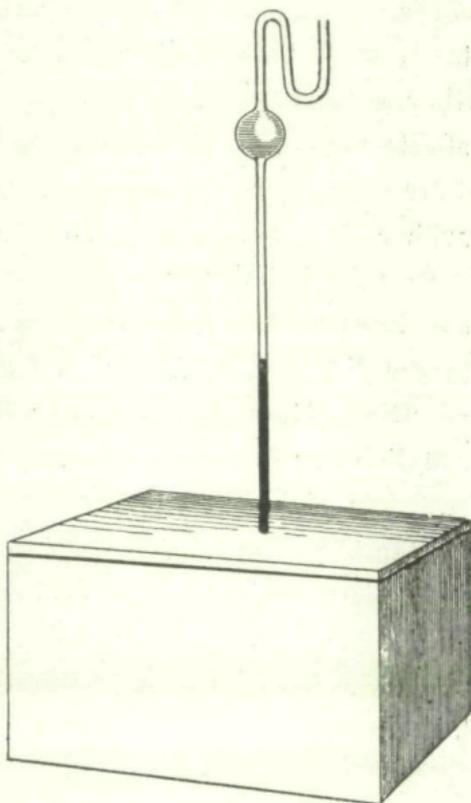
D a t u m		Temperatur der Zimmerluft C°	Temperatur der Blätter C°	D a t u m		Temperatur der Zimmerluft C°	Temperatur der Blätter C°
7. VII.	6 <sup>h</sup> p. m.	23·5	28·8	9. VII.	9 <sup>h</sup> p. m.	22·5	26·3
8. VII.	4 <sup>h</sup> a. m.	23	28·6	10. VII.	5 <sup>h</sup> a. m.	22·5	25·8
	6 <sup>h</sup> p. m.	23	26·9		7 <sup>h</sup> p. m.	22·5	25·6
	10 "	23	26·7	11. VII.	5 <sup>h</sup> a. m.	22·5	25·6
9. VII.	5 <sup>h</sup> a. m.	23	26·7		9 <sup>h</sup> p. m.	22·5	25·3
	7 <sup>h</sup> p. m.	23	26·4				

Die Tabellen zeigen, daß die Blätter sich schon innerhalb verhältnismäßig kurzer Zeit, nämlich innerhalb 9 Stunden, von 22° auf 43·9° und innerhalb 15 Stunden auf 51·5° erwärmten; daß dann während der nächsten 37 Stunden wieder ein langsames Abfallen der Temperatur auf 33·7° zu verzeichnen war und daß hierauf die Temperatur wieder zu einem zweiten, aber etwas kleineren Maximum von 47·2° anstieg, um schließlich wieder nach und nach fast bis zur Lufttemperatur zu sinken. Es kommt also zu zwei Gipfelpunkten der Temperatur 51·5 und 47·2. Das erste Maximum ist auf Rechnung der Atmung der lebenden Blätter zu setzen. Dabei erwärmen sich die Blätter so hochgradig, daß sie in der von ihnen selbst erzeugten Wärme absterben. Nach dem Eintritt des Todes hört die Atmung auf und die Temperatur sinkt. Auf der toten Blattmasse beginnen sich nun die Bakterien und Schimmelpilzkeime, die auf den Blättern in spärlicher Zahl vorhanden waren

und auf der toten organischen Substanz außerordentlich günstige Entwicklungsbedingungen finden, rasch zu vermehren. Das Heer der neuentstandenen Kleinwesen atmet sehr intensiv und entwickelt bei der Atmung soviel Wärme, daß die Temperatur wieder zu steigen beginnt und sich schließlich bis zum zweiten Maximum erhebt. Damit ist auch der Höhepunkt in der Entwicklung der Mikroorganismen erreicht und sowie diese zurückzugehen beginnt, sinkt auch wieder die Temperatur.

Steckt man in eine derartigerhitzteBlattmasse die Hand, so fühlt man die Wärme sofort, und legt man Kakaobutter, welche

einen niedrigen Schmelzpunkt hat, hinein, so schmilzt sie alsbald. Die überaus große Selbsterhitzung lebender Blätter läßt sich auch durch einen hübschen Schulversuch einem größeren Zuhörerkreis veranschaulichen, indem



Figur 2.

Versuch: Das Sieden des Äthers durch die von den Blättern oder Mikroorganismen erzeugte Wärme. *K* Kiste mit sich erwärmenden Blättern, *G* Glasrohr mit gefärbtem Äther.

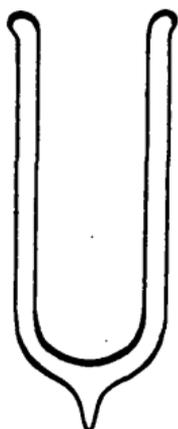
man Äther durch die Blattwärme zum Sieden bringt. Man bedient sich zu diesem Zwecke des in der obestehenden Figur 2 abgebildeten 90 cm langen Glasrohres, das unten geschlossen, oben ballonartig aufgeblasen und zum Teil mit durch Alkannin gefärbten Äther gefüllt ist. Wird die bis etwa zu einem Drittel gefüllte Glasröhre mit ihrem geschlossenen Ende in die Blattmasse, deren Temperatur etwa  $45^{\circ}$ — $50^{\circ}$  oder darüber ist, eingesenkt, so fängt der Äther, dessen Siedepunkt bei  $35.5^{\circ}$  liegt, alsbald zu sieden an, was von einem großen Auditorium auf ziemliche Entfernung hin deutlich gesehen werden kann.

Die Blätter verschiedener Pflanzen verhalten sich bezüglich der Selbsterwärmung recht verschieden. Stark erwärmen sich die in der Tabelle auf Seite 128 genannten, schwach hingegen die von *Canna*, *Tradescantia viridis*, *Bergenia*, die des Epheus, der Tanne und des Krautkopfes. Desgleichen zeigen auch die Knollen der Kartoffel, der Birnen- und Ligusterfrüchte nur geringe Erwärmung.

### 3. Die Selbsterwärmung in Dewar-Gefäßen.

Die vorher beschriebene Methode des Nachweises der Wärmebildung von Blättern in einem von schlechten Wärmeleitern umgebenen Korbe läßt an Einfachheit und Sicherheit nichts zu wünschen übrig. Sie hat aber auch eine große Schattenseite: sie erfordert viel Material. Um 3—5 Kilogramm frischer Blätter zu beschaffen, benötigt man schon ein ansehnliches Bäumchen oder

einen großen Strauch. Es sei daher darauf aufmerksam gemacht, daß die als Thermoflaschen so vielfach verwendeten Dewar-Gefäße ein ausgezeichnetes Mittel an die Hand geben, um die Selbsterhitzung von wenig (100—150 Gramm) Blättern, Blüten oder keimenden Samen in eleganter Weise zu demonstrieren.<sup>1)</sup> Ein Dewar-Gefäß (Figur 3) ist ein doppelwandiges, zylindrisches Glasgefäß, dessen äußerer Hohlraum möglichst ausgepumpt ist. Seine innere Oberfläche ist zur Verminderung der Wärmeausstrahlung versilbert. Wird der innere Hohlraum des Dewar-Gefäßes — dasselbe wurde seinem Erfinder, dem bekannten englischen Chemiker Dewar zu Ehren benannt — mit einer heißen oder kalten Substanz gefüllt, so behält diese ihre Temperatur längere Zeit so ziemlich bei, da durch den luftfreien



Figur 3.

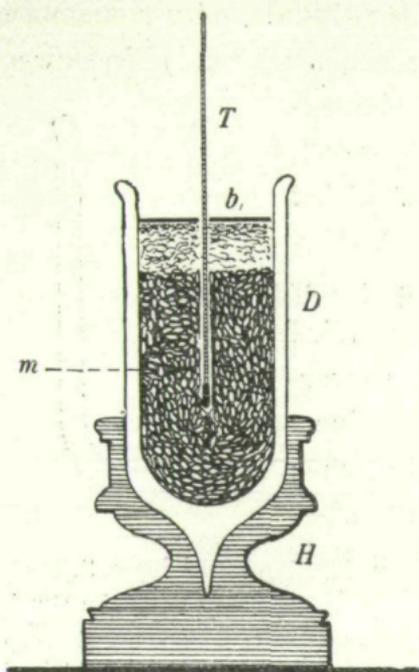
Dewar-Gefäß im Durchschnitt mit Vakuummantel und innerem Hohlraum. Stark verkleinert.

Mantel die Wärme fast nicht oder nur äußerst langsam abgeleitet wird. Die im Handel befindlichen Thermoflaschen, dazu bestimmt, Speisen und Getränke warm oder kalt zu erhalten, sind im wesentlichen Dewar-Gefäße.

Die von mir verwendeten Dewar-Gläser ruhen in einer Holzhülse. Unmittelbar vor Beginn des Versuchs

<sup>1)</sup> Molisch H., Über die Selbsterwärmung von Pflanzen in Dewar-Gefäßen. Zeitschrift für Botanik, 6. Jahrg., 1914, S. 305—325.

werden die Pflanzen gesammelt und frisch (nicht naß!) eingefüllt. Auf die Pflanzen kommt eine kreisrunde, genau in das Gefäß passende Scheibe von Glimmer, um die Transpiration möglichst zu verringern, und



Figur 4.

Dewar-Gefäß montiert, um die Selbstwärmerzeugung von Pflanzen zu zeigen. Stark verkleinert. *D* Glasgefäß mit leer gepumptem Hohlmantel *m*, *T* Thermometer, *b* Baumwolle, *H* Holzfuß. (Original.)

darauf eine 2—4 cm hohe Schicht Baumwolle. Schließlich wird ein feingeteiltes Thermometer so eingeführt, daß der Quecksilberbehälter etwa in die Mitte der Pflanzenmasse zu liegen kommt: Fig. 4. Ob man nun mit Laubblättern oder mit Blüten arbeitet, stets tritt schon innerhalb eines Tages eine bedeutende Wärmeentwicklung ein, und zwar ergeben sich, wie bei den früher geschilderten Korbversuchen, wieder zwei Gipfelpunkte der Temperatur,

wovon der eine wieder auf Rechnung der Atmung der Blätter oder Blüten und der andere auf die Atmung der Bakterien und Schimmelpilze, die sich auf den schließlich in ihrer hohen Eigenwärme abgestorbenen Pflanzenteilen entwickeln, zu stellen ist.

Die folgende Tabelle gibt die Endresultate verschiedener Versuche mit Blüten in übersichtlicher Zusammenstellung:

Name der Pflanze	I. Maximum, hauptsächlich bedingt durch die Atmung der Blüten, C°	Differenz zwischen Blüten- und Zimmertemperatur zur Zeit des I. Maxi- mums, C°	II. Maximum, hauptsächlich bedingt durch die Atmung der Mikroorganismen, C°	Differenz zwischen Blüten- und Zimmertemperatur zur Zeit des II. Maxi- mums, C°
	<i>Chrysanthemum leucanthemum</i> . . . . .	47·3	29·5	56·6
<i>Daucus carota</i> . . . . .	46·9	28·9	55	38·8
<i>Trifolium pratense</i> . . . . .	47	28	55	38
<i>Achillea millefolium</i> . . . . .	43·6	25	52·8	33·7
<i>Anthemis arvensis</i> . . . . .	41·6	20·2	48	28·1
<i>Funkia</i> sp. . . . .	45	24·5	—	—
<i>Philadelphus coronarius</i>	40·1	16·1	47	25
<i>Rosa</i> (Gartenhybride) .	40·4	18·5	37·6	15·5
<i>Clematis vitalba</i> . . . . .	45·4	23·4	50	29
<i>Calendula officinalis</i> . .	36·4	15·4	40	18·5
<i>Nymphaea alba</i> . . . . .	27·4	8·3	—	—

#### 4. Die Selbsterwärmung gewisser Blüten und Blütenstände.

Obwohl man gewöhnlich in der Natur von der Wärmeentwicklung höherer Pflanzen nichts merkt, gibt es doch einige Fälle, in denen Pflanzen soviel Wärme bilden, daß man sie mit der Hand direkt fühlt. Die erste Nachricht darüber verdanken wir dem Zoologen



Figur 5.

*Sauromatum guttatum*  
in Blüte. *K* Knollen,  
*S* Scheidenblatt, *a* An-  
hängsel des Blüten-  
kolbens. Stark verklei-  
nert. (Original.)

und Naturphilosophen Lamarck, der bereits im Jahre 1777 die Tatsache feststellte, daß sich die blühenden Kolben von *Arum italicum* warm anfühlen. Diese höchst auffallende und interessante Erscheinung ist aber nicht auf die erwähnte Aroidee beschränkt, sondern wurde später noch für *Arum maculatum*, eine in unseren Auen viel verbreitete Pflanze, *Colocasia odora* und *Philodendron pinatifidum*, nachgewiesen. Die ziemlich großen Blütenstände der Pandanaceen, Scitamineen, Cycadeen und die der Palmen entwickeln gleichfalls bedeutende Wärmemengen. Durch die Untersuchungen von G. Kraus<sup>1)</sup> wurde diese Erscheinung genau studiert. Bei *Arum italicum* wurde im Vergleich zur umgebenden Luft eine Temperaturerhebung bis zu  $17.6^{\circ}\text{C}$  beobachtet, und wenn fünf Kolben zusammengelegt und mit einem Tuch umgeben werden, so kann die Temperatur auf  $51.3^{\circ}$  ansteigen bei einer Lufttemperatur von  $15.4^{\circ}$ .

<sup>1)</sup> Kraus G., Über die Blütenwärme bei *Arum italicum*. Abhandl. d. naturf. Ges. zu Halle, Bd. 16, 1883 bis 1886, 1. Teil, S. 37—76, 2. Teil, S. 259—358.

Es gibt eine aus Indien stammende Aroidee, *Sauroratum guttatum*, deren Knollen die merkwürdige Eigenschaft besitzen, am Tische liegend, ohne jede Zufuhr von Wasser, sich nicht bloß frisch zu erhalten, sondern auch den Blütenkolben auszutreiben (Figur 5). Dieser besteht aus einem auffallend gefärbten, purpurngefleckten Scheidenblatt und dem eigentlichen Blütenstand, der in seiner unteren Hälfte die weiblichen, darüber die männlichen Blüten trägt und in seiner oberen in ein etwa fingerdickes purpurnes Anhängsel übergeht. Wenn das Scheidenblatt sich öffnet, kommt das Anhängsel zum Vorschein und erwärmt sich so bedeutend, daß man es mit der Hand direkt fühlen kann. In einem bestimmten Falle<sup>1)</sup> setzte die Erwärmung früh morgens um 6 Uhr ein, erreichte gegen 8 Uhr oben am Anhängsel ein Maximum von  $34^{\circ}$  und fiel dann bis 7 Uhr abends auf die Lufttemperatur herab. Am nächsten Tag war die Erwärmung ganz minimal, nur  $1^{\circ}$  über der Temperatur der Luft. Bei anderen Aroideen läßt sich eine scharf ausgeprägte Periodizität der Wärmebildung nachweisen. So ist nach den Untersuchungen von Leick<sup>2)</sup> der Temperaturverlauf durch drei Maxima ausgezeichnet. Das am ersten Tage sich einstellende Maximum ist

---

<sup>1)</sup> Molisch H., Pflanzenphysiologie als Theorie der Gärtnerei. Jena 1916, S. 104.

<sup>2)</sup> Leick E., Untersuchungen über die Blütenwärme der Araceen. Greifswald 1910, S. 52. Hier auch ausführliche Literaturangaben.

das kleinste, das des zweiten Tages ist das größte und das des dritten Tages pflügt das des ersten Tages nur um ein geringes zu übertreffen.

Die mächtigen Blütenstände der Cycadeen, Palmen und die große Blüte der durch ihre riesigen Schwimmblätter ausgezeichneten *Victoria regia* zeigen gegenüber der Luft eine Temperaturerhöhung von 5 bis 10° und darüber, und bei der *Victoria*-Blüte gibt es sogar bestimmte Blütenteile, die sich ganz besonders erwärmen und ebenso wie das Anhängsel des Blütenkolbens gewisser Araceen geradezu als Heizkörper bezeichnet werden können.

Die hochgradige Selbsterwärmung der Araceen-, Pandaneen- und Palmenblütenstände muß auf den ersten Blick unsere Verwunderung erregen, da sie im auffallenden Gegensatz zu der Tatsache steht, daß die meisten Pflanzen unter gewöhnlichen Umständen im Schatten keine höhere Temperatur als die Luft besitzen, da die gebildete Wärme rasch entführt wird. Wieso kommt es nun, daß gerade gewisse Blütenstände von dieser Regel in so auffallender Weise abweichen und daß hier eine Atmung von ganz besonders starkem Stoff- und Kraftaufwand einsetzt?

Nach den Ausführungen von Delpino und Kraus kann es wohl keinem Zweifel unterliegen, daß es sich hier um eine blütenbiologische Sonderanpassung handelt, die der Begünstigung der Kreuzbefruchtung durch Anlockung von Insekten, insbesondere von Fliegen, dient. Sowie in anderen Fällen

Duft- und Farbstoffe der Lockung von Insekten angepaßt erscheinen, ist es hier die Wärmebildung. Insekten gehen bekanntlich gerne der Wärme nach, Fliegen setzen sich mit besonderer Vorliebe auf warme, von der Sonne beschienene Flächen. Daher sehen wir verschiedene Fliegenarten zunächst das warme Kolbende der Araceen aufsuchen, das dann wie eine Leitstange die Insekten zu den männlichen und weiblichen Blüten führt und sie auf diese Weise durch Übertragung des Blütenstaubes die Befruchtung vollziehen läßt. Kraus<sup>1)</sup> faßt diesen Gedanken in die Worte: „Und so bin ich denn auch geneigt, in den vorstehenden Fällen (es handelt sich um verschiedene Araceen, Cycadeen und Palmen) die Erwärmung der Blütenstände, wenn nicht überall und ausschließlich (Palmen?), so doch jedenfalls in hervorragendem Maße als ein Anlockungsmittel für Tiere in Anspruch zu nehmen. An sich genommen muß es zweifellos für die Insektenwelt verlockend erscheinen, auffallend warme Stellen des Aufenthaltes zu finden, zumal am Abend und Morgen, wo die Temperaturdifferenz zwischen Luft und Blüte besonders hervortritt. Auch erscheint es für die Pflanze gewiß keine kostspieligere Leistung und Arbeit, eine gewisse Masse Leibessubstanz in kürzester Zeit einfach zu verbrennen, als dieselbe zu ebenso

---

<sup>1)</sup> Kraus G., Physiologisches aus den Tropen. III. Über Blütenwärme bei Cycadeen, Palmen und Araceen. — Ann. du jardin bot. de Buitenzorg, Bd. 13, 1896, p. 217—275.

vorübergehendem Gebrauch in höchst komplizierte, morphologische Gebilde umzugestalten. Einrichtungen letzterer Art erspart sich ja die Pflanze ohnehin gerade bei Blütenständen mit Wärmebildung.“

### 5. Die Selbsterhitzung organischer Abfälle durch Bakterien und Schimmelpilze.

Es ist in hohem Grade merkwürdig, daß die alltäglichsten Dinge, die uns auf Schritt und Tritt begegnen und seit uralter Zeit bekannt sind, erst verhältnismäßig spät die Aufmerksamkeit erregen und aufgeklärt werden. Wie oft hat man gesehen, wie Haufen von Pferdemist selbst an kalten Wintertagen soviel Wärme entwickeln, daß sie förmlich dampfen! Um sich darüber Rechenschaft zu geben, begnügte man sich zu sagen, daß rein chemische Umsetzungen, die im Pferdemist vor sich gehen, die Wärmebildung veranlassen.

Baumwolle. Aufklärend hat bezüglich solcher Erscheinungen F. Cohn gewirkt. Als ihm mitgeteilt wurde, daß zu Augsburg in Gewächshäusern Beete, mit schmutzigen Baumwollabfällen gefüllt, sich bedeutend erhitzen, machte er verschiedene Versuche, um über diese Selbsterwärmung ins klare zu kommen. Er füllte einen Kasten mit 3—5 Pfund angefeuchteter schmutziger Baumwolle und beobachtete, daß, wenn die Wolle vorher durch heißen Wasserdampf von lebenden Keimen befreit, d. h. sterilisiert wurde, keine Erwärmung ein-

trat, hingegen eine sehr bedeutende, wofern die Sterilisation unterlassen wurde. Im letzteren Falle „stieg die Temperatur sofort, erst langsam, stündlich  $0.1^{\circ}$ , dann rascher ( $0.2^{\circ}$ ,  $0.3^{\circ}$  in der Stunde); nach 5 bis 6 Stunden rapid (stündlich  $2^{\circ}$ ,  $3^{\circ}$  bis  $4^{\circ}$ ); 24 bis 30 Stunden später war das Maximum ( $67.2^{\circ}$  beobachtet) erreicht; von da ab sank die Temperatur langsam, aber stetig, so daß nach etwa 6 Tagen die Masse wieder Lufttemperatur ( $21$  bis  $23^{\circ}$ ) zeigte.“ Bei der mikroskopischen Untersuchung solcher heißgewordener Baumwolle zeigte es sich, daß sie ganz durchsetzt von unzähligen Bakterien war, die hier auf der schmutzigen, noch mit Samenresten und Schmierölen verunreinigten Baumwollmasse höchst günstige Entwicklungsbedingungen fanden und infolge intensiver Atmung reichlich Wärme erzeugten. Daß Bakterien tatsächlich die starke Wärmeentwicklung veranlassen, kann leicht bewiesen werden, denn wenn sterile Baumwolle, die keine Spur von Selbsterwärmung zeigte, mit schmutziger, nicht sterilisierter Wolle geimpft und so mit lebenden Bakterien angesteckt wurde, begann die Temperatur bald auf etwa  $67^{\circ}$  zu steigen.

So sehen wir denn, daß die Selbsterhitzung organischer Abfälle, z. B. der Baumwolle, nicht eine rein chemische, sondern eine biologisch-chemische Erscheinung darstellt, hervorgerufen durch Mikroorganismen.

Heu. Seit langem ist bekannt, daß sich gemähtes Gras, in großen Haufen zusammengeschichtet, bald sehr stark erhitzen kann. Genaue Angaben darüber

verdanken wir Mische.<sup>1)</sup> Er zeigte, daß selbst in nicht sehr großen Heuhaufen die Temperatur auf etwa 68° steigen kann. Auch hier handelt es sich wieder um einen biologisch-chemischen Prozeß. Keimfreies, durch heißes Wasser steril gemachtes Heu erhitzt sich nicht. Wird es aber mit etwas keimführendem Heu versetzt, so tritt nach kurzer Zeit normale Selbsterhitzung ein. Der genannte Forscher hat auch die Pilze, die die Erwärmung bedingen, rein kultiviert und darunter auch neue gefunden: eine Varietät des sonst im Darm lebenden *Bacillus coli*, *Bacillus calfactor*, *Thermomyces lanuginosus*, *Actinomyces monosporus*, *Thermoidium sulfureum* und *Thermoascus aurantiacus*. Alle diese Pilze können als wärmeliebende oder thermophile bezeichnet werden, denn sie leben bei relativ hoher Temperatur, ja sie entwickeln sich vielfach erst bei so hohen Wärmegraden, bei denen gewöhnliche Pilze oder grüne, saftreiche Pflanzen rasch absterben.

Es ist dies von großem physiologischen Interesse, weil hier eine wunderbare Anpassung an extrem hohe Temperaturen vorliegt, wie man sie kaum für möglich halten möchte. Ist hier ein besonderes Eiweiß im Plasma vorhanden, das der Koagulation oder sonstigen tief greifenderen Veränderungen widersteht, oder sind hier besondere Schutzeinrichtungen für das Eiweiß getroffen, so daß es sich trotz so hoher Temperatur unversehrt erhält?

---

<sup>1)</sup> Mische H., Die Selbsterhitzung des Heues. Jena 1907.

Bevor wir die Selbsterhitzung des Heus verlassen, soll hier auch ganz kurz der viel besprochenen Frage nach der Selbstentzündung des Heus gedacht werden, da ja an der Richtigkeit der Tatsache wohl nicht mehr zu zweifeln ist.

Man hat zu wiederholten Malen die Beobachtung gemacht, daß große Heuhaufen, die die Selbsterwärmung durchgemacht haben und noch erhitzt sind, wenn sie plötzlich auseinandergerissen werden, an verschiedenen Stellen zu glimmen und schließlich zu brennen anfangen. Die dabei sich abspielenden Vorgänge bedürfen noch eines genaueren Studiums, vorläufig läßt sich nur Folgendes mit großer Wahrscheinlichkeit behaupten. Die Selbsterwärmung des feuchten Heus erfolgt durch die Atmung der Mikroorganismen. Dabei steigt die Temperatur auf etwa  $70^{\circ}$  und gleichzeitig erfährt die Heumasse durch chemische Prozesse eine Veränderung in eine kohlige poröse Substanz, die beim Auseinanderreißen des Heuhaufens, ähnlich wie Platinmoor, den nun reichlich zufließenden Sauerstoff der Luft in großer Menge absorbiert, verdichtet und sich bis zum Entzünden erhitzt. Die Bakterien selbst haben direkt mit dem Selbstentzündungsvorgang nichts zu tun, sie sind nur an der Selbsterwärmung des Heus beteiligt, die zur Entzündung noch lange nicht ausreicht, und an der Verwandlung des Heus in eine kohlige, poröse Masse. Die Selbstentzündung aber beruht auf rein physikalisch-chemischen Vorgängen, im besonderen aber auf der raschen und intensiven Aufspeicherung von Luftsauerstoff.

Pferdemist und Gerberlohe. Ähnlich wie Heu verhält sich auch Pferdemist. Es ist leicht festzustellen, daß größere Pferdedüngerhaufen sich bis 70 und 80° erhitzen können. Auch hier sind Kleinwesen, vornehmlich Bakterien und Schimmelpilze von maßgebender Bedeutung.

Ich habe mir oft Reinkulturen von Mistbakterien verschafft und darüber gestaunt, wie solche thermophile Bakterien in dampfenden Nährlösungen, in denen man den Finger höchstens nur einen Augenblick halten könnte, sich wohl fühlten und in heißen dampfenden Wassertropfen unterm Mikroskop hin und her schossen.

Die Gärtner bedienen sich der organischen Abfälle, um Mistbeete oder Warmbeete im Gewächshause zu heizen. Für die letzteren verwenden sie auch mit Vorliebe Gerberlohe, die in den Lederfabriken ihre Schuldigkeit bereits getan hat, um damit die Beete  $\frac{1}{2}$ —1 Meter hoch zu füllen und tropische Pflanzen mit den Töpfen einzusenken: Farne, *Pandanus*, *Draacaena*, *Ficus*, *Ardisia*, Palmen und andere. Die Lohe erhitzt sich infolge der reichlichen Entwicklung von Bakterien und Hefen, teilt die Wärme der Blumentopferde und den Wurzeln mit und begünstigt durch diese Bodenwärme in hohem Grade das Pflanzenwachstum.

Ähnlich wie die erwähnten organischen Abfälle können sich auch andere Pflanzenobjekte ziemlich erwärmen: Schnupftabak, Tabakblätter im Zustande der Fermentation (Gärung), Preßrückstände verschiedenartiger pflanzlicher Objekte u. a.

Wenn wir die Temperaturen der Pflanze thermometrisch oder thermoelektrisch messen, erhalten wir in jedem Falle nur ein Bild über die Höhe der Temperatur, über die Wärmemenge aber geben solche Beobachtungen keinen Aufschluß. Die bloße Angabe der Temperatur genügt eben nicht, um die Wärmerscheinungen quantitativ beschreiben zu können. Daher muß es das Ziel physiologischer Forschung sein, die Wärme auch der Menge nach zu bestimmen. Man versteht bekanntlich unter der Wärmeeinheit oder einer Kalorie jene Wärmemenge, die notwendig ist, 1 kg Wasser von  $14.5^{\circ}$  auf  $15.5^{\circ}$ , also um  $1^{\circ}$  zu erwärmen.

Es hat einen großen Wert, wenn die von der Pflanze gebildete Wärme in Wärmeeinheiten angegeben wird, denn erst dann ergibt sich ziffernmäßig eine deutliche Anschauung von dem durch das Lebewesen erzeugten Wärmequantum. Nur so läßt sich zeigen, ob die in die Pflanze durch die Nahrung eingeführte Energie ganz oder nur teilweise als Wärmeenergie erscheint und wie sich verschiedene Pflanzen oder verschiedene biologische Gruppen in der Wärmeerzeugung quantitativ unterscheiden.

Es soll nicht verschwiegen werden, daß derartige Beobachtungen erst in geringer Zahl vorliegen und daß sie mit großen Schwierigkeiten und häufig auch mit Ungenauigkeiten verbunden sind, so daß wir bezüglich der Wärmemessung der Pflanze noch am Anfange stehen. Immerhin läßt sich schon jetzt sagen, daß die von der rasch wachsenden Pflanze produzierte Wärme-

menge mit der des höheren Tieres, ja sogar des Menschen, wetteifern kann, denn nach Bonniers mit ganz jungen Gerstenkeimlingen durchgeführten Versuchen wurde bei 16° pro Kilo Pflanzensubstanz und pro Stunde eine Wärmemenge von 3.72 Kalorien festgestellt, während ein erwachsener Mensch unter denselben Verhältnissen nur 1.4 Kalorien bildet.

Die Wärme der Pflanze resultiert wohl der Hauptsache nach aus der Atmung und daher dürfen wir uns nicht wundern, daß alle jene Umstände, die die Atmung erhöhen oder verringern, wie Temperatur, Gifte, Sauerstoff, Verletzung und anderes, auch dementsprechend die Wärmebildung beeinflussen. Es sei ein in dieser Beziehung ganz besonders interessantes Beispiel hier erwähnt.

Von Böhm<sup>1)</sup> wurde die Entdeckung gemacht, daß Verletzungen der Kartoffel eine Steigerung der Atmung und eine damit Hand in Hand gehende Steigerung der Wärmebildung hervorrufen. Die Atmung geschälter oder mit Einschnitten versehener Kartoffeln ist bedeutend intensiver als die unverletzter. Ein Beispiel: Kartoffelknollen geben im unversehrten Zustande pro Kilo und Stunde 7 mg Kohlensäure ab; werden sie in je vier Stücke zerschnitten, so entwickeln sie am ersten Tage nach dem Zerschneiden 63 mg, am zweiten Tage

---

<sup>1)</sup> Böhm J., Über die Respiration der Kartoffel. Botanische Zeitung, 1887, S. 671.

46 mg, am vierten Tage 10 mg und am sechsten Tage 7 mg Kohlensäure.

Später haben Stich und Richards die weite Verbreitung dieser Erscheinung nachgewiesen und genauer untersucht.

Mit dieser Erhöhung der Atmung nach Verletzung geht nun auch eine Steigerung der Wärmebildung Hand in Hand. Sie kann leicht durch thermoelektrische Messung nachgewiesen werden. Die Zunahme beträgt bei der Kartoffel dicht hinter der Schnittfläche etwa  $0.21^{\circ}$ , in 15 mm Abstand aber nur  $0.05^{\circ}$  und in 20 mm Entfernung war keine Temperaturerhöhung mehr wahrzunehmen. Dagegen macht sich bei der Küchenzwiebel der wärmesteigernde Wundreiz auf viel weitere Strecken geltend. Wir haben hier wieder ein schönes Beispiel dafür, wie gleiche Ursachen nicht bloß im Tier, sondern auch in der Pflanze gleiche Wirkungen auslösen, denn es ist ja seit langem bekannt, daß Verwundung bei Tier und Mensch eine erhöhte Atmung und damit zusammenhängend auch eine höhere Körpertemperatur veranlassen kann. So hat das Wundfieber des Menschen auch sein Analogon in der Pflanze gefunden.

Je weiter wir in der Geschichte der Biologie zurückblicken, desto größer erscheint die Kluft, die zwischen Pflanzen- und Tierreich scheinbar bestand. Je mehr wir uns aber der Gegenwart nähern, desto mehr Brücken werden über diese Kluft geschlagen und endlich werden beide Reiche des Lebens mitein-

ander so verknüpft; daß die Kluft schon an manchen Stellen verschwindet. Im mikroskopischen Bau der Tier- und Pflanzenzelle erkennen wir denselben Grundplan, die Grunderscheinungen des Lebens sind hier wie dort die gleichen, die Reizbarkeit der lebenden Substanz zeigt oft überraschende Ähnlichkeiten und auch der Verbrennungsprozeß, den wir Atmung nennen, ist im wesentlichen derselbe, gleichgültig ob er sich im hochentwickelten Menschen, im winzigen Infusor oder in einer duftenden Rose abspielt.

---

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1918

Band/Volume: [58](#)

Autor(en)/Author(s): Molisch Hans

Artikel/Article: [Die Wärmeentwicklung der Pflanze. 121-148.](#)