

Über die Selbsterwärmung von Pflanzen in Dewargefäßen.

Von

Hans Molisch.

Mit 3 Textfiguren.

I. Einleitung.

Vor einigen Jahren habe ich¹ den Beweis erbracht, daß sich die Laubblätter verschiedener Pflanzen in relativ kurzer Zeit hochgradig erwärmen, wenn man sie in großen Mengen in einem Korbe dichtgedrängt übereinander häuft und mit schlechten Wärmeleitern umgibt. Man war früher der Meinung, daß zwar Blüten und Keimlinge sich unter diesen Umständen stark erwärmen, den Blättern aber wurde diese Fähigkeit abgesprochen, wie sich aber herausgestellt hat, mit Unrecht. Es ist geradezu erstaunlich, wie rasch und wie bedeutend sich Laubblätter durch Wärmebildung zu erhitzen vermögen. So erwärmten sich in meinen damaligen Versuchen (S. 225) die Blätter folgender Pflanzen bis zur oberen Temperaturgrenze des Lebens und mitunter sogar darüber hinaus gewöhnlich innerhalb eines Tages.

Frisch gepflückte Blätter von	Luft- temperatur von etwa ° C	Temperatur- maximum der Blätter ° C	Innerhalb Stunden
<i>Pirus communis</i>	15	59	27
<i>Carpinus Betulus</i>	23	51,5	15
<i>Robinia Pseudacacia</i>	24	51	13
<i>Tilia</i> sp.	18	50,8	27,5
<i>Juglans regia</i>	15	49,7	43,5
<i>Salix Caprea</i>	15	47,1	22
<i>Cytisus Laburnum</i>	18	45,6	18,5
<i>Vitis vinifera</i>	17	43,3	28

¹) Molisch, H., Über die hochgradige Selbsterwärmung lebender Laubblätter. Bot. Zeitg. 1908. I. Abt. S. 211.

LIBRARY
NEW YORK
BOTANICAL
GARDEN

Bei diesen Versuchen sind, falls sie gelingen sollen, sehr viele Blätter notwendig, ich verwendete gewöhnlich $2\frac{1}{2}$ —5 kg, was der Blattmasse eines ziemlich großen Bäumchens entspricht. Es wäre nun sicherlich von großem Vorteil, wenn man schon mit einer kleinen Blattmasse dasselbe zeigen könnte, denn oft sind so große frische Blattmassen, da die pflanzenphysiologischen Institute leider gewöhnlich nicht mit einem Garten verbunden sind, nicht leicht zu haben, ganz abgesehen davon, daß es sehr unbequem ist, mit einer so großen Blattmasse zu arbeiten. Ich habe daher gleich nach Veröffentlichung meiner zitierten Arbeit den Gedanken geprüft, ob die Wärmeentwicklung der Pflanze nicht mit Erfolg in den bekannten Dewargefäßen nachgewiesen werden könnte, die sich als Aufbewahrungsbehälter für flüssige Luft und auch als »Thermophors« für das Warm- bzw. Kalt-halten von Speisen so ausgezeichnet bewährt haben. Es hat sich nun gezeigt, daß diese Gefäße in der Tat für die Demonstration der Wärmeentwicklung der Pflanze geradezu ausgezeichnete Dienste leisten und von nun an wohl einen ständigen und wichtigen Bestandteil der pflanzenphysiologischen Apparatur abgeben werden. Schon seit 1908 pflege ich die Wärmeentwicklung von Keimlingen und Laubblättern in meinen Vorlesungen zu demonstrieren, und Peirce¹ hat das Verdienst, ihre ausgezeichnete Verwendbarkeit für das Studium der Wärmeentbindung von keimenden Erbsen, von gärender Hefe und verwundeten Zwiebeln als erster erprobt zu haben. Diese Arbeiten haben aber meines Wissens bisher wenig Beachtung gefunden. Außerdem hat auch Falck², wie noch später genauer angegeben werden wird, das Dewargefäß bei Studien über die Erwärmung von Hutpilzen benutzt.

Das Dewargefäß, so benannt nach dem bekannten englischen Chemiker Dewar, der es zuerst konstruierte, besteht, wie die nebenstehende Fig. 1 zeigt, aus einem zylindrischen, doppelmanteligen Glasgefäß, dessen äußerer Hohlraum a möglichst

¹) Peirce, G. J., A new respiration calorimeter. The bot. gaz. 1908. **46**, 193—202.

—, The liberation of heat in respiration. Ebenda. 1912. **53**. No. 2.

²) Falck, R., Die Sporenverbreitung bei den Basidiomyceten und der biologische Wert der Basidie. Beitr. z. Biol. d. Pflanz. (Cohn). 1909. **9**, 30.

luftleer ausgepumpt ist. Zur Verminderung der Wärmeausstrahlung wird die innere Oberfläche des Vakuummantels a versilbert. Wird nun der Hohlraum i eines solches Gefäßes mit irgendeiner heißen oder kalten Substanz gefüllt, so hält sich ihre Temperatur einige Zeit einigermaßen unverändert, da die Wärmeleitung durch den luftleeren Raum ungemein erschwert ist. Die von mir verwendeten Gefäße¹ ruhen mit ihrer Basis in einer Holzhülse. Es wird gewöhnlich empfohlen, wenn man den Wärmeausgleich möglichst vermeiden will, das Gefäß aus der Hülse herauszunehmen und mit Bindfäden aufzuhängen, so daß das Gefäß nur von Luft umgeben ist. Die meisten meiner Versuche wurden mit dem Dewargefäß im Holzfuß angestellt. Ich bemerke jedoch, daß nach meinen vergleichenden Versuchen bezüglich der Wärmeisolierung die besten Resultate erzielt wurden, wenn man das Dewargefäß nicht frei aufhängt oder im Holzfuß beläßt, sondern in trockene Baum- oder Schafwolle einpackt, wie ich dies am Ende meiner Arbeit (S. 327) auseinandersetzen werde.

Bei ganz exakten Versuchen soll das Versuchsgefäß in einem Raum mit konstanter Temperatur, am besten in einem Thermostaten stehen. Bei vielen lebenden Pflanzenobjekten kommt es aber in den Dewargefäßen zu einer so starken Erwärmung, daß diese durch etwaige Temperaturschwankungen des Versuchsraumes (Zimmers) nicht verschleiert wird. Ich habe daher die meisten meiner Experimente, wenn die Erwärmung der Pflanzenobjekte nicht unbedeutend war, in meinem Arbeitszimmer gemacht, dessen Temperaturschwankungen das Ergebnis im wesentlichen nicht beeinträchtigten.

¹) Meine Dewargefäße stammten aus der Spezialfabrik für doppelwandige Vakuummgläser von R. Burger & Comp. in Berlin N 4, Chausseestr. 8, waren von verschiedenen Dimensionen, zylindrisch und durchwegs versilbert. Von nicht versilberten ist abzuraten, da der Temperatúrausgleich zu rasch erfolgt. Ein doppelwandiges, hochevakuiertes zylindrisches Dewargefäß von 6 cm im Durchmesser und 20 cm Länge kostet versilbert 8 Mark, ein solches von 11 cm Durchmesser und 20 cm Länge 20,50 Mark.

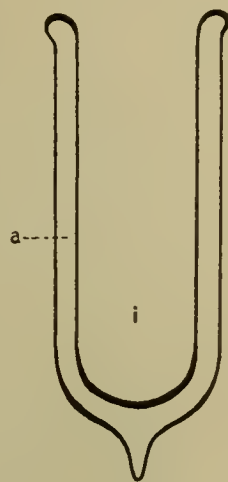


Fig. 1. Dewargefäß im Durchschnitt. Stark verkleinert. a = Vakuummantel, i = innerer Hohlraum.

Unmittelbar vor Beginn des Versuchs wurden die Pflanzen gesammelt und dann frisch, aber wenn möglich, nicht naß oder betaut in das Gefäß eingefüllt. Alle Pflanzen wurden ziemlich dicht eingelegt, so daß der ganze Inhalt eine ziemlich kompakte Masse bildete. Auf die Pflanzen kam eine kreisrunde, genau in das Gefäß passende Scheibe von Glimmer, um die Transpiration möglichst zu unterdrücken, und darauf eine 2—4 cm hohe Schicht Baumwolle. Da die Pflanzenobjekte dicht übereinander liegen, ist es zweckmäßig, mit

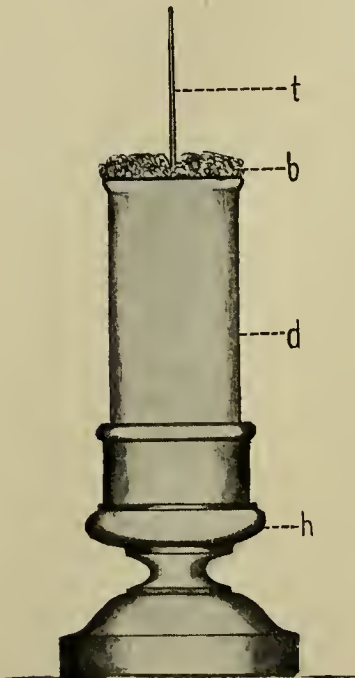


Fig. 2. Dewargefäß d, im Holzfuß h stehend. b = Baumwolle, t = Thermometer.

einem zugespitzten zylindrischen Holzstab einen Kanal für das Thermometer vorzubohren. Der Quecksilberbehälter des Thermometers muß ziemlich tief, am besten in der Mitte des Hohlraums liegen. Adjustiert sieht das Gefäß, wenn es nicht auf Fäden aufgehängt wird, sondern im Holzfuß ruht, so aus wie Fig. 2 zeigt. Die von mir verwendeten Gefäße waren verschieden groß. Ihr Inhalt schwankte zwischen 200—2000 ccm.

II. Experimente.

A. Mit Blüten.

Wie aus den in den folgenden Tabellen niedergelegten Aufzeichnungen hervorgeht, erwärmen sich die Blüten vieler Pflanzen in Dewargefäßen innerhalb relativ kurzer Zeit ganz bedeutend, sie erwärmen sich darin oft so stark¹, daß sie durch die von ihnen gebildete Wärme getötet werden, weil die Temperatur innerhalb der Blütenmasse im Dewargefäß über die obere Temperaturgrenze des Lebens ansteigt. Ist der Tod der Blüten eingetreten, dann sinkt zunächst die Blütentemperatur, steigt aber gewöhnlich nach einiger Zeit wieder an und zwar meist

¹) Bonnier hat bei seinen nach ganz anderer Methodik durchgeführten Versuchen bezüglich der Wärmeproduktion der Pflanze ein Maximum im Beginne der Keimungsperiode und ein anderes während der Blüte beobachtet. (Ann. sc. nat. Sér. VII. T. XVIII. No. 1 u. 2.) Zu dem letzteren werden wohl die Blüten wesentlich beitragen.

über das 1. Temperaturmaximum, um dann allmählich zu sinken und sich der Lufttemperatur zu nähern. Die Blüten verhalten sich demnach im wesentlichen so, wie ich es schon früher¹ für Laubblätter nach der Zusammenhäufungsmethode gefunden habe. Es treten zwei Erwärmungsmaxima auf: das eine wird wesentlich bedingt durch die mit der Atmung der Blüten verknüpften Oxydationsvorgänge, das andere durch die auf und in den abgestorbenen Blüten sich massenhaft entwickelnden Bakterien und Schimmelpilze². Man vergleiche die folgenden Tabellen.

Blütenstände von *Achillea millefolium*.

Sie wurden um 9 Uhr morgens gepflückt. Frischgewicht 150 g.

Datum	Temperatur in C °	
	der Luft	der Blüten
29. VII. 9 ^{1/4} h a. m.	19,5	20,2
10 ^{1/4} h a. m.	21,5	22,1
1 h p. m.	23,2	27,8
3 h p. m.	22	31,4
4 h p. m.	21,5	33,4
5 h p. m.	22	34,8
7 ^{1/2} h p. m.	20,8	38
8 ^{3/4} h p. m.	20	39,6
10 ^{1/4} h p. m.	20,6	40,9
12 h	19,5	42,2
30. VII. 5 ^{3/4} h a. m.	18	43,6
8 h a. m.	20	43
10 h a. m.	22,5	42,6
1 h p. m.	25,5	42,4
4 h p. m.	23	42
9 h p. m.	20,5	40,1
10 h p. m.	21	40,1
31. VII. 7 h a. m.	20	43,4
9 h a. m.	20,5	45,2
10 h a. m.	21	45,5
1 h p. m.	24,2	48,6
4 h p. m.	22,7	50,6
8 h p. m.	20,2	51,8
9 h p. m.	19,4	52,1

¹) Molisch, H., l. c.

²) Es wäre meiner Meinung nach eine dankbare Aufgabe, diese Mikroorganismen auf ihre Temperaturbedürfnisse und auch sonst auf ihre Eigenschaften zu prüfen, ähnlich wie dies H. Miete in seiner interessanten Untersuchung, »Die Selbsterhitzung des Heues«, Jena, 1907, getan hat. Ich zweifle nicht, daß man hierbei neuen thermophilen Pilzen begegnen wird.

Datum	Temperatur in C °	
	der Luft	der Blüten
1. VIII. 1 ¹ / ₄ h a. m.	19,1	52,8
8 h a. m.	19,3	52,7
10 ¹ / ₂ h a. m.	22,5	51,4
12 h a. m.	21,8	51,2
1 ¹ / ₂ h p. m.	21,2	51,1
5 ¹ / ₄ h p. m.	21,5	51,2
8 h p. m.	18,6	51,1
10 h p. m.	19,5	50,4
2. VIII. 2 ¹ / ₂ h a. m.	17,7	48,6
8 h a. m.	18,3	46,4
10 ³ / ₄ h a. m.	18,6	45,6
2 ¹ / ₄ h p. m.	21,7	43,5
8 h p. m.	20,3	43,5
10 h p. m.	19,5	42,8
3. VIII. 2 ¹ / ₄ h a. m.	18,8	41,2
8 h a. m.	19,4	38,7
10 ¹ / ₂ h a. m.	21,5	37,8
1 ¹ / ₄ h p. m.	22,3	37,2
4 h p. m.	21,5	36,6
7 ¹ / ₄ h p. m.	20,2	35,4
10 ¹ / ₂ h p. m.	20,4	34,6
4. VIII. 5 h a. m.	19,3	32,4
8 ¹ / ₂ h a. m.	20	31,3
1 h p. m.	22,6	31
3 ¹ / ₂ h p. m.	23,4	31
5 h p. m.	22,8	31
7 ¹ / ₂ h p. m.	21,5	31
9 ¹ / ₂ h p. m.	21,2	30,8
5. VIII. 5 ¹ / ₂ h a. m.	18,7	29,2
8 h a. m.	20,7	28,6
10 ¹ / ₂ h a. m.	22,8	28,6
1 h p. m.	25,6	29
5 ¹ / ₂ h p. m.	24,3	30
10 h p. m.	21	29,9
6. VIII. 2 h a. m.	20,9	29,2
8 h a. m.	21	28,5
11 h a. m.	20,6	28,4
4 h p. m.	21	28
8 h p. m.	20	27,8
7. VIII. 8 h a. m.	20	26,4
10 h a. m.	18,6	26,2

Blütenköpfchen von *Trifolium pratense*.

Die Köpfchen wurden um 4 Uhr nachmittags gepflückt. Frischgewicht 132 g.

Datum	Temperatur in C °	
	der Luft	der Blüten
8. VIII. 4 ^{1/2} h p. m.	19,5	21,1
8h p. m.	17,6	25,1
9 ^{1/4} h p. m.	17,4	26,7
9. VIII. 6 ^{1/2} h a. m.	17	43
8h a. m.	17,6	43,3
10h a. m.	19	45,3
1 ^{1/4} h p. m.	19	47
3 ^{1/2} h p. m.	18,6	46,6
8h p. m.	17,2	44,3
10h p. m.	17,6	42,9
10. VIII. 6h a. m.	16,3	38,9
8h a. m.	17,5	38,3
10h a. m.	18	37,9
1 ^{1/2} h p. m.	20,8	38,3
3h p. m.	19,4	39,5
7h p. m.	17	41,8
10h p. m.	17	44,2
11. VIII. 7h a. m.	16	49,7
9h a. m.	16	51
10 ^{1/2} h a. m.	18	51,5
1 ^{1/2} h p. m.	20,5	51,7
3h p. m.	20	52
9h p. m.	17	55
11h p. m.	17,5	55
12. VIII. 5 ^{1/2} h a. m.	16,1	51,1
8h a. m.	17,2	51,1
10h a. m.	19,5	50,3
1h p. m.	24	49
2h p. m.	22	48,8
9h p. m.	19,4	47
13. VIII. 7 ^{1/2} h a. m.	19	43,1
10h a. m.	20,5	42,8
1 ^{1/2} h p. m.	21	41,2
3h p. m.	20,3	40,4
5h p. m.	19,6	39,6
7 ^{1/2} h p. m.	19	38,4
10 ^{1/4} h p. m.	18,7	37,2
14. VIII. 8h a. m.	19,2	34,2
10 ^{1/2} h a. m.	18	33,5
1 ^{1/2} h p. m.	17,7	32,8
3 ^{1/2} h p. m.	17,7	32,4
5h p. m.	17,5	32
9h p. m.	15	30,8
15. VIII. 8h a. m.	16,6	28,1
10 ^{1/2} h a. m.	21	27,6
1 ^{1/2} h p. m.	20	27,5
3 ^{1/2} h p. m.	19,7	27,5
9h p. m.	15,7	27
16. VIII. 8h a. m.	15,8	25,3

Blütenstände von *Daucus Carota*.

Sie wurden um 9 Uhr morgens frisch gepflückt. Frischgewicht 145 g.

Datum	Temperatur in C °	
	der Luft	der Blüten
29. VII. 9 ^{1/4} h a. m.	19,5	20,4
10 ^{1/4} h a. m.	21,5	22,3
1 h p. m.	23,2	28,1
3 h p. m.	22	31,8
4 h p. m.	21,5	33,8
5 h p. m.	22	35,3
7 ^{1/2} h p. m.	20,8	39,2
8 ^{3/4} h p. m.	20	41
10 ^{1/4} h p. m.	20,6	43,1
12 h p. m.	19,5	45
30. VII. 5 ^{3/4} h a. m.	18	46,9
8 h a. m.	20	44,7
10 h a. m.	22,5	43,1
1 h p. m.	25,5	42,4
4 h p. m.	23	42,9
9 h p. m.	20,5	46
10 h p. m.	21	46,5
31. VII. 7 h a. m.	20	50
9 h a. m.	20,5	50,2
10 h a. m.	21	50,3
1 h p. m.	24,2	55
4 h p. m.	22,7	55,5
8 h p. m.	20,2	54,5
9 h p. m.	19,4	54,5
1. VIII. 1 ^{1/4} h a. m.	19,1	53,5
8 h a. m.	19,3	53,5
10 ^{1/2} h a. m.	22,5	52,5
12 h a. m.	21,2	52
1 ^{1/2} h p. m.	21,2	52
5 ^{1/4} h p. m.	21,5	51,2
8 h p. m.	18,6	51,2
10 h p. m.	19,5	50,5
2. VIII. 2 ^{1/2} h a. m.	17,7	48,1
8 h a. m.	18,3	46,1
10 ^{3/4} h a. m.	18,6	45,6
2 ^{1/4} h p. m.	21,7	43,7
8 h p. m.	20,3	41,6
10 h p. m.	19,5	40,7
3. VIII. 2 ^{1/4} h a. m.	18,8	38,8
8 h a. m.	19,4	36,6
10 ^{1/2} h a. m.	21,5	35,8
1 ^{1/4} h p. m.	22,3	35,3
4 h p. m.	21,5	34,8
7 ^{1/4} h p. m.	20,2	34
10 ^{1/2} h p. m.	20,4	33,5
4. VIII. 5 h a. m.	19,3	32
8 ^{1/2} h a. m.	20	31,4
3 ^{1/2} h p. m.	22,6	31,5
5 h p. m.	22,8	32
7 ^{1/2} h p. m.	21,5	31,9
9 ^{1/2} h p. m.	21,2	31,8

Datum	Temperatur in C °	
	der Luft	der Blüten
5. VIII. 5 ^{1/2} h a. m.	18,7	30,5
8h a. m.	20,7	30
10 ^{1/2} h a. m.	22,8	30
1h p. m.	25,6	31,5
5 ^{1/2} h p. m.	24,3	32,7
10h p. m.	21	32,5
6. VIII. 2h a. m.	20,9	31,7
8h a. m.	21	30,9
11h a. m.	20,6	30,6
4h p. m.	21	29
8h p. m.	20	27,7
7. VIII. 8h a. m.	20	25,5
10h a. m.	18,6	25,3

Blütenköpfchen von *Chrysanthemum leucanthemum*.

Vormittags frisch gepflückt. Frischgewicht 140 g.

Datum	Temperatur in C °	
	der Luft	der Blüten
16. VIII. 10h a. m.	15,7	13,2
12h a. m.	16,4	14,8
2h p. m.	18	17,7
9h p. m.	14,5	24,4
17. VIII. 8h a. m.	17,1	34,9
10h a. m.	18,4	36,6
1 ^{1/2} h p. m.	22	40
3 ^{1/2} h p. m.	20,5	41,7
8h p. m.	18,8	45,5
10 ^{3/4} h p. m.	17,8	47,3
18. VIII. 5 ^{1/2} h a. m.	15,8	44,7
8h a. m.	18,5	43,3
9 ^{3/4} h a. m.	21	42,5
1 ^{1/2} h p. m.	24,7	41,2
3h p. m.	22,4	41
5h p. m.	21,4	40,7
7 ^{1/2} h p. m.	20,3	40,6
10h p. m.	19	40,7
19. VIII. 8h a. m.	19,3	43,4
10 ^{1/2} h a. m.	26	45
1h p. m.	27	47
2h p. m.	25	48
7h p. m.	22,7	51,5
9h p. m.	21,8	53
11h p. m.	21,8	53,5
20. VIII. 8h a. m.	21,3	54
10h a. m.	24,3	54
1h p. m.	27	54
3h p. m.	25	54
5h p. m.	24	54
9 ^{1/2} h p. m.	20,7	54

Datum	Temperatur in C °	
	der Luft	der Blüten
21. VIII. 8h a. m.	20,6	54
11h a. m.	20,6	54
1h p. m.	19,7	55
3h p. m.	20	55
5h p. m.	19,4	55,5
8h p. m.	17,7	56,2
9 ¹ / ₂ h p. m.	17	56,6
22. VIII. 8h a. m.	18,2	56
10h a. m.	20,6	55

Ich begnüge mich, um nicht weitläufig zu werden, mit der Anführung dieser ausführlichen Tabellen und will nur noch meine Erfahrungen betreffend die Erwärmung der Blüten unter den angeführten Versuchsbedingungen übersichtlich zusammenstellen.

Name der Blüten	1. Temperaturmaximum, bedingt hauptsächlich durch die Atmung der Blüten C °	Temperaturdifferenz zwischen Blüten und Zimmertemperatur zur Zeit des 1. Maximums C °	2. Temperaturmaximum, bedingt hauptsächlich durch Mikroorganismen C °	Temperaturdifferenz der Blüten und Zimmertemperatur zur Zeit des 2. Maximums C °
Chrysanthemum leucanthemum	47,3	29,5	56,6	39,6
Daucus Carota	46,9	28,9	55	38,8
Trifolium pratense	47	28,0	55	38,0
Achillea millefolium	43,6	25,0	52,8	33,7
Anthemis arvensis	41,6	20,2	48	28,1
Funkia sp.	45	24,5		
Philadelphus coronarius	40,1	16,1	47	25,0
Rosa (Gartenhybride)	40,4	18,5	37,6	15,5
Clematis vitalba	45,4	23,4	50	29
Calendula officinalis	36,4	15,4	40	18,5
Nymphaea alba	27,4	8,3		

Ich bemerke hierzu, daß die meisten der von mir untersuchten Blüten sich schon innerhalb 1—2 Tagen sehr stark, oft bis zur oberen Temperaturgrenze des Lebens erwärmen, doch ist dies nicht immer der Fall. Die Blüten von Nymphaea alba (etwa 150 g) erwärmen sich viel weniger und viel langsamer. Das Maximum betrug bei einer Lufttemperatur von 19,1 nur 27,4° und um dieses Maximum zu erreichen, bedurfte es

4 Tage. Wenn in einer Blüte oder in einem Blatt so bedeutende Temperaturen entstehen, so ist dies wohl auf die Leistung der einzelnen Zellen zurückzuführen. Erhitzt sich ein Organ bis auf 45, so müssen wir wohl annehmen, daß die einzelnen Zellen des Organs, wenn vielleicht auch nicht alle, die Fähigkeit haben, sich ebenso bedeutend zu erwärmen. Unter natürlichen Verhältnissen aber kommt es, abgesehen von Ausnahmen, nicht zu einer so hochgradigen Erwärmung, ja in der Regel überhaupt zu keiner Erwärmung, da die gebildete Wärme infolge der ausgezeichneten Oberflächenentwicklung, der Wärmestrahlung und Transpiration der Pflanze überaus rasch nach außen abgegeben wird¹.

B. Mit Laubblättern.

Aus meinen auf S. 305 erwähnten Experimenten geht schon hervor, daß sich auch Laubblätter verschiedener Pflanzen, wenn sie in größeren Mengen in einem Korbe zusammengehäuft werden, ganz auffallend erwärmen können. Diese Methode erfordert aber zur Feststellung einer bedeutenden Erwärmung 3—5 Kilo Blätter, also eine bedeutende Masse. Die Dewargefäße geben aber, wie ich mich überzeugte, denselben Effekt, unter Anwendung relativ geringer Blattmengen: 100—150 g Frischgewicht genügen. Bei Blättern, die sich hochgradig erwärmen (*Robinia Pseudacacia*, *Pirus cummunis*, *Trifolium pratense*, Gras), lassen sich wieder die zwei Maxima beobachten.

Ich habe schon seinerzeit² darauf aufmerksam gemacht, daß sich nicht alle Blätter gleich verhalten, sondern daß manche, wie z. B. die von *Tradescantia viridis*, *Hedera helix*, *Bergenia* sp., *Abies excelsa* und *Brassica* (Krautköpfe) sich nur schwach erwärmen. Ähnliche Ergebnisse erhielt ich auch bei Verwendung von Dewargefäßen. So erwärmten sich beblätterte Sprosse von *Pinus silvestris* bei einem Versuch am 6. IX. 1913 im Maximum nur auf 27,1 bei einer Lufttemperatur von etwa 21,3. Siehe die folgende Tabelle.

¹) Wiesner, J., Versuche über Wärmeverhältnisse kleiner, insbesondere linear geformter, von der Sonne bestrahlter Pflanzenorgane. Ber. d. d. bot. Ges. 1908. 26a, 702.

²) Molisch, H., l. c. S. 220.

Beblätterte Sprosse von *Pinus silvestris*.

Das Frischgewicht betrug 120 g.

Datum	Temperatur in C °	
	der Luft	der Sprosse
6. IX. 5 ¹ / ₂ ^h p. m.	21,1	21
6 ¹ / ₂ ^h p. m.	20,9	21,8
9 ^h p. m.	19,8	23,2
7. IX. 8 ^h a. m.	20,2	26
10 ¹ / ₂ ^h a. m.	20,3	26,4
1 ¹ / ₂ ^h p. m.	21,5	26,8
4 ¹ / ₂ ^h p. m.	21,3	27,1
9 ^h p. m.	19,6	27
8. IX. 8 ^h a. m.	18,8	25,1
10 ^h a. m.	18,3	24,4
12 ¹ / ₂ ^h a. m.	19,7	24
2 ¹ / ₂ ^h p. m.	20	23,8
9 ^h p. m.	17,7	23,2
9. IX. 8 ^h a. m.	18,1	22,8
11 ^h a. m.	18,9	21,6
1 ^h p. m.	20,3	21,6
3 ^h p. m.	20,5	21,9
5 ^h p. m.	20,5	22,1
8 ¹ / ₂ ^h p. m.	18,3	22,4
10. IX. 7 ¹ / ₂ ^h a. m.	18,5	21,9
10 ^h a. m.	19,2	21,8
1 ¹ / ₂ ^h p. m.	19,6	22
3 ^h p. m.	20	22
5 ^h p. m.	18,5	22
9 ^h p. m.	17,7	21,4
11. IX. 7 ¹ / ₂ ^h a. m.	16,6	19,6

Dieser Versuch lehrt, daß die Blätter von *Pinus* sich innerhalb 24 Stunden auf etwa 27° erwärmen und daß dann ihre Temperatur fast bis auf die Lufttemperatur sinkt. Die etwas höhere Blattemperatur hält also nur 1—2 Tage an, dann ändert sich der Zustand der Blätter, das Atmungsmaterial wird vielleicht teilweise erschöpft, der Enzymgehalt vielleicht vermindert und die Temperatur der Blätter sinkt. Am Schlusse des Versuchs waren die Blätter lebend und anscheinend unverändert. — Ähnlich verhalten sich beblätterte, frisch im September gepflückte Sprosse von *Abies pectinata*. Ihre Temperatur stieg im Laufe eines Tages auf 25,4 bei einer Lufttemperatur von 21,3 und sank dann allmählich im Laufe von 4 Tagen auf 19,5. Auch hier waren die Blätter am Schlusse des Versuchs lebend. —

Eine sehr geringe Erwärmung war auch bei den Blättern

von *Ligustrum ovalifolium* im Herbste zu beobachten. Bei einer Lufttemperatur von etwa 17,9 bis 18,4 stieg die Temperatur auf nur 22,4. —

Die Blätter gewisser Wasserpflanzen erwärmen sich zwar verhältnismäßig langsam, doch immerhin bedeutend. So fand ich es bei *Nymphaea* und *Trapa*.

Blätter von *Nymphaea alba*.

10 Blätter, frisch am Abend gepflückt. Die Blätter waren unterseits etwas naß.

Datum	Temperatur in C °	
	der Luft	der Blüten
28. VII. 9 ^{3/4} h p. m.	18	14,2
10 ^{3/4} h p. m.	18	14,7
29. VII. 12 ^{1/4} h a. m.	17,3	17,4
6 ^{3/4} h a. m.	17	18
7 ^{1/2} h a. m.	17	18,7
8 ^{1/2} h a. m.	18	19,2
10 ^{1/4} h a. m.	21,5	20
4 h p. m.	21,5	22,5
7 ^{1/2} h p. m.	20,8	24
10 ^{1/4} h p. m.	20,6	25,1
12 h p. m.	19,5	25,7
30. VII. 5 ^{3/4} h a. m.	18	27,1
8 h a. m.	20	27,5
10 h a. m.	22,5	27,8
1 h p. m.	25,5	28,6
4 h p. m.	23	29,6
9 h p. m.	20,5	31,1
10 h p. m.	21	31,3
31. VII. 7 h a. m.	20	32,4
10 h a. m.	21	32,6
4 h p. m.	22,7	33,3
9 h p. m.	19,4	33,7
1. VIII. 1 ^{1/4} h a. m.	19,1	33,7
8 h a. m.	19,3	33
12 h a. m.	21,8	33
5 ^{1/4} h p. m.	21,5	33,3
10 h p. m.	19,5	33,4
2. VIII. 2 ^{1/2} h a. m.	17,7	33,4
8 h a. m.	18,3	33,4
10 ^{3/4} h a. m.	18,6	33,5
2 ^{1/4} h p. m.	21,7	33,9
8 h p. m.	20,3	35
10 h p. m.	19,5	35,3
3. VIII. 2 ^{1/4} h a. m.	18,8	36
8 h a. m.	19,4	36,7
1 ^{1/4} h p. m.	22,3	37,5
4 h p. m.	21,5	38
10 ^{1/2} h p. m.	20,4	38,4

Datum	Temperatur in C °	
	der Luft	der Blüten
4. VIII. 5 ^h a. m.	19,3	38,8
8 ^{1/2} ^h a. m.	20	38,8
1 ^h p. m.	20,6	39,1
5 ^h p. m.	22,8	39,6
9 ^{1/2} ^h p. m.	21,2	40
5. VIII. 5 ^{1/2} ^h a. m.	18,7	40,1
10 ^h p. m.	21	41,7
6. VIII. 2 ^h a. m.	20,9	41,9
8 ^h p. m.	20	42,4
7. VIII. 8 ^h a. m.	20	42,5
3 ^h p. m.	19	42,5
9 ^h p. m.	19	39
8. VIII. 8 ^h a. m.	18	32,4
2 ^h p. m.	19	30,3

Auch hier waren die zwei Maxima zu erkennen. Als ich die Blätter, sowie sie das 1. Maximum aufwiesen, ansah, waren sie zum Teil abgestorben, zum Teil lebend. Ob sie schon infolge einer Temperatur von 33,7 abzusterben begannen oder infolge der abnormen durch den Versuch gegebenen Verhältnisse (Lichtentzug, mangelhafter Luftzutritt) läßt sich nicht ohne weiteres sagen. Das 2. Maximum hat mit der Atmung der Blätter nichts zu tun, denn wenn sie es aufweisen, dann sind sie bereits tot, verschimmelt oder jauchig.

Bei *Trapa natans* stieg die Temperatur der beblätterten Sprosse am

1. Tage auf	26,9°
2. „ „	32
3. „ „	38
4. „ „	40,5
5. „ „	43,4

Dann starben die Blätter ab, ihre Temperatur sank allmählich und erreichte am 7. Tage 28,1. Die Lufttemperatur betrug während des Versuchs durchschnittlich 19° C. Am Ende des Versuchs waren die Blätter dicht mit *Aspergillus niger* besetzt. Ein 2. Maximum trat in diesem Versuche nicht auf, und dies

erklärt sich wahrscheinlich in der Weise, daß die Blätter nicht gleichzeitig absterben, daß ein Teil noch lebt, ein anderer aber schon abgestorben ist und Mikroorganismen aufkommen läßt. Die teilweise noch durch Atmung der Blätter erzeugte Temperatur interferiert mit der durch die Atmung der Mikroorganismen erzeugten, so daß das 2. Maximum verschleiert wird. Während sich die Blätter der beiden zuletzt genannten Wasserpflanzen, *Nymphaea* und *Trapa* relativ langsam erwärmen, geht dies bei *Ceratophyllum demersum* rasch vor sich.

Die Temperatur der Sprosse stieg bei einer durchschnittlichen Lufttemperatur von 20°

			nach dem 1. Tage auf	27,3 ^o C.
			„ „ 2. „ „	43,8
und fiel dann am	3.	„	„	40
„	„	„	4. „	35,3
„	„	„	5. „	31,5
„	„	„	6. „	28
„	„	„	7. „	27
„	„	„	8. „	24,6
„	„	„	9. „	23

Das Maximum war hier 43,8. Bei dieser Temperatur starben die Sprosse ab und ihre Temperatur sinkt dann kontinuierlich. Ein 2. Maximum war hier nicht zu bemerken.

Pteris aquilina-Blätter erwärmen sich — die Versuche wurden Anfang August gemacht — langsam und nicht bedeutend. Das erste Maximum betrug in einem Versuch 28,5, das zweite 34,5. Wenn hier nach der Erreichung von 28,5 schon ein Absinken der Temperatur eintritt, so ist dies nicht auf ein Absterben sondern wahrscheinlich auf die Verbrennung eines großen Teiles des Atmungsmaterials zurückzuführen. Der Tod tritt erst später und zwar infolge der für das Leben ungünstigen Versuchsbedingungen ein.

In Gegensatz zu *Pteris aquilina*-Wedeln erwärmen sich frisch gepflückte Sprosse von *Equisetum palustre* rasch und sehr bedeutend.

Beblätterte Sprosse von *Equisetum palustre*.

Datum	Temperatur in C °	
	der Luft	der Sprosse
24. VIII. 7h p. m.	21,2	18,8
9 ¹ / ₂ h p. m.	20	22,3
25. VIII. 6 ¹ / ₂ h a. m.	18,3	27,3
10 ¹ / ₄ h a. m.	20,9	30
1h p. m.	24	32,4
3 ¹ / ₂ h p. m.	22,2	34,4
9 ¹ / ₂ h p. m.	19,7	37,8
26. VIII. 5 ¹ / ₂ h a. m.	18,7	39
1 ¹ / ₂ h p. m.	23,7	39,4
7 ¹ / ₂ h p. m.	20,9	39,6
10 ¹ / ₄ h p. m.	20,3	39,5
27. VIII. 7 ¹ / ₂ h a. m.	17,5	38,3
1h p. m.	24,2	38,3
3h p. m.	22,7	38,6
5h p. m.	22,7	39
9 ¹ / ₂ h p. m.	19,4	40
28. VIII. 10 ¹ / ₄ h a. m.	21,6	40,2
3h p. m.	23,1	48
9h p. m.	19,5	50,7
29. VIII. 7 ¹ / ₂ h a. m.	19,1	52
9 ¹ / ₄ h p. m.	22	54
30. VIII. 8h a. m.	21	55
9h p. m.	21,4	55,6
31. VIII. 7 ¹ / ₂ h a. m.	21	54,6
3h p. m.	23,2	54,6
10h p. m.	20,6	54,6
1. IX. 7 ¹ / ₂ h a. m.	20,2	53,2
9 ¹ / ₂ h p. m.	21,7	52
2. IX. 8h a. m.	20,3	49
9 ¹ / ₂ h p. m.	21,6	45,8
3. IX. 8h a. m.	19,7	42
10h p. m.	20,5	37,8
4. IX. 7h a. m.	19,7	34
9h p. m.	21,5	30,3
5. IX. 7 ¹ / ₂ h a. m.	20,6	27,8

C. Mit Moosen.

Ich habe in den Monaten August und September Experimente mit frischem Rasen von *Sphagnum* sp., *Polytrichum* sp., *Leucobryum vulgare* und *Hypnum* sp. gemacht und übereinstimmend gefunden, daß die Erwärmung eine im Verhältnis zu anderen Pflanzen sehr geringe ist. Die exothermen Prozesse müssen also bei den untersuchten Moosen im allgemeinen träge verlaufen. Die Erwärmung betrug bei einer Lufttemperatur von durchschnittlich 19,5° nach etwa 3 Tagen

bei Sphagnum nur $1-2^{\circ}$ über der Lufttemperatur
 „ Leucobryum „ $1-1\frac{1}{2}^{\circ}$ „ „ „
 „ Polytrichum „ $2-5^{\circ}$ „ „ „
 „ Hypnum „ $1-5^{\circ}$ „ „ „

Als Beispiel diene die folgende Tabelle für Hypnum.

Hypnum sp.

Datum	Temperatur in C ⁰	
	der Luft	des Moooses
31. VIII. $10\frac{3}{4}$ h a. m.	20,6	20,7
3h p. m.	21	20,9
10h p. m.	20,6	21
1. IX. $7\frac{1}{2}$ h a. m.	20,2	22,6
1h p. m.	21,7	23
$9\frac{1}{2}$ h p. m.	21	25,2
2. IX. 8h a. m.	20,7	25,5
1h p. m.	21,6	26,4
$9\frac{1}{2}$ h p. m.	21,1	26,4
3. IX. 8h a. m.	20,7	26,2
10h p. m.	20,5	26,3
4. IX. 7h a. m.	20,4	26,1
9h p. m.	21	26,1

Die Moose waren am Ende des mehrere Tage oder bis zu einer Woche dauernden Versuches noch ganz frisch und lebend. Eine längere Zeit währende, dauernde Verdunkelung schadet ihnen nicht besonders. Das an den Sphagnum-Rasen haftende Wasser wurde vor dem Versuche durch den Druck mit der Hand abgepreßt und die alten, toten Teile wurden mit der Schere entfernt.

D. Mit Flechten.

Peltigera canina. Frisch im Walde gesammelte Rasen wurden von Erde möglichst befreit und dann etwa 70 g in ein Dewargefäß eingefüllt. Die Erwärmung war sehr schwach. Die Temperatur stieg im Laufe von 5 Tagen bei einer durchschnittlichen Lufttemperatur von etwa 20° auf $24,7^{\circ}$ und sank dann allmählich in den folgenden Tagen auf etwa 21° ab.

Evernia prunastri. Die Flechte wurde an einem trockenen, schönen Tag nachmittags gesammelt und ohne befeuchtet zu werden, in das Dewargefäß gefüllt. Ich beobachtete bei der lufttrockenen Flechte durch 3 Tage keine oder nur eine minimale Erwärmung um etwa 1° . Als ich die Flechte dann in Wasser von gleicher Temperatur tauchte, mit Wasser imbibieren

ließ, das anhaftende Wasser mit der Hand abpreßte und neuerdings prüfte, stieg die Temperatur innerhalb 24 Stunden bei einer Lufttemperatur von etwa 21° auf $32,2^{\circ}$, sank darauf bis 23° , erhob sich nach 2 Tagen wieder auf 40° , um dann allmählich wieder zu sinken.

Vergleicht man die beiden Flechten miteinander, so sieht man, daß sie sich nicht gleich verhalten. *Peltigera* erwärmt sich sehr wenig, *Evernia* ziemlich stark, aber erst dann, wenn die Flechte mit Wasser reichlich imbibierte war, und nicht im lufttrockenen Zustande. Wir werden wohl kaum mit der Annahme fehl gehen, daß die am Baume festsitzenden Flechten im lufttrockenen Zustande, also an schönen sonnigen Tagen einen nur sehr schwachen Stoffwechsel, besonders eine nur sehr geringe Atmung unterhalten, und daß der Stoffwechsel erst energisch anhebt, wenn die Flechte Gelegenheit hatte, sich mit Wasser genügend zu versorgen. Das ist offenbar der Grund, warum die lufttrockene Flechte fast keine Wärme produziert, wohl aber im imbibrierten Zustande. Nachdem das 1. Maximum bei *Evernia* erreicht war, starb die Flechte ab, Mikroorganismen kamen auf und führten zu einem 2. Maximum. Ein solches unterblieb bei *Peltigera*, weil sie sich während einer längeren Versuchszeit am Leben erhält und eine Verpilzung nicht eintritt.

E. Mit Pilzen.

Daß niedere Pilze, insbesondere thermophile Bakterien- und Schimmelpilze oft kolossale Wärmemengen produzieren können, ist allgemein bekannt¹, es geht dies auch wieder aus den von mir seinerzeit² und jetzt hier mitgeteilten Versuchen hervor, denn das 2. Maximum, das sich vielfach bei Blättern, Blüten und anderen Pflanzenteilen bei der Erwärmung zeigte, ist ja hauptsächlich auf die Lebenstätigkeit der niederen Pilze, die sich auf den toten Pflanzen entwickeln, zurückzuführen. Auch für die Hefe hat Peirce³ die Selbsterwärmung mit Hilfe der Dewar-

¹) Lafar, F., Handbuch der technischen Mykologie. Jena. 1904—1907. 1, 601. Mische, H., l. c.

²) Molisch, H., l. c.

³) Peirce, G. J., l. c. S. 199.

gefäße nachgewiesen, doch war sie in seinen Versuchen nicht gerade bedeutend. Der Unterschied der Temperatur im Gefäß mit und ohne gärende Hefe betrug im Maximum 7°.

Mich interessierte das Verhalten von Hutpilzen.

Hydnum imbricatum. Abends frisch gesammelt. Etwa 120 g. Im Laufe von 24 Stunden stieg die Temperatur der Pilze im Dewargefäß bei einer Lufttemperatur von 20,3 auf 24,9, am 2. Tag auf 25,4. Nun sterben die Pilze ab, und in der faulen, übelriechenden Masse erhob sich die Temperatur auf 27,8 bei einer Lufttemperatur von 21°.

Lactarius piperatus.

Etwa 150 g junge, noch nicht ausgewachsene Exemplare. Die Fruchtkörper wurden in 2—3 Stücke zerteilt, um sie möglichst dicht zu lagern.

Datum	Temperatur in C°	
	der Luft	der Pilze
27. VIII. 7 ^h p. m.	18,3	15
7 ^{1/2} ^h p. m.	18,3	15,7
28. VIII. 12 ^{3/4} ^h p. m.	18,7	36,7
4 ^{1/4} ^h p. m.	18,5	37,1
5 ^{1/2} ^h p. m.	18,5	37,1
7 ^{1/2} ^h p. m.	18,1	36,8
29. VIII. 7 ^h a. m.	17,8	37,7
12 ^h a. m.	18	37,9
7 ^h p. m.	18,2	37,7
30. VIII. 7 ^h a. m.	17,9	37,9
11 ^h a. m.	18,6	38,1
7 ^{1/2} ^h p. m.	18,3	39,4
1. X. 6 ^{1/2} ^h a. m.	17,8	41,1
4 ^h p. m.	17,9	41,7
7 ^{1/2} ^h p. m.	18	41,6
2. X. 6 ^{1/2} ^h a. m.	17,7	40,5
12 ^h a. m.	18	40,2
7 ^{1/2} ^h p. m.	18,2	39,1
3. X. 9 ^{1/2} ^h a. m.	18,3	39
6 ^{1/2} ^h p. m.	18	40
4. X. 6 ^{1/2} ^h a. m.	17,8	40,4
4 ^h p. m.	17,7	40,7
7 ^h p. m.	17,8	40,7
5. X. 7 ^h a. m.	17,5	40,1
7 ^{1/2} ^h a. m.	17,9	39,1
6. X. 7 ^h a. m.	17,8	37,5
2 ^h p. m.	18,5	36,5
7 ^{1/2} ^h p. m.	18	35,7
7. X. 7 ^h a. m.	17,6	34,6
9 ^h a. m.	17,9	34,5

Die Pilze waren vollständig in Fäulnis und daher wurde der Versuch abgebrochen. Bis ungefähr zur Erreichung des 1. Maximums waren die Pilze am Leben.

Agaricus sp. Bei einer weißen *Agaricus*-art stieg die Temperatur bei einer Lufttemperatur von $17,5-19^{\circ}$ innerhalb von 24 Stunden auf 27, am 2. Tage auf 28,8 und am 3. auf 35,6, um dann langsam zu fallen. —

Agaricus (*Pleurotus*) *ostreatus* Jacqu. 109 g. Frisch gesammelt. Bei einer Lufttemperatur von etwa $18-19,5^{\circ}$ erhob sich die Temperatur des Pilzes im Dewargefäß nach 24 Stunden auf 24,6 und nach 48 Stunden auf 26° . Sie erhielt sich dann nach 6 Tagen auf $26-24,8$, ohne daß der Pilz in dieser Zeit abstarb.

Aus den eben mitgeteilten Versuchen geht hervor, daß auch Hutpilze sich ansehnlich erwärmen können, die einen mehr, die anderen weniger. Die in den ersten 2 Tagen erzeugte Wärme rührt wohl in der Hauptsache von der Atmung der Pilze her, dann sterben sie, wenn es sich um weiche Formen handelt, gewöhnlich ab, Fäulnispilze machen sich breit, und dann setzen sich die Temperatursummen aus 2 Komponenten zusammen, einerseits aus der Temperatur der noch zum Teil erhaltenen Hutpilze und andererseits aus den sich entwickelnden Fäulnispilzen. Nach dem vollständigen Absterben der Hutpilze produzieren die Fäulnispilze dann der Hauptsache nach allein die Wärme.

In historischer Beziehung sei noch folgendes erwähnt: Dutrochet¹ hat mit Hilfe der thermoelektrischen Methode die Temperatur lebender und toter Hutpilze miteinander verglichen. Er senkte die Lötstellen von Kupfer- und Eisendraht in Form von Nadeln in den Scheitelpunkt des Stieles der Pilze, die eine in den lebenden, die andere in den getöteten. Im Laufe eines Tages erreichte die Temperaturerhöhung bei dem lebenden Pilz (*Boletus aereus*) $0,45^{\circ}$ C, es war dies die höchste Wärmeanzeige, die Dutrochet, abgesehen von der Wärmeentwicklung der Aroideen bei seinen Versuchen erhalten hat.

Wertvolle Versuche über die Erwärmung verdanken wir auch

¹) Dutrochet. Ann. d. sc. nat. 1840. II. 13, 84.

Falck¹. Er verwendete auch schon Dewargefäße und konnte bei seinen Versuchen mit der Röhrenschicht von *Polyporus squamosus* eine Temperaturerhöhung im Maximum von etwa 10° erzielen. Bei der Markschicht war die Temperaturerhöhung nur eine sehr geringe. Auch quantitative Erwärmungsversuche wurden von Falck angestellt. Er fand, daß 1 g Röhrentrockensubstanz von *Polyporus squamosus* in 1 Stunde 36 Kalorien liefert. —

Falck hat in seiner Arbeit sehr interessante Angaben über die Verbreitung der Sporen bei Hymenomyceten durch Luftströmungen gemacht und ist der Meinung, daß die von den Pilzhüten gebildete Wärme den Zweck habe, die Luft in unmittelbarer Nähe zu erwärmen und hierdurch Luftströmungen zu erzeugen, um die von den Basidien abfallenden Sporen zu verbreiten. »Die sogenannten Hutpilze sind diejenigen Organe der Basidiomyceten, die lediglich die Funktionen haben: 1. möglichst vielen Basidien selbständig die für die Bildung von Fallsporen zweckmäßigste Anordnung und Lagerung im Raum zu erteilen und 2. Luftströmungen zu erzeugen, die eine selbsttätige Weiterverbreitung der Fallsporen in den umgebenden Luftraum herbeizuführen« (S. 65).

Obwohl sicher gar nicht daran zu zweifeln ist, daß bei der Verbreitung der Basidiosporen Luftströmungen² eine bedeutende, ja ausschlaggebende Rolle spielen, so glaube ich doch nicht, daß in der Natur die Erwärmung des Pilzes hierbei von Bedeutung ist. Die vom Pilze erzeugte Wärme wird so rasch an die Umgebung angegeben, daß mit Hilfe eines empfindlichen Thermometers gewöhnlich gar keine Eigenwärme des Pilzes nachgewiesen werden kann. Aber zugegeben, es werden durch den Pilz doch Luftströmungen erzeugt, so müssen diese in der

¹) Falck, R., l. c.

²) Bei manchen Hutpilzen sieht man in schwach bewegter Luft Wolken von Sporen wie rauchend aufsteigen oder den Sonnenstäubchen gleich seitlich dahin schweben. So sah es Hoffmann (Jahrb. f. wiss. Bot. 1860. 2, 315) bei *Polyporus destructor*. Ich selbst beobachtete es zu wiederholten Malen an den frisch gepflückten Fruchtkörpern von *Agaricus (Pleurotus) ostreatus* Jacqu., die im Zimmer auf einem schwarzen Tisch unbedeckt lagen. Die Erscheinung dauerte 4 Tage und war so auffallend, daß mein Gärtner, der zufällig vorüberging, sie bemerkte, und darauf eilig zu mir kam, um mir zu melden, daß die Pilze »rauchen«.

Natur so minimale sein, daß sie, verglichen mit den durch meteorologische Verhältnisse bedingten Luftströmungen, wohl kaum in Betracht kommen. Abgesehen von Sturm und Wind gibt es im Freien, wo Pilze gedeihen, selbst bei scheinbar stagnierender Luft immer Luftbewegungen, die die Verbreitung der Sporen unabhängig vom Pilze in mehr oder minder ausgiebigem Maße vermitteln.

E. Mit Algen.

Bei den untersuchten Algen war die Erwärmung eine schwache. Geprüft wurde eine Süßwasser-Cladophora und eine marine Alge, *Fucus virsoides*. *Cladophora* erwärmte sich im Maximum innerhalb 28 Stunden auf 26,1°, dann sank die Temperatur. Und *Fucus virsoides* erwärmte sich innerhalb 5 Tagen auf 21,9 bei einer Lufttemperatur von etwa 18,5. Dies deutet auf eine geringe Intensität der Atmung bei diesen Algen.

Cladophora sp.

Frisch gesammelte Rasen wurden durch sanftes Betupfen mit Filtrierpapier von anhaftendem Wasser befreit und dann in das Dewargefäß eingefüllt. Frischgewicht der Alge 120 g.

Datum	Temperatur in C °	
	der Luft	der Alge
8. X. 12 ³ / ₄ h p. m.	17,8	18,7
1 h p. m.	17,9	19
4 h p. m.	17,5	20,9
7 ¹ / ₄ h p. m.	17,7	21,7
9. X. 7 h a. m.	17,0	25,1
12 ¹ / ₂ h p. m.	17,5	25,9
2 h p. m.	17,5	26
4 h p. m.	17,4	26,1
10. X. 7 h a. m.	17,0	24,9
1 h p. m.	17,7	24,4
7 ¹ / ₂ h p. m.	17,6	23,8
11. X. 7 h a. m.	17	22,5
1 h p. m.	17,8	22,3
5 h p. m.	17,2	22,2
12. X. 7 h a. m.	16,5	20,9
10 h a. m.	16,7	20,7
13. X. 7 h a. m.	16,5	19,7

Nun wurde der Versuch beendet. Die Algen waren noch feucht und intakt.

Fucus virsoides.

Die frische, gesunde, aus dem Rasen von Triest stammende Alge wurde im feucht-nassen Zustande in das Dewargefäß eingefüllt. Frischgewicht 161 g.

Datum	Temperatur in C ⁰	
	der Luft	der Alge
9. XI. 7 ^h a. m.	18	17,8
11 ^h a. m.	18,5	18,3
3 ^h p. m.	18,5	18,7
7 ^{1/2} ^h p. m.	18,2	19,1
10. XI. 7 ^h a. m.	17,7	19,6
10 ^{1/2} ^h a. m.	19,8	19,7
4 ^h p. m.	18,6	20,1
6 ^h p. m.	18,6	20,3
11. XI. 7 ^h a. m.	17,7	20,4
12 ^h a. m.	19	20,5
4 ^h p. m.	18,3	20,7
7 ^{1/2} ^h p. m.	18,3	20,8
12. XI. 7 ^h a. m.	18	20,9
9 ^h a. m.	18,7	21
7 ^h p. m.	18,8	21,4
13. XI. 7 ^h a. m.	18,2	21,7
	18,5	21,9

III. Über den Ersatz von Dewargefäßen.

In dem vorhergehenden Teil wurde unter anderem gezeigt, daß die Dewargefäße eine sehr weitgehende Wärmeisolierung gestatten und sich für die Demonstration der durch die Pflanze erzeugten Wärme in ausgezeichneter Weise eignen. Da diese Gefäße in größeren Dimensionen nicht gerade billig sind (vergl. S. 307), so hat Hempel¹ bei Versuchen mit niederen Temperaturen versucht, wie sich mit einfacheren Mitteln gute Isolierungen gegen Wärmeausstrahlungen und Wärmeableitungen erreichen lassen. Zu diesem Zwecke machte er eine Versuchsreihe, in der er Dewarsche Röhren in ihrem Isolierungsvermögen für Wärme mit einfachen ähnlichen Glasgefäßen verglich, die ungefähr denselben Inhalt und dieselbe innere Oberfläche hatten, wie die zum Vergleiche herangezogenen Dewargefäße und die dann in gutes Wärmeisolierungsmaterial, wie Wolle, Seide, Baumwolle usw., eingepackt wurden. Die mit den Dewargefäßen zu vergleichenden Glasgefäße wurden, in etwa 130 mm weiten Bechergläsern stehend, allseitig von den zu untersuchen-

¹) Hempel, W., Über das Arbeiten bei niederen Temperaturen. Ber. d. d. chem. Ges. 31. Jahrg. 1898. 3, 2993.

den schlechten Wärmeleitern umgeben und dann möglichst gleichzeitig mit den Dewargefäßen mit gleichen Mengen von fester Kohlensäure und Äther beschickt. Am Anfang des Versuchs waren also ziemlich gleich große Massen der Kältemischung von etwa 79° Temperatur vorhanden. Sie wurde mittels eines Elektropyrometers in den verschiedenen Gefäßen bestimmt.

Art der Isolierung gegen die Wärmeausstrahlung	Temperatur im Innern des Gefäßes etwa 5 Min. nach der Beschickung C ^o	Temperatur nach 32 Minuten C ^o	Temperatur nach 58 Minuten C ^o	Temperatur nach 88 Minuten C ^o
Trockene reine Schafwolle (bei 100 ^o getrocknet)	— 74	— 63	— 61	— 50
Baumwolle	— 76	— 63	— 56	— 43
Seide	— 76	— 65	— 58	— 48
Schweißwolle	— 76	— 64	— 54	— 44
Reine Wolle, lufttrocken	— 77	— 74	— 64	— 55
Eiderdaunen	— 78	— 76	— 67	— 66
Dewarsche Röhre, schlecht evakuiert	— 70	— 47	— 23	— 5
Dewarsche Röhre gut evakuiert .	— 78	— 54	— 31	— 9
Dewarsche Röhre von Dr. Bender und Dr. Hobein, München . .	— 77	— 65	— 54	— 38

Aus der Tabelle geht hervor, daß die angewendeten Isolierungsmaterialien unter den obigen Versuchsbedingungen in der Tat ausgezeichnete Dienste leisten, ja in ihrer Wirksamkeit die verwendeten Dewargefäße übertreffen. Hempel bezweifelt zwar nicht, daß Dewargefäße die mit besonderer Sorgfalt evakuiert werden, bessere Resultate geben werden, immerhin lehren aber die gewonnenen Zahlen, daß Baumwolle, Seide, reine trockene Schafwolle und Eiderdaunen ein ausgezeichnetes Isolierungsmaterial darstellen, ein so gutes, daß es wohl nur von den besten Dewarröhren erreicht wird, schlechte Dewarröhren aber übertrifft.

Nach dieser Sachlage war es mir darum zu tun, zu prüfen, ob die Dewargefäße, wie sie mir zu Gebote standen und die sich sehr bewährt hatten, nicht auch bei Versuchen über die Eigenwärme der Pflanzen ersetzt werden könnten. Immer vorausgesetzt, daß relativ wenig Pflanzenmaterial zum Versuch ver-

wendet wird, denn daß man bei einem großen Aufwand von Pflanzen die Dewargefäße entbehren kann und mit gewöhnlichen schlechten Wärmeleitern das Auslangen findet, ist ja bekannt¹.

Ich machte einen Versuch in der Weise, daß ich das mit Blättern beschickte Dewargefäß mit einem gleich großen Becherglas von annähernd gleich großem inneren Volum, das dieselbe Blattmasse enthielt, verglich. Das Dewargefäß stand in einem Holzfuß frei in der Luft, das Becherglas befand sich in einem Holzkistchen, und der Raum zwischen diesem und dem Becherglas war mit trockener Baumwolle in einer Dicke von etwa 6 cm ringsum und auch oben und unten umgeben. Oben war die Kiste mit einem Holzdeckel, aus dem das Thermometer hervorsah, bedeckt. Anstatt der Baumwolle kann man mit gleich gutem Erfolg trockene rohe Schafwolle verwenden, von der Verwendung der so ausgezeichnet isolierenden Eiderdaunen habe ich ihres enorm hohen Preises wegen (1 Kilo kostet etwa 80 Kronen) abgesehen.

Blätter von *Ailanthus glandulosa*.

Frisch gepflückt. Frischgewicht etwa 130 g.

Datum	Temperatur in C °		
	der Luft	der Blätter im Becherglas	der Blätter im Dewargefäß
20. X. 11 ³ / ₄ h a. m.	19,3	14,9	14,7
5 ¹ / ₂ h p. m.	18,7	25	23,6
7 ¹ / ₄ h p. m.	18,6	25,6	24,6
21. X. 7 h a. m.	17,8	28,3	27,5
12 ¹ / ₄ h p. m.	20,2	28,4	28,6
5 ³ / ₄ h p. m.	19,3	29,4	29,1
22. X. 7 h a. m.	19,3	30,9	29,2
8 h a. m.	18,3	27,2	27,4
12 h a. m.	19,4	27,2	27,3
23. X. 7 h a. m.	18,4	26,1	27,1
12 ¹ / ₂ h p. m.	19,4	26,2	26,9
5 h p. m.	18,9	26	26,8
7 h p. m.	18,8	25,2	25,3
24. X. 7 h a. m.	18,3	25,2	25,3
12 h a. m.	19,8	25,2	25,2

Der Versuch läßt keinen Zweifel darüber, daß die Leistungsfähigkeit eines guten Dewargefäßes bei derartigen Versuchen

¹) Molisch, H., l. c.

vollkommen ersetzt werden kann durch einen schlechten Wärmeleiter, z. B. Baumwolle, vorausgesetzt, daß sie in genügend großer Menge als Einpackungsmaterial verwendet wird. —

Gewöhnlich wird empfohlen, die Dewargefäße frei in der Luft mit Schnüren aufzuhängen, um jede Berührung mit einem festen Körper zu verhindern und die Wärmeabgabe dadurch auf ein Minimum zu beschränken. Als ich jedoch sah, daß ein von Baumwolle in dicker Schicht umhülltes Becherglas sich als Wärmeisolator etwa in demselben Maße bewährte wie ein Dewargefäß, war es klar, daß die Wärmeisolierung eines Dewargefäßes bedeutend gesteigert werden müßte, wenn es nicht frei in der Luft aufgehängt, sondern mit schlechten Wärmeleitern, z. B. mit trockener Baum- oder Schafwolle umgeben wird. Die Richtigkeit dieser Überlegung ergibt sich aus folgendem Versuch. Bei diesem handelt es sich im Grunde genommen um eine Wiederholung des vorigen, nur mit dem Unterschied, daß noch ein 3. Versuchsgefäß aufgestellt wurde, nämlich ein Dewargefäß, das in Baumwolle eingepackt war wie das Becherglas.

Blätter von *Ailanthus glandulosa*.

Datum	Temperatur in C °			
	der Luft	der Blätter im mit Baumwolle umhüllten Becherglas	der Blätter im mit Baumwolle umhüllten Dewargefäß	der Blätter im in der freien Luft befindlichen Dewargefäß
24. X. 12 ¹ / ₂ h p. m.	20	20,7	18,1	16,7
1h p. m.	20	22,3	18,5	16,8
2h p. m.	20	24	21,4	22,2
4h p. m.	19,5	24,8	22,8	22,2
6 ¹ / ₂ h p. m.	19,6	25,3	24,3	23,3
7 ¹ / ₂ h p. m.	19,5	25,5	25	23,7
25. X. 7h a. m.	18,6	25,1	29,3	25,1
9 ¹ / ₂ h a. m.	20,7	25,1	29,8	25,2
11 ¹ / ₄ h a. m.	20,7	25,3	30,7	25,5
12h a. m.	19,9	25,4	31	25,6
4 ¹ / ₄ h p. m.	20	25,5	31,8	25,9
26. X. 7h a. m.	18,5	24,6	31,5	25,1
9h a. m.	18,7	24,5	31,7	25,0
5h p. m.	18,4	23,4	30,7	23,7
7 ¹ / ₂ h p. m.	18,5	23,3	30,7	23,2
27. X. 7h a. m.	18,3	22,7	30,5	24,2
10 ¹ / ₂ h a. m.	20	23,3	30,7	24,2
2h p. m.	19,9	24,2	31,2	25,8
7 ¹ / ₂ h p. m.	19,4	24,6	31,5	26,2

Datum	Temperatur in C °			
	der Luft	der Blätter im mit Baumwolle umhüllten Becherglas	der Blätter im mit Baumwolle umhüllten Dewargefaß	der Blätter im in der freien Luft befindlichen Dewargefaß
28. X. 7 ^h a. m.	18,8	24,3	31,9	25,6
1 ^h p. m.	19,4	24,9	32,6	26,3
7 ^{1/2} ^h p. m.	19,3	25,1	32,8	26,3
29. X. 8 ^{1/4} ^h a. m.	19,1	25,1	33,3	25,9
12 ^h	20,2	25,8	33,7	26,5
2 ^h p. m.	19,5	26,4	34,2	26,9
6 ^h p. m.	19,9	26,5	34,3	27,2
30. X. 7 ^h a. m.	19,2	26,7	34,6	27
12 ^h a. m.	20,7	27,3	34,9	27,5
5 ^{1/4} ^h p. m.	20,3	27,9	35,2	28
31. X. 8 ^h a. m.	20	27,8	34,7	27,8
4 ^{3/4} ^h p. m.	20,2	27,4	34,5	28
1. XI. 7 ^h a. m.	19,2	27,4	34,3	27,4
4 ^{1/2} ^h p. m.	19,2	26	32,5	26,8
2. XI. 7 ^h a. m.	19,2	25,2	31,2	25,8
2 ^h p. m.	19,5	25	30,7	25,6
3. XI. 7 ^h a. m.	18,3	24	29,6	24,5

Wie sich aus der Tabelle ergibt, erhält man die Höchstleistung der Wärmeisolierung durch Kombination des Dewargefäßes mit einem schlechten Wärmeleiter, z. B. Baumwolle, die Selbsterwärmung der Pflanze wird dann viel prägnanter angezeigt und erreicht dann einen viel höheren Grad als in einem in der Luft hängenden oder stehenden, also nackten Dewargefäß. Es wird sich daher bei einschlägigen Versuchen empfehlen, das verwendete Dewargefäß nicht, wie dies in meinen Versuchen bisher geschehen ist, frei aufzustellen, sondern in eine Holzkiste zu stellen und den ganzen Zwischenraum zwischen Dewargefäß und Kistenwand mit trockener Baum- oder Schafwolle so auszufüllen, daß das Dewargefäß überall von einer mindestens 6 cm dicken Wollschicht umgeben ist (Fig. 3). Auch in

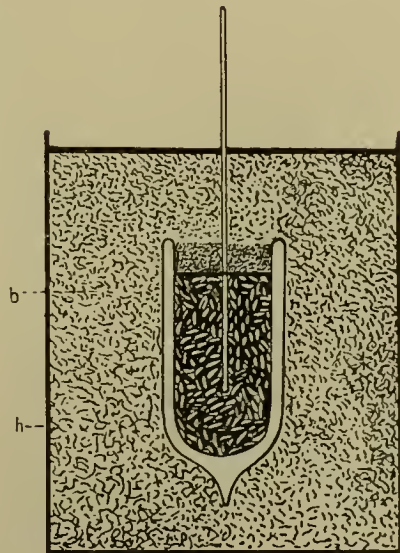


Fig. 3. Dewargefäß in einem Holzkistchen h. Der Raum zwischen Dewargefäß und Kistenwand mit trockener Baumwolle b ausgefüllt. Das Dewargefäß ist mit Blättern angefüllt und nach oben mit einer Baumwollschicht abgeschlossen.

dem eben mitgeteilten Versuch zeigte es sich, daß das mit Baumwolle umhüllte Becherglas die Wärme etwa so isoliert wie ein nacktes Dewargefäß, daß aber das von Baumwolle umhüllte Dewargefäß das mit Baumwolle umhüllte Becherglas, wie eigentlich von vornherein zu erwarten war, in auffallender Weise übertrifft. Man vergleiche nur die beiden Maxima im Becherglas und in den Dewargefäßen der letzten Tabelle.

IV. Zusammenfassung.

1. Mit Hilfe der Dewargefäße läßt sich die Entwicklung von Wärme durch die Pflanze in Übereinstimmung mit den Versuchen von Peirce in ausgezeichneter Weise demonstrieren. Die besten Resultate erhält man, wenn man die Dewargefäße nicht frei aufhängt, sondern wenn man sie in dicken Schichten in einem Holzkistchen mit trockener Baum- oder Schafwolle umgibt, also das Dewargefäß noch mit einem schlechten, festen Wärmeleiter kombiniert.

2. Das nackte Dewargefäß kann durch ein gewöhnliches Glasgefäß (Becherglas) von annähernd gleicher Größe für pflanzenphysiologische Versuche ersetzt werden, wofern das Glasgefäß von einer dicken trockenen Baum- oder Schafwollschicht umhüllt wird. Wird aber das Dewargefäß auch in Wolle eingepackt, dann isoliert es die Wärme so ausgezeichnet, daß ein gewöhnliches von Wolle umhülltes Glasgefäß nicht mehr konkurrieren kann.

3. Wenn man früher eine bedeutende Selbsterwärmung bei Blättern, Blüten oder Keimlingen thermometrisch demonstrieren wollte, so bedurfte man großer Mengen. Die Dewargefäße aber gewähren den großen Vorteil, daß man schon mit einer relativ kleinen Menge (100—150 g) auffallende Wärmeproduktionen angezeigt erhält.

4. Die frisch gepflückten Blüten verschiedener Pflanzen erwärmen sich im Dewargefäß, auch wenn nur 100—150 g verwendet werden, in 1—2 Tagen bis zur oberen Temperaturgrenze des Lebens und sterben dann infolge der eigenen Wärme ab, worauf die Temperatur zu sinken beginnt. Aber alsbald siedeln sich auf den toten Blüten hauptsächlich Bakterien und Schimmelpilze an, und nun erhebt sich die Temperatur zu einem 2., gewöhn-

lich das 1. an Höhe übertreffende Maximum, um dann wieder bis auf die Lufttemperatur zu fallen. Das erste Maximum ist hauptsächlich bedingt durch exotherme Prozesse (die Atmung usw.) der Blüten und das zweite durch die entsprechenden Prozesse der Pilze. Die Temperaturmaxima ergeben sich aus folgender Übersicht:

Name der Blüten	I. Maximum, hauptsächlich bedingt durch die Atmung der Blüten C ⁰	Differenz zwischen Blüten- und Zimmertemperatur zur Zeit des I. Maximums C ⁰	II. Maximum, hauptsächlich bedingt durch die Atmung der Mikroorganismen C ⁰	Differenz zwischen Blüten- und Zimmertemperatur zur Zeit des II. Maximums C ⁰
Chrysanthemum Leucanthemum	47,3	29,5	56,6	39,6
Daucus Carota	46,9	28,9	55	38,8
Trifolium pratense	47	28,0	55	38,0
Achillea millefolium	43,6	25,0	52,8	33,7
Anthemis arvensis	41,6	20,2	48	28,1
Funkia sp.	45	24,5	—	—
Philadelphus coronarius	40,1	16,1	47	25,0
Rosa (Gartenhybride)	40,4	18,5	37,6	15,5
Clematis vitalba	45,4	23,4	50	29
Calendula officinalis	36,4	15,4	40	18,5
Nymphaea alba	27,4	8,3	—	—

Die meisten Blüten erwärmen sich sehr stark, aber es gibt auch solche, die sich nur wenig und langsam erwärmen, z. B. die Blüten von *Nymphaea alba*.

5. Schon aus früheren Versuchen mit großen Massen ging hervor, daß sich Laubblätter hochgradig erwärmen können (Molisch). Dies hat sich auch bei kleineren Mengen (100—150 g) in Dewargefäßen wieder gezeigt. Es wurden Versuche mit den Blättern folgender Pflanzen gemacht: *Ailanthus glandulosa*, *Syringa vulgaris*, *Ligustrum ovalifolium*, *Prunus sp.*, *Pirus domestica*, *Trifolium pratense*, *Robinia Pseudacacia*, *Pinus silvestris*, *Abies pectinata*, *Nymphaea alba*, *Trapa natans*, *Ceratophyllum demersum*, *Pteris aquilina*, *Rhus typhina* und *Equisetum palustre* (beblätterte Sprosse). Der Erfolg war verschieden. Blätter von Gramineen, *Trifolium*, *Pirus*, *Robinia* und anderen erwärmen sich sehr stark, hingegen die von *Pinus silvestris*, *Abies pectinata* und *Ligustrum ovalifolium* relativ wenig. Manche erwärmen sich rasch, andere langsam. Gewisse Wasser-

pflanzen z. B. die Blätter von *Nymphaea alba* erwärmen sich zwar bedeutend, aber relativ langsam, doch ist dies nicht allgemein bei Wasserpflanzen der Fall, denn *Ceratophyllum demersum* erhitzt sich rasch und stark. Auch das Alter der Blätter erscheint nicht ohne Bedeutung, denn knapp vor dem herbstlichen Laubfall produzierten die Blätter mancher Gehölze, obwohl sie sich noch immer ziemlich stark erwärmten, nicht so viel Wärme wie zur Zeit des Sommers. —

Blätter, die sich nicht bedeutend erhitzen, starben bei der mäßigen Temperatur nicht ab und zeigen daher auch nicht das 2. Maximum (*Abies*, *Pinus*). In gewissen Fällen kann aber das Absterben der Blätter, ganz abgesehen von hoher Temperatur, auch infolge der für das Pflanzenleben ungünstigen Versuchsbedingungen eintreten, und dann bereitet sich durch das Auftreten der Mikroorganismen gleichfalls ein 2. Maximum vor. —

Von Wichtigkeit ist auch die Beobachtung, daß manche Blätter (*Abies*, *Pinus*) sich in den ersten 2 Tagen des Versuches bis auf eine relativ geringe Höhe (25° — 27°) erwärmen, dann aber, obwohl am Leben bleibend, kontinuierlich in ihrer Temperatur sinken. Der Grund dafür dürfte wohl darin liegen, daß sich der innere Zustand der Blätter ändert, daß das Atmungsmaterial wahrscheinlich zum großen Teile in den ersten 2 Tagen aufgebraucht und die Oxydation im Blatte dadurch herabgesetzt wird.

6. Moosrasen von *Sphagnum*, *Polytrichum*, *Leucobryum* und *Hypnum* produzieren nur wenig Wärme. Die Differenz zwischen Luft- und Moostemperatur betrug im Dewargefäß gewöhnlich nur 1 — 5° C. Dies scheint auf einen ziemlich träge verlaufenden Atmungsprozeß bei diesen Pflanzen hinzuweisen.

7. Die untersuchten Flechten verhielten sich verschieden. *Peltigera canina* erwärmt sich wenig (4 — 5°), *Evernia prunastri* aber ziemlich stark (11°), vorausgesetzt, daß diese Baumflechte sich nicht in lufttrockenem, sondern in einem mit Wasser imbibierten Zustand befindet.

8. Bei Hutpilzen ist die Wärmeproduktion verschieden, bald ansehnlich, bald gering. Bei *Hydnum imbricatum* betrug die Temperaturdifferenz zwischen Luft und Pilz im Maximum $5,1^{\circ}$, bei *Lactarius piperatus* $23,8^{\circ}$, bei *Agaricus (Pleurotus) ostreatus* Jacqu. 8° und bei einem anderen *Agaricus* $18,1^{\circ}$.

8. Von Algen wurden auf ihre Erwärmungsfähigkeit eine *Cladophora* des süßen Wassers und der marine *Fucus virsoides* geprüft. Bei der ersteren Alge war die Wärmeproduktion mäßig, bei der letzteren gering. Bei beiden dürfte der Atmungsprozeß daher wohl nur mit geringer Intensität verlaufen.

9. Früchte. Schon früher wurde vom Verfasser gezeigt, daß die reifen Früchte von *Ligustrum vulgare* und *Pirus communis* wenig Wärme produzieren. Ähnliches ergab sich bei Versuchen mit reifen Weintrauben und Pflaumen im Dewargefaß. Bei einer gelbgrünen Traube war die Temperaturdifferenz gegenüber der Luft nur $\frac{1}{2}$ — 1° und bei Pflaumen $1,6^{\circ}$. Offenbar sind die Atmung und andere exotherme Vorgänge in reifen Früchten von relativ geringer Intensität, und dies scheint mit Rücksicht auf die biologische Bedeutung des süßen Fruchtfleisches verständlich, denn wäre die Atmung sehr energisch, so würde der Zucker rasch veratmet werden und damit der süße Geschmack der Frucht alsbald verschwinden.



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Zeitschrift für Botanik](#)

Jahr/Year: 1914

Band/Volume: [6](#)

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

Artikel/Article: [Über die Selbsterwärmung von Pflanzen in Dewargefäßen.
305-335](#)