© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Über die Temperatur der Insekten nach Beobachtungen in Bulgarien.

Von

Prof. **P. Bachmetjew.**

Mit 5 Figuren im Text.

(Aus dem physikalischen Institute der Hochschule in Sophia.)

Geschichtliche Übersicht.

Die Frage über die Temperatur der Insekten interessirte seit langem die Gelehrten. Ich werde hier die Ergebnisse ihrer einschlägigen Arbeiten in chronologischer Reihenfolge folgen lassen.

Der Erste, der mit dieser Frage sich befasste, war RÉAUMUR (1734—1742, 50[1]). Er fand, dass die Raupen Vanessa cardui, geköpft und nicht geköpft, auch bei —15° R. nicht einfroren. Der Autor erwähnt jedoch nicht, wie lange die Wirkung der Kälte andauerte.

Die Beobachtungen mit unterirdischen Puppen vieler Schmetterlinge zeigten, dass dieselben bei —7° bis —8° nicht sterben. Sogar Puppen, welche sich in freier Luft befinden, wie z. B. Pieris brassicae, sterben nicht bei —16°.

Als er die Temperatur in einem Bienenstock untersuchte, fand er in demselben im Monat Mai $t = +31°$ R. Im Januar war diese Temperatur +10°, während die Temperatur der äußeren Luft gleich —3° war. Dieselben Resultate gab auch ein gläserner Bienenstock.

Welche Temperatur ein Insektenei ohne Schaden zu leiden aushalten kann, ist aus den Versuchen JOHN HUNTER's (1792, 30) mit Hühnereiern ersichtlich, welche ihrer Konsistenz nach wohl denjenigen der Schmetterlinge ähnlich sind. Sie erfroren bei ihm erst bei —15° F. = ca. —26° C.

Im Jahre 1800 stellte JUCH (1800, 31) Wärmeentwicklung in einem Ameisenhaufen fest.

Der Erste, der die Temperatur einzelner Insekten, also nicht im Haufen, feststellte, war HAUSMANN (1803, 24). Er legte eine Sphinx convolvuli in ein Glasgefäß mit einem kleinen Thermometer. t der Luft im Glase, Anfangs bei 17° R., stieg nach einer $^1/_2$ Stunde bis 19° und fiel bald nachher wieder bis 17°.

Die Versuche mit Carabus hortensis gaben dieselben Resultate.

SPALLANZANI (1803, 59) machte die Beobachtung, dass die Eier des Bombyx rubi während 5 Stunden —39° C. und sogar —50° aushalten können, ohne Schaden für die Entwicklung zu nehmen.

[1] Die Zahlen hinter den Erscheinungsjahren nach den Autorennamen beziehen sich auf das am Schluss befindliche Litteratur-Verzeichnis.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

F. Huber (1792—1814, 27) untersuchte die Temperatur eines bewohnten Bienenstockes. Derselbe konnte hermetisch zugemacht werden. Sobald der Stock mit den Bienen zugemacht wurde, kühlte sich die innere Luft bis zur Temperatur der äußeren ab, sonst aber war die Temperatur im Inneren des Bienenstockes höher als die der äußeren Luft. Der Autor erklärt diese Erscheinung durch Ersticken der Bienen, da sie thatsächlich solche Symptome zeigten. Als der Verkehr der inneren Luft mit der äußeren wieder hergestellt war, stieg die Temperatur im Inneren des Bienenstockes wieder.

P. Huber (1810, 25) fand ebenfalls, dass die Ameisen und ihre Milchkühe bei — 2° R. einfrieren.

Regnault (1819, 51) brachte Maikäfer in einen Sack mit freier Luftventilation und fand in demselben die Temperatur um 2° R höher als diejenige der umgebenden Luft.

Die innere Körpertemperatur der Insekten wurde zuerst von J. Davy (1826, 8) festgestellt. Er führte in den Körper der Insekten ein kleines Quecksilber-Thermometer ein und fand:

	Luft:	Insekt:
Blatta orientalis	28,3°	23,9°
» »	23,3	23,9
Grille	16,7	22,5
Wespe	23,9	24,4
»	24,3	25,0
Leuchtwurm	22,8	23,0
»	26,6	25,8

Im Jahre 1817 beobachtete Rengger (53) in einem mit Insekten gefüllten Thongefäße die Lufttemperatur und stellte fest, dass sie höher als diejenige der umgebenden Luft ist.

Seit 1831 beginnt die Anwendung der Thermoelektricität zum Studium der *t* der Insekten. So haben Nobili und Melloni (47) mit Hilfe einer thermoelektrischen Batterie, welche aus Wismuth- und Antimoniumstäbchen bestand, eine Reihe Versuche über die Temperatur der Raupen, Puppen und Schmetterlinge gemacht; dabei berührten die einen Löthstellen der Stäbchen den Insektenkörper, die anderen blieben frei. Sie kamen hierbei zu dem Resultate, dass die Temperatur eines Insektes höher als diejenige der umgebenden Luft, und die Temperatur der Raupen höher als die der Schmetterlinge und Puppen ist.

Ratzeburg (1832, 4) behauptet, dass die Temperatur in einem Bienenstock im Winter 20° R. beträgt.

Berthold (1835, 3) fand, dass die Temperatur des Geotrupes stercorarius höher ist als diejenige der umgebenden Luft.

Mussehl (1836, 43) hat ermittelt, dass die einzelne Biene (Apis mellifica) bei + 5° R. erstarrt, während sie in Gesellschaft auch bei einer inneren Temperatur des Bienenstockes von — 1° nicht erfriert.

Bis zur Zeit ist die Temperatur der Insekten noch nicht ein Gegenstand systematischer Forschungen gewesen, jedoch, als das faktische Material sich anhäufte, stieg das Interesse für ähnliche Forschungen, und unter den Entomologen und Physiologen begannen sich Leute zu finden, welche sich zur speciellen Aufgabe machten, die eigenthümliche Temperatur der Insekten zu erforschen.

Im Jahre 1837 veröffentlichte George Newport (44), Mitglied der königlichen Gesellschaft (Royal Society) in London, seine ausgedehnten Forschungen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

über die Temperatur der Insekten unter dem Titel: »On the Temperature of Insects, and its connexion with the Functions of Respiration and Circulation in this class of Invertebrated Animals.« Bei seinen Forschungen bediente er sich eines FARENHEIT-Quecksilber-Thermometers, welches entweder in das mit Insekten gefüllte Gefäß gestellt wurde und somit die Temperatur der inneren Luft zeigte, oder an den Insektenkörper angelegt wurde. Nur einmal führte er sein Thermometer in den aufgeschlitzten Magen eines Maikäfers (Melolontha vulgaris) hinein und fand die Temperatur = 63,3° F., während die Temperatur der umgebenden Luft = 61,3° F. war. Diese Temperatur blieb während 10 Minuten ständig und begann nachher zu fallen.

Der Autor fand, dass die Temperatur eines Insektes im Zustande der Ruhe stets niedriger als bei seiner Bewegung ist. Ich gebe hier einige Beispiele:

Cerura vinula (Tabelle V bei NEWPORT).

		Differenz:	
April 22	p. m. 4^h	0,2°	$1/2$ Stunde nach dem Entpuppen.
April 22	p. m. $4^1/_2$	0,3	Bewegt sich leicht.
April 22	p. m. $5^1/_2$	0,6	Etwas aufgeregt.
April 22	p. m. $6^1/_2$	1,2	Etwas mehr aufgeregt.
April 23	a. m. $7^1/_2$	1,0	Ruhig während einiger Stunden, bewegt sich aber noch.
April 23	a. m. $7^3/_4$	2,5	Beginnt sich aufzuregen.
April 23	a. m. 8	3,7	Starke Aufregung.
April 23	a. m. 10	2,2	War während 2 Stunden ruhig, beginnt sich aufzuregen.
April 23	p. m. $2^1/_4$	1,1	Ruhig während einiger Stunden.
April 23	p. m. $2^h 20'$	5,0	Sehr stark aufgeregt.
April 23	p. m. $2^1/_2$	6,6	Außerordentlich aufgeregt wie bei schnellem Fluge.

Hier sind in der Spalte unter »Differenz« die Grade nach FARENHEIT gegeben, welche zeigen, um wie viel Grad das Insekt wärmer als die Luft war (die letztere verblieb fast stets bei 64° F.).

Lucanus cervus (bei NEWPORT Tab. VI).

	t der Luft:	t des Insektes:	Differenz:	
Um 7^h	67,0°	67,3°	0,3°	Ruhig.
» $9^1/_4$	66,9	67,4	0,5	Beginnt sich aufzuregen.
» $10^1/_2$	66,6	68,6	2,0	Aufgeregt.
» $10^3/_4$	66,6	69,2	2,6	Sehr aufgeregt.
» 4	71,0	71,5	0,5	Fast ruhig.

NEWPORT unterwarf den Versuchen mehr als 30 Insektenarten, wobei einige in verschiedenen Entwicklungsstadien.

Ich werde hier nur diejenigen anführen, für welche der Autor Ziffern giebt.

	Die Temperatur der Insekten war höher als diejenige der umgebenden Luft um:
Orthoptera:	
Acrida viridissima	1,1° F.
Hymenoptera:	
Bombus terrestris I	6,5
» » V	9,3

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

	Die Temperatur der Insekten war höher als diejenige der umgebenden Luft um:
Bombus lapidarius	3,5°
» muscorum	4,2
» jonella	5,8
Lepidoptera:	
Sphinx ligustri ♂	0,6
» » ♀	5,5
Coleoptera:	
Melolontha vulgaris I	2,0
» » VI	0,2
» solstitialis I	0,4
» » V	1,4
» » IX	1,8
» » XVIII	2,3
Coccinella 7-punctata	0,3
Proscarabaeus violaceus	0,6
» vulgaris	2,7
Staphylinus olens	1,0
» erythropterus	0,6
Carabus nemoralis	0,2
» monilis	0,0
» violaceus	0,3
Blaps mortisaga	0,1

Auf Grund dieser Daten kommt Newport zu dem Schlusse, dass fliegende Insekten eine höhere Temperatur haben als die kriechenden, obgleich die einen sowie die anderen in Ruhe waren. Außerdem findet er, dass die Temperatur der Raupe stets niedriger als die Temperatur der entwickelten Insekten ist.

Weitere Forschungen führten den Autor zur Feststellung der Thatsache, dass die Temperatur der Insekten mit der Zunahme der Athmungsbewegungen sich hebt, eben so bei Zunahme der Pulsationen; sie sinkt aber bei Mangel an Nahrung.

Drei Jahre nach der Veröffentlichung der Forschungen Newport's erschien, dieselbe Frage betreffend, die Abhandlung Dutrochet's (1840, 14): »Recherches sur la chaleur propre des êtres vivants à basse température« (Chapitre II [I]. Recherches sur la chaleur propre des animaux à basse température).

Dieser Autor bediente sich schon bei seinen Forschungen eines elektrischen Thermometers (13), aus Nadeln bestehend, von zwei Metallen: Antimonium und Wismuth zusammengelöthet. Eine dieser Nadeln wurde in den Körper des Insekts, dessen Temperatur man ermitteln wollte, gesteckt, die andere wurde in Papier gewickelt oder in den todten Körper eines Insekts derselben Species gesteckt. Beide Nadeln waren unter sich und mit dem Multiplikator mittels Drähten vereinigt.

Aus der folgenden kurzen Beschreibung des Versuches mit einer wilden Biene (Bombus lapidarius) ist der Gang der Versuche des Autors ersichtlich:

Die Biene wurde mittels eines Fadens an einem Stock befestigt, wobei in ihren Leib die oben erwähnte Nadel in der Tiefe von 5 mm hineingesteckt wurde (der Leib war 1 cm dick). Die andere Nadel wurde in Papier einge-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

wickelt, um sie vor Strahlung zu schützen. Die Lufttemperatur war während 4 Stunden konstant (19,2° C.). Dieser Versuch ergab, dass das Insekt um 0,18° C. kälter war, als die umgebende Luft. Der Verfasser glaubt, dass dies in Folge der Verdunstung beim Athmen geschah, da dieselbe Biene in einer mit Wasserdampf gefüllten Glasglocke eine um 0,18° höhere Temperatur besaß, als diejenige der Luft war. Als die Glocke entfernt wurde, ergab sich die Temperatur des Bienenkörpers um 0,25° und nicht, wie früher, um 0,18° tiefer als diejenige der umgebenden Luft. Diesen letzteren Umstand erklärt der Verfasser durch die Verdunstung der sich auf den Haaren des Insektes niederschlagenden Feuchtigkeit.

Alle darauf folgenden Versuche führte Dutrochet daher in der freien Luft und unter der mit Wasserdampf gefüllten Glasglocke aus.

Ich lasse hier die vom Verfasser erhaltenen Werthe folgen:

	Temperaturüberschuss des Insektes über die Lufttemperatur in der freien Luft:	unter der Glasglocke:
Bombus terrestris	—	0,25° C.
» hortorum	—	0,25
Xylocopa violacea	—	0,25
Melolontha vulgaris	0,09°	0,18
» » (larva)	0,04	—
» solstitialis	0,09	0,25
Lucanus cervus	0,10	0,22
» » bei der Bewegung	0,31	—
Carabus monilis	— 0,03 bis — 0,06	0,18
» auratus	— 0,03 bis — 0,06	0,18
Blaps mortisaga	— 0,03 bis — 0,06	0,12
Cetonia aurata	0,25	0,25
Chrysomela tenebricosa	0,12	0,34
Geotrupes vernalis I	— 0,12	0,18
» » II	—	0,12
Gryllus viridissimus	— 0,06 bis — 0,01	0,31 bis 0,34
» verrucivorus	—	0,40
» » nach 8tägig. Hungern	—	0,22
» campestris	—	0,40
» gryllotalpa	—	0,16
Sphinx stellatarum[1]	—	0,29
» » (larva)	—	0,11
» atropos (ohne Bewegung)	—	0,58
» tiliae (Raupe unmittelbar vor der Verpuppung)	—	0,43

Die Lufttemperatur betrug dabei im Durchschnitt 18° C.

Außerdem wurden Versuche mit Bombus hortorum angestellt, wobei die thermoelektrische Nadel nicht in den Körper hineingesteckt, sondern nur an den Leib angedrückt wurde. Das Insekt wurde in durchsichtigen Gazestoff eingewickelt und befand sich dabei in großer Aufregung. Die Temperatur des Insektes gegenüber derjenigen der umgebenden Luft war unter diesen

[1] Ich lasse hier die alten Benennungen der Insekten so stehen, wie sie beim Verfasser angeführt sind.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Umständen um 0,5° höher. Als dasselbe sich beruhigte, war seine Temperatur 0,03° unter der Lufttemperatur.

Auf diese Weise geht aus den Versuchen Dutrochet's hervor, dass die Insekten (Bombus hortorum und Lucanus cervus) in der Bewegung höhere eigene Temperatur besitzen, als wenn dieselben im Ruhezustande sich befinden, und dass die Temperatur der Larven (Melolontha vulgaris, Sphinx stellatarum) geringer ist, als bei entwickelten Insekten. Die Temperatur der Insekten im Ruhezustande ist fast immer derjenigen der umgebenden Luft gleich.

Darauf folgt wieder eine Reihe kleiner Versuche.

Nicolet (1841, 46) fand, dass Podura similata, indem dieselbe für einige Sekunden ins Wasser bei + 25° bis + 38° C. eingetaucht wurde, zu Grunde ging. In der Luft tritt der Tod bei + 35° ein.

Diese Thiere wurden zum Gefrieren gebracht und noch weiter bis — 11° abgekühlt, wobei sie bei dieser Temperatur 12 Stunden lang lagen. Nachdem dieselben langsam aufgethaut wurden, kamen sie nach einer Stunde wieder zum Leben und liefen davon. Andere Exemplare, auch eingefroren und während 10 Tagen in diesem Zustande gelassen, wurden nach dem Aufthauen wieder lebendig.

Becquerel (1844, 2) führte die Versuche mit einem Quecksilberthermometer und mit einer thermoelektrischen Nadel aus. Er beobachtete die Temperatur im Inneren des Insektes nie niedriger als die der umgebenden Luft. Er erhielt außerdem noch folgende Resultate:

Zimmertemperatur = 22,5 .

Temperatur des	Schwabenkäfers war höher als diejenige der Luft um:		0,75°
»	der Nasicornis-Larve	»	1,5
»	» Seiden-Raupe	»	0,75—1,0
»	» Sphinx-Raupe	»	0,27—0,55
»	» Ach. atropos im aktiven Zustand	»	1,66
»	» » » » ruhenden Zustand	»	0,0

Decrosen (1845, 9) fand in Torferde bei — 8° lebende Fliegen.

Wyman (1856, 64) in Boston fand, dass eine Wespe bei — 26° C. nicht gefroren war und beim Anrühren noch reflektorische Bewegungen machte; er sagt weiter: »wie bedeutend der Schutz der Puppe durch ihr Gespinnst gegenüber der Kälte war, beweist der Umstand, dass der flüssige Saft, welcher aus der Puppe herausgedrückt wurde, sofort einfror«.

Dieser Forscher ist der Meinung, dass das Insekt eine innere Wärmequelle besitzen müsse, um der Kälte zu widerstehen.

Breyer (1860, 5) steckte ein Quecksilber-Thermometer in einen soeben beim Fliegen gefangenen Sphinx convolvuli und fand dessen Temperatur = 27° C. Die Lufttemperatur war 17°. Bei diesem Versuche wurden alle Maßregeln getroffen, um die Temperatur des Insekts nicht zu erhöhen. Der Verfasser meint, dass, wenn das Thermometer die Wärme vom Insekt nicht absorbiren würde, das Insekt ca. 32° gegeben hätte. Er glaubt auch, dass dieses Insekt im Ruhezustand keine höhere Temperatur als diejenige der Luft zeigen würde.

H. Lecoq (1862, 38) erwähnt in seiner kurzen Mittheilung: »De la transformation du mouvement en chaleur chez les animaux« eigene Versuche über die Temperatur der Schmetterlinge aus der Gattung Sphinx, und zwar Sphinx

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

liseron und Sphinx pinastri. Die von ihm erhaltenen Resultate zeigten, dass die Temperatur dieser Schmetterlinge während der Bewegung rasch steigt, diejenige des Menschen überschreitet und sogar die Temperatur der Vögel erreicht. Diese Steigung ist bei der ersten Art bedeutender als bei der zweiten, da Sphinx pinastri weniger beweglich ist als Sphinx liseron.

Der Verfasser führt aber keine Beschreibung seiner Beobachtungsmethode an und überhaupt keine Ziffernwerthe.

Die Erhöhung der Temperatur bei der Bewegung der Schmetterlinge erklärt er durch die Verbrennung des Zuckers, welche durch eine energischere Athmung des Insektes hervorgerufen wird. Die Sphinxe unterbrechen wahrscheinlich desshalb ihren Flug, weil es ihnen zu warm wird und sie dabei ohnmächtig werden.

F. Pouchet (1866, 49) führt in seiner Arbeit, welche ich leider im Original nicht gelesen habe, Werthe für minimale Temperatur an, bei welcher die Insekten noch existiren können. Ich lasse hier die »Übersicht der Versuche von Pouchet« gerade so folgen, wie dieselbe bei Hugo Roedel (1886, 54) angeführt ist.

Genus und Species:	Anzahl:	Zeit in Stunden:	$t°$ unter 0°:	
Limax rufus	4	½	17—19	
Engerling von Melolontha vulg.	5	1	14	Zwei Exempl. todt.
» » » »	2	3	15	Alle Exempl. todt.
Melolontha vulgaris	30	1½	18—20	
» »	10	1½	19	
Papilio io (Raupe)	3	2	17—19	
» » »	1	1	17—19	
Bombus terrestris	10	2	19	
Cetonia aurata	1	2	19	
Melolontha solstitialis	2	2	19	
Hydrophilus piceus	1	2	17	
Dytiscus marginalis	1	2	17	
Helix hortensis	10	3	14—18	
» pomatia	4	3	14—18	
Planorbis corneus	2	3	16	
Limnaeus stagnalis	2	3	16	
Planorbis corneus	5	3	14—18	Im Wasser.
Limnaeus stagnalis	2	3	14—18	
Lumbricus terrestris	20	1	18	
Astacus fluviatilis	2	1 Tag	11,5	Im Wasser.
» »	2	1 Nacht	13	Im Wasser.
Hirudo medicinalis	5	1 Nacht	13,5	Im Wasser, Eis roth.
» »	3	1 Nacht	13,5	Im Wasser, Eis roth.
Dytiscus marginalis	1			
Colymbetes sp.	1			
Banatra linearis	3			
Naucoris cimicoides	2	3	16	
Notonecta glauca	2			
Gyrinus natator	4			
Libellula compressa	1			
Hydrophilus piceus	1			

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Die Größen in der Kolonne »t unter 0°« bedeuten wahrscheinlich »untere Temperaturgrenze«, bei welcher das gegebene Insekt noch existiren kann, da Hugo Roedel nach dieser Tabelle sofort seine eigene anführt, in welcher eine Kolonne diese Benennung trägt.

1869 erschien eine von mehreren Arbeiten von M. Girard (20): »Études sur la chaleur libre dégagée par les animaux invertébrés et spécialement les insectes.« Er führt zuerst folgende Thatsachen an:

Die Fischer spüren beim Gebrauchen der Larven von Musca vomitoria, Sarcophaga carnaria, Lucilia caesar etc. zu ihren Zwecken — beim Anrühren dieser Larven ein Wärmegefühl (p. 139).

In heißen Quellen fand man nicht selten Käfer, Hydrocanthares, lebend. Die Wespen und Termiten in heißen Gegenden »supportent tous les excès de chaleur intolérable« (p. 141).

Weiter sagt er, dass die Larven von Galleria cerella in Haufen die Temperatur: 24,2°, 27,4°, 23,9° zeigten, während die Luft nur 12° hatte.

Was nun den Futtermangel betrifft, so zeigten seine Versuche, dass die Erdbienen bei Honigmangel niedrigere Temperatur hatten (p. 154).

Bei seinen Beobachtungen wandte er zwei Methoden an:

1) Das Differential-Thermometer von Leslie, auf dessen einer Seite sich zwei koncentrische Glaskugeln befanden. In die innere Kugel, welche mit der äußeren Luft mittels einer engen Röhre kommunicirte, wurde das zu untersuchende Insekt placirt. Der Apparat wurde gegen Strahlung durch Schirme geschützt, und die Ablesungen machte man aus großer Entfernung. Die Empfindlichkeit dieses Thermometers war $^1/_{40}$°, obwohl der Verfasser selbst zugesteht, dass seine Werthe in Folge der Strahlung stets niedriger als die wirklichen sind. Das Insekt wurde bei diesen Versuchen mittels langer Holzzange gefasst, um es nicht zu erwärmen.

2) Das elektrische Thermometer. Drei verschiedene Apparate: A bestand aus der thermoelektrischen Batterie, welche aus 30 Thermoelementen zusammengesetzt war; B, welcher für große Insekten angewandt wurde, bestand aus 34 Löthstellen, war aber weniger empfindlich als A; und endlich C war größer als A, wurde aber selten verwendet. Gewöhnlich legte man einen von diesen Apparaten an den Leib des Insektes, zuweilen aber steckte man eine »thermoelektrische Nadel« in den Insektenkörper hinein. Leider ist die Temperatur in der Abhandlung nicht in Temperaturgraden, sondern in Ablenkungsgraden der Magnetnadel angegeben. Auch die thermoelektrischen Konstanten, welche zur Reduktion der Nadelablenkungen auf Temperaturgrade dienen sollten, sind weggelassen. Ich lasse desshalb hier seine Tabellen aus und beschränke mich nur auf eine Tabelle für Schmetterlinge:

		t° der Luft:	t-Überschuss des Schmetterlings:	Apparat:
Liparis dispar	♂	20,1	90	B
» »	♀	21,4	15	—
Aglia tau	♂	16,8	73	C
» »	♀	16,8	38	C
» »	♂	16,9	98	B
» »	♂	15,6	80	B
Attacus carpini	♂	14,3	54—59	B
» »	♀	14,3	53	B

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

		t° der Luft:	t-Überschuss des Schmetterlings:	Apparat:
Liparis dispar	♂	18,9	0,30°	Diff.-Therm.
» »	♀	20,6	0,025°	»
Sesia apiformis	♂	22,0	0,45°	»
» »	♀	19,7	0,20—0,40°	»
Bombyx quercus	♂	25,4	0,50°	»
» »	♀	25,4	0,35°	»

Girard beobachtete noch, dass Bombus terrestris im Frühjahr fast doppelt so warm ist als im Herbst.

Dieser Gelehrte erforschte in Bezug auf Temperatur viele Insekten, und zwar: Orthoptera und Dermaptera vier Arten, Neuroptera vier Arten, Hemiptera vier Arten, Bienenarten vier, Lepidoptera sechs Arten, Coleoptera zwei Arten, 28 Puppen von Lepidoptera und 23 Raupen und Larven.

Ich führe hier die von ihm erhaltenen allgemeinen Resultate an:

1) Ein entwickeltes Insekt zeigt nie, nicht einmal im schlafenden Zustande oder geschwächt, eine Temperatur, welche niedriger ist als diejenige der umgebenden Luft.

2) Larven mit unvollständiger Metamorphose haben eine Temperatur, welche gleich oder höher als die der umgebenden Luft ist.

3) Dies ist aber nicht immer der Fall bei Insekten mit vollständiger Metamorphose. Oft kann man beobachten, dass Raupen mit glatter Oberfläche des Körpers niedrigere Temperatur als die umgebende Luft zeigen, was durch ihr Schwitzen und die Verdunstung dieses Schweißes erklärt wird.

4) Seiden- oder Erdkokon schützt die Puppe vor rascher Austrocknung, und desshalb ist ihre Temperatur nach dem Herausnehmen aus dem Gespinnst zuerst höher und nachher niedriger als die Lufttemperatur.

5) Im Winter haben die nackten, starr gewordenen Raupen und Puppen entweder die Temperatur der umgebenden Luft, oder eine etwas höhere. Die äußere Abkühlung, welche in Folge der Verdunstung geschieht, wird nur dann beobachtet, wenn die Temperatur dem 0° nahe steht. Es kommt jedoch öfters vor, dass einige Exemplare, unter sonst gleichen Umständen, etwas wärmer sind als die übrigen.

6) Neuroptera haben auf der Oberfläche ihres Körpers eine etwas niedrigere Temperatur als die Erdbienen bei gleichem Körpergewicht. Dieselbe ist aber die gleiche wie bei den Hymenoptera.

7) Hymenoptera zeigen stets eine etwas höhere Temperatur als die umgebende Luft, aber eine bedeutend niedrigere als Lepidoptera, Diptera und Hymenoptera.

8) Die Temperatur auf der Oberfläche der Käfer ist mittelmäßig, dank schlechter Wärmeleitung und der Dicke ihrer Haut. Bei Meloe ist diese Temperatur bedeutender, da ihr Körper weich ist.

9) Wasserinsekten (Dytiscidae, Gyrinus, Hydrocoris) ergaben dieselben Resultate, wie die Erdinsekten.

10) Das Geschlecht hat einen bedeutenden Einfluss auf die Oberflächentemperatur, aber nur bei gewissen Insektengruppen, so z. B. sind bei Bombyces, Aglia tau etc. die Männchen wärmer, während es bei Erdbienen und verschiedenen Arten Phalaeniden, Noctuen und Libellen nicht beobachtet wird.

11) Die Temperatur bei Raupen wird nicht nur in einigen Gliedern

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

lokalisirt, sondern ist am ganzen Körper gleichmäßig vertheilt, was der Vertheilung der Nervencentra entspricht.

Bei entwickelten Insekten mit starker Luftcirkulation wird eine bedeutende Temperaturdifferenz im Thorax und im Bauch beobachtet. Der Thorax stellt eine wirkliche Wärmequelle dar. Bei Erdbienen und Sphinxen (Insekten mit starkem Fluge) erreicht diese Differenz 4—6° und zuweilen 8—10°. Bei Insekten mit mittelstarkem Fluge (Bombyces) erreicht diese Differenz 3—4°. Bei Insekten, welche schwachen Flug haben oder gar nicht fliegen, wird keine Differenz beobachtet.

Die Wunde, welche bei diesen Versuchen nöthig ist, hat nicht jene wichtige Folge, welche z. B. bei Säugethieren beobachtet wird. Insekten, welche genadelt sind, leben noch einige Monate, ernähren sich und machen ihre Metamorphosen durch.

Allgemeines Gesetz. Bei fliegenden Insekten koncentrirt sich die Wärme im Thorax und ist proportional der Flugstärke. Da im Thorax sich die starken Muskeln der Flügel und Beine befinden, welche während des Fluges stark in Anspruch genommen werden, so erklärt sich daraus die Temperaturdifferenz im Thorax und im Bauch.

Dieses Resultat, welches mittels zwei Methoden, ohne das Insekt zu verwunden, erhalten wurde (mittels Quecksilber- und elektrischen Thermometers), zeigt, dass die Säftecirkulation bei Insekten sehr schwach ist.

12) Bei Erdbienen und Xylocopes steht die Wärmeentwicklung des eigenen Körpers nach außen in direktem Verhältnisse zu dem Summen. Wenn kein Summen vorhanden ist, sinkt die Körpertemperatur.

13) Das Insekt entwickelt eine höhere Temperatur, wenn es freiwillig sich bewegt, als wenn es dazu gezwungen wird.

14) Bei Larven wird eine größere Temperaturdifferenz des Körpers in seinem Inneren und auf seiner Oberfläche beobachtet. Diese Differenz ist zehnmal größer als bei entwickelten Insekten. Die Ursache dieser Erscheinung ist die Verdunstung an der Oberfläche der Haut. —

Darauf erschienen noch sieben kleine Abhandlungen, und zwar:

Dönhoff (1872, 10) fand, dass die Bienen und Ameisen bei —15° sterben. Mit Fliegen (Musca domestica) erhielt er folgende Resultate:

1) 5 Stunden bei —1,5° C. Die Thiere bewegen sich.
2) 8 Stunden, Anfangs bei —3°, zuletzt bei —2°. Die Thiere bewegen die Beine und lebten ganz auf.
3) 12 Stunden, Anfangs bei —$3^3/_4$°, zuletzt bei —$6^1/_4$°. Scheintodt. Beim Erwärmen lebten sie wieder auf.
4) 3 Stunden, Anfangs bei —10°, zuletzt bei —6°. Sind gestorben.

O. Bütschli (1874, 6) giebt für Blatta orientalis das vitale Maximum +33° C. an.

Aug. Weismann (1875, 62) untersuchte die Frage über Saison-Dimorphismus der Schmetterlinge und hat die Temperatur von +10° R. bis 0° auf Puppen einwirken lassen. Die Puppen blieben dabei am Leben.

Hugo Schulz (1877, 57) bestimmte die Quantitäten von CO_2, welche Amphibien und Insekten bei verschiedenen Temperaturen ausscheiden. Eigene Temperatur der Insekten bestimmte er nicht. Es ist interessant zu bemerken, dass die Frösche (Rana esculenta) stark beunruhigt wurden, als die Temperatur der umgebenden Luft +35,2° C. erreichte, und sich wieder beruhigten, als diese Temperatur bis 33,6° sank.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Molin (1880, 41) bestimmte die Temperatur im Bienenhaufen und fand dieselbe im Winter zwischen + 10° und + 12° R.; auf der Peripherie des Haufens war diese Temperatur + 6° bis 8° R.

Dubost (1880, 12) fand im Sommer die Temperatur der Bienenfamilie gleich 25° R.; im Winter war dieselbe + 16 bis + 20° R.

Dorfmeister (1880, 11) führte Versuche über den Einfluss der Temperatur auf Schmetterlingspuppen aus (Vanessa atalanta, levana und urticae), wobei er dieselben von + 11° bis — 2° R. abkühlte. Die Puppen starben dabei nicht.

W. v. Reichenau (1882, 52) unterwarf Urticae-Raupen der Einwirkung der Sonnenstrahlen von ca. 45° C. und erhielt auf diese Weise Vanessa urticae var. turcica.

1886 veröffentlichte H. Rödel (54) in Frankfurt a. O. eine bemerkenswerthe Abhandlung: »Über das vitale Temperaturminimum wirbelloser Thiere«.

Er stellte sich zur Aufgabe, »das vitale Temperaturminimum, das Abweichen der unteren Lebensgrenze von dem Lebensoptimum für wirbellose Thiere zu bestimmen, dabei zugleich auf die sogenannte Kältestarre und das Wiederaufleben der Thiere Rücksicht zu nehmen, sowie verwandte Punkte noch in Betracht zu ziehen« (p. 183).

Als Kaltbad diente ihm ein Reagensglas, welches in ein großes Gefäß, mit einer Mischung von Schnee, Kochsalz, Ammoniak oder Salpeter gefüllt, placirt ward. Dieses Bad hatte während des Versuches eine konstante Temperatur. Die Lufttemperatur im Reagensglase wurde mittels Quecksilberthermometers gemessen. Jeder Versuch wurde mit 10 Exemplaren einer und derselben Insektenart ausgeführt.

Ich werde hier die Bemerkungen des Verfassers, jede einzelne Insektenklasse betreffend, anführen:

1) Hymenoptera. »Es ist bekannt,« sagt der Verfasser, »dass einzelne Bienen schon bei + 5° R. erstarren, dagegen sind sie in Gesellschaft viel widerstandsfähiger gegen die Kälte« (p. 194).

Was nun Ameisen betrifft, sagt er, dass diese Insekten bei 0° erstarren, aber nicht sterben und sogar —19° während $^1/_4$ Stunde aushalten. Als vitales Temperaturminimum, welches während 3 Stunden einwirkt, giebt er für Ameisen im Mittel — 15° an.

2) Coleoptera. Mehrere Käferlarven verschiedener Gattungen hielten — 6° aus und starben, als dieselben »durch und durch gefroren waren«. Oniscus starb bei — 6°.

3) Lepidoptera. Indem er über das Erstarren der geköpften Raupe spricht, schreibt er: »Zuerst erstarrte der Inhalt des Darmtractus und die Gefäßschicht, nach einer Stunde (die Temperatur war mittlerweile auf — 4° gesunken) erwies sich das Hautparenchym fest und die Fettschicht noch ungefroren. Erst eine Verminderung der Temperatur auf — 10° C. brachte sie zum Gefrieren, dieselbe Behandlung führte auch den Tod unversehrter Exemplare herbei« (p. 199).

Er führte auch die Versuche mit 36 Puppen von Pieris brassicae zuerst bei + 5° aus, und nachher bei — 25°, aber keine davon erfror. Als diese Puppen im April in ein warmes Zimmer gebracht wurden, entwickelten sich daraus Schmetterlinge; nur aus vier Puppen kamen verkrüppelte Individuen heraus.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

4) Diptera. Fliegen verlieren ihre Bewegung bei — 5°.

Am Ende der Abhandlung giebt der Verfasser die folgende Tabelle seiner Versuche über die Insekten an[1]:

	Zeit in Minuten:	Untere Temper.-Grenze:	
Apis mellifica	210	1,5°	
Formica rufa	180	1,5	
Lema spec.	30	6	
Paederus riparius	45	4	
Phytonomus spec.	90	12	
Vanessa cardui	600	15	
Smerinthus populi:			
1) Blut		2—3	Gefrierpunkt.
2) Geköpfte Raupen	150	10	
3) Lebende Raupen	150	10	
Bombyx dispar	30	4	
Culex pipiens, Larve	60	4	
Musca domestica	5	12	
» »	20	8	
» »	40	5	

Zum Schlusse führt er folgende allgemeine Resultate seiner Beobachtungen an:

1) Niedere Thiere erfrieren, je nach dem Genus und Species, bei sehr verschiedenen Temperaturen.

2) Völlig erfrorene niedere Thiere, die einen Cirkulationsapparat besitzen, beleben sich nicht wieder.

Was diesen Punkt anbetrifft, sagt er: »Es scheint nur, dass das Gefrieren des gesammten Blutes ein Hauptgrund ist, wesshalb das Gefrieren schädlich auf den thierischen Organismus wirkt (zu gleichem Resultat ist auch Pouchet gelangt)« (p. 209).

Prof. V. Graber (23) in Czernowitz veröffentlichte 1887 folgende Abhandlung: »Thermische Experimente an der Küchenschabe (Periplaneta orientalis).«

Er untersuchte Küchenschaben in einem besonders konstruirten Blechkasten, dessen eine Seite erwärmt und dessen andere abgekühlt wurde. Die Temperatur sowohl des Kastenbodens als auch der Luft über diesem Boden wurde mittels Quecksilberthermometer gemessen.

Bezüglich des sogenannten »lokomotorischen Minimums« sagt der Verfasser: »der schlaftrunkene Zustand stellt sich ohne Ausnahme binnen 2 bis 3 Stunden bei allen Individuen ein, wenn man die Temperatur bis auf 2° über Null sinken lässt« (p. 243). Dieses Minimum war bei diesen Insekten im Mittel + 4° C.

Als die Temperatur — 4° der Luft, — 5° des Bodens war, hatten die Thiere die Fähigkeit der freiwilligen Ortsbewegung für immer verloren.

Die Temperatur — 6° der Luft, — 7° des Bodens, welche auf Küchen-

[1] Seine Resultate mit Mollusken, Spinnen, Krebsthieren und Würmern lasse ich hier aus, wie es auch für andere Autoren, welche oben angeführt sind, geschah.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

schaben während 10—20′ einwirkt, ist tödlich (»wobei die Thiere noch keineswegs durchgefroren sind«).

Das vitale Minimum (für eine Stunde Expositionsdauer) liegt somit zwischen — 5° und — 6°, während das vitale Maximum = 41° der Luft, 42° des Bodens ist.

Auf ganz kurze Zeit (5′) ertragen die Küchenschaben dagegen Temperatur bis zu 60°.

Somit beträgt die thermische Breite — 6 + (+ 42) = 48° C.

Nach den Beobachtungen von Andriaschew (1890, 1) steigt die Temperatur im Sommer in einem Bienenstock nicht selten höher als + 30° R., während dieselbe im Winter in einem Bienenhaufen gewöhnlich + 8° bis 12° R. und an der Peripherie des Haufens + 6° bis + 10° R. beträgt.

Potechin (1891, 48) beobachtete die Temperatur der Bienen in einem Bienenstock und giebt dieselbe im Winter in einem Bienenhaufen zu + 10° bis + 12° R., und an der Peripherie des Haufens zu + 7° bis + 8° R. an. Außerdem fand er, dass die Temperatur im Bienenhaufen im Bienenstock — 2° bis — 3° R. war, während die Temperatur der äußeren Luft — 6° bis — 15° R. betrug.

Nach den Beobachtungen von Prof. Ziesielski (1895, 66) schwankt die Temperatur in einem Bienenhaufen in ruhigem Zustande im Winter zwischen + 8 und + 9,6° R. In kalten dünnwandigen Bienenstöcken erhöht die äußere Kälte die Temperatur der Bienen zuweilen bis zu + 24° R. Die Temperatur steigt auch bei unerwartetem Alarm der Bienen und erreicht zuweilen + 25,6° R.

Koschewnikow (1895—1896, 35) beobachtete im Sommer die Temperatur im Inneren eines Bienenstockes gleich + 29° R., meint aber, dass die Steigerung der Temperatur die Bienenfamilie selbst nicht erzeugt, sondern dass dieselbe wahrscheinlich durch die Sonnenwärme hervorgerufen wird. Die minimale Temperatur, welche er in einem schlecht gebauten Bienenstock beobachtete, war am 9./21. Juli nach einer kalten Nacht gleich + 9° R.

1891 placirte Müller-Erzbach (42) außer anderen Thieren noch Wasserkäfer in kaltes Wasser, bis dasselbe völlig fest geworden war, und ließ nachher diese Insekten noch 5 Stunden im Freien bei einer Temperatur von — 6° bis — 8° C. liegen. Nachdem dieselben in ein mäßig warmes Zimmer gebracht waren, konnten sie nicht wieder belebt werden (unter diesen Umständen behandelte Frösche wurden wieder belebt).

Zeller (1894, 65) beobachtete während eines Hagelfalls in Oberdorf (bei Salzburg) am 21. Mai unter den niederfallenden Schloßen, welche eine durchsichtige Schale und einen weißen Kern hatten, eine, an welche ein Schmetterling (Smerinthus ocellata ♂) angefroren war. Dieser Schmetterling war mit den Füßen einige mm tief in die langsam niederfallende Schloße eingefroren und schien vollkommen leblos, war aber, als er nach dem Aufthauen befreit wurde, sehr lebhaft.

In verschiedenen entomologischen Zeitschriften werden Versuche angeführt, mittels welcher man Aberrationen verschiedener Schmetterlinge erhalten kann, indem man Puppen der Einwirkung der extremen Temperaturen unterwirft. Ich werde hier die uns interessirenden Angaben nur einiger Autoren anführen.

1895 erschien die erste Untersuchung von Dr. med. E. Fischer (15) in Zürich: »Transmutation der Schmetterlinge in Folge Temperaturänderungen«. In dieser Abhandlung beschreibt der Verfasser seine Versuche mit lebenden

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Puppen aus Vanessa-Gruppen, und zwar: Vanessa urticae, antiopa, polychloros, jo, prorsa, cardui, atalanta und C-album und noch Papilio machaon. Diese Puppen lagen drei Wochen lang auf dem Eise bei + 1° bis 0° C., und nachher im Zimmer bei + 35 bis + 38° (die letzt angeführten Vanessa-Arten bei 25°) und ergaben aberrative Formen.

Der Verfasser fügt Folgendes hinzu: »Die Puppen derjenigen Arten, die im Puppenstadium in der freien Natur nicht überwintern — und die Vanessen gehören ja zu diesen (levana ausgenommen) — ertragen ja die Temperatur von 0° nicht immer, ohne Schaden zu nehmen, selbst wenn sie völlig trocken gehalten werden« (p. 28).

Seine Versuche mit denselben Puppen zeigten, dass sie nicht verdorben werden, wenn man sie 2 bis 3 Stunden bei + 40° bis + 42° C., und nachher einige Tage bei + 35° bis + 38° C. hält. Was nun höhere Temperaturen anbelangt, sagt der Verfasser: »Temperaturen von ca. + 45° C. dürfen nicht angewendet werden, weil bald der Tod, wahrscheinlich durch Gerinnung der Eiweißkörper, eintritt« (p. 35).

Die Versuche mit Temperaturen unter 0° beschrieb E. Fischer im Jahre 1896 (16). In seinem interessanten Buche findet man die folgende Stelle: »Bei — 23° C. starben mir einmal eine Anzahl Puppen bald ab (ich schrieb dies der großen Kälte zu, vielleicht war Infektion die Ursache, Sicheres konnte man nicht feststellen)« (p. 15).

Er führte desshalb seine weiteren Versuche bei Temperaturen, welche nicht niedriger als — 20° C. waren, aus und erhielt sehr schöne Aberrationen. Der Versuch selbst wurde folgendermaßen ausgeführt: »Die Puppen wurden aus der Zimmertemperatur (ca. 25° C.) zuerst in den Keller, und nach einigen Stunden in die Kältemischung gestellt; die Temperatur sank ca. 1 Stunde hierauf unter 0°, blieb dann 2 bis 4 Stunden bei — 20°, bis sie sich im Laufe der folgenden 5 bis 8 Stunden wieder allmählich auf 0° erhöhte« (p. 15).

Ich will hier die minimalen Temperaturen, mit welchen dieser Forscher arbeitete, anführen, wobei die Puppen diesen Temperaturen während 2 bis 4 Stunden ausgesetzt waren:

t = — 20° C.	Vanessa	jo	von	8	Stück starben	3
	»	antiopa	»	12	» »	7
	»	»	»	12	» »	10
	»	urticae	»	200	» »	192

Der Tod trat bei den meisten Exemplaren, wie der Verfasser schreibt, »sicher an Infektion ein«. Die anderen Puppen ergaben Schmetterlinge.

t = — 14 bis — 16° C.	Vanessa	prorsa	von	50	Stück starben	27
	»	polychloros	»	20	» »	8
t = — 10 bis — 12° C.	»	cardui	»	14	» »	9
— 8 bis — 12°	»	»	»	25	» »	12
— 6 bis — 10°	»	atalanta	»	13	» »	6
— 4 bis — 6°	»	urticae	»	12	» »	9

Bei diesen Temperaturen trat der Tod einiger Puppen ein, »weil sie zu weich (zu früh) der Kälte ausgesetzt wurden« (p. 19).

Dass das rapide Fallen der Temperatur auf die Puppen nur bei gewisser Größe der thermischen Amplitude tödlich einwirkt, belegt E. Fischer in seiner

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

weiteren Abhandlung (16) wie folgt: »Während z. B. eine Temperaturerniedrigung von + 20° auf — 2° C., also eine Differenz von 22°, eine Aberration zu erzeugen vermag, kann eine nur um wenige Grade stärkere Kälte, wie eine Erniedrigung von + 20° auf — 4° C. innerhalb eines Zeitraumes von 50 Minuten und mit einem Anhalten der Temperatur von — 4°, während bloß 3 bis 4 Minuten bereits deletäre Eigenschaften auf den Puppenkörper äußern; sie erwacht nicht mehr nach dem Erwärmen« (p. 7).

In einer Reihe Abhandlungen von E. Fischer (18) finden wir folgende uns interessirende Thatsachen:

»Die zwei- bis dreimal pro Tag vorgenommene Abkühlung bis zu — 3° C. wurde von den Puppen von Vanessa urticae, jo, antiopa und polychloros bis zu einer gewissen Anzahl von Tagen ohne Schaden ertragen; dagegen erwiesen sich Vanessa cardui und atalanta gegen mehrmalige Abkühlung auf — 3° sehr empfindlich; sie starben ab.« Diese Versuche wurden nur während drei Tagen angestellt, und zwar so, dass zuerst die Puppen bei + 22° sich befanden, nachher bei + 15° und schließlich bei — 3° bis — 4°, worauf die Temperatur in umgekehrter Reihenfolge stieg. Die Sterblichkeit war dabei folgende:

Vanessa	polychloros	von	10	Puppen starben	3
»	antiopa	»	20	» »	6
»	jo	»	20	» »	0
»	C-album	»	14	» »	2
»	cardui	»	6	» »	0
»	atalanta	»	10	» »	3
»	urticae	»	30	» »	1

Der Einfluss mehr rapiden Fallens der Temperatur wurde von E. Fischer an Puppen von Vanessa antiopa erprobt. Die Temperatur von + 25° sank innerhalb ½ Stunde bis — 6°. Dabei starben von 13 Puppen 4, »und zwar sehr wahrscheinlich in Folge der rapiden Abkühlung«.

Hier treffen wir auch folgende zufällige Bemerkung:

Als dieser Forscher Versuche mit 30 Puppen von Vanessa urticae machte, starb davon nur 1 Puppe, 15 ergaben Falter, »und die übrigen Puppen waren von Fliegenlarven bewohnt, die in der Kälte nicht abgestorben waren«. Die Kälte betrug — 4° C.

Im Jahre 1899 erschien eine weitere Abhandlung desselben Verfassers: »Experimentelle kritische Untersuchungen über das procentuale Auftreten der durch tiefe Kälte erzeugten Vanessen-Aberrationen« (19), in welcher die Mortalität der Puppen bei diesen Kälteversuchen behandelt wird. Als Hauptursache bedeutender Sterblichkeit der Puppen beim Einwirken der Kälte betrachtet der Verfasser den Härtegrad der Chitinhaut der Puppen: »zu früh, also noch zu weich in die tiefe Temperatur gebracht, sterben die Puppen ab«.

In dieser Abhandlung finden wir die folgende Stelle: »Für Temperaturen von — 6° bis — 12° C. hat es sich ergeben, dass die Abkühlung täglich dreimal je 1 Stunde lang und im Ganzen 4 Tage lang vorgenommen werden sollte.« Damit werden die früheren Versuche desselben Forschers bestätigt, dass intermittirende Abkühlung die Puppen in gewissen Grenzen nicht tödtet.

Auch noch eine wichtige Bemerkung enthält die Abhandlung von E. Fischer (16, p. 39): »Man hat die Erfahrung gemacht, dass, wenn man mit Infektionsträgern behaftete Eier von Bombyx mori einer Temperatur von — 40° C.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

aussetzt, die Mikroben zu Grunde gehen, die Faltereier aber keinen Schaden nehmen und ohne Nachtheil zur Weiterzucht verwendet werden können.«

Im Jahre 1898 veröffentlichte Dr. phil. M. Standfuss (60), Docent beider Hochschulen zu Zürich, seine »Experimentelle zoologische Studien mit Lepidopteren«, zu welcher er über 42000 Puppen von 56 verschiedenen Schmetterlingsarten gebraucht hat.

Er führte die Versuche mit Puppen aus, um aberrative Formen zu erhalten, sowohl mit Temperaturen bis zu + 45° C., wie auch mit Temperaturen bis zu — 20° C.

Die Puppen »bei dreimaliger täglich zweistündiger Einwirkung von + 45°« (p. 12) ergaben Aberrationen und konnten folglich diese hohe Temperatur aushalten. Auch die Puppen bei Temperaturen bis zu — 20° C., wobei »bei jedem Versuche die Minimaltemperatur 2 Stunden lang innegehalten wurde« (p. 9), entwickelten sich dann zu Aberrationen. Die Dauer der Einwirkung dieser niedrigen Temperaturen auf die Puppen betrug 6 Tage.

Warum dieser Forscher keine noch höheren oder niedrigeren Temperaturen gebrauchte, sagt er selbst wie folgt: ».... bei diesen, bis an das äußerste des auch nur vorübergehend Ertragenen, hochgespannten Graden wirkt eine selbst kleine weitere Steigerung tödlich oder doch missbildend« (p. 16).

N. Kulagin (1898, 37), Prof. des landwirthschaftlichen Instituts in Moskau, untersuchte die Temperatur in Bienenstöcken von Route jeden Tag vom Mai 1895 bis März 1897 und erhielt folgende mittlere Resultate:

Monat	t° im Bienenhaufen		t° im Bienenstock	
	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum
Januar	31,5	24	5,5	—2,5
Februar	33	19—24	9	0
März	35	31	9—23	—2 bis +7
April	37	22	35	7
Mai	38	22—34	35	28
Juni	38,5	37	—	—
Juli	38	36	—	—
August	36	30	—	—
September	30	24	26	16
Oktober	28,5	19	16,5	5—10
November	32	21—27	5—10	5 bis —1
December	34	24	4,5	0

Dabei wurde rapides Sinken der Temperatur von 8^h Abends und sehr oft Nachts — gegen 6^h Morgens — beobachtet. Die Temperatursteigerung geschah meistentheils gegen Mittag. Die Beobachtungen ergaben auch, dass dem Temperatursinken im Bienenstock das Temperatursinken der Luft vorausgeht.

Derselbe Gelehrte theilt in seiner Abhandlung: »Zur Biologie von Ocneria dispar in Russland« (34a) mit, dass die Kälte bis 40° R. keine Wirkung auf normal gelegte Eier dieses Schmetterlings ausübt. Die Eier, welche ihrer schützenden Wolle beraubt waren, wurden von 15° R. Kälte getödtet. Auf mein Ersuchen, den Gang dieser Versuche genauer zu beschreiben, erhielt ich vom Herrn Prof. Kulagin einen Brief (15/27. IV. 1899), in welchem er unter Anderem schreibt: »Genaue Versuche über die Temperatur der Eier von Ocneria dispar habe ich nicht gemacht. Ich habe Gelegenheit gehabt zu beobachten, dass Eier dieses Seidenspinners, welche an Bäumen sich befanden, die Winterkälte

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

von —40° R. gut ertragen konnten und im darauf folgenden Frühjahre sich entwickelten. Ich habe darauf im Jahre 1894 den folgenden Versuch ausgeführt: ich habe die Eier von Ocneria dispar enthaart und hielt dieselben auf dem offenen Balkon in einer Glasuntertasse innerhalb eines Monats. Während dieser Zeit zeigte das Thermometer nicht selten —15° R. Im Frühjahre entwickelten sich diese Eier nicht, hingegen entwickelten sich Raupen aus denjenigen Eiern, welche auf demselben Balkon aber behaart an einem Holzklotz befestigt waren.« Leider ist aus diesem Briefe nicht zu ersehen, was geschehen würde, wenn die behaarten Eier auf einer Glasuntertasse den Winter zugebracht hätten.

Ich will hier nur noch die Versuche des in Deutschland wenig bekannten englischen Entomologen F. Merrifield (1894, 40) erwähnen. Er unterwarf die Puppen von Pararge egeria, Pieris napi, Vanessa levana, V. polychloros, V. atalanta, V. C-album, V. jo und V. antiopa der Temperaturwirkung von +40° C. bis 0° und übertrug sie auch öfters von einer Temperatur in die andere. Dabei ergab sich, dass zwei nach einander folgende Generationen eines und desselben Schmetterlings einen großen Unterschied in der Empfindlichkeit gegen Temperaturreize aufweisen, selbst wenn dieselben ihre Puppenzeit normalerweise unter ganz ähnlichen Temperaturverhältnissen durchmachen.

Zum Schlusse werde ich hier noch die Arbeiten von W. Kochs anführen, obwohl dessen Untersuchungen die Insekten nicht direkt behandeln (mit Ausnahme von Wasserkäfern), sondern als Objekte: Frösche, Fische, Schwammsporen, Pflanzensamen, Schnecken, kleine Krebse (Cypris) etc. haben; sie stehen aber mit den Resultaten meiner gegenwärtigen Arbeit in näherem Zusammenhange.

1890 placirte W. Kochs (33) Frösche, Fische und Wasserkäfer in Wasser, welches der Kälte ausgesetzt war. Das Wasser gefror zuerst an den Wänden des Gefäßes, und sein flüssiger Theil wurde immer geringer und geringer, besaß aber noch immer +2° C. Die Thiere bewegten sich in demselben bei dieser Temperatur noch ziemlich lebhaft. Als das ganze Wasser gefror, hörte die Bewegung der Thiere auf, und in demselben Momente hörte auch ihr Leben auf. Die erstarrten Thiere konnten nach dem Aufthauen nicht mehr ins Leben zurückgerufen werden.

1892 veröffentlichte W. Kochs (34) eine Abhandlung: »Über die Vorgänge beim Einfrieren und Austrocknen von Thieren und Pflanzensamen«, in welcher er sagt, dass, wenn es gelingt, das Wasser (luftfrei), ohne dass es erstarrt, bis zu —4,5° C. abzukühlen, so bewegen sich in demselben noch die Thiere (kleine Krebse, Schnecken, Blutegel). Was nun die Eisbildung im Inneren des Thierkörpers betrifft, so erwähnt der Verfasser zwei Umstände, welche diese Eisbildung verlangsamen; erstens befindet sich im Thierkörper kein reines Wasser, sondern Salzlösungen und Eiweiß; zweitens muss man in Betracht ziehen, dass die Kapillarität und Adhäsion das Gefrieren erschweren. Wenn die Abkühlung langsam vor sich geht, bewerkstelligen im Inneren des Thierkörpers die sich bildenden kleinen Eiskrystalle zwar kein Zerreißen, das Protoplasma aber erleidet dennoch eine tiefe physikalische und chemische Veränderung, wodurch dann das Zurückkehren des Thieres zum Leben unmöglich wird.

Aus der historischen Übersicht der hier angeführten Arbeiten über die Temperatur der Insekten ist ersichtlich, dass verschiedene Forscher oft zu ver-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

schiedenen Resultaten gelangt waren: bei den Einen war die Temperatur für eine und dieselbe Insektenart höher, bei den Anderen niedriger als diejenige der umgebenden Luft. Bei Manchen war der Temperaturüberschuss des Insektes über die umgebende Luft klein, während er bei Anderen für dieselbe Insektenart sehr bedeutend war etc.

Die erste Ursache dieser Nichtübereinstimmung muss man natürlich in der Temperaturverschiedenheit bei verschiedenen Zuständen des Insektes suchen. So beeinflusst z. B. die Bewegung oder die Ruhe des Insektes ohne Zweifel die Temperatur seines Körpers. Dazu kommt noch der Mangel an Futter, das Alter und das Geschlecht des Insektes und auch vielleicht noch sein Stammort.

Die zweite Ursache — die Ungenauigkeit der Methode. Es wäre interessant, wenn man die Temperatur, welche mittels eines Thermoelementes durch sein Andrücken an den Insektenkörper erhalten wird, für verschiedene Insektenarten vergleichen wollte. Bei einigen Insekten ist der Körper mit dichten Haaren bedeckt, bei anderen ist er fast nackt, und folglich wird auch die Wärmeleitungsfähigkeit an der Kontaktstelle verschieden sein müssen. Außerdem musste in solchen Fällen, wo ein Quecksilberthermometer in einen breiten Schnitt in den Insektenkörper hineingesteckt wurde, dadurch natürlich auch in dessen Zustande eine starke Störung stattfinden; auch musste in Folge des Austretens und der Verdunstung des Saftes aus der Wunde die Temperatur sinken. Auch das Differentialthermometer, welches Girard gebrauchte, konnte ihm keine genauen Resultate liefern, da er die Strahlung der Glaskugel, in welcher sich das zu untersuchende Insekt befand, nicht in Betracht gezogen hat, wobei er seine Beobachtungen einmal mit der versilberten, das andere Mal mit der berußten Kugel anstellte.

Die dritte Ursache der erwähnten Nichtübereinstimmungen kann geradezu in der Unrichtigkeit der Methode liegen. Becquerel sagt bei der Kritik der Versuche von Dutrochet, dass derjenige, welcher mit dem thermoelektrischen Apparate nicht umgehen kann, sehr leicht in einen Fehler gerathen könne. Als ich die elektrische Methode, welche verschiedene Forscher zu ihren Versuchen verwandten, studirte, konnte ich bei keinem derselben weder die Angabe betreffs der Dicke der zusammengelötheten Drähte, welche »die Nadel« bildeten, finden, noch auch, was die Hauptsache ist, wie diese »Nadel« mit dem Galvanometer (resp. Multiplikator) verbunden war. Und in der That, wenn die Nadel z. B. aus Eisen- und Platindraht bestand und darauf mit dem Galvanometer mittels Kupferdrähte verbunden wird, so werden an der Löthstelle der Kupferdrähte mit der »Nadel« stets Nebenströme entstehen (in Folge der Temperaturverschiedenheit an den Löthstellen), welche den Hauptstrom entweder schwächen oder verstärken werden. Hinzu kommen noch die in der Kette entstehenden Kommutatorenströme, Galvanometerströme etc., deren Entstehungsursache bis jetzt noch nicht genau bekannt ist[1]. Ich spreche hier noch

[1] Es ist zu verwundern, dass Dutrochet (14) die eine Löthstelle seiner »Nadel« in den Insektenkörper von der Temperatur x^0 hineinsteckte, die andere dagegen nicht bei konstanter Temperatur hielt (z. B. in einem großen Gefäß mit flüssigem Paraffin), sondern diese zweite Löthstelle auch in ein Insekt steckte, welches todt war, und dessen Temperatur im gegebenen Moment höher oder niedriger als die Lufttemperatur sein konnte. Folglich konnte bei ihm der thermoelektrische Strom nur die Temperatur des lebenden Insektes nicht ausdrücken.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

nicht vom Aufstellen des Galvanometers in den magnetischen Meridian, von genauer Bestimmung der thermoelektrischen Konstanten[1] etc., welche Umstände auch ihren Einfluss auf die Genauigkeit der Resultate haben.

In Anbetracht dessen unternahm ich neue Untersuchungen über die Temperatur der Insekten, um so mehr, da ich als Physiker die nöthigen guten Apparate zu meiner Verfügung hatte und außerdem eine mehrjährige Erfahrung in den Messungen der thermoelektrischen Größen besitze[2].

Ich habe im Anfang mir zur Aufgabe gestellt, die eigene Temperatur der Insekten zuerst in Bulgarien, nachher aber bei denselben Arten in anderen Ländern zu bestimmen, und auf diese Weise die Frage über die geographische Verbreitung der Insekten klar zu stellen, wovon, wenn auch nur oberflächlich, schon Rödel (54) schreibt: »So hat man denn auch mit Recht das Vorkommen einzelner Species im hohen Norden, wo die Fauna sonst der allen Leben feindlichen Kälte weichen muss, erklärt aus der verschiedenen Resistenzfähigkeit der einzelnen Entwicklungsformen gegen den Frost« (p. 193).

Außerdem war meine Aufgabe das Bestimmen der Bedingungen, welche auf die eigene Temperatur der Insekten einer und derselben Art Einfluss haben, und zwar der Einfluss der Temperaturerhöhung der umgebenden Luft, hauptsächlich aber der Einfluss der Temperaturerniedrigung.

Bei diesen Beobachtungen stieß ich auf Erscheinungen, welche bis jetzt von anderen Forschern nicht beobachtet wurden, und welche die bis jetzt dunkel gebliebenen Fragen gut erklären können. Mir ist es nämlich gelungen, den »kritischen Punkt« der Insekten zu entdecken, der ihre Widerstandsfähigkeit gegen Kälte erklärt. Bezüglich dieser Frage sagt Rödel (54): »Woher die enorme Widerstandsfähigkeit der Insekteneier gegen Kälte komme, darüber ist zur Zeit noch lange keine genügende Erklärung gegeben, und es geht auch über den Zweck der vorliegenden Arbeit hinaus, eine solche zu versuchen« (p. 194).

Über diese Untersuchungen habe ich auf der 70. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte in Düsseldorf im September 1898 einen Vortrag gehalten (Abtheilung: Zoologie — Entomologie)[3]. Ein unbedeutender Theil dieser Untersuchungen ist in dem Entomologischen Jahrbuch von Dr. O. Krancher, Leipzig, VIII. Jahrgang, p. 121—131, 1898 veröffentlicht worden. —

Ich halte es für eine angenehme Pflicht, hier meinen herzlichen Dank folgenden Herren auszusprechen:

---

[1] P. Bachmetjew, Hysteresis bei Thermoelementen. Journ. der russ. phys.-chem. Gesellsch. XXIX. p. 108. 1897.

[2] Meine thermoelektrischen Arbeiten sind veröffentlicht worden in: Journ. der russisch. phys.-chem. Gesellsch. in St. Petersburg: XVI, p. 81, 1883; XVI, p. 257, 1884; XVIII, p. 47, 1886; XXI, p. 364, 1889; XXIII, p. 220, 1891; XXIII, p. 301, 1891; XXIII, p. 370, 1891; XXIII, p. 430, 1891; XXIV, p. 1, 1892; XXV, p. 115, 1893; XXV, p. 138, 1893; XXV, p. 236, 1893; XXV, p. 256, 1893; XXIX, p. 108, 1897. — Exner's Repertorium der Physik: XXVI, p. 705, 1890; XXVII, p. 442, 1891; XXVII, p. 625, 1891; XXVII, p. 607, 1891. — Wiedemann's Annalen der Physik: XLIII, p. 723, 1891. — Sitzungsber. der Akad. der Wissensch. in Wien: CIV, Abth. IIa, Februar 1895 etc.

[3] Vid. Tageblatt der 70. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte in Düsseldorf vom 19. bis 24. September 1898.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Herrn Dr. Rebel in Wien für liebenswürdige Mittheilung einiger Titel der betreffenden Litteratur,

Herrn Dr. Schischkow in Sophia für seine Hilfe bei einigen Beobachtungen,

Herrn Dr. Welbel für die freundliche Zusendung der nöthigen Bücher.

Einen besonderen Dank aber Herrn Dr. P. Leverkühn, Direktor der wissenschaftlichen Institute und der Bibliothek S. K. H. des Fürsten von Bulgarien, für das freundliche Durchsehen dieser Abhandlung im Manuskript und bei der Korrektur und für bibliographische Angaben.

Methode.

Die von mir gewählte Untersuchungsmethode beruht auf den Principien der Thermo-Elektricität.

Es ist aus der Physik bekannt, dass, wenn zwei Metalle an einander gelöthet sind, sie bei Erwärmung oder Abkühlung einen thermoelektrischen Strom erzeugen. Auf dieser selben Eigenschaft ist auch mein sogenanntes »elektrisches Thermometer« begründet.

Seine Konstruktion sowie die Vertheilung der anderen Apparate ist aus Fig. 1 ersichtlich.

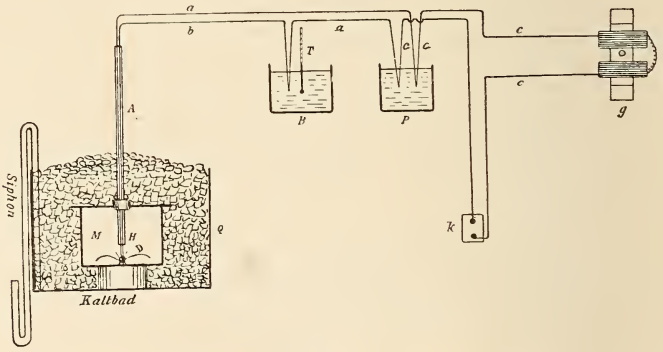

Fig. 1.

Das Schema der Vertheilung der gebrauchten Apparate: Die thermo-elektrische Nadel (*D*) ist in das Insekt hineingesteckt, welches sich im Gefäße *M* befindet. Dieses Gefäß befindet sich in einem größeren Gefäße *Q*, welches mit der Kältemischung gefüllt ist. Ein selbstthätiger Heber beseitigt aus dem Gefäße *Q* die unnöthige Flüssigkeit. Das Glasrohr *A* enthält zwei isolirte Drähte *a* (Nickelin) und *b* (Stahl). Der Draht *a* besteht aus Nickelin, während *c* und *c* Kupferdrähte sind. Das Gefäß *B* enthält Spiritus und *P* Paraffin (flüssig). *T* ist ein Thermometer, *k* Kommutator, *g* Galvanometer.

Es bezeichnen *a* und *b* feine Drähtchen ($2r = 0{,}1$ mm), das eine von Stahl, das andere von Manganin, welche im Punkte *D* zusammengelöthet sind. Sie sind durch Glasröhrchen *A* und *H* gezogen, durch welche sie isolirt werden; dabei ist das Manganindrähtchen an das Stahldrähtchen a_1 gelöthet und die Löthstelle in das mit Spiritus gefüllte Gefäß *B* gelegt, in welchem sich das Thermometer *T* befindet; die Drähtchen *a* und a_1 sind an die Kupferdrähtchen *cc*

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

gelöthet und ihre Löthstellen in das flüssiges Paraffin enthaltende Gefäß P getaucht. Eines der Drähtchen c ist mit dem WIEDEMANN-schen Galvanometer g in Verbindung gebracht, das andere wird ebenfalls mit ihm verbunden, nachdem es aber zuerst einen Quecksilber-Kommutator passirt hat. Die Stärke des thermo-elektrischen Stromes wurde im Galvanometer g mittels eines Fernrohres, einer Skala und eines Spiegels beobachtet, wobei der letztere mit dem Magnet des Galvanometers verbunden war (Methode GAUSS und POGGENDORFF), was aber auf der Zeichnung nicht sichtbar ist.

Dabei ist Folgendes zu bemerken: Die Löthstellen der Drähte a und a_1 mit den Drähten c und c wurden desshalb in das Paraffinbad P getaucht, um bei Veränderung der Lufttemperatur das Erscheinen von sekundären thermo-elektrischen Strömen zu verhindern; obgleich das flüssige Paraffin, indem es als Isolator dient, seine Temperatur auch ändert, so geschieht dies so allmählich, dass, wenn die in ihm befindlichen Löthstellen nicht weit von einander liegen, man sagen kann, dass die Löthungen a mit c und a_1 mit c immer bei gleicher Temperatur verbleiben. Daher kommt es, dass bei Abwesenheit von Temperaturdifferenz zwischen den beiden Löthstellen die Entstehung von Nebenströmen unmöglich wird.

Der Kommutator K dient zur Kontrolle der Ruhelage (Rl) des Magnets im Galvanometer. Wenn durch das Galvanometer g ein elektrischer Strom fließt, wird dessen Stärke nach der Ablenkung des Magnets von seiner Ruhelage gemessen; diese Ruhelage ist aber nicht beständig, da die Magnetdeklination sich fortwährend ändert; besonders starke Abweichungen werden gegen 12 Uhr Mittags in Sophia beobachtet. Desshalb ist es nothwendig, die Skala, auf welcher die vom elektrischen Strome bewirkten Ablenkungen von der Ruhelage markirt werden, von Zeit zu Zeit so zu reguliren, dass das Fadenkreuz des Fernrohres mit der Null der Theilungen, wenn durch das Galvanometer kein Strom fließt, zusammenfällt; dieses wird mit Hilfe des Kommutators K erzielt.

Wenn ein Schmetterling oder ein anderes Insekt auf die Nadel D gesteckt wurde, musste, um seine Temperatur zu messen, nothwendiger Weise zuerst das elektrische Thermometer kalibrirt werden.

Zu diesem Zwecke wurde die Nadel D bei verschiedenen Temperaturen (t_1) in Wasser getaucht, wobei die Temperatur im Gefäß B (t_0) ständig verblieb, und die Stärke des elektrischen Stromes (n) im Galvanometer g wurde jedes Mal in Millimetern abgelesen (d. h. in Theilungen der Skala).

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Somit, wenn die Temperatur der Nadel D z. B. 32,8° betrug, die Temperatur des Spiritus im Gefäß B 18,0° und der Strom im Galvanometer g die Stärke 109,1 mm hatte, ergiebt sich auf Grund des thermo-elektrischen Gesetzes, laut welchem die Stärke des thermo-elektrischen Stromes (n) proportionell der Temperaturdifferenz der beiden Löthstellen (d. h. in D und B), nämlich der Größe $t_1 - t_0$ ist, dass

$$\frac{n}{t_1 - t_0} = \frac{n_1}{t'_1 - t'_0} = \frac{n_2}{t''_1 - t''_0} = K \qquad \text{(I)}$$

oder in unserem Falle

$$K = \frac{109{,}1}{32{,}8 - 18{,}0} = 7{,}44.$$

Da die Größe t_1 der Löthstelle D in verschiedenen Fällen bei der Kalibrirung variirte, bringe ich hier eine kleine Beobachtungstabelle, welche veranschaulicht, dass die Größe K sich nicht immer als ständig ergab, die Abweichungen aber so minimale waren, dass man für K das arithmetische Mittel annehmen konnte.

t_1	K
32,8°	7,44
36,5	7,56
34,9	7,43
5,5	7,78
3,6	7,70
—2,6	7,54
—11,0	7,41
Mittel = 7,5	

Folglich ergiebt sich, wenn die Temperatur der Löthstelle D um 1,0° höher als diejenige der Löthstelle im Glase B ist, für die Stromstärke im Galvanometer 7,5 mm, und zwar bei derjenigen Aufstellung der Apparate, die ich gewählt hatte.

Die Berechnung der Temperatur eines Insektes geschah auf folgende Weise:

Aus der Formel (I) und zwar $\frac{n}{t_1 - t_0} = K$, wobei $t_1 = x$, ergiebt sich

$$\frac{n}{k} = x - t_0$$

oder

$$x = \frac{n}{k} - t_0.$$

Wenn wir nun für K seine Größe einsetzen, erhalten wir

$$x = \frac{n}{7{,}5} - t_0 \qquad \text{(II)}$$

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Somit ist zur Bestimmung der Temperatur eines Insekts die Kenntnis von zwei Größen erforderlich: der Stromstärke (n) in Millimetern und der Temperatur des Spiritus (t_0) im Gefäße *B*.

Vorläufige Untersuchungen.

Zuerst wurde folgendes Experiment gemacht: eine Saturnia pyri ♂ (großes Nachtpfauenauge), welche sich am 13./25. April 1898 entpuppte, wurde mit dem Rücken (Thorax) auf die Nadel *D* gesteckt; dabei wurde das Röhrchen *A* auf einer Unterlage befestigt und unter die Füße des Schmetterlings ein glattes Brettchen gelegt, damit er sich von der Nadel nicht herunterreiße.

Die Messungen des thermo-elektrischen Stromes wurden jede halbe Minute und die Prüfungen der Ruhelage des Magnets im Galvanometer alle fünf Minuten vorgenommen. Die folgende Tabelle zeigt die gewonnenen Resultate.

13./25. April 1898. Saturnia pyri ♂ e. l.

Stunde	n	Temperat. des Schmetterlings (berechnet)	Bemerkungen
10h05′	38,0	+20,9°	Auf den Flügeln befindet sich eine Bleibelastung.
10	29,0	19,6	
12	27,0	—	
13	33,0	—	
14	38,0	20,9	
15	34,0	—	
16	31,0	—	
17	27,5	19,5	Stark aufgeregt.
18	30,0	19,8	
19	36,5	20,7	
22	—	—	Die Flügel sind nicht belastet worden.
23	45,0	21,9	
23,5	50,0	—	
24	58,0	23,8	
24,5	66,0	24,9	Vollständig ruhig.
25	63,0	24,5	» »
25,5	59,0	—	» »
26	55,0	23,4	» »
26,5	51,0	—	» »
27	48,0	22,4	» »
27,5	45,0	—	» »
28	42,0	—	» »
28,5	39,5	21,1	Sehr aufgeregt.
29	43,0	21,6	» »
29,5	50	—	» »
30	57	23,6	» »
30,5	68	—	» »
31	71	25,6	Vollständig ruhig.

13./25. April 1898. Saturnia pyri ♂ e. l.

Stunde	n	Temperat. des Schmetterlings (berechnet)	Bemerkungen
10h31,5′	64	+24,6°	Vollst. ruhig.
32	60	24,1	» »
32,5	55	23,4	» »
33	52	22,9	» »
33,5	45	—	» »
34	44,3	21,8	» »
34,5	42,5	—	» »
35	40,0	21,2	» »
35,5	37,5	—	» »
36	34,5	20,4	» »
36,5	33,0	—	» »
37	31,0	—	» »
37,5	30,0	19,8	Aufgeregt.
38	34,0	20,3	»
38,5	40,0	—	»
39	46,0	22,1	»
39,5	54,0	—	»
40	60,0	24,0	Ruhig.
40,5	54,5	—	»
41	51,0	22,8	»
41,5	47,5	—	»
42	44,0	21,8	»
42,5	40,5	—	»
43	38,7	21,0	»
43,5	36,3	—	»
44	34,5	20,5	»
44,5	32,0	—	»
45	30,8	19,9	»
45,5	29,2	—	»
46	28,2	19,5	»

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

13./25. April 1898. Saturnia pyri ♂ e. l.

Stunde	n	Temperat. des Schmetterlings (berechnet)	Bemerkungen
10h46,5′	27,0	—	Ruhig.
47	25,8	+19,2°	»
47,5	24,0	—	»
48	23,0	—	»
48,5	22,2	18,7	Aufgeregt.
49	26,5	—	»
49,5	33,0	—	»
50	39,0	21,1	»
50,5	41,0	—	»
51	50,0	22,6	Ruhig.
51,5	46,0	22,3	»
52	43,5	21,9	»
52,5	40,7	—	»
53	38,0	21,1	»
53,5	35,5	—	»
54	33,8	20,5	»
54,5	31,5	—	»

13./25. April 1898. Saturnia pyri ♂ e. l.

Stunde	n	Temperat. des Schmetterlings (berechnet)	Bemerkungen
10h55′	29,5	+19,9°	Ruhig.
55,5	28,0	—	»
56	26,5	19,5	»
56,5	25,3	—	»
57	24,2	19,1	»
57,5	23,0	—	»
58	22,1	18,8	»
58,5	21,5	—	»
59	20,8	18,6	»
59,5	20,0	—	»
11h00′	19,8	18,5	»
00,5	20,0	—	Aufgeregt.
01	27,0	19,5	»
01,5	33,0	—	»
02	39,0	21,3	»
02,5	46,0	22,3	Ruhig.
03	41,8	21,6	»

Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, dass die Temperatur des Schmetterlings während der ganzen Beobachtungszeit nicht konstant blieb, sondern mehr oder weniger starken Schwankungen unterworfen war.

Um diese Temperaturschwankungen klarer zu veranschaulichen, stellen wir sie uns graphisch dar, indem wir als Ordinate die Temperatur des Schmetterlings und als Abscisse die Zeit in Minuten (s. Fig. 2) annehmen.

Aus der so gewonnenen Kurve ersehen wir, dass deren Minima mit dem Anfange der Flügelbewegung (s. die vorangehende Tabelle) und deren Maxima mit dem Eintreten der Ruhe des Schmetterlings zusammenfallen, d. h. dass während der Flügelbewegung des Schmetterlings seine Temperatur steigt und sofort fällt, sobald er seine Flügel zu bewegen aufhört.

Dieselbe Kurve zeigt uns noch, dass (angefangen von 10h28,5′) die maximalen Temperaturerhöhungen des Schmetterlings immer geringer werden und die Minima immer niedriger werden, indem sie sich der Zimmertemperatur (17,5°) nähern.

Somit können wir sagen, dass der Schmetterling (Saturnia pyri) im Zustande der Ruhe die Temperatur der ihn umgebenden Luft besitzt. Dieser Schluss, wie wir weiter unten sehen werden, ist auch für Temperaturen unter Null richtig.

Dieses Resultat stimmt somit überein mit den Beobachtungen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

von Girard (20), H. Lecoq (38), Breyer (5), Becquerel (2), Hausmann (24), Nobili und Meloni (47) und Anderen. Nur Dutrochet (14) fand, dass der Insektenkörper im Ruhezustande manches Mal kälter als die umgebende Luft ist, obgleich auch bei ihm Insekten, welche sich im Wasserdampfe befanden, bei Bewegung eine höhere Temperatur hatten als im Zustande der Ruhe. Die bemerkenswertheste Übereinstimmung aber weisen die Ergebnisse Newport's (44) auf, welche er mit Cerura vinula (Harpyia vinula) gewann. So wie bei ihm dieser Schmetterling, so war auch bei mir Saturnia pyri zeitweise in Bewegung, beruhigte sich dann und bewegte sich wieder. Der allgemeine Temperaturgang des Insektenkörpers hat in unseren Versuchen denselben Charakter (obgleich Newport sein Thermometer an den Schmetterlingskörper nur anlegte, ich aber dasselbe in den Körper hineinsteckte).

Um die Frage zu lösen, welche maximale Temperatur ein Schmetterling, ohne zu sterben, aushalten kann, wurde folgendes Experiment angestellt:

Ein Glastrichter wurde mit seiner breiten Öffnung auf ein Sandbad, welches von unten durch eine Lampe gewärmt wurde, gestellt. In der schmalen Öffnung des Trichters befand sich das elektrische Thermometer *A* (Fig. 1), und unter den Trichter wurde auf die Nadel

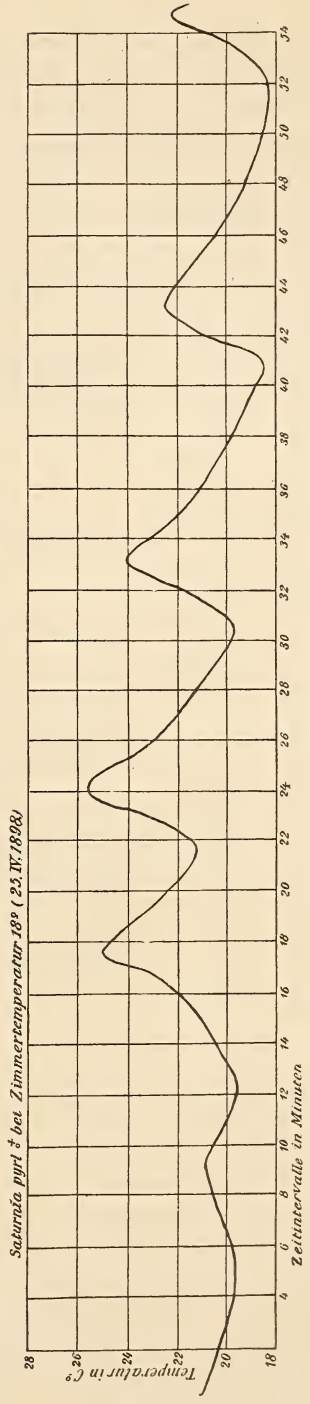

Fig. 2.
Die Kurve stellt den Gang der eigenen Temperatur von Saturnia pyri ♂ dar, bei +18° C. Zimmertemperatur.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

D der Schmetterling Saturnia pyri ♀ e. l. gesteckt, welcher sich mit den Füßen auf ein Torfplättchen stützte.

In der unten angeführten Tabelle (im Auszug) sind die Zahlen für den elektrischen Strom (n) der Kürze halber weggelassen und die Temperatur (t_1) des Körpers des Schmetterlings schon ausgerechnet angegeben.

18./30. April 1898. Saturnia pyri ♀ e. l.

Stunde	t_1°	Bemerkungen.
2h26′	20,7°	Der Schmetterling ist ruhig.
37	19,9	Das Luftbad ist erwärmt worden.
47	21,0	Die Lampe ist ausgelöscht.
48	23,2	
49	25,9	
50	28,8	
51	31,1	
52	33,2	
53	33,7	Im Trichter ist vom Sande Dampf gebildet worden.
54	35,8	
55	37,5	
56	38,9	
3h00	37,8	Der Schmetterling ist ruhig.
02	38,3	» » » »
04	38,5	» » » »
06	38,3	» » » »
08	37,9	Das Bad wurde erwärmt und die Lampe nachher ausgelöscht.
12	37,9	
13	38,9	Der Schmetterling ist aufgeregt.
14	41,7	» » » »
16	43,4	» » » »
18	42,8	» » » »
20	42,7	Das Bad wurde wieder erwärmt und die Lampe ausgelöscht.
24	43,0	Der Schmetterling ist matt geworden.
28	44,5	» » » » »
31	45,0	» » » » »
39	45,7	Das Bad ist noch einmal erwärmt worden.
42	45,8	Der Schmetterling ist bewegungslos.
50	50,2	
56	53,3	

Hieraus ist zu ersehen, dass der Schmetterling (Sat. pyri) sehr unruhig wird bei ungefähr 39° und dass er stirbt, wenn die Temperatur seines Körpers 46° erlangt.

Diese Ziffern sind etwas höher als diejenigen, welche von anderen Forschern erzielt wurden. So fand Nicolet (46) das vitale Maximum für Podura similata bei + 35° C.; O. Bütschli (6) für Blatta orientalis — bei + 33° C. Bei H. Schulz (57) zeigte der Frosch bei + 35,5° C. Krämpfe und beruhigte sich bei + 33,6° C.

Ich gebe hier noch einige Daten für das vitale Maximum aus der Pflanzenphysiologie.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Max Schultze (56) untersuchte die Härchen der Staubfäden von Tradescantia virginica, die brennenden Härchen der Urtica urens und die Zellen der Blätter von Vallisneria spiralis und fand, dass die Temperatur, welche absolut tötlich auf das Protoplasma der Zellen wirkt, zwischen 47° und 48° liegt.

Julius Sachs (55) fand bei Untersuchungen von Vallisneria spiralis, dass dieselbe bei 45° stirbt, und erklärt die Nichtübereinstimmung seines Resultates mit demjenigen von Schultze dadurch, dass bei Schultze die Erwärmung der Pflanze auf diese Temperatur nur 2—3 Minuten, währenddem sie bei Sachs 10 Minuten dauerte.

Bei mir starb der Schmetterling Sat. pyri bei ungefähr 46°, welche Zahl zwischen denjenigen von Schultze und Sachs für das Protoplasma der Pflanzen liegt.

Eine merkwürdige Übereinstimmung zeigt aber die Temperatur, bei welcher der Schmetterling sehr unruhig zu werden beginnt (ca. 39°). Schultze äußert sich folgenderweise in Bezug auf Bewegung des Protoplasma bei den drei genannten Pflanzenarten: »Die Bewegung verlangsamt sich in allen Fällen von 38—40° an, kehrt aber, wenn die Temperatur nicht über 48° stieg, bei der Abkühlung meist bald zu der ursprünglichen Schnelligkeit zurück.«

Bei mir begann die Sat. pyri, vorher ruhig, bei 38,9° (um $2^h56'$) so stark zu flattern, dass sie sich von der Nadel *D* hinunterriss; vier Minuten später (um $3^h00'$) war die Temperatur des Schmetterlings nur 37,8°, und er beruhigte sich. Bei allmählicher Erwärmung des Sandbades stieg die Temperatur des Schmetterlings abermals und, bei 38,9° angelangt, begann er wieder zu flattern. Somit steht dieses Ergebnis in vollem Einklang mit den Beobachtungen Schultze's.

Bezüglich jener niedrigen Temperatur, bei welcher die Insekten noch leben, d. h. wenn sie während einer gewissen Zeit einer solchen Temperatur unterworfen waren, nachher aber in Zimmertemperatur wieder aufleben können, wurden folgende vorläufige Experimente gemacht.

Ein cylinderförmiges Glas ($2r = 80$ mm, $h = 60$ mm) wurde mit einem Glasplättchen bedeckt, welches in der Mitte eine Öffnung hatte, in die ein Quecksilber-Thermometer gestellt wurde. In der Mitte (auf der halben Höhe) war das Glas durch ein Stück Karton getheilt, auf welches die Insekten gelegt wurden. Dieses Glas wurde in gestoßenes Eis gestellt, welches, um die Kälte zu steigern, mit Kochsalz und Spiritus gemischt wurde.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Im Glase befanden sich Anfangs folgende Insekten: Käfer: Dorcadion sturmii, Dorc. rufipes, Larinus turbinatus und einige Zimmerfliegen.

Stunde: $2^h09'$, $2^h11'$, $2^h13'$, $2^h15'$, $2^h17'$, $2^h18'$, $3^h22'$, $3^h25'$
t^0: = $+8{,}5^o$, $+4{,}1^o$, $+3{,}2^o$, $+1{,}9^o$, $+1{,}5^o$, 0,0, 0,0.

Nachdem das Glas geöffnet wurde, bewegte sich am stärksten Dorc. rufipes, Dorc. sturmii sehr schwach, und die Fliegen waren bewegungslos. Dann wurden alle herausgenommen, und nach einigen Minuten lebten alle, auch die Fliegen, auf.

In das Glas wurden wieder dieselben Arten in frischeren Exemplaren gesetzt:

Stunde: $3^h27'$, $3^h35'$, $2^h39'$, $3^h42'$, $3^h45'$, $3^h48'$, $3^h50'$, $4^h02'$, $4^h06'$,
t^0: – $-3{,}6^o$, $-4{,}3^o$, $-5{,}6^o$, $-7{,}1^o$, $-8{,}0^o$, $-8{,}4^o$, $-10{,}0^o$, $-10{,}2^o$.

Die Insekten waren bewegungslos und erwiesen sich, bei Zimmertemperatur auf den Tisch gelegt, alle als todt, ausgenommen die Fliegen, welche nach Verlauf von einigen Minuten wieder auflebten.

Ein weiterer Versuch zeigte Folgendes:

Stunde: $4^h13'$, $4^h14'$, $4^h17'$, $4^h19'$, $4^h21'$, $4^h25'$,
t^0: — $-5{,}2^o$, $-5{,}9^o$, $-6{,}0^o$, $-6{,}0^o$, $-6{,}2^o$.

Die Insekten der vorherigen Arten, aus dem Glase genommen, lebten alle auf dem Tische wieder auf.

Endlich wurden dieselben Arten, aber neue Exemplare, in das Glas gelegt und einer stärkeren Kälte unterworfen, nämlich:

Stunde: $4^h33'$, $4^h38'$, $4^h40'$, $4^h43'$, $4^h47'$, $4^h50'$, $4^h56'$, $4^h57'$,
t^0: – $-9{,}9^o$, $-11{,}1^o$, $-13{,}2^o$, $-15{,}2_4$, $-15{,}9^o$, $-16{,}8^o$, $-17{,}0^o$.

Obgleich die Insekten, nachdem sie aus dem Glase genommen, über eine Stunde bei Zimmertemperatur ($+ 21^o$) auf dem Tische gelegen, erholten sie sich nicht wieder.

Darauf wurde eine Reihe ähnlicher Experimente mit anderen Insekten gemacht, und zwar mit Schmetterlingen: Aporia crataegi, Polyommatus thersamon, Pol. alciphron v. gordius, Lycaena icarus, Lyc. astrarche, Vanessa atalanta, Nisoniades tages, Coenonympha pamphilus, Euclidia glyphica und mit Käfern: Larinus turbinatus, Cerambyx scopoli, Melasoma populi, Semiadalia 11-notata, Phytoecia affinis, Melolontha hippocastani, Dorcadion olympicus und mit einer Libellula depressa.

Stunde: $9^h45'$, $9^h58'$, $10^h10'$, $10^h16'$, $10^h23'$, $10^h58'$, $11^h05'$, $11^h08'$,
t^0: $+2{,}0^o$, $-1{,}2^o$, $-2{,}7^o$, $-2{,}9^o$, $-3{,}8^o$, $-6{,}9^o$, $-7{,}3^o$, $-7{,}5^o$.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Bei Zimmertemperatur lebten wieder auf nur: Cerambyx scopuli und Libellula depressa.

Bei einem weiteren Versuche wurden frische Exemplare genommen, wenn auch nicht alle Arten des 1. Versuches:

Stunde: $11^h15'$, $11^h30'$, $1^h30'$, $1^h38'$, $1^h41'$, $1^h47'$, $1^h50'$, $1^h53'$,
t^0: — —5,7°, —2,9°, —4,3°, —5,0°, —6,3°, —6,7°, —6,8°.
Stunde: $2^h00'$, $2^h03'$, $2^h06'$, $2^h08'$, $2^h12'$, $2^h16'$, $2^h21'$, $2^h25'$,
t^0: –7,5°, –8,0°, –8,9°, –9,4°, –10,1°, –10,5°, –10,6°, –10,2°.

Starben: Polyommatus alciphron v. gordius, Lycaena astrarche ♂, Phytoecia affinis, Semiadalia 11-notata, Melasoma populi, Cerambyx scopuli, Melolontha hippocastani, Dorcadion olympicus.

Lebten wieder auf bei Zimmertemperatur: Aporia crataegi, Lycaena astrarche ♀, Vanessa atalanta, Coenonympha pamphilus, Euclidia glyphica, Larinus turbinatus.

Die Versuche bei größerer Kälte zeigten:

Stunde: $2^h35'$, $2^h38'$, $2^h43'$, $2^h53'$, $2^h59'$, $3^h02'$, $3^h05'$, $3^h10'$,
t^0: –4,2°, –7,2°, –11,3°, –13,2°, –13,8°, –13,8°, –13,7°, –13,4°.

Starben: Polyommatus thersamon, Lycaena icarus ♀, Larinus turbinatus.

Lebten wieder auf: Coenonympha pamphilus.

Die letzte Schmetterlingsart, auf eine halbe Stunde wieder ins Glas gelegt, lebte bei $t = -18°$ nicht wieder auf.

Zuletzt wurde eine Reihe Versuche vorgenommen mit Hauswanzen (Cimex lectularius), großen Fliegen, die sich bei mir aus den Puppen Saturnia spini entwickelt hatten, und einem Schmetterling Aporia crataegi.

Stunde: $4^h26'$, $4^h29'$, $4^h33'$, $4^h36'$, $4^h30'$, $4^h40'$, $4^h42'$, $4^h53'$,
t^0: +0,4°, —2,6°, —4,4°, —4,9°, —5,1°, —5,2°, —5,2°, —5,0°.

Alle Arten lebten bei Zimmertemperatur wieder auf.

Dieselben Arten, nur andere Exemplare:

Stunde: $5^h00'$, $5^h02'$, $5^h03'$, $5^h05'$, $5^h07'$, $5^h11'$, $5^h18'$, $5^h27'$, $5^h28'$,
t^0: –3,9°, –5,8°, –6,7°, –8.1°, –9,2°, –10,7°, –11,4°, –11,5°, –11,4°.

Alle Arten lebten wieder auf, jedoch von den 20 Exemplaren des Schmetterlings Ap. crataegi nur circa die Hälfte.

Somit sterben verschiedene Species bei verschieden niedrigen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Temperaturen, und das vitale Minimum variirt sogar bei einer und derselben Species, wie dies z. B. aus den Versuchen mit Ap. crataegi ersichtlich ist.

Es ist von Interesse, diese Daten mit denjenigen anderer Forscher zu vergleichen:

Pouchet (49) fand das vitale Minimum für Melolontha vulgaris einmal bei — 18 bis — 20° bei $1^1/_2$stündiger Einwirkung dieser Kälte; ein anderes Mal, als während 1 Stunde die Kälte von — 14° einwirkte, starben von fünf Exemplaren zwei.

Ich bekam für eine verwandte Species, nämlich Melolontha hippocastani: Einwirkung der Kälte 3 Stunden; Anfangs — 5,7°, am Ende — 10,2°. Das Exemplar starb. D. h., dass in meinen Versuchen das vitale Minimum viel höher liegt als bei Pouchet.

Pouchet fand, dass Libellula compressa bei — 16° während 3 Stunden stirbt. Bei mir starb die verwandte Species Libellula depressa bei — 7,5° (Anfangs + 2,0°) während 1 Stunde und 23 Minuten, d. h. wiederum nicht bei einer so niedrigen Temperatur wie bei Pouchet.

Da man nicht sagen kann, ob die der oben erwähnten Untersuchung unterworfenen Insekten die Temperatur der umgebenden Luft hatten, so ist es auch unmöglich aus den hier beschriebenen vorläufigen Versuchen genau zu ermitteln, bei einer wie niedrigen Temperatur die eine oder die andere Art stirbt. Zu diesem Zwecke wurde folgender Versuch mit dem im botanischen Garten der Hochschule eingefangenen Schmetterling Sphinx ligustri gemacht; bei diesem Versuche wurde das oben beschriebene Glas verwendet mit dem Glasdeckel, in dessen Öffnung jetzt nicht ein Quecksilberthermometer, sondern das elektrische Thermometer A (Fig. 1) sich befand und noch ein zweites ähnliches, für die Messung der Temperatur der Luft im Glase bestimmt (dieses letztere war mit einem anderen Galvanometer, auf dieselbe Weise wie das erstere, verbunden).

In der angeführten Tabelle ist somit unter n die Stärke des thermo-elektrischen Stromes vom Schmetterling und der umgebenden Luft zu verstehen. In der Kolumne »t_0 für Spiritus« befinden sich die Zahlen für die Temperaturen des Spiritus im Gefäße B (Fig. 1) und im Gefäße, welches zur Messung der Temperatur der umgebenden Luft dient. Die Kolumne t_1 enthält die ausgerechnete Temperatur des Schmetterlings und der umgebenden Luft.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

15./27. April 1898. Sphinx ligustri

Stunde	n für Schmetterling	n für Luft	t_0 für Spiritus für Schmetterling	t_0 für Spiritus für Luft	t_1 für Schmetterling	t_1 für Luft	Bemerkungen
3h41′	+ 28,0	—	14,2°	15,0°	+14,6	15,0°	
48	+ 15,2	—				15,0	
4h00	— 58,5	—12,0	14,0	14,9	+ 6,2		Das Bad besteht aus reinem Eis.
02	— 67,3	—32,0					
09	— 84,5	—35,5					
16	— 85,0	—35,6	14,0	14,6	+ 2,7	+ 0,4	Schwache Bewegung.
20	— 89,0	—36,0					» »
22	— 91,0	—36,1	13,9	14,5			» »
25	— 93,0	—36,5					» »
30	— 96,3	—36,9					» »
37	— 99,5	—36,3	13,8	14,2			» »
45	—101,3	—36,8					» »
50	—102,3	—36,5	13,7	14,2			» »
55	—103,2	—36,8			0,0	— 0,6	
5h02	—105,0	—39,0			— 0,3	— 1,6	Das Bad besteht aus Eis + NaCl.
04	—106,4	—40,2	13,7	14,0			
06	—108,2	—41,2					
09	—111,1	—42,5					
15	—119,5	—45,4			— 2,3	— 4,3	
20	—125,0	—47,0					
28	—133,0	—49,3	13,6	13,8			
34	—138,0	—50,8					
40	—141,9	—51,1			— 5,5	— 6,8	
45	—144,2	—51,7	13,5	13,7			
57	—147,4	—52,0					
6h12	—149,8	—52,0	13,4	13,6			
20	—150,8	—53,2			— 6,7	— 7,7	
40	—149,2	—51,5	13,3	13,6			Ist in diesem Bade die ganze Nacht gelassen.
16./28. April 1898.							
8h13′	— 99,2	—45,5	13,1	13,7	— 0,1	— 4,5	Ins Bad ist frische Luft eingelassen.
27	— 84,0	—42,3					
30	— 98,5	—47,0					
31	—103,5	—48,2					
32	—108,5	—49,6					
34	—116,0	—51,5					
36	—122,3	—52,7					
38	—127,6	—53,7	13,5	14,0	— 3,5		
40	—133,2	—54,3			— 4,3	— 7,7	
55	—153,5	—56,4			— 6,9		
9h01	—157,2	—56,7			— 7,3	— 8,6	Zum Eise ist Kochsalz beigemischt.
05	—160,6	—58,2	13,6	14,1	— 7,8	— 9,2	
10	—164,1	—60,0			— 8,3	— 9,8	
15	—167,1	—60,8			— 8,7	—10,0	Zum Eise ist noch Spiritus beigemischt.
24	—171,8	—61,1			— 9,3	—10,0	
28	—115,0	—59,0			— 1,7	— 0.1	
30	—119,0	—63,0			— 2,3	—10,6	
31	—123,0	—63,5			— 2,8	—10,8	
35	—116,0	—			— 1,9	+14,5	
36	—116,1	—			— 1,9	14,5	
37	—113,5	—				14,5	
39	—110,5	—				14,5	
41	—106,9	—				14,5	
43	—101,9	—				14,5	
45	— 89,0	—				14,5	
47	— 67,5	—				14,5	

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

16./28. April 1898. Sphinx ligustri

Stunde	n für Schmetterling	n für Luft	t_0 für Spiritus für Schmetterling	t_0 für Spiritus für Luft	t_1 für Schmetterling	t_1 für Luft	Bemerkungen
9h50′	— 48,5	—	13,8°			14,5°	Schien todt zu sein, lebte
2h00	+ 13,3	—	15,0	15,4°	+14,8	14,5	aber um 11h wieder
10	— 0,2	— 3,5					auf.
15	— 45,5	—23,0	14,8	15,3			
23	— 83,0	—31,2					
26	— 87,0	—32,7					
32	— 95,6	—35,2	14,5	15,2	+ 1,7	+ 1,1	Bewegt sich.
46	—152,5	—57,0					
47	—162,0	—61,0					
48	—172,0	—64,5					
49	—180,0	—67,0					
50	—187,0	—71,0					
51	—193,0	—72,0			—11,0	—14,0	
52	—198,5	—72,5			—12,5	—14,2	
53	—203,0	—73,0			—13,1	—14,4	
53½	—171,0	—59,0			— 8,8	— 8,8	
54	—176,5	—67,0			— 9,6	—12,0	
55	—180,2	—71,9	14,0	14,8	—10,0	—14,0	
58	—180,7	—72,0			—10,1	—14,0	
3h02	—180,7	—72,5			—10,1		
14	—181,0	—71,2					
20	—184,8	—70,9					
23	—189,1	—70,8					
25	—192,6	—70,9			—12,0	—13,8	
27	—196,2	—70,6					
29	—199,5	—70,3					
32	—203,2	—70,2					
36	—207,3	—71,0	13,8	14,5	—13,8	—13,9	
39	—209,7	—71,5					
43	—211,8	—72,0					
48	—213,6	—72,6					Das Eis im Bade wurde
54	—214,8	—75,6					hineingedrückt.
4h00	—215,0	—74,0			—14,9	—15,2	
02	—214,7	—74,0				—15,2	
16	—211,8	—73,0					
27	—207,0	—71,5	13,8	14,4	—13,8	—14,2	
37	— 99,0	—				+15,8	Bei Zimmertemperatur.
38	— 86,0	—				15,8	
39	— 81,0	—				15,8	
40	— 76,0	—				15,8	
41	— 73,5	—				15,8	
42	— 69,0	—				15,8	
43	— 66,5	—				15,8	
44	— 64,5	—				15,8	
45	— 63,0	—			+13,0	15,8	

Aus dieser Tabelle, obgleich nur im Auszug angeführt, ersehen wir Folgendes:

Sphinx ligustri, ins Eis gelegt, nahm die Temperatur des Eises (0,0°) erst nach 55 Minuten an (von 4h00′ bis 4h55′), wobei er noch schwache Bewegungen zeigte.

Dieser Schmetterling, bis zu dem Grade abgekühlt, dass sein

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Körper um $6^h20'$ eine Temperatur von $-6{,}7°$ zeigte, und die ganze Nacht im Eise gelassen, lebte dennoch, bei Zimmertemperatur gelassen, am folgenden Morgen wieder auf.

Das Bemerkenswertheste ereignete sich aber um $9^h28'$. Der Schmetterling kühlte sich vorher allmählich und ziemlich regelmäßig ab, und sein Körper zeigte um $9^h24'$ eine Temperatur gleich $-9{,}3°$; um $9^h28'$ aber stieg seine Temperatur plötzlich bis $-1{,}7°$, wonach er wieder sich abzukühlen begann. Nachdem er dann an der Luft bei Zimmertemperatur gelassen war, stieg seine Temperatur Anfangs langsam, dann aber immer rascher, bis er endlich um 11 Uhr wieder auflebte.

Nachdem er abermals ins Eisbad gelegt war, bewegte er seine Flügel noch bei einer Temperatur seines Körpers von $+1{,}7°$, wonach er, sich regelmäßig abkühlend, um $2^h53'$ wieder einen Temperatursprung zeigte, und zwar stieg seine Temperatur plötzlich während einer halben Minute bis $-8{,}8°$; nachher fuhr er fort, sich langsam bis $-15{,}2°$ (um $3^h37'$) abzukühlen. Nachdem er dann bei Zimmertemperatur gelassen wurde, konnte er nicht mehr zum Leben gebracht werden.

Somit zeigt uns diese Tabelle das Vorhandensein einer besonderen Temperatur, bei welcher die Säfte des Schmetterlings erstarren; in Folge dessen entwickelt sich die latente Erstarrungswärme, welche ihrerseits die Temperatur des Schmetterlings auch erhöht. Dieser Umstand wirkt jedoch nicht tödlich auf den Schmetterling. Bei Wiederholung des Versuches begannen die Säfte des Schmetterlings schon bei einer niedrigeren Temperatur, als beim ersten Versuche, zu erstarren, und der Schmetterling starb erst, nachdem er eine Temperatur von $-15{,}2°$ erreicht hatte.

Dass die Insekten einfrieren und, nachdem sie aufthauen, unter gewissen Bedingungen wieder aufleben, wurde von verschiedenen Forschern beobachtet.

So hat Nicolet (46) dem Erfrieren Podura similata unterworfen. Sie verblieben in der abkühlenden Mischung von $-11°$ während 12 Stunden; als sie dann langsam aufthauten, lebten sie nach Verlauf einer Stunde auf und liefen eilig davon. Andere Exemplare wurden zum Erfrieren gebracht und in diesem Zustande während 10 Tagen gelassen, lebten dann wieder auf.

Rödel (54) beobachtete die Erstarrung bei den Ameisen bei 0°; der Tod trat jedoch nur bei Einwirkung einer Kälte von $-19°$ während einer $^1/_2$ Stunde, oder bei Einwirkung einer Kälte von $-15°$ während 3 Stunden ein.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Aus der im Anfang dieses Aufsatzes angeführten Litteratur ist es ersichtlich, dass die Insekten bei Abkühlung abhängig von der Zeit, während welcher die Kälte einwirkte, sterben; ob sie erst eine gewisse niedrige Temperatur erreichen müssen, ehe das andauernde Einwirken der Kälte ihren Tod zur Folge hat, ist aus den bis jetzt bekannten Beobachtungen nicht zu ersehen. Nur Rödel sagt, dass »völlig gefrorene Thiere, die einen Cirkulationsapparat besitzen, sich nicht wieder beleben«.

Die nicht erfrorenen, wenn auch abgekühlten Insekten sterben nicht, sondern sie verlieren nur bei einer gewissen Temperatur die Fähigkeit, sich frei zu bewegen, wie dies aus den Versuchen verschiedener Forscher ersichtlich ist:

So sagen Kirby und Spence (32), dass wenn Geotrupes stercorarius völlig erstarrt waren, die ihnen anhaftenden Milben ganz munter waren.

Wyman (64) fand, dass eine Wespe bei —25° nicht erstarrte und reflektorische Bewegungen beim Anrühren machte.

Decrosen (9) fand in Torferde bei —8° lebende Fliegen.

Dönhoff (10) beobachtete, dass Fliegen nach achtstündiger Einwirkung einer Kälte von —3° noch ihre Füße bewegten. Nach zwölfstündiger Einwirkung einer Temperatur von —$6^1/_4$° haben sie Scheintod, leben jedoch bei Erwärmen wieder auf. Nur eine Kälte von —10° während 3 Stunden tödtet sie völlig.

Rödel (54) sagt, dass mehrere Käferlarven verschiedener Gattungen eine Temperatur von —6° aushielten und starben, als sie »durch und durch gefroren waren«.

Derselbe Forscher beobachtete, dass die Puppen von Pieris brassicae bei —25° nicht sterben und dann, in ein warmes Zimmer gebracht, Schmetterlinge erzeugen.

Réaumur (50) stellte fest, dass Raupen von Vanessa cardui bei —15° R. nicht erfrieren. Die Puppen von Pieris brassicae sterben bei —16° R. nicht. Im Allgemeinen sterben die Puppen vieler Schmetterlinge bei —7° bis —8° R. nicht.

Spallanzani (59) behauptet, dass die Eier von Bombyx rubi eine Temperatur von —50° ohne Schaden für die Entwicklung aushalten.

Dass der Erstarrungspunkt bei verschiedenen Insekten verschieden ist, davon spricht Rödel (54). —

Es entsteht somit eine ganze Reihe von Fragen:

1) Welche Faktoren verhindern die erfrorenen Insekten, nach-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

dem sie aufthauten, wieder aufzuleben, resp. ist die Ansicht RÖDEL's, dass durch und durch gefrorene Insekten nicht mehr belebt werden können, richtig?

2) Weisen alle Insekten einen »Temperatursprung« ihres Körpers auf, und wenn so, dann bei welchen Temperaturen?

3) Tritt bei Wiederholung des Versuches der »Sprung« stets bei einer niedrigeren Temperatur, als beim vorhergehenden Versuche ein?

4) Bis zu welcher Höhe steigt die Temperatur der Insekten nach dem »Sprunge« bei verschiedenen Arten?

5) Wie ist diese Überkühlung der Säfte der Insekten zu erklären?

6) Warum erfrieren die Insekten bei sehr verschiedenen Temperaturen und warum variirt diese Größe bei verschiedenen Exemplaren einer und derselben Art?

Antwort darauf geben die

Definitiven Experimente.

I. Wann tritt bei Einwirkung von Kälte der Tod der Insekten ein?

In den unten angeführten Tabellen führe ich der Kürze halber die Werthe für die Stromstärke nicht an und gebe nur die ausgerechnete Temperatur der den Schmetterling umgebenden Luft und die Temperatur seines Körpers.

18./30. April 1898. Saturnia pyri ♀ e. l.

Stunde	Temperatur der umgebenden Luft	Temperatur des Schmetterlings	Bemerkungen
11h53′	+16,4°	+31,7°	Der Schmetterling bewegt sich.
54	—	31,7	
57	+15,9	29,7	
12,07	—	19,7	Ins Eis gebracht.
2,22	— 0,8	0,2	
3,22	—	0,0	
3,43	— 9,9	—2,5	Bewegt sich nicht mehr.
3,44	—	—3,4	Eis + NaCl.
45	—11,9	—4,0	
46	—	—4,7	
47	—12,7	—5,4	
48	—	—5,8	
49	—13,2	—6,4	
50	—13,3	—6,8	
51	—13,4	—7,2	Das Hammerklopfen auf den Tisch, auf welchem sich das Bad befand, hat keinen Einfluss auf die Abkühlung.
52	—13,6	—7,6	
53	—	—8,0	
54	—13,7	—8,3	
55	—13,8	—8,6	
56	—14,1	—9,0	
57	—14,2	—9,2	

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

18./30. April 1898. Saturnia pyri ♀ e. l.

Stunde	Temperatur der umgebenden Luft	Temperatur des Schmetterlings	Bemerkungen
3h58′	—14,0°	—9,4°	
59	—12,7	—1,4	
4 00	—12,8	—1,4	
01	—12,9	—1,4	
03	—13,4	—1,5	
05	—13,5	—1,5	
06	—13,4	—1,5	
07	—	—1,5	
08	—13,4	—1,5	
10	—13,5	—1,5	
12	—13,8	—1,7	
14	—13,5	—1,9	
15	—13,5	—2,1	
19	+16,1	—2,2	
20	+16,1	—2,4	
21	»	—2,2	
23	»	—2,1	
24	»	—2,0	
25	»	—1,9	
27	»	—1,7	Bewegt sich noch nicht.
28	»	—1,5	» » » »
29	»	—1,4	» » » »
30	»	—1,5	» » » »
31	»	—1,2	» » » »
32	»	—0,3	» » » »
34	»	+3,5	» » » »
35	»	+5,0	» » » »

Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, dass der Schmetterling, während er sich allmählich abkühlte, einen plötzlichen Temperatursprung von —9,4° auf —1,4° zeigte, wonach seine Temperatur während 11 Minuten (3h59′ bis 4h10′) ständig verblieb. Dieser Umstand beweist, dass das Erstarren der Säfte noch nach dem »Sprung« fortdauerte.

Dieser Schmetterling lebte, nachdem er bei Zimmertemperatur auf den Tisch gelegt war, um 5h20′ desselben Abends wieder auf. Er blieb auch den folgenden Tag am Leben und legte während desselben viele Eier.

Es ist also hieraus ersichtlich, dass das alleinige Erstarren der Säfte des Schmetterlings dessen Tod nicht verursachen kann.

Ich führe hier noch eine in Abkürzung gegebene Beobachtungstabelle an:

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

13./25. April 1898. Saturnia pyri ♂ e. l.

Stunde	Temperatur der umgebenden Luft	Temperatur des Schmetterlings	Bemerkungen
2h05′	— 1,5°	— 0,8°	
10	— 3,8	— 2,9	
15	— 5,0	— 4,3	
20	— 5,1	— 5,3	
25	— 5,1	— 6,0	
30	— 5,1	— 6,3	
35	— 5,1	— 6,4	
50	— 4,9	— 6,6	
3h30	— 7,0	— 1,2	Ist bei der Zimmertemperatur gelassen.
35	— 9,0	— 4,7	Lebt auf.
40	—10,0	— 7,1	
45	—10,1	— 7,8	
50	—10,4	— 8,1	
55	—10,5	— 9,2	
4h00	—10,5	— 9,7	
05	—10,4	— 9,8	
14	—11,0	—10,2	
20	— 8,7	—10,6	
25	—13,0	—11,6	
30	—15,0	— 1,1	
45	—14,0	— 4,1	
50	—13,8	— 8,4	
55	—13,2	—11,6	
5h00	—13,0	—14,5	
10	—12,8	—15,6	
30	— 3,8	— 8,9	Das Eis ist entfernt worden.
50	+ 3,9	— 3,2	
6h15	+10,8	0,0	Bei Zimmertemperatur.

Auch diese Tabelle zeigt, dass um 4h25′, als die Temperatur des Schmetterlings —11,6° betrug, dieselbe auf einmal bis —1,1° stieg, d. h., dass im Gange der Temperatur des Schmetterlings der in den vorhergehenden Tabellen erwähnte Sprung sich ereignete. Wenn wir den Schmetterling bald nachher aus dem Eisbade genommen hätten, so würde der Schmetterling auf Grund der vorhergehenden Tabelle wieder aufgelebt sein; der Schmetterling wurde aber dem weiteren Einwirken der Kälte ausgesetzt, und um 5h10′ zeigte sein Körper die niedrigste Temperatur von —15,6°. Alsdann wurde mit der Abkühlung nachgelassen, und um 6h15′ wurde der Schmetterling bei Zimmertemperatur (18°) liegen gelassen. Er konnte jedoch nicht wieder ins Leben zurückgerufen werden.

Auf Grund dieser Thatsachen kann man annehmen, dass der Schmetterling bei Abkühlung daran stirbt, wenn er nach dem Sprunge seiner Temperatur einer weiteren Abkühlung bis zu einem gewissen Grade unterworfen wird, wobei diese Temperatur jedenfalls, wie die

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Tabelle vom 18./30. April zeigt, nicht höher als —2,5° und nicht über —15,6° sein muss (s. die eben angeführte Tabelle).

Um diese Temperatur genauer zu bestimmen, wurden Versuche mit dem Schmetterlinge Aporia crataegi ausgeführt, wobei zu jedem Versuche ein neues Exemplar genommen wurde.

22. Mai/3. Juni 1898. Aporia crataegi

Stunde	n für Schmetterling	n für Luft	t_0 im Gefäße B für Schmetterling	t_0 im Gefäße B für Luft	t_1 berechnet für Schmetterling	t_1 berechnet für Luft	Bemerkungen
			I. Exemplar:				
2h58′	—130,0	—71,8	20,9°	21,9°	+ 3,6	— 6,8	
3 00	—172,0	—79,4			— 2,0	— 9,9	
01	—186,5	—80,9					
02	—196,5	—81,1					
03	—204,3	—81,7					
04	—210,5	—82,1					
05	—215,8	—83,0					
06	—220,2	—83,0					
07	—224,0	—83,0					
08	—226,5	—83,3			— 9,1		
09	—228,8	—83,2			— 9,7		
10	—230,4	—83,0			— 9,9		
10½	—231,4	—82,0			—10,0	—11,0	
11	—165,0	—82,0	20,8	21,8	— 1,2	—11,0	Lebte bei Zimmertemperatur (21,5°) auf.
			II. Exemplar:				
2h08′	—100,0	—50,1	21,5°	22,4°	+ 8,2	+ 2,3	
15	—144,5	—60,8					
20	—185,0	—78,2					
23	—202,3	—80,0					
24	—206,3	—80,5					
25	—210,2	—85,4			— 6,7	—12,0	
26	—214,9	—85,4			— 7,4		
27	—219,8	—86,8			— 8,0	—12,5	
27½	—166,3	—86,0	21,3	22,2	— 0,8		
28	—166,3	—86,2			— 0,8	—12,3	
29	—166,2	—85,9					
30	—166,2	—88,0					
31	—166,2	—88,2			— 1,0		
45	—204,0	—85,2			— 6,0		
46	—208,0	—85,0			— 6,5	—11,9	Lebte bei Zimmertemperatur auf.
			III. Exemplar:				
3h27′	—163,0	—67,0	20,8°	21,8°	— 0,9	— 5,0	
29	—181,3	—67,8					
32	—191,8	—67,9					
34	—196,4	—74,0			— 5,5		
35	—200,5	—76,0			— 6,1	— 8,7	
36	—204,8	—	20,6		— 6,7		
36¾	—205,5	—			— 6,8		
37	—163,0	—76,8			— 1,1	— 9,0	
38	—163,8	—78,2			— 1,2		
40	—163,8	—79,1			— 1,3		
42	—165,2	—80,1			— 1,5		
46	—176,0	—81,0			— 3,0		
56	—226,8	—81,8			— 9,7	—11,2	
57	—228,0	—	20,4		—10,0	—	Ist gestorben.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Wie aus dieser Tabelle ersichtlich, zeigte der erste Schmetterling den »Sprung« bei —10,0°, wobei seine Temperatur bis —1,2° stieg. Er wurde sofort herausgenommen und lebte dann auf.

Der zweite Schmetterling zeigte den »Sprung« bei —8,0°, wonach seine Temperatur bis —0,8° hinaufstieg. Er wurde weiter abgekühlt und, nachdem seine Temperatur —6,5° erreicht hatte, aus dem Bade genommen, wonach er auflebte.

Der dritte Schmetterling zeigte den »Sprung« bei —6,8°, und die Temperatur seines Körpers stieg bis —1,1°. Nachher wurde er bis —10,0° abgekühlt und starb.

Dabei wurde bemerkt, dass, je eher der Schmetterling nach dem Sprung aus dem Bade genommen wird, desto kräftiger sein Leben sich äußert.

Somit ergiebt sich aus diesen Versuchen, dass ein Schmetterling dann stirbt, wenn die Temperatur seines Körpers nach dem Sprung wieder ungefähr bis auf diejenige heruntersinkt, bei welcher der Sprung stattfand.

Ich bringe hier im Auszug noch einige Tabellen, welche diesen Schluss bestätigen.

16./28. Mai 1898. Aporia crataegi.

Stunde:	$9^h,20'$,	21,	22,	23,	24,	25,	26,	30,	34,	37
t_1 des Schmetterl.:	−8,8°,	−9,0,	−9,1,	−9,2,	−1,4,	−1,5,	−1,7,	−3,5,	−7,7,	−9,6,

Der Sprung fand hier bis —9,2° statt und der Schmetterling kühlte sich nachher bei —9,6° ab. Er starb.

28. Mai/9. Juni 1898. Vanessa cardui.

Stunde:	$9^h55'$,	57,	10^h00,	01,	02,	03,	03,	04,	12
t_1 des Schmetterl.:	−1,7°,	−4,9,	−6,2,	−6,3,	−6,8,	−7,0,	−1,0,	−1,2,	−7,2

Der Sprung fand bei —7,0° statt, und als der Schmetterling bis —7,2° sich abkühlte, starb er.

9./21. Mai 1898. Cerambyx scopoli.

Stunde:	$10^h36'$,	38,	39,	40,	58,	$11^h14'$
t_1 des Käfers:	−8,4°,	−8,6,	−1,9,	−2,2,	−7,7,	−11,4

Hier fand der Sprung bei —8,6° statt, und der Käfer wurde bis —11,4° abgekühlt. Er konnte nachher nicht belebt werden.

12./24. Mai 1898. Saturnia pyri ♂.

Stunde:	$2^h45'$,	58,	59,	$3^h00'$,	$3^h00,5$,	3^h31
t_1 des Schmetterl.:	−2,3°,	−8,8,	−9,0,	−9,3,	−1,4,	−4,0

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Hier war der Sprung bei —9,3°. Nach der Abkühlung bis —4,0° lebte der Schmetterling wieder auf.

5./17. Mai 1898. Smerinthus ocellatus ♀.

Stunde: $3^h26'$, 32, 37, 38, 40, 40,5, 41, 45, $4^h11'$
t_1 des Schmetterl.: +7,8°, +2,6, −0,8, −1,7, −3,7, −1,2, −1,1, −1,1, −9,2.

Hier fand der Sprung bei —3,7° statt, und der Schmetterling wurde nachher bis —9,2° abgekühlt. Er starb.

23. Juni/5. Juli 1898. Oryctes nasicornis ♀.

Stunde: $11^h01'$, 44, 45, 45,5, 47
t_1 des Käfers: +1,0°, —7,6, —7,7, —1,4, —1,4

Dieser Käfer lebte wieder auf.

1./13. Juli 1898. Cetonia aurata ♀.

Stunde: 11^h18, 19, $19^3/_4$, 20, 21, 32, 38
t_1 des Käfers: —2,9°, —4,7, —5,5, —1,9, —2,1, —3,6, —5,9

Dieser Käfer zeigte den Sprung bei —5,5° und lebte, nachdem er bis —5,9° abgekühlt wurde, nicht mehr auf.

24. Juni/6. Juli 1898. Pieris rapae ♂.

Stunde: $3^h45'$, $4^h05'$, 06, 07, 07, 08, 14
t_1 des Schmetterl.: —1,8°, —9,6, —10,2, —10,7, —1,5, —1,6, —7,6

Der Sprung war hier bei —10,7° und, als der Schmetterling nachher bis —7,6° abgekühlt wurde, lebte er wieder auf, nachdem er bei Zimmertemperatur liegen gelassen war.

25. Juni/7. Juli 1898. Carabus cancellatus.

Stunde: $2^h17'$, 18, $18^3/_4$, $18^3/_4$, 19, 30, 39
t_1 des Käfers: +0,3°, —1,9, —2,8, —1,4, —1,4, —1,8, —2,8

Der Käfer wurde nach dem »Sprunge«, welcher bei —2,8° stattfand, bis —2,8° abgekühlt und lebte wieder auf, nachdem er 4 Minuten bei Zimmertemperatur verblieben war.

Ich lasse hier noch eine große Anzahl von solchen Tabellen aus, da wir ähnliche Werthe in den weiter unten angeführten Tabellen finden werden. Jetzt aber wollen wir die erhaltenen Werthe zusammenstellen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Datum	Name	Der »Sprung« fand statt bei einer Temperatur von	Die Temperatur stieg bis	Die darauf folgende Abkühlung dauerte bis	Bemerkung
16./28. V.	Aporia crataegi	— 9,2°	—1,4	— 9,6	todt
22. V./3. VI.	» »	—10,0	—1,2	— 1,2	lebend
» »	» »	— 8,0	—0,8	— 6,5	»
» »	» »	— 6,8	—1,1	—10,0	todt
13./25. IV.	Saturnia pyri ♂	—11,6	—1,1	—15,6	»
18./30. IV.	» » ♀	— 9,4	—1,4	— 2,4	lebend
12./24. V.	» » ♂	— 9,3	—1,4	— 4,0	»
15./27. IV.	Sphinx ligustri	— 9,3	—1,7	— 2,8	»
16./28. IV.	» »	—13,1	—8,8	—13,8	todt
28. V./9. VI.	Vanessa cardui	— 7,0	—1,0	— 7,2	»
9./21. V.	Cerambyx scopoli	— 8,6	—1,9	—11,4	»
5./17. V.	Smerinthus ocellatus ♀	— 3,7	—1,2	— 9,2	»
23. VI./5. VII.	Oryctes nasicornis ♀	— 7,7	—1,4	— 1,4	lebend
1./13. VII.	Cetonia aurata ♀	— 5,5	—1,9	— 5,9	todt
24. VI./6. VII.	Pieris rapae ♂	—10,7	—1,5	— 7,6	lebend
25. VI./7. VII.	Carabus cancellatus	— 2,8	—1,4	— 2,8	»

Aus dieser Tabelle ist deutlich ersichtlich, dass, wenn die Temperatur, bis zu welcher das Insekt nach dem »Sprung« abgekühlt wurde, gleich oder höher war als diejenige, bei welcher der »Sprung« stattfand, das Insekt noch zum Leben gebracht werden konnte; wenn jedoch das Insekt unter die Temperatur des »Sprunges« abgekühlt wurde, so starb es.

Da Julius Sachs (55) in seinem Buche schreibt, dass der Tod der Pflanzen durch die Art des Aufthauens nach dem Erfrieren bedingt wird, d. h. ob dieses Aufthauen rasch oder langsam vor sich geht, sah ich mich veranlasst, auch in dieser Richtung Versuche zu veranstalten.

6./18. Juni 1898. Aporia crataegi.

Stunde: 9^h40, 9^h45, 9^h50, 9^h54, 9^h55, 9^h55, 10^h05, 10^h20

t des Schmetterl.: +2,9, —2,5, —6,9, —8,3, —8,7, —0,9, —4,5, —8,6

Nachher wurde der Schmetterling an die Sonne gelegt (Temperatur ca. 40°). Nach Verlauf einiger Minuten lebte er auf.

Während meiner zahlreichen Versuche gelang es mir sogar zu beobachten, dass, wenn nach dem Sprunge bei weiterer Abkühlung die Temperatur des Schmetterlings etwas höher als diejenige des Sprunges war, der Schmetterling wieder aufzuleben pflegte, nachdem er sofort herausgenommen und in ein Luftbad bei 70° gelegt war. Besonders deutlich äußerte sich das bei dem Käfer Cetonia aurata.

Diese Versuche zeigen also, dass die Art des Aufthauens der

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Insekten nach dem Erstarren ihrer Säfte keinen merkbaren Einfluss auf deren Aufleben hat. In der That: nachdem Aporia crataegi nach dem Sprunge auf eine ganze Nacht ins Eis bei 0° gelegt war, hatte sie, wie man sagen könnte, genug Zeit gehabt, damit ihre Säfte wieder langsam aufthauten, da der normale Erstarrungspunkt ihrer Säfte in unserem Falle —1,7° und —0,9° war; trotzdem waren bei Zimmertemperatur beide Exemplare am folgenden Tage todt.

Dasselbe zeigen auch entgegengesetzte Versuche, und zwar, statt den Schmetterling langsam aufzuthauen, wurde die Aporia crataegi plötzlich an die Luft bei einer Temperatur von +40° gelegt, nachdem sie eine vorherige Temperatur von —8,6° hatte. Ungeachtet eines solchen raschen Aufthauens lebte der Schmetterling jedoch nach Verlauf einiger Minuten auf. Dasselbe zeigen die Versuche mit Cetonia aurata im Luftbade bei 70° (gewiss hatte Cetonia aurata diese Temperatur nicht, für uns aber ist hier die große Schnelligkeit des Aufthauens des Käfers von Wichtigkeit, welche natürlich hierbei stattfinden musste).

Aus diesen Versuchen ist abermals die Bestätigung des oben gezogenen Schlusses bezüglich der Bedingungen für das Eintreten des Todes der Insekten bei Abkühlung ersichtlich, und zwar:

Im ersten Falle zeigte Aporia crataegi den Sprung bei —7,2°, als sie dann bis —7,25° abgekühlt wurde, starb sie.

Im zweiten Falle war der Sprung bei —10,0°, und die Abkühlung dauerte bis —11,5°. Auch in diesem Falle starb der Schmetterling.

In den beiden Fällen war die weitere Abkühlung unter der Temperatur des Sprunges.

Im dritten Falle wurde die weitere Abkühlung nicht unter die Temperatur des Sprunges gebracht, sondern blieb auf —8,7 (—8,6) = 0,1° höher, und der Schmetterling lebte auf.

In Anbetracht der Wichtigkeit der Temperatur, bei welcher der Sprung stattfindet, für das Insektenleben, schlage ich vor, dieselbe den »kritischen Punkt« zu nennen.

Auf Grund der sich aus diesem Kapitel ergebenden Resultate zur Lösung der Frage bezüglich des Moments des Eintretens des Todes der Insekten bei Abkühlung ist es von Interesse, die Forschungen früherer Experimentatoren in dieser Richtung von dem neuen Gesichtspunkte aus zu beleuchten.

Im Jahre 1880 schreibt C. Semper (58) in Bezug auf diese Frage Folgendes:

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

»In Bezug auf die Fähigkeit mancher Thiere oder selbst einzelner Organe derselben, das Einfrieren zu ertragen, ohne nach dem Aufthauen das Mindeste von ihrer Lebensfähigkeit eingebüßt zu haben, liegen wohl zahlreiche Beobachtungen, aber so gut wie gar keine konsequent durchgeführte Experimentreihe vor.«

Sechs Jahre später sagt schon Rödel (54): »Es scheint mir, dass das Gefrieren des gesammten Blutes ein Hauptgrund ist, wesshalb das Gefrieren schädlich auf den thierischen Organismus wirkt.«

Zu gleichem Resultat ist auch Pouchet (49) gelangt.

Dass thatsächlich nicht alle Bestandtheile des Insektenkörpers zugleich erstarren, zeigen die Versuche Rödel's; und zwar »erstarrte zuerst der Inhalt des Darmtractus und die Gefäßschicht, nach einer Stunde (die Temperatur war mittlerweile auf —4° gesunken) erwies sich das Hautparenchym fest und zu allerletzt, nach zwei Stunden, zeigte sich die Fettschicht noch ungefroren. Erst eine Verminderung der Temperatur auf —10° brachte sie zum Gefrieren; dieselbe Behandlung führte auch den Tod der unversehrten Exemplare herbei«.

Meine Versuche zeigen, dass bei Abkühlung des Insektes bis zum kritischen Punkte und bei der darauf folgenden plötzlichen Erhöhung der Temperatur des Insektes nicht alle seine Säfte auf einmal erfrieren, sondern nach und nach bei weiterem Abkühlen zum Erstarren gebracht werden.

Die Versuche Rödel's mit der Erstarrung der Insektensäfte außerhalb des Insektenkörpers, z. B. in einem Reagensglas, zeigen, dass dieselben bei —2°, —3° erstarren.

Meine Versuche, auf Grund des Temperaturganges des Insektes, welches sich in einem kalten Luftbade befindet, zeigen, dass der normale Erstarrungspunkt der Insektensäfte bei verschiedenen Temperaturen liegt, und zwar für verschiedene Species in den Grenzen zwischen —0,8° und —8,8°.

Die Versuche Réaumur's (50), dass der Saft bei nicht geköpften und geköpften Raupen von Vanessa cardui sogar bei —15° nicht erstarrt, zeigen, dass die Überkühlung der Säfte, welche ich an anderen Insekten beobachtete, in keiner Abhängigkeit davon steht, ob das Insekt lebt oder todt ist. Analoge Versuche Rödel's (1886) mit Raupen von Smerinthus populi zeigen dasselbe.

Somit kann die Meinung Wyman's (64), dass das Insekt, um der Kälte zu widerstehen, eine innere Wärmequelle besitzen muss, nicht als richtig bezeichnet werden.

Eben so unrichtig ist auch die Behauptung Wyman's: »Welchen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

bedeutenden Schutz gegen die Kälte der Puppe ihre Decke bot, beweist der Umstand, dass der flüssige Saft, nachdem er aus der Puppe ausgepresst war, sofort erstarrte.« Freilich waren hier die Säfte der Puppe im überkühlten Zustande, und, als sie ausgepresst waren, erstarrten sie bei normalem Erstarrungspunkte der Säfte.

Eben so lässt sich der unklare Ausdruck Rödel's: »verschiedene Resistenzfähigkeit der einzelnen Entwicklungsformen gegen den Frost« durch verschiedene Grade der Überkühlung der Insektensäfte in verschiedenen Stadien erklären.

Warum die Säfteüberkühlung bei verschiedenen Arten und Entwicklungsformen verschieden ist, erkläre ich am Schlusse der gegenwärtigen Abhandlung.

Die längst von Spallanzani (59) gemachten Beobachtungen, wonach die Eier des Bombyx rubi keinen Schaden erleiden, wenn sie während dreier Stunden einer Temperatur von —50° ausgesetzt sind, zeigen, dass die Überkühlung der flüssigen Bestandtheile des Eies eine sehr niedrige Temperatur erreicht eben darum, weil diese Bestandtheile sich in einer von allen Seiten geschlossenen Decke befinden; andernfalls würde der flüssige Inhalt bei einer viel kleineren Kälte erstarrt sein, wenn er in einem offenen Gefäße stände.

Die zahlreichen Versuche verschiedener Forscher in Bezug auf das vitale Minimum gaben verschiedene Resultate bei verschiedener Dauer der Einwirkung einer gewissen niedrigen Temperatur in Folge nachstehender Umstände:

Das Insekt stirbt, wie meine Versuche es zeigen, wenn es nach der Erreichung des kritischen Punktes und der darauf stattfindenden Erhöhung der eigenen Körpertemperatur wieder bis zum kritischen Punkte (oder niedriger) abgekühlt wird.

Nehmen wir für unsere Betrachtung ein Beispiel aus den Versuchen Rödel's, und zwar seine Beobachtungen bezüglich der Musca domestica. Dieses Insekt starb bei ihm nach 5 Minuten bei —12°, nach 20 Minuten bei —8° und nach 40 Minuten bei —5°. Mir ist der kritische Punkt dieser Fliege noch nicht bekannt, wenn wir ihn aber beispielshalber als —5° annehmen und den normalen Erstarrungspunkt ihrer Säfte = —2°, so bekommen wir die folgende Vorstellung:

Als die Musca domestica in ein kaltes Bad bei —12° gelegt wurde, kühlte sie sich rasch bis —5° ab, und dann in Folge plötzlicher Erstarrung der Säfte erwärmte sie sich bis —2°, dann aber kühlte sie sich wieder bis —5° ab und später noch mehr und

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

musste folglich sterben. Im zweiten Falle, wo das Bad nur —8° hatte, dauerte die Abkühlung bis —5° und dann von —2° bis —5°, auf Grund des Gesetzes von NEWTON selbstverständlich länger, d. h. anstatt 5 Minuten, wie im ersten Falle, 20 Minuten. Im dritten Falle müsste dieser Vorgang in Folge geringerer Kälte des Bades (—5°) noch länger dauern, d. h. 40 Minuten. Man könnte sicher behaupten, dass wenn das Bad im vierten Falle nur —4° hätte, das Insekt nicht gestorben wäre, da seine Säfte nicht erstarren konnten, und folglich wäre der kritische Punkt nicht erreicht.

Was geschehen würde, wenn die in den Umständen des dritten Falles sich befindende Fliege nach Erstarrung ihrer Säfte und der darauf stattfindenden Erhöhung der eigenen Temperatur bis —2° in das Bad des vierten Falles (d. h. bei —4°) übertragen würde, ist nicht besonders leicht zu beantworten. In der That könnte sie zum zweiten Mal den kritischen Punkt (—5°) nicht erreichen, ihre Säfte aber sind nicht mehr flüssig, sondern stellen eine harte Masse dar (obgleich einige Bestandtheile ihres Körpers auch flüssig blieben, wie RÖDEL in Bezug auf die Fettschicht sagt). Nach meiner oben erwähnten Regel muss dieses Insekt in den gesagten Umständen am Leben bleiben, resp. wieder aufleben, wenn es in warme Luft gelegt würde. Wie lange kann es aber in dieser Art lethargischen Schlafes, ohne seine Lebensfähigkeit zu verlieren, verbleiben?

Diese Frage, deren Wichtigkeit ein Jeder einsehen wird, hoffe ich im laufenden Jahre für verschiedene Insekten und einige Warmblütige zu lösen. (Ich erwähne dies nur, um mir hiermit die Priorität zu bewahren.)

Es bleibt mir nunmehr noch übrig, diejenigen Fälle zu besprechen, wo einige Exemplare einer und derselben Species, in ein Luftbad von gleicher Temperatur gesetzt, nach Verlauf einer gewissen Zeit, nicht alle zugleich, sterben. Einen solchen Fall hatte POUCHET mit Engerlingen von Melolontha vulgaris, wo von fünf Exemplaren bei —14° nach Verlauf einer Stunde nur zwei Exemplare starben. Einen gleichen Fall hatte auch ich, indem von 20 Exemplaren von Aporia crataegi bei —11,4° nach 28 Minuten nur circa die Hälfte gestorben war.

Dieser Fall erklärt sich dadurch, dass verschiedene Exemplare einen verschiedenen kritischen Punkt haben, obwohl man nicht leugnen kann, dass es möglich sei, dass die Abkühlung der verschiedenen Exemplare in Folge ihrer verschiedenen Größe etc. mit ungleicher Schnelligkeit vor sich ging.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Aus dem Gesagten geht hervor, dass der Begriff vom vitalen Minimum ein komplicirter ist und außerhalb der Vorstellung vom kritischen Punkte undenkbar ist. Obgleich das vitale Minimum seiner Größe nach dem kritischen Punkte gleich kommt, so stirbt doch das Insekt erst dann, wenn es, im gegebenen Luftbade gelassen, abermals den kritischen Punkt erreicht hat.

II. Welche Faktoren beeinflussen den „kritischen Punkt" und die normale Temperatur der Säfteerstarrung der Insekten?

Es war schon aus den vorhergehenden Tabellen ersichtlich, dass der »kritische Punkt« bei verschiedenen Insekten-Arten nicht gleich ist und sogar bei verschiedenen Exemplaren einer und derselben Art in gewissen Grenzen variirt.

Wir wollen zuerst sehen, wie er bei verschiedenen Arten und verschiedenen Individuen einer und derselben Art zu variiren pflegt.

Ich lasse hier alle Beobachtungstabellen weg und bringe nur deren Resultate, wobei in der Kolumne »Differenz« diejenigen Zahlen angeführt sind, welche die Differenz zwischen dem kritischen Punkte und der Temperatur, bis zu welcher der Körper des Schmetterlings nach dem Sprunge sich erwärmt hatte, zeigen.

L fd. Nr.	Datum (neuen Stiles) 1898	Name	Der kritische Punkt	Die Temperatur stieg darauf bis	Differenz	Wurde nach dem Sprunge abgekühlt bis	Bemerkungen
		Schmetterlinge					
1	3. VI.	Aporia crataegi	— 8,0	—0,8	7,2	— 6,5	lebte auf.
2	3. VI.	» »	—10,0	—1,2	8,8	— 1,2	» »
3	3. VI.	» »	— 6,8	—1,1	5,7	—10,0	starb.
4	28. V.	» »	— 9,2	—1,4	7,8	— 9,6	»
5	10. VI.	» »	— 7,2	—1,2	6,0	— 7,25	»
6	10. VI.	» »	— 9,9	—1,2	8,7	— 7,7	»
7	29. V.	» »	—11,0	—1,7	9,3	—11,5	»
8	15. VI.	» »	—10,9	—1,1	9,8	— 1,1	lebte auf.
9	13. VI.	» »	— 6,2	—0,7	5,5	— 8,5	starb.
10	18. VI.	» »	— 8,7	—0,9	7,8	— 8,6	lebte auf.
11	17. VI.	» »	— 6,9	—0,8	6,1	— 0,9	» »
12	17. VI.	» »	— 7,9	—0,9	7,0	— 6,4	» »
13	30. IV.	Saturnia pyri ♀	— 9,4	—1,4	8,0	— 2,4	» »
14	25. IV.	» » ♂♂	—11,6	—1,1	10,5	—15,6	starb.
15	24. V.	» » ♂♂	— 9,3	—1,4	7,9	— 4,0	lebte auf.
16	27. IV.	Sphinx ligustri	— 9,3	—1,7	7,6	— 2,8	» »
17	28. IV.	» »	—13,1	—8,8	4,3	—15,2	starb.
18	5. VII.	» »	— 2,5	—1,2	1,3	— 1,6	lebte auf.
19	17. V.	Smerinthus ocellatus ♀	— 3,7	—1,2	2,5	— 9,2	starb.
20	31. V.	Phalera bucephala	—11,0	—1,4	9,6	— 2,9	»
21	4. VI.	Pieris rapae	— 8,6	—8,2	0,4	— 9,1	lebte auf.
22	6. VII.	» »	—10,7	—1,5	9,2	— 7,6	» »

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Lfd. Nr.	Datum (neuen Stiles) 1898	Name	Der kritische Punkt	Die Temperatur stieg darauf bis	Differenz	Wurde nach dem Sprunge abgekühlt bis	Bemerkungen
		Schmetterlinge					
23	6. VII.	Pieris rapae	— 9,5	—2,0	7,5	— 7,4	lebte auf.
24	21. VII.	» »	—12,0	—2,1	9,9	—10,4	starb.
25	22. VII.	» »	—	—1,3	—	— 1,4	lebte auf.
26	22. VII.	» »	—	—1,3	—	— 1,4	» »
27	4. VI.	Plusia gamma	— 7,8	—1,6	6,2	— 1,7	starb.
28	4. VI.	» »	—10,3	—2,0	8,3	— 7,0	»
29	8. VI.	Cossus cossus ♀	— 7,5	—1,0	6,5	— 6,4	lebte auf.
30	21. VI.	» »	— 8,3	—1,2	7,1	— 6,0	starb.
31	9. VI.	Vanessa cardui	— 7,0	—1,0	6,0	— 7,2	»
32	13. VI.	» »	— 4,7	—0,1	4,6	— 2,8	lebte auf.
33	6. VII.	» »	— 6,9	—0,9	6,0	— 2,8	» »
34	22. VI.	Epinephele janira ♀	— 6,8	—0,8	6,0	— 5,6	» »
35	13. VII.	Heliothis armiger	— 8,7	—1,3	7,4	— 1,4	» »
36	22. VI.	Vanessa atalanta	— 8,1	—0,8	7,3	— 1,2	» »
37	20. VII.	» »	— 8,5	—1,1	7,4	— 1,5	» »
38	23. VII.	» »	— 6,9	—1,2	5,7	— 1,3	» »
39	23. VII.	» »	— 2,1	—1,3	0,8	— 2,7	» »
40	28. VII.	Satyrus hermione ♂	— 9,0	—1,2	7,8	— 1,4	» »
41	28. VII.	Lycaena corydon ♂	— 7,2	—1,2	6,0	— 1,4	» »
42	28. VII.	» » ♂	— 7,0	—1,2	5,8	— 1,4	» »
43	28. VII.	» » ♀	— 9,0	—1,4	7,6	— 2,7	» »
44	9. VIII.	Deilephila euphorbiae	— 8,6	—1,2	7,4	— 9,2	starb.
45	5. VIII.	Papilio podalirius ♀	—12,1	—1,2	10,9	— 1,9	lebte auf.
46	21. VII.	» »	— 9,9	—1,3	8,6	— 1,3	» »
47	20. VII.	Ocneria dispar ♀	— 9,1	—1,3	7,8	— 1,7	» »
48	23. VII.	Apatura ilia v. clytia	—10,1	—1,3	8,8	— 1,8	» »
49	22. VII.	Vanessa atalanta	— 1,7	—1,3	0,4	—14,4	starb.
		Käfer					
50	21. V.	Cerambyx scopoli	— 8,6	—1,9	6,7	—11,4	»
51	5. VII.	Oryctys nasicornis ♀	— 7,7	—1,4	6,3	— 1,4	lebte auf.
52	23. VI.	Calosoma sycophanta	— 6,1	—1,1	5,0	— 1,3	» »
53	13. VII.	Cetonia aurata ♂	— 4,5	—1,7	2,8	— 1,8	» »
54	13. VII.	» » ♀	— 5,5	—1,9	3,6	— 5,9	starb.
55	15. VII.	» »	— 6,0	—1,8	4,2	— 2,1	lebte auf.
56	15. VII.	» »	— 7,1	—2,5	4,6	— 2,5	» »
57	15. VII.	» »	— 7,4	—2,8	4,6	— 2,8	» »
58	15. VII.	» »	— 7,0	—1,9	4,1	— 3,4	» »
59	7. VII.	» »	— 3,3	—1,2	2,1	—	—
60	7. VII.	» »	— 3,8	—1,1	2,7	— 1,2	lebte auf.
61	8. VII.	» »	— 5,3	—1,3	4,0	— 1,8	» »
62	8. VII.	» »	— 6,1	—1,4	4,7	— 5,3	» »
63	8. VII.	» »	— 6,7	—1,2	5,5	—	—
64	9. VII.	» » ♂	— 6,3	—1,2	5,1	— 2,1	lebte auf.
65	9. VII.	» » ♀	— 5,9	—1,5	4,4	— 1,6	» »
66	9. VII.	» » ♂	— 5,2	—1,3	3,9	— 1,3	» »
67	9. VII.	» » ♂	— 7,0	—1,3	5,7	— 1,3	» »
68	9. VII.	» »	— 6,3	—1,6	4,7	— 2,9	» »
69	8. VII.	Clytus 6-punctatus	— 7,2	—3,4	3,8	— 5,1	» »
70	7. VII.	Carabus cancellatus	— 2,8	—1,4	1,4	— 2,8	» »
71	7. VII.	Geotropus vernalis	— 6,5	—1,4	5,1	— 1,8	» »
72	7. VII.	» »	— 6,6	—1,5	5,1	—	—
		Puppen					
73	15. VII.	Saturnia spini	— 9,3	—1,3	8,0	— 1,3	lebte auf.
		Raupen.					
74	4. VI.	Saturnia spini	— 7,3	—0,9	6,4	— 1,0	» »

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Das in dieser Tabelle angeführte Material erlaubt uns schon jetzt, einige Schlussfolgerungen zu ziehen.

Aus meinem Beobachtungstagebuche ist ersichtlich, dass die Nrn. 10, 11, 12 des Schmetterlings Aporia crataegi sofort nach ihrem Einfangen im Garten der Hochschule der Untersuchung unterworfen wurden, während die Nrn. 5, 6, 7 und 8 dieses Schmetterlings nach dem Einfangen vier Tage ohne Nahrung in einer Netzkiste verweilten, bevor die Untersuchung begann. Die weiter unten angeführte Tabelle enthält die Daten für Aporia crataegi der ersten und zweiten Kategorie, dabei bedeutet T den kritischen Punkt und E die Temperatur, bis zu welcher der Körper des Schmetterlings nach dem Sprunge stieg, d. h. mit anderen Worten, dass E den normalen Erstarrungspunkt der Säfte bedeutet:

Aporia crataegi.

I. Kategorie			II. Kategorie		
Nr.	T	E	Nr.	T	E
10	—8,7°	—0,9°	5	— 7,2°	—1,2°
11	—6,9	—0,8	6	— 9,9	—1,2
12	—7,9	—0,9	7	—11,0	—1,7
Mittel	—7,8°	—0,9°	8	—10,9	—1,1
			Mittel	— 9,8°	—1,3°

Hier fällt uns sofort die Differenz der Zahlen der I. und II. Kategorie auf, wie für T so auch für E.

T bei der ersten Kategorie liegt im Durchschnitt um 2° höher als bei der zweiten; ebenfalls erstarren die Säfte bei der ersten Kategorie Schmetterlinge im Durchschnitt bei —0,9° und bei der zweiten bei —1,3°.

Die Erklärung dieser Erscheinung ist selbstverständlich in dem Umstande zu suchen, dass der Schmetterling, welcher in unserem Falle vier Tage ohne Nahrung bleibt, einen Theil des Wassers seiner Säfte verliert, wobei der Saft sich verdichtet, und folglich auch bei einer niedrigeren Temperatur erstarren wird (d. h. anstatt bei —0,9° im Durchschnitt bei —1,3°).

Warum die Überkühlung eines solchen verdichteten Saftes eine niedrigere Temperatur (T) als bei den Schmetterlingen der I. Kategorie erreicht, ist vorläufig noch unerklärlich; die Thatsache ist aber unzweifelhaft.

Der Einfluss des Hungers auf die Größen T und E bei den Insekten ist noch sichtbarer bei dem Käfer Cetonia aurata.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Diese Käfer wurden im Germankloster (15 Kilometer von Sophia) am 22. Juni/4. Juli eingefangen; in Sophia angelangt, wurden sie in einer Netzkiste ohne Nahrung gelassen. Die Versuche mit denselben begannen am 7. Juli (n. St.) und dauerten bis 15. Juli. Somit erhalten wir fünf folgende Kategorien immer mehr ausgehungerter Exemplare:

Cetonia aurata.

Kategorie	Laufende Nummer	Datum	T	E	Mittel für T	Mittel für E
I.	59	7. VII.	−3,3	−1,2	−3,5	−1,1
	60	7. VII.	−3,8	−1,1		
II.	61	8. VII.	−5,3	−1,3	−6,0	−1,3
	62	8. VII.	−6,1	−1,4		
	63	8. VII.	−6,7	−1,2		
III.	64	9. VII.	−6,3	−1,2	−6,1	−1,4
	65	9. VII.	−5,9	−1,5		
	66	9. VII.	−5,2	−1,3		
	67	9. VII.	−7,0	−1,3		
	68	9. VII.	−6,3	−1,6		
IV.	53	13. VII.	−4,5	−1,7	−5,0	−1,8
	54	13. VII.	−5,5	−1,9		
V.	55	15. VII.	−6,0	−1,8	−6,9	−2,3
	56	15. VII.	−7,1	−2,5		
	57	15. VII.	−7,4	−2,8		
	58	15. VII.	−7,0	−1,9		

Hieraus ist deutlich zu ersehen, dass je länger der betreffende Käfer ohne Nahrung bleibt, desto niedriger die Erstarrungstemperatur (E) seiner Säfte ist; parallel sinkt auch der kritische Punkt (T). Eine Ausnahme für T zeigt scheinbar die Gruppe IV, da aber in derselben nur zwei Käfer enthalten sind, könnten dieselben zufälliger Weise besondere Veränderungen in ihren Organismen gehabt haben.

Somit erscheint als einer der Hauptfaktoren in der Veränderung des kritischen Punktes und des normalen Erstarrungspunktes der Säfte bei den Insekten der Nahrungsmangel.

Es ist von Interesse hier zu bemerken, dass Newport (14) die Körpertemperatur der Insekten mit ungenügender Nahrung niedriger fand als bei Insekten mit normaler Ernährung.

Dieselbe Thatsache wurde auch von Girard (20) konstatirt, indem er sagt, dass bei den Erdbienen mit dem Mangel an Honig die eigene Körpertemperatur sinkt. Außerdem bemerkte er, dass Bombus terrestris im Frühling fast zweimal so warm ist als im Herbst (obgleich diese letzte Thatsache dadurch erklärt werden kann, dass das

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Insekt im Frühling sich mehr bewegt als im Herbst, und nicht durch Mangel an Nahrung im Herbst).

Es wird hier gerade am Platze sein, die Größen für T und E bei einer und derselben Insektenart, aber verschiedenen Geschlechts zu vergleichen.

Girard (20) fand bereits, dass im Allgemeinen männliche Exemplare eine höhere Temperatur als die weiblichen einer und derselben Species bei gleichen allen anderen Umständen aufweisen, besonders Schmetterlinge aus der Familie Bombyces, Aglia tau etc. (Bei der Erdbiene, ebenfalls bei verschiedenen Arten Phalaenides, Noctuidae und Libellulidae wird dies nicht beobachtet.)

Diesen Umstand erklärt er dadurch, dass die Muskeln der männlichen Exemplare kräftiger sind, als diejenigen der weiblichen, und dass im Allgemeinen die männlichen Exemplare kleiner sind als die weiblichen[1] und demnach mehr Wärme entwickeln können.

Ich bringe hier meine Beobachtungen der Größen T und E bei Lycaena corydon und Cetonia aurata, welche aus der Tabelle im Anfang dieses Kapitels entnommen sind:

Nr.	Datum			T	E	Bemerkungen
41	28. VII.	Lycaena corydon	♂	—7,2	—1,2	3 Tage ohne Futter.
42	28. VII.	» »	♂	—7,0	—1,2	
43	28. VII.	» »	♀	—9,0	—1,4	
53	13. VII.	Cetonia aurata	♂	—4,5	—1,7	9 Tage ohne Futter.
54	13. VII.	» »	♀	—5,5	—1,9	
64	9. VII.	Cetonia aurata	♂	—6,3	—1,2	5 Tage ohne Futter.
66	9. VII.	» »	♂	—5,2	—1,3	
67	9. VII.	» »	♂	—7,0	—1,3	
65	9. VII.	» »	♀	—5,9	—1,5	

[1] Meine Messungen der Spannweite (d) der bulgarischen Schmetterlinge aus der Familie Satyridae zeigten, dass diese Größe bei ♀ Exemplaren bedeutender ist als bei den ♂ und zwar (Durchschnitt von 10 Exemplaren) bei:

Melanargia galathea	um 9,4%
Satyrus hermione	» 3,1
» briseis	» 12,9
» semele	» 7,4
» statilinus	» 7,8
Pararge maera	» 1,9
» megera	» 9,9
Epinephele janira	» 8,8
» tithonus	» 14,8
Coenonympha pamphilus	» 3,9

(»Über die Größe der bulgarischen Schmetterlinge im Vergleiche mit denjenigen von West-Europa.« Periodische Zeitschr. LVII. 1898. [Bulgarisch.]).

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Hieraus ist ersichtlich, dass bei den angeführten Insekten der Vergleich nur für eine und dieselbe Species und bei gleichen Umständen gemacht werden kann; daraus geht hervor, dass die Größe T bei den männlichen und weiblichen Exemplaren scheinbar sich keiner Regel unterwirft[1]; für E jedoch giebt es folgende Regel: bei männlichen Exemplaren einer und derselben Species und bei sonst gleichen Umständen ist der normale Erstarrungspunkt ihrer Säfte höher, als bei den weiblichen Exemplaren.

Wir wollen nun sehen, in welchem Verhältnis die Größen T und E zu dem Gesammtgewichte des Insektes (P) und zu dem Gewichte der Säfte desselben (M) stehen.

Für die Bestimmung des Gewichts der Säfte (M), welche in einem Insekt enthalten sind, wurde das betreffende Insekt, nachdem es aus dem Eisbade, wo die Größen T und E ermittelt wurden, genommen, mittels einer empfindlichen Waage mit einer Genauigkeit bis zu 0,001 Gramm abgewogen und nachher am selben Tage in ein Luftbad bei 120° auf ein bis drei Stunden, je nach der Größe des Insektes, gelegt. Die Differenz im Gewicht vor und nach dem Austrocknen ergab die Größe M.

In den angeführten Tabellen sind die Exemplare in absteigenden Stufen in Bezug auf die Größe E angeführt; dabei bedeuten die Nr. die Insekten aus den vorherigen Tabellen.

Aporia crataegi.

Nr.	T	E	M	P	$q = \frac{M}{P}$
7	—11,0	—1,7	0,065	0,120	0,54
4	— 9,2	—1,4	0,098	0,175	0,56
2	—10,0	—1,2	—	—	—
5	— 7,2	—1,2	0,090	0,145	0,62 ?
6	— 9,9	—1,2	0,155	0,260	0,60 ?
3	— 6,8	—1,1	—	—	—
8	—10,9	—1,1	0,135	0,215	0,63 ?
12	— 7,9	—0,9	0,155	0,270	0,58
10	— 8,7	—0,9	—	0,245	—
1	— 8,0	—0,8	—	—	—
11	— 6,9	—0,8	0,140	0,230	0,61
9	— 6,2	—0,7	0,113	0,183	0,618

Wenn wir die Größen E mit q vergleichen, finden wir, dass die Spalte unter q in steigender Reihe begriffen ist. Eine Ausnahme

[1] Obwohl bei Lycaena corydon und Cetonia aurata der ersten Gruppe T mit dem Sinken von E ebenfalls sinkt.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

weisen scheinbar die Nrn. 5, 6 und 8 auf. Aus der vorhergehenden Tabelle ist jedoch ersichtlich, dass diese Exemplare eben diejenigen waren, welche den Versuchen erst dann unterworfen waren, nachdem sie in der Netzkiste 4 Tage ohne Nahrung verblieben. Somit müssen wir diese Nummern als zu einer andern Kategorie gehörig weglassen.

Auf diese Weise erhalten wir eine bemerkenswerthe Abhängigkeit, und zwar nimmt mit der Abnahme der Größe E die Größe q zu, wenn die Versuche unter sonst gleichen Umständen stattfinden.

Nehmen wir nun Exemplare des Käfers Cetonia aurata.

Cetonia aurata.

Nr.	T	E	M	P	$q = \frac{M}{P}$
57	—7,4	—2,8	0,123	0,360	0,34
56	—7,1	—2,5	0,130	0,318	0,41
54	—5,5	—1,9	0,162	0,277	0,59
58	—7,0	—1,9	0,183	0,315	0,58
55	—6,0	—1,8	0,243	0,398	0,61
53	—4,5	—1,7	—	0,325	—
68	—6,3	—1,6	—	0,380	—
65	—5,9	—1,5	0,283	0,460	0,62
62	—6,1	—1,4	0,297	0,452	0,65
61	—5,3	—1,3	—	—	—
66	—5,2	—1,3	0,297	0,460	0,65
67	—7,0	—1,3	—	—	—
64	—6,3	—1,2	—	0,372	—
63	—6,7	—1,2	0,282	0,435	0,65
59	—3,3	—1,2	—	0,475	—
60	—3,8	—1,1	0,340	0,505	0,67

Auch hier steigt die Größe q bei Verminderung der Größe E.

Somit kommen wir zu dem folgenden Schlusse:

Je größer das Verhältnis q des Säftegewichts des Insektes zum Gesammtgewichte seines Körpers (für verschiedene Exemplare einer und derselben Art) ist, desto höher ist der normale Erstarrungspunkt der Säfte des Insektes.

Die mathematische Untersuchung dieser Abhängigkeit konnte jedoch zu keiner einfachen Formel führen, da q weder lineäre noch Quadratfunktion von E ist.

Fig. 5 (p. 598) zeigt die Abhängigkeit des E von q für Cetonia aurata. Aus derselben ist ersichtlich, dass Nr. 53, 68 und 64, für welche das Gewicht P bekannt ist, und zwar: 0,325, 0,380 und 0,372, successiv q gleich 0,61, 0,625 und 0,66 haben müssen, oder mit anderen Worten auf Grund der Formel:

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

$$q = \frac{M}{P};\ M = P \cdot q$$

müssen ihre Säfte wiegen:

$$M = 0{,}325 \cdot 0{,}61 = 0{,}198 \text{ g}$$
$$M_1 = 0{,}380 \cdot 0{,}625 = 2{,}237 \text{ g}$$
$$M_2 = 0{,}372 \cdot 0{,}66 = 0{,}245 \text{ g}.$$

Künftige Versuche sollen die Richtigkeit dieser Abhängigkeit bestätigen.

Wenden wir uns nun zur Größe T, indem wir uns auf die letzten zwei Tabellen beziehen.

Eine genaue Abhängigkeit der Größe T von E oder q ist nicht zu bemerken, eine Tendenz besteht jedoch, dass T mit E parallel gehen; so z. B. in der Tabelle für Cetonia aurata geht E abwärts; eben so gehen die Größen für T bei wenigen Ausnahmen ebenfalls abwärts. Dasselbe bezieht sich auch auf die Tabelle für Aporia crataegi.

Die folgende Tabelle enthält eine Aufstellung derselben Größen für verschiedene Arten, wobei die Größe E in herabsteigender Stufe folgt:

Name	Nr.	T	E	M	P	$q = \frac{M}{P}$
Pieris rapae	21	— 8,6	—8,2	0,045	0,070	0,64
Clytus 6-punctatus	69	— 7,2	—3,4	0,038	0,075	0,51
Plusia gamma	28	—10,3	—2,0	0,062	0,087	0,71
Cerambyx scopoli	50	— 8,6	—1,9	0,006	0,400	0,015
Geotrupes vernalis	72	— 6,6	—1,5	0,298	0,485	0,62
» » ♂	—	—13,3	—1,5	0,032	0,062	0,51
» »	71	— 6,5	—1,4	0,260	0,445	0,58
Carabus cancellatus	70	— 2,8	—1,4	0,182	0,235	0,77
Saturnia pyri ♂	15	— 9,3	—1,4	0,820	1,450	0,57
Phalera bucephala	26	—11,0	—1,4	0,205	0,275	0,71
Aporia crataegi	4	— 9,2	—1,4	0,098	0,175	0,56
Ocneria dispar ♀	—	— 9,1	—1,3	0,304	0,428	0,71
Pieris rapae ♀	—	— 6,7	—1,3	0,046	0,068	0,68
Cossus cossus	30	— 8,3	—1,2	0,578	0,333	0,43
Calosoma sycophanta	52	— 6,1	—1,1	0,420	0,890	0,47
Vanessa cardui	31	— 7,0	—1,0	0,040	0,105	0,38
Saturnia spini (Raupe)	73	— 7,3	—0,9	2,275	2,565	0,88
Vanessa atalanta	36	— 8,1	—0,8	0,133	0,200	0,66
Vanessa cardui	32	— 4,7	—0,1	0,070	0,105	0,66
Lycaena icarus ♂	—	— 1,6	—1,0	0,018	0,030	0,60
Deilephila euphorbiae ♂	—	— 8,6	—1,2	0,272	0,595	0,55

Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, dass T in keinem Abhängigkeitsverhältnis zu q steht. Da jedoch die vorhergehenden Tabellen für Cetonia aurata und nachher für Aporia crataegi zeigen, dass zwischen q und E eine nahe Abhängigkeit besteht, so folgt

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

hieraus, dass diese Abhängigkeit nur bei einer und derselben Art (wenn auch verschiedenen Exemplaren) besteht und auf alle Arten Insekten im Allgemeinen nicht ausgedehnt werden kann. Ich möchte sagen, dass jede Art Insekten eine eigene besondere Abhängigkeit zwischen q und E hat. Künftige Forschungen werden diese Frage zu lösen haben.

Hier ist es von Interesse, die Versuche Girard's (20) über die Temperatur der Insekten einer und derselben Species in Abhängigkeit von ihrem Körpergewicht anzuführen.

Ich gebe hier im Auszug seine Beobachtungen (mit Hilfe eines Differentialthermometers) über Bombus terrestris.

	t der Luft:	Temperatur-überschuss:	Gewicht:
21. April 1863	16,6°	3,85	0,729 g
22. » »	16,4	3,05	0,723 g
24. » »	16,4	4,35	0,700 g
27. » »	15,3	3,20	0,750 g
28. » »	15,6	2,65	0,690 g
29. » »	13,7	4,55	0,686 g
30. » »	12,4	1,20	0,643 g

Nachher starb das Insekt.

Hieraus ist ersichtlich, dass bei diesem Insekt in dem Maße, als sein Körper leichter wurde, im Allgemeinen auch seine Körpertemperatur sank, obwohl in den Beobachtungen einige Unregelmäßigkeiten zu bemerken sind.

Seine Versuche mit Hilfe eines Thermo-Elementes mit Gryllus campestris sind besser ausgefallen und zwar:

	t der Luft:	t:		Gewicht:
27. Mai 1863	16,3°	21,0	(Batterie B)	1,038 g
2. Juni »	20,0	33,0	(Batterie A)	1,020 g
3. » »	22,6	44,0	»	1,033 g
9. » »	16,7	13,0	»	0,939 g

Hieraus ist ersichtlich, dass je kleiner das Gewicht des Insektes ist, desto niedriger seine Temperatur ist. Es ist selbstverständlich, dass man die mit der Batterie B gewonnenen Resultate mit denjenigen mit der Batterie A nicht vergleichen darf.

Hier müssen wir nunmehr einen Umstand aufklären, welcher

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

die Größen E und T beeinflusst und zwar, wie sich diese Größen verändern, wenn das Erstarrungsverfahren einige Mal wiederholt wird.

Ich bringe hier einige Experimente in dieser Hinsicht.

9./21. Juli. Papilio podalirius.

Der Versuch begann um $10^h47'$. Um $11^h09'$ erreichte der Schmetterling die Minimaltemperatur von $-9{,}9°$, wonach der plötzliche »Sprung« der Temperatur stattfand, wobei die letztere bis $-1{,}3°$ stieg. Somit ist in diesem Falle $T = -9{,}9°$ und $E = -1{,}3°$. Der Schmetterling wurde sofort nachher aus dem Eisbade genommen und bei Zimmertemperatur gelassen. Er lebte auf.

Am folgenden Tage um $9^h40'$ wurde der Schmetterling abermals in das Eisbad gelegt und zeigte nach Verlauf von $2^1/_2$ Stunden, und zwar um $12^h10'$, als ich mit dem Versuche schließen wollte, den Temperatursprung bei $-15{,}7°$, wobei die Körpertemperatur bis $-2{,}0°$ stieg. Folglich war hier $T = -15{,}7°$ und $E = -2{,}0°$.

Am selben Tage Nachmittags, als der Schmetterling wieder aufgelebt war, wurde um $2^h50'$ der dritte Versuch veranstaltet, welcher bis $3^h37'$ dauerte. Der Schmetterling zeigte jedoch keinen »Sprung« seiner Temperatur, wie aus folgender Tabelle ersichtlich, die ich hier abgekürzt anführe.

10./22. Juli 1898. Papilio podalirius.

Stunde	Stromstärke $= n$	Stunde	Stromstärke $= n$	Stunde	Stromstärke $= n$	Stunde	Stromstärke $= n$
$2^h52'$	163,0	$3^h00'$	183,1	$3^h08'$	217,5	$3^h20'$	254,0
53	180,0	01	184,3	09	225,0	23	261,2
54	179,4	02	186,1	10	231,2	27	264,8
55	179,6	03	188,4	11	236,2	32	263,5
56	180,4	04	192,0	12	239,6	34	265,9
57	181,1	05	196,4	13	242,3	36	268,0
58	181,8	06	201,6	14	243,8	37	268,3
59	182,6	07	209,5	15	246,2	—	—

In dieser Tabelle ist nicht die Temperatur des Schmetterlings angegeben, sondern die ihr entsprechende Stärke des thermo-elektrischen Stromes ($k = 7{,}5$; $t_0 = 22{,}4°$). Hieraus ist zu ersehen, dass die Stromstärke (n) Anfangs plötzlich von 163,0 auf 180,0 stieg, nachher verlangsamte sich das Steigen, von 3 Uhr aber ab wuchs der Strom immer rascher und rascher, zeigte jedoch keinen »Sprung«. Die Thatsache, dass der Strom um $2^h54'$ schwächer als

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

um $2^h53'$ war, zeigt, dass hier eine Entwicklung latenter Wärme stattfand, d. h. das Erfrieren der Säfte des Insektes, wobei nach der Berechnung $n = 180{,}0 - 1{,}6°$ entspricht und $n = 179{,}4$ gleich $-1{,}5°$ ist. Die Stromstärke stieg nachher fast nicht, weil die Temperatur ständig bei $-1{,}6°$ verblieb. Als jedoch der ganze Saft endlich erstarrte, begann die Temperatur (d. h. die Stromstärke n) rasch zu steigen und zwar in Folge der Abkühlung des erstarrten Saftes, welcher keine latente Wärme mehr abgab. Somit ist hier $T = -1{,}6°$ und $E = -1{,}5°$.

Wir haben folglich:

Versuch	T	E
I.	— 9,9°	—1,3°
II.	—15,7	—2,0
III.	— 1,6	—1,5

Das heißt, nach dem zweiten Erstarren des Schmetterlings sanken sein E sowie sein T. Bei dem dritten Versuche fand die Säfteerstarrung fast ohne Überkühlung statt, d. h. normal.

13./25. August 1898. Pieris rapae ♀.

Das Exemplar wurde am selben Tage eingefangen und zeigte: $T = -6{,}7°$ und $E = -1{,}3°$. Aus dem Eisbade genommen und bei Zimmertemperatur gelassen, lebte es auf nach Verlauf von 3 Minuten (da es nach stattgehabter Temperaturerhöhung nach dem Sprunge nur bis $-2{,}1°$ abgekühlt wurde) und begann zu fliegen.

Am Nachmittage, $3^1/_4$ Stunde nach dem ersten Versuche, wurde der Schmetterling wieder ins Eisbad gelegt und hatte folgenden Temperaturgang seines Körpers (hier wird anstatt der Temperatur die Stärke des thermo-elektrischen Stromes $= n$ angegeben, wobei $t_0 = 21{,}5°$ und $k = 7{,}5°$ ist):

Stunde	n	Stunde	n	Stunde	n	Stunde	n
$2^h45'$	153,0	$2^h47^1/_2'$	179,0	$2^h50'$	171,2	$2^h53'$	173,8
$45^1/_2$	161,5	$47^3/_4$	171,0	$50^1/_2$	171,8	54	176,2
46	170,0	48	170,0	51	172,0	55	180,0
$46^1/_2$	176,5	49	170,5	$51^1/_2$	172,4	56	186,0
47	178,0	$49^1/_2$	171,0	52	173,0	57	194,0

Als n 201 erreichte, wurde der Schmetterling aus dem Bade genommen ($n = 201$ entspricht $-5{,}3°$). Um $2^h47^1/_2'$ fand der Tem-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

peratursprung statt, da n von 179,0 bis 171,0 gesunken ist. Die erste Zahl entspricht $T = -2{,}4°$, die zweite $E = -1{,}2°$.

Also haben wir:

Versuch	T	E
I.	−6,7°	−1,3°
II.	−2,4	−1,2

d. h. dass beim zweiten Versuche der Schmetterling keine so große Überkühlung seiner Säfte zeigte wie beim ersten.

27. April 1898. Sphinx ligustri

wurde um 4 Uhr ins Eisbad gelegt und um 7 Uhr Abends, nachdem er −6,7° erreicht hatte, in ein Bad bei 0° übertragen, in welchem er die ganze Nacht verblieb. Morgens um 8 Uhr lebte er auf und wurde abermals in ein kaltes Bad gelegt. Um ca. $9^1/_2$ Uhr zeigte er $T = -9{,}3°$ und $E = -1{,}7°$. Nachdem die Temperatur des Schmetterlings −2,8° erreicht hatte, wurde er bei Zimmertemperatur gelassen und lebte um 11 Uhr auf. Abermals ins Eisbad gelegt, zeigte er nach 40 Minuten $T = -13{,}1°$ und $E = -8{,}8°$, und da er nachher bis −15,2° abgekühlt wurde, konnte er nicht mehr zum Leben gebracht werden.

Somit haben wir:

Versuch	T	E
I.	− 9,3°	−1.7°
II.	−13,1	−8,8

28. Juli / 9. August 1898. Deilephila euphorbiae

wurde um 11 Uhr ins Eisbad gelegt und zeigte um $12^1/_4$ Uhr $T = -8{,}6°$ und $E = -1{,}2°$. Nachher, als die Temperatur des Schmetterlings = −9,2° war, wurde er aus dem Bade genommen, konnte aber nicht wieder aufleben. Um $2^1/_2$ Uhr wurde er abermals ins Eisbad gelegt und zeigte um 3 Uhr $T = -8{,}8°$ und $E = -1{,}1°$.

Wir haben folglich:

Versuch	T	E
I.	−8,6°	−1,2°
II.	−8,8	−1,1

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Wenn wir nun diese kleinen Tabellen neben einander stellen, erhalten wir:

Name		I. Einfrieren	II. Einfrieren	III. Einfrieren
Papilio podalirius	T	—9,9°	—15,7°	—1,6°
	E	—1,3	— 2,0	—1,5
Pieris rapae	T	—6,7	— 2,4	—
	E	—1,3	— 1,2	
Sphinx ligustri	T	—9,3	—13,1	—
	E	—1,7	— 8,8	
Deilephila euphorbiae	T	—8,6	— 8,8	—
	E	—1,2	— 1,1	

Hieraus ist ersichtlich, dass beim zweiten Einfrieren der »Sprung« der Temperatur des Schmetterlingskörpers gewöhnlich bei einer niedrigeren Temperatur stattfindet als beim ersten Male; nachher aber, bei weiteren Wiederholungen des Einfrierens, äußert sich die Erscheinung der Überkühlung nicht mehr so scharf. Bei schwächeren Schmetterlingen (wie z. B. Pieris rapae) ist die Überkühlung schon beim zweiten Einfrieren nicht mehr so stark. Was die Normaltemperatur der Säfteerstarrung (E) anbelangt, so bleibt dieselbe fast konstant auch beim II. Einfrieren oder sinkt.

III. Analogie der Erscheinungen, welche man bei der Abkühlung der Insekten beobachtet, mit denselben Erscheinungen bei den Pflanzen.

Bei diesen Versuchen blieb die Anordnung der Apparate dieselbe wie früher, nur wurde anstatt des Insektes ein Stückchen vom Stengel einer beliebigen Pflanze genommen, in welches das elektrische Thermometer hineingesteckt wurde.

Zuerst wurde der Versuch mit einem frischen Stückchen Stengel von Malva sylvestris vorgenommen. Seine Länge war ca. 20 mm und seine Haut (Epidermis) wurde nicht abgezogen. Die folgende Tabelle enthält die Ergebnisse der Beobachtungen; hier ist anstatt der Temperaturgrade die Stärke des thermo-elektrischen Stromes angeführt ($k = 7{,}5$; $t_0 = 19{,}5°$. Für die Luft im Inneren des Bades ist $k' = 2{,}5$; $t'_0 = 20{,}0°$):

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

19. 31. Mai 1898. Malva sylvestris.

Stunde	n für die Pflanze	n für die Luft im Bade	Bemerkung	Stunde	n für die Pflanze	n für die Luft im Bade	Bemerkung
4h05′	21,0	61,0		4h27′	166,0	80,5	Der »Temperaturen-sprung«.
6	44,0	61,5		28	163,5	83,0	
7	64,0	62,1		29	163,4	—	
8	81,0	62,8		30	163,3	84,0	
9	95,0	—		31	162,5	85,0	
10	107,3	63,0		32	163,0	85,0	
12	126,3	—		33	163,0	—	
13	133,5	63,0		34	163,0	86,0	
14	140,3	—		35	163,0	—	
15	147,2	66,2		36	163,0	—	
16	153,1	67,2		37	163,0	86,1	
17	159,0	—		38	163,1	—	
18	163,5	68,0		39	163,2	—	
19	168,0	—		40	163,6	86,3	
20	172,0	70,8		41	164,0	—	
21	175,4	—		42	164,3	86,5	
22	178,8	72,0		43	164,6	—	
23	182,0	71,8		44	164,9	86,3	
24	185,0	—		45	165,3	—	
25	187,8	73,0		46	165,5	86,2	
26	191,3	78,5	Die niedrigste Überkühlungstemperatur.	5h38	226,3	80,0	

Hieraus ist zu ersehen, dass die Pflanze, sich allmählich abkühlend, um 4h26′ die Minimaltemperatur von — 6,1° erreichte (der Strom $n = 191{,}3$ entspricht — 6,1°), wonach um 4h27′ die Temperatur der Pflanze plötzlich bis — 2,6° stieg ($n = 166$ entspricht — 2,6°) und fast unveränderlich während einer $^1/_2$ Stunde blieb. Um 5h38′ war die Temperatur der Pflanze — 10,8° (d. h. $n = 226{,}3$). Die Lufttemperatur im Bade von 4h27′ bis 5h38′ schwankte zwischen — 12° und — 14°.

Somit wird bei dieser Pflanze dieselbe Überkühlung beobachtet, welche wir bei den Insekten hatten, eben so auch der rapide Temperatur-»Sprung«.

Die Pflanze wog vor dem Versuche 1,575 g, nachdem sie aber in einem Luftbade bei 120° ausgetrocknet wurde, war ihr Gewicht 0,160 g, d. h. ihr Saft wog 1,415 g. Hieraus $1{,}415 : 1{,}575 = 0{,}90 = q$.

Nachher wurden diese Versuche mit dem Stengel einer anderen Pflanze gemacht, und zwar:

17. 29. Juli. Euphorbia spec.

Das Gewicht des Stengels vor dem Versuche war 0.325 g. Die Pflanze wurde sehr langsam abgekühlt und erwärmte sich, nachdem

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

sie die Temperatur von —5,0° erreicht hatte, plötzlich bis —2,0°. Zwei Minuten nach diesem »Sprunge« wurde sie herausgenommen und auf $1^1/_2$ Stunden bei Lufttemperatur gelassen.

Darauf wurde dasselbe Stückchen Stengel noch einmal dem Erfrieren unterworfen und zeigte $T = -6{,}5°$ und $E = -2{,}0°$.

Nach Verlauf einer halben Stunde wurde dieselbe Pflanze dem Erfrieren zum dritten Male unterworfen und zeigte $T = -7{,}6°$ und $E = -1{,}9°$.

Wir haben folglich:

Versuch	T	E
I.	—5,0	—2,0
II.	—6,5	—2,0
III.	—7,6	—1,9

d. h.: je öfter eine und dieselbe Pflanze dem Erfrieren unterworfen wird, bei desto niedrigerer Temperatur erstarren ihre Säfte. Der normale Erstarrungspunkt bleibt dabei ständig.

Somit sind auch hier, wie bei den Insekten, der normale Erstarrungspunkt der Säfte eben so wie die minimale Temperatur, bis zu welcher die Überkühlung stattfindet, bei verschiedenen Arten nicht gleich, und zwar:

Bei Euphorbia $E = -2{,}0°$ und bei Malva sylvestris $E = -2{,}6°$. Bei der ersten Pflanze ist $T = -5{,}0°$, bei der zweiten $T = -6{,}1°$.

IV. Physikalische Versuche, das künstliche Hervorrufen der Erscheinungen betreffend, welche man beim Abkühlen der Insekten und Pflanzen beobachtet.

Zuerst wurden Versuche mit dem Erstarren des zellenlosen Protoplasmas gemacht. Dazu wurde der aus der Pflanze ausgepresste Saft durch gewöhnliche Leinwand filtrirt und in ein kleines Probirgläschen gegossen und verkorkt mit einem Pfropfen, durch welchen ein Quecksilberthermometer mit $^1/_{10}°$-Theilungen gesteckt wurde. Das Probirgläschen wurde in ein Gefäß gestellt, welches gestoßenes Eis, gemischt mit Salz und Spiritus, enthielt. Die Versuche wurden mit dem Protoplasma der Pflanze und dem Safte einer Birne gemacht.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

13./25. Juli. Protoplasma einer Cactus-Pflanze.

Stunde	$t°$	Bemerkungen	Stunde	$t°$	Bemerkungen
9h38′	9,1°	Reines Eis.	10h00′	— 5,9°	
39	8,4		01	— 6,9	
40	7,8		02	— 8,0	
41	7,4		03	— 9,2	
42	7,0		04	—10,1	
52½	—0,8	Eis + Spiritus.	05	—10,6	
53	—1,1		06	—11,0	
53½	—1,4		07	—11,3	
54	—1,7		08	—11,4	
55	—2,2		09	—11,7	
55½	—2,4		10	—11,8	
56	—2,7		11	—11,9	
56½	—3,0		12	—11,9	Eis + Spiritus + Kochsalz.
57	—3,4		16	—12,5	
58	—4,2		18	—12,8	
59	—5,0		19	—13,0	

24. Juli / 5. August. Saft einer Birne.

Stunde	$t°$	Stunde	$t°$
11h58′	+2,4	12h06′	—3,8
59	0,0	7	—4,0
12h00	—1,5	8	—4,2
01	—2,5	9	—4,5
02	—3,2	10	—4,7
03	—3,5	11	—5,0
04	—3,4	12	—5,3
05	—3,55		

Die erste dieser Tabellen zeigt keine Unregelmäßigkeiten im Gange der Temperatur, d. h. die Safterstarrung ging hierbei regelmäßig vor sich ohne jedwede Überkühlung in der Pflanzen- oder Thierzelle.

Die zweite Tabelle zeigt ebenfalls einen regelmäßigen Gang, nur ist um 12h04′ die Temperatur anstatt zu fallen, um 0,1° gestiegen. Dieser Umstand aber konnte auch von den im Safte befindlichen, noch nicht zerstörten Zellen herrühren. Jedenfalls werden hier im Gange der Temperatur keine heftigen Sprünge beobachtet, und folglich kann die Ursache der bei den Insekten beobachteten Überkühlung nicht mit den alleinigen Eigenschaften der Säfte erklärt werden.

Um den Umständen, unter welchen die Erstarrung der Insekten-(oder Pflanzen-)Säfte stattfindet, näher zu kommen, goss ich den Saft einer Birne in ein kleines poröses Thongefäß und verkorkte es mit einem Kautschukstöpsel, durch welchen ein Quecksilberthermometer gezogen war. Das Gefäß war ganz voll mit Saft und seinerseits

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

in ein mit einem Stöpsel zugedecktes Glas gestellt, welches dann in gestoßenes, mit Salz gemischtes Eis gestellt wurde.

Die folgende Tabelle zeigt die erhaltenen Resultate.

24. Juli / 5. August. Der Saft einer Birne in einem verkorkten Thoncylinder.

Stunde	$t°$	Stunde	$t°$	Stunde	$t°$
$11^h19'$	$+3{,}9°$	$11^h29'$	$-3{,}0°$	$11^h42'$	$-2{,}75°$
20	2,8	30	—3,0	43	—2,78
21	1,8	31	—2,9	44	—2,8
22	0,9	32	—2,85	46	—2,8
23	0,0	33	—2,8	48	—2,9
24	—0,7	35	—2,7	49	—3,0
25	—1,4	36	—2,7	50	—3,0
26	—2,0	37	—2,7	51	—3,1
27	—2,5	38	—2,7	52	—3,1
28	—2,8	40	—2,7	53	—3,1

Hieraus ist ersichtlich, dass der Saft sich Anfangs regelmäßig abkühlte, um $11^h31'$ aber anstatt der Abkühlung eine allmähliche Erwärmung zeigte. Hier hat folglich eine schwache Überkühlung stattgefunden und zwar bis $-3{,}0°$, während der Normalpunkt der Erstarrung des Birnensaftes bei $-2{,}7°$ liegt, wie die Zahlen von $11^h35'$ bis $11^h40'$ zeigen. Es ist zu bemerken, dass das umgebende Eis eine ständige Temperatur von $-18°$ beibehielt.

Ein ähnlicher Versuch wurde mit dem Safte einer Citrone gemacht. Diesmal wurde der Saft in einen birnenförmigen Pasteurfilter (aus Thon) gegossen, in welchem sich das Thermometer befand; außerdem ging durch den Stöpsel ein mit Glashahn versehenes Glasröhrchen, welches mit einer Vorlage verbunden war; die letztere war mit demselben Saft gefüllt. Das ganze System wurde ins Eis gestellt, wobei der Pasteurfilter sich noch in einem Glase befand, um die unmittelbare Berührung zwischen ihm und dem Eise zu verhindern. Als der Saft im Pasteurfilter, sich allmählich abkühlend, seinen Umfang verminderte, floss aus dem Glaskolben in den Filter neuer Saft zu, so dass derselbe immer voll blieb. Als die Temperatur des Saftes $0°$ erreichte, wurde der Hahn zugedreht. Die Temperatur des Eises schwankte zwischen $-15°$ und $-20°$.

Die hier angeführte Tabelle giebt die Angaben im Auszuge; die Beobachtungen wurden jede Minute gemacht.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

27. Juli / 8. August. Citronensaft.

Stunde	$t°$	Stunde	$t°$	Stunde	$t°$	Stunde	$t°$
$4^h36'$	+3,5°	$4^h58'$	—1,1°	$5^h39'$	—1,0°	$6^h44'$	— 1,7°
38	3,0	5^h00	—1,1	44	—1,1	47	— 1,8
40	2,4	01	—1,1	52	—1,1	49	— 1,9
42	1,8	03	—1,0	6^h06	—1,1	52	— 2,0
48	0,1	04	—1,0	10	—1,2	57	— 2,4
49	—0,1	08	—1,0	22	—1,3	7^h08	— 3,9
52	—0,6	14	—1,0	31	—1,4	14	— 5,5
56	—1,0	21	—1,0	36	—1,5	20	— 7,3
		27	—1,0	42	—1,6	26	— 8,9
						33	—10,5

Der sich gleichmäßig abkühlende Saft zeigte um $5^h03'$ anstatt Abkühlung eine Erwärmung auf 0,1° (d. h. eine Temperatur von —1,0°); um $5^h44'$ begann die Temperatur wieder zu fallen. Somit wird auch hier eine kleine Überkühlung beobachtet, welche 0,1° unter dem normalen Erstarrungspunkte liegt (—1,0°).

Eine genaue Betrachtung des Filters ergab, dass der Kautschukstöpsel auf eine gewisse Höhe herausgeschoben war, welcher Umstand entweder durch Ausdehnung des Saftes bei Abkühlung oder durch Umfangvergrößerung des Saftes beim Übergange desselben in den festen Zustand zu erklären ist.

In Anbetracht des letzten Umstandes habe ich den folgenden Versuch gemacht:

Ich nahm ein dickwandiges gläsernes Kapillarröhrchen mit einer kleinen Kugel am Ende, in welcher sich gewöhnliches, der städtischen Wasserleitung entnommenes Wasser befand; über dem Wasser war Quecksilber, dann Luft. Das Röhrchen war oben zugelöthet.

Dieser Apparat wurde in ein Glas mit Spiritus gestellt und das ganze System in Eis + Salz eingegraben. Die Temperatur des umgebenden Eises ($t°$) wurde mittels eines besonderen Thermometers gemessen, die Höhe der Luftsäule (h) über dem Quecksilber mittels einer Skala mit Millimetertheilungen, wobei in der unten folgenden Tabelle nicht die Größen für h, sondern der ihnen entsprechende Luftdruck in Atmosphären (A) angeführt sind, unter welchem sich die Luft in der Kugel befand.

A	$t°$	A	$t°$
0,0	+3,0°	1,9	—4,5°
0,8	—2,3	2,2	—5,0
1,0	—2,8	2,8	—6,0
1,1	—3,0	3,2	—6,5
1,3	—3,5	3,6	—7,0
1,6	—4,0	4,0	—8,0

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Bei diesem Versuche wurde bemerkt, dass, als das Wasser in der Kugel bei Abkühlung sich zusammenzuziehen aufhörte und sich auszudehnen begann, d. h. als das Wasser die Temperatur von + 4° erreichte, die Temperatur des umgebenden Spiritus + 3° war. Hieraus folgt, dass bei der Temperatur des umgebenden Spiritus von — 8° das Wasser in der Kugel eine Temperatur von circa — 6,5° hatte und sich zu dieser Zeit unter einem Drucke von 4 Atmosphären befand, wonach die Kugel platzte. Eis hat sich jedoch dabei nicht gebildet, da das überkühlte Wasser im Moment der Explosion der Kugel mit dem Spiritus sich vermengte.

Jedenfalls zeigt dieser Versuch, dass Wasser unter einem Druck sich überkühlen kann, d. h. eine viel niedrigere Temperatur erreichen kann, als dessen normaler Gefrierpunkt (0,0°).

Nachher wurden Versuche mit einer mit Wasser gesättigten Thonkugel (12 mm im Durchmesser) veranstaltet. Die trockene Kugel wog 1,595 g, die mit Wasser gesättigte 1,945 g. Somit war das Wassergewicht = 0,350 g, und 0,350 : 1,945 = 0,18 = q.

In eine der Öffnungen, die mittels einer Nadel in der Kugel gemacht waren, wurde das oben beschriebene elektrische Thermometer gesteckt und die Kugel an Stelle des Insektes in den oben beschriebenen Apparat gestellt, wobei die Temperatur des Bades während der ganzen Zeit des Versuches bei — 13° verblieb.

Da dieser Versuch mit denjenigen mit Insekten die größte Ähnlichkeit bietet, so führe ich hier eine Tabelle ohne Abkürzungen an.

31. Juli / 12. August. Mit Wasser imprägnirte Thonkugel.

Stunde	n	Stunde	n	Stunde	n	Stunde	n
3h44′	82,0	3h58′	172,7	4h15′	186,6	4h32′	181,0
45	105,5	59	172,8	16	189,3	33	176,5
46	124,5	4 00	172,9	17	193,2	34	173,7
47	139,5	01	173,1	18	198,0	35	171,7
48	151,8	02	173,2	19	202,7	36	170,0
49	162,2	03	173,3	20	207,4	37	168,0
50	170,8	04	173,5	21	212,0	38	166,3
51	175,5	05	174,1	22	216,3	39	164,8
51¼	172,0	06	174,6	23	219,8	40	163,3
51½	171,6	07	175,2	24	222,9	41	161,9
51¾	171,5	08	176,1	25	225,8	42	160,3
52	171,6	09	176,9	26	228,2	43	158,5
53	171,8	10	177,6	27	230,2	44	156,0
54	172,1	11	178,9	28	229,0	45	152,7
55	172,3	12	180,2	29	222,5	46	147,0
56	172,5	13	181,8	30	201,5	47	138,0
57	172,6	14	184,0	31	189,0	48	125,5
						49	113,0

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Hieraus ist ersichtlich, dass die sich Anfangs regelmäßg abkühlende Kugel um $3^h51^1/_4'$ nicht mehr Abkühlung, sondern Erwärmung zeigte, welche bis $3^h51^3/_4'$, d. h. eine halbe Minute andauerte, wonach die Kugel langsam sich abzukühlen begann.

Somit fand hier, wie auch bei den Insekten, ein Temperatur-»Sprung« statt, und zwar von $n = 175{,}5$ bis $n = 171{,}5$ (da $k = 7{,}5$ und $t_0 = 22{,}2°$, so stieg die Temperatur von $-1{,}2°$ bis $-0{,}7°$). Um $4^h28'$ wurde die Thonkugel aus dem Eisbade genommen und bei Zimmertemperatur liegen gelassen.

Zum Zwecke einer mehr anschaulichen Darstellung dient Fig. 4 (p. 596) Kurve F, wo die Abscissen die Zeit bedeuten und die Ordinaten die Temperatur der Kugel (d. h. die Stärke des elektrischen Stromes $= n$).

Aus dieser graphischen Darstellung ist ersichtlich, dass das Wasser, nachdem es sich bis $n = 175{,}5$ (d. h. bis $-1{,}2°$) abkühlte, fast plötzlich bis $n = 171{,}5$ (d. h. bis $-0{,}7°$) sich erwärmte. Dieser Sprung fand in Folge des Erstarrens des überkühlten Wassers statt, welches die latente Erstarrungswärme abgab. Jedoch, wie die Kurve zeigt, fand auch nachher noch ein Gefrieren des Wassers statt, welches aber nicht mehr bis $-1{,}2°$ überkühlt war. Dieser Gefrierprocess dauerte von $3^h51'$ bis circa $4^h05'$, wonach das entstandene Eis sich weiter abkühlte.

Wie die Kurve E der Fig. 4, den Gang der Temperatur veranschaulichend, zeigt, sind die Erscheinungen, welche man beim Abkühlen der Insekten beobachtet, denjenigen ähnlich, welche bei der Abkühlung einer mit Wasser imprägnirten Thonkugel stattfinden: es sind dieselben »Sprünge« und dieselbe Überkühlung, nur in kleinerem Maßstabe als bei den Insekten.

Bei der Wiederholung des Versuches mit einer Ziegelkugel zeigte das in derselben enthaltene Wasser keine Überkühlung mehr und das Gefrieren ging normal vor sich.

Eine ähnliche Erscheinung wurde auch bei den Insekten beobachtet, wie z. B. bei Papilio podalirius.

Ein Versuch mit einem Stückchen mit gewöhnlichem Wasser gesättigten Pasteur-Thonfilters zeigte $T = -7{,}3°$ und $E = -6{,}9°$, wobei der Sprung plötzlich stattfand. Ich bringe hier im Auszuge eine Tabelle dieser Beobachtungen:

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

31. Juli / 12. August. Ein Stück Pasteur-Thonfilter mit gewöhnlichem Wasser imprägnirt.

Stunde	n	Stunde	n	Stunde	n	Stunde	n
$10^h33'$	81,0	$10^h49'$	182,6	$11^h15'$	215,8	$11^h21'$	220,0
35	105,0	51	183,2	16	216,0	23	222,8
40	136,0	55	186,8	17	216,3	25	225,2
45	177,5	56	187,0	18	219,5	30	228,3
46	179,6	11^h01	189,0	19	222,0	35	232,3
47	181,0	05	200,5	$19^1/_2$	218,8	38	234,3
48	182,1	10	213,2	20	218,8	44	235,5

Aus dieser Tabelle ist außer dem Sprung um $11^h15'$ ersichtlich, dass das Erstarren, obgleich allmählich, eigentlich um $10^h48'$ begann, als die Temperatur viel schwächer zu fallen anfing, als vordem, welche Erscheinung bis $10^h56'$ andauerte, zu welcher Zeit die Temperatur rascher zu fallen begann (s. auch Fig. 4, Kurve *C*). —

Wenden wir uns nun zu einer anderen Art Analogien.

Der Versuch mit dem Stückchen Pasteurfilter zeigt, dass das Wasser an der Oberfläche der Poren gleich am Anfang zu erstarren beginnt und erst nachher die Überkühlung des Wassers, welches sich im Innern der Filtermasse befindet, stattfindet. Diese Überkühlung konnte von dem Umstande herrühren, dass das innere Wasser von durch die Abkühlung an der Oberfläche entstandenem Eis umzogen, sich nun unter einem Drucke befindet (da das Wasser bei Abkühlung von $+4°$ hinab sich ausdehnt) und folglich sein Gefrierpunkt fallen muss (s. die vorhergehenden Versuche mit der Glaskugel). Diese Überkühlung konnte aber scheinbar auch in Folge des Umstandes stattfinden, dass das Wasser in den Kapillarröhrchen der Filtermasse sich befand; in dieser Weise wenigstens ist die Erscheinung in der oben untersuchten Ziegelkugel zu betrachten, wo ein vorhergegangenes Gefrieren nicht stattfand, sondern die Überkühlung sofort eintrat, obgleich dieselbe auch nicht bedeutend war (bis $-1{,}2°$).

In Anbetracht dessen wurde die Veranstaltung von Versuchen mit Abkühlung des Wassers in Kapillarröhrchen nothwendig.

Zuerst wurde ein Versuch mit einem an einem Ende zugelötheten Kapillarröhrchen ($2r = 0{,}30$ mm, $l = 40$ mm) gemacht. Das Röhrchen wurde bis oben mit gewöhnlichem Wasser gefüllt und in dasselbe das elektrische Thermometer gestellt. Das Röhrchen wurde in ein zugedecktes Glas gestellt, welches letztere mit Eis von $-11°$ umgeben war. Das Wasser überkühlte sich ohne vorange-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

gangenes Gefrieren bis —4,5°, und nachher stieg seine Temperatur plötzlich bis 0,0°, wobei das Wasser erstarrte.

Weitere Versuche mit anderen ähnlichen Röhrchen zeigten, dass, je kleiner der Durchmesser des Röhrchens ist, desto stärker sich scheinbar in ihm die Überkühlung des Wassers äußert, außerdem hing diese Überkühlung wie von der Höhe des Kapillarröhrchens, so auch von der Länge der Wassersäule ab. In Anbetracht dessen, dass die erhaltenen Resultate nicht immer übereinstimmen, was, wie sich herausstellte, von der ungleichen Veränderung des Wasser-Meniscus im Röhrchen, in Folge des Versenkens der Drähtchen für Temperaturmessung, abhing, wurden die weiteren Versuche mit dünnwandigen Röhrchen in Form des Buchstabens U gemacht, wobei das elektrische Thermometer außerhalb des Röhrchens an die Biegungsstelle anstieß.

Da es unmöglich war, ein Röhrchen von durchgehend gleichem Durchmesser zu verfertigen, so stand das Wasser in einem Knie immer etwas höher als im andern. Daher wurde die Höhe der Wassersäule stets in dem Knie gemessen, in welchem sie höher war. Es wurde gewöhnliches Wasser genommen, da destillirtes Wasser nicht einmal bei —15° gefror, während in demselben Röhrchen gewöhnliches Wasser schon bei —8,8° erstarrte. Die Höhe jedes Röhrchenknies war 30 mm. Die Temperatur des Bades schwankte zwischen —13° und —15°.

Ich bringe hier eine ausführliche Tabelle für den Versuch mit einem solchen Röhrchen, wobei die Höhe der Wassersäule 18,0 mm bei $t = +22{,}0°$ war.

11./23. August. Kapillarröhrchen von 0,56 mm innerem Durchmesser.

Stunde	n	Stunde	n	Stunde	n	Stunde	n
$10^h15'$	168,5	$10^h25'$	224,0	$10^h35'$	238,2	$10^h45'$	252,0
16	188,0	26	225,3	36	239,8	45	213,0
17	199,5	27	—	37	241,0	$45^1/_4$	211,9
18	206,7	28	—	38	242,2	$45^1/_2$	215,0
19	211,9	29	229,0	39	243,6	$45^3/_4$	221,5
20	214,3	30	230,5	40	244,6	46	236,0
21	217,0	31	232,2	41	245,5	$46^1/_2$	244,5
22	219,0	32	232,2	42	246,0	47	249,0
23	221,0	33	233,2	43	248,0	48	254,2
24	222,2	34	235,9	44	249,0	49	257,3

Aus dieser Tabelle, welche in Fig. 4, Kurve *D*, graphisch dargestellt wird, ist ersichtlich, dass der Temperatursprung bei $n = 252$

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

stattfand, wobei die Temperatur nicht plötzlich, sondern allmählich innerhalb einer $^1/_4$ Minute bis $n = 211{,}9$ stieg. Die erste Zahl (252) entspricht nach Berechnung $-11{,}6°$ und die zweite (211,9) der Temperatur $-6{,}2°$. Da das Wasser, obgleich überkühlt, im Moment des Gefrierens $0{,}0°$ zeigt, so müssen wir auch $-6{,}2°$ gleich $0{,}0°$ annehmen, dann wird $-11{,}6°$ der wirklichen Temperatur $-5{,}4°$ entsprechen, bis zu welcher sich das Wasser im Kapillarröhrchen auch überkühlte (hier entstanden selbstverständlich diese scheinbaren Temperaturen in Folge schlechter Wärmeleitung des Glasröhrchens und in Folge der starken Kälte der Luft, welche das elektrische Thermometer abkühlte).

Versuche mit anderen Höhen (h) der Wassersäule und demselben Röhrchen führten zu den Resultaten, welche in der folgenden Tabelle enthalten sind, wo t_1 die wirkliche Temperatur bedeutet, bis zu welcher die Überkühlung stattfand und nach welcher das Wasser gefror:

$2r$	h in mm	$t_1°$
0,56	18,0	$-5{,}4°$
0,56	12,6	$-5{,}3$
0,56	5,0	$-5{,}5$
	Mittel	$-5{,}4°$

D. h. die Höhe der Wassersäule im U-förmigen Kapillarröhrchen hat, wie es scheint, keinen Einfluss auf die Überkühlungstemperatur des Wassers.

In einem Kapillarröhrchen, dessen Knielänge 40 mm, Durchmesser 0,36 mm betrug und die Wassersäule $h = 22$ mm, überkühlte sich das Wasser bis $t_1 = -5{,}0°$.

In einem Röhrchen, dessen Durchmesser 0,28 mm und in dem die Länge der Wassersäule 12,2 mm war, überkühlte sich das Wasser bis $-5{,}5°$.

Somit haben wir:

$2r$	$t_1°$	Bemerkungen
0,90	$-4{,}5$	gerades Röhrchen.
0,56	$-5{,}4$	knieförmig gebogenes Röhrchen.
0,36	$-5{,}0$	» » »
0,28	$-5{,}5$	» » »

Hieraus ergiebt sich, dass gewöhnliches Wasser in Kapillarröhrchen von verschiedenen Durchmessern sich bis zu einer fast gleichen Temperatur überkühlt (circa $-5{,}1°$ im Durchschnitt).

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Ich betrachte keineswegs diese Schlüsse als endgültige; die hier beschriebenen Versuche zeigen aber eine keinem Zweifel unterliegende Überkühlung des Wassers im Kapillarröhrchen.

Allgemeine Erörterungen.

Mit den gegenwärtigen Forschungen ist erwiesen, dass die Temperatur der Insekten keine beständige Größe darstellt und im Allgemeinen der Temperatur der umgebenden Luft gleich zu werden strebt.

Diese Eigenschaft der Insekten ist selbstverständlich als eine durch Jahrtausende entstandene Fähigkeit im Kampfe ums Dasein zu betrachten. In der That besitzen die Insekten keine solche Mittel, um sich vor Kälte zu schützen, wie die anderen Thiere; die Vögel z. B. ziehen während der kalten Monate in wärmere Länder; die Säugethiere sind zum Schutze vor Kälte und Hitze mit Haaren bedeckt etc. Bei den Insekten hat sich im Wege der natürlichen Zuchtwahl die Fähigkeit entwickelt, ihre Körpertemperatur der umgebenden Mitte gemäß zu ändern und somit ihr Leben vor dem Temperaturwechsel der Luft zu schützen.

Diese Fähigkeit bildete sich nicht nur bei entwickelten Insekten aus, sondern auch bei deren Puppen und Raupen, wie die in dieser Abhandlung angeführten Messungen zeigen. Das ist auch kein Wunder, denn es giebt viele Raupen, welche während des Winters schlafen und mit Anfang des Frühlings wieder aufwachen (z. B. die Raupen der Art Satyrus), und die Mehrzahl der Schmetterlinge überwintern als Puppen. Nur einige von den Schmetterlingen, wie verschiedene Arten aus der Gattung Vanessa, Macroglossa stellatarum u. a., überwintern als entwickelte Schmetterlinge und flattern, wenn es während der Wintermonate irgend einmal warm wird, lustig herum.

Nehmen wir als Beispiel Rhodocera rhamni (Citronenfalter) und sehen wir, wie er mit Hilfe der erwähnten Eigenschaft um sein Dasein zu kämpfen vermag. Seine Mutter legte im Frühling die Eier, aus welchen im Mai kleine Raupen herauskamen, welche sofort die jungen Blätter der Pflanze Rhamnus frangula und cathartica zu fressen begannen. Ende Juni verwandelten sich die Raupen in Puppen, aus welchen im August sich schöne gelbe Schmetterlinge entwickelten. Als es heiß wurde, stieg auch die Körpertemperatur des Schmetterlings; bei eintretender Kälte wurde der Körper des Schmetterlings auch kalt — er fühlte daher keine schädlichen Einflüsse der Veränderung der klimatischen Verhältnisse, da er die

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Möglichkeit hatte, sich an dieselben anzupassen. Endlich kam der Herbst mit seinen kalten Nächten und trüben Tagen; es fehlte die warme Sonne, welche ihn erwärmte und ihm die Kraft zum munteren Herumflattern von Blume zu Blume verlieh. Auch die Menge der Nahrung hat sich vermindert: die meisten Blumen sind abgeblüht. Unser Schmetterling verlor in Folge Nahrungmangels an Gewicht, sein Protoplasma verdichtete sich, und zugleich sank der kritische Erstarrungspunkt der überkühlten Säfte des Schmetterlings niedriger, als er im Sommer war. Zuletzt kam der November und December mit ihren Schneestürmen, und der Schmetterling verbarg sich in eine Spalte der Rinde eines Baumes. Die Lufttemperatur ist bedeutend gesunken, der Schmetterling wurde aber beschützt vor der tödtenden Wirkung der Kälte theils durch die Baumrinde und theils durch den Umstand, dass seine Säfte sich abkühlten, bedeutend unter den normalen Gefrierpunkt sich überkühlten und trotzdem nicht gefroren. Der Schmetterling ist längst eingeschlafen, aber nicht gestorben. Eines Tages, im Anfang Januar, wurde die Kälte besonders stark, und die Säfte des Schmetterlings erstarrten auf einmal. Ebenfalls erstarrten die Säfte der Baumrinde, welche den Schmetterling umgab, und seine Temperatur stieg plötzlich bis —1,5°. Dies dauerte aber nicht lange; als alle seine Säfte erstarrten, begann die Eismasse sich wieder abzukühlen und der Schmetterling wäre gestorben, wenn er sich bis zu jener Temperatur abgekühlt hätte, bis zu welcher seine Säfte vor dem Gefrieren sich überkühlt hatten; den andern Tag aber wurde es wärmer, und die Temperatur seines Eiskörpers konnte nicht so niedrig fallen. Im Februar kamen warme Tage, und einmal thaute der Schmetterling auf. Als es an der Sonne 14° wurde, begann der Schmetterling lustig zu flattern, gegen Abend wurde es aber wieder kalt, und er schlief in der Spalte eines anderen Baumes wieder ein. Fröste stellten sich abermals ein und wie absichtlich stärker als im Januar. Die Säfte des Schmetterlings gefroren diesmal jedoch nicht, da er nun zum zweiten Male der Abkühlung unterworfen war. Ende März verließ er seinen Zufluchtsort, um nicht wieder zurückzukehren. Im April fand unser Schmetterling einen Lebensgefährten, legte Eier, und starb einige Tage nachher, aber nicht durch Kälte, sondern an Altersschwäche, welche sich seiner bemächtigte, nachdem er seine Pflicht, Nachkommen zu hinterlassen, erfüllt hatte.

Wenn also der Schmetterling, der Käfer oder ein anderes Insekt die Fähigkeit, in gewissen Grenzen ihre Körpertemperatur zu ändern, im Wege der natürlichen Zuchtwahl erworben haben, so muss in den

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Gegenden, wo die durchschnittliche minimale Temperatur sehr niedrig ist, auch der kritische Punkt des Insektes niedriger sein, als in den Gegenden, wo dieses Minimum nicht so niedrig ist. Mit anderen Worten, die Säfte der Insekten, welche z. B. in Grönland leben, müssen sich bis zu einer bedeutend niedrigeren Temperatur überkühlen (ohne zu gefrieren), als die derjenigen Insekten, welche man z. B. in tropischen Gegenden vorfindet.

Nehmen wir einige Beispiele.

In Sophia ist die Durchschnittstemperatur der kalten Monate —5,5° und die höchste Kälte —21,8° (Durchschnitt für einige Jahre). In Paris sind die respektiven Temperaturen +3,0° und —10,0°. Wenn die oben erwähnte Voraussetzung richtig ist, so muss z. B. eine Rhodocera rhamni, welche in Sophia überwintert hat, einen niedrigeren kritischen Punkt haben, als ein gleiches Exemplar, welches in Paris überwinterte; dasselbe muss auch Bezug auf Raupen haben, z. B. Satyrus briseis, welche im Winter schlafen, eben so wie auf alle Insekteneier, welche der Winterkälte ausgesetzt sind.

Dass gewisse Insekten dem Klima einer gegebenen Gegend sich nicht anpassen konnten und daher in derselben nicht angetroffen werden, ist aus Tausenden von Beispielen bekannt. So wird Vanessa cardui auf der ganzen Erdkugel angetroffen, wie in der südlichen, so auch in der nördlichen Halbkugel; in den tropischen Gegenden dagegen existirt sie nicht. Deilephila nerii hat ihr Vaterland in Südeuropa, Nordafrika und Kleinasien, wird aber bei günstigem starken Winde bis nach Deutschland (auch Sophia) verschlagen, wo sie auf dem Oleander (Nerium Oleander) ihre Eier legt. Die entstandenen Raupen verwandeln sich im August in Puppen, aus welchen im September und Oktober sich schöne, große, grüne Schmetterlinge entwickeln. Obgleich diese Schmetterlinge, jetzt Sophianer geworden, auch wieder Eier legen, aus welchen wieder Raupen entstehen, welche letztere ihrerseits, wenn der Herbst warm ist, noch Zeit haben, sich in Puppen zu verwandeln, entstehen aus diesen Puppen im Frühling doch keine Schmetterlinge mehr, weil die Winterkälte sie tödtete. Nur sehr selten in Deutschland, wenn der Winter warm ist, entwickeln sich aus den überwinterten Puppen Schmetterlinge. Zu dieser Kategorie gehört auch der Schmetterling »Todtenkopf« (Acherontia atropos) und noch viele andere.

Ob die Insekten die Lage des kritischen Punktes auf der Thermometerskala zu ändern vermögen und auf welche Weise, d. h. welche Eigenschaften sie besitzen zur Änderung der Temperatur, bis zu wel-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

cher die Überkühlung ihrer Säfte stattfindet — darauf antwortet uns die gegenwärtige Untersuchung.

Der Insektenkörper besteht aus Zellen, welche mit Säften gefüllt sind; außerdem befinden sich in ihm verschiedene Organe, welche zur Verdauung, Aufnahme von Nahrung etc. dienen und die Eigenschaft von Kapillarröhrchen besitzen. Der Saft der Insekten tritt bei Abkühlung unter 0° theilweise aus den Zellen heraus und bildet um dieselben eine Eisdecke (wenn auch aus unreinem Eise), welche auf den dichteren Rest einen Druck ausübt und damit das Gefrieren desselben bei dem Normalpunkt (z. B. bei —1,5°) verhindert, wie es die Versuche mit dem porösen, mit Birnensaft gefüllten Thoncylinder zeigten, oder noch besser die Versuche mit der mit Wasser gefüllten Glaskugel (welche die Rolle der Eiskruste spielt). In Folge des Druckes findet die Überkühlung des Restes der Säfte statt und zuletzt, wenn der Eispanzer in Folge der Saftausdehnung beim Abkühlen den Druck aus dem Inneren der Zelle nicht mehr aushalten kann, platzt er, und der Rest des Saftes gefriert nunmehr bei gewönlicher Temperatur plötzlich, wobei die Temperatur bis zum normalen Gefrierpunkt der Säfte steigt. Natürlich gestatten auch kapillare Organe der Insekten eine Überkühlung der in ihnen befindlichen Säfte, wie es die Versuche mit Kapillarröhrchen zeigten; obwohl die angeführten Versuche dabei nicht ergaben, dass der Überkühlungsgrad, wie es scheint, vom Durchmesser der Röhren in Grenzen von 0,90 bis 0,28 mm unabhängig sei, kann man dennoch mit großer Wahrscheinlichkeit vermuthen, dass bei noch geringeren Durchmessern der Überkühlungsgrad der Flüssigkeiten in Kapillarröhren größer wird.

Welcher Theil der Insektensäfte beim »Temperatursprunge« nach ihrer Überkühlung erstarrt, kann man vorläufig noch nicht genau sagen, man kann jedoch schon jetzt mit Sicherheit behaupten, dass unmittelbar nach dem »Temperatursprunge« der ganze Saft nicht völlig erstarrt und zwar aus folgenden Gründen:

Wasser hat, wie bekannt, die latente Erstarrungswärme = 80 Kalorien. Wenn der »Sprung« eines Grammes Wasser bei dessen Überkühlung z. B. bei —80° stattfinden würde, so hätte dieses Wasser beim Erstarren 80 Kalorien latente Wärme entwickelt; da aber das Wasser bereits —80 Kalorien besaß (spec. Wärme = 1), so erhält man im Resultate:

$$+80 - 80 = 0 \text{ Kalorien},$$

oder, was dasselbe ist, 0°; d. h. die ganze Masse hätte eine Tem-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

peratur von 0° und ohne jegliche latente Wärme; dies aber stellt Eis vor. Auf diese Art würde das ganze Wasser in diesem Falle sich in Eis bei 0° verwandeln.

Wenn der »Temperatursprung« bei Überkühlung des Wassers bis zu —40° stattfinden würde, so hätte in diesem Falle das Wasser +80 Kalorien entwickelt, während es vor dieser Entwicklung nur —40 Kalorien besaß, d. h. man hätte als Resultat erhalten:

$$+80 - 40 = +40 \text{ Kalorien},$$

wobei die ganze Masse in Folge der Eisbildung wiederum die Temperatur von 0° hätte. Dies bedeutet, dass die Hälfte des Wassers sich bei 0° in Eis verwandelte, während die andere Hälfte des Wassers auch 0° hat, aber die latente Wärme beträgt nur 40 Kalorien, d. h. diese Hälfte kann kein Eis vorstellen, sondern nur Wasser.

Mittels weiterer ähnlicher Betrachtungen würden wir zu dem Schlusse gelangen, dass das überkühlte Wasser, z. B. bis zu —10°, nach dem »Temperatursprunge« nur $^1/_8$ (nach Gewicht) Eis bei 0° bilden möchte, während die anderen $^7/_8$ als Wasser bei 0° übrig bleiben.

Daraus folgt, dass, wenn die Insektensäfte nur aus reinem Wasser beständen, bei der Überkühlung ihrer Säfte bis zu —10° und der darauf folgenden Erstarrung dieser Säfte (»Temperatursprung«) nur $^1/_8$ aller Säfte erstarren würde, während die übrigen $^7/_8$ noch flüssig blieben. Bei weiterer Abkühlung nach dem »Sprunge« würden diese $^7/_8$ ihre latente Wärme allmählich verlieren und sich in Eis verwandeln, bis schließlich nach dem Verlust dieser vorräthigen Kalorien der ganze Saft sich in Eis bei 0° verwandeln würde. Bei noch weiterer Abkühlung würde der erstarrte Saft schon Temperaturen von —1°, —2°, —3° etc. zeigen.

Wir kennen vorläufig noch nicht die latente Erstarrungswärme der Insektensäfte, noch weniger aber ihre specifische Wärme, desshalb kann man auch vorläufig von einer genauen Bestimmung des Quantums des erstarrten Saftes nach dem »Temperatursprunge«, wie oben erwähnt, noch nicht reden; wir müssen aber zulassen, dass ein Theil dieser Säfte aus Wasser als Lösungsmittel besteht und aus Wasser, welches nach Sachs (55) »von den Adhäsionskräften in Molekularporen der Zellhaut und der Protoplasmagebilde als Imbibitionswasser festgehalten wird« (p. 44). Dieser zweite Theil des Wassers kann wirklich eine geringere specifische Wärme und auch

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

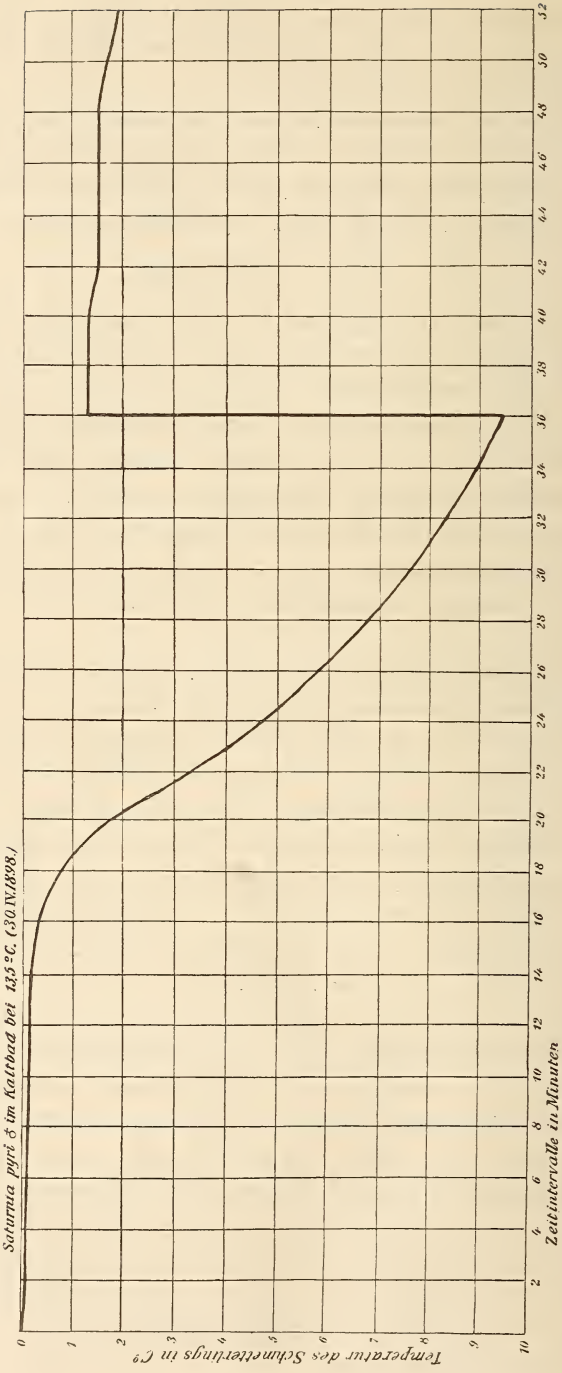

Fig. 3.
Die Kurve stellt den Gang der eigenen Temperatur von Saturnia pyri ♂ dar, aber bei der Lufttemperatur von —13,5° C.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

latente Erstarrungswärme besitzen[1], der erste Theil aber kann nicht sehr stark von 1 resp. 80 Kalorien abweichen, und es würde sich folglich bei der Überkühlung der Insektensäfte, z. B. bis zu —16°, nur $^1/_5$ Theil dieses auflösenden Wassers nach dem »Sprunge« in Eis verwandeln.

Wir müssen jedoch den oben erwähnten Umstand nicht außer Acht lassen, dass bei der Abkühlung des ganzen Insektes ein Theil des Wassers, welches in seinen Säften enthalten ist, aus den Zellen seines Körpers früher austritt, als die Uberkühlung der Säfte stattfindet, und somit eine Art Eispanzer auf der Oberfläche der Zellen oder ihrer Konglomerate bildet, wodurch die Überkühlung der übrigen Flüssigkeit bedingt wird. In Folge dessen bleibt nicht viel von überkühltem Wasser übrig. Für die vollständige Erstarrung des Wassers nach dem »Temperatursprunge« ist jedoch eine Abkühlung bis zu —80° nothwendig. Da die Überkühlung der Insektensäfte nicht tiefer als von —10° bis —15° C. stattfindet, so kann folglich auch ihre Erstarrung nach dem »Sprunge« nicht vollständig, sondern nur theilweise zu Stande kommen.

Die Kurve in Fig. 3 zeigt, dass nach dem »Temperatursprung« (36 Minuten) von —9,5° auf —1,3° die Temperatur des Schmetterlings (—1,3°) innerhalb 4 Minuten konstant blieb, um darauf zu fallen. Dieser Umstand zeigt, dass wirklich nicht der ganze Saft nach dem »Sprunge« erstarrte, und dass der noch nicht erstarrte Theil bei weiterer Abkühlung erst nach 4 Minuten zur Erstarrung gelangte, worauf die Temperatur dieses festen erstarrten Theils innerhalb 2 Minuten (bis zu 42 Minuten) sank, danach noch ein anderer Theil des Saftes mit etwas niedrigerem Erstarrungspunkt anfing, innerhalb 6 Minuten fest zu werden (da die Temperatur während dieses Zeitintervalles wieder konstant blieb). Schließlich erstarrte auch dieser Theil, um sich weiter abzukühlen. Auf diese Weise zeigt die gegebene Kurve im Safte das Vorhandensein wenigstens zweier Flüssigkeiten mit verschiedenen Erstarrungspunkten (—1,3° resp. —1,6°).

Der Verlauf der Kurve *c* in Fig. 4 für den Schmetterling Papilio podalirius ist vor und nach dem »Temperatursprunge« ganz verschieden. Die Kurve nach dem »Sprunge« zeigt, dass eine der überkühlten Flüssigkeiten des Saftes nach dem »Sprunge« auf

[1] Vide meine Abhandlung: »Einige physikalische Eigenschaften von Kupfersulphat.« Journ. der russ. phys.-chem. Gesellsch. XXV. p. 265. 1893.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

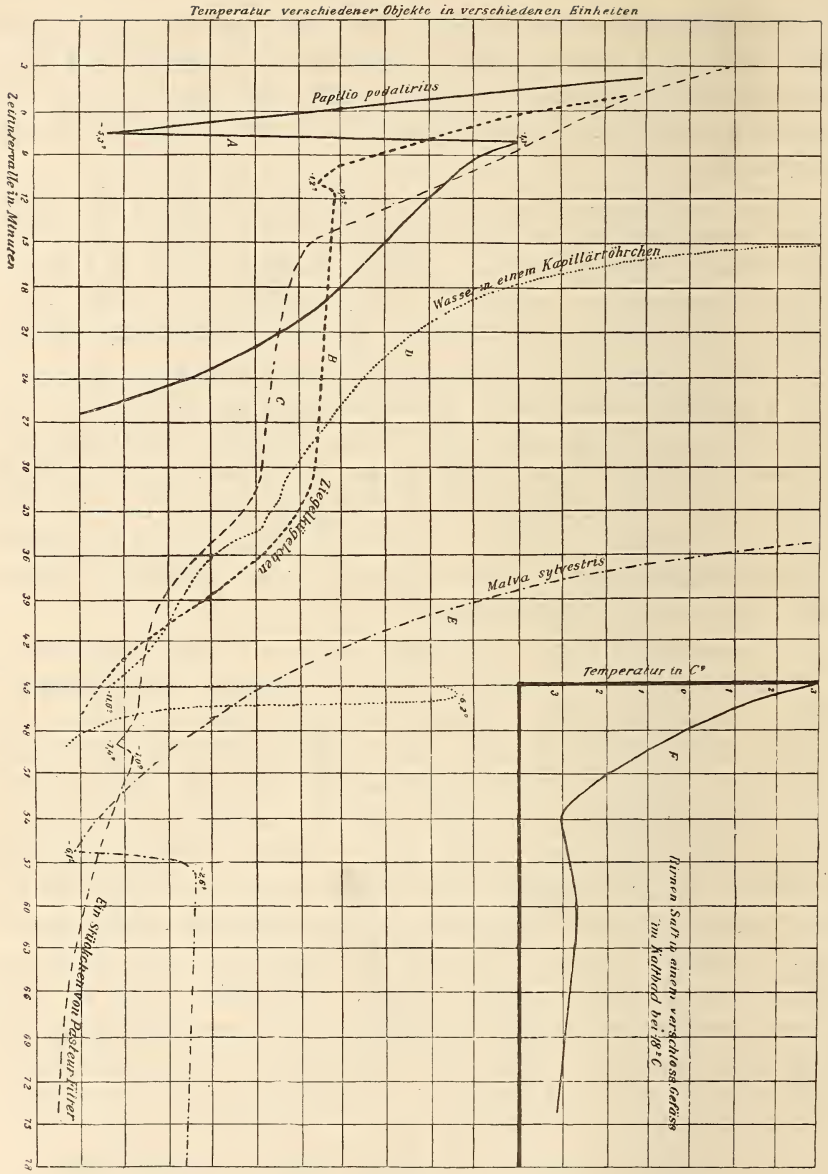

Fig. 4.

Alle Kurven stellen den Gang der eigenen Temperatur, abhängig von der Zeit, dar und zwar: *A* von Papilio podalirius bei Lufttemperatur von —14° C.; *B* von einem mit Wasser imprägnirten Ziegelsteinkügelchen bei Lufttemperatur von —18° C.; *C* von einem mit Wasser imprägnirten Stückchen des Porzellanfilters (von Pasteur) bei Lufttemperatur von —18° C.; *D* von gewöhnlichem Wasser in einem Kapillarrohr ($2r = 0{,}56$ mm) bei Lufttemperatur von —14° C.; *E* von einem Stück des Stengelchens von Malva sylvestris bei Lufttemperatur von —13° C.; *F* vom Birnensaft in einem verschlossenen Gefäß bei Lufttemperatur von —18° C. Die Ordinaten sind in dieser Figur für alle Kurven (mit Ausnahme der Kurve *F*) in verschiedenen Temperatureinheiten [$n = k(t_0 - x)$] ausgedrückt. Die Ziffern, welche beim Maximum oder Minimum jeder Kurve stehen, bedeuten Celsiusgrade. Die Abscissen bedeuten Zeitintervalle in Minuten.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

einmal erstarrte, und desshalb verläuft die Kurve während der ersten Minute (von der 8. bis 9. Minute) parallel mit der Kurve vor dem »Sprunge«. Darauf fand die Abkühlung langsam statt, d. h. ein anderer Theil des Saftes, ohne bestimmten Erstarrungspunkt, fing an zu erstarren, da die Kurve zur Abscisse nicht parallel verläuft. Es ist möglich, dass diese Erstarrung dem Imbibitionswasser zuzuschreiben ist, welches aus den Zellenporen und aus dem Protoplasma heraustrat.

Das Studium der Kurven des Temperaturverlaufes der Insekten bei der Abkühlung (abhängig von der Zeit) nach dem »Sprunge« kann uns eine Vorstellung über thermische Eigenschaften der Säftebestandtheile der Insekten verschiedener Arten geben, besonders wenn man die Empfindlichkeit der in dieser Abhandlung beschriebenen Methode für die Temperaturmessung noch weiter steigern wird. —

Ich will hier noch einige Worte über eine wahrscheinliche Hypothese sagen, welche das Moment des Auftretens des Todes der Insekten beim Abkühlen ihres Körpers erklären kann.

Die gegenwärtige Untersuchung zeigte, dass der Tod erst dann eintritt, wenn die Temperatur bei der Abkühlung des Insektenkörpers nach dem »Temperatursprung« wieder bis zu jenem Punkte sinkt, bis zu welchem die Säfte vor dem »Sprunge« überkühlt waren.

Die aufzustellende Hypothese, welche diese Thatsache erklärt, besteht in Folgendem:

Im Insektensafte sind verschiedene Flüssigkeiten und auch feste Substanzen mit speciellen Funktionen für die Lebensthätigkeit der Insekten vorhanden. Diejenige Thatsache, welche ich Gelegenheit hatte öfters zu beobachten, dass beim Überkühlen der Säfte — aber nicht bei ihrem Erstarren — das Insekt wieder belebt wird, wenn es bei Zimmertemperatur gelassen wird, wobei der Grad der Lebensthätigkeit nach seiner Energie wieder derselbe wird, zeigt, dass dabei keine für das Leben schädlichen Veränderungen (physikalische oder chemische) im Insektenkörper bei dieser Überkühlung stattfinden.

Etwas Anderes findet bei der Überkühlung der Säfte nach dem »Temperatursprung« statt. Ein Theil derselben erstarrt dabei in den Zellen selbst, und diese Erstarrung dauert auch bei weiterer Abkühlung nach dem erwähnten »Sprunge« fort. Auf diese Art erfolgt bereits eine gründliche Veränderung des Zellensaftes, welche die Lebensfähigkeit des Insekts mehr und mehr vermindert. Wenn man das Insekt jetzt der Zimmertemperatur aussetzt, lebt es wieder auf, wobei jedoch seine jetzige Lebensthätigkeit nur ein Bruchtheil der-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

jenigen Lebensthätigkeit darstellen wird, welche es vor der Erstarrung hatte. Dieser Bruchtheil wird desto geringer sein, je mehr die Ab-

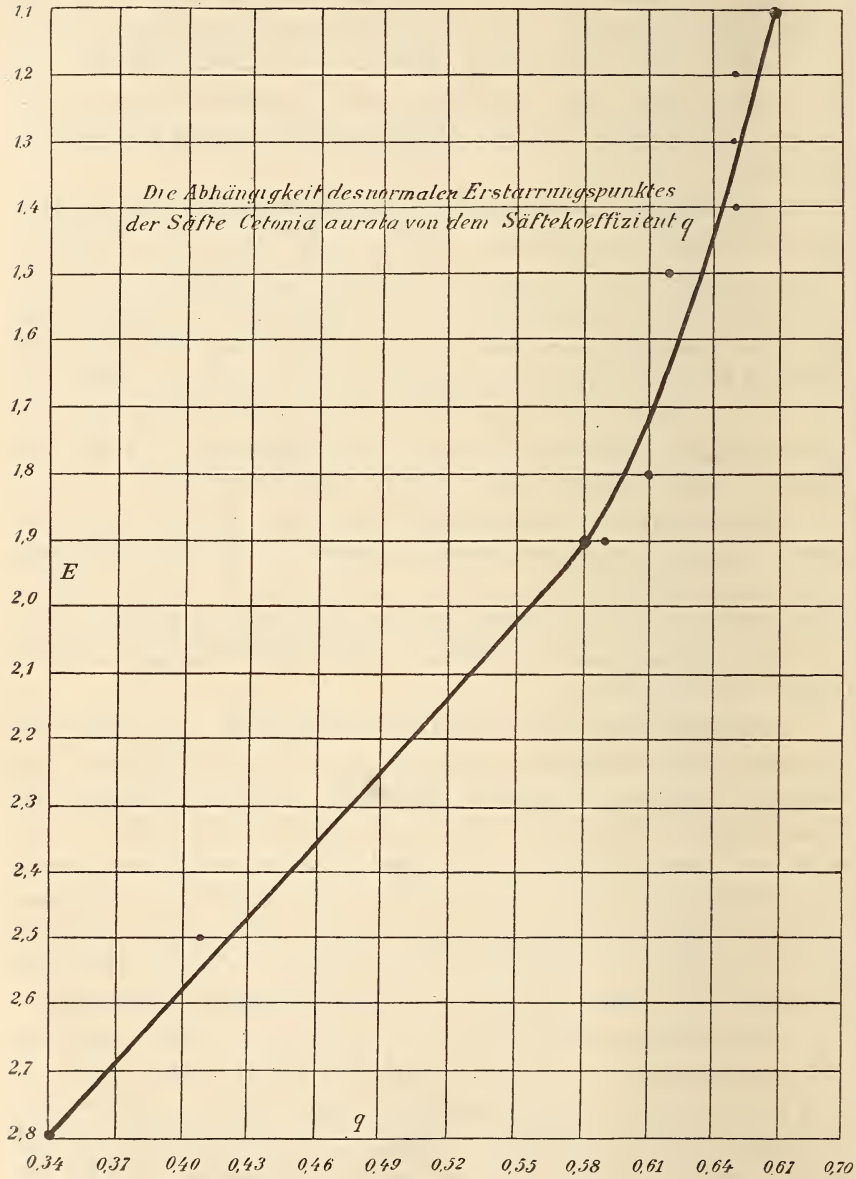

Fig. 5.

Die Kurve zeigt die Abhängigkeit des normalen Erstarrungspunktes der Säfte von Cetonia aurata von dem Säftekoefficient $q = \frac{P}{M}$, wo P das Gesammtgewicht und M das Gewicht des Insektensaftes bedeutet.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

kühlung des Insektes nach dessen »Temperatursprung« sich dem kritischen Punkt (T) nähert, und dieser Bruchtheil wird gleich 0 werden, wenn die Abkühlung des Insektes mit T zusammenfällt.

Diesen letzteren Umstand kann man sich folgendermaßen erklären: Im Insektensaft ist eine gewisse Substanz x vorhanden, deren Erstarrung (oder vielleicht Gerinnen) unbedingt tödlich für das Insekt ist. Diese Substanz hat eine sehr geringe Erstarrungswärme und auch Erstarrungstemperatur = T (der oben erwähnte kritische Punkt). Bei der Überkühlung der Insektensäfte wird nämlich desshalb im Temperaturverlauf des Insektenkörpers ein »Sprung« erhalten, weil im Momente, wo die Überkühlung den Punkt T erreicht, die Substanz x bei diesem ihren normalen Erstarrungspunkte (T) erstarren »wolle«; sie ertheilt jedoch dadurch, dass sie, wenn auch nur ein einziges, festes Molekül gebildet hat, der überkühlten Flüssigkeit, deren Erstarrungspunkt höher als T liegt (gewöhnlich bei $-1{,}5°$), einen Stoß, durch den die Erstarrung hervorgerufen wird. Die Substanz x wird keine Zeit haben, weitere feste Moleküle zu bilden, da beim Erstarren des Wassers eine große Quantität der Erstarrungswärme frei wird, und desshalb wird sie nach dem »Temperatursprunge« des Insektes wieder weiter flüssig bleiben. Auf diese Weise bleibt der für die Lebensthätigkeit des Insektes hauptsächlichste Theil der Substanz x unverändert. Wenn schließlich die Temperatur nach dem »Sprunge« wieder bis zu T fällt, erstarrt die Substanz x, und das Insekt stirbt unwiderruflich.

Da in dem Kurvenverlauf für Papilio podalirius (Fig. 3, Kurve A) keine scharfe Veränderung nach dem »Sprunge« bei T beobachtet wird, so weist dieser Umstand darauf hin, dass von der Substanz x im Insektenkörper sehr wenig vorhanden ist, wobei, wie oben vermuthet, auch ihre Erstarrungswärme sehr gering ist.

Da die Größe T für verschiedene Insektenarten verschieden ist, so bedeutet dies, dass die Substanz x keine konstanten Eigenschaften besitzt. Als Beispiel der Veränderlichkeit dieser Eigenschaften kann im gegebenen Falle Eiweiß dienen. Lewith (39) untersuchte globulinfreies Eieralbumin, welches im Wasser sehr leicht löslich ist, und dessen Lösung bei 56° bis 57° C. gerinnt. Das Eiweiß mit 25% Wasser gerinnt bei 74° bis 80°, dasselbe mit 18% Wasser bei 80° bis 90° und das Eiweiß mit 6% Wasser bei 145°; das ganz wasserfreie Eiweiß gerinnt nach Maas erst bei 160° bis 170°. —

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Schlusswort.

Wenn wir alles hier Erörterte in Bezug auf die Temperatur der Insekten zusammenfassen, kommen wir zu folgenden Schlussfolgerungen:

1) Die Temperatur der Insekten wechselt in sehr weiten Grenzen, ohne scheinbar böse Folgen für ihr Leben nach sich zu ziehen, und ist bei in Ruhe sich befindenden Insekten der Temperatur der umgebenden Luft gleich. Bei der Bewegung der Insekten steigt die Temperatur ihres Körpers.

2) Beim Steigen der Lufttemperatur zeigen Anfangs die Insekten keine besondere Unruhe; sobald aber ihre Körpertemperatur bis 39° steigt, beginnen sie sich stark zu bewegen und sterben bei 46°—47°.

3) Beim Sinken der Temperatur der umgebenden Luft steigt die Körpertemperatur der Insekten Anfangs gleichmäßig, dann plötzlich (dieser Punkt entspricht der normalen Temperatur des Gefrierens der Säfte) und sinkt nachher wieder langsam. Der Anfang dieses »Sprunges« liegt zuweilen sehr niedrig (—15°), und die plötzliche Temperaturerhöhung beim »Sprunge« erreicht gewöhnlich —1,5°.

4) Das Insekt stirbt bei der Abkühlung, wenn seine Körpertemperatur nach dem »Sprunge« ungefähr bis zu derjenigen Temperatur, bei welcher dieser »Sprung« (kritischer Punkt) stattfand, oder noch niedriger sinkt.

5) Die Art des Aufthauens der Insekten nach dem Gefrieren ihrer Säfte hat keinen bemerkbaren Einfluss auf ihre Rückkehr zum Leben, sondern nur auf die Intensität des letzteren.

6) Der »kritische Punkt« ist nicht gleich bei verschiedenen Arten Insekten, sogar bei verschiedenen Exemplaren einer und derselben Art, und variirt in gewissen Grenzen.

7) Die Größe des »kritischen Punktes« und die normale Temperatur des Säftegefrierens beeinflussen:

a. die Nahrung; und zwar je länger ein gegebenes Insekt ohne Nahrung bleibt, desto niedriger ist die normale Temperatur des Gefrierens seiner Säfte; parallel damit sinkt auch der kritische Punkt; und:

b. das abermalige Einfrieren, welches den »kritischen Punkt« heruntersetzt, eben so wie die normale Temperatur des Säftegefrierens. Bei weiteren Wiederholungen des Einfrierens zeigt das Insekt keine Überkühlung der Säfte mehr, sondern diese gefrieren in normaler Weise gleich beim Anfange der Abkühlung des Insektes.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

8) Je größer das Verhältnis des Säftegewichtes des Insektes zum Gesammtgewicht seines Körpers (für verschiedene Exemplare einer und derselben Art) ist, desto höher ist der normale Punkt der Säfteerstarrung des Insektes.

9) Die Pflanzen zeigen ebenfalls bei Abkühlung einen Temperatur-»Sprung«, analog dem bei den Insekten beobachteten. Genau wie bei den letzteren sinkt, je öfter eine und dieselbe Pflanze dem Erfrieren unterworfen wird, die Überkühlung ihrer Säfte desto niedriger.

10) Alle bei der Abkühlung der Insekten beobachteten Erscheinungen erklären sich durch Säfteüberkühlung, wie dies analoge Versuche mit dem Gefrieren des Wassers in Kapillarröhrchen, in der Ziegelkugel, in der zugelötheten Glaskugel und die Versuche mit dem Gefrieren des Birnen- und Citronensaftes in verschlossenen porösen Thoncylindern zeigen.

Sophia, im Juni 1899.

Litteraturverzeichnis.

1. Andriaschew, Handb. für die rationelle Bienenzucht. Kjew 1890. (Russisch.)
2. Becquerel, Traité de physique considérée dans ses rapports avec la chimie et les sciences naturelles. Paris. Tome II. p. 59, 60, 61. 1844.
3. Berthold, Neue Beobachtungen über die Temperatur der kaltblütigen Thiere. Göttingen 1835.
4. Brandt u. Ratzeburg, Darstellung und Beschreibung der in der Arzneimittellehre in Betracht kommenden Thiere. Berlin 1832.
5. Breyer, Ann. Soc. entomolog. belg. Tome IV. p. 92. 1860.
6. Bütschli, Ein Beitrag zur Kenntnis des Stoffwechsels, insbesondere der Respiration bei den Insekten. Archiv für Anat. u. Physiol. u. wiss. Medicin von Reichert u. du Bois-Reymond. p. 348—361. 1874.
7. [J. David], Ann. de phys. et chim. 2e série. Tome XXXIII. p. 180. 1826. [Citirt nach Dutrochet. Offenbar eine Verwechslung mit dem darauf folgenden Autor.]
8. Davy, John, Observations sur la température de l'homme et des animaux des divers genres. Ann. de phys. et chim. 2e série. Tome XXXIII. p. 180—197. 1826.
9. Decrosen, Oken's Isis. p. 734. 1845.
10. Dönhoff, Archiv für Anat. und Physiologie und wissensch. Medicin von Reichert und du Bois-Reymond. p. 724. 1872.
11. Dorfmeister, Georg, Über den Einfluss der Temperatur bei der Erzeugung der Schmetterlingsvarietäten. Graz 1880.
12. Dubost, Méthode avantageuse de gouverner les abeilles fondée sur de nouvelles expériences. XII + 139 pag. 1880. Bourg.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

13. Dutrochet, Recherches sur la chaleur propre des êtres vivans à basse température. Ann. des sciences naturelles. Partie botanique. 2e série. XIII. p. 5—49, avec 1 fig. 1840.
14. —— Recherches sur la chaleur propre des êtres vivans à basse température. Chapitre II. Recherches sur la chaleur propre des animaux à basse température. Ann. des sciences naturelles. Zoologie. 2e sèrie. XIII. p. 5—58. Jan. — Juin 1840.
15. Fischer, E., Transmutation der Schmetterlinge in Folge Temperaturänderungen. Experimentelle Untersuchungen über die Phylogenese der Vanessen. Berlin. 36 pag. 1895.
16. —— Neue experimentelle Untersuchungen und Betrachtungen über das Wesen und die Ursachen der Aberrationen in der Faltergruppe Vanessa. Berlin. 67 pag. mit 12 Abbildungen und 2 Tafeln. 1896.
17. —— Zwei sonderbare Aberrationen von Vanessa antiopa und eine neue Methode zur Erzeugung der Kälteaberrationen. Sonderdruck aus der »Illustr. Wochenschr. für Entomologie«. Neudamm. 7 pag. 1897.
18. —— Beiträge zur experimentellen Lepidopterologie. Illustr. Wochenschr. für Entomologie. Neudamm. Bd. II: Nr. 33, p. 513—516; Nr. 37, p. 577—583; Nr. 38, p. 595—600; Nr. 44, p. 689—695; Bd. III: Nr. 4, p. 49—53; Nr. 12, p. 181—183; Nr. 16, p. 241—243; Nr. 17, p. 262—264. Nr. 18, p. 278—280; Nr. 23, p. 354—357. 1898. Bd. IV: Nr. 3, p. 33—34; Nr. 5, p. 67—69. 1899.
19. —— Experimentelle kritische Untersuchungen über das procentuale Auftreten der durch tiefe Kälte erzeugten Vanessen-Aberrationen. Societas entomologica. XIII. Nr. 22. p. 169—171; Nr. 23, p. 177—179. 1899.
20. Girard, Maurice, Études sur la chaleur libre dégagée par les animaux invertébrés et specialement les insectes. Ann. des sciences naturelles. Zoologie. 5e série. XI. p. 134—274. 1869.
21. —— Les méthodes experimentelles pouvant servir à rechercher la chaleur propre des animaux articulés et specialement des insectes. Paris 1862.
22. —— Recherches sur la chaleur des articulés. Ann. Soc. entomolog. de France. Tome I, p. 503—508. 1861; Tome II, p. 345—347. 1862. Tome III; p. 92—98. 1863.
23. Graber, Veit, Thermische Experimente an der Küchenschabe (Periplaneta orientalis). Arch. für die gesammte Physiologie des Menschen und der Thiere von Pflüger. Bd. XLI. p. 240—256. 1887.
24. Hausmann, De animalium exsanguinum respiratione. Gottingae 1803.
25. Huber, P., Recherches sur les moeurs des fourmis indigènes. Avec 2 pl. Paris et Genève 1810.
26. —— The natural History of ants, translated from the French with notes, by J. R. Johnson. London 1820.
27. Huber, François, Nouvelles observations sur les abeilles. 2e édition, considérablement augmentée (par son fils Pierre Huber). 2 Tomes. Paris et Genève 1792—1814.
28. —— Neue Beobachtungen über die Bienen, in Briefen an Bonnet. Aus dem Französischen mit Anmerkungen und Zusätzen vermehrt von Riem. Dresden 1793.
29. —— Neue Beobachtungen über die Bienen. Voigt's Magazin für den neuesten Zustand der Naturkunde, mit Rücksicht auf die dazu gehörigen Hilfswissenschaften. Bd. VIII. p. 433—434. 1804.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

30. Hunter, Philos. Trans. 1792.
31. Juch, Carl Wilhelm, Ideen zu einer Zoochemie, systematisch dargestellt. Mit Zusätzen und einer Vorrede versehen von Joh. Bartholomä Trommsdorff. Erfurt 1800.
32. Kirby u. Spence, Einleitung in die Entomologie. Übersetzt von Oken. II. p. 497.
33. Kochs, W., Kann die Kontinuität der Lebensvorgänge zeitweilig völlig unterbrochen werden? Biologisches Centralblatt. Bd. X. p. 673. 1890.
34. —— Über die Vorgänge beim Einfrieren und Austrocknen von Thieren und Pflanzen. Ebenda. Bd. XII. p. 330. 1892.
35. Koschewnikow, T., Über die Bedeutung der die Bienen umgebenden Lufttemperatur für ihr Leben und über die Temperatur der Bienen selbst. Russische Bienenliste. 1895—1896. (Russisch.)
36. Kulagin, N., Zur Biologie von Ocneria dispar in Russland. Sonderdruck aus der »Illustr. Wochenschr. für Entomologie.« Neudamm.
37. —— Beobachtungen über die Temperatur der Bienen im Bienenstock von Route. Journ. der Land- und Forstwirthschaft. Bd. CLXXXIX. Nr. 4. p. 163—169. Moskau 1898. (Russisch.)
38. Lecoq, H., De la transformation du mouvement en chaleur chez les animaux. Comptes rendus des séances de l'Acad. des sciences. Paris. Tome LV. p. 191—192. 1862.
39. Lewith, S., Archiv für experimentelle Pathologie. Bd. XXVI. p. 341. 1890.
40. Merrifield, F., Transact. Entom. Soc. p. 425. 1884.
41. Molin, R., Das Leben und die rationelle Zucht der Honigbiene. Wien. XII + 212 pag. mit 31 Grav. 1880.
42. Müller-Erzbach, Die Widerstandsfähigkeit des Frosches gegen das Einfrieren. Zool. Anz. p. 383. 1891.
43. Mussehl, Über das Winterleben der Stockbiene. Oken's Isis. p. 572. 1836.
44. Newport, George, On the Temperature of Insects, and its connexion with the Functions of Respiration and Circulation in this Class of Invertebrated Animals. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Vol. CXXVII. Part. II. p. 259—339. 1837.
45. —— Philos. Transact. Part. II. p. 551. 1836.
46. Nicolet, Hercule, Recherches pour servir à l'histoire des Podurelles. Mém. de la société helvétique. Tome VI, avec 9 planches. 88 pag. 1841. Parallel-Titel: Neue Denkschriften der allgemeinen Schweizer Gesellschaft für die gesammten Naturwissenschaften.
47. Nobili et Meloni, Recherches sur plusieurs phénomènes calorifiques entreprises en moyen du thermomultiplicateur. Ann. de phys. et chim. Tome XLVIII. p. 198—217. 1831.
48. Potechin, L., Nachschlagebuch für die Bienenzüchter. St. Petersburg 1891. (Russisch.)
49. Pouchet, F. A., Recherches expérimentales sur la congélation des animaux. Robin's Journal de l'anatomie et de physiologie. III. p. 1. 1866.
50. Réaumur, Mémoires pour servir à l'histoire naturelle des insectes. Pariser Ausgabe: I. 1734; II. 1736; III. 1737; IV. 1738; V. 1740; VI. 1742; Amsterdamer Ausgabe: I. u. II. 1737; III. 1738; IV. 1740; V. 1741; VI. 1748.
51. Régnault, Ann. de phys. et chim. 3e série. XXVI. p. 517. 1819.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

52. Reichenau, W. v., Die Züchtung des Nesselfalters (Vanessa urticae L.), ein Beweis für den direkten Einfluss des Klimas. Kosmos. V. 12. p. 46. 1882.
53. Rengger, J. R., Physiologische Untersuchungen über die thierische Haushaltung der Insekten. Tübingen 1817.
54. Rödel, Hugo, Über das vitale Temperaturminimum wirbelloser Thiere. Zeitschr. für Naturwissenschaften. Vierte Folge. LIX. V. Bd. p. 183—214. 1886.
55. Sachs, Julius, Gesammelte Abhandlungen über Pflanzenphysiologie. Bd. I. Leipzig 1892.
56. Schultze, Max, Das Protoplasma der Rhizopoden und der Pflanzenzellen. p. 48. 1863.
57. Schulz, H., Über das Abhängigkeitsverhältnis zwischen Stoffwechsel und Körpertemperatur bei Amphibien und Insekten. Inaug.-Dissert. Bonn 20 pag. 1877.
58. Semper, Carl, Die natürlichen Existenzbedingungen der Thiere. Mit 106 Abbild. und 2 lithograph. Karten. 1. Theil. X + 299 pag.; 2. Theil. VIII + 296 pag. Leipzig 1880. (Bildet Bd. XXXIX u. XL der internationalen wissenschaftlichen Bibliothek.)
59. Spallanzani, Lazaro, Trois mémoires sur la respiration, traduits en français, d'après le manuscrit inédit de l'auteur, par J. Senebrer. Genève 1803.
60. Standfuss, M., Experimentelle zoologische Studien mit Lepidopteren. Denkschrift der Schweiz. Naturforsch. Gesellsch. Bd. XXXVI. 81 pag. mit 5 Tafeln in Lichtdruck. 1898.
61. Timm, D., Die Biene und die Bienenwohnung. Güstrow 1882.
62. Weismann, Aug., Über den Saisondimorphismus der Schmetterlinge. Leipzig. 94 pag. und 2 Tafeln. 1875.
63. —— Neue Versuche zum Saisondimorphismus der Schmetterlinge. Zoolog. Jahrbücher. Jena. Bd. VIII. 74 pag. 1895.
64. Wyman, Proc. of the Boston Society of Nat. History. Tome V. p. 157. 1856.
65. Zeller, Meteorolog. Zeitschr. p. 274. 1894.
66. Ziesielski, Bienenzucht, gegründet auf Wissenschaft und langjähriges Praktikum. Übersetzt ins Russische von J. W. Lubarski. Kasan 1895. (Russisch.)

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie

Jahr/Year: 1899

Band/Volume: 66

Autor(en)/Author(s): Bachmetjew P.J.

Artikel/Article: Über die Temperatur der Insekten nach Beobachtungen in Bulgarien. 521-604