

Die Abhängigkeit des kritischen Punktes bei Insekten von deren Abkühlungsgeschwindigkeit.

Von

P. Bachmetjew.

(Aus dem physikalischen Institute der Hochschule zu Sophia.)

Mit 3 Figuren im Text.

Unter kritischem Punkt (K_1) eines Insektes wird diejenige Temperatur verstanden, bis zu welcher die Säfte im Insekt unterkühlt werden können, ehe dieselben zu erstarren beginnen, worauf die Temperatur des Insektes bis zum normalen Erstarrungspunkt (N) der Insektensäfte steigt (Fig. 1). Kühlt man dabei das Insekt weiter ab, so gefriert es vollständig und stirbt, wenn seine Temperatur eine gewisse Größe K_2 erreicht.

In meiner Abhandlung: »Über die Temperatur der Insekten nach Beobachtungen in Bulgarien«¹ habe ich auf die Faktoren hingewiesen, welche den kritischen Punkt der Säfteerstarung der Insekten beeinflussen; zu denselben werden gerechnet: der Nahrungsmangel und das wiederholte Erstarrungsverfahren.

Ich will hier noch den dritten Faktor, nämlich die Abkühlungsgeschwindigkeit des Insektenkörpers, betrachten.

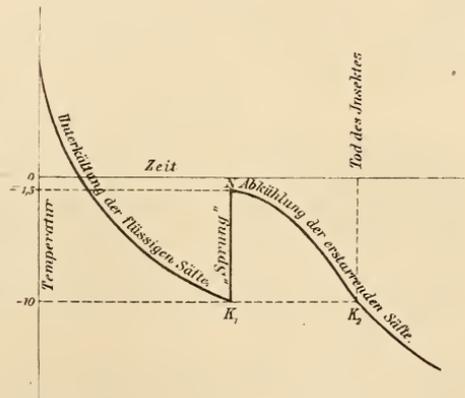


Fig. 1.

¹ Diese Zeitschr. LXVI. Bd. 4. Heft. 1899. p. 521—604.

Die Untersuchungen wurden nach derselben Methode ausgeführt, welche ich auch damals angewendet habe.

§ 1.

Zur klareren Vorstellung der Abkühlungsgeschwindigkeit kann die Fig. 2 dienen, in welcher der Temperaturverlauf der Puppe von *Aporia crataegi* als Funktion der Zeit dargestellt ist. Daraus ist ersichtlich, dass die Temperatur der Puppe (in einem kalten Luftbade bei ca. -12° C.) z. B. um 4^h01 -2° betrug, um 4^h02 $-4,1^{\circ}$ war etc., und dass die Abkühlungskurve sich immer mehr und mehr zu der horizontalen Linie nähert (mit derselben würde sie bei -12° zusammenfallen, wenn vorher kein »Sprung« statthätte). Da der

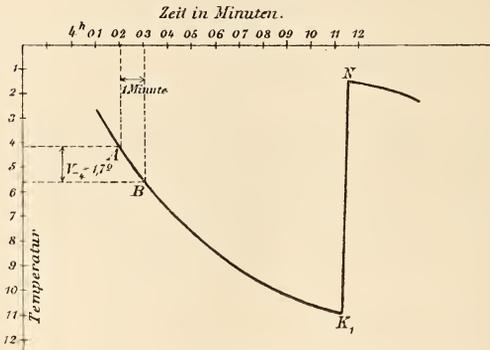


Fig. 2.

Betrag, um welchen die Temperatur pro Minute hinunterfällt, während verschiedener Zeitintervalle verschieden ist, kann von einer konstanten Abkühlungsgeschwindigkeit keine Rede sein (nach dem Gesetze von NEWTON). Deshalb wollen wir als Abkühlungsgeschwindigkeit die Anzahl von Temperaturgraden bezeichnen, um welche die Insektentemperatur während einer Minute, angefangen von einer willkürlichen Temperatur, hinunterfällt. Als solche willkürliche Temperatur nehme ich -4° an; eine tiefere Temperatur zu nehmen empfiehlt sich nicht, da es öfters vorkommt, dass der kritische Punkt (K_1) bereits bei -4° liegt. Wenn man eine höhere Temperatur als -4° als Anfang für die Abkühlungsgeschwindigkeit¹ nehmen würde, so würde man sich wieder an eine Schwierigkeit stoßen, nämlich die, dass für solche Temperaturen nicht immer Beobachtungsmaterial vorliegt.

Also in dem gegebenen Falle (Fig. 2) beträgt die Abk.-Gschw. während einer Minute, angefangen von -4° , $V_{-4} = 1,7^{\circ}$.

¹ Wir wollen die Abkühlungsgeschwindigkeit der Kürze wegen durch Abk.-Gschw. bezeichnen.

Die Abk.-Gschw., welche in nachfolgenden Tabellen angeführt ist, wurde in jedem einzelnen Falle aus der graphischen Darstellung der beobachteten Temperaturen berechnet. Die verschiedenen Werthe für V_{-4} bekam ich dadurch, dass ich die Temperatur des Luftbades zwischen -10° und -20° variirte.

Da der Flüssigkeitsgehalt im Insektenkörper nicht ohne Einfluss auf den normalen Erstarrungspunkt der Insektensäfte ist, wie ich es in der oben erwähnten Abhandlung nachgewiesen habe, führe ich hier in einer besonderen Kolonne auch die Werthe für den Säftekoeffizient $q = \frac{M}{P}$ auf, wo M das Gesamtgewicht des Insektenkörpers und P das Gewicht des Insektenkörpers, während zwei Stunden bei 120° getrocknet, bedeutet¹.

Ich werde zuerst solche Beobachtungstabellen anführen, welche die Resultate nur mit zwei oder drei Exemplaren einer und derselben Insektenart enthalten.

Puppen von *Deilephila galii*.

Datum	Nr.	K_1	N	K_1-N	V_{-4}	q	Bemerkung
17. IV. 99	1	-8,1	-1,1	7,0	0,8	0,74	Bezogen von Herrn SCHADE, Brünn.
17. VI. 99	2	-5,3	-1,0	4,3	1,1	0,77	

Daraus ist ersichtlich, dass, je größer V_{-4} ist, desto kleiner K_1 wird.

Puppen von *Vanessa atalanta*.

Datum	Nr.	K_1	N	K_1-N	V_{-4}	q	Bemerkung
22. VII. 99	3	-10,0	-0,8	9,2	1,2	0,80	Bezogen von Herrn Dr. E. FISCHER, Zürich.
22. VII. 99	4	-11,5	-1,0	10,5	1,4	0,77	
22. VII. 99	5	-14,0	-1,1	12,9	2,0	0,80	

Hier ist das Umgekehrte zu beobachten: je größer V_{-4} ist, desto größer ist auch K_1 .

Puppen von *Vanessa levana*.

Datum	Nr.	K_1	N	K_1-N	V_{-4}	q	Bemerkung
30. X. 99	6	-10,6	-1,5	9,1	0,8	—	Bezogen von Herrn Dr. E. FISCHER, Zürich.
30. X. 99	7	-13,1	-1,4	11,7	2,0	—	
30. X. 99	8	-14,5	-1,6	12,9	3,0	—	

Hier ist dieselbe Regelmäßigkeit wie bei Puppen von *V. atalanta*.

¹ Näheres darüber siehe in meiner Abhandlung: »Über Insektensäfte«. O. KRANCHER's Entomol. Jahrb. IX (1900). 1899. p. 114—124.

Puppen von *Saturnia spini*.

Datum	Nr.	K_1	N	K_1-N	V_{-4}	q	Bemerkung
15. VII. 98	9	-9,3	-1,3	8,0	0,55	—	} Gesammelt in Sophia.
21. IV. 99	10	-8,8	-1,4	7,4	0,75	0,72	

Das Verhalten ist dasselbe wie bei Puppen von *Deil. galii*.

Die angeführten Tabellen zeigen also, dass bei einer Puppenart der kritische Punkt mit der Zunahme der Abk.-Gschw. zunimmt, während bei der anderen K_1 abnimmt.

Ich stellte deshalb die Versuche mit verschiedenen Imagines an, um diese Verschiedenheit aufzuklären.

Thais rumina.

Datum	Nr.	K_1	N	K_1-N	V_{-4}	q	Bemerkung
19. V. 99 ♀	11	-11,5	-2,1	9,4	0,7	—	} Bezogen von Herrn KARLINGER, Wien (Puppen).
16. V. 99 ♀	12	-3,0	-1,3	1,7	2,8	0,63	

d. h. K_1 nimmt mit der Zunahme der Abk.-Gschw. ab.

Plusia gamma.

Datum	Nr.	K_1	N	K_1-N	V_{-4}	q	Bemerkung
4. VI. 98	13	-7,8	-1,6	6,2	0,6	—	} Gefangen in Sophia.
4. VI. 98	14	-10,3	-2,0	8,3	0,9	0,71	

Hier nimmt K_1 mit der Zunahme der Abk.-Gschw. zu, d. h. umgekehrt, wie bei *Th. rumina*.

Die mit mehreren Exemplaren erhaltenen Resultate enthalten folgende Tabellen:

Vanessa atalanta.

Datum	Nr.	K_1	N	K_1-N	V_{-4}	q	Bemerkung
26. VII. 99	15	-12,9	-0,9	12,0	0,2	—	} Puppe bezogen von Dr. E. FISCHER, Zürich.
22. VI. 98	16	-8,1	-0,8	7,3	0,35	0,66	
20. VII. 98	17	-8,5	-1,1	7,4	0,38	—	} In Sophia gefangen.
23. VII. 98	18	-6,9	-1,2	5,7	1,2	—	
22. VII. 98	19	-1,7	-1,3	0,4	1,4	—	
23. VII. 98	20	-2,1	-1,3	0,8	1,8	—	

Aus dieser Tabelle ist zu ersehen, dass K_1 mit der Zunahme der Abk.-Gschw. im Allgemeinen abnimmt, wobei jedoch kleine Unregelmäßigkeiten zu beobachten sind (Nr. 16 und 19); eine größere Regelmäßigkeit wird zwischen V_{-4} und K_1-N beobachtet.

Da die Größe N den normalen Erstarrungspunkt der Säfte bedeutet, so stellt $K_1 - N$ den Unterkühlungsgrad der Säfte dar. In Anbetracht dessen, dass die Größe N für verschiedene Exemplare und Arten verschieden ist, muss die Abhängigkeit nicht des kritischen Punktes, sondern des Unterkühlungsgrades von der Abk.-Gschw. gesucht werden, was physikalisch auch viel präziser ist.

Somit nimmt der Unterkühlungsgrad¹ der Säfte mit der Zunahme der Abk.-Gschw. ab; eine unbedeutende Ausnahme macht nur Nr. 19.

Papilio podalirius.

Datum	Nr.	K_1	N	$K_1 - N$	V_{-4}	q	Bemerkung
6. VIII. 98	21	-12,1	-1,2	10,9	0,4	—	} Alle in Sophia gefangen.
21. VII. 98	22	-9,9	-1,3	8,6	0,8	—	
1. V. 99	23	-5,3	-1,3	4,0	1,3	0,64	
1. V. 99	24	-6,9	-1,2	5,7	1,35	0,70	
1. V. 99	25	-7,8	-1,3	6,5	1,5	0,63	
1. V. 99	26	-7,7	-1,2	6,5	1,9	0,63	

Daraus ist ersichtlich, dass $K_1 - N$ mit der Zunahme der Abk.-Gschw. zuerst abnimmt, bei $K_1 - N = 4,0$ ein Minimum erreicht, um darauf zuzunehmen. Ein ganz unerwartetes Resultat!

Pieris rapae.

Datum	Nr.	K_1	N	$K_1 - N$	V_{-4}	q	Bemerkung
21. VII. 98	27	-12,0	-2,1	(9,9)	0,35	—	} Alle in Sophia gefangen.
25. VIII. 98 ♀	28	-6,7	-1,3	5,4	0,4	0,68	
6. VII. 98 ♂	29	-9,5	-2,0	7,5	0,5	0,50	
19. IV. 99 ♀	30	-11,5	-3,5	8,0	0,7	0,68	
6. VII. 98 ♂	31	-10,7	-1,5	9,2	0,7	0,68	
25. VIII. 98 ♀	32	-13,3	-1,5	11,8	1,1	0,68	
4. VI. 98	33	-8,6	-8,2	(0,4)	1,4	0,64	
17. IV. 99 ♀	34	-8,6	-2,8	5,8	2,5	0,68	
17. IV. 99 ♂	35	-6,0	-1,4	4,6	3,0	0,67	

Wenn man in Betracht zieht, dass bei Nr. 33 der normale Erstarrungspunkt abnorm ist ($N = -8,2^\circ$), — was dadurch zu erklären ist, dass die Unterkühlung der Säfte fast gar nicht stattfand, sondern bei $K_1 = -8,6^\circ$ irgend ein Bestandtheil der Säfte im minimalen Quantum sich bis $-8,6^\circ$ unterkühlte und den »Sprung« von $-8,6^\circ$ bis auf $-8,2^\circ$ verursachte, — somit die Zahl 0,4 auszustreichen wäre, dann erhalten wir wieder ein unerwartetes Resultat, dass $K_1 - N$ mit der Zunahme der Abk.-Gschw. zuerst zunimmt,

¹ Im Folgenden wird der Ausdruck »Unterkühlungsgrad« durch »Uk.-Gr.« ersetzt.

dann bei Nr. 32 ein Maximum erreicht, um darauf abzunehmen (die Größe 9,9 bei Nr. 27 wäre als eine Ausnahme zu betrachten).

Puppen von *Aporia crataegi*.

Datum	Nr.	K_1	N	K_1-N	V_{-4}	q	Bemerkung
17. V. 99	36	-10,5	-1,5	9,0	1,7	—	} Gesammelt in Sophia.
19. V. 99	37	-8,0	-1,2	6,8	2,2	0,68	
19. V. 99	38	-10,6	-1,3	9,3	2,8	0,64	
19. V. 99	39	-8,5	-1,8	6,7	2,9	0,62	
19. V. 99	40	-11,7	-1,9	9,8	3,1	0,62	
19. V. 99	41	-11,7	-4,1	7,6	4,2	0,54	

Aus dieser Tabelle ist keine regelmäßige Abhängigkeit der Größe K_1-N von V_{-4} zu bemerken.

Puppen von *Vanessa jo*.

Datum	Nr.	K_1	N	K_1-N	V_{-4}	q	Bemerkung
22. VII. 99	42	-13,6	-0,8	12,8	0,9	0,74	} Bezogen von Herrn Dr. E. FISCHER, Zürich.
22. VII. 99	43	-8,5	-1,0	7,5	1,0	0,76	
22. VII. 99	44	-10,5	-1,0	9,5	2,6	0,77	

Hier erreicht K_1-N mit der Zunahme der Abk.-Gschw. ein Minimum (Nr. 43).

Puppen von *Vanessa polychloros*.

Datum	Nr.	K_1	N	K_1-N	V_{-4}	q	Bemerkung
22. VII. 99	45	-10,4	-0,8	9,6	1,4	0,80	} Bezogen von Herrn Dr. E. FISCHER, Zürich.
22. VII. 99	46	-13,6	-1,0	12,6	1,9	0,79	
22. VII. 99	47	-13,3	-0,9	12,4	2,1	0,70?	

In dieser Tabelle erreicht K_1-N mit der Zunahme der Abk.-Gschw. ein Maximum (Nr. 46).

Cetonia aurata.

Datum	Nr.	K_1	N	K_1-N	V_{-4}	q	Bemerkung
9. VII. 98 ♀	48	-5,9	-1,5	(4,4)	0,7	0,61	} Gefangen in Sophia. Alle Exemplare haben 5 Tage gehungert.
9. VII. 98 ♂	49	-5,2	-1,3	3,9	0,9	0,64	
9. VII. 98 ♂	50	-6,3	-1,2	5,1	0,9	0,56	
9. VII. 98	51	-7,0	-1,3	5,7	1,2	0,58	
9. VII. 98	52	-6,3	-1,6	4,7	1,3	—	

Daraus ist ersichtlich, dass K_1-N mit der Zunahme der Abk.-Gschw. ein Maximum erreicht (bei Nr. 51), um nachher abzunehmen (Nr. 48 stellt eine Ausnahme dar).

Aporia crataegi.

Datum	Nr.	K_1	N	K_1-N	V_{-4}	q	Bemerkung
3. VI. 98	53	-6,8	-1,1	5,7	0,5	—	Alle Exemplare in Sophia gefangen.
17. VI. 98	54	-6,9	-0,8	6,2	0,6	0,61	
3. VI. 98	55	-8,0	-0,8	7,1	0,8	—	
28. V. 98	56	-9,2	-1,4	7,8	0,9	0,56	
18. VI. 98	57	-8,7	-0,9	7,8	1,0	—	
17. VI. 98	58	-7,9	-0,9	7,0	1,1	0,58	
13. VI. 98	59	-6,2	-0,7	5,5	1,1	0,62	
6. VI. 99	60	-2,4	-1,4	1,0	1,4	0,61	
6. VI. 99	61	-2,0	-1,4	0,6	1,5	0,60	

Hier tritt die Regelmäßigkeit sehr deutlich hervor: $K_1 - N$ nimmt mit der Zunahme der Abk.-Gschw. zu, erreicht bei $V_{-4} = 0,9$ ein Maximum, um darauf abzunehmen.

Ich will hier noch die Versuche mit *Oxythryea (Leucocelis) cinctella* anführen, welche Z Tage gehungert haben.

Oxythryea (Leucocelis) cinctella ♂.

Datum	Nr.	K_1	N	K_1-N	V_{-4}	q	Z	Bemerkung
26. V. 99	62	-7,1	-2,7	4,4	0,8	0,58	11	Alle Exemplare am gleichen Tage (15. V. 99) in Sophia gesammelt.
16. V. 99	63	-7,1	-2,1	5,0	0,9	0,60	1	
24. V. 99	64	-7,6	-2,5	5,1	1,4	0,58	9	
17. V. 99	65	-7,0	-2,2	4,8	1,4	—	2	
26. V. 99	66	-7,6	-3,2	4,4	1,5	0,54	11	
24. V. 99	67	-7,5	-3,5	4,0	1,5	0,53	9	
24. V. 99	68	-7,5	-3,6	3,9	1,7	0,56	9	
16. V. 99	69	-7,3	-2,8	(4,5)	1,8	0,60	1	
16. V. 99	70	-8,0	-3,0	(5,0)	1,9	0,62	1	
17. V. 99	71	-7,2	-2,2	(5,0)	2,0	—	2	
22. V. 99	72	-6,9	-3,2	3,7	2,3	—	7	
19. V. 99	73	-7,3	-3,6	3,7	2,4	—	4	
19. V. 99	74	-7,7	-3,0	(4,7)	2,5	—	4	
31. V. 99	75	-7,4	-4,0	3,4	2,6	0,55	16	
22. V. 99	76	-6,6	-3,4	3,2	2,7	—	7	

Wir beobachten hier eine sehr befriedigende Regelmäßigkeit, und zwar nimmt $K_1 - N$ mit der Zunahme der Abk.-Gschw. ab, nur Nr. 69, 70, 71 und 74 machen davon eine Ausnahme.

Oxythryea (Leucocelis) cinctella ♀.

Datum	Nr.	K_1	N	K_1-N	V_{-4}	q	Z	Bemerkung
16. V. 99	77	-7,2	-3,3	3,9	0,45	0,58	1	Alle Exemplare am gleichen Tage (15. V. 99) in Sophia gesammelt.
24. V. 99	78	-7,6	-3,0	4,6	0,6	0,55	9	
16. V. 99	79	-7,4	-2,5	4,9	1,2	0,58	1	
26. V. 99	80	-7,8	-3,3	4,5	1,3	0,53	11	
22. V. 99	81	-6,6	-2,0	4,6	1,6	—	7	
17. V. 99	82	-6,8	-2,7	4,1	1,6	—	2	
16. V. 99	83	-7,6	-3,5	4,1	2,0	0,58	1	

Datum	Nr.	K_1	N	K_1-N	V_{-4}	q	Z	Bemerkung
19. V. 99	84	-7,0	-1,9	(5,1)	2,0	—	4	Alle Exemplare am gleichen Tage (15. V. 99) in Sophia gesammelt.
31. V. 99	85	-7,2	-3,6	(3,6)	2,0	0,48	16	
19. V. 99	86	-7,4	-3,1	(4,3)	2,3	—	4	
26. V. 99	87	-7,9	-3,8	4,1	2,4	0,55	11	
24. V. 99	88	-6,0	-1,9	4,1	2,4	0,57	9	
24. V. 99	89	-7,1	-2,5	(4,6)	2,5	0,58	9	
22. V. 99	90	-8,0	-3,8	4,0	3,1	—	7	

Hier wird die folgende Regelmäßigkeit beobachtet: zuerst nimmt $K_1 - N$ mit der Zunahme der Abk.-Gschw. zu, erreicht ein Maximum (4,9) bei $V_{-4} = 1,2$, um darauf abzunehmen (Ausnahmen machen Nr. 84, 85, 86 und 89).

Betrachten wir die vorletzte Tabelle mit männlichen Exemplaren, so können wir jetzt sagen, dass dort auch dieselbe Regel vorhanden ist, und zwar nimmt dort $K_1 - N$ mit der Zunahme der Abk.-Gschw. wenn auch schwach zu, erreicht bei $V_{-4} = 1,4$ ein Maximum (5,1), um nachher abzunehmen.

Bemerkenswerth ist es, dass das Maximum der Größe $K_1 - N$ bei männlichen und weiblichen Exemplaren bei einer und derselben Größe liegt, und zwar im Durchschnitt bei $(4,9 + 5,1) : 2 = 5,0$; auch tritt dieses Maximum bei einer und derselben Abk.-Gschw. ein [im Durchschnitt bei $(1,2 + 1,4) : 2 = 1,3$].

Stellen wir die erhaltenen allgemeinen Resultate zusammen:

Das Maximum resp. Minimum des Uk.-Gr. der Säfte für verschiedene Insektenarten wird bei folgenden Abk.-Gschw. (V_{-4}) erreicht:

Art	V_{-4}	K_1-N	Extrem
Leucocelis cinetella ♂	1,4	5,1	Maximum
» » ♀	1,2	4,9	Maximum
Cetonia aurata	1,2	5,7	Maximum
Aporia crataegi	1,0	7,8	Maximum
Pieris rapae	1,1	11,8	Maximum
Papilio podalirius	1,3	4,0	Minimum
Vanessa atalanta	1,4	0,4	Minimum

Mittel = 1,2

Daraus geht hervor, dass die extremen Unterkälungsgrade der Säfte für verschiedene Insekten verschieden sind, und dass diese Extreme bei fast einer und derselben Abkühlungsgeschwindigkeit der Säfte eintreten (im Durchschnitt bei $V_{-4} = 1,2$).

§ 2.

Um die Unterkältungserscheinungen der Insektsäfte klarer vorzustellen und für dieselbe, wenn möglich, allgemeine Gesetze abzuleiten, habe ich die nöthigen Versuche mit Flüssigkeiten außerhalb des Insektenkörpers vorgenommen und die vorläufigen Untersuchungen bereits veröffentlicht¹; hier theile ich die definitiven Versuche, welche mit Para-Nitrotoluol angestellt wurden, mit (ausführlich werden diese Versuche in einer physikalischen Zeitschrift veröffentlicht werden).

Para-Nitrotoluol schmilzt bei 54° und besitzt das spezifische Gewicht von ca. 1,2. Ich verfertigte mittels einer besonderen Pipette flüssige Para-Nitrotoluolkügelchen von gleichem Durchmesser und ließ dieselben im Inneren einer wässerigen Chlorkalcium-Lösung schwimmen. Auf diese Art erhielt ich so zu sagen ein denkbar einfaches Modell von hautloser Zelle der Zeiten von MALPIGHI (1678), WOLFF (1759) und MIRBEL (1809). Die Oberflächenspannung des Kügelchens ersetzte mir die Zellenhaut, und der Zelleninhalt war nur eine einzige chemische Substanz — Para-Nitrotoluol.

Es handelte sich darum, die Unterkältungserscheinungen solcher flüssigen Kügelchen zu studiren, deshalb war die erwähnte wässrige Chlorkalcium-Lösung erwärmt, bevor die Kügelchen in dieselbe gebracht wurden. Das Glas mit dieser Lösung und mit schwimmenden Kügelchen wurde in einem Thermostaten in verschiedenen Temperaturen stehen gelassen und die Temperatur der Lösung mittels eines Thermometers beobachtet.

Es ergab sich nun zuerst, dass Nitrotoluolkügelchen wirklich unterkühlt werden, wobei sie nie früher als bei 45° erstarren. Folglich beträgt ihr kleinster Uk.-Gr. $54 - 46 = 8^\circ$. Dies wurde sowohl mit großen ($2r = 4,58$ mm), wie auch mit kleinen ($2r = 0,69$ mm) Kügelchen konstatiert.

Die Kügelchen von verschiedenem Durchmesser ($2r$) erstarrten bei verschiedenen Temperaturen, und es ist mir gelungen, festzustellen, dass, je kleiner das Kügelchen ist, desto tiefer sein Erstarrungspunkt liegt, oder besser zu sagen, seine Unterkältung; beide Größen sind somit umgekehrt proportional. Wenn wir den Uk.-Gr. mit $(N - t_1)$ bezeichnen, wobei N den normalen Erstarrungspunkt des Para-Nitrotoluols (54°) und t_1 die Temperatur, bis zu wel-

¹ Diese Zeitschr. Bd. LXVI. 4. Heft. 1899. p. 521—604.

cher die Unterkältung stattfand (worauf das Kügelchen erstarrt), bedeutet, so erhalten wir:

$$N - t_1 = \frac{K}{r} \quad (I)$$

wo r Radius des Kügelchens und K eine Konstante bedeutet, welche in erster Linie von der Natur der zu untersuchenden Substanz und des das Kügelchen umgebenden Mediums abhängt (unter sonst gleichen Umständen).

Weil die Oberflächenspannung umgekehrt proportional dem Radius ist, so kann man auch sagen: der Unterkältungsgrad ist der Oberflächenspannung direkt proportional.

Außerdem ergab sich, dass z. B. Z gleiche Kügelchen unter allen sichtbar gleichen Umständen nicht bei einer und derselben Temperatur erstarren, sondern eine größere oder geringere Temperaturamplitude zwischen dem ersten und dem Z -ten Kügelchen (nach ihrer Erstarrungstemperatur) aufweisen. Diese Amplitude ist desto größer, je größer Z ist, und strebt zu einer Grenze; sie hängt auch vom Radius der Kügelchen und der Natur des umgebenden Mediums ab. Das Gesetz I ist abgeleitet worden, indem entweder nur die allerersten erstarrten Kügelchen in jedem einzelnen Versuche oder nur die allerletzten in Betracht gezogen wurden.

Was nun die Abhängigkeit des Uk.-Gr. von der Abk.-Gschw. betrifft, so hat sich ergeben, dass eine mittlere Abk.-Gschw. existirt, bei welcher der Uk.-Gr. der größte ist. Ist die Abk.-Gschw. größer oder kleiner als dieser mittlere Werth, so ist der Uk.-Gr. stets geringer.

Zur Anschaulichkeit führe ich hier die Versuche mit Kügelchen von je 0,0328 g an, wobei jeder Versuch mit zehn Kügelchen ange stellt wurde. Dabei erstarrte das erste Kügelchen bei t_1° und zeigte somit den Uk.-Gr. = $54 - t_1$. Die Abk.-Gschw. V_{50} bedeutet, um wie viel Grad die Kügelchen innerhalb einer Minute bei 50° abwärts sich abkühlten.

V_{+50}	t_1°	$54 - t_1^\circ$
0,15	45,5	8,5
0,21	45,2	8,8
0,30	44,0	10,0
0,46	43,5	10,5
0,55	39,9	14,1
0,60	38,3	15,7
0,62	41,7	12,3
0,63	42,5	11,5
0,65	42,4	11,6

Daraus ist ersichtlich, dass der Un.-Gr. ($54 - t_1$) mit der Zunahme der Abk.-Gschw. (V_{50}) zuerst zunimmt, bei $V_{50} = 0,60$ das Maximum (15,7) erreicht, um darauf abzunehmen.

Wir hätten somit bei Nitrotoluolkügelchen in Bezug auf die Abhängigkeit des Un.-Gr. von der Abk.-Gschw. dieselbe Erscheinung, welche auch bei Insektensäften beobachtet wird. Eine Ausnahme machen die Säfte bei *Papilio podalirius* und *Vanessa atalanta*; $K_1 - N$ erreicht bei ihnen bei der mittleren Abk.-Gschw. ($V_{-4} = 1,2$) anstatt eines Maximums ein Minimum.

Ich will hier erwähnen, dass das Benzol, welches ich vorläufig in kleinen offenen Gläschen auf die Unterkältung untersuchte, ein Minimum bei einer mittleren Abk.-Gschw. zeigte und nicht das Maximum, wie es Para-Nitrotoluol zeigt. Diese Versuche sind jedoch noch nicht abgeschlossen. Auf diese Weise wäre zu vermuthen, dass gewisse Flüssigkeiten je nach ihrer Natur bei einer mittleren Abk.-Gschw. entweder ein Maximum oder ein Minimum des Un.-Gr. zeigen würden, wie es die Insektensäfte auch thatsächlich zeigen.

Wenn es so ist, dann sind die Säfte bei *Papilio podalirius* und *Vanessa atalanta* von ganz anderer Natur als bei den übrigen untersuchten Imago-Arten.

Da, wie G. TAMMANN¹ fand, verschiedene Flüssigkeiten bei sonst gleichen Umständen verschiedene Un.-Gr. zeigen, so müssen wir zugeben, dass auch die Insektensäfte bei verschiedenen Arten verschiedene Zusammensetzung haben, denn der maximale Un.-Gr. ihrer Säfte ist auch verschieden. Dies ist um so wahrscheinlicher, als die Raupen verschiedener Insektenarten verschiedene Futterpflanzen wählen.

Das Gesetz I bei Para-Nitrotoluolkügelchen in Betracht ziehend, können wir schon jetzt sagen, dass bei einer und derselben Zusammensetzung der Säfte bei einer Insektenart, aber bei verschiedenen Exemplaren dasjenige Exemplar den größten Un.-Gr. seiner Säfte unter sonst gleichen Umständen besitzen wird, welches die kleinsten Zellen hat.

Diese Folgerung wäre mikroskopisch bei folgenden Nummern der untersuchten Exemplare zu prüfen: Nr. 83 und 85 (*Oxythyrea cinctella* ♀), da hier in beiden Fällen $V_{-4} = 2,0$ und $N = 3,55^\circ$, K_1 aber $-7,6$ resp. $-7,2^\circ$ beträgt. Nr. 49 und* 50 (*Cetonia aurata* ♂), da hier in beiden Fällen $V_{-4} = 0,9$, und

¹ Zeitschr. für physikal. Chemie. Bd. XXV. 3. Heft. 1898. p. 441.

$N = -1,25$, K_1 aber $-5,2$ resp. $-6,3$ beträgt etc. Nach dem Gesetze I soll Nr. 83 kleinere Zellen besitzen als Nr. 85; Nr. 49 größere als Nr. 50 etc.

Es kann leicht möglich sein, dass die nicht zahlreichen Ausnahmen von der Regel der »mittleren Abk.-Gschw.« bei Insekten dadurch zu erklären wären, dass die Zellengröße bei verschiedenen Exemplaren verschieden ist.

Da es feststeht, dass bei einer mittleren Abk.-Gschw. der Un.-Gr. der gegebenen Flüssigkeit ein Extrem besitzt, so wollen wir die angeführten Tabellen für Insekten von diesem Standpunkt aus prüfen.

Aus der Zusammenstellung der hier erhaltenen Resultate, die Extreme betreffend, ist ersichtlich, dass der extreme Un.-Gr. bei der Abk.-Gschw. im Durchschnitt $V_{-4} = 1,2$ erhalten wird. Somit würde ein Extrem der Größe $K_1 - N$ bei folgenden Puppen und Imagines und $V_{-4} = 1,2$ erreicht werden:

Puppen von:

<i>Saturnia spini</i> ,	Minimum bei ca. $K_1 - N = 3$	
<i>Deilephila galii</i>	» » » »	4
<i>Vanessa io</i>	» » » »	7
» <i>polychloros</i>	» » » »	8
» <i>atalanta</i>	» » » »	9,2
» <i>levana</i>	» » » »	10

Imago von:

<i>Pieris rapae</i> ,	Maximum » » »	12
<i>Plusia gamma</i>	» » » »	10,5
<i>Aporia crataegi</i>	» » » »	7,9
<i>Cetonia aurata</i>	» » » »	5,7
<i>Oxythra cinctella</i> ♂	» » » »	5,2
» » ♀	» » » »	4,9
<i>Vanessa atalanta</i> ,	Minimum » » »	0,4
<i>Papilio podalirius</i>	» » » »	3,8
<i>Thais rumina</i>	» » » »	5.

Wir kommen somit zu dem Schlusse, dass alle (bis jetzt untersuchten) Puppen ein Minimum des Un.-Gr. bei »mittleren Abk.-Gschw.« zeigen; ob die Imagines dieser Arten auch ein Minimum des Un.-Gr. bei »mittleren Abk.-Gschw.« haben, kann wegen Mangel an Versuchen noch nicht entschieden werden, obwohl der Schmetterling *Vanessa atalanta* dafür spricht.

Außerdem geht aus dieser Zusammenstellung hervor, dass die großen Puppen, wie z. B. *Saturnia spini*, *Deilephila galii* einen kleineren Werth und die kleineren Puppen (*Vanessa levana*) einen größeren Werth für $K_1 - N$ besitzen. Es ist somit zu vermuthen, dass eine Regel existirt, etwa, dass je größer die Puppe ist, desto kleiner der minimale Un.-Gr. derselben sei.

§ 3.

Um die erhaltenen Resultate noch mehr zu veranschaulichen, wollen wir die Abhängigkeit des Un.-Gr. von der Abk.-Gschw. graphisch darstellen.

In der Fig. 3 bedeuten die Abscissen die Abk.-Gschw. (V_{-1}) und die Ordinaten den Un.-Gr. ($t_1 - N$).

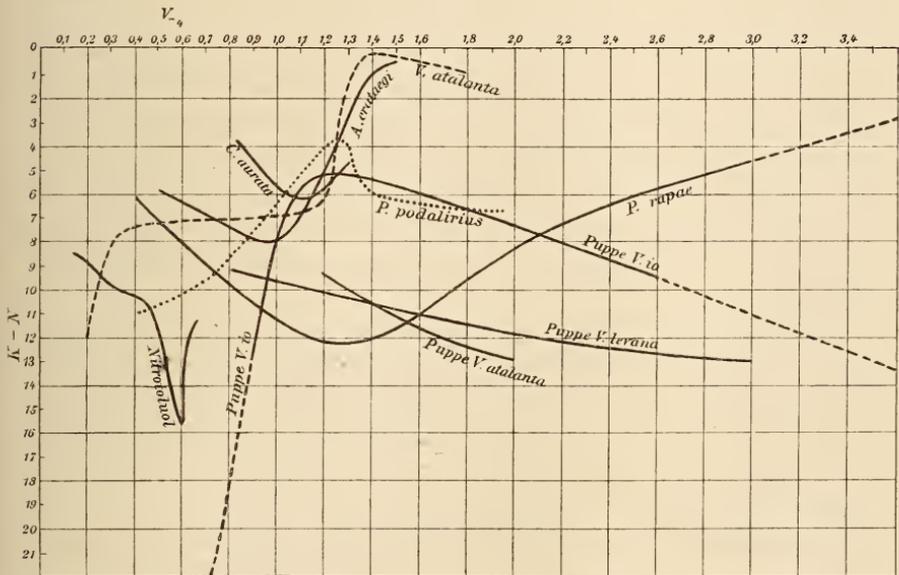


Fig. 34.

Wie die Kurve für *Aporia crataegi*, *Pieris rapae*, *Cetonia aurata* und *Oxythyrea cinctella* zeigen, tritt ein Maximum der Größe $t_1 - N$ entsprechend bei $V_{-1} = 0,95$; $1,17$; $1,1$ und $1,1$ ein. Wann die Kurven die Horizontalachse $= 0^\circ$ schneiden, d. h. wann keine Unterkältung der Säfte stattfindet und dieselben bei ihrem Normalpunkte erstarren, kann man nicht genau sagen, da die Versuche bei noch größeren resp. kleineren Abk.-Gschw. nicht angestellt wurden;

¹ In dieser Figur muss K durch K_1 oder t_1 ersetzt werden.

die Kurve für *Pieris rapae* aber zeigt, dass bei größeren Abk.-Gschw. als 1,2 dies der Fall wahrscheinlich bei ca. $V_{-4} = 5$ sein wird. Dies würde bedeuten, dass die Säfte von *Pieris rapae* keine Unterkältung zeigen würden, wenn der Schmetterling so stark abgekühlt wird, dass die Abk.-Gschw. bei -4° (die Temperatur, welche die flüssigen Säfte natürlich nie erreichen würden) 5° entsprechen würde. Zur Ausführung eines solchen Versuches müsste man den betreffenden Schmetterling in ein solches Luftbad placiren, in welchem die eigene Temperatur des Schmetterlings so stark abfällt, dass diese Geschwindigkeit bei -4° dem Werthe $V_{-4} = 5^{\circ}$ entsprechen würde.

Was nun kleinere Abk.-Gschw. als 1,1 betrifft, so ersehen wir aus denselben Kurven, dass der Un.-Gr. immer geringer und geringer wird; man könnte vermuthen, dass derselbe 0° sein würde, wenn $V_{-4} = 0$ ist. Die Versuche aber, welche ich mit Nitrotoluol anstellte, zeigten, dass der Un.-Gr. bei nicht zu großen Kügelchen nie geringer war als $54-46 = 8^{\circ}$, d. h. sogar bei einer wenn noch so minimalen Abk.-Gschw. erreicht der Un.-Gr. dennoch 8° , wie es auch die entsprechende Kurve (Fig. 3) zeigt. Auch aus der Kurve für *Aporia crataegi* geht hervor, dass der Un.-Gr. der Säfte dieses Schmetterlings wahrscheinlich nicht geringer ist (bei V_{-4} fast gleich Null) als $3\frac{1}{2}^{\circ}$.

Somit können wir sagen: diejenigen Insekten, deren Säfte bei $V_{-4} = 1,1$ (im Durchschnitt) ein Maximum des Un.-Gr. besitzen, haben bei der Abk.-Gschw., welche fast 0° beträgt, einen Un.-Gr., dessen Werth größer als 0° ist, dagegen wird dieser Werth gleich 0° sein, wenn die Abk.-Gschw. bedeutend größer als 1,1 ist.

Betrachten wir jetzt die Kurven, welche ein Minimum aufweisen. Solche Kurven besitzen *Papilio podalirius*, *Vanessa atalanta* und die Puppen von *Vanessa io*. Wie diese Kurven zeigen, nimmt der Un.-Gr. der Säfte bei diesen Schmetterlingen mit der Abnahme der Abk.-Gschw. (von $V_{-4} = 1,3$ nach links) zu. Diese Zunahme hat jedoch ihre Grenze, so z. B. liegt diese Grenze für *Papilio podalirius* bei ca. $t_1 - N = 12$, für *Vanessa atalanta* bei ca. $t_1 - N = 17$, für Puppen von *Vanessa io* sogar bei ca. $t_1 - N = 50$ (vorausgesetzt, dass der Verlauf der Kurven auch weiter regelmäßig sei), wenn die Abk.-Gschw. den Werth fast gleich Null erreicht.

Was geschieht nun aber mit diesen Kurven, wenn die Abk.-

Gschw. größer als 1,3 sein wird? Wie die Fig. 3 zeigt, wird der Un.-Gr. in diesem Falle immer größer und größer, und diese Zunahme scheint keine Grenze zu haben.

Da die Versuche mit sehr großen Abk.-Gschw. fehlen, wollen wir uns zu den Versuchen von TAMMANN wenden. Dieser ausgezeichnete Gelehrte giebt uns in einer Reihe von sehr interessanten Arbeiten¹ den Aufschluss auf die aufgestellte Frage.

Seine Versuche zeigen, dass man fast jede Flüssigkeit (von 153 unterkühlte er 131 Flüssigkeiten) mehr oder weniger unterkühlen kann, dabei erscheinen in der unterkühlten Flüssigkeit Kerne (Krystallembryone), von welchen als Centren aus eine Krystallisation sich fortpflanzt. Sowohl die Krystallisationsgeschwindigkeit, wie auch die Anzahl der Kerne hängt von der Temperatur ab. Man kann eine Flüssigkeit so schnell unterkühlen, dass die Kerne keine Zeit haben, sich zu bilden, und die wenigen Kerne, welche sich während des Unterkühlens der Flüssigkeit gebildet haben, verschwinden; man erhält dann einen Körper, welcher nach dem Aussehen einer Flüssigkeit ähnelt, nach seiner Härte aber den Körper in festem Zustande übertrifft. TAMMANN bezeichnet deshalb solche Körper als amorph und betrachtet jeden amorphen Körper als eine sehr stark unterkühlte Flüssigkeit.

Gestützt auf diese Versuche können wir nun sagen, dass die Säfte bei Insekten der letzten Kategorie desto stärker unterkühlt werden, je größer die Abk.-Gschw. ist (nach rechts von $V_{-4} = 1,3$), wobei dem Un.-Gr. keine Grenze gezogen ist. Dabei können die Säfte allerdings amorph werden, da sie nicht erstarren, d. h. nicht krystallisiren können.

Es sei hier bemerkt, dass der Un.-Gr. der Säfte bei kleineren Abk.-Gschw. als die »mittlere« viel rascher wächst, als es bei größeren Abk.-Gschw. der Fall ist.

§ 4.

Ich habe seiner Zeit² den Satz aufgestellt, dass ein Insekt dann bei der Abkühlung stirbt, wenn seine Körpertemperatur nach dem »Sprunge« (Fig. 1), ungefähr bis zu derjenigen Temperatur, bei

¹ Zeitschr. für physik. Chemie: XXIII, 1897, p. 326; XXIV, 1897, p. 152; XXV, 1898, p. 441; XXVI, 1898, p. 307; XXVIII, 1899, p. 96; XXVIII, 1899, p. 16; XXIX, 1899, p. 51. WIEDEM. Ann.: LXII, 1897, p. 280; LXVI, 1898, p. 473; LXVIII, 1899, p. 552; LXVIII, 1899, p. 629.

² Diese Zeitschr. Bd. LXVI. 4. Heft. 1899. p. 521—604.

welcher dieser »Sprung« stattfand, oder noch tiefer sinkt, d. h. wenn K_1 ungefähr K_2 gleich ist. Die Temperatur K_1 nennen wir den kritischen Punkt, und die Temperatur K_2 den tödlichen Punkt.

Wir wollen sehen, um wie viel K_1 von K_2 ihrer absoluten Größe nach abweichen, und wie diese Abweichungen zu erklären sind.

Ich werde hier zuerst das dieses Jahr in dieser Richtung gesammelte Beobachtungsmaterial anführen.

Datum	Name	K_1	N	$K_1 - N$	Die darauf folgende Abküh- lung dauerte bis:	V_{-4}	Bemerkung
6. VI. 99	<i>Aporia crataegi</i>	-2,0	-1,45	0,6	-5,5	1,5	totd
6. VI. 99	»	-2,4	-1,4	1,0	-2,7	1,4	lebend
6. VI. 99	»	-1,7	-1,6	0,1	-1,8	1,2	lebend
27. V. 99	»	-4,4	-1,1	3,3	-6,7	0,8	lebend
7. VI. 99	» (2 Tage im Exsiccator)	—	—	—	-11,4	0,9	lebend (nicht erstarzt)
7. VI. 99	» (2 Tage gehungert)	—	—	—	-7,4	—	lebend (nicht erstarzt)
7. VI. 99	» (2 Tage gehungert)	-7,6	-1,5	6,1	-1,5	—	lebend
19. V. 99	<i>Thais runina</i> ♀	-11,5	-2,1	9,4	-9,9	0,7	lebend
16. V. 99	» ♀	-2,9	-1,2	1,7	-1,3	—	lebend
16. V. 99	» ♀	-3,0	-1,3	1,7	-1,5	2,8	lebend
16. V. 99	» ♂	—	—	—	-10,5	—	lebend
1. V. 99	<i>Papilio podalirius</i>	-5,3	-1,3	4,0	-5,6	1,3	lebend
1. V. 99	»	-7,7	-1,2	6,5	-1,6	1,9	lebend
1. V. 99	»	-7,8	-1,3	6,5	-1,5	1,5	lebend
1. V. 99	»	-6,9	-1,2	5,7	-1,6	1,35	lebend
17. IV. 99	<i>Pieris rapae</i>	-8,6	-2,8	5,8	-8,7	2,5	kaum lebend
17. IV. 99	»	-6,0	-1,4	4,4	-2,6	3,0	lebend
19. IV. 99	» ♂	-11,5	-3,5	8,0	-5,1	0,7	lebend
19. IV. 99	» ♀	-5,0	-1,6	3,4	-2,2	—	lebend
9. VI. 99	<i>Lasiocampa quercifolia</i>	-8,7	-0,8	7,9	-5,3	—	lebend
27. V. 99	<i>Deilephila galii</i>	-2,1	-1,1	1,0	-1,2	—	lebend
27. V. 99	» (Wiederholung)	-9,8	-1,1	8,7	-10,2	—	totd
2. VI. 99	»	-11,3	-1,5	9,8	-13,3	0,7	totd
1. V. 99	<i>Vanessa polychloros</i>	-8,7	-1,1	7,6	-1,6	—	lebend
17. IV. 99	<i>Saturnia spini</i>	-10,3	-2,0	8,3	-3,6	—	lebend
Käfer.							
16. V. 99	<i>Oxythyrea cinctella</i> ♀	-7,4	-2,5	4,9	-2,8	1,2	lebend
16. V. 99	» ♂	-7,3	-2,8	4,5	-3,0	1,8	lebend
22. V. 99	<i>Meloë spec.</i>	-2,9	-1,8	1,1	-2,9	—	lebend
22. V. 99	<i>Dorcadion spec.</i>	-2,4	-1,1	1,3	-1,4	—	lebend
22. V. 99	<i>Carabus morio</i>	-6,1	-5,5	0,6	-10,2	0,5	lebend
22. V. 99	» (Wiederholung)	-5,2	-4,7	0,5	-12,9	—	totd
19. IV. 99	<i>Carabus intricatus</i> ♀	-2,9	-2,0	0,9	-2,2	—	lebend
19. IV. 99	» (Wiederholung)	-3,8	-1,8	2,0	-2,0	—	lebend
19. IV. 99	» ♂	-4,8	-3,7	1,1	-3,9	—	lebend
19. IV. 99	» (Wiederholung)	-4,3	-3,2	1,1	-3,7	—	lebend
Puppen.							
17. V. 99	<i>Aporia crataegi</i> (12 Tage alt)	-10,5	-1,5	9,0	-1,9	1,7	lebend
22. VII. 99	<i>Vanessa io</i>	-8,5	-1,0	7,5	-1,1	1,0	lebend

Datum	Name	K_1	N	K_1-N	Die darauf folgende Abkühlung dauerte bis:	V_{-4}	Bemerkung
Andere Insekten.							
21. IV. 99	<i>Apis mellifica</i>	-9,3	-2,4	6,9	-3,3	0,9	totd
21. IV. 99	<i>Vespa vulgaris</i>	-9,4	-2,0	7,4	-2,6		lebend
Raupen.							
19. V. 99	<i>Lasiocampa quercifolia</i>	-1,1	-0,7	0,4	-17,7		totd

Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, dass, wenn die nach dem »Sprunge« stattgefundenen Abkühlung nicht tiefer als K_1^0 war, das Insekt nach dem Aufthauen wieder auflebte; war dieselbe tiefer, so starb das Insekt. Auf diese Weise stimmen diese Versuche mit der bereits früher aufgestellten Regel.

Nun sind aber einige Ausnahmen sowohl in den gegenwärtigen, wie auch in früheren Versuchen zu bemerken. Ich lasse hier diese Ausnahmen folgen:

Totd blieben, obwohl sie nach der aufgestellten Regel wieder hätten aufleben sollen:

Lfd. Nr.	Datum	Name	K_1	N	K_1-N	Die darauf folgende Abkühlung dauerte bis:	V_{-4}
1	21. IV. 99	<i>Apis mellifica</i>	-9,3	-2,4	6,9	-3,3	0,9
2	10. VI. 98	<i>Aporia crataegi</i>	-9,9	-1,2	8,7	-7,7	0,7
3	31. V. 98	<i>Phalera bucephala</i>	-11,0	-1,4	9,6	-2,9	0,5
4	6. VII. 98	<i>Pieris rapae</i>	-12,0	-2,1	9,9	-10,4	0,35
5	4. VI. 98	<i>Plusia gamma</i>	-7,8	-1,6	6,2	-1,7	0,7
6	4. VI. 98	»	-10,3	-2,0	8,3	-7,0	0,8
7	21. VI. 98	<i>Cossus cossus</i>	-8,3	-1,2	7,1	-6,0	0,6

Es lebten wieder auf, obwohl nach der aufgestellten Regel hätten totd bleiben sollen:

8	6. VI. 99	<i>Aporia crataegi</i>	-2,4	-1,4	1,0	-2,7	1,4
9	1. V. 99	<i>Papilio podalirius</i>	-5,3	-1,3	4,0	-5,6	1,3
10	22. V. 99	<i>Carabus morio</i>	-6,1	-5,5	0,6	-10,2	0,5
11	6. VII. 98	<i>Pieris rapae</i>	-8,6	-8,2	0,4	-9,1	1,4

Also es sind 11 Ausnahmen von 114 alten und neuen Versuchen. Wie kann man diese Ausnahmen erklären?

In erster Linie bemerken wir, dass die Größe K_1-N bei einigen Exemplaren nicht im richtigen Verhältnis steht, wie die entsprechen-

den Kurven in der Fig. 3 es zeigen. So z. B. hat *Aporia crataegi* (Nr. 2) bei V_{-4} für $K_1 - N$ auf der Kurve den Werth 6,7, während derselbe in der Tabelle 8,7 beträgt. *Pieris rapae* (Nr. 4) hat für $K_1 - N$ auf der Kurve den Werth 6, während derselbe hier 9,9 beträgt. Eine große derartige Abweichung wird aber bei *Pieris rapae* (Nr. 11) bemerkt; auf der Kurve ist $K_1 - N = 11,5$, hier aber ist es nur 0,4.

In zweiter Linie sind die Werthe für N bei *Carabus morio* (Nr. 10) und bei *Pieris rapae* (Nr. 11) so enorm groß, dass wir daraus auf unnatürliche Beschaffenheit des Körpers sammt den Säften dieser Exemplare schließen können.

Man könnte auf diese Weise die Vermuthung aussprechen, dass nur solche Exemplare der oben erwähnten Regel für den Tod bei der Abkühlung folgen, welche gewöhnliche Zusammensetzung der Säfte haben, und deren Abhängigkeit der Größe $K_1 - N$ von V_{-4} ihren Ausdruck auf der Normalkurve findet. Unter einer Normalkurve verstehen wir eine solche Kurve, welche aus Versuchen mit vielen Exemplaren einer und derselben Insektenart abgeleitet worden ist.

Dann sind höchst wahrscheinlich auch Nr. 3, 5, 6 und 7 unnormale Exemplare. Bei *Phalera bucephala* beträgt z. B. der Säftekoeffizient $9 = 0,75$ (wie der Versuch zeigte), wogegen derselbe bei keiner bis jetzt untersuchten Art die Größe 0,71 überschreitet und gewöhnlich 0,66 ist¹.

Was nun Nr. 8 und 9 anbelangt, so ist bei ihnen die Differenz zwischen K_1 und der nach dem »Sprunge« folgenden Abkühlung bis t_2° sehr klein (bei Nr. 8 beträgt sie $2,7 - 2,4 = 0,3^\circ$ und bei Nr. 9 auch $0,3^\circ$) und könnte desshalb vernachlässigt werden.

Durch Studium der Abkühlungskurven der Insekten hoffe ich nächstens auf die theoretische Begründung der ausgesprochenen Bedingung des Todes der Insekten bei deren Abkühlung ($K_1 = K_2$) näher zu kommen, indem ich die Abk.-Gschw. des Insektenkörpers mittels eines Differential-Thermostaten konstant halten werde.

§ 5.

In den letzten fünf Jahren beschäftigten sich verschiedene Entomologen mit einem dankbaren Thema — vermittels Frost Schmetterlings-Aberrationen aus Puppen zu erzeugen. Obwohl solche Ver-

¹ P. BACHMETJEW, Über Insektensäfte. KRANCHER's Entomol. Jahrbuch (1900). IX. 1899. p. 114—124.

suche bereits sehr schöne Resultate ergaben, fehlt dennoch die nöthige Theorie für solche Experimente.

Als z. B. E. FISCHER¹-Zürich und M. STANDFUSS²-Zürich ihre ersten einschlägigen Frost-Versuche angestellt hatten, war vom kritischen Punkte der Puppen noch gar nichts bekannt. Zwar haben beide Forscher den tödlichen Punkt für einige Puppen empirisch festgestellt, aber wie derselbe z. B. von der Abk.-Gschw. abhängt, ist erst in der gegenwärtigen Abhandlung entwickelt worden. Wie er vom Säftekoeffizient, resp. von der Metamorphose des Insektes abhängt, habe ich soeben an einem anderen Orte mitgetheilt³.

Es wird desshalb nicht uninteressant sein, hier, wenn auch vorläufig kurz, auf die Anwendung der Kurven der Fig. 3 zu Frost-Versuchen hinzuweisen.

Wie wir gesehen haben, zeigt die Abhängigkeit der Größe $K_1 - N$ von V_{-4} bei einer »mittleren« Abk.-Gschw. ein Minimum des Un.-Gr., wenn man mit Puppen zu thun hat und ein Minimum oder Maximum, wenn es Schmetterlinge sind. In welchem Entwicklungsmoment und bei welchen Puppen diese Abhängigkeit durch eine Horizontallinie ausgedrückt wird, werden wir vorläufig dahingestellt sein lassen.

Wir wollen jetzt nur die Anwendung der Kurve für Puppen von *Vanessa io* betrachten.

Man kann bei Experimenten mit Frosteinfluss zwei Wege wählen: entweder experimentirt man mit Puppen, welche stets flüssige Säfte haben, oder mit solchen, bei welchen Säfte (wenn auch nicht alle) zum Erstarren gebracht werden. Beide Fälle sind für die Biologie gleich wichtig. Dabei können verschiedene Kältegrade angewendet werden.

Zum Gelingen des Versuches ist in erster Linie erforderlich, dass die Puppe nicht abstirbt. Dies wird dadurch erreicht, dass der

¹ »Neue experimentelle Untersuchungen und Betrachtungen über das Wesen und die Ursachen der Aberrationen in der Faltergruppe *Vanessa*.« Berlin 1896. 67 pag. mit 12 Abbildungen und 2 Tafeln. — »Beitrag für experimentelle Lepidopterologie.« *Illustr. Wochenschr. für Entomologie*. Neudamm: Bd. II: Nr. 33, p. 513; Nr. 37, p. 577; Nr. 38, p. 595; Nr. 44, p. 689; Bd. III: Nr. 4, p. 49; Nr. 12, p. 181; Nr. 16, p. 241; Nr. 17, p. 262; Nr. 18, p. 278; Nr. 23, p. 354; 1898. Bd. IV: Nr. 3, p. 33; Nr. 5, p. 67; 1899.

² »Experimentelle zool. Studien mit Lepidopteren.« *Denkschr. der Schweiz Naturforsch. Gesellsch.* Bd. XXXVI. 81 pag. mit 5 Tafeln. 1898.

³ *Illustr. Zeitschr. für Entomol.* V. Nr. 6. p. 86—89 ff. 1900.

tödliche Punkt (K_2 in Fig. 1) vermieden wird. Will man außerdem die Säfte nicht zum Erstarren bringen, so muss man darauf Acht geben, dass der kritische Punkt (K_1 in Fig. 1) nicht erreicht wird.

Der kritische Punkt hängt aber von der Abk.-Geschw. (V_{-4}) ab, welche Abhängigkeit die Kurve in der Fig. 3 angiebt.

Ich werde hier als Beispiel einige Aufgaben lösen.

1) Man will untersuchen, welche Aberration von *Vanessa io* erhalten wird, wenn die Puppe geringerer aber dauernder Kälte ausgesetzt ist, wobei ihre Säfte nicht erstarren dürfen?

In diesem Falle wende man Abk.-Geschw. nicht größer als $V_{-4} = 1,1$ an, wobei zu betrachten ist, dass bei $V_{-4} = 1,0$ der Un.-Gr. bei $-7,5^\circ$ liegt (also der kritische Punkt bei $-[7,5 + N]$) und bei $-12,8^\circ$, wenn $V_{-4} = 0,9$ ist.

2) Man will untersuchen, welche Aberration von *Vanessa io* erhalten wird, wenn die Puppe starker und dauernder Kälte ausgesetzt ist, wobei ihre Säfte flüssig bleiben müssen.

In diesem Falle wende man Abk.-Geschw. nicht größer als $V_{-4} = 0,7$ an, wobei nicht zu vergessen ist, dass bei $V_{-4} = 0,7$ der Un.-Gr. bei ca. -23° liegt und bei ca. -33° , wenn $V_{-4} = 0,5$ ist.

3) Man will die Puppen von *Vanessa io* einer geringen und raschen Kälte unterwerfen, ohne dass ihre Säfte dabei erstarren. Welche Abk.-Geschw. müssen angewendet werden?

Man wende die Abk.-Geschw. nicht geringer als $V_{-4} = 1,4$ an, wobei der Un.-Gr. bei dieser Geschwindigkeit gleich $-5,5^\circ$ ist; bei $V_{-4} = 2,0$ beträgt derselbe ca. $-7,5^\circ$.

4) Man will die Puppe von *Vanessa io* einer starken und raschen Kälte unterwerfen, ohne dass ihre Säfte dabei erstarren. Welche Abk.-Geschw. muss man anwenden?

Man wende die Abk.-Geschw. nicht geringer als $V_{-4} = 3,2$ an, bei welcher der Un.-Gr. gleich ca. -12° ist; derselbe wird sehr groß (z. B. -100°), wenn die Abk.-Geschw. enorm groß ist. Dabei können die Säfte sich in eine amorphe Masse verwandeln, ohne jedoch zu erstarren. (Ein sehr interessanter Fall!)

5) Man will untersuchen, welche Aberration die Puppe von *Vanessa io* ergeben wird, wenn dieselbe einer starken und dauernden Kälte ausgesetzt ist, wobei ihre Säfte (wenn auch teilweise) fest sein müssen?

In diesem Falle wende man die Abk.-Geschw. nicht größer als $V_{-4} = 0,8$ an, bei welcher der Un.-Gr. ca. -18° beträgt. Da der

normale Erstarrungspunkt der Säfte im Durchschnitte $-1,0^{\circ}$ beträgt, so muss die Puppe tiefer als bis zu $-(18 + 1,0) = -19^{\circ}$ abgekühlt werden, damit ihre Säfte zu erstarren beginnen. Kühlt man die Puppen z. B. bis -20° ab, so erstarren noch mehr Säfte in ihrem Körper, bei -21° abermals mehr etc., bis schließlich die Puppe bei der Abk.-Gschw. $V_{-4} = 0,8$ bei der eigenen Temperatur $-(18 + 1) = -19^{\circ}$ stirbt (nach dem »Sprunge«). Damit aber der Versuch gelingen soll, muss man die Abkühlung nach dem »Sprunge« nicht bis zu -19° fortschreiten lassen, sondern die Puppe bei geringerer Kälte als -19° (ihres Körpers) aus dem kalten Luftbade nehmen.

Auf diese Art kann man noch mehrere Aufgaben, welche Nr. 5 ähnlich sind, lösen, worauf ich aber nur verweise.

Es kann wohl möglich sein, dass die absoluten Größen für $K_1 - N$ bei verschiedenen V_{-4} nicht ganz richtig sind, da die Kurve für Puppen von *Vanessa io* zu wenig bestimmte Punkte hat, aber die Art und Weise, wie die Theorie für solche Versuche angewendet werden muss, unterliegt keinem Zweifel.

Nun wird man fragen: wie kann man den Versuch so anstellen, dass die Abk.-Gschw. die nöthige Größe habe; woher wissen wir, dass die eigene Temperatur der Puppe bereits einen gewissen Grad erreicht hat; wie kann man konstatiren, dass die Säfte zu erstarren begonnen haben etc.?

Ich kann darauf nur sagen, dass jeder Versuch seine Mess-Apparate verlangt; die Mess-Methode habe ich bereits angegeben. Ich will hier noch bemerken, dass die Sache sich ungemein vereinfachen würde, wenn ein regulirbares Differential-Thermostat für niedrige Temperaturen gebaut wäre, mit dessen Verwirklichung ich jetzt beschäftigt bin.

Fassen wir alles hier Gesagte zusammen, so kommen wir zu folgenden Resultaten:

1) Der Unterkältungsgrad der Insektensäfte hängt von der Abkühlungs-Geschwindigkeit ab: bei einer »mittleren« Abkühlungs-Geschwindigkeit tritt, je nach der Insektenart, entweder das Minimum oder das Maximum des Unterkältungsgrades an. Das Minimum tritt ein bei: *Vanessa atalanta*, *Papilio podalirius* und *Thais rumina*, während das Maximum bei: *Pieris rapae*, *Plusia gamma*, *Aporia crataegi*, *Cetonia aurata* und *Oxythyrea cinctella* eintritt. Die bis jetzt untersuchten Puppen (*Saturnia spini*, *Deile-*

phila galii, Vanessa io, polychloros, atalanta und levana) zeigen alle das Minimum.

2) Das Minimum resp. das Maximum des Unterkältungsgrades der Insekensäfte tritt fast bei einer und derselben Abkühlungs-Geschwindigkeit ein (im Durchschnitt bei $V_{-4} = 1,2$).

3) Die extremen Unterkältungsgrade der Säfte für verschiedene Insektenarten sind verschieden. Das größte bis jetzt beobachtete Maximum besitzt Pieris rapae (11,8), während das kleinste Maximum bei Oxythyrea cinctella ♀ (4,9) beobachtet wurde. Das kleinste Minimum besitzt Vanessa atalanta (0,4).

4) Diese Erscheinungen sind denjenigen analog, welche beim Unterkälten von Para-Nitrotoluol (Maximum) und Benzol (Minimum) beobachtet werden.

5) Die folgende Regel erscheint als eine sehr wahrscheinliche: je größer die Puppe ist, desto kleiner ist der minimale Unterkältungsgrad derselben.

6) Diejenigen Insekten, deren Säfte bei $V_{-4} = 1,1$ (im Durchschnitt) ein Maximum des Unterkältungsgrades besitzen, haben bei der Abkühlungs-Geschwindigkeit, welche fast 0° beträgt, einen Unterkältungsgrad, dessen Werth größer als 0 ist, dagegen wird dieser Werth gleich 0 sein, wenn die Abkühlungs-Geschwindigkeit größer als 1,1 ist.

7) Es ist möglich, die Insekensäfte bei denjenigen Insektenarten, welche das Minimum des Unterkältungsgrades bei einer »mittleren« Abkühlungs-Geschwindigkeit zeigen, so stark zu unterkälten, dass die Säfte als amorph und doch flüssig zu betrachten sind.

Es sei mir gestattet, auch an dieser Stelle 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 meinen besten Dank auszusprechen.

Sophia, Januar 1900.

Berichtigung.

In meiner Abhandlung: »Über die Temperatur der Insekten etc.« (diese Zeitschr. LXVI, 4, 1899) auf p. 600 lese man:

3) Beim Sinken der Temperatur der umgebenden Luft sinkt die Körpertemperatur der Insekten Anfangs gleichmäßig, dann steigt sie plötzlich.....

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie](#)

Jahr/Year: 1899-1900

Band/Volume: [67](#)

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

Artikel/Article: [Die Abhängigkeit des kritischen Punktes bei Insekten von deren Abkühlungsgeschwindigkeit. 529-550](#)