

Originalaufsätze.

Experimentelle Untersuchungen über den Einfluß von Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf die Sterblichkeit und Entwicklung des Ringelspinners, *Malacosoma neustria* L.¹⁾

Von

Mehmet Bekir.²⁾

(Aus dem Institut für angewandte Zoologie, München.)

(Mit 13 Diagrammen.)

Inhalt.	Seite
I. Material und Methode	503
a) Material	503
b) Regulierung von Luftfeuchtigkeit und Temperatur	503
c) Futter	503
d) Die Entwicklungsstufen der Larven	503
II. Mortalität von Ei, Larve und Puppe	504
a) Das Ei während der Schlüpfperiode	504
b) Mortalität der Larve I (Eiraupe).	505
c) Mortalität der Puppe.	506
III. Einfluß von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit auf Puppengewicht, Eizahl und Geschlechterverhältnis.	507
a) Weibliches und männliches Puppengewicht	507
b) Eizahl.	508
c) Sexualindex	510
IV. Entwicklungsdauer der präimaginalen Stufen und Lebensdauer der Falter	511
a) Ei (während der Schlüpfperiode)	511
b) Larve I	512
c) Larve II—VI	513
d) Puppe	514
e) Lebensdauer der Falter	515
f) Das Ei während der Embryonalzeit	516
g) Über die Gesamtentwicklungsdauer und die Lebensdauer der Falter	517
V. Die Hungerfähigkeit der Eiraupe	519
Zusammenfassung	520
Literatur	521

¹⁾ Abgeschlossen im März 1934.

²⁾ Jetzt Ankara.

Massenvermehrungen des Ringelspinners, *Malacosoma neustria* L., die mehr oder minder weitgehende Schädigungen an Obstkulturen oder Forstgehölzen zur Folge hatten, sind in der einschlägigen Literatur nicht allzu selten. Doch liegen bislang keinerlei Beobachtungen oder gar experimentelle Untersuchungen zur Frage nach den Ursachen des Phänomens vor.

Durch zahlreiche experimentell-ökologische Forschungen der letzten Jahre ist nun für verschiedene Insektenarten, die ähnlich dem Ringelspinner zur gelegentlichen Massenvermehrung neigen, wahrscheinlich gemacht, daß klimatische Einflüsse für das Zustandekommen dieser Erscheinung von besonderer Bedeutung sind. So lag es nahe, die dort angewandte Untersuchungstechnik und Fragestellung auch auf den Ringelspinner zu übertragen. Das Ziel der vorliegenden Untersuchung war somit, auf experimentellem Wege den Einfluß gewisser, für das Insektenleben besonders wichtiger Klimafaktoren, nämlich der Temperatur und Luftfeuchtigkeit, auf die Entwicklung des Ringelspinners nachzuprüfen und so einen Beitrag zur Lösung des obigen Problems zu geben.

Auch spezielle Freilandbeobachtungen zur vorliegenden Frage fehlen in der Literatur fast völlig. Das wenige, was sich hierauf bezieht ist allgemeiner Art. So berichtet R a t z e b u r g (19), daß die jungen frisch geschlüpften Eirauen bei „kaltem Wetter“ einige Tage auf dem Eiring sitzen bleiben. E c k s t e i n (10, 11) schreibt, daß die Raupen bei „schlechtem Wetter“ ruhig auf dem Gespinst verharren und S c h r ö d e r (22) endlich — und damit erschöpft sich, was über die unmittelbaren Wirkungen des Wetters in der Literatur berichtet wird — gibt an, daß die Raupen im Obstgarten empfindlichen Schaden anrichten, „wenn nicht kaltes, rauhes Wetter, vielleicht sogar Schneefall, sie gerade in ihren Häutungen trifft“.

Meine Absicht, die experimentelle Studie durch entsprechende ökologische Freilanduntersuchungen zu ergänzen und nachzuprüfen — was angesichts der Lückenhaftigkeit der Literaturangaben erforderlich erschien —, konnte leider aus technischen Gründen nicht durchgeführt werden. So muß dieser Teil der Arbeit späteren Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Die vorliegende Arbeit wurde im Institut für angewandte Zoologie, München, ausgeführt. Herzlichen Dank schulde ich vor allem meinem verehrten Lehrer, dem Vorstand des Institutes, Herrn Geh. Rat Prof. Dr. K. E s c h e r i c h für das große aufrichtige Interesse, womit er den Fortgang meiner Arbeiten stets verfolgte. Auch möchte ich nicht unterlassen meinem verehrten Lehrer, Herrn Priv.-Doz. Dr. Z w ö l f e r für seine freundliche Hilfsbereitschaft und Beratung im Verlauf der Untersuchungen wärmstens zu danken.

* * *

I. Material und Methode.

a) **Material:** Das zu den Versuchen verwendete Eimaterial entstammte teils aus der Umgebung von Erfurt, teils aus jener von Liegnitz. Später stand hierfür auch Puppenmaterial von Säckingen (Oberrhein) zur Verfügung. Um ein vorzeitiges Schlüpfen zu verhindern, brachte ich die Eigelege zunächst in der kühlen Kammer des Thermostaten (Temperatur ca. 2—3°, rel. Luftfeuchtigkeit 75 %) unter. Das Material blieb dort bis zum Treiben der Apfelbäume im Freien. Am 27. März 1933 begannen die Thermostatenversuche. Um Falter zu erhalten, ließ ich die Puppen am 27. Juli im Käfig schlüpfen, die aus ihnen hervorgehenden Falter lieferten im ganzen acht Gelege. Mit diesen setzte ich im Thermostat neue Versuche an, um die embryonale Entwicklung festzustellen.

b) **Regulierung von Luftfeuchtigkeit und Temperatur:** Die Regulierung der Luftfeuchtigkeit wurde mit Hilfe der neuen Doppelschalensmethode (Zwölfer, 29) unter Benutzung feuchter Salze ausgeführt. Zur Erzeugung der verschiedenen konstanten Temperaturstufen wurde das Münchner Modell des Williamschen Brückenthermostaten benutzt. Die Salze wurden im Laufe der Versuche mehrmals gewechselt. Im übrigen wurde die Temperatur der einzelnen Zellen täglich abgelesen und notiert. Die hieraus berechneten Temperaturmittelwerte dienten als Grundlage für die Beurteilung der Temperaturwirkung in den verschiedenen Einzelversuchen. Die im folgenden aufgezeichneten Diagramme usw. fußen auf ihnen. Die Temperaturschwankungen in den einzelnen Temperaturstufen betrugen im allgemeinen im Laufe des einzelnen Versuches ungefähr $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Bei jenen, die sich über den ganzen Sommer bis in den Herbst hinein erstreckten, waren sie etwas größer.

c) **Futter:** Da nach den vorliegenden Literaturangaben die Hauptnahrung des Ringelspinners aus Apfel- und Birnknospentrieben sowie -blätter besteht, wurden den Raupen als Futter täglich frische Apfelblätter gereicht.

Wie Zwölfer (29) zeigte, verändern bei der Methode der Feuchtigkeitsregulierung im Hygrostaten speziell abgeschnittene Blätter unter relativen Luftfeuchtigkeitsgraden von ca. 90 % abwärts, schon nach wenigen Stunden ihre Turgeszenz infolge Wasserverlust so stark, daß sie als Nahrung für Versuchsräupen unbrauchbar werden. Wird dagegen der Stiel des Futterblattes in ein kleines Wassergefäß gestellt, so behält das Blatt seine normale Turgeszenz. Wird hierbei die für den Versuch bestimmte Blattfläche im Verhältnis zum Zuchtraum des Hygrostaten möglichst klein gewählt, dann tritt keine wesentliche Beeinflussung der Luftfeuchtigkeit des Zuchtraumes durch das Futter ein.¹⁾ Dieses Verfahren, das bereits Zwölfer (29) angab, kam auch bei meinen Versuchen in Anwendung, soweit sie nicht 100 % relative Luftfeuchtigkeit betrafen. Bei diesem Feuchtigkeitsgehalt kann die Maßnahme selbstverständlich fortfallen, da hierbei eine Änderung des Blatturgors wegen der fehlenden Verdunstung nicht zu befürchten ist.

d) **Die Entwicklungsstufen der Larven:** Über die Larvenstadien und die Kopfkapselbreite der Larven des Ringelspinners liegen in der Literatur noch keine Angaben vor. In den vorliegenden Versuchen wurden insgesamt 6 Larvenstadien des Ringelspinners festgestellt. Zur Unterscheidung der einzelnen Stufen diente die Kopfkapselbreite, über welche die folgende Tabelle Aufschluß gibt:

¹⁾ Vorausgesetzt, daß es sich nicht um krautartige und stark wasserhaltige Blätter handelt.

Kopfkapselbreite der Raupen von *M. neustria* L

Larvenstadium	Zahl der Messungen	Maximum mm	Mittel mm	Minimum mm
I (Eiraupe)	32	0,49	0,43	0,38
II (Einhäuter)	21	0,78	0,68	0,56
III (Zweihäuter)	15	1,44	1,13	1,00
IV (Dreihäuter)	16	1,72	1,68	1,48
V (Vierhäuter)	7	3,60	3,28	2,96
VI (Fünfhäuter)	16	4,55	4,31	4,00

Sie zeigt Mittelwerte und Variationsbreite für die Kopfkapselbreite der einzelnen Stadien. Diese variiert im übrigen besonders bei den älteren Stufen (zwischen dem vierten und fünften Stadium) erheblich. Ähnliches stellte Z w ö l f e r (27, 26) bei Nonne und Kieferneule und S c h e d l (21) bei Blattwespen fest.

II. Mortalität der Eier, Larven und Puppen.

a) Das Ei während der Schlüpfperiode: In freier Natur werden die Eier des Ringelspinners Ende Juli und Anfang August abgelegt. 4—5 Wochen später ist hier die Entwicklung des Embryos abgeschlossen. Bis zum Frühjahr bleibt das Räupchen in den Eiern im Latenzzustand.

Das zu diesen Mortalitätsversuchen über das Ei während der Schlüpfperiode benutzte Material erhielt ich am 6. März aus Erfurt. Das Material blieb in der kältesten Kammer des Thermostaten (Temperatur ca. 2—3 ° C, rel. Luftfeuchtigkeit ca. 90 %) bis zum 27. März. Nunmehr wurde es auf verschiedene Temperaturstufen (für jede Stufe ein Eigelege) verteilt, welche mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von ca. 90 % kombiniert waren. Im ganzen wurden 8 Einzelversuche mit insgesamt 2017 Eiern angesetzt.

Beim Abschluß der Versuche zeigte sich, daß ein Teil des Materiales von Eiparasiten der Gattung *Trichogramma* parasitiert war. Unter insgesamt 2017 Eiern waren 160 mit Parasiten besetzt. Bei der rechnerischen Auswertung der Versuchsergebnisse wurden diese parasitierten Eier natürlich in Abzug gebracht. In jedem Ei fand sich nur ein Parasitenindividuum. Nach H a s e (13) wurde erstmals von V a s s i l i e v in Rußland „*Trichogramma*“ bei Ringelspinner festgestellt.

Der Temperatureinfluß auf die Sterblichkeit des Eies während der Schlüpfperiode ist in der folgenden Tabelle niedergelegt:

Mortalität des Eies bei verschiedenen Temperaturen und relativer Luftfeuchtigkeit von 90—95 %.

Temperatur ° C (Mittel)	5,5	10,9	14,4	17,1	20,9	25,1	31,7	41,6
Zahl der Versuchstiere . .	312	308	94	239	288	179	251	186
Mortalität %	73	4	3	1	9	22	99	100

Die günstige Temperatur für das Schlüpfen des Eies liegt demnach bei 90—95 % relativer Luftfeuchtigkeit zwischen 11—21 °C. Das Optimum des Überlebens während der Schlüpfperiode liegt bei einer Temperatur von ca. 17 °C. Bei extremer Temperatur ist die Sterblichkeit der Eier höher. Die absolut tödliche obere Temperaturgrenze liegt bei 32 °C, die entsprechende untere Grenze unterhalb 5,5 °C (schätzungsweise bei 4 °C).

b) Mortalität der Larve I (Eiraupe): Da für Larve I (Eiraupe) hinreichend Material zur Verfügung stand, konnten für diese die Mortalitätsversuche über 8 Temperaturstufen, die jede mit 7 verschiedenen relativen Luftfeuchtigkeitsgraden verbunden waren, ausgedehnt werden. Insgesamt standen somit für die Auswertung dieser Versuchsreihe 56 Einzelversuche mit zusammen 3278 Eiraupe zur Verfügung. Das Ergebnis ist als Thermohygrogramm der Sterblichkeit von Larve I in Abb. 1 dargestellt.

Von diesen Versuchstieren gelangten 2052 Eiraupe bei Temperaturen zwischen 7—38,0 °C zur Häutung. Bei fast allen

Luftfeuchtigkeitsgraden entwickelten sich die Raupe je nach der zugehörigen Temperatur mehr oder weniger gut. Nur bei der niedrigsten Luft-

feuchtigkeitsstufe von 0—10 % trat hohe Sterblichkeit ein. Unter dieser Feuchtigkeit häuteten sich lediglich bei 24 °C von 31 Versuchstieren 12 Stück. Bei allen anderen Temperaturen, die mit dieser relativen Luftfeuchtigkeit (von 0—10 %) kombiniert waren, gingen die Raupe restlos vor der ersten Häutung zugrunde. Die Kurvenschar zeigt von innen nach außen schätzungsweise den Verlauf der 10, 25, 50, 75, 100 % Mortalitätsgrenze. Der Bereich, der 10 % Mortalitätslinie (geringste Sterblichkeitswahrscheinlichkeit!) ist vergleichsweise außerordentlich groß; er liegt zwischen 11,5—31,5 °C sowie zwischen 12 bis 100 % relativer Luftfeuchtigkeit. Die Eiraupe ist demnach ausgesprochen euryhygrotherm. Das Temperaturfeuchtigkeitsoptimum des Überlebens liegt bei 21,5 °C, und Luftfeuchtigkeitsgraden zwischen ca. 20—100 %.

Die tödliche obere Temperaturgrenze (bei Daueraufenthalt) ist bei etwa 37,5—38,5 °C, die entsprechende untere Grenze bei rund 5,0 °C.

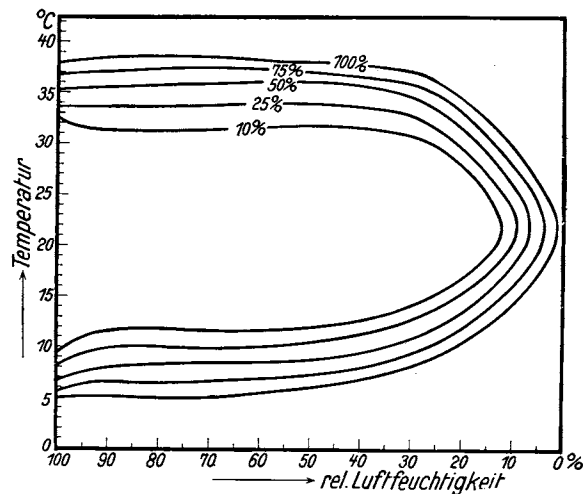


Abb. 1. Thermohygrogramm der Mortalität von Larve I. (Eiraupe.)

Bezüglich der Luftfeuchtigkeit weist die Larve I eine bemerkenswerte Widerstandsfähigkeit auf. Innerhalb des Temperaturbereiches von 12—31 °C werden relative Luftfeuchtigkeitswerte von ca. 30 bis 100 % gut ertragen. Sie beeinträchtigen die Überlebensfähigkeit nicht in bemerkenswerter Weise. Beim Temperaturoptimum von 21 °C reicht dieser Bereich erträglicher Luftfeuchtigkeit sogar bis rund 20 %.

Der Vergleich dieser Temperatur und Luftfeuchtigkeitsabhängigkeit der Eiraupe mit der des Eies (während der Schlüpfperiode) läßt erkennen, daß die Eier gegenüber höheren Temperaturen eine größere Empfindlichkeit zeigen als die Larve I: Die obere tödliche Temperaturgrenze liegt für Larve I um 5,5—6,5 °C höher als beim Ei. Dagegen ist Larve I gegen niedere Temperaturen empfindlicher als das Ei: Ihre untere fatale Temperaturgrenze liegt um 1,0 °C höher als jene des Eies. Im allgemeinen ist aber das Ei des Ringelspinners zum mindesten gegen Temperaturen empfindlicher als die Eiraupe; wie es sich in dieser Hinsicht gegen relative Luftfeuchtigkeit verhält, konnte nicht festgestellt werden, da beim Studium des Eischlüpfens nur eine Luftfeuchtigkeitsstufe (90—95 %) berücksichtigt werden konnte.

c) Mortalität der Puppe: Bei weiterer Aufzucht der Raupen des Ringelspinners unter 8 verschiedenen Temperaturstufen und bei relativer Luftfeuchtigkeit von ca. 70—90 % erhielt ich im ganzen 170 gesunde Puppen (daneben 11 an der Polyederkrankheit gestorbene Puppen). Diese Puppen entwickelten sich ausschließlich in den Temperaturstufen 3, 4, 5, 6 und 7, zwischen Temperaturen von 18,5—31,5 °C. In der extrem hohen Temperatur von 39—40 °C gelangte die Entwicklung nicht bis zur Puppe. Ebenso starben die Versuchstiere auch bei niederen Temperaturen von 5 bzw. 11 °C vor Erreichung des Puppenstadiums aus.

Von 170 Puppen gelangten 166 zum Schlüpfen bzw. lieferten Falter. Nur bei der Temperatur von 31,5 °C trat eine beschränkte Puppensterblichkeit auf. Hier gingen 4 Puppen zugrunde, wie das aus der folgenden Tabelle zu ersehen ist:

Mortalität der Puppe bei verschiedenen Temperaturen und relativer Luftfeuchtigkeit von 70—90 %.

Temperatur °C (Mittel)	18,8	19,4	23,0	25,7	31,5
Versuchstiere	2	49	57	41	21
Puppenmortalität in Stück . . .	0	0	0	0	4

Innerhalb des oben genannten Temperaturbereichs von 18—31 °C sind demnach die Puppen des Ringelspinners widerstandsfähig. Auch gegen niedere Luftfeuchtigkeit scheinen die *neustria*-Puppen recht widerstandsfähig zu sein. Meine eigenen Experimente berücksichtigen zwar nur den Feuchtigkeitsbereich zwischen 70—90 %. Indessen gibt B a c h m e t j e w (3) an, daß er bei seinen Versuchen

ein entsprechendes Resultat erhielt: Er hielt nämlich 2—18 Stunden alte Ringelspinnerpuppen 24 Stunden lang bei einer Temperatur von 39—40 ° C in trockener Luft. Resultat: Alle Falter entwickelten sich gut.

III. Einfluß von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit auf Puppengewicht, Eizahl und Geschlechterverhältnis.

a) Weibliches und männliches Puppengewicht: Wie oben erwähnt, entwickelten sich Puppen bzw. Falter in einem Temperaturbereich zwischen 18,5—31,5 ° C, wenn die Aufzucht von der Eiraupe aus begann. Bei niedrigerer Temperatur unter 18,5 ° C und höherer Temperatur über 31,5 ° C entwickelten sich die Puppen nicht bis zum Puppenstadium. So starben sie bei einer Temperatur von 5,0 ° C im ersten, bei einer solchen von 11,0 ° C im dritten und vierten Stadium, bei einer Temperatur von 38,5 ° C endlich im ersten und zweiten Stadium ab.

Insgesamt lieferten die Raupenversuche 177 Puppen (81 ♂ u. 96 ♀). Die Bestimmung des Geschlechts der Ringelspinnerpuppengeschah im übrigen an Hand der Ausbildung des Abdominalendes.

Von diesem Material gelangten im ganzen 91 weib-

liche und 75 männliche Puppen zum Schlüpfen. 11 Puppen (6 ♂ u. 5 ♀) gingen an den Folgen einer Polyederkrankheit zugrunde.

Die Bestimmung des Puppengewichtes wurde mittels einer kleinen Apothekerwaage von 2 mg Genauigkeit durchgeführt. Um vergleichbare Ergebnisse zu erzielen, wurde das Gewicht stets im Laufe der ersten 24 Stunden nach der Verpuppung ermittelt. Die Resultate dieser Untersuchung sind in Abb. 2 u. 3 niedergelegt. Die Diagramme zeigen Mittelwerte und Variationsbreite der ♂- u. ♀-Puppengewichte, Mitteltemperatur und Temperaturschwankungen (Schnabelklammer) sowie endlich die Anzahl der Versuchspuppen pro Einzelversuch (n).

Ganz allgemein gilt, daß mit zunehmender Temperatur das Puppengewicht ansteigt. Bei weiblichen Puppen erreicht es bei 22,7 ° C mit 545 mg seinen höchsten Mittelwert. Mit höheren Temperaturen sinkt das Puppengewicht ab bis auf ein Mittelgewicht von 400 mg bei 31,5 ° C.

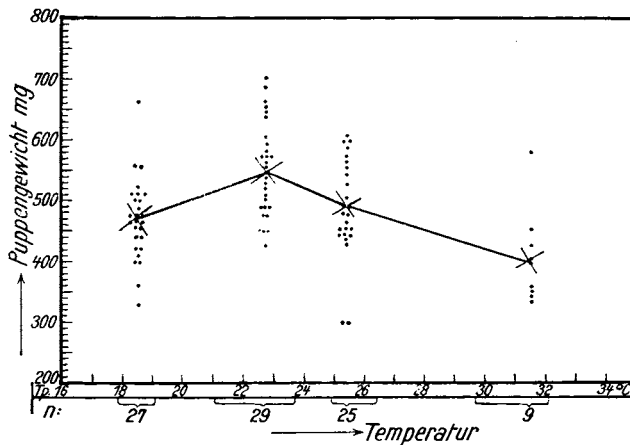


Abb. 2. Weibliches Puppengewicht bei Aufzucht der Raupen unter verschiedenen Temperaturen (und bei relativer Luftfeuchtigkeit von 75—90 %). (Variationsbreite und Mittelwerte.)

Auch bei den männlichen Puppen wurde das höchste mittlere Puppengewicht mit 313 mg bei 22,5 °C erreicht. Wie bei den weiblichen Puppen, so sinkt auch für die männlichen Puppen das Gewicht bei Aufzucht der Raupen unter Temperaturen über 22,5 °C. Doch treten hier die Unterschiede der Puppengewichte nicht so auffallend in Erscheinung wie bei den weiblichen Puppen (vgl. Abb. 2 u. 3).

Es ist hiernach jedenfalls anzunehmen, daß die Nahrungsaufnahme oder Nahrungsresorption der Raupen von *Malacosoma neustria* unter

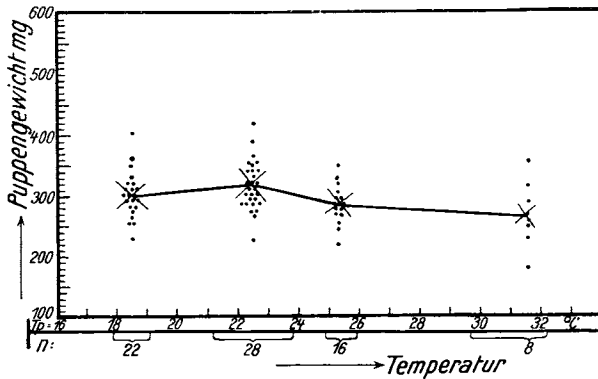


Abb. 3. Männliches Puppengewicht bei Aufzucht der Raupen unter verschiedenen Temperaturen (und bei relativer Luftfeuchtigkeit von 75—90%). (Variationsbreite und Mittelwerte.)

verschiedenen Temperaturen verschiedenartig verläuft. Das Optimum in dieser Hinsicht liegt hier bei Temperaturen zwischen 22—23 °C.

Stets sind die männlichen Puppen leichter als die weiblichen. Für die Puppengröße gilt dasselbe.

Das absolute Maximalgewicht der weiblichen Puppe

wurde bei einer Temperatur von 22,7 °C mit 700 mg erzielt. Ihr absolutes Minimumgewicht lag mit 295 mg bei einer Temperatur von 25,4 °C. Das Maximalgewicht der männlichen Puppe betrug entsprechend 420 mg (bei 22,5 °C), ihr Minimalgewicht 180 mg (bei 31,6 °C).

Es scheint hiernach, daß die weiblichen Raupen mehr Nahrung aufnehmen als die männlichen Raupen oder diese Nahrung doch besser auszunutzen verstehen.

b) E i z a h l : Die Anzahl der erzeugten legereifen Eier von den Versuchswelchen, die aus obigen Puppen schlüpften, ist im Diagramm (4) dargestellt. — Die Bestimmung dieser Eizahlen erfolgte durch Sektion der Weibchen, nachdem sie normal abgestorben waren. — Der Kurvenverlauf entspricht jenem, der sich im weiblichen Puppengewichtsdigramm ergab. Auch hier sind Mittelwerte, Variationsbreite und Temperaturstufen im Diagramm enthalten. Die Eizahl steigt mit zunehmender Temperatur rasch an, um bei derselben Temperatur, bei der das höchste mittlere Puppengewicht erzielt wurde, mit 243 Eiern ihren höchsten Mittelwert zu erreichen und auch das absolute Maximum der Eizahl mit 337 Stück eines Weibchens lag in diesem Temperaturbereich. Bei höheren Temperaturen sinkt sie wieder ab bis auf einen Mittelwert von 60 Stück bei 31,6 °C.

Zwischen dem Puppengewicht der Weibchen und ihrer Eiproduktion besteht eine Beziehung, die im Diagramm (Abb. 5) anschaulich zum

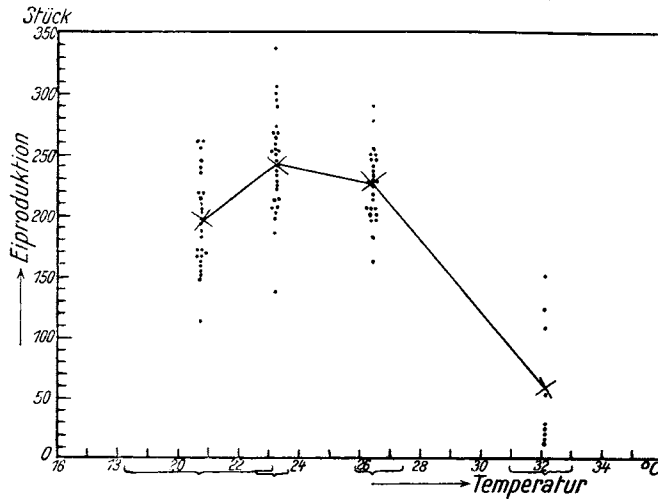


Abb. 4. Produktion legereifer Eier bei Aufzucht der Raupen unter verschiedener Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit von 75—90 %.

Ausdruck kommt. Je höher das Puppengewicht, desto größer die Eiproduktion. Die freihändig eingetragenen Regressionsgrade schneidet die Puppengewichtsachse bei ca. 140 mg. Es bedeutet dies, daß die

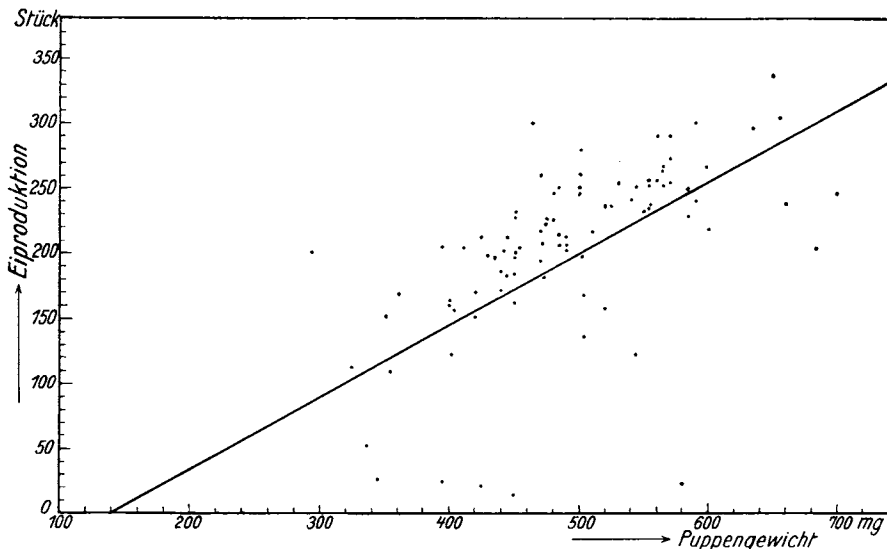


Abb. 5. Weibliches Puppengewicht und Produktion legereifer Eier.

weiblichen Falter steril werden, wenn ihr Puppengewicht auf 140 mg absinkt.

Wie wir oben erwähnt haben, erreichte das Puppengewicht seinen maximalen Mittelwert bei einer Temperatur von 22,7 °C, ebenso er-

reicht die Produktion legereifer Eier ihren maximalen Mittelwert bei einer Temperatur von 22,7 °C. Für das vitale Optimum der Eiraupe ergab sich eine Temperatur von 21,5 °C. Es liegt demnach ungefähr bei derselben Temperatur, wie die zur Erreichung des maximalen Puppengewichtes und der maximalen Eiproduktion erforderliche.

Schröder (22), ebenso Wolff-Krause (25) geben für den Ringelspinner eine Eizahl von einigen Hundert bis 400 an (für Deutschland), Silvestri (23) nennt 100—300 (für Italien), Postel (18) endlich nennt für Frankreich 200—300 Stück je Weibchen.

Da ein *neustria*-Weibchen im Laufe seines Lebens stets nur einen Eiring produziert, geben die Eizahlen in den Ringen gute Aufschlüsse über die Eiproduktion je Weibchen in freier Natur. So betrug die Eizahl von 8 Freilandgelegen (Herkunft Erfurt) meines Materiales im Durchschnitt 272 Stück. Das Maximum lag hier bei 322, das Minimum bei 201 Stück. Die Eizahlen lagen hier also etwas höher als die im Experiment erzielten.

Postel (18) bemerkt übrigens, daß *neustria* in der Gefangenschaft weniger Eier produzieren soll als im Freiland.

c) **Sexualindex:** Über das Zahlenverhältnis der Geschlechter des Ringelspinners sind in der Literatur bislang keinerlei Angaben enthalten. In den vorliegenden Versuchen traten im Endresultat, gleichgültig unter welcher Temperatur (zwischen 18—31 °C) die Raupen aufgezogen waren, Männchen und Weibchen annähernd in gleicher Stärke auf. Der Sexualindex betrug demnach unter diesen Bedingungen rund 0,5. Im einzelnen sind die Daten aus folgender Tabelle zu entnehmen:

Sexualindex der Puppe (Gesunde und Kranke) bei verschiedenen Temperaturen und relativer Luftfeuchtigkeit von 70—90 %.

Temperatur °C (Mittel)	18,5		20,2		22,9		25,4		31,5	
Geschlecht	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
Versuchstiere	27	29	2	2	28	30	16	26	10	11
Prozent	48	52	50	50	48	52	38	62	48	52
Sexualindex	0,5		0,5		0,5		0,6		0,5	

Sexualindex der Falter bei verschiedenen Temperaturen und relativer Luftfeuchtigkeit von 70—90 %.

Temperatur °C (Mittel)	20,1		21,0		23,1		26,5		32,0	
Geschlecht	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
Versuchstiere	1	1	22	27	28	29	16	25	8	9
Prozent	50	50	45	55	29	51	39	61	47	53
Sexualindex	0,5		0,5		0,5		0,6		0,5	

Lediglich bei dem unter ca. 26°C aufgezogenem Material ergab sich eine geringe Verschiebung zugunsten des weiblichen Geschlechtes, mit einem Sexualindex von rund 0,6. Sie ist aber so geringfügig, daß ihr keine grundsätzliche Bedeutung zukommen dürfte.

Wie Zwölfer bei *Lymantria monacha* L. nachwies, ist hier das Geschlechterverhältnis der Falter weitgehend von den Temperaturen abhängig, unter denen die Raupen dieser Art aufwachsen. Verglichen mit dem vorliegenden Ergebnis bei *M. neustria* dürfte dieser Temperatureinfluß auf das Zahlenverhältnis der Geschlechter bei Insekten nicht allgemein gültig sein.

IV. Entwicklungsdauer der präimaginalen Stufen und Lebensdauer der Falter.

Bei der Durchführung der Mortalitätsversuche der Eier, Larven und Puppen ergaben sich gleichzeitig zahlreiche Anhaltspunkte für den Temperatureinfluß auf die Entwicklungsdauer der präimaginalen Stufen und auf die Lebensdauer der Falter. Im folgenden Abschnitt sind die diesbezüglichen Ergebnisse für jedes Stadium geordnet zusammengestellt.

In den verschiedenen Diagrammen sind die Mittelwerte der empirischen Beobachtungen und die Variationsbreite der Beobachtungsreihen bei verschiedenen Temperaturen enthalten. Die Mittelwerte dienen als Unterlage für die Bestimmung der Temperatursummenhyperbel der Entwicklungsdauerabhängigkeit der einzelnen Stadien von der Temperatur. Diese theoretische Kurve ist ebenfalls in den Diagrammen aufgenommen. Zusammenfassend läßt sich sagen, daß sie sich in allen Fällen den empirischen Daten mehr oder weniger gut anschmiegt.

Die Bestimmung des sogenannten Entwicklungsnullpunktes bzw. des t_0 -Wertes erfolgte nicht auf rechnerischem, sondern auf graphischem Wege, nach dem von amerikanischen Autoren ausgearbeitetem Verfahren.

a) Das Ei (während der Schlüpfperiode): Die Temperaturabhängigkeit der Entwicklungsdauer des überwinterten Eies während der Schlüpfperiode im Frühjahr ist in Abb. 6 zur Darstellung gebracht. (n:) gibt die Zahl der Einzel-

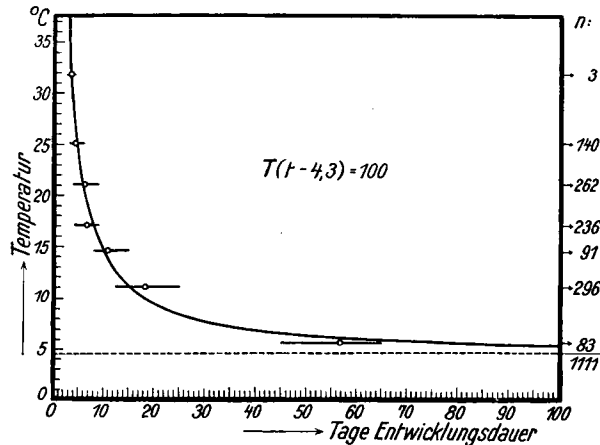


Abb. 6. Schlüpfdauer des Eies (nach Überwinterung) bei verschiedenen Temperaturen und relativer Luftfeuchtigkeit von 90–95 %.

beobachtungen je Versuchsreihe bzw. je Versuchstemperatur an. Insgesamt fußt die Darstellung auf den Beobachtungen an 1111 schlüpfenden Eiern.

Als t_a -Wert des Eies (während der Schlüpfperiode) wurde eine Temperatur von $4,3^\circ\text{C}$ festgestellt (= sogenannter Entwicklungsnullpunkt). Auf Grund dieses Wertes und unter Zugrundelegung der Temperatursummenformel $T \cdot (t - t_a) = k$ berechnet sich der mittlere Wert für die Thermalkonstante k mit $k = 100$.

Die kürzeste Entwicklungsdauer (empirisch) lag mit 3,6 Tagen bei $31,7^\circ\text{C}$. Allerdings war die Sterblichkeit hier relativ hoch: von insgesamt 251 Eiern, die dieser Versuchstemperatur ausgesetzt worden waren, schlüpften nur 3 Stück. Die längste mittlere Entwicklungsdauer wurde mit 56,3 Tagen bei $5,5^\circ\text{C}$ beobachtet. Die Variationsbreite, die übrigens mit sinkender Temperatur beträchtlich zunimmt, lag bei den verschiedenen Versuchen zwischen 1—20 Tagen.

Im übrigen entsprechen die beobachteten Werte den auf Grund der breite, die übrigens mit sinkender Temperatur beträchtlich zunimmt, Hyperbel (also auf theoretischem Wege) bestimmten Werten innerhalb des vitalen Temperaturbereichs ziemlich gut, wie das auch aus folgender Tabelle hervorgeht.

Beobachtete und errechnete Entwicklungsdauer des Eies
in Tagen.

Temperatur $^\circ\text{C}$ (Mittel)	5,5	10,9	14,4	17,1	20,9	25,1	31,7
Beobachteter Mittelwert	56,3	18,2	10,7	6,5	6,1	4,2	3,7
Errechnet für $t_a = 6,1$ und $k = 100$	83,3	15,1	9,9	7,8	6,2	4,8	3,6

Für niedere Temperaturen ergeben sich größere Abweichungen des errechneten Wertes vom beobachteten. Im allgemeinen ist für niedere Temperaturen die beobachtete Entwicklungsdauer kürzer als die theoretische, für höhere hingegen länger. Dieses letztere Verhalten, auf das bei anderen Objekten in der Literatur mehrfach hingewiesen wird, habe ich am schlüpfenden Ringelspinner nicht feststellen können.

Ob und inwieweit die Luftfeuchtigkeit die Entwicklungsdauer des Eies beeinflusst, darüber liegen mir keinerlei Beobachtungen vor.

b) L a r v e I : Die Entwicklungsdauer der Larve I ist wesentlich von der Temperatur abhängig. Die Luftfeuchtigkeit hat auf ihre Entwicklungsdauer keinen nennenswerten Einfluß. (Abgesehen von der niedrigsten Luftfeuchtigkeitsstufe unter 18 %, bei welcher sich die Entwicklung vergleichsweise etwas verzögerte.) Zur Berechnung der Hyperbel dienten daher die Mittel der Beobachtungen bei verschiedenen Luftfeuchtigkeitsstufen. Die Beziehung zwischen Entwicklungsdauer und Temperatur dieses Stadiums kommt durch folgende Hyperbelfunktionen zum Ausdruck: $T(t - 8,0) = 84$.

Die mit ihrer Hilfe konstruierte Hyperbel und die beobachteten Mittelwerte der Entwicklungszeiten und ihre Variationsbreiten sind in Abb. 7 eingezeichnet. Die beobachteten Werte entsprechen den er-

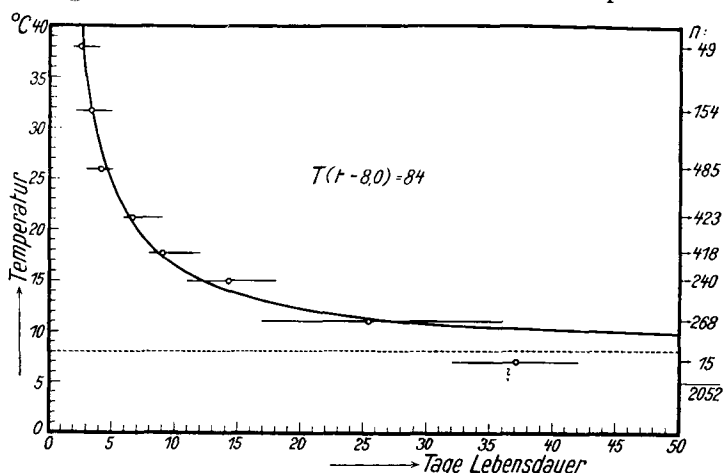


Abb. 7. Entwicklungsdauer der Larve I bei verschiedenen Temperaturen und relativer Luftfeuchtigkeit.

rechneten bzw. graphisch bestimmten Werten relativ gut. Für niedrigere Temperaturen ergeben sich Abweichungen, wie schon bei der Ei-Entwicklungsdauer erwähnt worden ist:

Beobachtete und errechnete Entwicklungsdauer der Larve I in Tagen.

Temperatur ° C (Mittel)	7,0	11,1	15,0	17,8	21,3	26,0	31,8	38,0
Beobachteter Mittelwert	37	25,5	14,2	9,1	6,6	4,1	3,4	2,5
Errechnet für $t_a = 8,0$ und $k = 84$.	?	27,1	12,0	8,6	6,3	4,7	3,5	2,7

Entgegen der Regel scheint die Variationsbreite bei niedrigster Temperatur in meiner Hyperbel kleiner statt größer: Dies ist im vorliegenden Fall dem Umstande zuzuschreiben, daß in dieser Stufe nur wenige Versuchstiere vorhanden waren.

Auffallend ist, daß diese niederste Entwicklungstemperatur sich unter dem t_a -Wert befindet. Da jedoch diese Größe nur rechnerische Bedeutung besitzt, ist diesem Umstand kein grundsätzlicher Wert beizumessen.

c) Larve II—IV : Die Entwicklungsdauer der übrigen Larvenstadien des Ringelspinners (Stadien II—IV zusammengefaßt)¹⁾ wurde bei verschiedenen Temperaturen (16,3—31,3 °C) und relativer Luftfeuchtigkeit zwischen 75—90 % beobachtet. Die weiteren Unter-

¹⁾ Für Larve II—IV liegen nur Beobachtungen über die Gesamtentwicklungsdauer bei verschiedenen Temperaturen vor.

suchungen an Puppen und Faltern wurden bei denselben Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsstufen mit geringen Temperaturschwankungen gemacht. Hierüber liegen insgesamt 181 Beobachtungen (an 83 ♂ und 98 ♀) vor. Die Luftfeuchtigkeit hat wie bei Larve I auf die Entwicklungsdauer der älteren Stufen keinen nennenswerten Einfluß. So wurden der Berechnung der Hyperbel von Larve II—IV die Beobachtungen bei Luftfeuchtigkeitswerten zwischen 75—90 % zugrundegelegt. Als „ α -Wert“ ergab sich eine Temperatur von 9,4 ° C. Die Hyperbelfunktion der Entwicklungsdauerabhängigkeit von Larve (II—IV) lautet:

$$T(t - 9,4) = 428.$$

Sie ist in Abb. 8 nebst den empirischen Daten eingezeichnet. Die beobachteten Werte stimmen gut mit den errechneten Daten überein. Bei der niedrigsten Temperatur von 16,3 ° C war die Variationsbreite

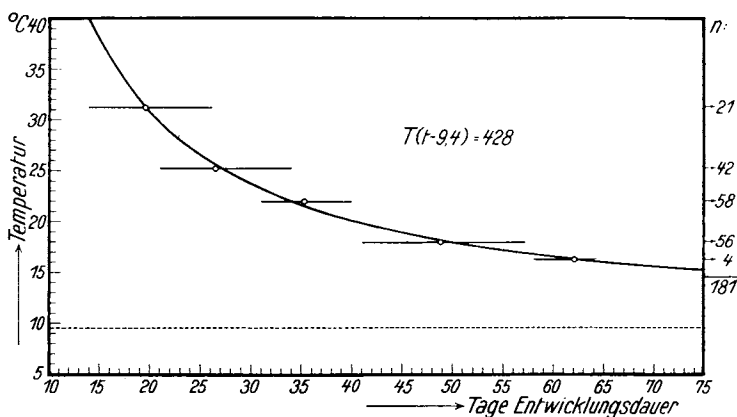


Abb. 8. Entwicklungsdauer der Larve II—VI bei verschiedenen Temperaturen und relativer Luftfeuchtigkeit von 75—90 %.

klein, da hier nur sehr wenige Versuchstiere (4 Larven) bis zur letzten Häutung gelangten. Dies stört jedoch die allgemeine Regel nicht. Folgende Tabelle bringt die Übereinstimmung der beobachteten und errechneten Daten auch zahlenmäßig zum Ausdruck:

Beobachtete und errechnete Entwicklungsdauer der Larve II—VI in Tagen.

Temperatur ° C (Mittel)	16,3	18,0	22,0	25,3	31,3
Beobachteter Mittelwert	62,5	48,7	35,2	26,5	19,5
Errechnet für $t_a = 9,4$ und $k = 428$	62,0	49,7	34,0	26,9	19,5

d) Puppe (♂ u. ♀): Auch bei den Puppen hatte die relative Luftfeuchtigkeit (in den angewendeten Stufen von 70—90 %) auf die Entwicklungsdauer keinen Einfluß. Für diese Versuchsreihe standen insgesamt 166 Puppen (75 ♂ u. 91 ♀) zur Verfügung.

Auf Grund der empirischen Daten lassen sich die Beziehungen zwischen der Entwicklungsdauer der Puppe und der Temperatur durch folgende Hyperbelfunktion darstellen: $T(t - 8,2) = 224$. Die entsprechende Hyperbelfunktion der Entwicklungsdauer der Puppen ist in Abb. 9 eingezeichnet. $^{\circ}\text{C}$ 38 Sie deckt sich gut mit den empirischen Werten. Beiderniedersten zur Anwendung gelangten Temperaturstufe von $18,8^{\circ}\text{C}$ war die Variationsbreite klein, da hierfür nur 2 Puppen zur Verfügung standen.

Was den Unterschied der Entwicklungsdauer zwischen den männlichen und weiblichen Puppen anbetrifft, so zeigte sich, daß die männlichen Puppen etwas längere Zeit zur Entwicklung beanspruchen als die weiblichen. Bei den Larven war das entgegengesetzte Verhalten zu beobachten: hier währte die Entwicklung der weiblichen Larven länger als die der männlichen.

Der Unterschied der Entwicklungsdauer männlicher und weiblicher Puppen ist übrigens gering und liegt innerhalb der Fehlergrenzen. Er schwankte bei verschiedenen Temperaturen zwischen $0,6$ — $1,0$ Tagen. Einzelheiten sind aus folgender Tabelle zu entnehmen:

Beobachtete Entwicklungsdauer der Puppe (σ und φ) in Tagen.

Temperatur $^{\circ}\text{C}$ (Mittel)	18,8		19,4		23,0		25,7		31,6	
	σ	φ	σ	φ	σ	φ	σ	φ	σ	φ
Versuchstiere	1	1	22	27	28	29	16	25	8	9
Maximum	21	22	23	22	18	18	14	14	10	10
Mittel	21	22	20,3	19,3	16,0	15,4	12,8	12,0	9,8	9,1
Minimum	21	22	16	17	14	14	11	11	9	9

e) Lebensdauer der Falter: Für die Lebensdauer der Falter ergab sich eine erhebliche Abhängigkeit von der Temperatur. Die Luftfeuchtigkeit übte in der angewendeten Konzentration von 70 — 90% keinen bemerkbaren Einfluß auf sie aus. Versucht man Bluncks (5) Temperatursummenregel auf die Lebensdauer der Falter anzuwenden, so ergibt sich für diese ein „ α -Wert“ von $6,4^{\circ}\text{C}$. Die Hyperbelfunktion der Lebensdauer der Falter und ihre Abhängigkeit von der Temperatur lautet hiernach:

$$T(t - 6,4) = 88.$$

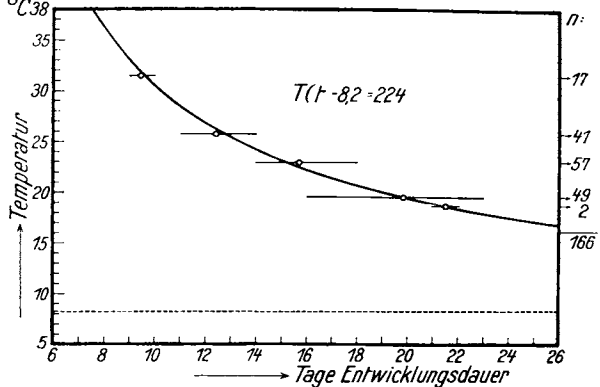


Abb. 9. Entwicklungsdauer der Puppe (σ und φ) bei verschiedenen Temperaturen und bei relativer Luftfeuchtigkeit von 75 — 90% .

Die entsprechende Hyperbel ist in Abb. 10 eingezeichnet. Die empirischen Daten stimmen auch mit der Hyperbel gut überein, nur bei niederen und höheren Temperaturen zeigen sich Abweichungen.

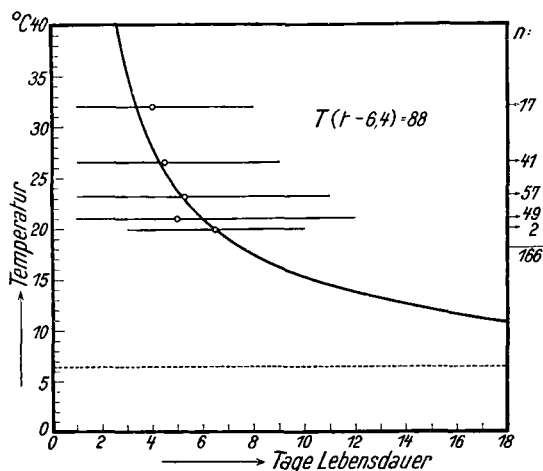


Abb. 10. Lebensdauer der Falter (♂ und ♀) bei verschiedenen Temperaturen und relativer Luftfeuchtigkeit von 75–90%.

Die Variationsbreiten sind erheblich größer als bei Ei, Larven und Puppenstadien. Nur bei der niedrigsten Temperatur 20,1 ° C war sie am kleinsten, was wohl dem Umstand zuzuschreiben ist, daß hier nur 2 Versuchstiere vorhanden waren. Bemerkenswert ist, daß die männlichen Falter länger als die weiblichen Falter lebten, was im einzelnen aus folgender Tabelle hervorgeht:

Beobachtete Lebensdauer der Falter (♂ und ♀) in Tagen.

Temperatur ° C (Mittel)	20,1		21,0		23,3		26,5		32,1	
	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
Versuchstiere	1	1	22	27	28	29	16	25	8	9
Maximum	10	3	12	6	11	5	9	5	8	4
Mittel	10	3	6,1	3,6	7,5	3,1	5,5	3,5	4,4	3,6
Minimum	10	3	4	1	4	2	3	1	1	3

Dieser Fall bildet gegenüber anderen Arten eine Ausnahme. Die Lebensdauer der männlichen Falter war besonders bei niedriger Temperatur zweimal so lang wie die der weiblichen. Bei höherer Temperatur war der Unterschied geringer. Aus welchen Gründen die Lebensdauer der männlichen Falter länger ist, als die der unbegatteten weiblichen Falter, läßt sich an Hand meiner Unterlagen vorerst nicht erklären.

f) Das Ei (während der Embryonalzeit): Am 27. Juli 1933 erhielt ich aus Säckingen (am Oberrhein) 90 Puppen des Ringelspinners, die zwecks Erzielung von Faltern und frischen Eiablagen gemeinsam in einer Zimmerzucht (Temperatur 20—27 ° C) gehalten wurden. Es schlüpfen insgesamt 70 Falter dieser Zucht, doch erhielt ich, da die Männchen der Zucht stark überwogen, im ganzen nur 8 befruchtete Gelege. Zwecks Feststellung der Entwicklungsdauer des Embryos bei verschiedenen Temperaturen verteilte ich die Gelege auf 8 Temperaturstufen (bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 90 %). Im Abstand von 8—10 Tagen wurden die Eier kontrolliert: hierzu

schnitt ich einige Eier auf, um den Entwicklungsfortgang der Embryonen festzustellen. Ohne das Aufschneiden der Eier ist diese Feststellung unmöglich, da die Eier mit einem dunklen Kitt bedeckt und daher undurchsichtig sind.

Von den 8 zur Anwendung gelangten Temperaturstufen entwickelten sich bei den 3 höchsten (28,5—33,5—40,5 ° C) und bei der niedrigsten Stufe (5,5 ° C) keine Embryonen in den Eiern. Es scheint hiernach, daß die Eier während der Embryonalzeit gegen höhere Temperaturen besonders empfindlich sind.

Auch die Entwicklungsdauer des Embryos bzw. die Zeit bis zum Abschluß der Embryonalentwicklung ist stark von der Temperatur abhängig, worüber folgende Tabelle Aufschluß gibt:

Entwicklungsdauer des Eies (während der Embryonalzeit)
in Tagen.

Temperatur ° C (Mittel)	5,5	11,6	16,6	19,6	23,7	28,5	33,5	40,5
Laufende Zeit bis zum Abschluß des Embryos.	—	170?	69	52	35	—	—	—

Die für die niedrige Temperatur von 11,6 ° C genannte Zeit von 170 Tagen ist nur schätzungsweise ermittelt, da hier viele Eier durch eine ausbrechende Milbenseuche vernichtet worden waren.

Als „ α -Wert“ des Eies (während der Embryonalzeit) ergab sich eine Temperatur von 8,7 ° C. Die entsprechende Hyperbelfunktion lautete:

$$T(t - 8,7) = 546.$$

Die mit ihrer Hilfe konstruierte Hyperbel, welche mit den empirischen Daten gut übereinstimmt, ist in Abb. 11 eingezeichnet.

g) Über die Gesamtentwicklungsdauer und die Lebensdauer der Falter. Die im vorhergehenden für jedes Stadium einzeln konstruierten Entwicklungsdauerhyperbeln sind in Abbild. 12 zusammengefaßt. Diese Kurvenschar gibt einen Überblick über die Gesamtentwicklungsdauer einschließlich der Lebensdauer des Ringelspinners. Die einzelnen Hyperbeln stimmen mit den errechneten Daten relativ gut überein. Nur bei den niedrigsten Temperaturen treten für alle Stadien, besonders für Ei und Eiraupe geringe Abweichungen auf.

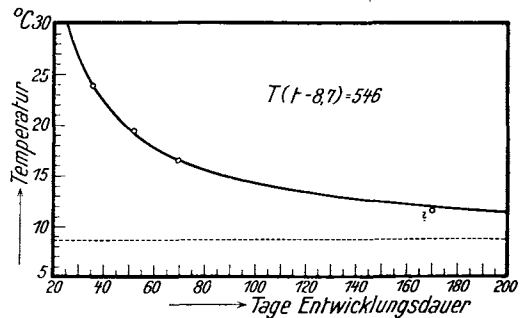


Abb. 11. Entwicklungsdauer des Eies (während der Embryonalzeit) bei verschiedenen Temperaturen und relativer Luftfeuchtigkeit von 90—95 %.

Im Diagramm bedeutet E_F die Entwicklungsdauer des Eies, während der Schlüpfperiode im Frühjahr, E_H jene der Embryonalentwicklung im Herbst. $E_F + L_I$ die Zeit vom Ei bis zur ersten Häutung; $E_F + L_I + L_{II} + \dots (L_{VI})$ entsprechend die Zeit vom Ei bis zur sechsten (letzten) Häutung. Entsprechenderweise bedeuten P. Puppe und F. Falter.

Betont sei ausdrücklich, daß die Kurvenschar auf Grund von Mittelwerten und Beobachtungen bei konstanter Temperatur konstruiert

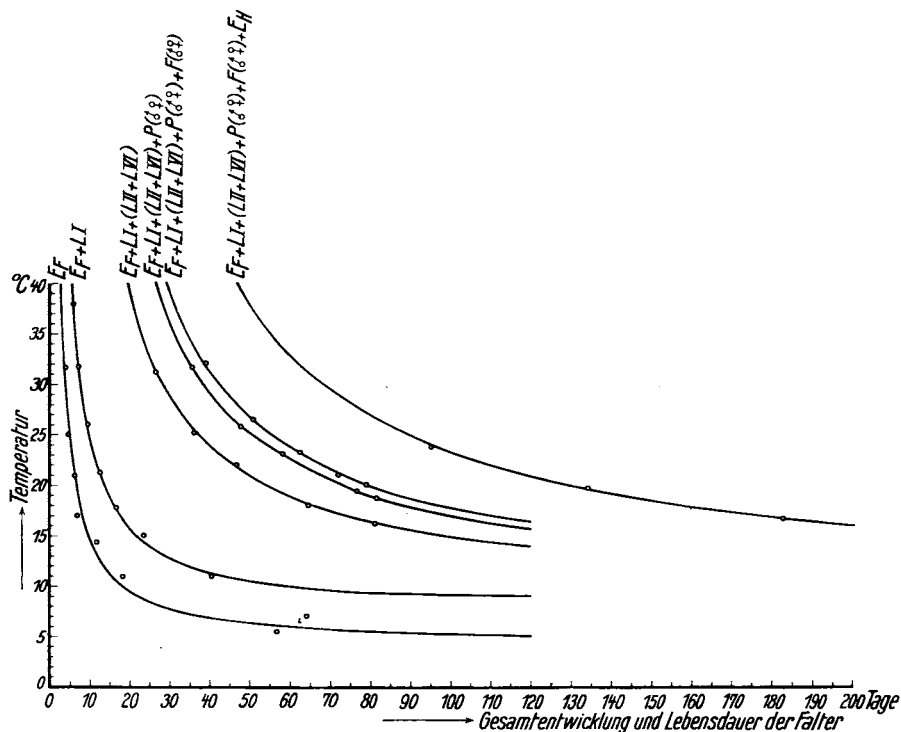


Abb. 12. Gesamtentwicklungsdauer der präimaginalen Stufen und Lebensdauer der Falter.

E_F = Entwicklungsdauer des Eies während der Schlüpfperiode im Frühjahr. $E_F + L_I$ = Zeit vom Ei bis zur ersten Häutung. $E_F + L_I (L_{II} + L_{VI})$ = die Zeit vom Ei bis zur sechsten (letzten) Häutung usw. (P = bis Puppe, F = Faltetod, E_H = Abschluß der Embryonalentwicklung im Herbst.)

worden ist. Die Variationsbreite der Entwicklungszeiten von jedem Stadium bzw. der Lebensdauer sind fortgelassen.

Im übrigen sind die „ α -Werte“ und „K-Werte“ (= Thermal-konstante) der einzelnen Stadien folgende:

Stadium	t_α	K
Ei (im Frühjahr)	4,3°	100
Larve I	8,0°	84
Larve II—VI	9,4°	428
Puppe (♂ und ♀)	8,2°	224
Falter (♂ und ♀)	6,4°	88
Ei (im Herbst)	8,7°	546
		<hr/> 1470

Für die Gesamtentwicklung des Ringelspinners von der Schlüpfperiode des Eies bis zum Abschluß des Embryos im Ei und für die Lebensdauer der Falter ergibt sich demnach ein Wert der Thermal-konstante von $k = 1470$.

V. Die Hungerfähigkeit der Eiraupe.

Die Kenntnis der Hungerfähigkeit der Raupe und ihre Abhängigkeit von der Temperatur und Luftfeuchtigkeit ist epidemiologisch von gewisser Bedeutung. Zu ihrer Bestimmung wurden frisch geschlüpfte Eiraupen verwendet, die unmittelbar nach dem Schlüpfen 8 verschiedenen Temperatur- und 3 Luftfeuchtigkeitskombinationen aus-

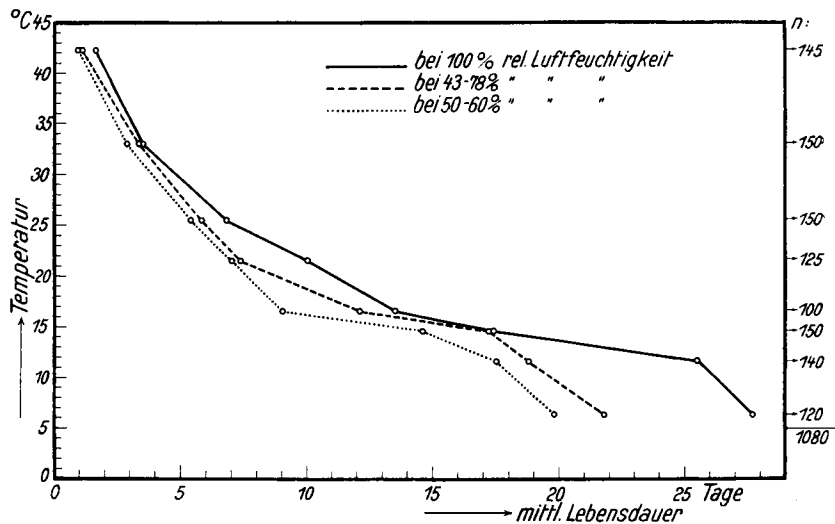


Abb. 13. Die Hungerfähigkeit der Eiraupe in Tagen.

gesetzt worden sind. Insgesamt standen 1080 frische Eiraupen für diese Versuchsreihe zur Verfügung. Als Maßstab für die Beurteilung der Hungerfähigkeit diente die Lebensdauer der Tiere in Tagen ausgedrückt.

Die Versuchsergebnisse sind im Diagramm Abb. 13 niedergelegt. Es läßt erkennen, daß auf die Hungerfähigkeit der Ringelspinner-earaupe Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit einen erheblichen Einfluß haben. Bei einer zwischen 6,3—42,5 °C liegenden Temperatur verkürzt sich die Lebensdauer hungernder Larven mit dem Ansteigen der Temperatur, und verlängert sich, umgekehrt mit sinkender Temperatur. Ebenso tritt bei fallender relativer Luftfeuchtigkeit Verkürzung und bei steigender Luftfeuchtigkeit Verlängerung der mittleren Lebensdauer der Hungertiere ein.

Die längste beobachtete mittlere Lebensdauer lag bei 6,3 °C und 100 % relativer Luftfeuchtigkeit. Sie betrug hier 27,7 Tage; die maximale Lebensdauer bei der gleichen Kombination war 36 Tage; die

kürzeste mittlere Lebensdauer lag bei einer Temperatur von $42,5^{\circ}\text{C}$ und einer relativen Luftfeuchtigkeit von ca. 50 % mit einem Mittelwerte kleiner als 1 Tag.

Die mittlere Lebensdauer im Hungerversuch wurde bei der Kiefern-euleneiraupe von Z w ö l f e r (26) unter 4°C und bei 100 % relativer Luftfeuchtigkeit mit 8,2 Tagen festgestellt. Ali (1) konstatierte bei der Schwammspinnereiraupe bei $12,5^{\circ}\text{C}$ und 100 % eine Lebensdauer von 12,3 Tagen. K o j i m a (17) endlich, fand bei hungernden Kiefern-spinnereiraupen bei 5°C und 100 % relativer Luftfeuchtigkeit eine mittlere Lebensdauer von 13,5 Tagen. Vergleicht man diese Ergebnisse mit den Resultaten der vorliegenden Versuche, so ist ersichtlich, daß die Hungerfähigkeit der Ringelspinnerraupe erheblich größer ist als die der oben genannten Arten im Eirauenstadium. Auch die früher geschilderte Beobachtung, daß die Ringelspinnereiraupen sich sogar teilweise noch bei der extrem hohen Temperatur von $38,0^{\circ}\text{C}$ entwickelten, bei welcher Temperatur die Eirauen der oben genannten Arten sämtlich absterben, läßt die vergleichsweise anfallend große Widerstandsfähigkeit der Ringelspinnerraupe gegen hohe Temperaturen erkennen.

Zusammenfassung.

1. Die günstige Temperatur für das Schlüpfen des Eies von *Malacosoma neustria* L. liegt zwischen $11\text{--}21^{\circ}\text{C}$ (bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 90 %). Das sogenannte „vital e O p t i m u m“ liegt bei ca. 17°C , die obere fatale Temperaturgrenze über 32°C , die untere bei $4,0^{\circ}\text{C}$ (schätzungsweise).

2. Der Bereich geringster Mortalität (0—10 % Sterblichkeit) ist bei der Eiraupe von *M. neustria* sehr weit begrenzt (euryhygrotherm). Er liegt zwischen $11,5\text{--}31,5^{\circ}\text{C}$ sowie 12—100 % relativer Luftfeuchtigkeit. Das „vital e O p t i m u m“ dieses Stadiums liegt bei $21,5^{\circ}\text{C}$ und 100 % relativer Luftfeuchtigkeit. Die tödliche obere Temperaturgrenze liegt zwischen $37,5\text{--}38,5^{\circ}\text{C}$, die untere bei $7,0^{\circ}\text{C}$.

3. Die Puppen des Ringelspinners sind gegen Temperaturen im Bereich von $18,5\text{--}31,5^{\circ}\text{C}$ und relative Luftfeuchtigkeitsgrade zwischen 75—90 % außerordentlich widerstandsfähig.

4. Bei der Aufzucht der Raupen bei verschiedenen Temperaturen ($18,5\text{--}31,5^{\circ}\text{C}$) und relativen Luftfeuchtigkeitsstufen (75—90 %) nimmt das resultierende Puppengewicht bei weiblichen Puppen unter $22,7^{\circ}\text{C}$ den höchsten Mittelwert (545 mg) an, desgleichen den höchsten Maximalwert. Für die männlichen Puppen ergab sich das höchste mittlere Puppengewicht, bei derselben Temperatur mit 313 mg.

5. Zwischen weiblichem Puppengewicht und Produktion legereifer Eier besteht annähernd lineare Relation. Die Eizahl der Weibchen, deren Raupen unter verschiedenen Temperaturen aufgezogen worden waren, erreicht bei ca. $22,5^{\circ}\text{C}$ mit 243 Eiern (im Mittel) den Bestwert, um bei höherer, ebenso auch bei tieferer Temperatur wieder abzusinken.

6. Das Geschlechterverhältnis trat beim Ringelspinner im Durchschnitt mit 50 % ♂♂ und 50 % ♀♀ in Erscheinung, unabhängig von den Temperaturen, unter denen die Raupen aufwuchsen.

7. Die Temperaturabhängigkeit der Entwicklungsdauer des Eies während der Schlüpfperiode (und bei 30 % relativer Luftfeuchtigkeit) ist durch die Hyperbelfunktion $T(t - 4,3) = 100$ befriedigend darstellbar.

8. Für die Temperaturabhängigkeit der Entwicklungsdauer der Larve I gilt mit guter Annäherung die Gleichung $T(t - 8,0) = 83$; für die Larven II—VI einschließlich die Gleichung $T(t - 9,4) = 428$, für die der Puppe (♂ u. ♀) die Beziehung $T(t - 8,2) = 224$; für die Lebensdauer der Falter (♂ u. ♀) gilt $T(t - 6,4) = 88$; endlich für die Embryonalentwicklung des Eies (im Herbst) die Relation $T(t - 8,7) = 546$.

9. Die Entwicklungsdauer der weiblichen Raupen ist länger als die der männlichen Raupen. Bei der Puppe liegen die Verhältnisse umgekehrt. Die Lebensdauer der männlichen Falter ist beträchtlich länger als die weiblicher Falter (unbegattet).

10. Für die Gesamtentwicklung und Lebensdauer der Falter des Ringelspinners wurde als Thermalkonstante ein Wert von $K = 1740$ festgestellt.

11. Die Hungerfähigkeit frisch geschlüpfter Eiraupen von *M. neustria* ist von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit abhängig. Bei steigender Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit verkürzt sich die Lebensdauer der Hungertiere und umgekehrt. Als maximale mittlere Lebensdauer hungernder Eiraupen wurden 36 Tage bei einer Temperatur von 6,3 °C und 100 % relativer Luftfeuchtigkeit ermittelt.

Literatur.

1. Ali, Mithat, Experimentelle Untersuchungen über den Einfluß von Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf die Entwicklung des Schwammspinners, *Porthetria dispar* L. Ztschr. f. ang. Ent. 1933, Bd. 20, S. 355—380.
2. Altum, B., Forstzoologie Bd. III, Insekten. Berlin 1881.
3. Bachmetiew, P., Experimentelle entomologische Studien Bd. 1. Sophia 1907.
4. Berlese, A., Entomologia agraria. Firenze 1924.
5. Blunck, H., Entwicklung des *Dytiscus marginalis* L. vom Ei bis Imago. 2. Die Metamorphose. Ztschr. f. wiss. Zool. 1923, 121, S. 171—391.
6. Bodenheimer, Fr., Über die Voraussage der Generationszahl von Insekten. III. Die Bedeutung des Klimas für die landwirtschaftliche Entomologie. Ztschr. f. ang. Ent. 1926, Bd. 12, S. 91—122.
7. — — Über die Grundlage einer allgemeinen Epidemiologie der Insektenkalamitäten. Ztschr. f. ang. Ent. 1930, Bd. 16, S. 433—450.
8. — — Welche Faktoren regulieren die Individuenzahl einer Insektenart in der Natur. Biol. Centralbl. 1928, Bd. 48, S. 714—739.
9. — — Studien zur Epidemiologie, Ökologie und Physiologie der afrikanischen Wanderheuschrecke (*Schistocerca gregaria* Forsk.). Ztschr. f. ang. Ent. 1929, 15, S. 435—537.

10. Eckstein, K., Die Schmetterlinge. Eberswalde 1921.
11. — — Die Schmetterlinge Deutschlands mit besonderer Berücksichtigung ihrer Biologie Bd. 2. Stuttgart 1915.
12. Escherich, K., Die Forstinsekten Mitteleuropas Bd. I u. III. Berlin 1914 u. 1931.
13. Hase, A., Beiträge zur Lebensgeschichte der Schlupfwespe „*Trichogramma evanescens* Westw.“. Arbeiten aus d. Biol. Reichsanst. f. Land- u. Forstw. Bd. 14. Berlin 1926.
14. Janisch, E., Über die Wirkungsgröße der Umweltfaktoren bei der Massenvermehrung der Insekten. Dtsch. Forsch.-Arb. Notgemeinschaft. deutsch. Wiss. 1929, 9.
15. Judeich, J. F., u. Nitsche, H., Lehrbuch der Mitteleuropäischen Forstinsektenkunde Bd. II. Wien 1895.
16. Klein, H., Studien zur Ökologie u. Epidemiologie der Kohlweißlinge. Ztschr. f. ang. Ent. 1932, Bd. 19.
17. Kojima, T., Studien zur Ökologie des Kiefernspinners, *Dendrolimus pini* L. Ztschr. f. ang. Ent. 1933, Bd. 20.
18. Postel, G., Naturaliste. Paris 1910.
19. Ratzeburg, J. Th. Ch., Die Forstinsekten Bd. II. Berlin 1840.
20. — — Die Waldverderbnis Bd. II. Berlin 1868.
21. Schedl, K. E., Statistische Untersuchungen über die Kopfkapselbreiten bei Blattwespen. Ztschr. f. ang. Entom. 1933, Bd. 20, S. 449—460.
22. Schröder, Ch., Der Ringelspinner. Illustrierte Ztschr. f. Ent. Nr. 43. Neudamm 1897.
23. Silvestri, F., Entomologia agraria. Portici 1911.
24. Uvarov, B. P., Wetter und Klima in ihren Beziehungen zu den Insekten. Ztschr. f. ang. Ent. 1930, Bd. 17.
25. Wolf, u. Krauß, A., Die Forstlichen Lepidopteren. Jena 1922.
26. Zwölfer, W., Studien zur Ökologie und Epidemiologie der Insekten. 1. Die Kieferneule, *Panolis flammea* Schiff. Ztschr. f. ang. Ent. 1931, Bd. 17, S. 475—562.
27. — — Studien zur Ökologie, insbesondere zur Bevölkerungslehre der Nonne, *Lymantria monacha* L. Ztschr. f. ang. Ent. 1933, Bd. 20, S. 1—48.
28. — — Zur Lehre von den Bevölkerungsbewegungen der Insekten. Ztschr. f. ang. Ent. 1932, Bd. 19, S. 1—21.
29. — — Methoden zur Regulierung von Temperatur und Luftfeuchtigkeit. Ztschr. f. ang. Ent. 1932, Bd. 19, S. 497—513.