

# Einfluss der Futterpflanze und deren Stickstoffgehalt auf die Entwicklung von *C. eurilochus*

Bachelorarbeit  
Cindy Klettke 1700008  
Biologie



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

---

Cindy-Antje Klettke  
Matrikelnummer: 1700008  
Studiengang: Biologie

Bachelorarbeit  
Thema: Einfluss der Futterpflanze und deren Stickstoffgehalt auf die Entwicklung von *C. eurilochus*  
Eingereicht: 08.08.2012  
Professor Dr. Bodo Laube

Technische Universität Darmstadt  
Schnittspahnstr. 10  
64287 Darmstadt

---

---

## 1. Inhaltsverzeichnis

---

1..... Inhaltsverzeichnis	1
2.....Zusammenfassung	3
3.....Einleitung	4
3.1. <i>Caligo eurilochus</i>	4
3.2. Entwicklung von <i>C.eurilochus</i>	4
3.3. Ziel der Arbeit	7
4.....Material und Methoden	8
4.1. Larven des <i>C. eurilochus</i>	8
4.2. Fütterungsversuche	9
4.2.1. Erste Versuchsreihe	9
4.2.2. Zweite Versuchsreihe	10
4.3. Quantitative Stickstoffanalyse	11
4.4. Auswertung der Daten	12
5.....Ergebnisse	13
5.1. Erste Versuchsreihe	13
5.1.1. Längenwachstum	13
5.1.1.1. Gruppe I: Fütterung mit <i>M. acuminata</i>	13
5.1.1.2. Gruppe II: Fütterung mit <i>A. zerumbet</i>	14
5.1.1.3. Gruppe III: Fütterung mit <i>H. schiedeana</i>	14
5.1.1.4. Vergleich	15
5.1.2. Gewichtszunahme	16
5.1.2.1. Gruppe I: Fütterung mit <i>M. acuminata</i>	16
5.1.2.2. Gruppe II: Fütterung mit <i>A. zerumbet</i>	17
5.1.2.3. Gruppe III: Fütterung mit <i>H. schiedeana</i>	17
5.1.2.4. Vergleich	18
5.1.3. Häutungen	19
5.1.3.1. Gruppe I: Fütterung mit <i>M. acuminata</i>	19
5.1.3.2. Gruppe II: Fütterung mit <i>A. zerumbet</i>	20
5.1.3.3. Gruppe III: Fütterung mit <i>H. schiedeana</i>	20

---

---

5.1.3.4.	Vergleich	21
5.1.4.	Überlebensquote	21
5.2.	Zweite Versuchsreihe	22
5.2.1.	Längenwachstums	22
5.2.1.1.	Gruppe IV: Fütterung mit <i>M. acuminata</i>	22
5.2.1.2.	Gruppe V: Fütterung mit <i>H. schiedeana</i>	23
5.2.1.3.	Gruppe VI: Fütterung mit <i>C. indica</i>	23
5.2.1.4.	Vergleich	24
5.2.2.	Gewichtszunahme	25
5.2.2.1.	Gruppe IV: Fütterung mit <i>M. acuminata</i>	25
5.2.2.2.	Gruppe V: Fütterung mit <i>H. schiedeana</i>	26
5.2.2.3.	Gruppe VI: Fütterung mit <i>C. indica</i>	26
5.2.2.4.	Vergleich	27
5.2.3.	Häutungen	28
5.2.3.1.	Gruppe IV: Fütterung mit <i>M. acuminata</i>	28
5.2.3.2.	Gruppe V: Fütterung mit <i>H. schiedeana</i>	28
5.2.3.3.	Gruppe VI: Fütterung mit <i>C. indica</i>	29
5.2.3.4.	Vergleich	30
5.2.4.	Überlebensquote	30
5.3.	Quantitative Stickstoffanalyse	31
6.....	Diskussion	33
6.1.	Einfluss der Nahrungspflanze auf das Längenwachstum und die Gewichtszunahme	33
6.2.	Einfluss der Nahrungspflanze auf die Häutung	34
6.3.	Einfluss der Nahrungspflanze auf die Sterblichkeitsrate	35
6.4.	Einfluss von Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf die Entwicklung	35
6.5.	Einfluss des Stickstoffgehalts der Nahrungspflanze auf die Entwicklung	36
7....	Quellenangaben	38
8.....	Ehrenwörtliche Erklärung	40

---

## 2. Zusammenfassung

---

Diese Forschungsarbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung von Larven des *Caligo eurilochus* in künstlichen, durch den Menschen geschaffenen Lebensräumen. *C. eurilochus* ist ein, vorwiegend in den Tropen und Subtropen Südamerikas vorkommender, Tagfalter, dessen Erscheinungsbild besonders durch seine einzigartige Flügelzeichnung beeindruckt. Die Haltung und Zucht dieser Schmetterlinge gelingt im Gegensatz zu vielen anderen Arten vergleichsweise einfach, doch über eine Haltung der Raupen in Terrarien oder ähnlichen Aufzuchtbehältern, um ein Kahlfressen der Pflanzen, von denen sie sich ernähren, zu verhindern, sind nur wenige Informationen bekannt. Vor allem die richtige Wahl der Futterpflanze stellt eine der wichtigsten Grundlagen für eine optimale Entwicklung der Raupen dar. Zu diesem Zweck wurden Fütterungsversuche diverser Raupengruppen durchgeführt, in denen die vier verschiedene Pflanzenarten *Musa acuminata*, *Heliconia schiedeana*, *Alpinia zerumbet* und *Canna indica* auf ihre Tauglichkeit als Nahrungspflanzen überprüft wurden. Während den Experimenten wurden die Sterblichkeitsraten der Raupen, sowie deren Aktivität, Gewichts- und Längenzunahme dokumentiert. Insbesondere die stark variierende Mortalität der Versuchsgruppen, lässt die Vermutung aufkommen, dass nicht jede der untersuchten Pflanzen gleichermaßen als Nahrungsquelle für besagte Larven geeignet ist. So zeigen die Ergebnisse, dass beispielsweise die Fütterung mit *Heliconia schiedeana* zu einer geringeren Sterblichkeitsrate der Raupen führt, als eine Fütterung mit Blättern von *Alpinia zerumbet*.

Eine Relation zwischen dem prozentualen Stickstoffgehalt der verschiedenen Pflanzen und der unterschiedlichen Entwicklung der Raupen ist aufgrund der Messdaten, die sich bei der quantitativen Stickstoffanalyse des Blattmaterials ergaben, nicht auszuschließen. Dabei zeigten fünf der insgesamt sechs Versuchsgruppen eine geringere Mortalität bei Nahrungspflanzen mit vergleichsweise hohem Stickstoffanteil, was aufgrund der enormen Wichtigkeit von Stickstoff für den Organismus, insbesondere im Laufe der Entwicklung, nachvollziehbar erscheint. Eine Unterversorgung der jungen Raupe mit verwertbaren Stickstoffverbindungen beeinträchtigt unter anderem die Bildung von Proteinen, doch auch innerhalb der DNA und wichtigen Stützmaterialien spielt Stickstoff eine bedeutende Rolle.

Die Eignung von *Musa acuminata* als Nahrungspflanze für *Caligo eurilochus* hingegen, scheint von weiteren Faktoren abhängig zu sein. So wird hier ein Absondern von, für die Larven toxischen, Substanzen vermutet, deren Produktion mit der Quantität des Schadens, welchen die Raupen an der jeweiligen Pflanze verursacht haben, korreliert zu sein scheint. Das Vorhandensein von Genen, welche für Chitinasen codieren, konnte in einigen Arten der *Musaceae* bereits nachgewiesen werden. Die Aktivierung dieser Gene konnte bisher nur im Zusammenhang mit parasitären Pilzkrankungen belegt werden. Somit liegt die Vermutung nahe, dass auch im Falle einer Schädigung der Pflanze durch Fressfeinde, wie der Raupen des *C. eurilochus*, Gebrauch von besagten Abwehrmechanismen gemacht werden könnte. Die Chitinasen katalysieren hierbei den Abbau von Chitin, welches einen wichtigen Bestandteil des Exoskeletts der Raupen darstellt. Die Schädigung dieses Exoskeletts könnte somit einen weit reichenden Einfluss auf die Mortalität der Raupen vermuten lassen.

Anhand der Auswertung zahlreicher Ergebnisse, die sich ebenfalls mit den unterschiedlichen Häutungszeitpunkten der Raupen beschäftigen, ist im Allgemeinen eine große Variabilität innerhalb der larvalen Entwicklung zu erkennen, die höchstwahrscheinlich auch auf weitere Umweltfaktoren, wie Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit zurückzuführen ist. Das Abweichen dieser Werte von den natürlichen Bedingungen des *Caligo eurilochus* könnte einen beträchtlichen Einfluss auf die Entwicklungsdauer und vor allem auf die Sterblichkeitsrate der Larven haben.

Diese Arbeit untermauert die Hypothese des grundsätzlichen Einflusses des Stickstoffgehalts der Nahrungspflanze auf die Entwicklung der Larven von *C. eurilochus* und thematisiert Forschungsansätze für eine weitere Optimierung der Aufzuchtbedingungen.

---

### 3. Einleitung

---

#### 3.1. *Caligo eurilochus*

Bei *Caligo eurilochus* handelt es sich um einen tropischen Schmetterling, der vornehmlich in Südamerika vorkommt, wo er häufig als Schädling in Bananenplantagen lebt, aber auch in dicht gewachsenen Regenwäldern anzutreffen ist, welche ihm einen guten Schutz vor Vögeln und anderen Feinden bieten. Aufgrund seiner natürlichen Lebensräume ist der Eulenfalter, der seinen Namen seiner außergewöhnlichen Flügelzeichnung zu verdanken hat, auf durchschnittliche Jahrestemperaturen von etwa 25 °C und eine relative Luftfeuchtigkeit von min. 80 % angepasst. Unterhalb der *Lepidoptera* wird der hier untersuchte Tagfalter zu den *Nymphalidae* eingeordnet, die sich dadurch auszeichnen, dass sich das vorderste Extremitätenpaar zu so genannten Putzpfoten umgewandelt hat. Der Imago des *Caligo eurilochus* erreicht eine Spannweite von bis zu 15 cm und ist vor allem durch das prägnante Auge auf der Flügelunterseite eines jeden Hinterflügels zu erkennen. Die restliche Fläche der Flügelunterseiten ist braun-schwarz marmoriert und passt sich auf diese Weise möglichst gut der Umgebung an.

Die Flügeloberseite ist dunkelblau bis schwarz und nur während des Fluges zu sehen, da der Falter mit dachförmig über dem Körper geschlossenen Flügeln ruht.



Abbildung 1: Imago des *C.eurilochus*, Seitenansicht

[<http://www.nic.funet.fi/pub/sci/bio/life/insecta/lepidoptera/ditrysia/papilionoidea/nymphalidae/morphinae/caligo/eurilochus-1.jpg>]

#### 3.2. Entwicklung von *C. eurilochus*

Die Entwicklung von *C. eurilochus* beinhaltet eine holometabole Metamorphose. Das bedeutet, dass sich die Larve über ein Puppenstadium zum Imago entwickelt, wobei die Larve und der Imago sich sowohl optisch, als auch in ihrer ökologischen Nische voneinander unterscheiden.

Der weibliche Imago legt seine etwa 2 mm großen Eier nach der Befruchtung auf speziellen Pflanzen ab, die den Larven nach dem Schlupf als Nahrungsquelle dienen. Meist erfolgt die Eiablage in so genannten Eipaketen aus etwa 2 bis 25 Eiern. Als Nahrungspflanzen dienen hier verschiedene Familien der *Zingiberales* (Ingwerartige), wie *Musaceae* (Bananengewächse), *Cannaceae* (Blumenrohrgewächse), *Strelitziaceae* (Strelitziengewächse), *Heliconiaceae* (Heliconiengewächse) oder auch *Zingiberaceae* (Ingwergewächse).



Abbildung 2: Eipaket einige Tage nach Eiablage

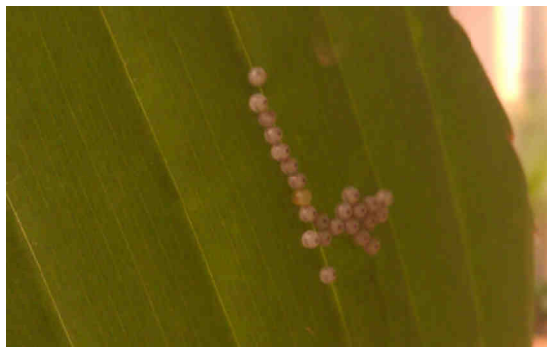


Abbildung 3: Eipaket einige Tage vor dem Schlupf der Raupen

Nach der Eiablage dauert es etwa 5 bis 10 Tage, bis die Larve schlüpft. In dieser Zeit färbt sich das Ei von einem reinen Weiß in ein ungleichmäßiges Braun, welches durch das Durchschimmern des Kopfes, welcher zu diesem Zeitpunkt den größten Massenanteil am Körper der Larve darstellt, entsteht. Zum Zeitpunkt des Schlüpfens ist die *C. eurilochus*-Larve etwa 0,5 cm groß und nicht selten wird die Eihülle während dem Schlüpfvorgang weitgehend vollständig verzehrt.



Abbildung 4: Raupe während dem Schlüpfen

In der ersten Zeit halten sich die Raupen vorwiegend in Gruppen an der Mittelrippe der Blattunterseite auf, von wo aus sie meist in der Abenddämmerung zum Blattrand zwecks Nahrungsaufnahme wandern. Die hellgrüne Farbe der jungen Raupen bietet hier eine optimale Tarnung. In den späteren larvalen Phasen wandelt sich die Farbe in ein helles bis dunkles Braun um und die Raupen bilden zunehmend Haare und Dornen aus. In dieser Zeit halten sich die Gruppen meist an den bräunlichen Scheinstämmen der Nahrungspflanzen auf, wo sie nun ebenfalls hervorragend getarnt sind.



Abbildung 5: Junge Raupen an Mittelrippe der Blattunterseite

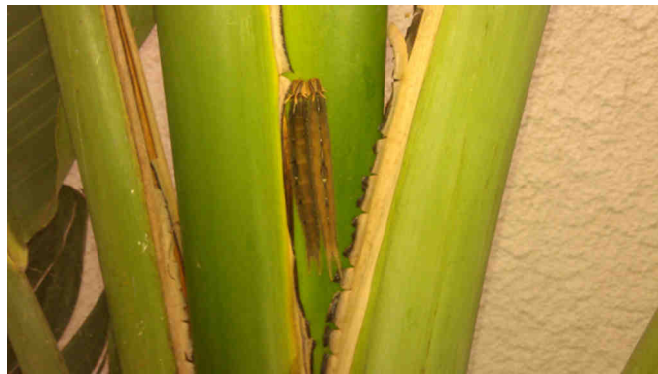


Abbildung 6: Ältere Raupen am Scheinstamm der Nahrungspflanze

Nach einer sehr variablen Entwicklungsdauer der Raupen von 3 bis 10 Wochen, in denen sie 4 bis 5 Häutungen vollziehen, verpuppen sie sich zu einer etwa 5 cm langen Stürzpuppe, die mit ihren Naturtönen von grün bis braun ein welkes Blatt zu imitieren versucht.



Abbildung 7: Stürzpuppe von *C.eurilochus*

[[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/11/Caligo\\_eurilochus\\_-\\_Puppe\\_%28HS%29.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/11/Caligo_eurilochus_-_Puppe_%28HS%29.jpg)]

Nach etwa vier Wochen schlüpfen die beflügelten Imagines aus der Puppe und verweilen anschließend einige Stunden hängend an der nun leeren Puppenhülle. In dieser Zeit entfalten sich die Flügel, sie werden regelrecht entknittert, indem der Falter Hämolymphe in die Adern der Flügel pumpt. Nachdem die Flügel ihre künftige Form angenommen haben trocknen diese aus. Auch die Adern in den Flügeln vertrocknen und haben somit ihre Funktion erfüllt.



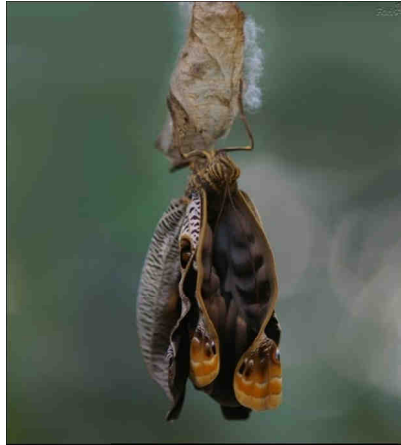


Abbildung 8: Imago einige Minuten nach dem Schlupfvorgang aus der Puppe

[<http://view.stern.de/de/picture/730246/Schmetterling-Schmetterlingshaus-Caligo-Eurilochus-CalligoEurilochus10244628-Braun-Makrofotografie-510.jpg>]

Der Imago lebt bis zu 8 Wochen und ernährt sich in dieser Zeit mit Vorliebe von überreifen, gärende Früchten, wie zum Beispiel Bananen.

### 3.3. Ziel der Arbeit

In den letzten Jahren nimmt die Zahl an Schmetterlingshäusern, sowie Privatzuchten von Faltern enorm zu und einer der Hauptdarsteller in vielen Parks und Tropenhäusern ist *Caligo eurilochus*. Dies mag daran liegen, dass er relativ preisgünstig und einfach zu erhalten ist und zum anderen daran, dass sowohl die Haltung als auch die Zucht im Gegensatz zu vielen anderen Arten sehr gut gelingt. Umso größer ist die Verwunderung, dass gerade über diese Art ein großer Mangel an Fachliteratur herrscht, die Praktizierende anleitet.

Was die Entwicklungsdauer der Raupen betrifft, zeigte eine Umfrage, dass die Zeiträume je nach Bedingungen sehr unterschiedlich ausfallen.

Eine direkte Aufzucht der Raupen in den jeweiligen Tropenhäusern ist nicht immer möglich, da der enorme Appetit der Schmetterlingslarven schnell für komplett kahl gefressene Pflanzen sorgt. Doch auch die optimalen Bedingungen für eine in-vitro-Aufzucht konnten bisher noch nicht ermittelt werden.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Abhängigkeit der Entwicklung der Raupen von deren Nahrungspflanzen. Speziell wird hier auf den Stickstoffgehalt der unterschiedlichen Pflanzen eingegangen, um zu untersuchen, ob dieser einen direkten Einfluss auf die Entwicklung haben könnte.

Die Umfrage ergab ebenfalls, dass zwecks Futterpflanzen meist zu verschiedenen Bananengewächsen gegriffen wird, vermutlich weil schon der Spitzname „Bananenfalter“ dies nahe legt. Über Nahrungspflanzen wie Helikonien oder gar Ingwergewächse wird nur sehr selten berichtet. Aus diesem Grund wurden die Experimente mit vier verschiedenen Familien der *Zingiberales* durchgeführt, unter denen sich sowohl die oft verwendeten *Musaceae*, aber auch seltener verwendete Futterpflanzen wie *Cannaceae* befinden.

Für die Versuche wurden die Raupen jeweils mit einer von vier verschiedenen Pflanzenarten gefüttert, während dazu deren Entwicklung innerhalb der ersten 30 Lebensstage im Sinne von Größenwachstum und Gewichtszunahme dokumentiert wurde. Auch die jeweiligen Sterblichkeitsraten und Häutungszeitpunkte wurden für einen anschließenden Vergleich erfasst.

---

## 4. Material und Methoden

---

### 4.1. Larven des *C. eurilochus*

Im Vorfeld bestellte das Vivarium Darmstadt, in welchem man freundlicherweise Material und Räumlichkeiten für die Versuche zur Verfügung stellte, 10 Puppen des *Caligo eurilochus* über [www.oxfly.co.uk](http://www.oxfly.co.uk). Diese britische Firma mit Sitz in London versorgt viele Zoos und Schmetterlingshäuser mit Puppen diverser tropischer Schmetterlingsarten. Die Farmen, in denen die Falter gezüchtet werden, befinden sich hauptsächlich in Thailand und auf den Philippinen. Die Puppen wurden dem Vivarium per Express in gut isolierten und gepolsterten Transportboxen zugesendet. Bei Ankunft wurden die Puppen schnellstmöglich in einem so genannten Schlupfkasten im Tropenhaus des Vivariums aufgehängt. Dazu wurde eine einfache Stecknadel durch das oberste Seidengespinst gestochen, ohne die eigentliche Puppenhülle zu verletzen, und anschließend an einem horizontal angebrachten Holzstab befestigt. Hierbei muss darauf geachtet werden, dass die Puppen ausreichend Platz zueinander aufweisen um ein problemloses Schlüpfen der Imagines zu ermöglichen. Die Temperatur im Tropenhaus, und somit auch in besagtem Schlupfkasten, liegt bei etwa 26 °C. Da eine optimale Entwicklung der Puppen eine hohe Luftfeuchtigkeit voraussetzt, wird, der mit speziellen Lavasteinen ausgelegte, Grund des Schlupfkastens täglich mit Wasser befeuchtet. Das poröse Lavagestein ermöglicht durch seine große Oberfläche eine lange und kontinuierliche Wasserabgabe an die Luft.



Abbildung 9: Ausschnitt des Schlupfkastens des Vivarium Darmstadt

Nach dem Schlupf der erwachsenen Falter, der je nachdem, wie alt die angelieferten Puppen sind, nach 4 bis 8 Tagen eintritt, werden diese, sobald sich die Flügel entfaltet haben und die Schmetterlinge flugbereit sind, in das rund 150 m<sup>2</sup> große Tropenhaus entlassen. Das Tropenhaus bietet eine Wasseroberfläche von etwa 60 m<sup>2</sup>, welche neben zusätzlichen Wasserdüsen an der Decke für eine Luftfeuchtigkeit von über 80 % sorgt. Des Weiteren steht den Schmetterlingen ein großer offener Flugbereich, drei Futterstellen mit Obst und Nektar, sowie diverse Pflanzen zur Eiablage und für Ruhephasen zur Verfügung.



Abbildung 10: Aufnahme aus dem Tropenhaus des Vivarium Darmstadt

Die Eiablage des *Caligo eurilochus* erfolgt hier in der Regel an Individuen der Familie der *Strelitziaceae* (siehe Abb. 10), da diese in relativ großer Zahl im Tropenhaus vorkommen und zu den *Zingiberales* und somit zu den natürlichen Futterpflanzen der Raupen gehören.

Die nach etwa ein bis zwei Wochen geschlüpften Raupen konnten anschließend für die Versuche eingesammelt werden, indem sie großzügig aus dem jeweiligen Blatt herausgeschnitten wurden.

## 4.2. Fütterungsversuche

### 4.2.1. Erste Versuchsreihe

Für einen Versuchsansatz wurden nur die Raupen verwendet, die aus ein und demselben Eipaket stammen und somit von den gleichen Elterntieren, um möglichst gleiche genetische Voraussetzungen zu gewährleisten. Dazu wurden nur Raupen aus jenen Eipaketen verwendet, die ausreichend räumlichen oder zeitlichen Abstand zu anderen Eipaketen aufwiesen, um eine ungewollte Durchmischung auszuschließen. Ebenso wichtig ist es, die Raupen möglichst früh am Morgen einzusammeln, da das Schlüpfen meist nachts stattfindet und die jungen Raupen erst nach einigen Stunden anfangen über das Blatt zu wandern oder zu fressen.

Je nach Anzahl der erfolgreich geschlüpften Raupen innerhalb eines Eipakets wurden für die erste Versuchsreihe 3, 6, 9 oder maximal 21 Raupen per Zufall ausgewählt und in drei Gruppen eingeteilt. Diese wurden dann einzeln in so genannte Heimchenboxen mit einheitlichen Größenverhältnissen (114mmx114mmx58 mm) und seitlichen Luftlöchern, die eine konstante Sauerstoffzufuhr und Luftzirkulation ermöglichen, gesetzt. Als Einlage dienten jeweils 2 Blätter herkömmliches, 3-lagiges Toilettenpapier, welches täglich ausgewechselt und mit 1,5 ml Wasser befeuchtet wurde. Auch das weitgehend tägliche Entfernen von Kot aus den Boxen war nötig um eine best mögliche Hygiene zu gewährleisten und Erkrankungen vorzubeugen.

Die Oberfläche der einzelnen Behälter wurde mit leeren Boxen abgedeckt um direkte Sonneneinstrahlung zu vermindern, zur Seite hin allerdings ist mindestens 5 cm Freiraum nötig gewesen, um eine ausreichende Luftzirkulation zu ermöglichen.

Die Temperatur innerhalb der Aufzuchtbehälter betrug durchschnittlich 23,7 °C und die Luftfeuchtigkeit lag durchschnittlich bei 96,89 %. Zur Messung dieser Werte diente eines der unbewohnten Zuchtkästen, welches ebenfalls täglich gereinigt und mit einer neuen Einlage, sowie 1,5

---

---

ml Wasser versehen wurde. Auch hier wurde direkte Sonneneinstrahlung vermieden und auf eine ausreichende Luftzirkulation geachtet.

Als Futterpflanzen dienten entweder rund 15 Individuen der Art *Musa acuminata* (*Musaceae*), 9 Individuen der Art *Heliconia schiedeana* (*Heliconiaceae*) oder ein Individuum der Art *Alpinia zerumbet* (*Zingiberaceae*).

In der ersten Versuchsreihe wurden 8 Versuchsansätze durchgeführt. Tabelle 1 zeigt, wie viele Raupen in jedem dieser Ansätze untersucht wurden und wie viele Raupen davon jeweils mit welchen Pflanzen gefüttert wurden. Insgesamt wurde in der ersten Versuchsreihe die Entwicklung von 60 Raupen untersucht, wobei jeweils ein Drittel kontinuierlich Blätter einer der genannten Futterpflanzen bekam.

Tabelle 1: Gruppeneinteilung und -größe der ersten Versuchsreihe

Ansatz	Gruppe I <i>Musa acuminata</i>	Gruppe II <i>Heliconia schiedeana</i>	Gruppe III <i>Alpinia zerumbet</i>
A	3	3	3
B	1	1	1
C	1	1	1
D	7	7	7
E	1	1	1
F	2	2	2
G	3	3	3
H	2	2	2

Ab Versuchsbeginn wurden die Raupen weitgehend täglich begutachtet und deren Gewicht, Länge (ohne Schwanzgabel), Häutungszeitpunkt, Fraßmenge, optische Veränderungen, sowie Aussehen und Menge des Kots protokolliert.

#### 4.2.2. Zweite Versuchsreihe

In der zweiten Versuchsreihe, wurde erneut der Einfluss auf die Entwicklung von den Pflanzen *Musa acuminata* und *Heliconia schiedeana* untersucht. Als dritte Futterpflanze diente nun statt *Alpinia zerumbet* ein Individuum der Art *Canna indica*, welche innerhalb der *Zingiberales* zu den *Cannaceae* gehört.

Des Weiteren wurde die Durchschnittstemperatur nun auf 24,7 °C erhöht. Die Luftfeuchtigkeit hingegen wurde auf 93,38 % herabgesetzt, indem die Einlagen in den Aufzuchtbehältern statt mit 1,5 ml nur noch mit jeweils 0,5 ml befeuchtet wurden.

In dieser zweiten Versuchsreihe wurden 11 Ansätze durchgeführt und insgesamt 42 Raupen in ihrer Entwicklung untersucht.

Tabelle 2: Gruppeneinteilung und -größe der zweiten Versuchsreihe

Ansatz	Gruppe IV <i>Musa acuminata</i>	Gruppe V <i>Heliconia schiedeana</i>	Gruppe VI <i>Canna indica</i>
I	1	1	1
J	1	1	1
K	1	1	1
L	2	2	2
M	2	2	2
N	2	2	2
O	1	1	1
P	1	1	1
Q	1	1	1
R	1	1	1
S	1	1	1

### 4.3. Quantitative Stickstoffanalyse

Die Stickstoffbestimmungen wurden freundlicherweise von Sabine Foro aus dem Fachbereich der Materialwissenschaften durchgeführt.

Zur Vorbereitung der Proben wurden einzelne Blattabschnitte für etwa 5 Tage an der Luft getrocknet, da eine genaue Bestimmung des Stickstoffgehalts nur dann möglich war, wenn die Proben einen weitgehend geringen Wassergehalt aufwiesen. Um möglichst repräsentative Mittelwerte zu erhalten wurden verschiedene Stellen der Blätter, wie Ansatz, Mitte und Spitze, auf ihren Stickstoffanteil überprüft. Von jeder der vier untersuchten Pflanzenarten wurden acht Bestimmungen vorgenommen.

Die Elementaranalyse wurde mit einem VARIO EL III der Firma Elementar durchgeführt. Vorab war eine Kalibrierung mit Standardsubstanzen, wie z.B. Acetanilid ( $C_8H_9NO$ ) notwendig. Anschließend wurden 2-3 mg der Probe eingewogen und bei 950 °C aufgeschmolzen, wodurch Stickstoffoxide ( $NO_x$ ), wie Stickstoffmonoxid ( $NO$ ), Stickstoffdioxid ( $NO_2$ ) oder auch Distickstoffmonoxid ( $N_2O$ ), entstanden. Mit Hilfe von Helium als Trägergas wurden die Stickstoffoxide in das Reduktionsrohr geleitet, wo im Kupfergranulat eine Reduktion von  $NO_x$  zu  $N_2$  stattfand. Der frei gewordene Sauerstoff wurde dabei gebunden um eine erneute Oxidation zu verhindern. Der elementare Stickstoff konnte nun in einem so genannten Wärmeleitfähigkeitsdetektor analysiert und somit der prozentuale Anteil des Trockengewichts ermittelt werden.



Abbildung 11: VARIO EL III, ELEMENTAR

[<http://www.uni-leipzig.de/~geologie/Ausstattung/Pics/LabFotos/Vario-1.jpg>]

#### 4.4. Auswertung der Daten

Um repräsentative Ergebnisse aus den nahezu täglichen Dokumentationen von Länge, Gewicht, Entwicklungsstadium und Mortalität zu erhalten, wurden Mittelwerte für genannte Kategorien, für alle der insgesamt sechs Versuchsgruppen, gebildet. Dazu wurde folgende Formel verwendet:

Formel 1: Arithmetisches Mittel [<http://www.sengpielaudio.com/Rechner-geommittel.htm>]

$$\bar{x}_{\text{arithm}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Aus den Mittelwerten für Länge und Gewicht wurden anschließend Liniendiagramme mit dem Programm „Microsoft Office Excel 2003“ erstellt. Um Fehlerbalken einfügen zu können, war zunächst die Berechnung der Standardabweichung nötig, die sich wie folgt definiert:

Formel 2: Standardabweichung

[[http://www.bubenhofer.com/korpuslinguistik/kurs/index.php?id=statistik\\_einfuehrung.html](http://www.bubenhofer.com/korpuslinguistik/kurs/index.php?id=statistik_einfuehrung.html)]

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Besagtes Programm ermöglichte zusätzlich das automatische Einfügen von linearen, exponentiellen oder logarithmischen Trendlinien. Dabei wurde jeweils die Trendlinie verwendet, die das höchste Bestimmtheitsmaß

Formel 3: Bestimmtheitsmaß

[[http://web.neuostatistik.de/inhalte\\_web/content/MOD\\_37161/html/comp\\_37202.html](http://web.neuostatistik.de/inhalte_web/content/MOD_37161/html/comp_37202.html)]

$$R^2 = \frac{\sum_{v=1}^n (\hat{y}_v - \bar{y})^2}{\sum_{v=1}^n (y_v - \bar{y})^2}$$

aufwies. Das Bestimmtheitsmaß gibt an, wie gut der Trend die tatsächlichen Datenpunkte widerspiegelt.

Zur Darstellung der unterschiedlichen Zeitpunkte der ersten und zweiten Häutung, wurden Kreisdiagramme verwendet, die exakt zeigen wie viele Raupen welche Häutungen durchlebten und wann diese stattfanden. Eine Berechnung von Mittelwerten war hierzu nicht nötig.

Für die nächste Kategorie wurden Balkendiagramme verwendet, welche schnell zu erkennen geben, mit wie vielen Raupen der Versuchsansatz gestartet wurde und wie viele davon am 10., 20. und 30. Tag noch lebten. Auch hierzu waren keine weiteren Berechnungen nötig, da die Diagramme anhand der Einzeldaten erstellt wurden.

Um eine Relation der diversen Entwicklungsfaktoren der Larven von *C. eurilochus* zum jeweiligen Stickstoffgehalt der Nahrungspflanzen erkennen zu können, wurde auch in diesem Fall ein Balkendiagramm verwendet, welches die prozentualen Stickstoffanteile mit den dazugehörigen Standardabweichungen zeigt. Zur Berechnung der Mittelwerte und Standardabweichungen wurden ebenfalls Formel 1 und 2 verwendet.

## 5. Ergebnisse

### 5.1. Erste Versuchsreihe

#### 5.1.1. Längenwachstum

##### 5.1.1.1. Gruppe I: Fütterung mit *M. acuminata*

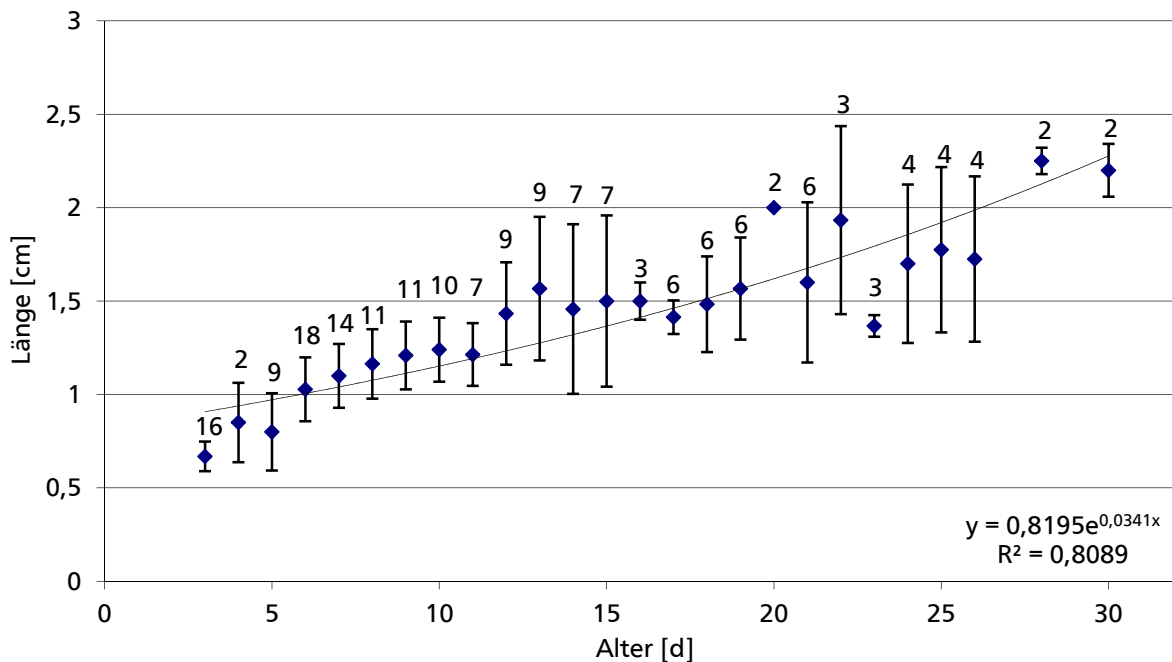


Abbildung 12: Durchschnittliches Längenwachstum von Gruppe I, Futterpflanze: *M. acuminata*

Abbildung 12 zeigt die Mittelwerte des Längenwachstums der Larven, die ausschließlich mit Blattmaterial der Art *Musa acuminata* gefüttert wurden, gegen deren Alter in Tagen aufgetragen. Die jeweiligen Zahlen oberhalb der Datenpunkte, geben an, aus wie vielen Einzeldaten sich dieser Mittelwert zusammengesetzt hat. Dabei ist zu sehen, dass mit zunehmendem Alter stetig weniger Daten vorliegen, da eine entsprechende Anzahl an Versuchstieren bereits verstorben ist. Ein weiterer Grund dafür, dass die Anzahl der Werte variiert, ist, dass an einigen Tagen keine Messungen vorgenommen werden konnten oder die Daten aufgrund von Ungenauigkeiten, Mess- oder Aufzeichnungsfehlern nicht für die Auswertung geeignet waren.

Die beiden letzten Datenpunkte sind nicht in den Graphen integriert, da für den 27. und 29. Tag keine verwendbaren Daten vorlagen. Bis zu Tag 10 verläuft der Graph noch weitgehend gleichmäßig, anschließend aber sind zunehmend Schwankungen zu erkennen, die zwischen dem 19. und dem 25. Lebenstag ihren Höhepunkt finden. Ab dem 13. Tag sind die Fehlerbalken der meisten Mittelwerte weitaus größer, als noch im ersten Drittel des Diagramms. Generell ist zu erkennen, dass sich die Standardabweichungen der verschiedenen Mittelwerte stark unterscheiden.

Der lineare Trend des Graphen für das Längenwachstum der Gruppe I zeigt ein durchschnittliches Wachstum von 0,0464 cm/d. Das Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) der Trendlinie für den Graphen beträgt 0,8314. Innerhalb der ersten 10 Lebenstage verdoppelt sich die durchschnittliche Länge der Raupen in etwa. Anschließend verliert die Wachstumskurve an Steilheit und zeichnet sich durch Schwankungen aus.



### 5.1.1.2. Gruppe II: Fütterung mit *A. zerumbet*

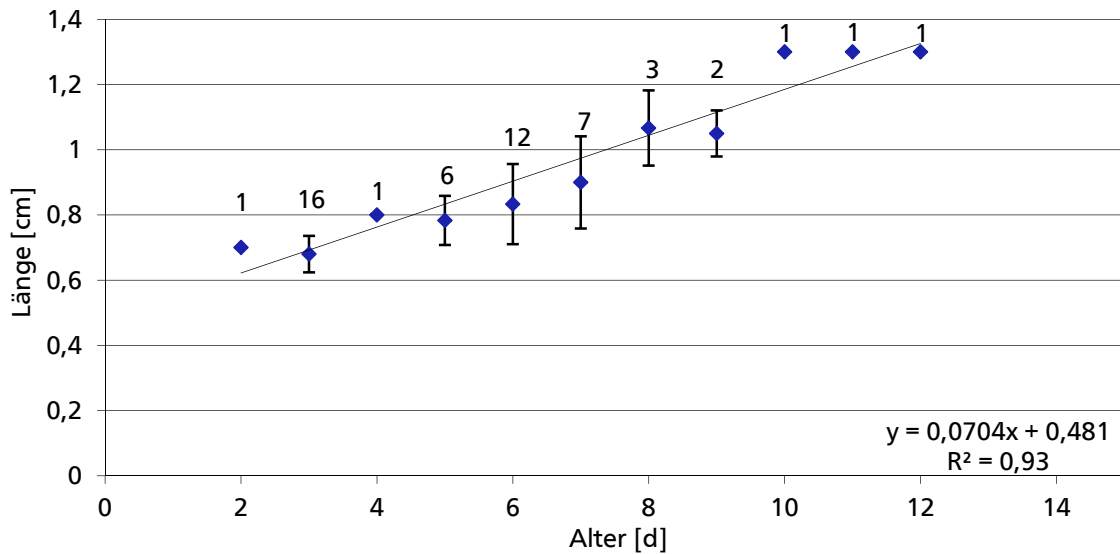


Abbildung 13: Durchschnittliches Längenwachstum von Gruppe II, Futterpflanze: *A. zerumbet*

Die Versuchsgruppe, der *Alpinia zerumbet* als Nahrungspflanze zur Verfügung stand, zeigt eine Datenaufzeichnung bis Tag 12, da hierüber hinaus keine lebendigen Individuen der Gruppe mehr existierten. Anhand der letzten drei Datenpunkte, die das Wachstum von nur einer Raupe repräsentieren, ist gut zu erkennen, dass die Larven von *Caligo eurilochus*, einige Tag vor ihrem Tod dazu neigen an Länge zu verlieren.

Bis zum 10. Tag hingegen ist ein relativ kontinuierliches Wachstum zu erkennen, welches nur geringe Schwankungen und Standardabweichungen aufweist. Insgesamt zeigt die Trendlinie, mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,93 ein lineares Wachstum von 0,0704 cm/d. Da hier nur eine Aufzeichnung der ersten 12 Tage vorliegt, ist ein exponentielles Wachstum nicht zu erwarten.

### 5.1.1.3. Gruppe III: Fütterung mit *H. schiedeana*

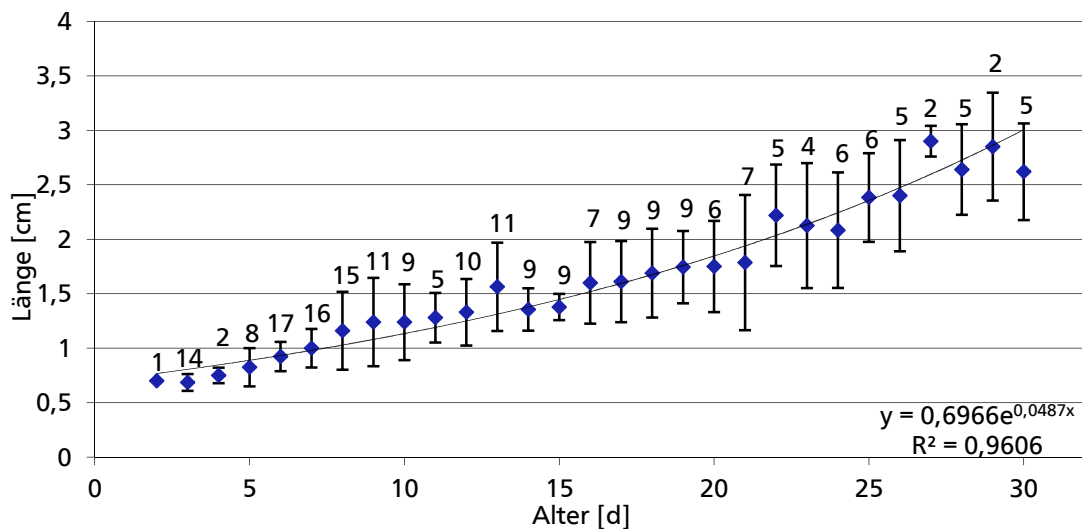


Abbildung 14: Durchschnittliches Längenwachstum von Gruppe III, Futterpflanze: *H. schiedeana*



In Abbildung 14 kann man die, gegen das Alter aufgetragenen, Mittelwerte für die Länge der Raupen, welche kontinuierlich mit Blattmaterial verschiedener Individuen der Art *H. schiedeana* gefüttert wurden, vom 2. bis zum 30. Lebenstag sehen. Die Fehlerbalken fallen hier ähnlich aus wie für Gruppe I. Das vergleichsweise hohe Bestimmtheitsmaß von 0,9606 zeigt, dass es sich hier um einen exponentiellen Trend handelt.

#### 5.1.1.4. Vergleich

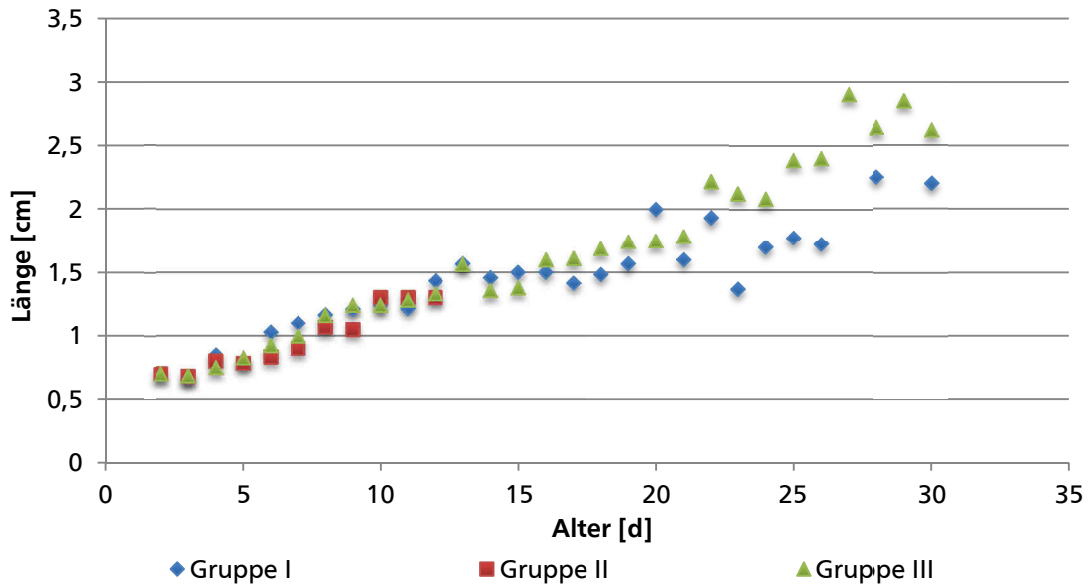


Abbildung 15: Vergleich des durchschnittlichen Längenwachstums von Gruppe I, II und III

Ein Vergleich von Gruppe II über den 12. Tag hinaus ist nicht möglich, da hier keine weiteren Daten zur Verfügung stehen. Innerhalb des ersten Drittels des Versuchszeitraums liegt die Kurve für Gruppe II meist knapp unter denen der beiden anderen Versuchsgruppen. An Tag 10 und 11 zeigen jene Raupen, die mit Blättern von *Alpinia zerumbet* gefüttert wurden, kurzzeitig die größten Werte für die mittlere Länge. An den ersten beiden Tagen nach dem Schlüpfen ist die Länge aller Versuchstiere nahezu identisch.

Was Gruppe I und III betrifft, ähneln die Graphen sich bis zu Tag 14 in ihrem Verlauf. Während Gruppe III ab dem 15. Tag die durchschnittliche Wachstumsrate erhöht, wenn auch durch diverse Extrema gekennzeichnet, folgt Gruppe I einem recht unregelmäßigen Wachstum.

Für Gruppe I errechnet sich ein durchschnittliches Wachstum von 0,0464 cm/d, was aufgrund der extremen Schwankungen ab dem 20. Tag relativ gering ist. Der Wert für Gruppe II bezieht sich nur auf die ersten 12 Lebenstage und beträgt 0,0704.

Im Gegensatz dazu verläuft das Wachstum von Gruppe III nicht linear sondern exponentiell ( $y=0,6966e^{0,0487x}$ ).

Tabelle 3: Vergleich der durchschnittlichen Länge nach 10, 20 und 30 Tagen; Gruppe I, II und III

Tag	Gruppe I Länge [cm]	Gruppe II Länge [cm]	Gruppe III Länge [cm]
10	1,24	1,3	1,24
20	2	/	1,75
30	2,2	/	2,62

Tabelle 3 zeigt den Vergleich der Werte der mittleren Länge nach 10, 20 und 30 Tagen. Während die Werte aller drei Gruppen nach 10 Tagen noch eng beieinander liegen, zeigt Gruppe I nach 20 Tagen, mit 2 cm, den größeren Mittelwert. Innerhalb weiterer 10 Tage wächst die durchschnittliche Raupe aus Gruppe I nur 0,2 cm, für Gruppe III hingegen ist an Tag 30 eine mittlere Länge von 2,62 cm zu erkennen, was bedeutet, dass hier im letzten Drittel des Versuchszeitraums eine Längenzunahme um 0,87 cm stattgefunden hat, was mindestens dem vierfachen Wert von Gruppe I entspricht.

## 5.1.2. Gewichtszunahme

### 5.1.2.1. Gruppe I: Fütterung mit *M. acuminata*

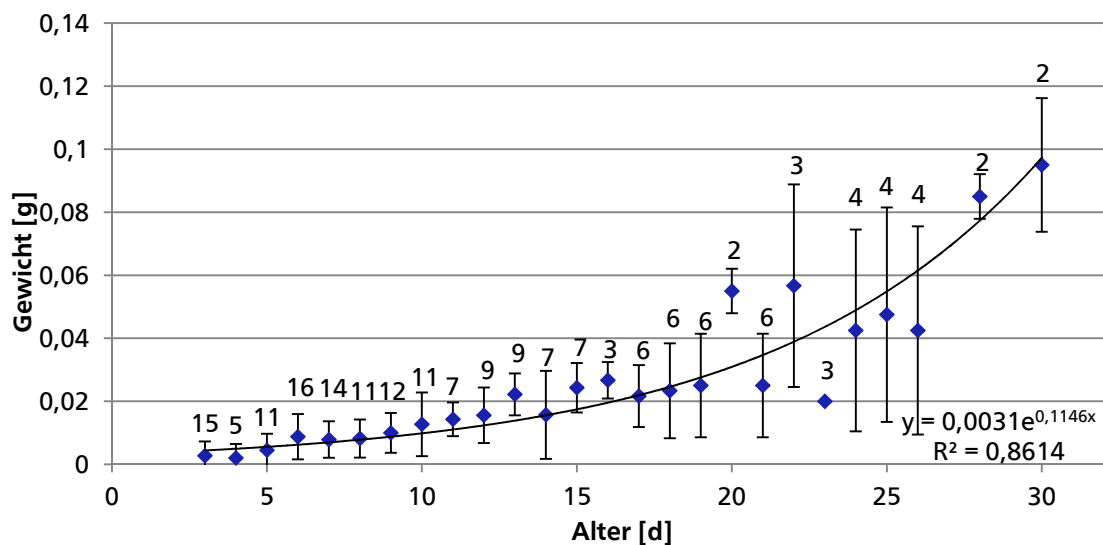


Abbildung 16: Durchschnittliche Gewichtszunahme von Gruppe I, Futterpflanze: *M. acuminata*

In Abbildung 16 sieht man die Mittelwerte des Gewichts, gegen das Alter der Larven, aufgetragen. Ähnlich wie auch beim Längenwachstum sind hier ab dem 20. Tag diverse Extrema im Graphen zu erkennen. Parallel zu den Schwankungen steigt auch die Größe des Standardfehlers. Im Gegensatz zum Längenwachstum ergibt sich aus der mittleren Gewichtszunahme der Raupen aus Gruppe I ein exponentieller Verlauf mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,8614.

### 5.1.2.2. Gruppe II: Fütterung mit *A. zerumbet*

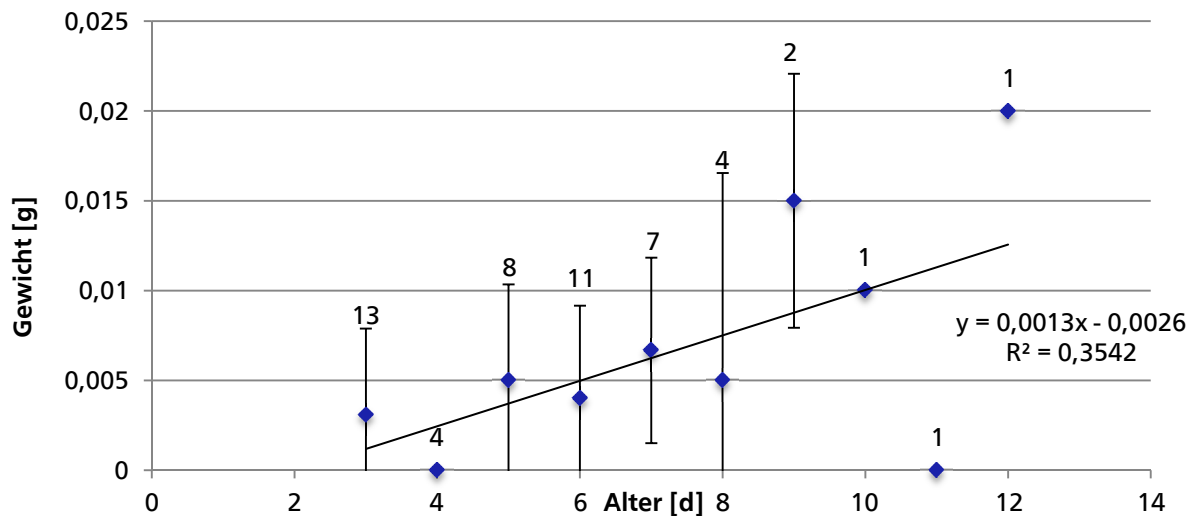


Abbildung 17: Durchschnittliche Gewichtszunahme von Gruppe II, Futterpflanze: *A. zerumbet*

Abbildung 17 zeigt ein relativ geringes Bestimmtheitsmaß von 0,421 für den exponentiellen Kurventrend und damit einhergehende große Schwankungen. Wie auch im Bezug auf das Längenwachstum, sind hier, aufgrund des vergleichsweise frühen Versterbens der Raupen, nur Aufzeichnungen bis zum 12. Lebenstag vorhanden.

### 5.1.2.3. Gruppe III: Fütterung mit *H. schiedeana*

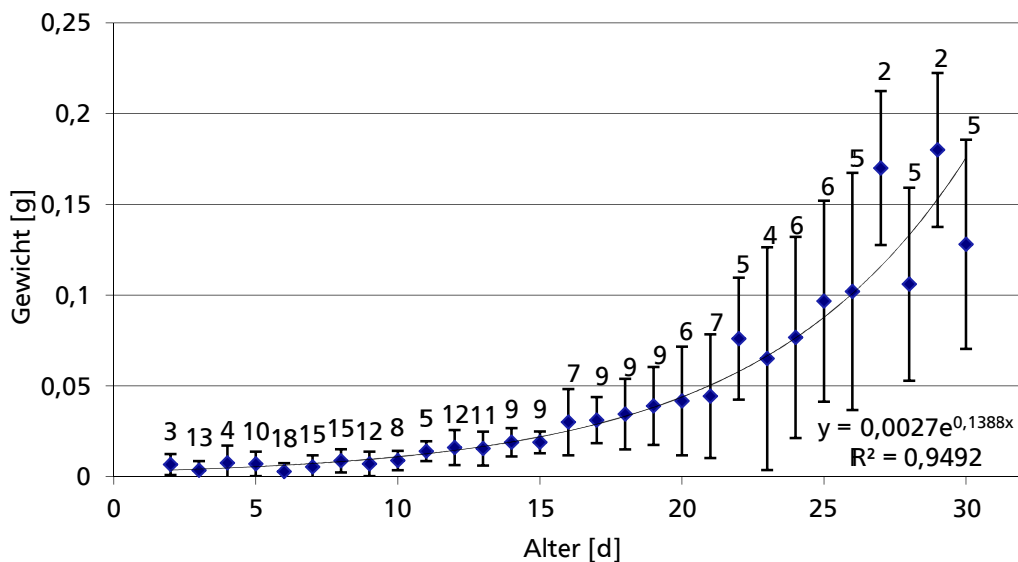


Abbildung 18: Durchschnittliche Gewichtszunahme von Gruppe III, Futterpflanze: *H. schiedeana*

Der Verlauf der Gewichtsentwicklung von Gruppe III folgt ebenso wie in Gruppe I einem exponentiellen Trend und dies mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,9429. Die prägnantesten Abweichungen ergeben sich durch die Mittelwerte an Tag 21, 26 und den darauf folgenden. Bis zum

20. Tag hingegen sind nur geringe Extrema und bis zum 15. Tag auch nur kleine Fehlerbalken zu sehen.

#### 5.1.2.4. Vergleich

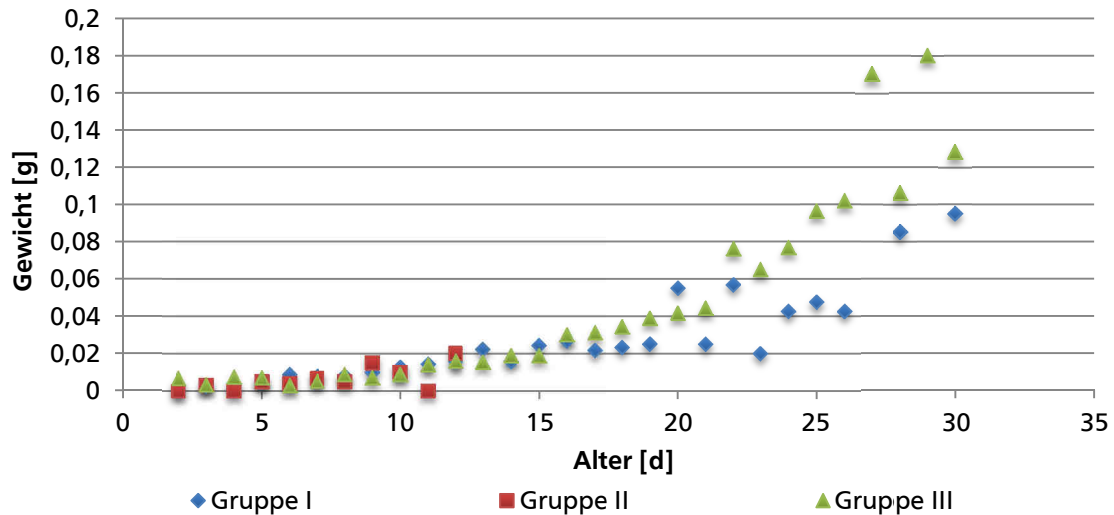


Abbildung 19: Vergleich der durchschnittlichen Gewichtszunahme von Gruppe I, II und III

Bis Tag 8 verlaufen alle drei Kurven weitgehend parallel. Während die Graphen von Gruppe I und Gruppe III sogar bis zu Tag 16 einen ähnlichen Verlauf aufweisen, sind für Gruppe I bereits ab dem 9. Tag Abweichungen zu erkennen. Vergleichbar mit dem Längenwachstum zeigt auch hier Gruppe III ungefähr ab Tag 20 eine Erhöhung der Wachstumsrate, wobei der exponentielle Verlauf der Kurve hier noch ausgeprägter ist. Auch die Datenpunkte für Gruppe I ähneln denen für das Längenwachstum und sorgen aufgrund einer geringen Gleichmäßigkeit für ein Bestimmtheitsmaß von nur 0,8614, während Gruppe III mit  $R^2=0,9492$  weniger Abweichungen zeigt. Mit  $R^2=0,421$  zeigt Gruppe II keine eindeutigen Trend.

Tabelle 4: Vergleich des durchschnittlichen Gewichts nach 10, 20 und 30 Tagen; Gruppe I, II und III

Tag	Gruppe I Gewicht [g]	Gruppe II Gewicht [g]	Gruppe III Gewicht [g]
10	0,013	0,01	0,009
20	0,055	/	0,042
30	0,095	/	0,128

Die Mittelwerte Von Gruppe II und III liegen nach 10 Tagen nahe beieinander, für die Raupen aus Gruppe I hingegen wurde im Durchschnitt ein Viertel mehr Gewicht dokumentiert. Während für die Raupen, die mit *A. zerumbet* gefüttert wurden, keine weiteren Daten vorliegen nimmt Gruppe I innerhalb der nächsten 10 Tage durchschnittlich weitere 0,042 g zu, wo hingegen Gruppe III am 20. Tag gerade ein mittleres Endgewicht von 0,042 g erreicht.

Im Folgenden Drittel des Versuchsabschnitts holt Gruppe III allerdings auf und zeichnet sich durch ein letztendliches mittleres Gewicht von 0,128 g aus. Gruppe I wiegt mit durchschnittlichen 0,095 g ganze 0,033 g weniger.

### 5.1.3. Häutungen

#### 5.1.3.1. Gruppe I: Fütterung mit *M. acuminata*

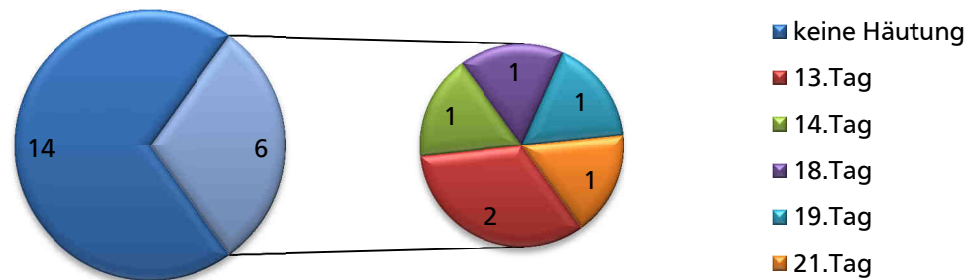


Abbildung 20: Erste Häutung in Gruppe I, Futterpflanze: *M. acuminata*

Abbildung 20 zeigt, dass sechs der 20 Raupen, deren Entwicklung in Gruppe I untersucht wurde, die erste Häutung durchlebten. Zwei der sechs Raupen häuteten sich am 13. Lebenstag, alle weiteren häuteten sich erst später. Die verschiedenen Zeitpunkte liegen maximal 9 Tage auseinander. Die durchschnittliche Raupe aus Gruppe I häutete sich anhand dieser Daten am 16. Tag. 14 der Raupen aus Gruppe I häuteten sich innerhalb der gesamten 30 Versuchstage nicht oder verstarben noch vor der ersten Häutung.

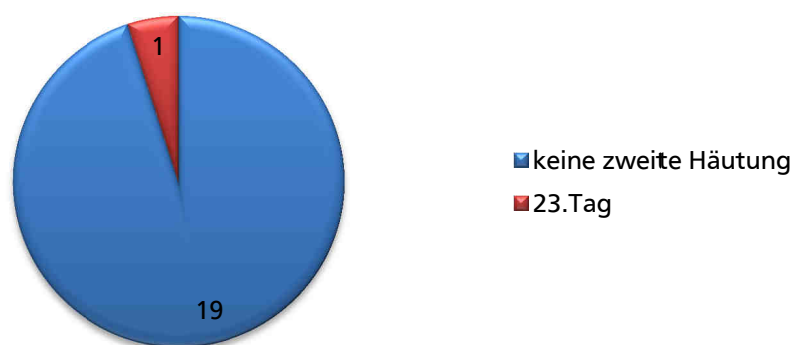


Abbildung 21: Zweite Häutung in Gruppe I, Futterpflanze: *M. acuminata*

In Abbildung 21 ist zu sehen, dass nur eine Raupe aus Gruppe I sich innerhalb der Versuchszeit auch ein zweites Mal häutete. Zu den restlichen 19 Larven zählen sowohl diejenigen, die vorzeitig verstorben sind, als auch jene, die sich gar nicht oder nur einmal während des Versuchszeitraums häuteten.

### 5.1.3.2. Gruppe II: Fütterung mit *A. zerumbet*

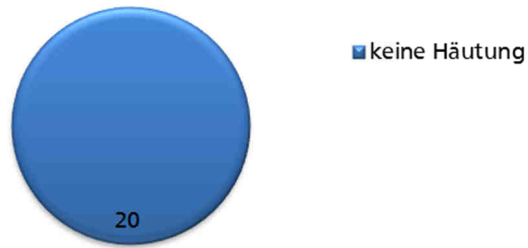


Abbildung 22: Erste Häutung in Gruppe II, Futterpflanze: *A. zerumbet*

Alle Individuen von Gruppe II, die nur mit Blättern von *A. zerumbet* gefüttert wurden, starben noch vor der ersten Häutung.

### 5.1.3.3. Gruppe III: Fütterung mit *H. schiedeana*

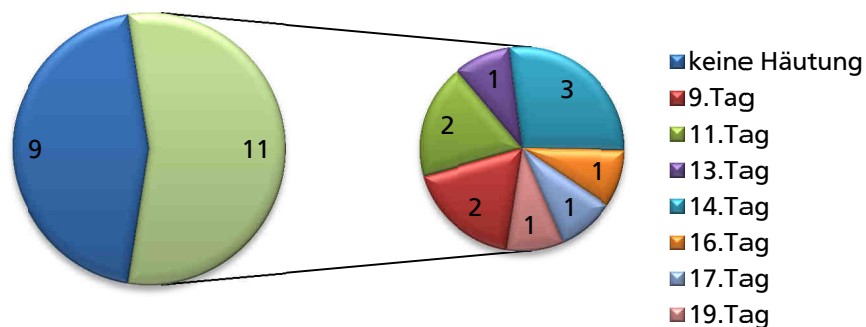


Abbildung 23: Erste Häutung in Gruppe III, Futterpflanze: *H. schiedeana*

11 von 20 Raupen und somit mehr als 50 % der Raupen aus Gruppe III erlebten die erste Häutung innerhalb des Versuchszeitraums. Sieben Individuen durchliefen diese Häutung noch vor dem 15. Lebenstag. Die Spanne liegt insgesamt zwischen Tag 9 und Tag 19. Der Mittelwert für den Häutungszeitpunkt beläuft sich somit auf Tag 13.

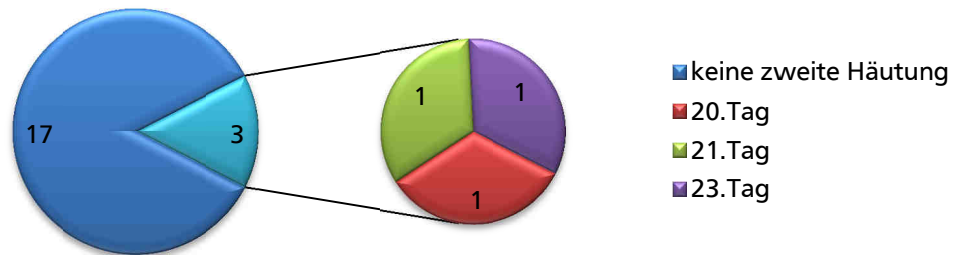


Abbildung 24: Zweite Häutung in Gruppe III, Futterpflanze: *H. schiedeana*

Drei von insgesamt 20 Individuen aus Gruppe III ließen auch die zweite Häutung innerhalb der 30 Beobachtungstage dokumentieren, die zwischen dem 20. und dem 23. Tag stattgefunden hat.

#### 5.1.3.4. Vergleich

In Gruppe II hat sich keines der 20 Individuen gehäutet, da alle Individuen innerhalb der ersten 12 Lebenstage verstarben. Die sechs Individuen aus Gruppe I die sich zwischen dem 13. und dem 21. Lebenstag und somit im Mittel am 16. Tag häuteten, liegen 4 Tage hinter Gruppe III, wenn man auch hier den Durchschnitt aus allen Häutungstagen der elf Tiere berechnet. Drei der elf Raupen aus Gruppe III häuteten sich auch ein zweites Mal, dies geschah zwischen dem 20. und dem 23. Tag. Nur ein Individuum aus Gruppe I wurde an Tag 23 bei der zweiten Häutung beobachtet.

#### 5.1.4. Überlebensquote

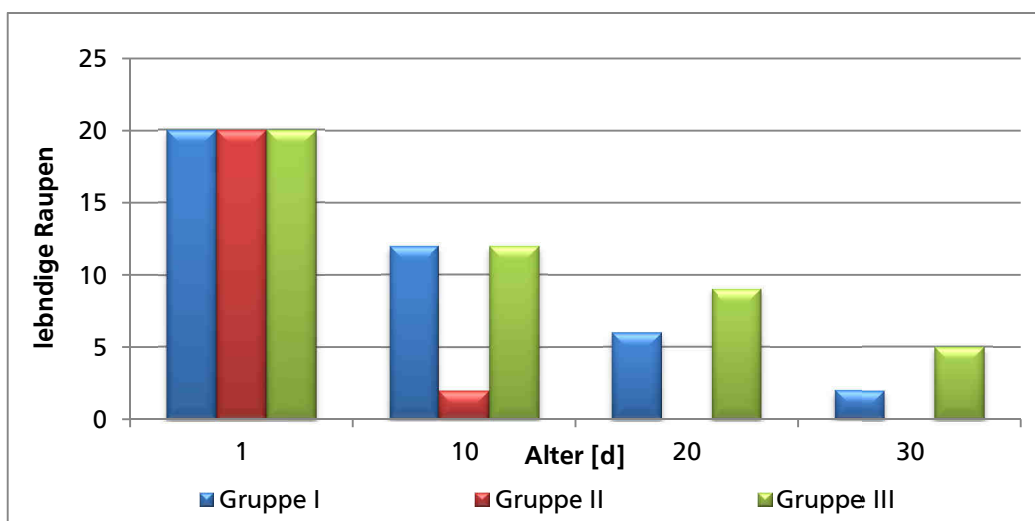


Abbildung 25: Vergleich der Überlebensquote von Gruppe I, II und III

Im Fall von Gruppe I ist zu sehen, dass innerhalb der ersten 10 Tage 8 der 20 untersuchten Raupen verstarben. Von den verbliebenen 12 Individuen erlebten sechs Tag 20, während nur 2 Larven auch über den 30. Tag hinaus überlebten. Man kann erkennen, dass die Sterblichkeit mit der Zeit von 0,8/d auf 0,6/d und anschließend auf 0,4/d abnimmt.

Jene Raupengruppe, die mit *A. zerumbet* gefüttert wurde, besteht bereits nach 10 Tagen aus nur 2 Individuen. Die Sterblichkeitsrate innerhalb der ersten 10 Tage beträgt somit 1,8 /d, was bedeutet, dass 80 % des Bestandes nicht verstarben. Die letzten zwei Tiere sterben im zweiten Drittel des Versuchsabschnitts und zeigen somit im Vergleich zu Gruppe I und III die höchste Mortalität.

Gruppe III verliert innerhalb der ersten 10 Lebenstage, ebenso wie Gruppe I, 40 % ihres Bestandes, was einer Sterblichkeitsrate von 0,8/d entspricht. Innerhalb der nächsten 10 Tage fällt diese auf 0,3/d herab, steigt bis zum Ende des Versuchs allerdings wieder auf 0,4/d an. Dennoch zeigt Gruppe III, mit fünf lebenden Raupen am 30. Tag, insgesamt die geringste Mortalität.

## 5.2. Zweite Versuchsreihe

### 5.2.1. Längenwachstum

#### 5.2.1.1. Gruppe IV: Fütterung mit *M. acuminata*

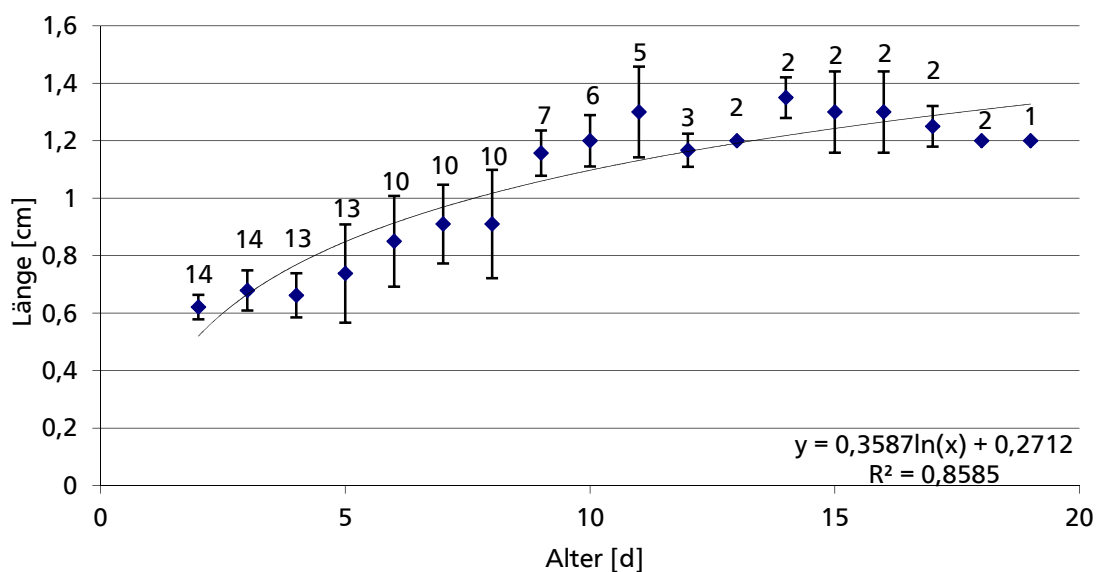


Abbildung 26: Durchschnittliches Längenwachstum von Gruppe IV, Futterpflanze: *M. acuminata*

In Abbildung 26 ist das durchschnittliche Längenwachstum von Gruppe IV aus der zweiten Versuchsreihe zu erkennen. Daten sind in diesem Fall, ebenfalls wegen frühzeitigen Versterbens, nur bis zum 19. Lebenstag der Raupen vorhanden. Der Graph folgt einem logarithmischen Trend mit einem Bestimmtheitsmaß von  $R^2=0,8585$ . Während bis Tag 11 die Mittelwerte von je 5 bis 14 Daten gebildet wurden und somit einen relativ großen Anteil der Raupen repräsentieren, setzen sich die Mittelwerte ab Tag 12 aus maximal 3 Werten zusammen.



### 5.2.1.2. Gruppe V: Fütterung mit *H. schiedeana*

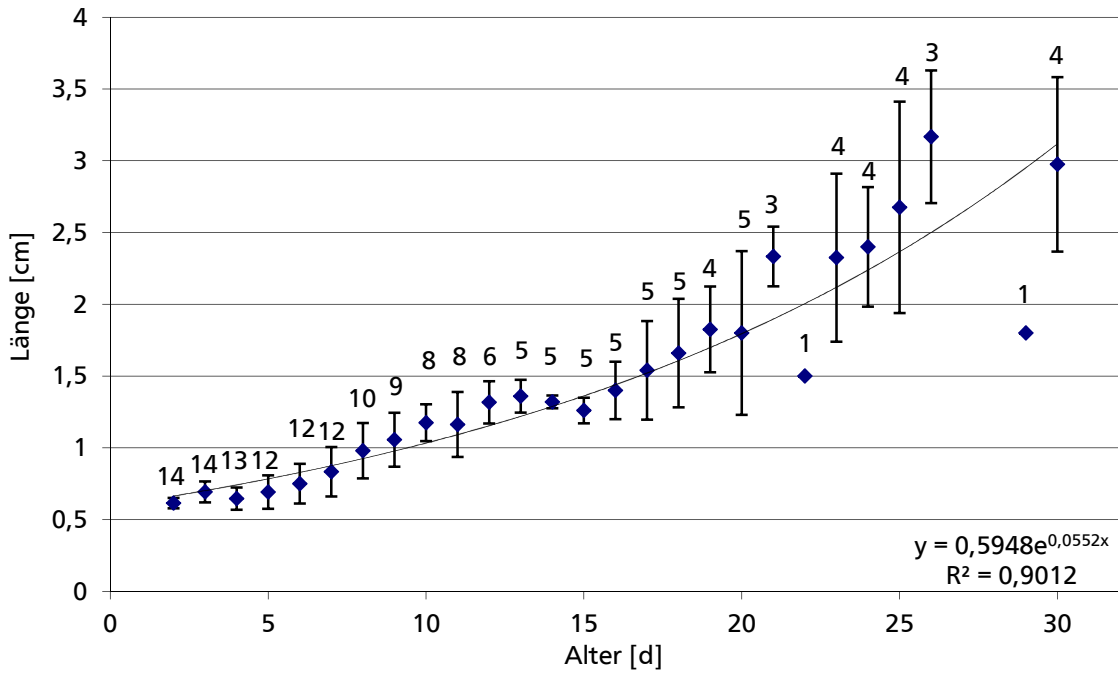


Abbildung 27: Durchschnittliches Längenwachstum von Gruppe V, Futterpflanze: *H. schiedeana*

Das durchschnittliche Wachstum für Gruppe V folgt einem exponentiellen Verlauf mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,9012. Ab Tag 10 wurden die Mittelwerte anhand einer weitgehend gleich bleibenden Datenmenge gebildet. Nur Tag 21 und 29 bilden hier eine Ausnahme, da in diesem Fall die Werte nur das Gewicht jeweils einer Raupe repräsentieren und stark unterhalb des Trends liegen.

### 5.2.1.3. Gruppe VI: Fütterung mit *C. indica*

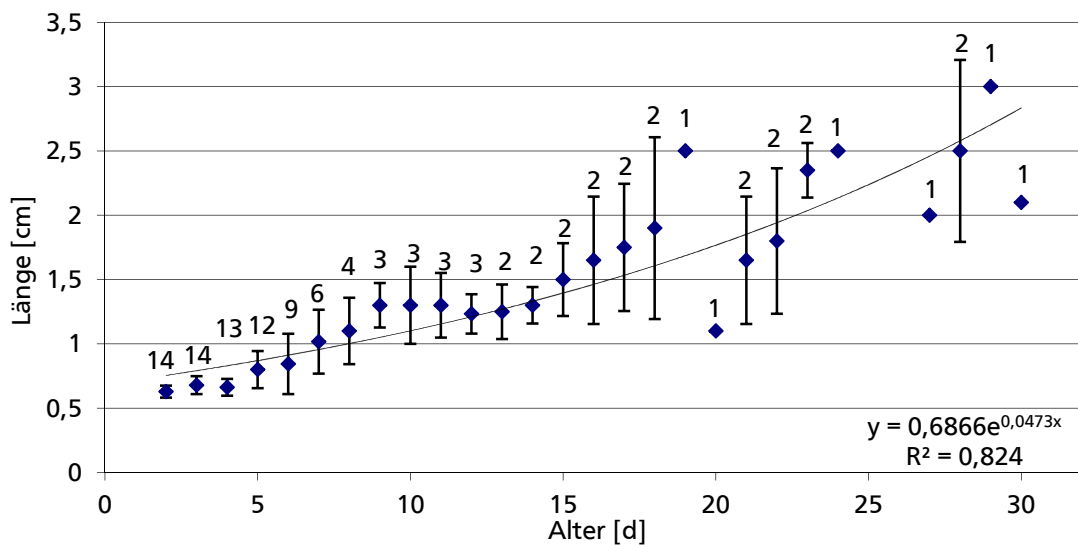


Abbildung 28: Durchschnittliches Längenwachstum von Gruppe VI, Futterpflanze: *C. indica*

Auch der Graph für das mittlere Längenwachstum von Gruppe VI folgt einem exponentiellen Verlauf. Das Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) beträgt hier 0,824. Ab dem 9. Tag bilden sich die jeweiligen Durchschnittswerte aus maximal 3 Einzeldaten und zeigen zunehmend Schwankungen. An Tag 25 und 26 sind keine verwendbaren Daten vorhanden, weshalb der Graph hier unterbrochen dargestellt ist.

#### 5.2.1.4. Vergleich

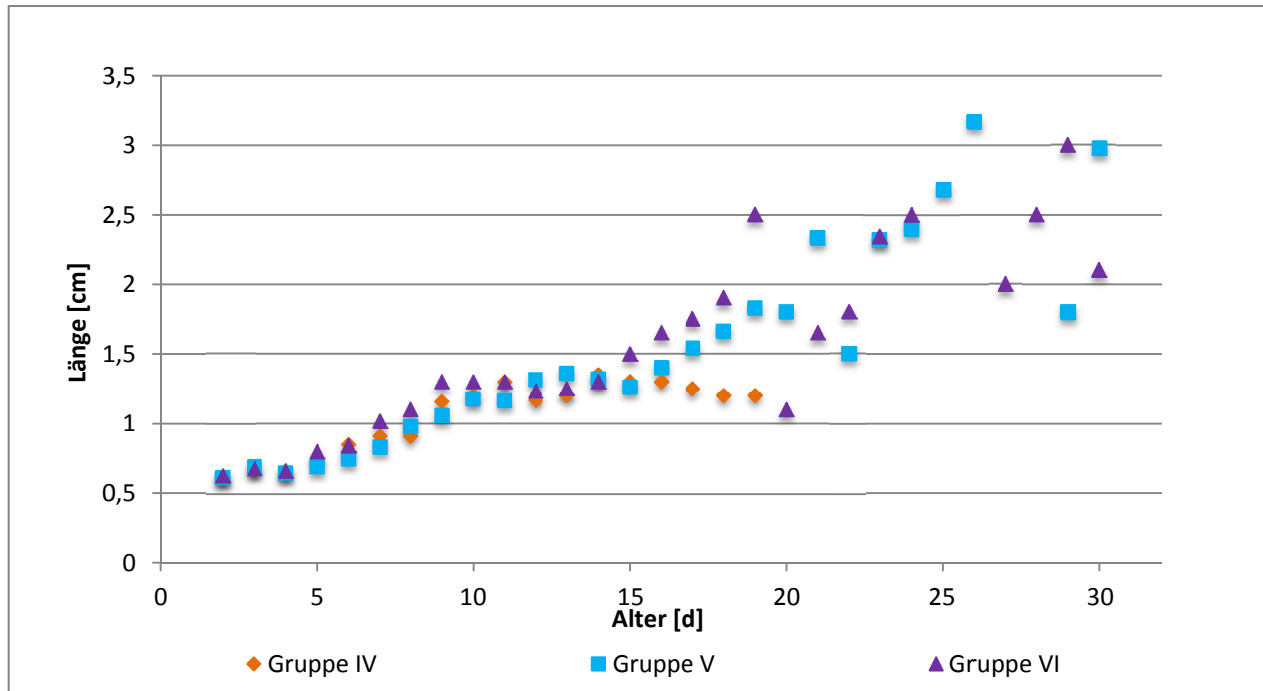


Abbildung 29: Vergleich des durchschnittlichen Längenwachstums von Gruppe IV, V und VI

Abbildung 29 zeigt den Vergleich des durchschnittlichen Längenwachstums von Gruppe IV, V und VI. Es ist zu erkennen, dass alle drei Kurven bis zu Tag 14 einem ähnlichen Verlauf folgen. Während Gruppe V und VI nun ihre Wachstumsrate erhöhen, verlieren die Raupen aus Gruppe IV durchschnittliche wieder an Länge. Große Schwankungen für Gruppe VI treten ab dem 19. Tag und bei Gruppe V ab dem 21. Tag auf, in beiden Fällen ziehen sich diese bis zum Ende der Datendokumentation hin. Die jeweiligen letzten Mittelwerte am 29. bzw. am 30. Tag zeigen eine vergleichbare Länge an.

Sowohl Gruppe V zeigt einen exponentiellen Verlauf ( $y=0,5948e^{0,0552x}$ ) des Graphen, als auch Gruppe VI ( $y=0,6866e^{0,0473x}$ ). Die Längenwachstumskurve für Gruppe IV zeigt im Gegensatz hierzu einen logarithmischen Trend ( $y=0,3587\ln(x)+0,2712$ ).

Tabelle 5: Vergleich der durchschnittlichen Länge nach 10, 20 und 30 Tagen, Gruppe IV, V und VI

Tag	Gruppe IV Länge [cm]	Gruppe V Länge [cm]	Gruppe VI Länge [cm]
10	0,09	1,175	1,3
20	/	1,8	1,1
30	/	2,975	2,1

Die Raupen, denen *M. acuminata* als Futterpflanze zur Verfügung stand, zeigen nach 10 Tagen mit 0,09 cm die geringste Länge. Eine Datenerfassung nach 20 und 30 Tagen war nicht möglich.

Gruppe V und VI zeigen nach 10 Tagen eine mittlere Länge der Raupen von 1,175 cm bzw. 1,3 cm. Nach 20 Tagen zeigt Tabelle für Gruppe VI einen Mittelwert von 1,1 cm und somit einen Verlust von 0,2 cm, welcher auf die Länge der Raupe ohne Schwanzgabel bezogen ist. Dieser Wert ergab sich allerdings durch die Messung von nur einer Raupe. Abbildung 29 zeigt, dass sowohl einen Tag zuvor als auch einen Tag im Nachhinein höhere Mittelwerte errechnet wurden. Für Gruppe V ergibt sich eine Längenzunahme, im Gegensatz zu Tag 10, von 0,625 cm, während in weiteren 10 Tagen die Länge zusätzlich um 1,175 cm steigt und Gruppe V sich somit durch den größten Mittelwert am Ende des Versuchszeitraums auszeichnet. Auf die 1,1 cm Länge von der durchschnittlichen Raupe nach 20 Tagen, die mit *C. inidca* gefüttert wird, bezogen, findet eine weitere Längenzunahme von 1 cm statt, was auf eine letztendliche Länge von 2,1 cm schließen lässt.

## 5.2.2. Gewichtszunahme

### 5.2.2.1. Gruppe IV: Fütterung mit *M. acuminata*

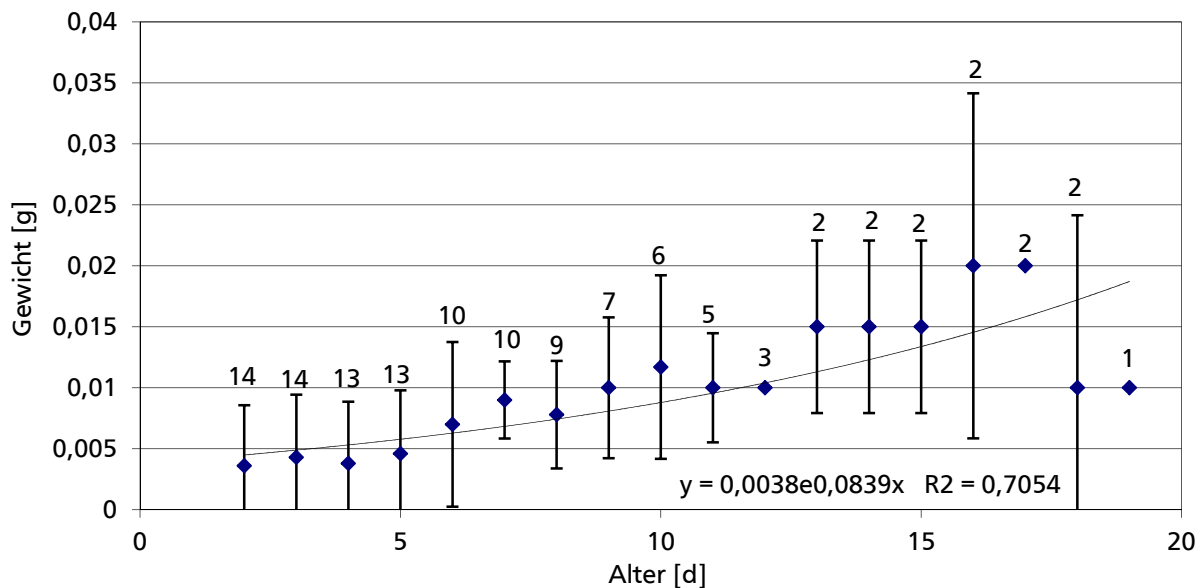


Abbildung 30: Durchschnittliche Gewichtszunahme von Gruppe IV, Futterpflanze: *M. acuminata*

Für Gruppe IV ergibt sich ein exponentieller Verlauf für die Kurve der Gewichtszunahme. Allerdings sind auch hier nur Daten bis zum 19. Tag vorhanden. Das Bestimmtheitsmaß fällt mit 0,7054 relativ gering aus. Ab dem 12. Tag setzen sich die Mittelwerte aus maximal 3 Einzeldaten zusammen und zeigen relativ große Abweichungen vom Trend. Die letzten zwei Werte verzeichnen eine Abnahme des Körpergewichts.

### 5.2.2.2. Gruppe V: Fütterung mit *H. schiedeana*

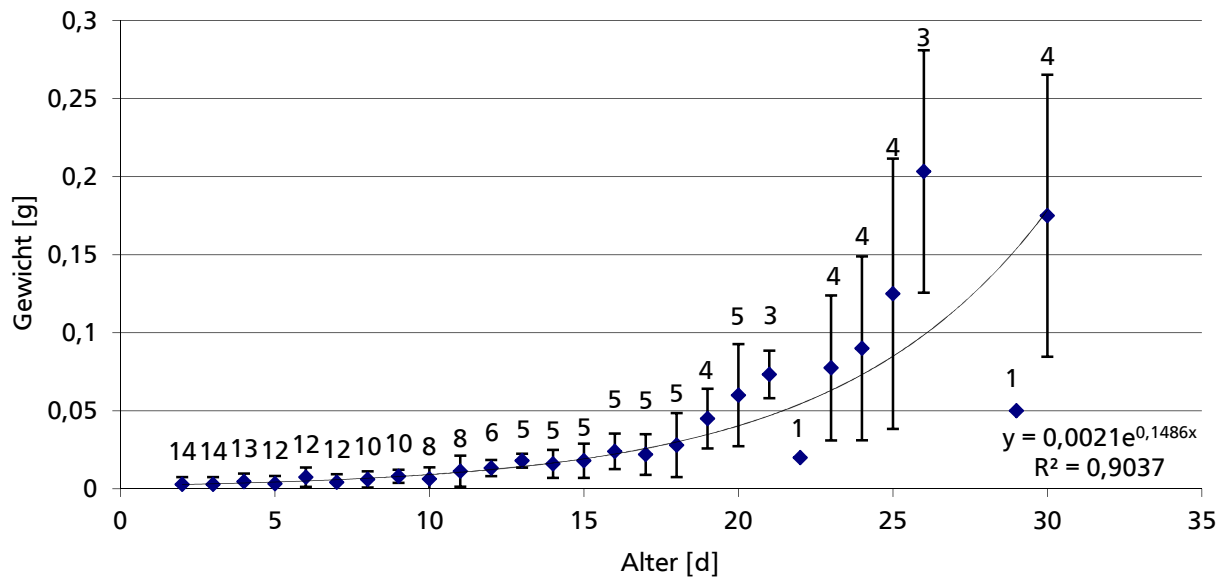


Abbildung 31: Durchschnittliche Gewichtszunahme von Gruppe V, Futterpflanze: *H. schiedeana*

Auch für die Gewichtszunahme von Gruppe V lässt sich ein exponentieller Trend erkennen. Innerhalb der ersten 18 Tage fallen die Abweichungen von der Trendlinie noch vergleichsweise gering aus. Vor allem aber an Tag 22 und 29 sind Minima eingezeichnet, die einen starken Abfall des Gewichts zu erkennen geben, allerdings auch nur die Daten jeweils einer Raupe widerspiegeln.

### 5.2.2.3. Gruppe VI: Fütterung mit *C. indica*

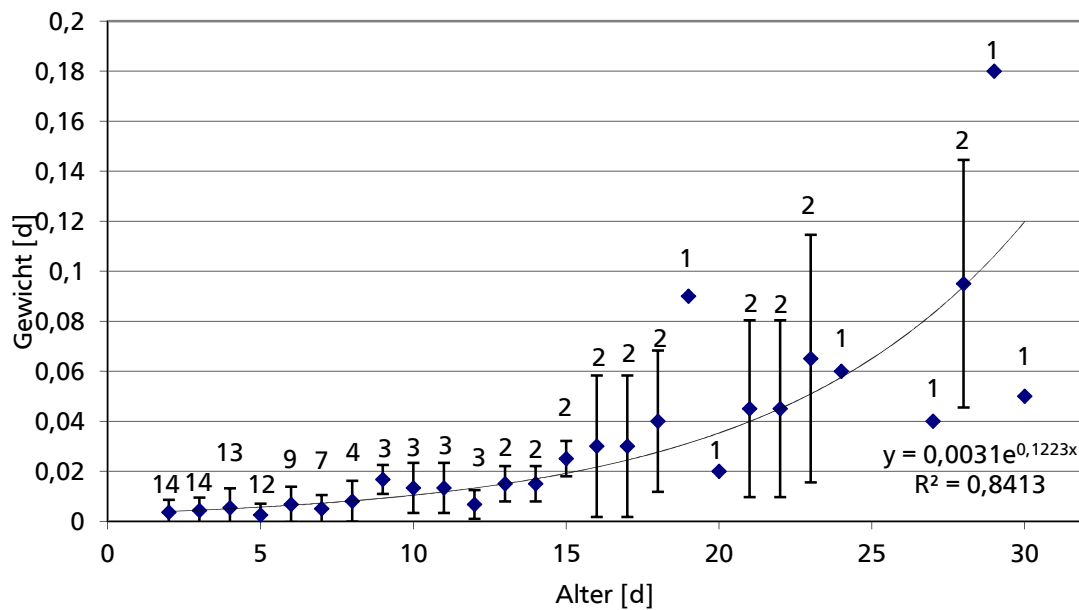


Abbildung 32: Durchschnittliche Gewichtszunahme von Gruppe VI, Futterpflanze: *C. indica*

Die Raupen, die sich von Blättern der *C. indica* ernährten, zeigten eine Gewichtszunahme in Form des Graphen in Abbildung 32, welcher einem exponentiellen Trend mit  $R^2=0,8413$  folgt. Ab Tag 15 zeigt die Kurve diverse Extrema und eine Unterbrechung zwischen dem 24. und 26. Tag. Ab Tag 14 repräsentieren die Mittelwerte nur Einzeldaten von ein oder maximal zwei Raupen. Jene Mittelwerte, die sich aus zwei Daten berechnet haben, liegen meist nahe am Trend, die Werte für Tag 19, 20, 27 und 29 hingegen verzeichnen eine große Abweichung, was daran liegt, dass bei einer der beiden Larven kontinuierlich ein Gewicht dokumentiert wurde, welches unter dem Durchschnitt lag und die andere Larve zu den meisten Zeitpunkten ein Gewicht zeigte, welches darüber lag.

#### 5.2.2.4. Vergleich

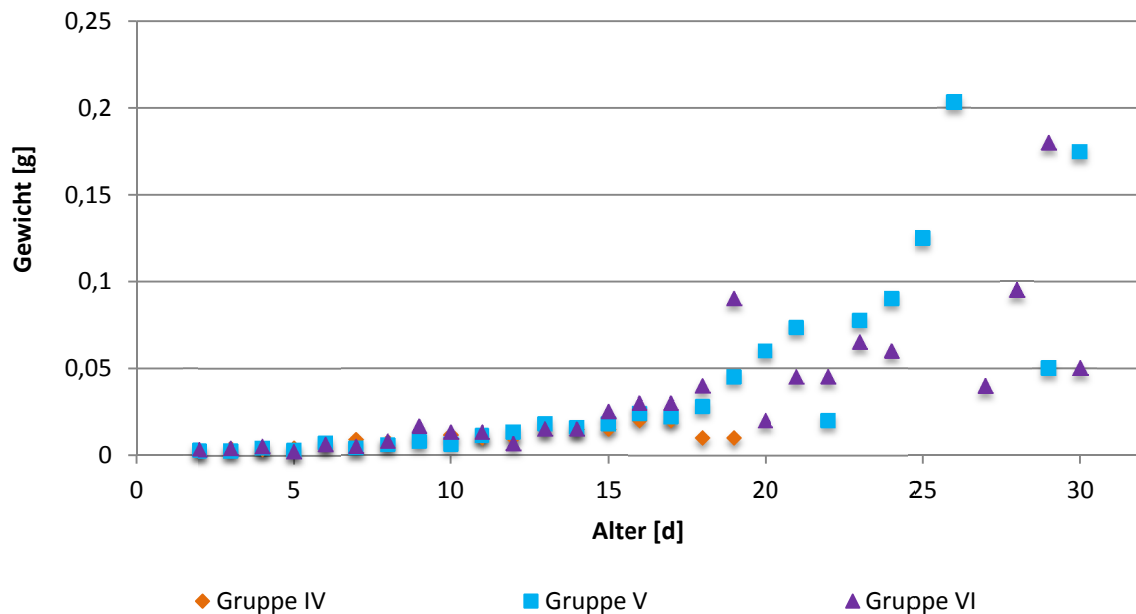


Abbildung 33: Vergleich der durchschnittlichen Gewichtszunahme von Gruppe IV, V und VI

Anhand obiger Graphik ist zu erkennen, dass ein weitgehend paralleler Verlauf der Gewichtszunahme aller drei Gruppen bis zum 17. Tag stattgefunden hat. Auch hier zeigte Gruppe IV eine anschließende Verringerung des Gewichts. Ausgenommen von Tag 22 verläuft die Gewichtszunahme von Gruppe V relativ steil, die fehlenden Werte für Tag 27 und 28, sowie der Kurvenverlauf zwischen Tag 29 und 30 setzen das Bestimmtheitsmaß des exponentiellen Trends ( $y=0,0021e^{0,01438x}$ ) allerdings auf  $R^2=0,9037$  herab. Dennoch liegt dieses sowohl über dem Trend von Gruppe IV ( $y=0,0038e^{0,0839x}$ ) mit  $R^2=0,7054$  und jenem von Gruppe VI ( $y=0,0031e^{1223x}$ ) mit  $R^2=0,8413$ .

Tabelle 6: Vergleich des durchschnittlichen Gewichts nach 10, 20 und 30 Tagen, Gruppe IV, V und VI

Tag	Gruppe IV Gewicht [g]	Gruppe V Gewicht [g]	Gruppe VI Gewicht [g]
10	0,012	0,006	0,013
20	/	0,06	0,02
30	/	0,175	0,05

Nach 10 Tagen wogen die Raupen aus Gruppe IV und VI im Durchschnitt doppelt soviel wie die Raupe aus Gruppe V. Während alle verbliebenen Raupen der Gruppe IV innerhalb der folgenden 10 Tage verstarben, folgte in Gruppe VI eine mittlere Gewichtszunahme um 0,007 g. In der gleichen Zeit erhöhte die Raupe aus Gruppe V ihr Durchschnittsgewicht von 0,006 g auf 0,06 g und verzehnfachte es somit. Bis Tag 30 fand nochmals eine Gewichtszunahme von 0,115 g statt. Gruppe VI hingegen zeigt am 30. Tag ein Gewicht von nur 0,05 g, allerdings wurde dieser Datenpunkt auch nur anhand einer Raupe erstellt. Am Tag zuvor, beispielsweise, beträgt das dokumentierte Gewicht für Gruppe VI mit 0,18 g beinahe das Vierfache.

### 5.2.3. Häutungen

#### 5.2.3.1. Gruppe IV: Fütterung mit *M. acuminata*

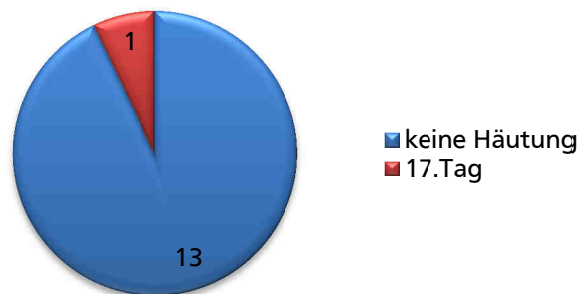


Abbildung 34: Erste Häutung in Gruppe IV, Futterpflanze: *M. acuminata*

In Gruppe IV häutete sich nur ein Individuum von insgesamt 14 beobachteten Raupen. Diese Häutung vollzog sich an Tag 17.

#### 5.2.3.2. Gruppe V: Fütterung mit *H. schiedeana*

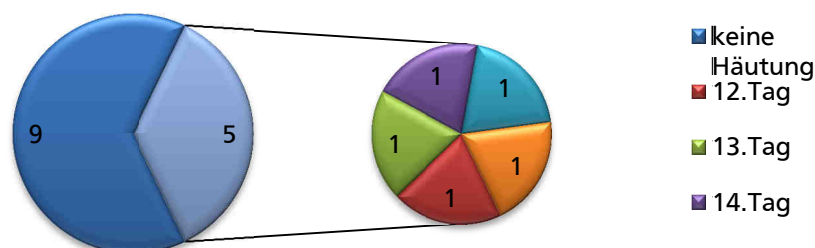


Abbildung 35: Erste Häutung in Gruppe V, Futterpflanze: *H. schiedeana*

Von Gruppe V, und somit von den Raupen, die *H. schiedeana* fraßen, häuteten sich 5 von insgesamt 14 Larven zum ersten Mal. Die Ereignisse verteilen sich gleichmäßig auf den 12. bis 15. Lebenstag der Raupen.

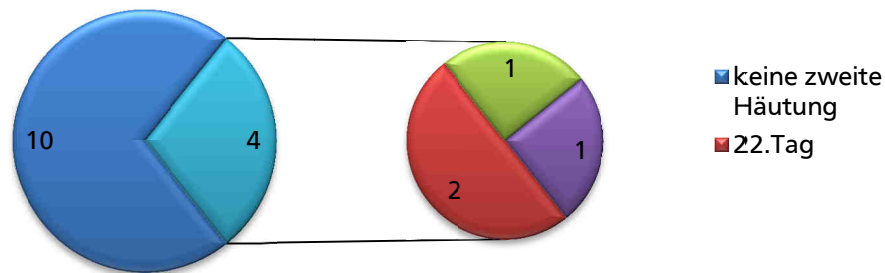


Abbildung 36: Zweite Häutung in Gruppe V, Futterpflanze: *H. schiedeana*

Vier von 14 Raupen, also 80 % derer Raupen, die auch die erste Häutung durchlebten, häuteten sich auch ein zweites Mal. Bei zwei Raupen wurde die besagte zweite Häutung am 22. Tag, bei einer am 23. und bei einer weiteren Raupe am 28. Tag dokumentiert.

### 5.2.3.3. Gruppe VI: Fütterung mit *C. indica*

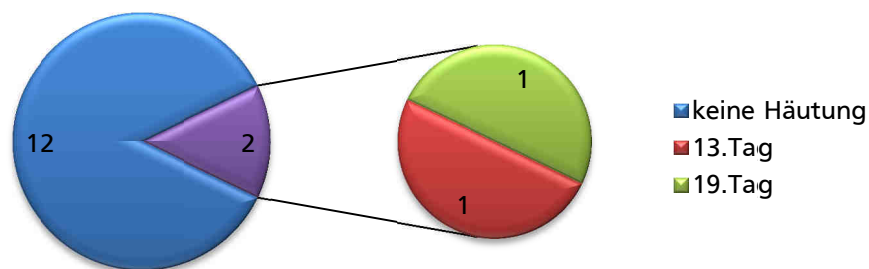


Abbildung 37: Erste Häutung in Gruppe VI, Futterpflanze: *C. indica*

In Gruppe VI wurde das Ereignis der ersten Häutung nur zweimal beobachtet und zwar am 13. bzw. am 19. Lebenstag.

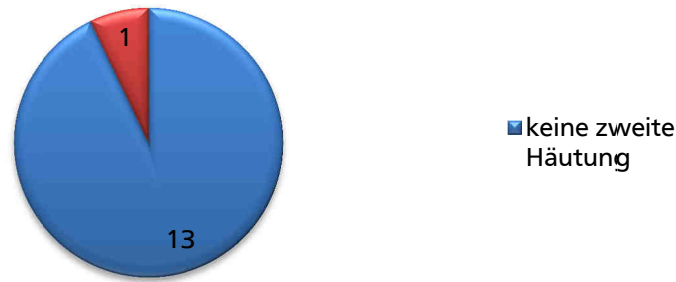


Abbildung 38: Zweite Häutung in Gruppe VI, Futterpflanze: *C. indica*

Eine von zwei Larven häutete sich auch ein zweites Mal. Dies geschah 7 Tage nach der ersten Häutung.

#### 5.2.3.4. Vergleich

Zunächst zeigen die obigen Graphiken, dass die meisten Raupen sich in Gruppe V häuteten. Der Zeitpunkt beläuft sich hier durchschnittlich auf den 13. Tag. Die einzige Raupe, welche ebenfalls die erste Häutung beobachten ließ, tat dies am 17. Lebenstag und somit im Mittel 4 Tage später. Ähnlich verhält es sich bei Gruppe VI. Zwei Raupen entledigten sich am 13. bzw. am 19. Tag, also durchschnittlich gesehen an Tag 16, von ihrem ersten Exoskelett.

Eine zweite Häutung kam in Gruppe IV überhaupt nicht und in Gruppe VI einmal und zwar am 30. Lebenstag vor. Vier Raupen in Gruppe V häuteten sich ein zweites Mal, durchschnittlich am 24 Tag und somit rund 11 Tage nach der ersten Häutung.

#### 5.2.4. Überlebensquote

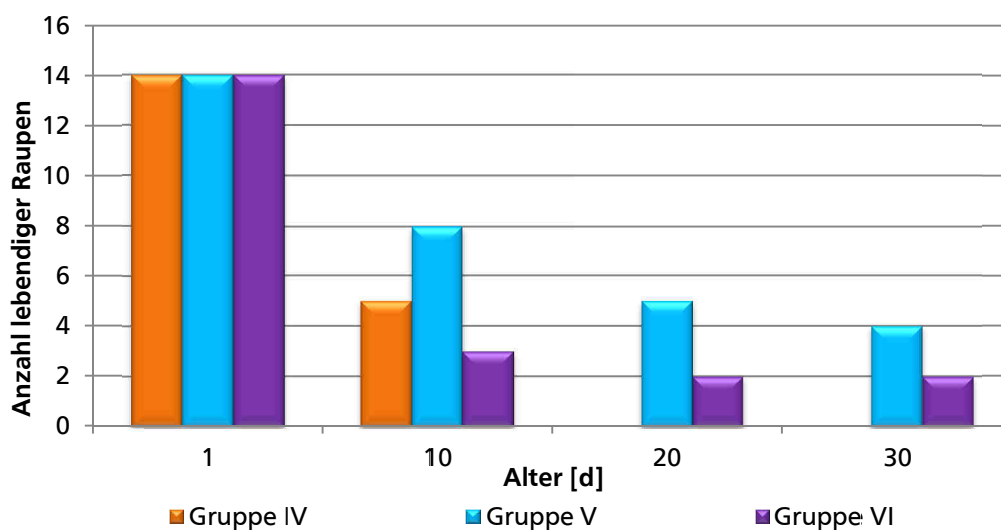


Abbildung 39: Vergleich der Überlebensquote von Gruppe IV, V und VI

Hier kann man erkennen, dass bereits nach 10 Tagen 9 Individuen aus Gruppe IV verstorben sind, was einer Mortalität von 0,9/d entspricht. Noch vor dem 20. Lebenstag verstarben alle weiteren Tiere



dieser Gruppe. Sowohl nach 10, 20, als auch nach 30 Tagen zeigt stets Gruppe V die größte Anzahl an lebenden Versuchstieren. Fünf von Ihnen leben noch über den Versuchszeitraum hinaus. Die Sterblichkeitsrate sinkt kontinuierlich von 0,6/d auf 0,3/d und anschließend auf 0,1/d. Gruppe VI verliert innerhalb der ersten 10 Tage 11 ihrer insgesamt 14 Gruppentiere. Ab Tag 20 bleibt die Anzahl von 2 Tieren bis zum Ende des Versuchszeitraums stabil. Zunächst beträgt die Sterblichkeitsrate also 1,1/d, wird dann auf 0,1/d und anschließend auf 0/d heruntergesetzt.

### 5.3. Quantitative Stickstoffanalyse

Tabelle 7: Einzel- und Mittelwerte der quantitativen Stickstoffanalyse von *M. acuminata*, *H. schiedeana*, *A. zerumbet* und *C. indica*

<i>Musa acuminata</i> Stickstoffanteil [%]	<i>Heliconia schiedeana</i> Stickstoffanteil [%]	<i>Alpinia zerumbet</i> Stickstoffanteil [%]	<i>Canna indica</i> Stickstoffanteil [%]	
2,425	3,669	2,282	3,876	
2,349	3,562	2,681	3,732	
3,736	4,287	2,714	3,727	
3,941	4,364	2,953	3,55	
4,227	2,729	2,862	3,283	
4,226	2,839	3,085	3,2	
3,983	2,966	2,421	3,127	
3,917	2,977	1,51	3,035	
3,578	3,424	2,5635	3,44125	Mittelwert

Tabelle 7 zeigt die jeweils acht Ergebnisse für die quantitative Stickstoffanalyse von *M. acuminata*, *H. schiedeana*, *A. zerumbet* und *C. indica*. In der untersten Zeile sind die dazugehörigen Mittelwerte gezeigt, die zusätzlich in Abbildung 40 in Form eines Balkendiagramms dargestellt sind. Bis auf die Art *A. zerumbet* ergaben die Messungen für alle Versuchspflanzen ein weitgehend ähnliches Ergebnis. *Musa acuminata* zeigt mit durchschnittlich 3,578 % Stickstoff den höchsten Wert. Allerdings fällt hier die Standardabweichung mit 0,77 auch am größten aus. Der Stickstoffgehalt von *H. schiedeana* und *C. indica* scheint sich nur geringfügig voneinander zu unterscheiden, wobei die Graphik für *C. indica* einen relativ geringen Fehlerbalken aufweist. Im Gegensatz zu den anderen Versuchspflanzen ergab sich für *A. zerumbet* etwa  $\frac{1}{4}$  weniger Stickstoff im Blattmaterial. Der hierzu gehörige Fehlerbalken überschneidet sich mit jenem von *M. acuminata* und *H. schiedeana*, nicht aber mit dem von *C. indica*.

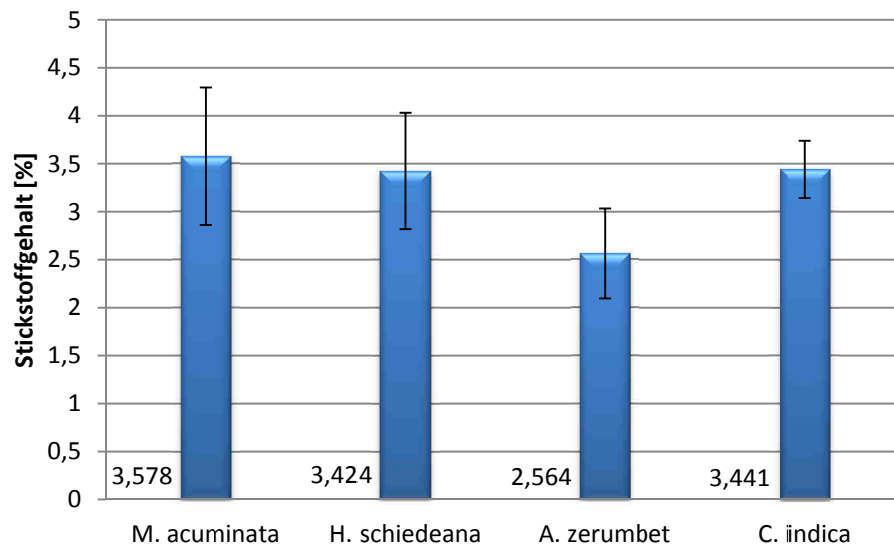


Abbildung 40: Mittelwerte des prozentualen Stickstoffgehalts von *M. acuminata*, *H. schiedeana*, *A. zerumbet* und *C. indica*

---

## 6. Diskussion

---

### 6.1. Einfluss der Nahrungspflanze auf das Längenwachstum und die Gewichtszunahme

Eine Aussage über den Einfluss der vier verschiedenen Nahrungspflanzen auf die Entwicklung der Raupen von *C. eurilochus*, im Sinne von Längenwachstum und Gewichtszunahme, ist nur begrenzt möglich, da die jeweiligen Graphen nur wenig eindeutig sind. Im Fall von Gruppe II und Gruppe IV war keine Datenerfassung bis zum Ende des Versuchszeitraums möglich, da ab dem 13. bzw. 20. Tag keine lebendigen Raupen mehr existierten. Speziell in Abbildung 13, welche die mittlere Längenzunahme von Gruppe II zeigt, ist zu sehen, dass das Wachstum einem linearen Trend zu folgen scheint, doch auch die anderen Gruppen zeigten in der Regel erst im zweiten Drittel des Versuchszeitraums einen Anstieg des Wachstums, weshalb ein direkter Vergleich hier nur schwierig möglich ist.

Dennoch ergaben sich für die Gruppen III und V, welche beide Blätter der Art *Heliconia schiedeana* zur Verfügung hatten, sowohl für das Längenwachstum, als auch für die Gewichtszunahme, Kurven die einen exponentiellen Trend aufweisen. Ein exponentielles Wachstum ist dann zu erwarten, wenn keine limitierenden Faktoren in der Entwicklung auftreten, was zumindest vermuten lässt, dass besagte Pflanzenart eine natürliche Entwicklung der Raupen begünstigt. Die hier auftretenden Extrema lassen sich meist durch eine geringe Anzahl von Daten, die zur Berechnung des Mittelwerts zur Verfügung standen, erklären. Dies kann man beispielsweise in Abbildung 27 erkennen, welche an Tag 22 und 27 jeweils ein Minima erkennen lässt. In beiden Fällen konnte lediglich eine Messung durchgeführt werden, weshalb der Kurvenverlauf an diesen Tagen nur wenig repräsentativ ist und die Länge nur einer Raupe widerspiegelt, welche hier stark unter dem Durchschnitt liegt. Dies ist ebenfalls an der großen Standardabweichung an Tag 4 zu erkennen. Da jede einzelne Larve eine Individualentwicklung aufweist, die von derer anderer Raupen und sogar Raupen der gleichen Familie abweicht, sind die Mittelwerte, die aus vielen Einzeldaten gebildet wurden und sowohl die Entwicklung von Raupen, die über dem Durchschnitt, als auch von denen, die unter dem Durchschnitt liegen, weitaus repräsentativer. Dies lässt sich im Allgemeinen auch daran erkennen, dass die Fehlerbalken zu Beginn der jeweiligen Experimente bedeutend geringer ausfallen, da hier mehr Daten den Mittelwert beeinflussen. Allerdings ist hier auch anzumerken, dass die Varianz der Länge der Raupen direkt nach dem Schlupf sehr gering ist und sich die individuellen Unterschiede erst im Lauf der Zeit bemerkbar machen.

Im Bezug auf jene Raupen, die mit Blattmaterial von *Musa acuminata* gefüttert wurden, ergaben sich sehr unterschiedliche Ergebnisse für Gruppe I und Gruppe IV. Zwar konnte in der ersten Versuchsreihe kein exponentielles Längenwachstum für die Raupen ermittelt werden, dennoch ist ein Trend der Kurve bis zum letzten Tag des Versuchs zu erkennen. Aufgrund großer Fehlerbalken ab dem 20. Tag fällt das Bestimmtheitsmaß für die Trendlinie jedoch relativ gering aus. Der Graph für die Gewichtszunahme von Gruppe I scheint hier etwas aussagekräftiger zu sein. Der Kurvenverlauf ist bis zum 19. Tag relativ eindeutig und lässt im folgenden Bereich trotz Schwankungen eine Tendenz erkennen. Die Mittelwerte an Tag 28 und 29 bekräftigen die Vermutung eines exponentiellen Wachstums, wobei der vorherige Abfall der Kurve durch mehrere Individuen zu erklären ist, die verstarben und einige Tage zuvor an Länge Gewicht verloren. Dieses Ereignis wurde in allen Gruppen beobachtet und könnte somit ein Grund für unerwartetes Herabsetzen der Mittelwerte sein. Ebenso konnte man häufig eine stagnierende Gewichts- und Längenzunahme, einige Tage vor der Häutung, beobachten, welche sich anschließend aber häufig in gesteigerter Geschwindigkeit fortsetzten.

In der zweiten Versuchsreihe verhielt sich die Gruppe, mit *M. acuminata* als Futterpflanze, sehr gegensätzlich. Die Daten, die nur bis Tag 19 reichen, lassen ein logarithmisches Wachstum im Bezug auf die Länge vermuten, was bedeuten würde, dass das Wachstum zum Ende des Versuchszeitraums hin stagniert. Der Abfall der Kurve kann aber auch in diesem Fall damit begründet werden, dass die letzten zwei Raupen aus Gruppe IV ab dem 14. Tag aufgrund des bevorstehenden Todesereignisses an Länge verloren. Berechnete man einen Trend der Kurve nur bis zum 14. Lebenstag, würde sich nämlich ein exponentieller Trend mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,92 ergeben. Ähnlich verhält es sich für den Verlauf des Graphen in Abbildung 30. Auch hier verantworten die letzten beiden Mittelwerte

---

einen starken Abfall der Kurve, wobei die zwei letzten Individuen der Gruppe an Tag 18 bzw. 19 verstarben. Auf die Frage, weshalb die Ergebnisse bei einer Fütterung mit *M. acuminata* derart voneinander abweichen wird in einem späteren Abschnitt noch genauer eingegangen.

Die Entwicklung von Gruppe VI und somit derer Larven, die sich von der Pflanzenart *Canna indica* ernährten, ist durch besonders viele Extrema gekennzeichnet. Aufgrund einer raschen Verminderung der Datenmenge spiegelt der Graph schon ab dem 13. Tag die Entwicklung maximal zweier Individuen, von anfänglich 20 Versuchstieren, wider. Sowohl für das Längenwachstum, als auch für die Gewichtszunahme ergab sich das höchste Bestimmtheitsmaß für einen exponentiellen Trend, wobei dieser hier maximal 8,3 beträgt und somit nur wenig aussagekräftig ist. Die Komplikation beläuft sich hierbei darauf, dass durch die geringe Datenmenge über einen solch langen Zeitraum hinweg, jede Individualabweichung durch beispielsweise bevorstehende Häutungen, die meist mit einem Gewichtsverlust einhergehen, zu sehr gewichtet.

Abschließend ist zu sagen, dass keine konkrete Aussage über den Einfluss der Futterpflanze auf Länge oder Gewicht der Raupen, zu den unterschiedlichen Zeitpunkten, gemacht werden kann. Hierzu wäre die Beobachtung von größeren Versuchsgruppen über einen längeren Zeitraum, optimaler Weise bis zum Zeitpunkt der Verpuppung, nötig. Dennoch lässt sich vermuten, dass zumindest für diese beiden Kategorien eine Fütterung der Raupen mit *Heliconia schiedeana* vorteilhaft ist.

## 6.2. Einfluss der Nahrungspflanze auf die Häutung

Eine bessere Aussage über die Entwicklung der Raupen lassen die Daten, bezüglich der Häufigkeit und der Zeitpunkte der Häutungen, zu. Die Häutungen treten zu sehr variablen Zeitpunkten ein und scheinen nicht zwangsläufig mit einer bestimmten Größe des Tiers verbunden zu sein. So gab es Raupen, die sich erst mit einer Länge von 2,4 cm zum ersten Mal häuteten, während bei anderen dieses Ereignis bereits mit einer Größe von 1,3 cm zu beobachten war.

In Gruppe II hat sich keines der 14 Versuchstiere gehäutet. Ein nicht zu vergessender Faktor ist allerdings, dass keine der Raupen länger als bis zum 12. Versuchstag lebte und somit keine realistische Möglichkeit einer Häutung bestand.

Abbildung 37 zeigt, dass bei 2 Individuen aus Gruppe VI, also rund 14 % der anfänglichen Versuchsgruppe, eine Häutung, am 13. bzw. 19. Lebenstag, beobachtet werden konnte. Die Zeitspanne liegt relativ weit auseinander, lässt sich hier aber vermutlich ebenfalls auf die Individualentwicklung zurückführen. Eine der Raupen häutete sich auch ein zweites Mal. Unter den Raupen, die sich gemäß des Diagramms nicht häuteten, zählen sowohl Raupen die frühzeitig verstarben, als auch diese, die das Ereignis erst nach der 30tägigen Beobachtungszeit durchlebten, was jedoch eher für die zweite Häutung zutrifft.

Während sich 42 % der Raupen aus der ersten Versuchsreihe mit *M. acuminata* als Nahrungspflanze ein erstes Mal häuteten, war es bei der zweiten Versuchsreihe nur eine Raupe, was sich mit den Ergebnissen für die Entwicklung im Bezug auf Länge und Gewicht deckt. Eine zweite Häutung wurde bei Gruppe I nur einmal dokumentiert.

Die besten Ergebnisse ergaben sich in dieser Kategorie für beide Helikonien-Gruppen, da sich in der zweiten Versuchsreihe (Gruppe V) etwa 36 % und in der zweiten Versuchsreihe (Gruppe III) sogar 55 % der beobachteten Tiere häuteten. Zunächst gibt das den Anschein als verlief die Entwicklung in Gruppe III besser, doch während sich hier nur 4 der 11 Raupen ein weiteres Mal häuteten, waren es in Gruppe V vier von fünf, die somit eine weitgehend stetige und erfolgreiche Allgemeinentwicklung zeigten.

Man kann also sagen, dass eine Ernährung mit *Heliconia schiedeana* vermutlich Weise höhere Häutungsraten erzielt, als eine Fütterung mit *Canna indica* oder *Musa acuminata*.

---

### 6.3. Einfluss der Nahrungspflanze auf die Sterblichkeitsrate

Auffällig in Abbildung 25 ist, dass bereits nach 20 Tagen keine Individuen von Gruppe II mehr existieren. Auch am 10. Tag zeigt die Graphik nur noch 2 lebendige Individuen. Dieses Ergebnis ist sehr aussagekräftig. Die Geschwindigkeit und der Verlauf der Entwicklung sind schließlich nebensächlich in Anbetracht dessen, dass die Mortalität dieser Raupen weitaus höher ist, als in den anderen Gruppen.

Im Fall von Gruppe III, welche mit *H. schiedeana* gefüttert wurde, ist zu sehen, dass nach den ersten 10 Tagen noch 60 % der Versuchsgruppe lebten. Auch Gruppe I, mit *M. acuminata* als Futterpflanze, zeigt ein vergleichbares Ergebnis an Tag 10, doch während in Gruppe III auch am 30. Lebenstag noch 5 Versuchstiere lebten, handelt es sich bei Gruppe I um nur zwei Individuen.

Für Gruppe I ergibt sich somit ein Überleben von 10 % der anfänglich eingesetzten Versuchstiere über den 30. Tag hinaus. Bei Gruppe III waren es 25 %, während von Gruppe II keine der Raupen überlebte.

In der zweiten Versuchsreihe waren ähnliche Ergebnisse für Gruppe V, also für die Fütterung mit *H. schiedeana*, zu erkennen, wie in Gruppe III. Auch hier lebten nach 10 Tagen noch knapp 60 % der Versuchstiere, während 28,6 % auch über die 30 Tage Versuchsdauer hinaus überlebten. Mit diesem Ergebnis scheint *H. schiedeana* auch in dieser Kategorie den besten Einfluss auf die Entwicklung der Larven von *C. eurilochus* zu erzielen, da keiner der anderen Gruppen zu einem der gezeigten Zeitpunkte mehr lebendige Tiere aufweist als Gruppe III oder V.

Während in der ersten Versuchsreihe 60 % der Versuchstiere in der Gruppe für *M. acuminata* länger als 10 Tage lebten und 20 % sogar den 30. Lebenstag erreichten, wurden für Gruppe IV aus der zweiten Versuchsreihe nur 35,7 %, die das erste Drittel des Versuchszeitraums überlebten verzeichnet, während keine der Raupen den 20. Lebenstag überlebte.

Im Gegensatz zu beiden Helikonien-Gruppen, die in beiden Versuchsreihen ähnliche Ergebnisse zeigten, zeigen die Daten für Gruppe I relativ gute Ergebnisse, nicht aber für Gruppe IV, die zu 100 % frühzeitig verstarb.

### 6.4. Einfluss von Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf die Entwicklung

Die erste Versuchsreihe zeichnete sich durch eine durchschnittliche Temperatur von 23,7 °C und eine mittlere relative Luftfeuchtigkeit von 96,81 % aus. Da während des Versuchszeitraums die Entwicklung der Larven von *Caligo eurilochus* auch im Tropenhaus des Vivarium Darmstadt beobachtet werden konnte, die sich als weitaus erfolgreicher zeigte, wurden die Bedingungen versucht besser anzupassen. Die Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit für die zweite Versuchsreihe betragen somit durchschnittlich 24,7 °C und etwa 81,38 %. Eine Vermutung darüber, welche Bedingungen die Entwicklung der Larven begünstigt, kann sich nur auf die Ergebnisse jener Gruppen stützen, in denen außer der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit keine weiteren Umweltfaktoren verändert wurden, also auch die Futterpflanze beibehalten wurde.

Vergleicht man die Mortalität von Gruppe I und Gruppe IV, so erkennt man schnell, dass sich die Larven der zweiten Versuchsreihe weitaus schlechter entwickelten, was zunächst vermuten ließe, dass die Bedingungen in der ersten Versuchsreihe eher den natürlichen und begünstigenden Bedingungen entsprachen. Schaut man sich nun aber Gruppe III im Vergleich zu Gruppe V an, ist ein Unterschied kaum auszumachen. Die Entwicklung scheint sich durch die leicht variierenden Umweltbedingungen nicht signifikant verändert zu haben.

Im Bezug auf die Gesamtheit der Raupen einer jeden Versuchsreihe, die bis zum 30. Tag überlebten ergibt sich sogar ein besserer Wert für den zweiten Versuchsablauf, da hier insgesamt 14,3 % aller Versuchslarven überlebten, bei der ersten Versuchsreihe hingegen handelte es sich nur um 11,7 %. Dies entspricht keinem eindeutigen Ergebnis, scheint allerdings der Vermutung zu widersprechen, dass

---

eine Temperatur von 23,7 °C und eine relative Luftfeuchtigkeit von 96,81 % allgemein bessere Entwicklungsbedingungen für die Raupen darstellen.

Die dadurch erneut entstehende Problematik, dass eine Fütterung durch *M. acuminata* innerhalb der ersten Versuchsreihe weitaus bessere Ergebnisse erzielte, als in der zweiten Versuchsreihe, ist anhand der hier gewonnen Erfahrungen und Werte nicht zu begründen. Die Umfrage ergab jedoch, dass häufig eine gewisse Art von Toxizität der *Musaceae*n gegenüber den Raupen beobachtet werden konnte, wenn die Pflanzen durch das Abfressen der Blätter zu stark beschädigt wurden. Da es zu diesen Ereignissen bisher wohl keinerlei Untersuchungen gab, besteht auch hier weiterer Forschungsbedarf um mögliche Sekundärmetabolite oder pflanzeigene Abwehrstoffe zu charakterisieren. Anhand einer Dissertation von Reinhart Hoß an der HU Berlin mit dem Titel „Untersuchungen zur Funktion und Spezifität pilzlicher Sekundärmetaboliten im Pathosystem ”Schwarze Sigatokakrankheit“ der Banane (*Musa* sp - *Mycosphaerella fijiensis*)“, welche besagt, dass eine Produktion von Chitinasen, neben einigen anderen Stoffen, bei Pilzbefall der Bananenpflanzen beobachtet werden konnte, ergibt sich die Vermutung, dass eine ähnliche Abwehr auch gegen Fressfeinde wie Raupen eingesetzt werden könnte. Da nötige Gene für die Produktion solcher Chitinasen offenbar im Genom integriert sind, ist eine Aktivierung dieser, möglicher Weise nicht nur bei Pilzbefall möglich. Angenommen die *Musaceae* ist auch bei immenser Bedrohungen durch Fressfeinde in der Lage, jene, den Abbau von Chitin katalysierenden, Enzyme zu produzieren, geht von der Pflanze eine tödliche Gefahr für die Larven aus. Chitin ist ein wichtiger Bestandteil des Exoskeletts, das dem Körper von Insekten und Arthropoden natürlichen Schutz und Stabilität verleiht. Mögliche Chitinasen aus dem Pflanzensaft der *Musaceae*n würden das Exoskelett sowohl von außen angreifen, als auch von innen, nach der Aufnahme, einen Abbau des Chitins zur Folge haben. Eine solche Reaktion wäre auch in diesem Experiment denkbar und vor allem während der zweiten Versuchsreihe zu erwarten, da kontinuierlich Blattmaterial der verschiedenen Pflanzenindividuen abgetrennt wurde, was mit einem Verlust von Blattmaterial durch Fressfeinde durchaus zu vergleichen ist.

Solch eine Abwehr durch besagte Pflanzen, könnte einen negativen Einfluss auf die Entwicklung, insbesondere auch das Aussterben der besiedelnden Gruppe, zur Folge haben. Des Weiteren wäre zu denken, dass eine Aktivierung besagter Gene im Organismus der Bananenpflanze dann begünstigt ist, wenn die Temperaturen höher und somit näher an den üblichen Bedingungen der Bananenpflanze liegen, was ebenfalls dafür sprechen würde, dass die Mortalität in der zweiten Versuchsreihe größer war. Um hier aussagekräftige Ergebnisse zu erlangen, wären weitere Experimente mit *Musaceae*n als Futterpflanzen nötig, welche die Abstufung diverser, für die Bananenpflanze wichtiger, Umweltfaktoren zulässt.

## 6.5. Einfluss des Stickstoffgehalts der Nahrungspflanze auf die Entwicklung

Die bisherigen Ergebnisse, speziell jene für die Mortalität, die sich für die verschiedenen Versuchsgruppen ergeben haben, lassen zumindest erkennen, dass eine Fütterung mit Blättern der Art *Heliconia schiedeana*, gefolgt von *Canna indica* eine vergleichsweise erfolgreiche Entwicklung im Gegensatz zur Fütterung mit *Alpinia zerumbet* ermöglichen. Für die Eignung von *Musa acuminata* als Nahrungspflanze für die Aufzucht nicht frei lebender Raupen, ist eine Aussage nur bedingt möglich.

In Abbildung 40, welche die Ergebnisse für die Mittelwerte der gemessenen Stickstoffgehalte, der vier verschiedenen Versuchspflanzen, zeigt, ist zu erkennen, dass *Alpinia zerumbet* mit durchschnittlich 2,564 % Stickstoffanteil an der Trockenmasse der Blätter, weit unter denen der anderen drei Arten liegt. Aufgrund dessen könnte man davon ausgehen, dass es möglich ist, dass Stickstoff, und somit der Stickstoffgehalt der Nahrungspflanze, als limitierender Faktor eine höhere Mortalität der Raupen zur Folge hat.

Für *Canna indica* und *Heliconia schiedeana* ergab die quantitative Stickstoffanalyse sehr ähnliche Messwerte. Für alle Gruppen, die mit besagten Pflanzen gefüttert wurden, war eine vergleichsweise niedrige Sterblichkeitsrate zu beobachten.

---

---

*Musa acuminata* wies geringfügig höhere Werte für die relativen Stickstoffanteile der getrockneten Blätter auf, was einerseits die recht gute Entwicklung der Raupen in der ersten Versuchsreihe erklären könnte, andererseits aber nicht mit der hohen Mortalität der Raupen aus Gruppe IV innerhalb der ersten Versuchsreihe übereinstimmt.

Ein Mangel an Stickstoff, vor allem vor Beendigung der energieaufwändigen Entwicklung der Falter, könnte sich negativ auf den Organismus auswirken, da sowohl zur Bildung von Proteinen und DNA eine große Menge an Stickstoff von Nöten ist, als auch für weitere Bausteine wie beispielsweise Chitin. Eine nicht ausreichende Aufnahme an Stickstoff, könnte somit zur Stagnation des Wachstums oder sogar zum Ableben des Organismus führen, da eine anderweitige Aufnahme stickstoffhaltiger Verbindungen, beispielsweise aus der Luft, für diese Tiere nicht möglich ist.

Abschließend ist zu sagen, dass die Vermutung einer Relation zwischen Stickstoffgehalt der Nahrungspflanze und Entwicklung der jungen Schmetterlingslarven von *Caligo eurilochus* durch die erhaltenen Ergebnisse gestützt zu werden scheint, insofern man tatsächlich davon ausgehen kann, dass eine Beeinflussung der Entwicklung durch Abwehrstoffe der *Musaceae*n möglich ist. Um dies zu bekräftigen und um gegebenenfalls zu ermitteln, wie groß der Schaden an der jeweiligen Pflanze sein muss, dass eine solche Produktion von Giftstoffen einsetzt, wären dennoch weitere Experimente nötig.



---

## 7. Quellenangaben

---

- Umfrage: - Alaris Schmetterlingspark Buchholz
- Alaris Schmetterlingspark Sassnitz
  - Botanika GmbH Bremen
  - Museum Löbbbecke
  - Schmetterlingsfarm Steinhude

Weitere Quellen:

[http://www.welt-der-schmetterlinge.de/schmetterling-regeln\\_fuer\\_die\\_zucht.html](http://www.welt-der-schmetterlinge.de/schmetterling-regeln_fuer_die_zucht.html)

Die Entwicklung des Faltern „*Caligo eurilochus*“ in einem künstlich geschaffenen Lebensraum (Jan Oliver Stein)

[http://de.wikipedia.org/wiki/Caligo\\_eurilochus](http://de.wikipedia.org/wiki/Caligo_eurilochus)

Eine Zucht von *Caligo memnon* (FELDER&FELDER, 1866) mit Angaben zur Larvalbiologie und zum Verhalten der Images (Ralph Sturm)

Schmetterlinge im Krefelder Zoo, Zoo Magazin NZW (4) 1998

„A Manual of Tropical Butterfly Farming“ by Ray Harberd, August 2005, <http://darwin.defra.gov.uk/>

“The European Garden Flora, Alismataceae to Orchidaceae” (Cambridge University Press)

<http://edoc.hu-berlin.de/dissertationen/agrar/hoss-reinhart/HTML/hoss-ch2.html>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Chitotriosidase>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Mittelwert>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Standardabweichung>

[http://web.neuestatistik.de/inhalte\\_web/content/MOD\\_37161/html/comp\\_37202.html](http://web.neuestatistik.de/inhalte_web/content/MOD_37161/html/comp_37202.html)

<http://www.biologie.uni-erlangen.de/mpp/Schmetterlinge/entwicklung.html>


<http://de.wikipedia.org/wiki/Exoskelett>

[http://de.wikipedia.org/wiki/Musa\\_acuminata](http://de.wikipedia.org/wiki/Musa_acuminata)

[http://www.chemgapedia.de/vsengine/tra/vsc/de/ch/3/anc/chromatographie1.tra/Vlu/vsc/de/ch/3/anc/croma/gc\\_probenaufgabe.vlu/Page/vsc/de/ch/3/anc/croma/gc/komb/purge/purgetrapm66ht0600.vscml.html](http://www.chemgapedia.de/vsengine/tra/vsc/de/ch/3/anc/chromatographie1.tra/Vlu/vsc/de/ch/3/anc/croma/gc_probenaufgabe.vlu/Page/vsc/de/ch/3/anc/croma/gc/komb/purge/purgetrapm66ht0600.vscml.html)

<http://de.wikipedia.org/wiki/Strippung>





---

[www.oxfly.co.uk](http://www.oxfly.co.uk)

<http://www.speciation.net/Database/Instruments/elementar-Analysensysteme-GmbH/vario-EL-III-Element-Analyzer-;i1898>

<http://www.biosicherheit.de/lexikon/711.chitinase.html>

---

## **8. Ehrenwörtliche Erklärung**

---

Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt habe. Sämtliche aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und noch nicht veröffentlicht.

Darmstadt, den