

Aus dem Institut für Phytomedizin
der Universität Hohenheim
Fachgebiet: Angewandte Entomologie

Prof. Dr. C.P.W. Zebitz

**Vermehrungs- und Schadpotential der
Grünen Gurkenlaus (*Aphis gossypii* GLOVER)
an Gewächshausgurke (*Cucumis sativus* L.)**

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Agrarwissenschaften

der Fakultät Agrarwissenschaften

von
Isa Brigitte Annemarie Bünge
aus Frankfurt am Main
2004

Die vorliegende Arbeit wurde am 26.08.2003 von der Fakultät der Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim als „Dissertation zur Erlangung eines Doktors der Agrarwissenschaften“ angenommen.

Tag der mündlichen Prüfung: 12.09.2003

Prodekan: Prof. Dr. Stahr

Berichterstatter, 1. Prüfer: Prof. Dr. Zebitz

Mitberichterstatter, 2. Prüfer: Prof. Dr. Liebig

Mitberichterstatter, 3. Prüfer: Prof. Dr. Röhmheld

Abstract

Bünger, I. B. A., 2003: Reproduction and damage potential of Cotton Aphid (*Aphis gossypii* GLOVER) on Greenhouse Cucumber (*Cucumis sativus* L.)

The degree of autonomy in Germany regarding vegetables is only about 38%. Cucumbers are some of the fresh vegetables beneath tomatoes consumed most. Important areas of cucumber production in Germany are located in Baden-Württemberg, e. g. the area of the Lake of Constance. Besides phytopathogens, insects as the polyphageous aphid *A. gossypii*, cause considerable crop losses. Data including the quality and the quantity of the harmful influence of *A. gossypii* concerning growth and yield of cucumber plants are rarely available. In order to develop strategies of plant protection and to lower the costs of crop production, in general it is indispensable to investigate influencing factors as biotic (e.g. quality of host plant) and abiotic (conditions of cultivation) coefficients on the pest's biology and its influence on the plants production capacity respectively on the progress of plant injury. To forecast pest abundance and crop damage those data are the basic input. Models as a tool in Intergrated Crop Protection Strategies according to the principles of Good Horticultural Practice should be developed. Greenhousystems are, almost controllable and nearly isolated. They are particularly appropriate for the development of such models. Moreover, a physiological-dynamical growth model, adapted to cucumber (SUCROS), is available. The aim of this work was to collect basic data for the development of a model which could simulate the injury of greenhouse cucumbers caused by *A. gossypii*. Also the implementation of the formation of plant injury in SUCROS should be taken in to account.

This work mainly deals with two aspects: first it is the population dynamics of *A. gossypii* influenced by infestation density (initial infestation 2-10 individuals per plant) and host plant quality (age) and second it is the quantitative and qualitative assessment of damage by investigation of growth, yield, and chemical composition of the cucumber plants. To elucidate the influence of the host plant on the reproduction potential of *A. gossypii*, experiments with different cucumber varieties (Girola, Kalunga, Sudica) and grafted or nongrafted plants (rootstock: *C. ficifolia* L.) respectively, were conducted under controlled conditions. As the population density of a pest does not reveal anything about its economical significance, measurements and quantification of damage were considered as essential for predicting crop losses. For that reason the extent of injury of particular parts (fruit, leaf, root) as well as the extracted constituents of the plant were registered in four experimental enclosures (two under controlled, one under semi-controlled and one under greenhouse conditions). The growth stage of plants at the moment of infestation is of importance regarding the ability of compensation in respect of the progress of plant injury and population development. For that reason economical important development stages (planting and first harvest) at the moment of infestation were taken into account. In addition, the factors correlating most with infestation, at the instant of exceeding the damage threshold had to be found but also the practical meaning of those factors had to be assessed.

As one result, the different varieties used had no significant influence on the biology and reproduction of *A. gossypii*. Grafting promoted the growth of the population of *A. gossypii*. This was due to the positive influence of grafting on the plant growth. In experiments with non restricted population development, population growth was limited on one hand by the capacity of the host plant and influenced on the other hand by specific regulation mechanisms of the aphid (emigration, reduction of reproduction rate) that depend on population density. The maximum infestation level (0.7-18 individuals/cm²) showed to be influenced by the capacity of the host plant, experimental conditions and occurring aphid antagonists. Therefore the initial infestation density was of secondary importance for population development. Intraspecific regulating mechanisms occurred at a relatively low level of infestation (0.2-5 individuals/cm²) before exponential growth of population began. Emigration at this stage of population development is of interest for biological control strategies because it leads to dispersion in the stand, it influences the injury progress and it also has to be considered when the level of infestation is monitored.

Due to aphid infestation changes of source- and sink-ratios in the cucumber plants were investigated. These changes lead to a reduction of the relative leaf area, cumulative yield of fruits and to a reduction of the cumulative dry matter yield. At low infestation levels also overcompensation that was expressed as increased plant growth could be observed. Infestation at the stage of planting caused a considerably higher injury level than infestation 4-5 weeks later. The reduction of leaf area at different infestation levels reached in maximum 10% to 70%. Depositions of honeydew and sooty mold had a lower influence on plant growth than distorting of leaves. Yield losses amounted between 12% and 73%. The losses were caused by abortion of young fruits and decreasing fruit set in infested plants. Fruit quality was not influenced by aphid infestation. Daily detraction of dry matter by *A. gossypii* was about 0.22 mg per Aphid and thus the main injuring factor. All observed injuries were significantly higher with infestation in early growth stages than with infestation of older plants. Honeydew excretions as portion of detracted dry matter was equivalent to 89%. The remaining 11% were consumed to build up the biomass of the aphid. The sink-effect of *A. gossypii* increased the portion of assimilates at the feeding site and lowered the concentration of assimilates in the roots and fruits. The relation between caused damage and aphid infestation can be calculated as a linear regression of "aphid days" (i. e. duration of the infestation of the host plant with aphids) and dry matter loss (per leaf area). To calculate the aphid days a population model should be developed that considers the influence of the age of the host plant.

This work presents the qualitative and quantitative assessment of injury of greenhouse cucumbers caused by *A. gossypii*. A dynamic damage threshold of 8-72 aphid days was concluded, that rises with increasing age of plants. In all experiments the damage threshold was exceeded 1-2 weeks before exponential population growth, emigration of aphids and significant growth reduction could be observed. In case of early infestation and low antagonist potential pest control is necessary. The integration of a damage function in the growth model would be possible via dry matter distribution within the plant as well as via the relation between aphid days and caused damage. The obtained data can be used as a basis

for the development of a model to forecast damage. Such a model can help to improve the understanding of agricultural ecosystems and would be of significance for further progress in environmentally friendly and sustainable crop production.

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Einleitung	1
1.1 <i>Cucumis sativus</i> L.	2
1.1.1 Wirtschaftliche Bedeutung	2
1.1.2 Produktion	2
1.1.3 Simulation des Pflanzenwachstums	3
1.2 <i>Aphis gossypii</i> GLOVER	4
1.2.1 Bedeutung als Pflanzenschädling	4
1.2.2 Simulation des Populationswachstums	6
1.2.3 Schadwirkung von <i>A. gossypii</i>	8
1.2.4 Schadprognose	9
1.3 Fragestellung	10
2 Material und Methoden	11
2.1 Zucht der Versuchstiere	11
2.1.1 Mutterlauszucht	11
2.2 Anzucht der Pflanzen	12
2.2.1 Veredelung der Gurkenkeimlinge	12
2.3 Versuche unter kontrollierten Bedingungen	12
2.3.1 Versuche zum Vermehrungspotential von <i>A. gossypii</i> , kontrollierte Bedingungen	12
2.3.1.1 Durchführung der Versuche	13
2.3.2 Ermittlung von Assimilatentzug und Wachstum von <i>A. gossypii</i> , kontrollierte Bedingungen	15
2.3.2.1 Durchführung des Versuchs	15
2.3.3 Versuche zur Schadbilanzierung von <i>A. gossypii</i> auf Gewächshausgurke, kontrollierte Bedingungen	16
2.3.3.1 Durchführung der Versuche	17
2.4 Versuche zur Schadbilanzierung von <i>A. gossypii</i> auf Gewächshausgurke, teilweise kontrollierte Bedingungen	18
2.4.1. Durchführung der Versuche	18
2.5 Versuche zur Schadbilanzierung von <i>A. gossypii</i> auf Gewächshausgurke, praxisübliche Gewächshausbedingungen	20
2.5.1. Durchführung der Versuche	22
2.6 Auswertung	23

	Seite
3 Ergebnisse	24
3.1 Versuche unter kontrollierten Bedingungen	24
3.1.1 Vermehrungspotential von <i>A. gossypii</i> auf der Gurkensorte 'Girola'	24
3.1.2 Einfluss von Sorte und Veredelung auf das Vermehrungspotential von <i>A. gossypii</i>	24
3.1.3 Assimilatenzug durch <i>A. gossypii</i> und ihr Wachstum auf der Sorte 'Girola'	28
3.1.4 Schadbilanzierung der Saugtätigkeit von <i>A. gossypii</i> auf der Sorte 'Girola'	29
3.1.4.1 Sprossachsenwachstum, wöchentliche Bonitur	30
3.1.4.2 Fruchtansatz, wöchentliche Bonitur	30
3.1.4.3 Blattfläche, wöchentliche Bonitur	32
3.1.4.4 Populationswachstum, wöchentliche Bonitur	33
3.1.4.5 Analysenergebnisse: Anteil von Kohlenstoff, löslichen und reduzierenden Kohlenhydraten und Stärke in der Trockensubstanz	39
3.1.4.6 Analysenergebnisse: Anteil an Stickstoff, Protein und freien Aminosäuren in der Trockensubstanz und das C/N-Verhältnis	40
3.2 Versuch zur Schadbilanzierung der Saugtätigkeit von <i>A. gossypii</i> auf der Gurkensorte 'Girola' unter semikontrollierten Bedingungen	44
3.2.1 Sprossachsenwachstum, wöchentliche Bonitur	44
3.2.2 Fruchtansatz und Ertrag, wöchentliche Bonitur	44
3.2.3 Blattfläche, wöchentliche Bonitur	46
3.2.4 Populationswachstum, wöchentliche Bonitur	49
3.2.5 Trockenmasse, Wachstumsraten und Schaden	52
3.3 Gewächshausversuche unter praxisrelevanten Bedingungen	54
3.3.1 Gewächshausversuch 1	54
3.3.1.1 Sprossachsenwachstum, wöchentliche Bonitur	55
3.3.1.2 Fruchtertrag, wöchentliche Bonitur	55
3.3.1.3 Blattfläche, wöchentliche Bonitur	56
3.3.1.4 Populationswachstum, wöchentliche Bonitur	59
3.3.1.5 Trockenmasse, Wachstumsraten und Schaden	60
3.3.2 Gewächshausversuch 2	61
3.3.2.1 Sprossachsenwachstum, wöchentliche Bonitur	62
3.3.2.2 Fruchtertrag, wöchentliche Bonitur	62
3.3.2.3 Blattfläche, wöchentliche Bonitur	65
3.3.2.4 Populationswachstum, wöchentliche Bonitur	67
3.3.2.5 Trockenmasse, Wachstumsraten und Schaden	71
3.3.3 Gewächshausversuch 3	73
3.3.3.1 Sprossachsenwachstum, wöchentliche Bonitur	73
3.3.3.2 Fruchtertrag, wöchentliche Bonitur	74

3.3.3.3 Blattfläche, wöchentliche Bonitur	75
3.3.3.4 Populationswachstum, wöchentliche Bonitur	78
3.3.3.5 Trockenmasse, Wachstumsraten und Schaden	79
4 Diskussion	80
4.1 Einfluß von Sorte und Veredelung auf <i>A. gossypii</i> unter kontrollierten Bedingungen	80
4.1.1 Entwicklungsdauer	80
4.1.2 Generationsdauer	81
4.1.3 Reproduktions- und Lebensdauer	81
4.1.4 Vermehrungspotential der Population	82
4.1.4.1 Weibchengewicht und Relative Wachstumsrate	82
4.1.4.2 Fruchtbarkeit	82
4.1.4.3 Vermehrungs- und spezifische Wachstumsrate	83
4.1.5 Einflussfaktoren	84
4.2 Freie Populationsentwicklung von <i>A. gossypii</i>	87
4.2.1 Kontrollierte Bedingungen	87
4.2.2 Semi-kontrollierte Bedingungen	89
4.2.3 Praxisrelevante Bedingungen	92
4.3 Einfluß des Schädling auf den Trockenmasseertrag und die Inhaltsstoffe	96
4.3.1 Schaden	96
4.3.2 Der Entzug und sein Einfluss auf verschiedene Inhaltsstoffe der Pflanze	99
4.4 Einfluss von <i>A. gossypii</i> auf das Wachstum der Gurkenpflanzen	105
4.4.1 Sprosslänge	105
4.4.2 Blattfläche	105
4.4.3 Früchte	110
4.4.4 Wurzeln	111
4.5 Schadschwelle und Prognose	112
4.5.1 Möglichkeiten einer Befallsprognosen von <i>A. gossypii</i>	115
4.5.2 Möglichkeiten einer Schadprognose mit SUCROS	119
4.6 Schlussfolgerungen und Ausblicke	119
5 Literaturverzeichnis	122

	Seite
6 Anhang	138
6.1 Standard Düngelösung	138
6.2 Bestimmung der freien Aminosäuren mittels HPLC nach Derivatisierung mit OPA	138
6.2.1 Aufbereitung der Pflanzenproben	138
6.2.2 Honigtau	138
6.1.3 HPLC-System	138
6.3 Kohlenhydrat-Extraktion nach Walch-Liu (2000)	141
6.3.1 Reagenzien für die Bestimmung reduzierender Zucker	141
6.3.2 Reagenzien Gesamtzuckerbestimmung	141
6.3.3 Aufschluß für Reduzierende Zucker und Gesamtzucker	142
6.3.4 Reagenzien zur Stärkebestimmung	143
6.3.5 Stärkeaufschluß	144
6.4 Quantitative Proteinbestimmung nach Bradford (1976)	144
6.4.1 Reagenzien zur Proteinextraktion und -bestimmung	144
6.4.2 Probenaufbereitung und Extraktion	145
6.5 Klimadiagramme zu Kapitel 2.5	146
6.6 Formeln und Definitionen	147
6.6.1 Definitionen	147
6.6.2 Formeln	148
6.7 Anhang zu den Ergebnissen	150
6.7.1 Schadbilanzierung unter kontrollierten Bedingungen	150
6.7.2 Schadbilanzierung unter semikontrollierten Bedingungen	162
6.7.3 Schadbilanzierung unter praxisrelevanten Bedingungen	168
6.7.3.1 Gewächshausversuch 1	168
6.7.3.2 Gewächshausversuch 2	171
6.7.3.3. Gewächshausversuch 3	176
Zusammenfassung	180
Eidesstattliche Erklärung	
Versicherung zum Promotionsverfahren	
Tabellarischer Lebenslauf	

1 Einleitung

Die Intensivierung des Anbaus von Monokulturen hat im Laufe der Zeit zur Selektion und Förderung von Krankheiten, Schädlingen und Unkräutern geführt. Aus diesem Grund haben die Aufwendungen für chemische Pflanzenschutzmittel besonders seit 1960 zugenommen, wobei weltweit die Insektizide und Herbizide den größten Anteil bilden (MacKenzie 1994). Der geschützte Anbau ist wohl die spezialisierteste und höchstentwickelte Anbauform und bietet zahlreichen Schadorganismen optimale Vermehrungsbedingungen. Er umfasst die ganze Breite der Produktionsformen von der Reihenabdeckung im Freiland bis zum hochtechnisierten Gewächshaus (Hurd & Sheard 1981). Diese Produktionssysteme erfordern das Management von einer Vielzahl steuerbarer Produktionsbedingungen (Challa 1990), wie Temperatur (Klimasteuerung), Bewässerung, Düngung, Substrat, CO₂-Versorgung, Belichtung (Heuvelink 1996) und Pflanzenschutz. Die wichtigsten Grundlagen und Voraussetzungen für das Produktionssystem bilden neben den politischen Rahmenbedingungen die ökologischen und ökonomischen Faktoren sowie „der Mensch, der mit seinem Können und Wollen den Betrieb bewirtschaftet“ (Krug 1991). Dazu gehören der hohe internationale Konkurrenzdruck und der Anstieg der Anforderungen an die Qualität der Erzeugnisse, die eine ständige Optimierung der Produktionsprozesse erfordern. Des Weiteren haben die seit den sechziger Jahren des letzten Jahrhunderts gewonnenen Erkenntnisse über unerwünschte Nebenwirkungen (Resistenzbildung, Umweltbelastung, Vernichtung natürlicher Gegenspieler) der eingesetzten Pestizide zum Einsatz komplexer Systeme, den Integrierten und Biologischen Produktionsmethoden, geführt. Das Ziel der modernen Produktionsmethoden ist die Reduzierung der Ertragsverluste durch Schaderreger auf ein wirtschaftlich akzeptables Maß, nicht die Eliminierung der Erreger. Eine besondere Rolle spielt hierbei die Schadschwellenprognose (van Lenteren & Woets 1988), welche es ermöglicht, Befallsverläufe und den Zeitpunkt wirtschaftlich relevanter Ertragsminderung durch den Schädling zu bestimmen. Eine Prognose setzt ein hohes Maß an Wissen über das Agrarökosystem voraus. Ein Hilfsmittel zur Planung und Steuerung eines solchen komplexen Systems sind Modelle, die dieses Wissen zusammenfassen. Bisherige Ergebnisse haben jedoch gezeigt, dass es in absehbarer Zeit - und vermutlich generell - nicht möglich sein wird, derartige Systeme mit Modellen hinreichend zu beschreiben (Krug 1991). Trotzdem bemüht man sich in neuen Ansätzen, Kenntnisse über die funktionalen Beziehungen zwischen der Steuerung von Wachstumsfaktoren und den Kulturmaßnahmen einerseits und Wachstum und Entwicklung andererseits zu beschreiben. Das Ergebnis sind bio-ökonomische Produktionsmodelle, die das Wachstum und daraus resultierende ökonomische Folgen in Abhängigkeit von den Außenbedingungen abzubilden versuchen (Storck & Berg 1991). Da Schädlinge das Wachstum mindern und dies ökonomische Folgen für den Erzeuger hat, wären Modelle zur Simulation und Prognose von Befall und Schaden sinnvoll.

Die Arbeit entstand aus dem Wunsch, ein Modell zur Simulation des durch die Grüne Gurkenlaus (*Aphis gossypii* GLOVER) entstehenden Schadens an Gewächshausgurke (*Cucumis sativus* L.) zu entwickeln. Die Auswahl des Systems bot sich aus verschiedenen Gründen an. *A. gossypii* ist eine der bedeutendsten Schädlingsarten an Gurke, die auch an

anderen Kulturen wie z.B. Baumwolle von wirtschaftlicher Bedeutung ist. Ein Gewächshaus ist ein relativ kontrollierbares und abgeschlossenes System, was eine Simulation erleichtert. Zudem steht ein für Gurke angepasstes physiologisch-dynamisches Wachstums-simulationsmodell (SUCROS) zur Verfügung. Modelle, welche Schadentstehung und -verlauf im System Gurke / Grüne Gurkenlaus prognostizieren oder simulieren, stehen ebenso wenig zur Verfügung, wie Daten, die als Grundlage zur Entwicklung eines solchen Modells dienen könnten. Um wirksame Bekämpfungsstrategien gegen Blattläuse zu erarbeiten, ist es unerlässlich, die Biologie des Schädling, die Interaktionen zwischen biotischen, abiotischen Faktoren und dem Schädling sowie die Bedeutung der Faktoren für den Schadensverlauf an den Wirtspflanzen zu ermitteln. Wenn es gelingt, die wichtigsten Einflussfaktoren zu quantifizieren, die für das Wachstum der Wirtspflanze, die Schadentstehung und die Entwicklung der Schädlingspopulation von Bedeutung sind, ist eine Simulation der Zusammenhänge zwischen Wirtspflanze, Aphide und Kontrollmethode möglich. Es kann ein Hilfsmittel geschaffen werden, das eine umweltschonende, kostenminimierende Produktion im Sinne des Integrierten Anbaus und der „Guten Gärtnerischen Praxis“ ermöglicht.

1.1 *Cucumis sativus* L.

1.1.1 Wirtschaftliche Bedeutung

Die wirtschaftliche Bedeutung der Gewächshausgurke, einer Wirtspflanze von *A. gossypii*, in Deutschland zeigt sich am Pro-Kopf-Verbrauch von 6,4 kg im Jahr. In Deutschland ist die Gurke nach der Tomate das zweitwichtigste Frischgemüse auf dem Markt (statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2000). Die Anbauggebiete von Gewächshausgurken liegen in Deutschland vor allem im Rheinland, im nordwestlichen Niedersachsen und in Baden-Württemberg, unter anderem am Bodensee (Liebig 1991). Nur 5 % des Gurkenbedarfs werden von Deutschland selbst produziert (Liebig 1991), im Gegensatz zu Holland, das 85 % seiner Gewächshausgurken nach Deutschland exportiert (Marcelis 1994). Insgesamt liegt der Selbstversorgungsgrad an Gemüse in Deutschland bei 38 % (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2000). Durch eine Optimierung der Anbaubedingungen und eine dadurch verbesserte Konkurrenzkraft könnte der Selbstversorgungsgrad erhöht werden.

1.1.2 Produktion

Die hohen Standortansprüche der ursprünglich subtropischen bis tropischen Gurke haben zu einem intensiven Anbau unter relativ kontrollierten Bedingungen geführt. Salatgurken werden in Deutschland meist ab März in beheizten Gewächshäusern gepflanzt (ca. 4-6-Blattstadium 20-25 cm Länge, 3 g Trockenmasse) (Liebig 1991). Der erste Ertrag sind, ca. vier Wochen nach dem Auspflanzen, die sogenannten Stammgurken, die wirtschaftlich große Bedeutung haben. Das geschätzte kumulierte Ertragspotential liegt bei 130 Früchten pro Quadratmeter und Jahr bzw. zwei Früchten pro Pflanze und Woche in der Hauptertragsphase (Liebig 1991). Es werden veredelte (Toleranz gegen niedrige Bodentemperaturen, Nematoden,

Pathogene) und gegenüber verschiedenen Pathogenen (z. B. echter Mehltau, Gurkenkrätze) resistente parthenokarpe Sorten angebaut (Liebig 1991, Rascher 1995, Wien 1992). Da Gurken ein extrem hohes Wachstumspotential haben und zur Überkompensation neigen (Wien 1992), werden regulierende Schnittmaßnahmen, ähnlich wie bei Tomate, durchgeführt. In der Regel werden die Seitentriebe bis ca. 2 m Wuchshöhe (Gurken werden aufgeleitet) und die Früchte bis zum 7. Nodium entfernt. Bei einer Höhe von 2 m wird die Pflanze geköpft und 2 Seitentriebe werden stehen gelassen. Eine Besonderheit des Gurkenwachstums, vergleichbar mit Tomate oder verschiedenen Leguminosenarten, ist ihr undeterminiertes Wachstum. Dies stellt sich durch eine kurze Phase von vegetativem Wachstum dar, die der Bildung von Wurzeln und Blattmasse dient. Das vegetative Wachstum wird durch die anschließende Fruchtbildung und gleichzeitiges aber reduziertes Weiterwachsen der vegetativen Organe abgelöst (Liebig 1978, Marcelis 1991, 1994, Wien 1992). So wechseln sich vegetatives und generatives Wachstum ab bzw. greifen ineinander, wodurch es zu einer gewissen Wachstumsrhythmik kommt (Liebig 1978). Die Wachstumsrhythmik ist mit einer Umstellung der Verlagerung der Assimilate gekoppelt. Die genaue Steuerung ist unbekannt, erfolgt jedoch vermutlich hormonell und wird auch von Außenfaktoren wie z.B. Licht und Temperatur beeinflusst. Es wird deutlich, dass bereits das Wachstum ohne den Einfluß von Schadorganismen von vielen verschiedenen inneren und äußeren Faktoren abhängt. Eine Optimierung der Anbaubedingungen zur Steigerung von Produktion und Wirtschaftlichkeit setzt das Verständnis dieser Zusammenhänge voraus.

1.1.3 Simulation des Pflanzenwachstums

Wachstumsmodelle können die oben genannten Zusammenhänge darstellen und simulieren. Es gibt die verschiedensten das Pflanzenwachstum beschreibenden Modelle (Bertin & Heuvelink 1993, Marcelis 1994). Pflanzenbauliche Modelle haben im wesentlichen drei Einsatzziele:

- in der Forschung, als Werkzeuge der Interpretation,
- in der Lehre, zum Verständnis der Zusammenhänge,
- in der Praxis, als Hilfswerkzeuge z.B. bei Düngung, Klimasteuerung, Pflanzenschutz etc..

Sie sind immer nur vereinfachte Darstellungen der Realität (de Witt 1968). In einem Modell werden die einzelnen Systemelemente und ihre Beziehungen untereinander abgebildet. Dies erfolgt im einfachsten Fall in Form eines Wortmodells oder eines Diagramms, in der Regel jedoch durch eine oder mehrere mathematische Gleichungen. Da nur eine endliche Zahl von Elementen dargestellt werden kann, ist es jeweils auch nur möglich, einen Ausschnitt aus der Realität darzustellen (Rabbinge & de Witt 1989). Es gibt zeitabhängige dynamische und zeitunabhängige statische Modelle. Statische, beschreibende Modellansätze werden z.B. in der Produktionsplanung eingesetzt (Liebig 1989) oder haben in Form der Klima- und Düngesteuerung Einzug in die Produktion genommen. Wachstumsprozesse werden meist mit dynamischen Modellen dargestellt.

Die einfachste Modellvariante stellen Regressionsmodelle (beschreibende Modelle) dar. Komplexe Modelle sind die erklärenden, mechanistischen oder physiologischen Modelle, die anhand von physikalischen Gesetzen oder chemischen Gleichungen, die einem Prozess zu Grunde liegen, diesen modellieren (Matitschka 1995).

Mit dem Pflanzenwachstumsmodell SUCROS (Simple and Universal CROp growth Simulator) steht ein physiologisch-dynamisches Wachstumsmodell zur Verfügung, welches das potentielle Pflanzenwachstum einer annualen Pflanze (Getreide) unter optimierten Wachstumsbedingungen simuliert (Kraalingen & Spitters 1986). Das Pflanzenwachstum (irreversible Zunahme der Biomasse) wird mit Hilfe verschiedener hierarchisch geordneter Unterprogramme berechnet. In den Unterprogrammen wird durch Berechnung der Tageslänge, der für die Photosynthese nutzbaren Strahlung und der Photosyntheseleistung in Abhängigkeit von der Temperatur die Verteilung der Trockenmasse, die gebildete Frischmasse und die Blattfläche bzw. der Blattflächenindex einzelner Pflanzen berechnet. Die Verteilung der Biomasse wird anhand der jeweiligen spezifischen Wachstumsrate der Organe, getrennt in Blattgewicht, Sprossgewicht, Wurzelgewicht und Speicherorgane (Früchte) berechnet. Die Blattfläche ist von zentraler Bedeutung als Hauptassimilatbildner. Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen Blattfläche und Trockenmasse. Dadurch ist die Blattfläche eine Validierungsgröße und ermöglicht die Berechnung der Photosynthese über die spezifische Blattfläche. Dieser Aufbau beinhaltet so mehrere Anknüpfungspunkte für die Implementierung von Schadsimulationen. Das Modell wurde an unterschiedliche Bedingungen angepasst. Über die geografischen und klimatischen Daten erhält man ein standortangepasstes Wachstum (van Keulen 1982, Rabbinge & Bastiaans 1989, Rossing et al. 1989, Stroosnijder 1982). Über Daten wie z.B. Lichtstreuung der Blätter, Photosyntheseparameter, Entwicklungsrate, Trockenmasseverteilung, spezifische Blattfläche und relative Absterberate der Organe erfolgt die Anpassung an die Pflanzenspezies. Das Wachstumsmodell wurde auch um weitere Unterprogramme ergänzt und an unterschiedliche Gemüsearten, z.B. Gurke (Marcelis 1991, 1994, Marcelis et al. 1988) angepasst. Der Einfluss der abiotischen Faktoren auf das Gurkenwachstum kann bereits mit SUCROS simuliert werden. Biotische Faktoren wie der Schädlingsbefall wurden noch nicht integriert.

1.2 *Aphis gossypii* GLOVER

1.2.1 Bedeutung als Pflanzenschädling

Die in Gewächshäusern herrschenden Bedingungen bieten vielen Schadorganismen optimale Entwicklungsmöglichkeiten. Hauptschädlinge in Gurkenkulturen unter Glas sind:

- Grüne Gurkenlaus (*Aphis gossypii* GLOVER),
- Gemeine Spinnmilbe (*Tetranychus urticae* KOCH),
- Blattadernminierfliege (*Liriomyza huidobrensis* (BLANCHARD))
- Thripse, vor allem *Thrips tabaci* (LINDEMAN) und *Frankliniella occidentalis* (PERGANDE),

- Weiße Fliege (*Trialeurodes vaporariorum* WESTWOOD),
- Wurzelgallennematoden der Gattung *Meloidogyne* sp.
- Zwergzikaden wie *Empoasca* sp.

(Albert & Schneller 1993, Amand & Wehner 1991, Dhillon & Wehner 1991, Lamparter 1992, 1993, 1994, Leber 1991, Quentin 1995).

Insgesamt können weltweit trotz der Weiterentwicklung des intensiven Pflanzenschutzes bis jetzt nur 38 % der Ertragsverluste verhindert werden (Oerke & Steiner 1996). Am problematischsten gestaltet sich die Bekämpfung der Schadtieren. Die wichtigste Gruppe der Schadtieren stellen zweifellos die Insekten dar; und innerhalb der Insekten sind Blattläuse die bedeutendsten Agrarschädlinge in den temperierten Zonen (Minks & Harrewijn 1987). In Gewächshausgurkenkulturen ist die Blattlausbekämpfung, trotz intensiver Forschung, immer noch die Schwachstelle der biologischen und integrierten Bekämpfung (Mulder et al. 1999). Die potentiellen Schäden durch Schädlinge wie z.B. die Grüne Gurkenlaus (*Aphis gossypii* GLOVER) können bis zu 100 % (Amand & Wehner 1991, Dengler 1991) des Ertrages betragen.

A. gossypii, die Grüne Gurkenlaus, ist schon seit 1854 als Schädling an Baumwolle (Paddock 1919) und später auch als einer der bedeutendsten Schädlinge an Cucurbitaceen bekannt (Blackman & Eastop 1984, Ebert & Cartwright 1997, Ulrichs 2001). Es werden insgesamt über 92 Pflanzenfamilien und ca. 700 verschiedene Pflanzenarten als Wirte befallen. Die wichtigsten Kulturpflanzen unter den Wirten sind:

- *Cucurbita moschata* L.
- *Cucumis melo* L.
- *Cucumis sativus* L.
- *Cucurbita maxima* L.
- *Asparagus officinalis* L.
- *Piper nigrum* L.
- *Solanum melongata* L.
- *Abelmoschus esculentus* L.
- *Fragaria ananassa* L.

Die Grüne Gurkenlaus ist weltweit verbreitet und stammt ursprünglich aus den Tropen (Blackman & Eastop 1984, Ulrichs 2001, Paddock 1919). In Deutschland war *A. gossypii* vor allem als Virusvektor in Salat und Gurken seit 1968 bekannt (Fritzsche et al. 1974, Weidemann & Rohloff 1976). *Aphis gossypii* ist polyphag, weist aber eine deutliche wirtspflanzenabhängige Rassenbildung (syn. Stämme) auf. Es werden hauptsächlich drei Stämme beschrieben: der Gurkenstamm (Aldyhim 1993, Attia & El-Hamaky 1984,1985, Ebert & Cartwright 1997, Guldemond et al. 1994), der Baumwollstamm (Furk & Hines 1993, Kandoria

& Jamwal 1988, Khalifa & El Din 1964, Moursi 1985) und der Chrysanthenstamm (Guldemon et al. 1994). Die Stämme lassen sich nur bedingt auf eine andere Wirtspflanze übertragen und deshalb einem bestimmten Stamm zuordnen. Die holozyklische Vermehrung findet über verschiedene Winterwirte (z.B. *Hibiscus syriacus* L., *Catalpa bignonioides* L.) statt. In unseren Breiten schien der rein anholozyklische Lebenszyklus von *A. gossypii* an Gewächshäuser gebunden (Blackman & Eastop 1984). Seit 1998 ist aber eine holozyklische Vermehrung in Südwestdeutschland an *Catalpa bignonioides* L. cv. *nana* erwiesen (Schrammeyer & Thieme 1999, mündliche Mitteilung). Ihre Bedeutung als Schädling ist u.a. auf das Erwerben verschiedener Insektizidresistenzen in den 80er Jahren zurückzuführen, wodurch sie weltweit ein Problemschädling nicht nur an Gewächshauskulturen ist.

Im Jahr 1987 trat *A. gossypii* erstmals an Gurkenbeständen in Süddeutschland in Erscheinung und war 1990 zu einem Problemschädling geworden (Dengler 1991). Dies war hauptsächlich auf ihre Unempfindlichkeit gegen die selektiven Wirkstoffe Pirimicarb und Heptenophos (Albert & Merz 1995, Gould 1971, Furk et al. 1980, Scopes & Biggerstaff 1976) zurück zu führen. Mittlerweile sind Unempfindlichkeiten gegen Diazinon (Furk & Hines 1993), Abamectin (Albert & Merz 1995, Grafton-Cardwell 1991, 1992, O'Brien 1992), Pyrethroide, Mevinphos und Sulfotepp (Biologische Schädlingsbekämpfung in Baden-Württemberg, 1992) nicht mehr ungewöhnlich, so dass die Bekämpfung der Gurkenlaus mit integrierbaren chemischen Mitteln nicht möglich ist. Eine biologische Bekämpfung kann dagegen erfolgreich durchgeführt werden und ist auf Grund der Pestizidresistenzen zwingend. Es gab schon früh Versuche, *A. gossypii* mittels Blattlausantagonisten wie *Chrysoperla carnea* STEPH., *Aphidolotes aphidimyza* ROND. (Bondarenko 1975, Asyakin 1977) zu kontrollieren. Es setzte sich aber vor allem die Methode der Offenen Zucht auf Getreidestreifen mit *Aphidoletes aphidimyza* und *Aphidius matricariae* HAL. durch, die schon 1992 von Bennison (1992) als erfolgreich beschrieben wurde. Es werden ständig neue Ergebnisse über eventuell nutzbare Antagonisten veröffentlicht, wie z.B. die Kontrolle mit *Hippodamia variegata* GOEZE (El Habi et al. 2000). Standardmäßig wird bis jetzt aber nur die Offene Zucht in Gurkenkulturen unter Glas eingesetzt (Lamparter 1992, 1993, 1994, Quentin 1995, Bünger 1996, 1997, 1998, 1999, Hiller 1999). Eine Optimierung der Bekämpfungsstrategien z. B. durch eine Simulation des Populationswachstums wird u.a. von Van Lenteren C. & Woets (1988) als sinnvoll betrachtet.

1.2.2 Simulation des Populationswachstums

Eine Voraussetzung für die Entwicklung eines Modells zur Simulation des Schadens ist neben der Berechnung des Pflanzenwachstums ein Modell zur Simulation des Populationswachstums des Schädling. Eine Vielzahl von Wirtspflanzen-Schädling-Antagonisten-Interaktionsmodellen sind seit Mitte der siebziger Jahre entwickelt worden. Sie gehören zu zwei Kategorien: Prognose- oder Studienmodelle. Der überwiegende Teil dieser Modelle beschäftigt sich mit Getreideläusen an Winterweizen (u.a. de Witt & Rabbinge 1979, Carter et al. 1982, Freier et al. 1985, 1996, 2002). Für *A. gossypii* sind keine Populationsmodelle zur Praxisreife gelangt. Ursache für die intensive Arbeit auf dem Gebiet der Getreideläuse war die ökonomische Bedeutung des Getreides und das umfangreiche zur Verfügung stehende

Datenmaterial. Es bestehen immer noch Schwierigkeiten bei der Quantifizierung der verschiedenen Einflüsse auf die Populationsdynamik sowie der trophischen Wechselwirkungen. Eine der neuesten Entwicklungen ist das Modell von Freier et al. (2002), die seit ca. 20 Jahren Daten über das System Winterweizen/Getreideläuse und Antagonistenwirkung gesammelt und im Simulationsmodell „GtLaus“ zusammengeführt haben. Eine Demonstrationsversion kann auf der Homepage der BBA (<http://www.bba.de>) unter „Veröffentlichungen“ eingesehen werden. Dieses Modell simuliert die Populationsentwicklung der Getreideläuse (*Sitobion avenae* F., *Rhopalosiphum padi* L., *Methopolophium dirhodum* WALK.) während der Hauptbefallszeit unter dem Einfluss der wichtigsten Umweltfaktoren (Wetter, Wirtspflanze, natürliche Gegenspieler). Es besteht aus einzelnen einfachen Regressionsmodellen, die miteinander verknüpft sind. Alle Rechenoperationen laufen auf der Grundlage von exakt abgefragten Werten aus Tabellen, mathematischen Funktionen oder definierten Bedingungen. Die wichtigste Steuergröße sind die Startwerte, welche die Bedingungen im Weizenfeld am Ende der Weizenblüte dokumentieren. Die Population wird anhand der Populationsstruktur (junge Larven, alte Larven, Nymphen, Aptere, Alatae) beschrieben. Eine einfache Adaption dieses Modells an das System Gurke und Gurkenlaus erschien nicht möglich. Zum einen haben Gurken im Gegensatz zu Getreide ein undeterminiertes Wachstum, und zum anderen spielen die Umweltfaktoren im Gewächshaus eine geringere Rolle als im Freiland. So muss schon aufgrund von SUCROS die Gewichtung des Daten-Inputs eine andere sein. Über die Biologie der Grünen Gurkenlaus (*A. gossypii*) stehen zwar einige Informationen zur Verfügung, aber sie reichen für die Entwicklung eines solchen Modells unter praxisrelevanten Bedingungen nicht aus. Die wissenschaftlichen Arbeiten beschäftigen sich hauptsächlich mit der Biologie der Aphiden bei unterschiedlichen kontrollierten Umweltbedingungen oder in Käfigversuchen an verschiedenen Gurkensorten (Ahmed 1994, Wyatt & Brown 1977, van Steenis 1992, Owusu 1994, 1996, van Steenis & El Khawass 1995, Popov et al. 1992, Kocourek et al. 1994, Wyatt & Brown 1977, Kocourek et al. 1993/1994). Außerdem sind einige Erhebungen zur Populationsdynamik und zur Schädigung verschiedener Wirtspflanzen (Melone Freiland, Baumwolle Freiland, Gurke Freiland/Gewächshaus) unter dem Aspekt der chemischen Kontrolle durchgeführt worden (Moursi et al. 1985, Weathersbee & Hardee 1994, 1995).

Ein weiterer für die Entstehung und den Verlauf des Schadens in Abhängigkeit von der Populationsentwicklung relevanter Faktor wird in Populationsmodellen nicht berücksichtigt: In den meisten phytopathologischen und entomologischen Studien wird die Pflanze als unbegrenzte Nahrungsquelle betrachtet. Die Wechselwirkungen zwischen Pflanze und Schädling werden vernachlässigt. Abiotische Faktoren - Temperatur/Wachstum oder Stickstoffdüngung/Wachstum - sind einfacher zu simulieren als der Einfluss biotischer Faktoren. Nähere Kenntnisse über die Biologie des Schädlings sowie die quantitative und qualitative Erfassung des Schadens sind Voraussetzung für die Simulation der Zusammenhänge von Befall und Schaden als Unterstützung und Entscheidungshilfe für eine umweltschonende Kontrolle. Der folgende Abschnitt bietet einen Überblick über die bekannten Ursachen für die Schadwirkung von *A. gossypii*.

1.2.3 Schädwirkung von *A. gossypii*

A. gossypii verfügt wie die meisten polyphagen Blattlausarten über ein enormes Vermehrungspotential (Blackman & Eastop 1989) und ist ein Phloemsauger. Sie entzieht der Pflanze, an der Blattunterseite, meist in der Nähe der Blattmittelrippe sitzend, den Phloemsaft. Die ganze Pflanze wird in allen Entwicklungsstadien befallen (Ulrichs 2001). Um den hohen Energiebedarf für die rasche Massenvermehrung zu decken, muss die Laus der Pflanze übermäßig Assimilate entziehen, was als ursächlich für die Masseverluste der Pflanze angeführt wird (Miles 1989, Mallot & Davy 1978). Angaben über die Höhe dieser Trockenmasseverluste stehen nicht zur Verfügung. Eine Abschätzung des Schadens in Abhängigkeit vom Befall ist deshalb nicht möglich.

Zu den Überlegungen über die mögliche Abschätzung der Masseverluste ist hinzuzufügen, dass die meisten Unterschiede im Ertrag auf Unterschieden der Wachstumsrate der Blattfläche (Watson 1952) beruhen. Die Photosynthese des Blattes ist die Haupttriebkraft der Produktion bzw. des Wachstums. Arbeiten über die Wirkung abiotischer Faktoren auf die Photosynthese verdeutlichen die Bedeutung des Blattes für das Wachstum unter Wasserstress (Janoudi et al. 1993) und in Abhängigkeit vom Temperatur- und Lichtregime (Madore & Grodzinski 1985). Man bezeichnet die Blätter deshalb als *source* und die Primärstoffwechselprodukte (Assimilate) verbrauchenden Organe als *sink*. Assimilate sind die organischen Metabolite und Produkte der in photosynthetisch aktiven Organen ablaufenden physiologischen Prozesse. Sie sind Vorstufen zum Aufbau von Biomasse oder Energielieferanten wie z.B. Stachyose (Pharr et al. 1977, Gross & Pharr 1982), Aminosäuren und organische Säuren (Richardson et al. 1982, 1984). Die durch die Photosynthese produzierten Assimilate können gespeichert oder verlagert werden. Die Langstreckenverlagerung erfolgt über das Phloem. Die Verlagerungsrate wird durch Konzentrationsgradienten und das Turgor-Potential zwischen *source* und *sink* vorangetrieben (Wareing & Patrick 1975, Wardlaw 1990). Als Maß für die *sink*-Stärke kann die potentielle Wachstumsrate des *sinks* dienen (Marcelis 1994). Die *sink*-Stärke nimmt aber auch über den Verbrauch der Assimilate in Form einer Rückkopplung Einfluss auf die Photosyntheseleistung (Marcelis 1994). Auf dieser Ebene kann die Schädwirkung der Blattläuse verstanden werden. Sie wirken über den Entzug der Assimilate auf die Leistungsfähigkeit der Photosynthese und bilden ein konkurrierendes *sink* zu den wachsenden Organen. In welchem Maß dies stattfindet und in welchem Umfang dieser Entzug durch die Pflanze kompensiert werden kann, wurde bis jetzt nicht untersucht. Es muss dabei berücksichtigt werden, dass die Pflanze in unterschiedlichen Entwicklungsstufen eine unterschiedliche Kompensationsfähigkeit hat. Für eine Simulation des Schadens müssen die Stadien herausgefunden werden, welche für das Wachstum der Blattläuse und die Schadentstehung wichtig sind (Wernecke & Claus 1992) und in welchem Ausmaß der Schädling in Konkurrenz zu den anderen *sinks* tritt.

Außer durch den Entzug von Assimilaten nimmt die Laus auch über die Ausscheidung von Honigtau Einfluss auf die Photosynthese und Transpiration (Shannag 1989, Shannag et al. 1998). Zur Ausscheidung von Honigtau kommt es aufgrund des für die Blattlaus ungünstigen

Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnisses im Phloemsaft der Pflanze. Zum Aufbau der eigenen Biomasse der Blattlaus ist der Bedarf an Stickstoff größer als der Gehalt im Phloem. Den überflüssigen Kohlenstoff scheidet die Blattlaus in Form von großen Mengen Honigtau wieder aus. Dies dient auch der Regulierung des osmotischen Haushaltes. Dadurch kommt es zur Verschmutzung der Blattoberfläche und Rußtaupilze siedeln sich an. Honigtau und Rußtau beeinträchtigen die Assimilation der Pflanze (Dengler 1991, Henneberry et al. 2000, Minks & Harrewijn 1987, 1988, 1989). Hinzu kommen Wachstumsstörungen, unter anderem in Form von Triebverkrüppelungen und -stauchungen bis hin zum völligen Wachstumsstillstand (Attia & El-Hamaky 1985). Die Wirtspflanze kann außerdem durch die Infektion mit Viren geschädigt werden. *Aphis gossypii* ist der Vektor von insgesamt 50 verschiedenen Viren. Die bedeutendsten sind das Gurken-, das Rüben- und das Luzernemosaikvirus sowie das Kartoffel-Y-Virus und Rübenvergilbungsvirus (Blackman & Eastop 1989). In welchem Ausmaß jeder dieser Faktoren Einfluss auf den Schadenverlauf nimmt, ist nicht bekannt. Für die Kalkulation und Simulation eines zu erwartenden Schadens ist es aber sinnvoll, die Schadursache zu quantifizieren, so dass man wichtige Einflussgrößen von unwichtigen unterscheiden kann.

1.2.4 Schadprognose

Entsprechend ihrer Bedeutung als Schädling wurden viele Studien über *A. gossypii* veröffentlicht. Über die Interaktionen zwischen *Cucumis sativus* und *A. gossypii* existieren bis jetzt trotz ihrer Bedeutung als Gurkenschädling kaum Untersuchungen, die eine Quantifizierung der durch die Blattlaus verursachten Schäden bei unterschiedlichen Bedingungen beinhalten. Dies ist wohl auf die Vielzahl von Wechselwirkungen und Einflussgrößen zurückzuführen, die eine Erfassung des nötigen Datenmaterials erschweren. Voraussetzung für ein Modell zur Schadprognose sind Daten, die den Schaden erfassen, quantifizieren und bewerten (Nutter 1993). Daten über das Schadpotential wurden für Thrips (Ship & Wang & Binns 1999, Welter et al. 1990), Weiße Fliege (Shannag 1989, Rumei & Liying 1991) veröffentlicht. Neben den Wissenslücken über die Schadentstehung in Abhängigkeit vom Befallsverlauf fehlen auch noch Kenntnisse über die Dynamik der Population, wie Migration, Emigration, räumliche Verteilung im Bestand, und deren Bedeutung für den Schadverlauf sowie den quantitativen und qualitativen Nahrungsbedarf.

Die obigen Abschnitte geben einen Überblick über die bearbeiteten Forschungsthemen und die Problematik der Definition der Schadursache. Es stehen keine Prognosemodelle zur Verfügung; bis jetzt kann nur Software genutzt werden, welche Hintergrundinformationen zur Bekämpfungsmethode liefert und die Bestimmung von Krankheiten und Schädlingen erleichtern soll. Beispiele sind „Mykolus“ und „BioPS“ der Fachhochschule Weihenstephan oder der „Harrow Greenhousemanager“ (Clarke et al. 1999). Aus diesem Grund erschien es nicht sinnvoll, ohne grundlegendes Datenmaterial mit der Entwicklung der mathematischen

Modelle zu beginnen. Die Qualität der Daten ist dabei von großer Bedeutung für die Entwicklung des Modells (Holz & Wetzel 1989). Die Autorin entschied sich also für die

Erfassung des notwendigen Datenmaterials, das zur Entwicklung eines Schadprognosemodells herangezogen werden kann.

1.3 Fragestellungen

Ziel der Arbeit war es, Basisdaten für die Entwicklung eines Modells zur Simulation des von *A. gossypii* verursachten Schadens an Gewächshausgurke zu liefern. Berücksichtigt werden sollte die Möglichkeit der Integration der Schadentstehung in das physiologisch-dynamische Wachstumsmodell SUCROS. Die Fragestellungen entwickelten sich aus den vorgestellten Rahmenbedingungen.

Zur Klärung des Einflusses der Wirtspflanzensorte und der Veredelungsunterlage auf die Vermehrung bzw. das Vermehrungspotential von *A. gossypii* wurden Versuche unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt. Es sollte dabei geklärt werden, welche Größe das Populationswachstum am besten beschreibt, und wie sie sich in eine Simulation des Schadens integrieren ließe.

Neben der Quantifizierung ist eine qualitative Bewertung z.B. bezüglich der entzogenen Inhaltsstoffe für die Integration in ein physiologisch -dynamisches Wachstumsmodell relevant. Es müssen auch Einflussfaktoren wie das Wachstumsstadium der Gurkenpflanzen berücksichtigt werden (Wernecke & Claus 1992), da das Kompensationsvermögen je nach Kapazität der Pflanze unterschiedlich ist. So wurde in vier Versuchsansätzen (2 Versuche kontrollierte, semi-kontrollierte und praxisrelevante Bedingungen) der Schaden (reduziertes Pflanzenwachstum) auf physiologischer und phänologischer Ebene quantitativ und qualitativ sowie das Populationswachstum erfasst. Dabei wurden wirtschaftlich relevante Entwicklungsstadien der Gurkenpflanzen berücksichtigt (Befall mit Blattläusen beim Auspflanzen und zu Beginn der Stammgurkenernte). Es war zudem zu klären, über welche kontinuierliche visuelle Größe der Schadensverlauf erfassbar war, welche Größe mit dem Befall korrelierte, wann die Schadschwelle überschritten wurde und in welchem Maße die Beobachtungen relevant für die Praxis sind. Die Daten wurden in Bezug auf die Möglichkeit der Integration in ein Schadprognosemodell diskutiert.

2 Material und Methoden

Zur Klärung der Versuchsfragen zum Vermehrungs- und Schadpotential von *A. gossypii* auf der Gewächshausgurke, *C. sativus*, wurde von drei Versuchsansätzen ausgegangen.

- Versuche unter kontrollierten Bedingungen zur Klärung des maximalen Vermehrungs- und Schadpotentials von *A. gossypii* an Gewächshausgurke. Diese Versuche gliederten sich in:
 - Versuche zur Vermehrung unter dem Aspekt des Einflusses von Gurkensorten und Veredelung.
 - Versuche zum Schadpotential und dem Trockenmasseentzug durch die Blattlaus.
- Versuche unter teilweise (semi-) kontrollierten Bedingungen (geregelt klimatische Bedingungen und Ausschluß von Nützlingen) zur Schadbilanzierung unter freier Populationsentwicklung der Blattlaus.
- Versuche unter praxisähnlichen Bedingungen (Gewächshaus) zum Schadpotential unter freier Populationsentwicklung der Blattlaus.

2.1 Zucht der Versuchstiere

Für den Initialbefall der Versuchspflanzen wurden Blattläuse (*A. gossypii*) aus eigener synchronisierter Zucht (Mutterlauszucht) verwendet. Die Tiere waren vor Beginn der Versuche über mindestens fünf Generationen unter konstanten Klimabedingungen (21 °C ±2 °C, 65 % ± 10 % relative Luftfeuchte, 16:8 T:N-Rhythmus, Zusatzbelichtung mit 5200 Lux [Osram Powerstar HQI-T 100 W/D]) vermehrt worden (Aldyhim & El-Hamaky 1993, Attia & El-Hamaky 1985, Wyatt & Brown 1977). Der Altersunterschied der Individuen betrug maximal sechs Stunden.

2.1.1 Mutterlauszucht

Die Gurkenlaus *A. gossypii* (Herkunft: Gewächshausgurken auf der Insel Reichenau, Entnahme Juli 1994) wurde auf Gurke vermehrt (*C. sativus* L. Sorte 'Girola', im Sortenversuch *C. sativus* L. Sorte 'Moneta') und die Population regelmäßig aufgefrischt. Zur Erzeugung synchronisierter Mutterläuse (Entwicklung unter gleichen Bedingungen und gleiches Alter) wurden, nach Erreichen des Imaginalstadiums, fünf aptere (ungeflügelte), virginopare (lebensgebärende) Aphidenweibchen (Mutterläuse) mit Hilfe eines Klemmkäfigs (Ø 3,8 cm) nach Honeyborne (1969) auf ein Blatt der Wirtspflanze aufgebracht. Dort verblieben sie für sechs Stunden und wurden dann wieder abgenommen. Die in dieser Zeit abgesetzten Larven entwickelten sich auf der Gurkenpflanze wieder zu Weibchen, die zur Weiterzucht und für den Versuch verwendet wurden. So wurde eine synchronisierte Entwicklung gleichaltriger Versuchstiere erreicht.

2.2 Anzucht der Pflanzen

Für Zucht- und Versuchszwecke (Versuche zum Vermehrungspotential und Sortenversuche, s. 2.3.1; Entzugsermittlung, s. 2.3.2) wurden die verschiedenen Gurkensorten sowie der Kürbis unter Gewächshausbedingungen mit Zusatzbeleuchtung (70 % relative Luftfeuchte, 16:8 T:N, 12,7 klux bzw. 270 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$) angezogen (Krug 1991), dabei wurde 'Floradur' von Floragard als Anzuchterde verwendet. Nach zwei Wochen erfolgte alle zwei Tage eine Düngung mit 0,1 % Wuxal-Super-Lösung (siehe Anhang 6.1). Nach Erreichen des Auspflanzstadiums (vier Laubblätter, ca. 16 cm Höhe, Entwicklungsstadium 17), standen die Pflanzen für die Versuche und Zuchten zur Verfügung. Das Auspflanzen in die Versuchspflanzencontainer erfolgte ebenfalls in 'Floradur'.

2.2.1 Veredelung der Gurkenkeimlinge

Zur Synchronisierung des Entwicklungsstadiums der Versuchspflanzen (Gurken) sowie der Unterlage (*Cucurbita ficifolia* L. = Kürbis) wurde folgende Reihenfolge eingehalten. Die Gurken, welche zur Veredelung bestimmt waren, mussten eine Woche vor den Pflanzen, die nicht zur Veredelung bestimmt waren, ausgesät werden und die Kürbisunterlage für diese Pflanzen zwei bis drei Tage später. Die Gurkenkeimlinge wurden nach dem Gegenlaschenprinzip (Krug 1991) auf den Kürbiskeimlingen (*Cucurbita ficifolia* L.) veredelt. Um den Veredelungsschock zu mildern, wurden die Pflanzen nach dem Veredeln vorübergehend „zweifüßig“ belassen (Gurkenpflanze und Kürbispflanze sind noch komplett aber ineinandergesteckt) und unter durchsichtige Schutzhauben gesetzt. Die Hauben verhinderten eine zu starke Transpiration der Keimlinge, deren Xylemtransport durch die Schnittverletzungen der Leitbündel eingeschränkt war. Nach fünf Tagen wurden die Pflanzen vom „Gurkenfuß“ (Gurkenwurzel mit Wurzelhals) und dem Kürbissproß getrennt und für weitere zwei Tage unter die Hauben gesetzt. Anschließend erfolgte das Umtopfen in die Versuchspflanzencontainer. Die unveredelten Pflanzen wurden nun ebenso umgetopft.

2.3 Versuche unter kontrollierten Bedingungen

2.3.1 Versuche zum Vermehrungspotential von *A. gossypii*, kontrollierte Bedingungen

Zur Erfassung des Einflusses von Gurkensorte und Veredelung auf die Entwicklungsdauer, Fekundität, Lebensdauer und Wachstumsrate von *A. gossypii* wurden unter kontrollierten Klimabedingungen (Klimakammer und Gewächshauskabine) während dreier Winter mehrere Versuche in Hohenheim durchgeführt (s. Tab. 2.1).

Als Pflanzenmaterial wurde in den Klimakammerversuchen die nicht mehltolerante Gewächshausgurkensorte 'Girola' verwendet. Zur Anpassung an das sich ständig verändernde Sortenspektrum wurden noch die mehltoleranten Gurkensorten 'Kalunga' und 'Sudica' in den Gewächshausversuch integriert. Die Anzucht und Veredelung der Pflanzen erfolgte wie beschrieben (s. 2.2). Um die Adaption an die Versuchsbedingungen im klimagesteuerten

Gewächshaus bzw. in der Klimakammer zu gewährleisten, wurden die Pflanzen eine Woche vor Versuchsbeginn in die Versuchsparzelle gestellt. Zehn Tage nach dem Umtopfen der Pflanzen wurde mit der Düngung (Wuxal-Super mit Nährsalzen, siehe Anhang) in zweitägigem Rhythmus begonnen. Die Bewässerung erfolgte nach Bedarf. Zur Biologischen Kontrolle von Spinnmilben (*Tetranychus urticae* KOCH) wurden Raubmilben (*Phytoseiulus persimilis* ATHIAS-HENRIOT) im Gewächshausversuch ausgebracht.

Tab. 2.1 : Anzahl der Versuche zum Vermehrungspotential, der Varianten und Wiederholungen, kontrollierte Bedingungen

Varianten	Gewächshauskabine ¹		Klimakammer ²	
	Anzahl Versuche	Anzahl Wiederholungen	Anzahl Versuche	Anzahl Wiederholungen
'Sudica' veredelt*	1	5		-
'Kalunga' veredelt*	1	5		-
'Girola' veredelt*	1	5	2	10
'Sudica' unveredelt	1	5		-
'Kalunga' unveredelt	1	5		-
'Girola' unveredelt	1	5	3	10
Versuchsanlage	vollständig randomisiert			

*Unterlage *C. ficifolia*, ¹Tagesmittel 23 °C, Min. 18 °C, Max. 28 °C, rel. Luftfeuchte 60 % ± 20%, Zusatzbeleuchtung 16 Std., ²Temperatur 21 °C ± 1 °C, rel. Luftfeuchtigkeit 65 % ± 15%, 18:6 T:N Rhythmus, Belichtungsstärke 4,5 klux bzw. 60 µE/m²/sec (Osram Powerstar HQI-T 100 W/D)

2.3.1.1 Durchführung der Versuche

Zu Versuchsbeginn wurden frisch gehäutete, ungeflügelte Mutterläuse mit Hilfe von Klemmkäfigen auf das jüngste entfaltete Blatt der Versuchspflanzen (4. Laubblatt) für die Dauer von 12 Stunden aufgekäfigt (van Steenis & El-Khawass 1995, Kocourek et al. 1994). Die Zahl der Mutterläuse betrug fünf Individuen pro Käfig. Nach den 12 Stunden verblieb eine zufällig ausgewählte Erstlarve (L1) im Blattkäfig. Das Larvengewicht (L1 in µg) der restlichen Larven wurde zur Berechnung der RWR (Relative Wachstumsrate) ermittelt. Alle 12 Stunden wurde das Entwicklungsstadium erfaßt (Aldyhim & Khalil 1993, Sengonca et al. 1994). Nach sechs Tagen mußten die Käfige auf das nächsthöhere Blatt versetzt werden, da die Blätter aufgrund des feuchtwarmen Mikroklimas und des verminderten Lichteinfalls innerhalb der Käfige zur Seneszenz neigten. Um eine Infektion der Versuchstiere mit entomopathogenen Pilzen zu verhindern, wurden die Blattkäfige alle zwei Tage gegen saubere Käfige ausgewechselt. Nach Erreichen des Imaginalstadiums wurde ein Weibchen pro Käfig auf der Pflanze belassen und von den anderen adulten Tieren das Prälarviationsgewicht in µg (Dixon & Wratten 1971) zur Berechnung der RWR erfaßt. Im Zeitraum einer Generationsdauer wurde als Maß für die Fertilität nach Wyatt & White (1977) alle 24 Stunden die Larvenzahl pro Weibchen erfaßt.

In je einem Versuch in der Klimakammer und im Gewächshaus wurde zudem die Fruchtbarkeit der adulten Tiere von *A. gossypii* über die Lebensdauer ermittelt. Da diese Versuche mehrere Wochen andauerten, waren einige besondere Maßnahmen nötig, die in den obigen Versuchen nicht durchgeführt wurden. Zur Reduktion des Längenwachstums mußten die Versuchspflanzen oberhalb des 6. Laubblattes geköpft werden. Der sich am 2. Nodium entwickelnde Seitentrieb wurde stengelgelassen, alle anderen wurden entfernt. Bis zum Ende der Versuche mußten regelmäßig Schnittmaßnahmen durchgeführt werden. Außerdem wurden die Käfige und Tiere auf dem Blatt alle drei Tage versetzt, um eine ausreichende Nahrungsqualität auf dem Wirtsblatt zu sichern. Zusätzlich wurden die Blattläuse jede Woche auf das jüngste vollentwickelte Blatt umgesetzt. Das Beobachtungsintervall zur Erfassung der Fruchtbarkeit wurde nach Durchlaufen eines Generationszyklus (ca. 9 Tage) von einem 24stündigen Rhythmus auf einen von 48 Stunden vergrößert.

Das Vermehrungspotential und die Wachstumsrate von *A. gossypii* wurde mit den folgenden Parametern beschrieben:

- Lebensdauer (Wochen),
- die präimaginale Entwicklungsdauer (Tage),
- die Präreproduktionsdauer (Tage),
- die Prälarvipositionsdauer (Stunden),
- die altersspezifische Fertilität (Anzahl Larven pro Weibchen),
- Postreproduktionsphase (Wochen),
- Erstlarven- und Imaginalgewichte (μg).

Daraus ergaben sich (Formeln siehe Anhang):

- die Generationsdauer (T_d in Tagen) nach Wyatt & Brown (1977),
- die Vermehrungsrate (Larven pro Weibchen und Tag über T_d nach Blackman & Eastop (1984),
- die Nettoreproduktionsrate (Larven pro Weibchen und Tag über die Lebensdauer) nach Blackman & Eastop (1984),
- der r_m -Wert (\log_e Larven pro Tag und Weibchen) nach Wyatt & White (1977),
- die Relative Wachstumsrate (RWR, $\log_e \mu\text{g}$ pro Tag) nach Birch (1948).

Wie aus zahlreichen Quellen bekannt, werden diese Parameter als geeignete Unterscheidungsmerkmale für die Eignung einer Wirtspflanze für Blattläuse betrachtet und beschreiben das potentielle Populationswachstum unter kontrollierten Bedingungen (Dixon 1987a, Dixon & Wratten 1971, Leather & Dixon 1984, Kindlmann & Dixon 1989, Kindlmann et al. 1992, Wyatt & White 1977).

2.3.2 Ermittlung von Assimilatentzug und Wachstum von *A. gossypii*, kontrollierte Bedingungen

Die Durchführung des Versuches erfolgte wieder in der Klimakammer (Temperatur 21 °C ± 1°C, rel. Luftfeuchtigkeit 65 % ± 15%, 18:6 T:N-Rhythmus, Belichtungsstärke 4,5 klux bzw. 60 µE/m²/sec [Osram Powerstar HQI-T 100 W/D]). Die Anzucht der Versuchspflanzen (*C. sativus* var. 'Girola') wurde bereits in Abschnitt 2.2 beschrieben. Ab Versuchsbeginn wurden die Pflanzen jeden Tag mit 100 ml 0,1%iger ‚Wuxal-Super‘-Lösung gegossen.

2.3.2.1 Durchführung des Versuchs

Auf zehn Pflanzen im Auspflanzstadium wurden je fünf ungeflügelte, einen Tag alte Mutterläuse zwei Stunden mit einem Blattkäfig (Ø 5 cm) fixiert. Es wurden je 10 Larven des ersten Stadiums auf der Pflanze belassen und die Biomasse der restlichen Tiere bestimmt. Alle 24 Stunden wurden die Exuvien eingesammelt, der Honigtau mit bidestilliertem Wasser (Quarzglas Destille) aus den Käfigen ausgewaschen (Auclair 1959, Auclair & Maltais 1961, Banks & Macaulay 1965), in ein Eppendorfreaktionsgefäß (1,5 ml) überführt und bei -80 °C konserviert. Die Käfige wurden gegen frische ausgetauscht, gereinigt und sterilisiert. Nach Erreichen des Adultstadiums wurden die Tiere abgenommen. Der Honigtau wie auch die Blattläuse wurden bei -30 °C und 0,34 mbar lyophilisiert (Christ Aichach Alpha 1-4), die Trockenmasse und der Trockensubstanzanteil an der Frischmasse (nur bei Läusen) erfaßt, und anschließend wie folgt analysiert:

- Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt: Anteil in % der Trockensubstanz von Läusen, Exuvien und Honigtau, Veraschung, gaschromatografische Trennung und Messung von N₂ bzw. CO₂ mittels Wärmeleitfähigkeitsdetektor (Fisons Instruments, C/N Autoanalyser von Carlo Erba) durch das Institut für Bodenkunde in Hohenheim.
- Gehalt an löslichen Kohlenhydraten: Anteil in % der Trockensubstanz des Honigtaus nach Blankeney & Mutton (1980), modifiziert nach Walch-Liu (2000), (siehe Anhang).
- Proteingehalt: Anteil in % der Trockensubstanz des Honigtaus nach Bradford (1976), (siehe Anhang).
- Gehalt an freien Aminosäuren: Anteil in % der Trockensubstanz des Honigtaus (mittels HPLC nach Derivatisierung mit OPA (Ortho-Phtal-Dialdehyd, siehe Anhang).
- Gehalt an Glucose, Fructose und Saccharose: Anteil in % der Trockensubstanz des Honigtaus (Trennung mittels HPLC und Detektor PED-IAMP) durch das Institut für Obst-, Gemüse- und Weinbau in Hohenheim.

Die Extraktions- und Analysenmethoden sind im Anhang ausführlich beschrieben, soweit sie selbst angewendet wurden.

Zum Aufbau der eigenen Körpermasse entziehen die Blattläuse der Pflanze Trockenmasse (Llewellyn 1988, Adams & van Emden 1972). Der Entzug an Trockenmasse von der Pflanze durch die Saugtätigkeit der Läuse konnte mit der Berechnung der Summe der Trockenmasse von Exuvien, Körper und Honigtau geschätzt werden. Die Respiration und die Ausscheidung

gen der Blattläuse, die nicht in einer der oben genannten Fraktionen enthalten waren, wurden nicht erfasst (Llewellyn 1988, Adams & van Emden 1972). Die Analysen von Pflanzen und Blattläusen sollten Anhaltspunkte über die entzogene Menge und die Verwertung bestimmter Inhaltstoffe der Pflanze durch die Saugtätigkeit der Aphiden liefern.

2.3.3 Versuche zur Schadbilanzierung von *A. gossypii* auf Gewächshausgurke, kontrollierte Bedingungen

In diesem Versuch wurde untersucht, über welches Vermehrungs- und Schadpotential *A. gossypii* unter kontrollierten Bedingungen auf Gurke verfügt. Da dazu auch die Wurzelmasse bestimmt werden sollte, wurden die Versuchspflanzen (*Cucumis sativus* L. var. 'Girola') in einem Lehm-Sand-Gemisch (1:2) in Einzeltöpfen (Ø 11 cm, Höhe 11 cm) ausgesät, mit 0,1 %iger Lösung von 'Wuxal Super' angegossen und unter Gewächshausbedingungen (12,7 klux bzw. 270 µE/m²/sec, 16:8 L:D, 70 % rel. Luftfeuchte) angezogen.

Tab. 2.2: Überblick über Versuchsbedingungen und -aufbau zur Schadbilanzierung, kontrollierte Bedingungen

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Klimabedingungen	18:6 T:N Rhythmus, Belichtungsstärke 4,5 klux bzw. 60 µE/m ² /sec (Osram Powerstar HQI-T 100 W/D), rel. Luftfeuchtigkeit 65 % ± 15%, Temperatur 21 °C ± 1°C		
Pflanzgefäß + Substrat	10 l Pflanzcontainer, Seramis Pflanzgranulat	10 l Pflanzcontainer mit Drainage + Untersetzer, Sand	
Pflege	zweimal/Woche, Aufbinden, Entfernen der Früchte bis 7. Nodium und Seitentriebe bis Käfigspitze, kappen über Käfigspitze		
Sorte	'Girola' unveredelt		
Pflanzdichte	entspricht 1,3 Pflanzen / m ²		
Käfige	Einzelpflanzenkäfige 60 cm Durchmesser, 2 m Höhe, Insekta 500		
Dünger	146 mg K, 100 mg N, 81 mg Ca, 21 mg P, 10 mg Mg, 1,5 mg Fe-EDTA pro Liter		
Düngemenge	8 l Kontrollvariante, 5 l Befallsvarianten	8 l alle Varianten	
Befallsvarianten Wdh=5	Initialbefall: 0 Aphiden (Kontrolle), 5 Aphiden (Befallsvariante 1), 10 Aphiden (Befallsvariante 2) pro Pflanze		
Anlage	randomisierte Verteilung der Käfige in der Klimakammer		

Nach dem Erscheinen des ersten Laubblattes erfolgte das Umsetzen in 10-Liter-Pflanzencontainer (Substrat Seramis Pflanzgranulat bzw. Sand) und in die Klimakammer (s. Tab. 2.1). Jede Pflanze wurde mit insgesamt 3 l 0,1%iger 'Wuxal-super'-Lösung bis zum Versuchsbeginn gegossen. Sobald die Pflanzen das Auspflanzstadium (vier voll entfaltete Laubblätter, Höhe ca. 16 cm) erreicht hatten, wurden die Aphiden auf die Unterseite des obersten voll entfalteten Laubblattes angesetzt (van Steenis & El-Khawass 1995). Es wurden frisch gehäutete, ungeflügelte Weibchen verwendet. Die Pflanzen waren in Einzelpflanzenkäfigen (60 cm Durchmesser, 2 m Höhe) aus Gaze (Insekta 500) eingehüllt. Die maximale Wuchshöhe der Pflanzen betrug 1,6 m. Bei Bedarf wurde zusätzlich zur Düngelösung Wasser gegossen. Es wurden die in der Praxis üblichen Pflegemaßnahmen durchgeführt.

2.3.3.1 Durchführung der Versuche

In wöchentlicher Bonitur wurden:

- die Sproßlänge in cm,
- die Blattlänge in cm,
- der Fruchtansatz,
- Blattschäden (Honigtau, Rußtau in Prozent der Blattfläche und die Anzahl durch Deformation geschädigter Blätter pro Pflanze),
- die Aphidenzahl pro Pflanze bzw. cm² erfaßt.

Zu Beginn (an einer repräsentativen Stichprobe von 10 Pflanzen) und Ende (an allen Versuchspflanzen) des Versuchs erfolgte die Bestimmung von:

- Pflanzengewicht frisch (nach Pflanzenteilen getrennt: Blätter, Sproßachse, Früchte, Wurzeln) und Trockenmasse (sämtliche Schnittabfälle sind in der gebildeten Trockenmasse berücksichtigt),
- Trockensubstanzgehalt: Prozent des Frischgewichts mittels Trocknung des Pflanzenmaterials nach Baumeister und Reichart (1969) bei 70 °C bis zur Gewichtskonstanz,
- Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt: Anteil in Prozent der Trockensubstanz, Veraschung, gaschromatografische Trennung und Messung von N₂ bzw. CO₂ mittels Wärmeleitfähigkeitsdetektor (Fisons Instruments, C/N Autoanalyser von Carlo Erba) durch das Institut für Bodenkunde der Univ. Hohenheim,
- Gehalt der löslichen Kohlenhydrate (Gesamtzucker, reduzierende Zucker) und Stärke: Anteil in Prozent der Trockensubstanz nach Blankeney and Mutton (1980), modifiziert nach Walch-Liu (2000),
- Proteingehalt: Anteil in Prozent der Trockensubstanz nach Bradford (1976),
- Freie Aminosäuren: Anteil in Prozent der Trockensubstanz (mittels HPLC nach Derivatisierung mit Ortho-Phtal-Dialdehyd).

Zur Gewinnung der Pflanzenproben wurden Blätter, Früchte und Sproßachse durch Waschen von Honigtau und Läusen gereinigt und die Wurzeln aus dem Pflanzsubstrat ausgewaschen. Anschließend wurden die Proben trocken getupft, eingewogen und in flüssigen Stickstoff getaucht. Die Lagerung erfolgte, bis zur Trocknung, bei - 80°C. Die Proben wurden bei -30 °C und 0,34 mbar gefriergetrocknet (Christ Aichach Alpha 1-4). Nach dem staubfeinen Mahlen (Analysenmühle A10, Janke & Kunkel, IKA Labortechnik, Staufen), erfolgte ein weiterer Trocknungsprozess (siehe oben) und anschließend die einzelnen Analysenschritte. Die Extraktions- und Analysemethoden sind im Anhang ausführlich beschrieben, soweit sie selbst angewendet wurden.

Aus den Bonitur- und Analysendaten wurden folgende Parameter errechnet:

- Blattfläche in cm² nach Shannag (1989), relativer Zuwachs pro Woche und relative Blattfläche pro Pflanze,
- Gebildete Trockenmasse, Zuwachs wöchentlich (g), Summe Zuwachs absolut (g) und prozentual pro Pflanze,
- Absolute Wachstumsrate (AWR in g pro Woche und Pflanze) nach Hunt (1982),
- Relative Wachstumsrate (RWR \log_e in g pro Woche und Pflanze) nach Hunt (1982),
- Netto-Assimilationsrate (NAR in $g \cdot \log_e$ pro Woche, cm² und Pflanze) nach Hunt (1982),
- Leaf-Area-Ratio pro Pflanze (LAR in cm² pro g) nach Hunt (1982),
- Sproß-Wurzelverhältnis pro Pflanze nach Hunt (1982),
- Schaden (g) pro Pflanze nach Wellings et al. (1989),
- C / N Verhältnis pro Pflanze nach Hunt (1982),
- Wöchentlicher kumulativer Blattlausindex (Aphiden* Tage/cm^2) nach Wratten et al. (1979),
- Tägliche Wachstumsrate einer Population nach Entwistle and Dixon (1986) pro cm²,
- kumulierter Trockensubstanzentzug (Aphiden / Pflanze * mg * Tage) nach Wratten et al. (1979).

2.4 Versuche zur Schadbilanzierung von *A. gossypii* auf Gewächshausgurke, teilweise kontrollierte Bedingungen

Um das Schadpotential von *A. gossypii* unter praxisähnlichen Bedingungen ohne Einfluß von natürlich auftretenden Blattlausantagonisten simulieren zu können, wurden Versuche in einem Parzellen-Gewächshaus mit Klimasteuerung (22 ° C Tag, 18 °C Nacht) während der Wintermonate in Hohenheim durchgeführt.

Die Anzucht der Versuchspflanzen (*C. sativus* L. Sorte 'Girola') und ihrer Veredelungsunterlage (*C. ficifolia* L.) erfolgte unter praxisüblichen Bedingungen durch die Versuchsstation für Gartenbau, Universität Hohenheim. Zwei Wochen vor Versuchsbeginn wurden die Pflanzen zur Adaption an die Versuchsbedingungen in den Pflanzencontainern (10 l, schwarz, PE) in die Parzellen gestellt. Die Pflanzen waren in Einzelpflanzenkäfige aus Insecta 500® (Höhe 2,5 m, Grundfläche 1,5 m²) eingehüllt.

2.4.1 Durchführung der Versuche

Der Versuchsstart erfolgte bei der frühen Befallsvariante (Jungpflanzen, vier Blätter, 16 cm) mit Erreichen des Auspflanzstadiums. Zur Befallssimulation wurden frisch gehäutete, ungeflügelte Mutterläuse (Initialbefall 0, 2, 5 Aphiden pro Pflanze) auf das jüngste entfaltete Blatt der Versuchspflanzen (4. Laubblatt) mit Klemmkäfigen nach Honeyborne (1969) für 24 Stunden fixiert. Anschließend wurden die Käfige, um eine freie Populationsentwicklung zu ge-

währleisten, wieder entfernt. Bei der späteren Befallsvariante (4 Wochen nach Versuchsbeginn = Beginn der Ertragsbildung) wurden die Blattläuse (Initialbefall 0, 2, 5 Aphiden) auf das jüngste vollständig entfaltete Blatt ausgebracht (siehe oben). Mit der Düngung (s. Tab. 2.3) wurde bei Versuchsstart begonnen und bei Bedarf zusätzlich noch mit Wasser gegossen. Um die Pflanzen der Kontrolle befallsfrei zu halten, mußten sie zweimal mit Oxydemetonmethyl angegossen werden.

Tab. 2.3: Übersicht zum Versuch zur Bilanzierung, teilweise kontrollierte Bedingungen

	Kontrolle	Frühbefall (zu Versuchsbeginn)		Spätbefall (4 Wochen nach Versuchsbeginn)	
		kein Befall	2 Läuse/Pflanze	5 Läuse/Pflanze	2 Läuse/Pflanze
Varianten (n=5)	kein Befall	2 Läuse/Pflanze	5 Läuse/Pflanze	2 Läuse/Pflanze	5 Läuse/Pflanze
Sorte	Girola veredelt auf <i>Cucurbita ficifolia</i> L., Anzucht auf der Gartenbaulichen Versuchsstation in Hohenheim unter praxisüblichen Bedingungen				
Klima	Tagesmittel 20,98 °C ± 4 °C, rel. Luftf. 50 % ± 20 %, 18 Std. Belichtung, 433 µE/m²/sec				
Pflanzdichte	Entspricht 1,5 Pflanzen / m²				
Pflanzcontainer und Substrat	10-Liter-Pflanzcontainer, in Floradur Pflanzeerde mit Untersetzern				
Pflanzenschutz	Oxydemetonmethyl 0,25 %, 4. + 8. Woche				
	<i>Encarsia formosa</i> und <i>Amblyseius sp.</i>				
Pflegemaßnahmen	zweimal/Woche, Aufbinden, Entfernen der Früchte bis 7. Nodium und Seitentriebe bis Haltedraht, kappen über Haltedraht, weiterführen mit 2 Seitentrieben bis 0,5 m über Boden.				
Dünger 0,2 %	wie Spätbefall	4,7 g N, 0,99 g P, 6,86 g K, 0,47 g Mg, 3,81 g Ca, 0,07 g Fe reiner Nährstoff		6,6 g N, 1,4 g P, 9,6 g K, 0,66 g Mg, 5,4 g Ca, 0,1 g Fe reiner Nährstoff	
Versuchsdauer	10 Wochen	7 Wochen Zusammenbruch der Pflanzen		6 Wochen Auftreten von Nützlingen	
Versuchsanlage	Einzelpflanzenkäfige Höhe 2,5 m, Fläche 1,5 m², vollständig randomisierte Blockanlage				

Es erfolgte, wie bei den Versuchen unter kontrollierten Bedingungen, die wöchentliche Erfassung von:

- Sproßlänge,
- Blattlänge,
- Blattschäden pro Pflanze (Honigtau, Rußtau in Prozent der Blattfläche und Anzahl durch Deformationen geschädigter Blätter),
- Fruchtansatz und Fruchtertrag pro Pflanze,
- Aphidenzahl pro Pflanze bzw. cm².

Zu Beginn und Ende des Versuchs erfolgte:

- Bestimmung des Pflanzengewichts ohne Wurzelmasse, frisch und trocken (Blätter, Sprossachse, Früchte getrennt). Sämtliche Schnittabfälle sind in der gebildeten Trockenmasse berücksichtigt.

Es wurden folgende Größen berechnet:

- Blattfläche in cm^2 nach Shannag (1989), relativer Zuwachs pro Woche und relative Blattfläche pro Pflanze,
- gebildete Trockenmasse, Zuwachs wöchentlich, Summe Zuwachs absolut und prozentual pro Pflanze,
- Absolute Wachstumsrate (AWR in g pro Woche und Pflanze) nach Hunt (1982),
- Relative Wachstumsrate (RWR \log_e in g pro Woche und Pflanze) nach Hunt (1982),
- Netto-Assimilationsrate (NAR in $\text{g} \cdot \log_e$ pro Woche cm^2 und Pflanze) nach Hunt (1982),
- Leaf-area-ratio pro Pflanze (LAR in cm^2 pro g) nach Hunt (1982),
- Schaden (Gewicht) pro Pflanze nach Wellings et al. (1989),
- Wöchentlicher kumulativer Blattlausindex (Aphiden* Tage/cm^2) nach Wratten et al. (1979),
- Tägliche Wachstumsrate einer Population nach Entwistle and Dixon (1986) pro cm^2 ,
- kumulierter Trockensubstanzentzug (Aphiden / Pflanze * mg * Tage) nach Wratten et al. (1979).

2.5 Versuche zur Schadbilanzierung von *A. gossypii* auf Gewächshausgurke, praxisübliche Gewächshausbedingungen

In diesen dreijährigen Versuchen wurde der Einfluß von unterschiedlichem Initialbefall und Befallszeitpunkten mit *A. gossypii* auf die Populationsentwicklung der Blattlaus sowie das Wachstum, den Ertrag und die Qualität von Gewächshausgurke (*C. sativus* L. Sorte 'Girola' auf *C. ficifolia* L.) untersucht.

Der erste Versuch wurde in einem Gewächshaus in der Versuchsstation für Gartenbau, Universität Hohenheim durchgeführt, das aufgrund seiner Lage stark von Blattlausantagonisten frequentiert wurde. Um dem "Nützlingsdruck" entgegen zu wirken, wurde der Versuch in den Folgejahren in ein separates Foliengewächshaus verlegt. Die Variantenparzellen und Wiederholungen waren mittels Gaze (Insecta 500®) voneinander getrennt und nach oben offen. Da aber ein Befall der Kontrolle durch geflügelte Aphiden nicht vermieden werden konnte, wurde bei Bedarf Heptenophos (0,05 %) in den Kontrollparzellen gegen die Blattläuse appliziert. Die Sorte 'Girola', welche in den Versuchen verwendet wurde, ist nicht mehltautolerant.

Aus diesem Grund mußten alle Parzellen mit Triadimenol gegen Mehltau (600 g/ha) behandelt werden. Die Pflanzen wurden von einem Jungpflanzenbetrieb bezogen. Um eine ausreichende und praxisorientierte Düngung zu gewährleisten, wurde nach Bedarf unter Berücksichtigung des Nährstoffgehaltes des Bodens über die Bewässerung mit Tropfschläuchen gedüngt (nach Empfehlung des Reichenauer Düngeberaters H. Geier). Das Klima wurde durch Thermohygrographen (Klimadiagramme siehe Anhang) erfaßt.

Die Pflege- und Pflanzenschutzmaßnahmen sowie die Ernte wurden mit Unterstützung der Versuchsstation für Gartenbau, Universität Hohenheim nach den in der Praxis üblichen Methoden durchgeführt.

Tab. 2.4.: Versuchsübersicht von drei Jahren Gewächshausversuchen, Praxisbedingungen

	Gewächshausversuch 1	Gewächshausversuch 2	Gewächshausversuch 3
Vorkultur	Balkonpflanzen in Kästen auf Tischen	Getreideeinsaat	
Bodenbearbeitung	Fräse	Tiefengrubber + mischend	
Klimasteuerung	Minimum 18 °C, Lüftung ab 22 °C, Heizung Gas		
Pflanzung	KW 24	KW 22	KW 21
Pflanzdichte	22 Pflanzen pro Parzelle, entspricht 1,5 Pfl./m ²	12 Pflanzen pro Parzelle, entspricht 1,2 Pflanzen/m ²	
Veredelung	-	+	+
Düngung	110 g Hakaphos plus und 23 g Bittersalz pro m ² , Kontrolle über Bodenproben		
Nützlinge, Fallen	<i>E. formosa</i> (1-2 Tiere/m ²), <i>P. persimilis</i> (5-10 Tiere/m ²), <i>Amblyseius sp.</i> (ca. 50 Tiere/m ²), zwei Gelbtafeln und eine Blautafel pro Parzelle		
Behandlung gegen Mehltau und Läuse	KW 30	KW 31	KW 28
	Heptenophos (0,05 %) und Triadimenol (600 g/ha)		
Befallsdatum	KW 26	KW 24 und 28	KW 23 und 27
Varianten	0/0,5/1/1,5 Aphiden pro Pflanze	0/2/5 Aphiden/Pflanze, 2 Befallstermine (2 bzw. 4 Wochen nach Pflanzung)	
Wiederholungen	4	4	4
Versuchsdauer	9 Wochen	14 Wochen	10 Wochen
Beendigung des Versuchs aufgrund von:	Nützlingen, Thripsbefall, Spinnmilben, Staunässe und <i>Fusarium</i>	der Schädigung durch <i>A. gossypii</i>	Nützlingen
Nützlingsinvasion	KW 27	KW 28	KW 25
Versuchsdesign	vollständig randomisierte Blockanlage mit durch Gaze getrennten Parzellen		
Bemerkungen	In allen drei Jahren Randparzellen, Höhe Haltdraht 2,4 m		

2.5.1 Durchführung der Versuche

Wie im Versuch unter teilweise kontrollierten Bedingungen wurden die Blattläuse in den unterschiedlichen Initialbefallsdichten zu den beiden Befallsterminen (s. Tab. 2.4) mittels der Klemmkäfige ausgebracht und für 24 Stunden fixiert. Anschließend wurden die Käfige entfernt, um eine freie Populationsentwicklung zu gewährleisten. Die Erfassung der Aphidendichte erfolgte wie von Kapatos et al. (1996) empfohlen. Das bedeutet, daß zu Beginn die gesamte Pflanze ausgezählt wird; ab Erreichen des Haltedrahtes (2,4 m) wird die Dichte mittels der Vier-Blatt-Methode nach Khalifa (1964) bzw. Heathcote (1972) bestimmt. Bis zu einer Dichte von 500 Individuen pro Blatt konnte die gesamte Zahl der Tiere pro Blatt erfaßt werden. Ab 500 Individuen wurde dann mit einer Schablone (1 cm²) an drei verschiedenen Stellen des Blattes eine Stichprobe ausgezählt und über den Mittelwert auf die Gesamtdichte pro Blatt hochgerechnet.

Um den potentiellen Ertrag zu ermitteln, wurde zweimal pro Woche die Gesamtzahl der geernteten Früchte erfaßt und die Qualität der Früchte (AID Heft 1249, 1992) zur Erfassung der vermarktungsfähigen Ware bestimmt. Im Gewächshausversuch 1 wurde der Folgertrag bis zur Räumung des Bestandes erhoben, um eventuelle Spätfolgen durch den Blattlausbefall berücksichtigen zu können.

Zur Ermittlung von Pflanzen- und Populationswachstum wurden die folgenden Parameter an jeweils drei Pflanzen pro Parzelle erfaßt:

- Aphidenzahl pro Pflanze bzw. cm²,
- Sproßlänge pro Pflanze (bis Haltedraht),
- Blattlänge pro Pflanze, zur Berechnung der Blattfläche nach Shannag (1989),
- Blattschäden pro Pflanze (Honigtau, Rußtau in Prozent der Blattfläche und Anzahl durch Deformationen geschädigter Blätter nach einer Schätzschablone der Fa. Bayer AG®),
- Fruchtertrag und Fruchtqualität pro Pflanze,
- Frischmasse und Trockenmasse und -substanzgehalt zu Beginn und Ende des Versuchs ohne Wurzelmasse sowie die Schnittverluste (Pfleßmaßnahmen) zur Ermittlung der gebildeten Trockenmasse.

Aus den gewonnenen Daten konnten folgende Werte berechnet werden (ohne Berücksichtigung der Wurzelmasse):

- Blattfläche nach Shannag (1989), relativer Zuwachs pro Woche und relative Blattfläche pro Pflanze,
- gebildete Trockenmasse, Gewichtszuwachs wöchentlich, Summe Zuwachs absolut und prozentual pro Pflanze,
- Absolute Wachstumsrate (AWR in g pro Woche und Pflanze) nach Hunt (1982),

- Relative Wachstumsrate (RWR \log_e in g pro Woche und Pflanze) nach Hunt (1982),
- Schaden (Gewicht) pro Pflanze nach Wellings et al. (1989),
- Wöchentlicher kumulativer Blattlausindex (Aphiden*Tage/cm²) nach Wratten et al. (1979),
- Tägliche Wachstumsrate einer Population nach Entwistle and Dixon (1986) pro cm²,
- kumulierter Trockensubstanzentzug (Aphiden / Pflanze * mg * Tage) nach Wratten et al. (1979).

2.6 Auswertung

Die Residuen der Daten wurden mittels SAS berechnet und auf Normalverteilung (proc glm, proc univariate freq normal) getestet. Die Auswahl der statistischen Prozeduren erfolgte nach Dufner et al. (1992). Die Daten wurden bei Bedarf $\log_e(x+1)$ -, bzw. $\sqrt{x+1}$ -transformiert. Für die Varianzanalyse wurden die Prozedur GLM (general linear models) sowie der LSD-Test (least significant difference = T-Test) auf signifikante Unterschiede verwendet (SAS Inst. Inc., 1988a). Da die GLM-Prozedur von einem linearen Regressionsmodell ausgeht, ist die Auswertungsmethode weitgehend parameterfrei (Katz 1977, Brown 1993). Sofern die Daten nicht normalverteilt waren, wurde der zum paarweisen Vergleich geeignete Wilcoxon-Test bzw. Nemenyi-Test für den multiplen parameterfreien Mittelwertsvergleich durchgeführt (Lozán & Kausch 1998, Köhler et al. 1996, Moll 1996, Dufner et al. 1992). Die Signifikanzen wurden mittels H- bzw. Kruskal-Wallis-Test ($\alpha=0,05$) mit Hilfe von SAS nach Moll (1996) ermittelt.

Die Regressionsmodelle und Grafiken wurden mit Sigmaplot erstellt. Zur besseren Übersicht wurde bei der Skalierung der Ordinate der Nullpunkt verschoben. Die Signifikanzen werden im Ergebnisteil bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha < 0,05$ mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet. Bei der Regressionsanalyse wird neben der Funktionsgleichung das Bestimmtheitsmaß angegeben.

3 Ergebnisse

3.1 Versuche unter kontrollierten Bedingungen

3.1.1 Vermehrungspotential von *A. gossypii* auf der Gurkensorte 'Girola'

Die Daten waren nur annähernd normalverteilt und rechtssteil. Signifikante Unterschiede zwischen der veredelten und der unveredelten Variante sind durch verschiedene Buchstaben gekennzeichnet (Tabelle 3.1).

Tab. 3.1: Mittelwerte und Standardabweichungen verschiedener Wachstumsparameter von *A. gossypii* auf der Gurkensorte 'Girola', unveredelt (-), veredelt (+), kontrollierte Bedingungen

Veredelung	♀-gewichte [µg]	RWR log _e [µg TM / Tag]	ED [Tage]	TD [Tage]	L/♀/D über TD	r _m tägl.
Girola -	421,45 SD ±97,98 A (n=30)	0,55 SD ±0,071 A (n=30)	6,45 SD ±0,69 A (n=20)	8,74 SD ±0,93 A (n=20)	7,18 SD ±1,67 A (n=20)	0,34 SD ±0,055 A (n=20)
Girola +	692,67 SD ±66,61 B (n=15)	0,45 SD ±0,031 B (n=15)	7,3 SD ±1,18 B (n=15)	9,9 SD ±1,6 B (n=15)	6,42 SD ±2,098 B (n=15)	0,29 SD ±0,055 B (n=15)

RWR = Rel. Wachstumsrate, ED = Entwicklungsdauer, TD = Generationsdauer, L/E/D = Larven pro Weibchen und Tag, r_m Spezifische Vermehrungsrate nach Wyatt & White (1977); unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen die signifikanten Unterschiede zwischen den Faktorstufen.

A. gossypii entwickelte sich auf der unveredelten Variante schneller zur Imago (Entwicklungsdauer 6,45 Tage, SD ±0,69). Die Blattlaus hatte über die Dauer einer Generation auf der unveredelten Variante (8,74 Tage SD ±0,93) eine höhere Vermehrungsrate, als auf der veredelten Variante (7,18, SD ±1,67). Somit wuchs die Population auf der unveredelten Variante schneller an. Die mittlere Lebensdauer der Tiere betrug in diesem Versuch 23 Tage und die mittlere Summe der Larven pro Weibchen über die Reproduktionsdauer 89 Tiere (n=10). Daraus ergab sich eine Nettovermehrungsrate von etwa 4 Larven pro Weibchen und Tag auf der unveredelten Pflanze. Über 50 % der Nachkommen wurden während der ersten 8-9 Tage (Generationsdauer) nach Beginn der Reproduktionsphase abgesetzt.

3.1.2 Einfluss von Sorte und Veredelung auf das Vermehrungspotential von *A. gossypii*

Auch diese Daten folgten einer überwiegend linkssteilen und nur zum Teil einer Normalverteilung. Große Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede der Faktorstufe „Veredelung“ und kleine Buchstaben die Unterschiede hinsichtlich der Veredelung innerhalb der Faktorstufe „Sorte“ (Tabelle 3.2 Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 0,05$). Die Korrelationsanalyse der biologischen Variablen (Überschreitungswahrscheinlichkeit $> 0,05$ und $\alpha = 0,05$) er-

gab außer den üblichen Korrelationen der direkt voneinander abhängigen Parametern keine weiteren Abhängigkeiten, die über $r = 0,5$ hinausgingen.

Tab. 3.2: Mittelwerte und Standardabweichungen verschiedener Wachstumsparameter von *A. gossypii* in Abhängigkeit von Gurkensorte und Veredelung (n=10)

Wachstumsparameter	Sorten					
	'Girola'		'Kalunga'		'Sudica'	
	veredelt	unveredelt	veredelt	unveredelt	veredelt	unveredelt
Weibchengewicht [μg]	617,19 SD $\pm 62,5$ C	595,76 SD $\pm 48,5$ ABC	611,61 SD $\pm 47,3$ ABCa	571,58 SD $\pm 34,6$ Ab	621,4 SD $\pm 59,7$ B	586 SD ± 47 ABC
RWR tägl.	0,591 SD $\pm 0,012$	0,586 SD $\pm 0,01$	0,592 SD $\pm 0,09$ a	0,584 SD $\pm 0,04$ b	0,587 SD $\pm 0,07$	0,584 SD $\pm 0,08$
Ed [Tage]	7,11 SD $\pm 0,28$	7,09 SD $\pm 0,26$	7,17 SD $\pm 0,24$	7,16 SD $\pm 0,24$	6,97 SD $\pm 0,51$	7,13 SD $\pm 0,36$
Prälarvpositions-dauer [Std.]	10,60 SD $\pm 4,93$ AB	12,70 SD $\pm 5,31$ A	11,70 SD $\pm 4,76$ AB	12,40 SD $\pm 4,84$ AB	8,30 SD $\pm 2,75$ B	12,10 SD $\pm 4,28$ AB
Td [Tage]	9,64 SD $\pm 0,38$	9,60 SD $\pm 0,35$	9,71 SD $\pm 0,33$	9,70 SD $\pm 0,32$	9,44 SD $\pm 0,69$	9,66 SD $\pm 0,49$
Rd [Tage]	14,60 SD $\pm 2,07$	14,70 SD $\pm 1,89$	14,20 SD $\pm 2,04$	14,50 SD $\pm 2,17$	15,20 SD $\pm 2,74$	13,7 SD $\pm 2,36$
Ld [Tage]	39,40 SD $\pm 4,33$	41,40 SD $\pm 2,68$	40,00 SD $\pm 3,53$	40,40 SD $\pm 2,07$	40,20 SD $\pm 1,99$	38,40 SD $\pm 4,20$
Sum. Larven über Td*	92,1 SD $\pm 6,76$ ACD	86,0 SD $\pm 6,60$ ABD	92,6 SD $\pm 8,11$ ABCa	86,1 SD $\pm 6,71$ BCDb	88,3 SD $\pm 7,06$ ABD	84,1 SD $\pm 3,41$ BCD
Sum. Larven über Rd*	103,8 SD $\pm 8,92$ ACa	94,7 SD $\pm 8,63$ ABCb	101,0 SD $\pm 10,32$ AC	98,7 SD $\pm 8,07$ ABC	100,8 SD $\pm 11,81$ ABCa	90,8 SD $\pm 7,02$ Bb
Netto- Re- prod.-rate**	2,67 SD $\pm 0,43$ ABa	2,30 SD $\pm 0,25$ Ab	2,54 SD $\pm 0,19$ B	2,45 SD $\pm 0,28$ AB	2,51 SD $\pm 0,3$ AB	2,39 SD $\pm 0,36$ AB
r_m -Wert tägl.	0,344 SD $\pm 0,01$	0,3403 SD $\pm 0,01$	0,343 SD $\pm 0,01$	0,338 SD $\pm 0,01$	0,348 SD $\pm 0,03$	0,337 SD $\pm 0,02$

*Larven pro Weibchen, **Larven pro Weibchen und Tag über Ld, RWR = Rel. Wachstumsrate, Ed = Entwicklungsdauer, Td = Generationsdauer, Ld = Lebensdauer, r_m Spezifische Vermehrungsrate nach Wyatt & White (1977); Große Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede der Faktorstufe ‚Veredelung‘ und kleine Buchstaben die Unterschiede hinsichtlich der Veredelung innerhalb der Faktorstufe ‚Sorte‘ (Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 0,05$).

Die Analyse der Daten ergab keine Unterschiede hinsichtlich des Sorteneffektes sondern nur Unterschiede in Abhängigkeit vom Faktor Veredelung.

- Für Ld (Lebensdauer), Ed (Entwicklungsdauer), Td (Generationsdauer), Rd (Reproduktionsdauer) und den r_m -Wert (Spez. Vermehrungsrate) bestanden keinerlei signifikante Unterschiede, weder zwischen den Sorten noch bezüglich der Veredelung.
- Hinsichtlich des Merkmals ‚Veredelung‘ waren bei den Variablen ‚Weibchengewichte in μg ‘, ‚Relative Wachstumsrate (RWR)‘ und ‚Summe Larven über die Generationsdauer‘ bei der Sorte ‚Kalunga‘ die Werte der veredelten Variante signifikant höher. Das gleiche traf bei den Sorten ‚Girola‘ und ‚Sudica‘ für die Variablen ‚Summe der Larven über die Reproduktionsdauer‘ und ‚Nettoreproduktionsrate‘ zu.
- Es lagen keine signifikanten Wechselwirkungen hinsichtlich der Effekte vor.

Aus den Tabellenwerten abgeleitete Tendenzen ergeben hinsichtlich der Veredelung, dass die Prälarvpositionsdauer bei der unveredelten Variante höher war. Die Sorte ‚Sudica‘ verhielt sich hinsichtlich der Variablen Entwicklungsdauer (niedriger), Generationsdauer (niedriger), Reproduktionsdauer (höher) und Lebensdauer (höher) umgekehrt in Bezug auf das Merkmal ‚Veredelung‘, wie die beiden anderen Sorten (‚Girola‘ und ‚Kalunga‘). Die Werte Weibchengewichte, RWR, ‚Summe der Larven über Td‘ und Rd sowie die Nettoreproduktionsrate waren bei allen Sorten für die unveredelte Variante niedriger.

Ein Vergleich des Vermehrungspotentials von *A. gossypii* auf der Gurkensorte ‚Girola‘ zwischen den Versuchen unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus und in der Klimakammer ergab, dass die Vermehrungsrate innerhalb einer Generation in der Klimakammer geringer war, die Nettoreproduktionsrate aber höher. Dies ist auf die geringere Lebensdauer der Imagines in der Klimakammer zurückzuführen. Die Lebensbedingungen im Gewächshaus scheinen für *A. gossypii* günstiger gewesen zu sein als in der Klimakammer.

Die Überprüfung der altersabhängigen Vermehrungsrate (Larven/Weibchen/Tag) von *A. gossypii* auf den unterschiedlichen Sorten sowie ihre Abhängigkeit von der Veredelung ergab, dass das Maximum der Vermehrung in den ersten neun Tagen nach der Häutung zum adulten Tier lag (Zum Vergleich Generationsdauer und Summe der Larven über Generationsdauer s. Tab. 3.2).

Das absolute Maximum der altersabhängigen Vermehrungsrate (Larven/Weibchen/Tag) wurde bei den unveredelten Varianten eher erreicht als bei den veredelten. Die Fruchtbarkeit und die Vermehrungsrate waren auf der veredelten Variante insgesamt aber höher (Pd signifikant reduziert, Summe der Larven signifikant höher). Dies widerspricht den Ergebnissen aus dem Versuch unter kontrollierten Bedingungen in der Klimakammer.

Zur Berechnung wurden nur die Daten der veredelten Varianten (‚Girola‘, ‚Kalunga‘, ‚Sudica‘) verwendet. Dies erschien gerechtfertigt, da zwischen den veredelten Sorten keine signifikanten Unterschiede vorlagen. Anhand der Vermehrungsrate wurde die Anzahl der Larven pro Weibchen über die Zeit summiert.

Der Reproduktionsverlauf folgte der Gleichung (n = 30):

$$Y = 103,91 / (1 + e^{-(x - 5,0679 / 2,3542)})$$

$$\infty = 0,005; r^2 = 0,998$$

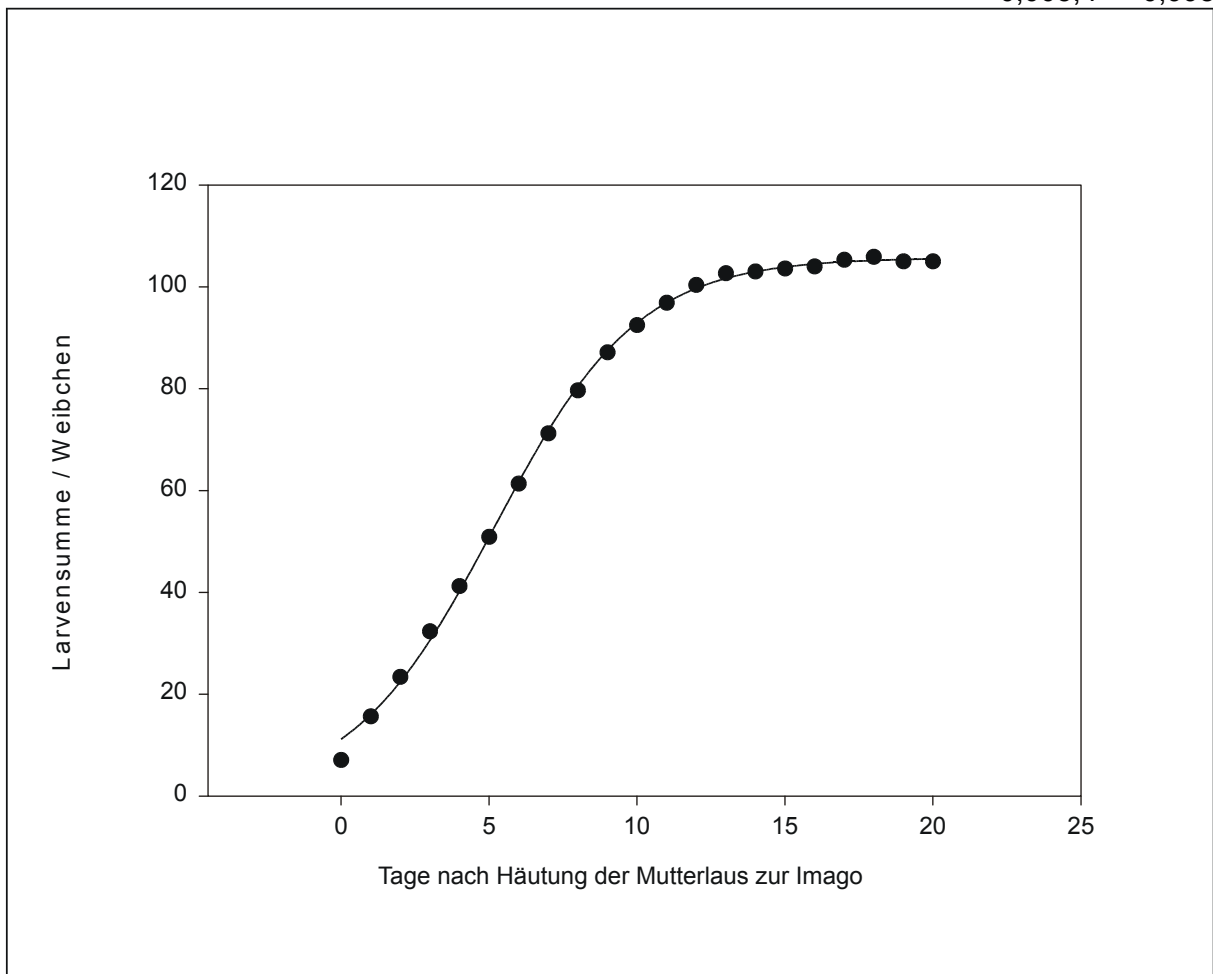


Abb. 3.1: Die Reproduktion auf veredelten Gurken von *A. gossypii* über die Reproduktionsdauer, kontrollierte Bedingungen (n=30)

Das Populationswachstum der Grünen Gurkenlaus auf veredelten Gurkensorten folgte der Gleichung:

$$y = e^{(0,37 \times x / 0,6807)}$$

$$n_0 = 1; \infty = 0,0001; r^2 = 0,775$$

Bei einer Summierung der Individuenzahlen (Aphidenmutterläuse und ihre Nachkommen) pro Wiederholung ging die Population nach ca. 16 Tagen in das exponentielle Wachstum über (s. Abb. 3.2).

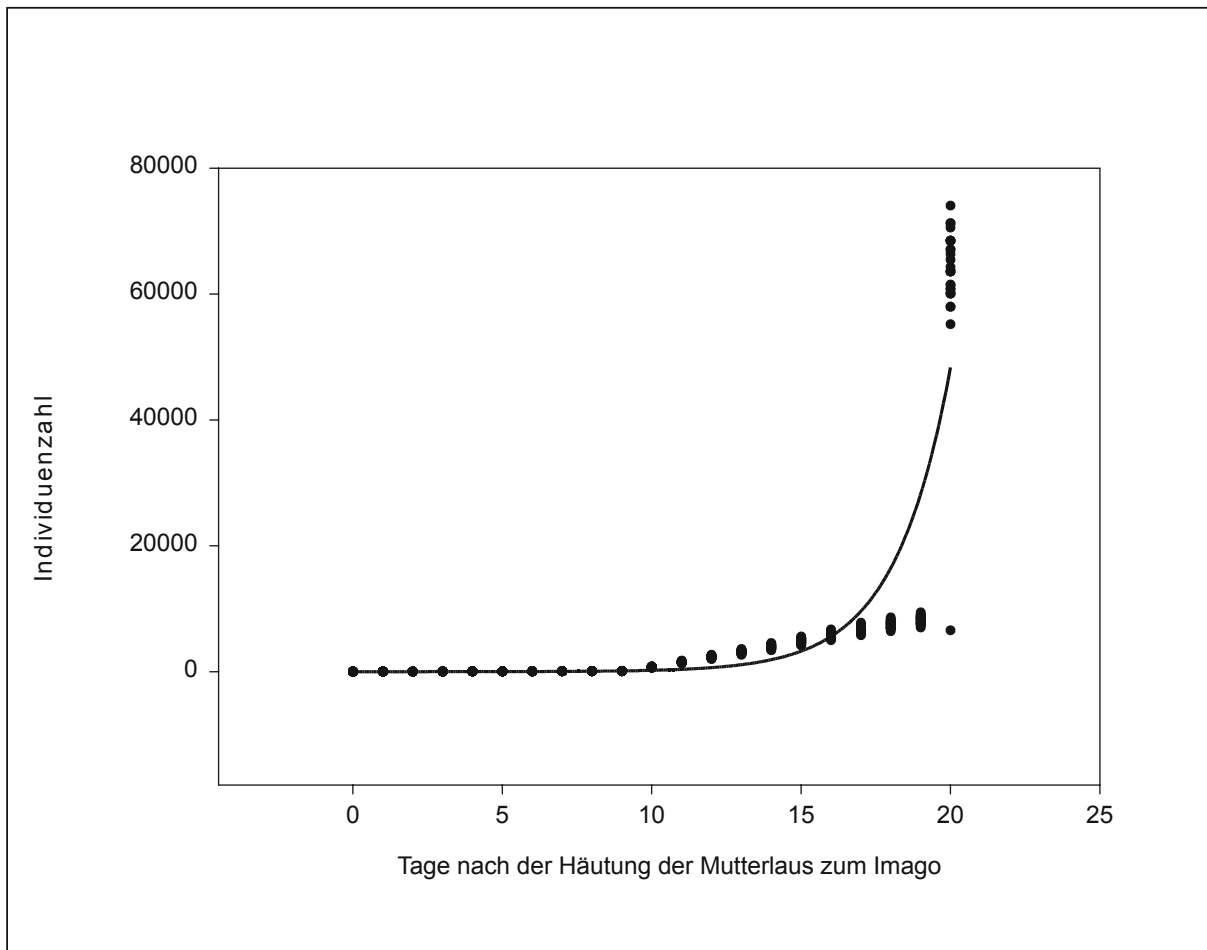


Abb. 3.2: Vermehrung von *A. gossypii* auf veredelten Gurken, kontrollierte Gewächshausbedingungen (n=30)

3.1.3 Assimilatentzug durch *A. gossypii* und ihr Wachstum auf der Sorte 'Girola'

Die Untersuchung ergab einen Trockensubstanzgehalt der Erstlarven von im Mittel 42,47 % (SD $\pm 6,81$) und einen der adulten Tiere von 33,56 % (SD $\pm 2,86$). Ein einzelnes Tier schied über die Entwicklungsdauer im Mittel 1213 μg Trockenmasse (SD $\pm 307,61$) in Form von Honigtau aus. Die Menge der Honigtauausscheidung pro Tag nahm mit zunehmendem Entwicklungsstadium der Laus zu (0,07 mg L1/ Tag SD $\pm 0,03$ bis 0,25 mg ♀ / Tag SD $\pm 0,12$). Der Pflanze wurden von einem einzelnen Individuum über eine mittlere Entwicklungsdauer von 7,1 Tagen für den Aufbau von Körpermasse und die Ausscheidung von Honigtau im Mittel insgesamt 1,348 mg Trockenmasse (SD $\pm 0,311$) entzogen.

Die Summe der entzogenen Trockenmasse wurde wie folgt geschätzt (s. Tab. 3.3):

$$\text{Entzug pro Individuum} = \Sigma(\text{TM } \text{♀} - \text{TM L1}) + \text{TM 4 Exuvien} + \text{TM Honigtau}$$

Aus Gründen der Vereinfachung wurden durch die Respiration der Laus veratmete Trockenmasse sowie Ausscheidungen, die nicht mit dem Honigtau erfasst wurden, nicht berücksichtigt.

Tab. 3.3: Die tägliche relative Wachstumsrate ($\mu\text{g} / \text{Tag}$), Mittelwerte und Standardabweichungen des Frisch- und Trockeneinzelgewichts (μg) von *A. gossypii* und ihren Exuvien

Frischgewicht		RWR	Trockengewicht		RWR	Trockengewicht
Erstlarve [μg] (n=20)	Imago [μg] (n=50)		Erstlarve [μg] (n=20)	Imago [μg] (n=50)		4 Exuvien [μg]
17,72 SD \pm 4,1	393,75 SD \pm 82,23	0,52 SD \pm 0,05	7,83 SD \pm 2,42	130,92 SD \pm 15,86	0,45 SD \pm 0,04	11,697 SD \pm 3,42

Der Honigtauanteil an der entzogenen Trockenmasse betrug 89,52 % (SD \pm 2,72), der Rest von nur 11,48 % (SD \pm 2,72) wurde für den Körperaufbau der Laus verbraucht. Die Inhaltsstoffe des Honigtaus bestanden zu etwa 42 % aus Kohlenhydraten und Aminosäuren (s. Tab. 3.4). Der Stickstoff- und Proteinanteil in den Honigtauproben lag unterhalb der Nachweisgrenze. Saccharose konnte nur in zwei Proben nachgewiesen werden. Bei den Blattläusen wurde auf Grund der geringen Probenmenge nur der Gehalt an Kohlenstoff (ca. 52 % in der Trockensubstanz) und Stickstoff (ca. 8 % in der Trockenmasse) bestimmt. Die Zusammensetzung der verbliebenen Aschenreste wurde nicht analysiert. Pro Aphide und Tag wurden der Gurkenpflanze etwa 0,19 mg Trockenmasse (0,0794 mg Kohlenstoff, 0,00177 mg Stickstoff) durch *A. gossypii* entzogen.

Tab. 3.4: Mittelwerte und Standardabweichungen in % der Zusammensetzung der Trockensubstanz von *A. gossypii* und ihrem Honigtau (n=10)

% in der Trockensubstanz	Erstlarven	Adulte	Exuvien	Honigtau
Kohlenstoff	50,339 % SD \pm 4,178	51,761 % SD \pm 0,428	54,706 % SD \pm 6,477	39,87 % SD \pm 0,563
Stickstoff	9,057 % SD \pm 2,014	7,758 % SD \pm 0,559	7,555 % SD \pm 2,463	-
Ges. lösliche KH	-	-	-	41,37 % SD \pm 7,21
Glucose	-	-	-	3,372 % SD \pm 0,794
Fructose	-	-	-	2,138 % SD \pm 0,292
Saccharose*	-	-	-	1,08 % SD \pm 0
Protein	-	-	-	-
Aminosäuren	-	-	-	0,325 % SD \pm 0,126

*nur in 2 Proben von n=10

3.1.4 Schadbilanzierung der Saugtätigkeit von *A. gossypii* auf der Sorte 'Girola'

Die Daten aus den drei durchgeführten Versuchen wurden auf Grund der geringen Zahl von Wiederholungen (n=5) für die Auswertung und die Berechnung der Regressionen zusammengefasst (n=15). Eine höhere Wiederholungszahl war auf Grund der räumlichen Beschränkung und des zeitlichen Aufwands nicht möglich. Die Versuche wurden mit drei Vari-

anten durchgeführt: Variante 0 (Kontrolle, kein Befall), Variante 1 (Initialbefall, 5 aptere Mutterläuse), Variante 2 (Initialbefall, 10 aptere Mutterläuse). Die Ergebnisse sind im Anhang, nach Einzelversuchen geordnet, beigefügt. Eine Zusammenfassung der Daten erschien akzeptabel, da alle Versuche in derselben Klimakammer und unter den gleichen Bedingungen durchgeführt wurden. Die Daten waren nicht normalverteilt.

3.1.4.1 Sprosslängenwachstum, wöchentliche Bonitur

Die Sprosslänge nahm zwischen Woche null bis vier bei der Variante 0 im Mittel um 110,53 cm gegenüber den beiden anderen Varianten signifikant zu. Bei diesen nahm die Sprosslänge nur um 77,17 cm (Variante 1) bzw. 70,41 cm (Variante 2) zu. Der größte Zuwachs war zwischen Woche 1 und 2 zu beobachten. Ab Woche zwei war der Zuwachs der Variante 0 mit ca. 30 cm pro Woche relativ konstant. Das Sprosslängenwachstum der Varianten 1 und 2 war ab der 3. Woche signifikant erniedrigt (s. Tab. 3.5).

Tab. 3.5: Mittlere Sprosslänge und Standardabweichungen in cm pro Pflanze von drei Varianten (0 / 5 / 10 Aphiden Initialbefall pro Pflanze, n=15), kontrollierte Bedingungen

Wochen	Kein Befall	5 Aphiden	10 Aphiden
0	21,60 SD ±3,47 A	22,00 SD ±4,13 A	23,13 SD ±5,85 A
1	40,93 SD ±8,56 B	40,80 SD ±13,24 B	45,87 SD ±14,52 B
2	75,47 SD ±17,28 C	76,33 SD ±28,48 C	80,13 SD ±24,91 C
3	106,93 SD ±26,11 D	92,79 SD ±27,05 C	90,53 SD ±29,62 C
4	132,13 SD ±24,99 a E	99,17 SD ±22,78 b D	93,54 SD ±25,55 b C

Kleine Buchstaben: Unterschiede der Faktorstufe Befall innerhalb der Faktorstufe Woche. Große Buchstaben: Unterschiede der Faktorstufe Woche innerhalb der Faktorstufe Befall.

3.1.4.2 Fruchtansatz, wöchentliche Bonitur

Die Zahl der angesetzten Früchte nahm wöchentlich stetig zu. Der Anstieg der Fruchtzahl in den Varianten 1 und 2 war geringer im Vergleich zu Variante 0 und nahm zwischen Woche drei und vier sogar ab. Dieser Unterschied zwischen den Varianten 1, 2 und der Variante 0 war erst in Woche vier signifikant, wobei wieder keine signifikanten Unterschiede zwischen den befallenen Varianten 1 und 2 vorlagen. Die kumulative Summe der angesetzten Früchte pro Pflanze betrug 27,14 bei Variante 0, 17,67 bei den Varianten 1 und 16,52 bei Variante 2 (s. Tab. 3.6). Dies würde bei Erreichen der Erntereife der Früchte einen um 61,76 % bis 72,63 % reduzierten Ertrag im Falle eines Blattlausbefalls bedeuten. Die Früchte werden abgestoßen.

Tab. 3.6: Mittlerer Fruchtansatz und Standardabweichungen pro Pflanze bei drei Varianten (0 / 5 / 10 Aphiden Initialbefall pro Pflanze, n=15), kontrollierte Bedingungen

Wochen	Kein Befall	5 Aphiden	10 Aphiden
0	0,00 SD \pm 0 A	0,00 SD \pm 0 A	0,00 SD \pm 0 A
1	2,60 SD \pm 3,83 B	2,60 SD \pm 3,87 B	2,00 SD \pm 3,00 B
2	6,60 SD \pm 4,44 C	4,13 SD \pm 2,36 B	5,20 SD \pm 2,04 C
3	7,27 SD \pm 3,26 C	6,86 SD \pm 2,88 C	6,4 SD \pm 3,23 DC
4	10,67 SD \pm 3,87 Da	4,08 SD \pm 2,43 Bb	2,92 SD \pm 2,87 BCEb

Kleine Buchstaben: Unterschiede der Faktorstufe Befall innerhalb der Faktorstufe Woche. Große Buchstaben: Unterschiede der Faktorstufe Woche innerhalb der Faktorstufe Befall.

Tab. 3.7: Mittlere Blattfläche (cm²/Pflanze) und Standardabweichungen von drei Varianten (0 / 5 / 10 Aphiden Initialbefall pro Pflanze, n=15), kontrollierte Bedingungen

Wochen	Kein Befall	5 Aphiden	10 Aphiden
0	801,64 SD \pm 316,23 A	822,11 SD \pm 343,45 A	877,14 SD \pm 422,28 A
1	1684,03 SD \pm 381,34 B	1577,81 SD \pm 535,16 B	1836,72 SD \pm 632,78 B
2	3076,93 SD \pm 660,09 C	2974,94 SD \pm 1076,69 C	3261,84 SD \pm 1183,52 C
3	4744,51 SD \pm 1358,26 Da	4055,01 SD \pm 1472,28 Dab	3767,86 SD \pm 1550,79 Cb
4	6524,22 SD \pm 1626,99 Ea	3755,74 SD \pm 998,59 CDb	3167,99 SD \pm 975,04 Cb

Kleine Buchstaben: Unterschiede der Faktorstufe Befall innerhalb der Faktorstufe Woche. Große Buchstaben: Unterschiede der Faktorstufe Woche innerhalb der Faktorstufe Befall

3.1.4.3 Blattfläche, wöchentliche Bonitur

Die Blattfläche der Variante 0 nahm über alle Wochen hinweg stetig und signifikant zu. Ab den Tagen 12 - 13 nach Versuchsbeginn war bei den Varianten 1 und 2 die Blattfläche gegenüber der Variante 0 reduziert (s. Abb. 3.3). Bei Variante 2 war zu Beginn eine geringfügige nicht signifikante Förderung des Blattflächenwachstums durch den Blattlausbefall zu beobachten. Signifikante Unterschiede zwischen den Varianten traten aber erst ab Woche drei auf, wobei sich nur Variante 2 signifikant von der Kontrolle unterschied. Die Blattfläche der Variante 1 war erst ab Woche vier signifikant gegenüber der Kontrolle reduziert (s. Tab. 3.7).

Eine Bewertung der Größe der Blattfläche und ihres Zuwachses erschien schwierig, da bei beiden Befallsvarianten (1 und 2) die Ausgangsblattfläche höher war als bei Variante 0. Aus diesem Grund wurden unter anderem die ‚Relative Blattfläche‘ (s. Abb. 3.3) und der ‚Relative wöchentliche Zuwachs‘ (Beschreibung siehe Anhang) zur Auswertung herangezogen. Die Relative Blattfläche gibt das Wachstum der Blattfläche relativ zur Startblattfläche wieder und der Relative Zuwachs die Blattfläche im Verhältnis zur Blattfläche des vorangegangenen Messtermins. Der Verlauf der relativen Blattfläche wird durch folgende Gleichung beschrieben:

$$y = a / 1 + e^{-[(x-x_0)/b]} \quad (\alpha = 0,005)$$

Variante 0	a = 11,57	b = 8,864	x ₀ = 20,412	r ² = 0,82
Variante 1	a = 4,96	b = 5,134	x ₀ = 8,621	r ² = 0,64
Variante 2	a = 3,81	b = 3,833	x ₀ = 5,114	r ² = 0,53

Der Relative Zuwachs war bei der Variante 0 ab Woche zwei konstant (ca. 1400 cm² pro Woche) und nahm bei den anderen Varianten (1 und 2) beginnend in Woche 2 signifikant ab. Der Zuwachs der Varianten unterschied sich ab Woche drei signifikant (Variante 0: 1,4 SD ±0,25, Variante 1: 0,92 SD ±0,23 Variante 2: 0,86 SD ±0,21). In Woche vier bestand dieser Unterschied nur noch zur Variante 0 und nicht mehr zwischen den Varianten 1 und 2. Die Ursache dieser Unterschiede lag im Absterben der Blätter der Befallsvarianten (Variante 1 und 2), wogegen die Blattfläche von Variante 0 weiter wuchs (s. Tab. 3.7). Die Größe dieser Reduktion der Blattfläche betrug im Vergleich zur Variante 0 (= 100 %) 43 % bei Variante 1 und 52 % bei Variante 2.

Blattschäden (Deformationen der Blattspreite) traten ab der ersten Befallswoche bei beiden Befallsvarianten (Variante 1 und 2) auf. Die Schädigungen nahmen wöchentlich signifikant zu und waren bei der Variante 1 insgesamt niedriger als bei Variante 2, unterschieden sich aber nicht signifikant.

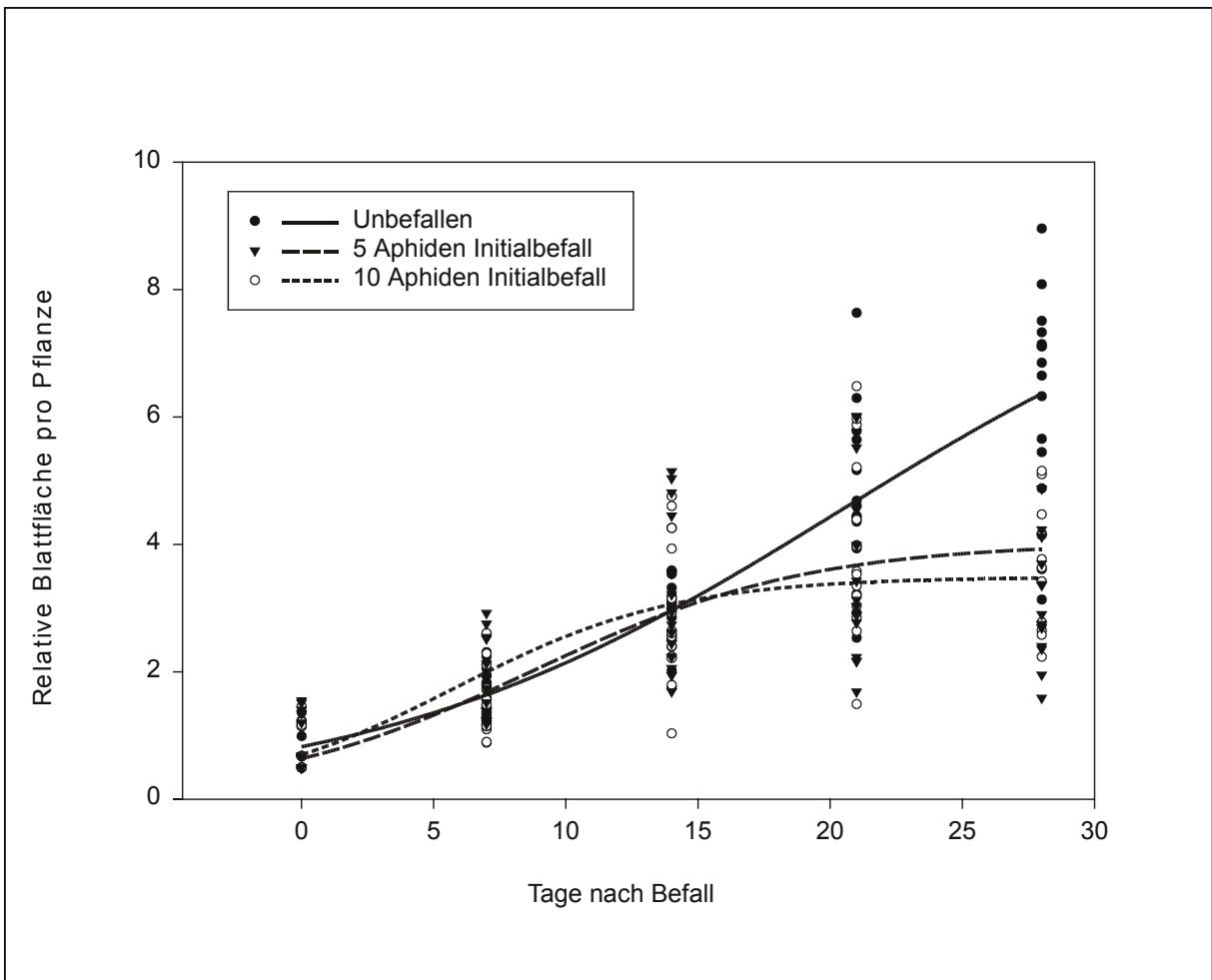


Abb. 3.3: Verlauf des Blattflächenwachstums als Relative Blattfläche pro Pflanze unter kontrollierten Bedingungen, 3 Varianten (0 / 5 / 10 Aphiden Initialbefall pro Pflanze, n=15)

3.1.4.4 Populationswachstum, wöchentliche Bonitur

Die Populationsdichte (Individuen/cm²) stieg wöchentlich signifikant an und erreichte ein Maximum von 17-18 Individuen pro Quadratzentimeter Blattfläche (s. Tab. 3.8). Die Individuendichten der Varianten 1 und 2 unterschieden sich nur in Woche null und drei signifikant. Der Kumulative Blattlausindex als Merkmal von Befallsdauer (Tage) und Individuendichte (Individuen/cm²) unterschied sich nicht signifikant zwischen den Varianten 1 und 2. Das Populationswachstum der Variante 1 (50fache Zunahme von Woche 0 auf 1) war im Verhältnis höher als das der Variante 2 (40fache Zunahme Woche 0 auf 1). Daraus resultierte, dass sich die Individuendichten der beiden Varianten angleichen. Dies wird durch die Höhe der Vermehrungsraten (r_m -Wert nach Entwistle & Dixon (1986)) belegt, aus denen deutlich hervorgeht, dass bei geringerer Ausgangsdichte das Populationswachstum höher war. Die Vermehrungsraten der Varianten 1 und 2 unterschieden sich nur in Woche eins signifikant. Die Vermehrungsrate war zu Beginn mit $r_{m1} = 0,552$ (SD $\pm 0,05$) und $r_{m2} = 0,526$ (SD $\pm 0,03$) am höchsten und nahm bis zu einem Endwert von $r_{m1} = 0,126$ SD $\pm 0,05$) und

$r_{m2} = 0,107$ (SD $\pm 0,05$) ab. Das gewichtete Mittel der Befallsvarianten betrug $r_{m1} = 0,247$ (SD $\pm 0,215$) und $r_{m2} = 0,234$ (SD $\pm 0,204$) pro Woche.

Tab. 3.8: Mittelwerte und Standardabweichungen der Populationsdichte und Wachstumsrate (cm²/Pflanze) von zwei Varianten (5/10 Aphiden Initialbefall pro Pflanze, n=15), kontrollierte Bedingungen

Varianten	Wochen				
	0	1	2	3	4
Individuendichte / cm ² und Pflanze					
Variante 1	0,007 SD $\pm 0,003$ Ab	0,179 SD $\pm 0,093$ B	2,63 SD $\pm 1,41$ C	7,04 SD $\pm 1,64$ Db	17,28 SD $\pm 4,95$ E
Variante 2	0,014 SD $\pm 0,005$ Ac	0,25 SD $\pm 0,11$ B	3,62 SD $\pm 1,58$ C	8,87 SD $\pm 1,64$ Dc	18,45 SD $\pm 4,32$ E
Kumulativer Blattlausindex in Blattlaustagen pro cm ² und Pflanze					
Variante 1	0,00 SD $\pm 0,00$ A	0,65 SD $\pm 0,33$ B	10,49 SD $\pm 5,07$ C	45,12 SD $\pm 11,79$ D	131,77 SD $\pm 27,57$ E
Variante 2	0,00 SD $\pm 0,00$ A	0,92 SD $\pm 0,39$ B	14,45 SD $\pm 5,78$ C	58,14 SD $\pm 13,78$ D	151,73 SD $\pm 19,54$ E
Tägliche Wachstumsrate der Population nach Entwistle & Dixon (1986)					
Variante 1	0,00 SD ± 0 A	0,551 SD $\pm 0,05$ Bb	0,374 SD $\pm 0,12$ C	0,157 SD $\pm 0,101$ D	0,126 SD $\pm 0,05$ D
Variante 2	0,00 SD ± 0 A	0,527 SD $\pm 0,02$ Bc	0,378 SD $\pm 0,09$ C	0,142 SD $\pm 0,08$ D	0,107 SD $\pm 0,05$ D

Kleine Buchstaben: Unterschiede der Faktorstufe Befall innerhalb der Faktorstufe Woche. Große Buchstaben: Unterschiede der Faktorstufe Woche innerhalb der Faktorstufe Befall.

Das Populationswachstum kann durch folgende Gleichung beschrieben werden ($\alpha = 0,005$):

$$Y = a * e^{bx}$$

Variante 1 a = 0,367 b = 0,1375 r² = 0,88

Variante 2 a = 0,2104 b = 0,1583 r² = 0,83

Da sich die Populationsdichten sowie der Blattlausindex der Varianten 1 und 2 nicht dauerhaft signifikant unterschieden, wurden die Vermehrungsdaten zu einer Regressionsgleichung zusammengefasst. Die Wachstumsrate nach Entwistle & Dixon (1986) betrug 0,128. Legt man die Werte zugrunde und berechnet getrennt nach Variante 1 und 2 so ergeben sich Werte von 0,234 bis 0,248.

Das Populationswachstum wird durch folgende Gleichung beschrieben (r² = 0,886):

$$Y = 0,5032 * e^{0,128 x}$$

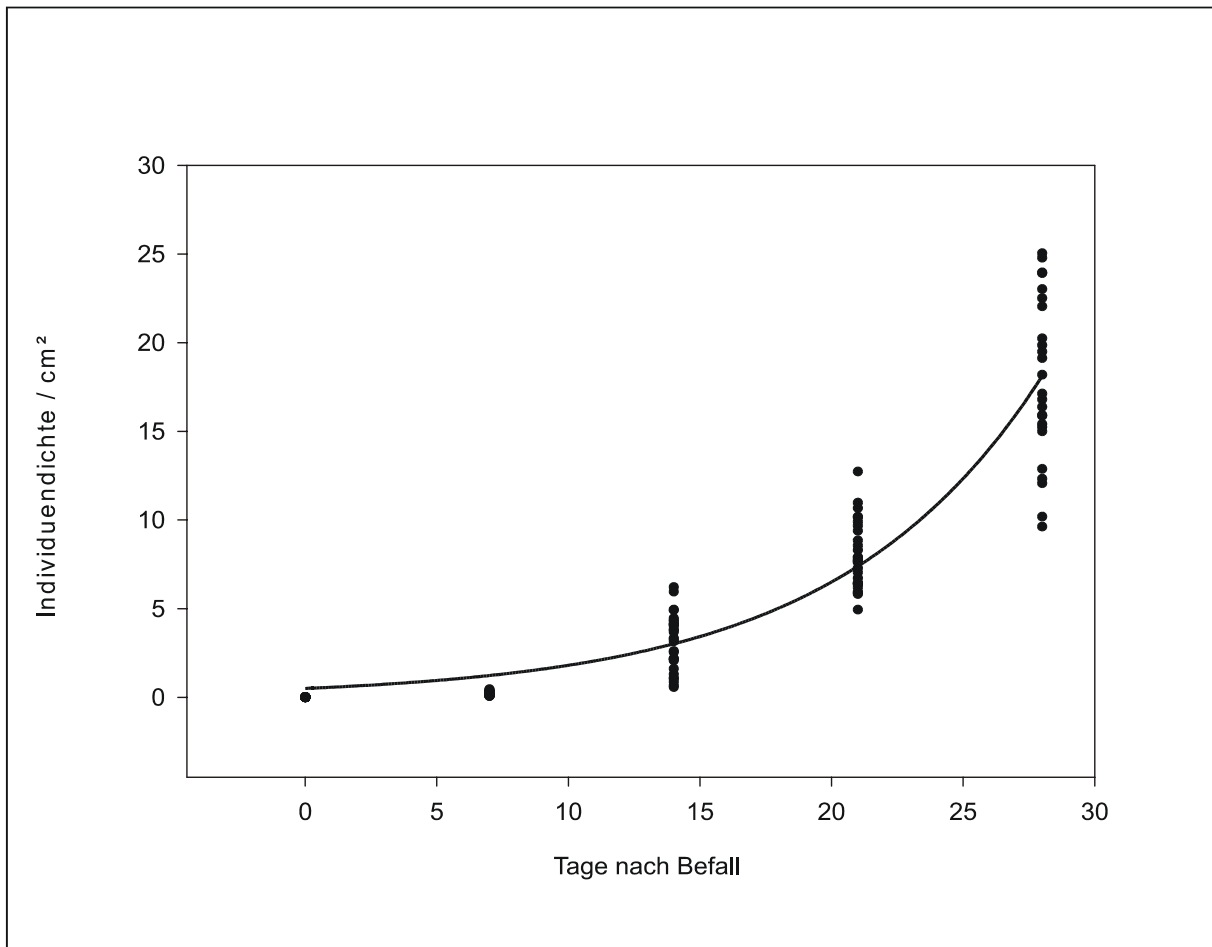


Abb. 3.4: Populationswachstum von *A. gossypii*; Vergleich der Regressionen der einzelnen Varianten (5 / 10 Aphiden Initialbefall pro Pflanze, n=15) mit der Regression der zusammengefassten Daten, kontrollierte Bedingungen

Bereits ab der ersten Woche wurden vereinzelt alatoide Morphen geboren. Eine deutliche Abwanderung durch alatoide Morphen fand aber erst ab Woche zwei statt. Ab Woche drei (Tag 21 nach Versuchsbeginn) waren signifikante Unterschiede des Blattflächenwachstums zwischen den drei Varianten zu beobachten. Die Individuendichte betrug zu diesem Zeitpunkt 7,04 (Variante 1) und 8,87 (Variante 2) Individuen/cm² (s. Tab. 3.8).

Die Schadschwelle (siehe Anhang) bezüglich der Reduktion der Blattfläche auf Grund des Blattlausbefalls wurde nach 11-12 Tagen Befall ab einer Dichte von 2,52 Individuen bzw. einem Kumulativen Index von 8,41 Individuen-Befallstagen pro Quadratzentimeter überschritten. Variante 1 überschreitet die Schadschwelle mit einer geringfügig niedrigeren Individuendichte und etwas früher als Variante 2. Der Einfluss der höheren Vermehrungsraten wird hier deutlich. Eine höhere Vermehrungsrate bedeutet auch einen vorübergehend höheren Assimilatebedarf für den Aufbau der Biomasse der Läuse. Deformationen der Blätter und eine Verschmutzung der Blattoberfläche mit Honigtau waren schon nach sieben Tagen Versuchsdauer zu beobachten (s. Tab. 3.9).

Tab. 3.9: Mittelwerte und Standardabweichungen der Honig- und Rußtauverschmutzung; Proz.-Anteil Blattdeformationen, drei Varianten (0/5/10 Aphiden Initialbefall pro Pflanze, n=15), kontrollierte Bedingungen

Varianten	Wochen				
	0	1	2	3	4
Honigtau in % Blattfläche pro Pflanze					
Variante 1	0,00 SD ±0 A	0,44 SD ±0,65 B	12,699 SD ±9,6 C	67,82 SD ±14,83 D	69,16b SD ±21,54 Da
Variante 2	0,00 SD ±0 A	0,43 SD ±0,63 B	19,44 SD ±15,09 C	72,74 SD ±12,68 D	80,82 SD ±13,36 Db
Rußtau in % Blattfläche pro Pflanze					
Variante 1	0,00 SD ±0 A	0,00 SD ±0 A	11,96 SD ±8,04 B	11,96 SD ±8,04 B	11,96 SD ±8,04 B
Variante 2	0,00 SD ±0 A	0,00 SD ±0 A	0,59 SD ±1,23 B	2,34 SD ±5,04 B	17,03 SD ±12,95 C
Anteil deformierter Blätter an der Gesamtblattzahl in Prozent					
Variante 0	0,00 SD ±0 A	0,00 SD ±0 Aa	0,00 SD ±0 Aa	0,75 SD ±1,99 Ba	0,65 SD ±1,72 Ba
Variante 1	0,00 SD ±0 A	0,043 SD ±0,064 Bb	18,62 SD ±15,26 Cb	55,87 SD ±20,97 Db	70,31 SD ±22,79 Db
Variante 2	0,00 SD ±0 A	0,043 SD ±0,063 Bb	31,402 SD ±24,28 Cb	60,08 SD ±17,89 Db	78,21 SD ±19,07 Eb

Kleine Buchstaben: Unterschiede der Faktorstufe Befall innerhalb der Faktorstufe Woche. Große Buchstaben: Unterschiede der Faktorstufe Woche innerhalb der Faktorstufe Befall. Analysenergebnisse: Trockenmasse, Wachstumsraten und Schaden

Nach vier Wochen Befall war die Trockenmasse jeder Variante signifikant angestiegen und mit zunehmender Befallsstärke signifikant erniedrigt (Variante 0: Mittel 37,07 g SD ±14,15; Variante 1: Mittel 17,199 g SD ±6,899; Variante 2: Mittel 11,87 g SD ±3,42), ebenso die Absolute Wachstumsrate (AWR) und Netto-Assimilationsrate (NAR). Die Relativen Wachstumsraten (RWR) der Varianten 1 und 2 waren gegenüber der Variante 0 erniedrigt. Die RWR der Varianten 1 und 2 unterschieden sich aber nicht signifikant. Die Reduktion des Zuwachses der Varianten 1 und 2 gegenüber der Variante 0 (= 100 %) lag zwischen 52 % (Variante 1) und 65 % (Variante 2) bzw. bei einem Schaden von 19,19 g TM bei Variante 1 und 25,2 g TM bei Variante 2 (s. Tab. 3.10).

Tab. 3.10: Mittelwert und Standardabweichung verschiedener Wachstumsparameter bei unterschiedlicher Befallsstärke (0 / 5 / 10 Aphiden Initialbefall pro Pflanze, n=15), zu Beginn des Versuchs und nach vier Wochen Befall, kontrollierte Bedingungen

Variante	Trocken- masse [g]	LAR [cm ² /g]	S/W [g/g]	AWR [g/Wo]	RWR [mg/Wo]	NAR [g/d/cm ²]	Schaden [g]
Anfang	4,93 SD ±1,87 a	207,6 SD ±88,05 a	6,91 SD ±2,86 a	0 SD ±0	0 SD ±0	0 SD ±0	0 SD ±0
Variante 0	37,07 SD ±14,16 Ab	211,94 SD ±62,52 Aa	8,42 SD ±2,8 a	8,07 SD ±3,63 A	0,504 SD ±0,17 A	0,003 SD ±0,001 A	0 SD ±0 A
Variante 1	17,799 SD ±6,9 Bb	239,1 SD ±57,98 Aa	12,85 SD ±8,94 b	3,28 SD ±1,68 B	0,333 SD ±0,11 B	0,002 SD ±0,0005 B	19,19 SD ±6,7 B
Variante 2	11,87 SD ±3,42 Cb	307,86 SD ±61,99 Bb	12,82 SD ±6,28 b	1,77 SD ±0,95 C	0,229 SD ±0,13 B	0,001 SD ±0,0006 C	25,1995 SD ±3,79 C

Kleine Buchstaben: Unterschiede der Faktorstufe Woche innerhalb der Faktorstufe Befall. Große Buchstaben: Unterschiede der Faktorstufe Befall innerhalb der Faktorstufe Woche.

Tab. 3.11: Mittelwert und Standardabweichung der Proz.-Anteile der Pflanzenorgane an der Gesamtpflanze und deren Schäden (g) nach vier Befallswochen, drei Befallsvarianten (0 / 5 / 10 Aphiden Initialbefall pro Pflanze, n=15), kontrollierte Bedingungen

Variante	% Blatt	% Sprossachse	% Wurzel	% Frucht
Anfang	64,68 SD ±25,31 a	18,296 SD ±8,21 a	17,02 SD ±6,87 a	0 SD ±0
Variante 0	34,89 SD ±18,02 Ab	37,65 SD ±18,89 Ab	13,39 SD ±5,59 Aa	11,57 SD ±9,1 A
Variante 1	35,84 SD ±28,58 Ab	45,99 SD ±25,599 Ab	9,899 SD ±4,31 Ab	2,24 SD ±1,76 B
Variante 2	35,17 SD ±23,89 Ab	46,76 SD ±22,71 Ab	9,36 SD ±4,57 Ab	1,09 SD ±1,1 B
Schäden Var. 1	6,48 SD ±2,88 A	6,49 SD ±4,83 A	3,22 SD ±1,11 A	4,28 SD ±0,34 A
Schäden Var. 2	9,296 SD ±2,35 B	7,91 SD ±2,14 A	3,83 SD ±0,68 A	4,53 SD ±0,13 B

Kleine Buchstaben: Unterschiede der Faktorstufe Woche innerhalb der Faktorstufe Befall. Große Buchstaben: Unterschiede der Faktorstufe Befall innerhalb der Faktorstufe Woche.

Der LAR ist bei Variante 0 enger als bei den Varianten 1 und 2. Im Vergleich mit der Variante 0 nahm die Blattfläche der Varianten 1 und 2 schwächer ab (um 43 % in Variante 1, 52 % in Variante 2) als das Trockengewicht (51 % in Variante 1, 68 % in Variante 2). Der LAR unterscheidet sich nur bei Variante 2 signifikant hinsichtlich Woche und Befallsstufen. Tendenziell nimmt er mit zunehmendem Alter und Befall über alle Varianten zu, d.h. die Trockenmasse nimmt im Verhältnis zur Blattfläche ab.

Der Trockenmasseanteil der Früchte an der Trockenmasse der Gesamtpflanze war bei den Varianten 1 und 2 gegenüber der Variante 0 signifikant erniedrigt. Der Verlust bzw. Schaden an Trockenmasse von Wurzel und Frucht war im Verhältnis höher als der an Blatt und Spross. Die Befallsvarianten unterschieden sich nur hinsichtlich des Schadens an Blatt und Frucht signifikant.

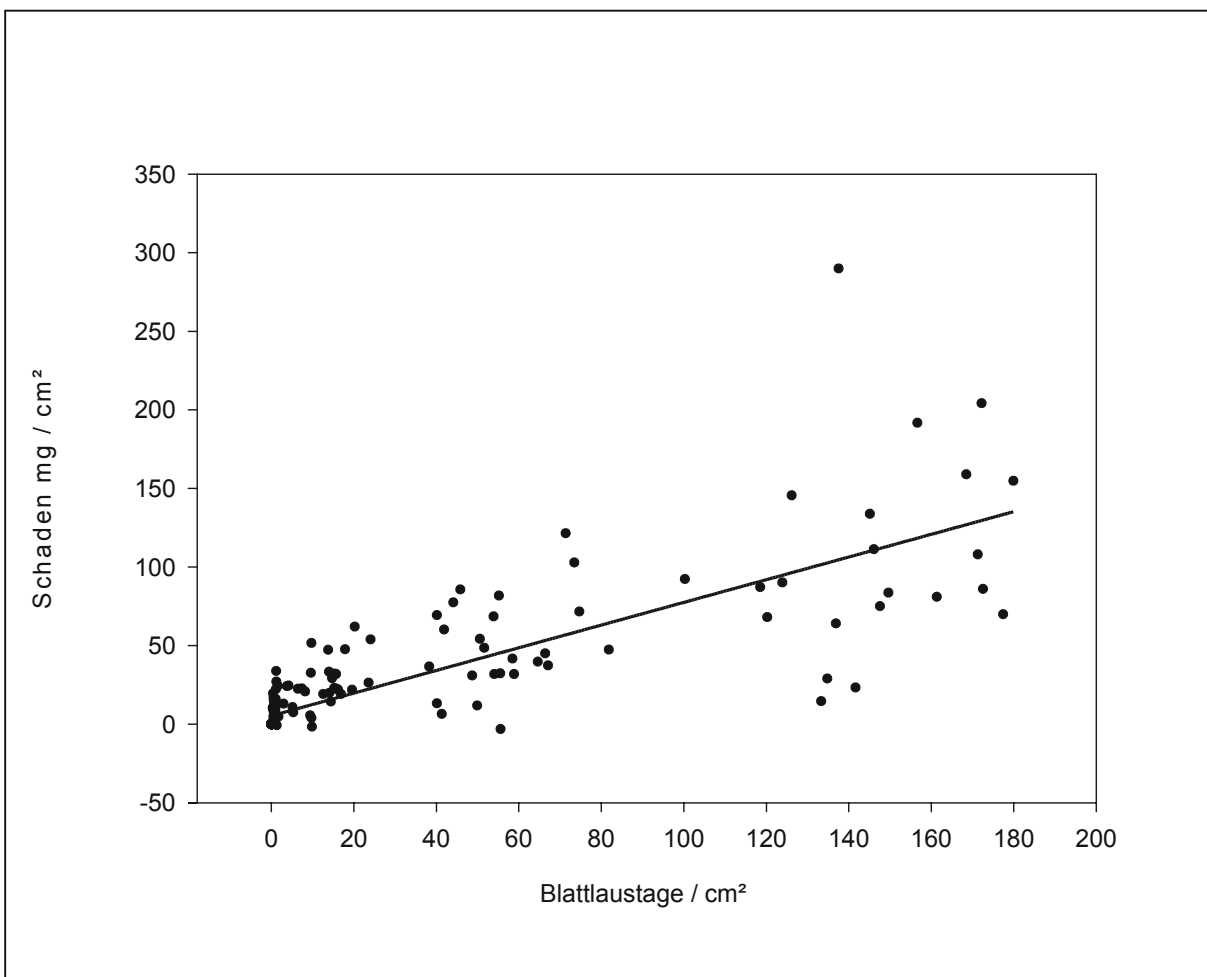


Abb. 3.5: Regression von Trockenmasseschaden (mg/cm^2) und Blattlaustag pro Blattfläche (cm^2), 3 Varianten (0 / 5 / 10 Aphiden Initialbefall, $n=15$), kontrollierte Bedingungen

In Anlehnung an den Kumulativen Blattlausindex (Blattlaustage) wurde zur Ermittlung des Trockenmasseentzugs durch die Blattlauspopulation der ‚Kumulative Entzug‘ ermittelt. Durch die Saugtätigkeit von *A. gossypii* wurden von einem Individuum über 35 Tage (Versuchsdauer) ca. 6,643 mg Trockenmasse (2,78 mg Kohlenstoff und 0,06 mg Stickstoff) für das Körperwachstum und die Vermehrung entzogen (s. 3.1.3). Der kumulative Entzug betrug pro Pflanze für Variante 1 im Mittel 74,508 g (SD \pm 29,36) und 76,524 g (SD \pm 30,71) für Variante 2. Der Schaden (Summe über 35 Tage) betrug pro Pflanze 19,19 g TM bei Variante 1 und 25,1995 g TM bei Variante 2 (gebildete TM 17,799 g bei Variante 1, 11,87 g bei Variante 2). Die Beziehung von Schaden und Entzug war positiv linear ($r^2 = 0,48$). Auch zwischen Schaden und Befall ergab sich folgende lineare Beziehung mit $r^2 = 0,66$:

$$Y = 5,3157 + 0,7216 x$$

$$\alpha = 0,005$$

Nach 11-12 Tagen traten Wachstumsdepressionen durch die Blattläuse auf. Der Schaden betrug zu diesem Zeitpunkt ca. 8,14 g pro Pflanze bei Variante 1 und 11,07 g pro Pflanze bei Variante 2. Der kumulative Entzug betrug 0,31 g - 0,5 g pro Pflanze. Die Wachstumsunterschiede waren zu diesem Zeitpunkt noch nicht signifikant.

3.1.4.5 Analysergebnisse: Anteil von Kohlenstoff, löslichen und reduzierenden Kohlenhydraten und Stärke in der Trockensubstanz

Es bestand kaum ein Unterschied zwischen den Varianten und den einzelnen Pflanzenteilen hinsichtlich des Kohlenstoffgehaltes. Dieser lag zwischen 34,6 % und 41,5 % in der Trockensubstanz und nahm tendenziell mit zunehmendem Alter und Befallsstärke ab. In Blättern, Spross und Wurzel bestanden keinerlei signifikante Unterschiede zwischen den Varianten. In der Frucht war der Kohlenstoffgehalt bei der Variante 0 signifikant höher als bei den Varianten 1 und 2 (s. Tab. 3.12).

Zu Beginn des Versuchs wies die Sprossachse die höchsten Gehalte an löslichen Kohlenhydraten in der Trockensubstanz auf. Nach vier Befallswochen war der Anteil an löslichen Kohlenhydraten dagegen in den Früchten bei allen Varianten am höchsten. Er stieg im Blatt von Woche 0 bis 4 signifikant an und fiel im Spross ab. Der Vergleich zwischen Variante 0 und den Varianten 1 und 2 zeigte, dass der Anteil der löslichen Kohlenhydrate in der Trockensubstanz mit zunehmendem Befall innerhalb der Blätter signifikant anstieg und in der Wurzel sowie in den Früchten abnahm. Es kam so zu einer Akkumulation der löslichen Kohlenhydrate in den Blättern der Varianten 1 und 2, wobei der Gehalt an löslichen Kohlenhydraten im Mittel über alle Pflanzenteile aber geringer war als bei der Variante 0.

Der Anteil der reduzierenden, löslichen Kohlenhydrate in der Trockensubstanz war bei der Variante 0 in allen Pflanzenteilen gegenüber den befallenen Varianten 1 und 2 höher (bei Blatt, Wurzel und Frucht signifikant), die prozentuale Verteilung auf die einzelnen Pflanzen-

organe bei allen Varianten etwa gleich. Im Blatt stieg der Anteil an reduzierenden, löslichen Kohlenhydraten von Woche 0 - 4 signifikant an, im Spross und der Wurzel fiel er signifikant ab.

Betrachtet man den Anteil an Stärke in der Trockensubstanz, so war der Gehalt der Speicherkohlenhydrate im Blatt am höchsten. Nach vier Wochen war er bei der Variante 0 in Blatt und Spross gegenüber dem Anfangswert signifikant erniedrigt. Es traten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten auf, obwohl das Gesamtmittel tendenziell eine leichte Abnahme mit zunehmendem Befall erkennen ließ (Variante 0: 0,99 % SD \pm 0,58, Variante 1: 0,89 % SD \pm 0,58, Variante 2: 0,76 % SD \pm 0,37).

3.1.4.6 Analysenergebnisse: Anteil an Stickstoff, Protein und freien Aminosäuren in der Trockensubstanz und das C/N-Verhältnis

Der Stickstoff-Anteil (%) an der Trockensubstanz war nach 4 Wochen im Mittel über alle Pflanzenteile angestiegen und in der Variante 0 (von 4,13 % SD \pm 1,5 auf 4,32 % SD \pm 0,96) am höchsten. Es traten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten 1 und 2 auf. Die Stickstoff-Gehalte in der Trockensubstanz von Frucht und Wurzel der Varianten 1 und 2 waren gegenüber der Variante 0 und den Anfangswerten signifikant reduziert, im Spross hingegen erhöht, und blieben in den Blättern unverändert (s. Tab. 3.13).

Am Ende des Versuchs konnte für die Variante 0 im Mittel über alle Pflanzenteile der höchste Proteinanteil (3,33 % SD \pm 1,15) gemessen werden. Die Proteingehalte der Varianten 1 und 2 waren im Mittel über alle Pflanzenteile sowie bei Wurzel und Frucht signifikant gegenüber der Variante 0 reduziert. Nach 5 Wochen Befall hatte der Proteinanteil bei den Varianten 1 und 2 im Vergleich mit dem Anfangsgehalt deutlich abgenommen. Bei Variante 0 waren die Unterschiede sehr gering. Es traten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten 1 und 2 auf. Insgesamt war ein deutlich negativer Effekt des Befalls auf den prozentualen Proteinanteil in der Trockensubstanz zu beobachten (s. Tab. 3.13).

Ebenso wie der Stickstoff- und Proteingehalt stieg der Anteil an freien Aminosäuren in der Trockensubstanz über die Wochen bei der Variante 0 (Mittel über alle Pflanzenteile 1,25 % SD \pm 0,75) auch gegenüber den anderen Varianten an. Für die Varianten 1 und 2 wurde beobachtet, dass mit zunehmendem Befall der Anteil der freien Aminosäuren in der Trockensubstanz der Sprossachse anstieg und in den Wurzeln sowie Früchten abnahm. Gegenüber der Variante 0 waren die Aminosäuregehalte der Varianten 1 und 2 in Wurzel und Frucht reduziert und in Sprossachse und Blatt erhöht (s. Tab. 3.13).

Das Kohlenstoff / Stickstoff - Verhältnis wurde mit zunehmendem Pflanzenalter enger, aber gleichzeitig mit zunehmendem Blattlausbefall weiter, d.h. der Stickstoff-Gehalt der Pflanzenteile wird durch die Blattläuse insgesamt vermindert. Der Gehalt an Kohlenstoff und Stickstoff-Fractionen in der Variante 0 war insgesamt höher als bei den Variante 1 und 2. In den befallenen Varianten 1 und 2 waren in den Stickstoff verbrauchenden Pflanzenorganen (Wurzel, Frucht) die erfassten Stickstoff-Fractionen reduziert. In den als Stickstofflieferanten

dienenden Organen war keine Reduktion des Stickstoffgehaltes zu beobachten (s. Tab. 3.13).

Der kumulative Entzug durch *A. gossypii* betrug ca. 74 – 76 g TM pro Pflanze. 89,52 % des kumulativen Entzugs entfielen auf die Honigtauausscheidungen (66,7 g bei Variante 1 bzw. 68,5 g bei Variante 2). Unter Berücksichtigung der gemessenen Zusammensetzung von Laus und Honigtau wurden von der entzogenen Trockenmasse ca. 31 g Kohlenstoff und 0,6 g Stickstoff für den Aufbau der Lausbiomasse und den Honigtau verbraucht. Diesen Werten stehen 7,45 - 9,72 g Kohlenstoff-Schaden und 0,79 - 0,97 g Stickstoff-Schaden gegenüber. Der Stickstoffanteil an der Trockensubstanz der Laus (etwa 8 %) war deutlich höher als der in der Pflanze (etwa 4 %). An der Zusammensetzung des Honigtaus, der keinen Stickstoff in nachweisbaren Konzentrationen enthielt, wird deutlich, daß die Laus diesen vollständig verwertete. Daraus geht hervor, dass die Laus etwa das Doppelte des Trockenmassebedarfs aus der Pflanze entziehen muss, um eine ausreichende Menge an Stickstoff für den Aufbau der eigenen Biomasse aufzunehmen. Nach dieser Bilanzierung müssen pro Quadratzentimeter Blattoberfläche zwischen 17,76 mg und 21,62 mg Honigtau abgelagert worden sein. 28 Tage nach Befallsbeginn waren 70 % der Blattoberfläche mit Honigtau verschmutzt und davon 2 % mit Rußtau besiedelt. Der Anteil der deformierten Blätter betrug ca. 70 %. (s. Tab. 3.9).

Tab. 3.12: Mittelwerte und Standardabweichung von C, lösl. und red. Kohlenhy. und Stärke der (% in der TS) zu Beginn und nach vier Befallswochen; Befallsvarianten (0/5/10 Aphiden Initialbefall/Pfl., n=15), kontrollierte Bedingungen

Organ	Variante	Kohlenstoff [% TS]	lösliche KH [% TS]	red., lösl. KH [% TS]	Stärke [% TS]
Blatt	Anfang	40,60 SD ±1,81 a	1,27 SD ±0,26 a	0,73 SD ±0,17 a	4,82 SD ±5,75 a
	Variante 0	39,44 SD ±2,61 Aa	1,87 SD ±0,62 Ab	2,93 SD ±5,79 Ab	1,87 SD ±0,93 Aa
	Variante 1	41,09 SD ±2,61 Aa	2,62 SD ±0,59 Bb	2,01 SD ±0,55 Bb	1,58 SD ±0,64 Aa
	Variante 2	40,81 SD ±1,58 Aa	2,28 SD ±0,86 Bb	2,57 SD ±2,57 Ba	1,63 SD ±0,76 Aa
Sprossachse	Anfang	38,698 SD ±0,36 a	9,97 SD ±3,18 a	9,04 SD ±4,42 a	3,35 SD ±1,09 a
	Variante 0	35,42 SD ±2,23 b	2,28 SD ±1,63 b	1,94 SD ±1,83 b	0,28 SD ±0,13 b
	Variante 1	34,6 SD ±2,23 b	2,38 SD ±1,63 a	1,45 SD ±0,58 b	0,76 SD ±1,13 b
	Variante 2	36,25 SD ±3,15 a	1,6 SD ±0,15 b	0,995 SD ±0,29 b	0,17 SD ±0,12 b
Wurzel	Anfang	39,92 SD ±3,5 a	2,37 SD ±3,18 a	2,02 SD ±2,95 a	0,28 SD ±0,16 a
	Variante 0	41,64 SD ±10,27 a	1,77 SD ±1,63 a	1,69 SD ±1,68 a	0,497 SD ±0,94 a
	Variante 1	41,53 SD ±1,07 a	0,42 SD ±0,17 b	0,24 SD ±0,12 b	0,233 SD ±0,19 b
	Variante 2	40,55 SD ±2,38 a	0,31 SD ±0,15 b	0,23 SD ±0,09 b	0,19 SD ±0,103 a
Frucht	Variante 0	41,73 SD ±0,25 A	14,22 SD ±9,004 A	9,05 SD ±4,21 A	0,58 SD ±0,35 A
	Variante 1	38,09 SD ±2,122 B	4,67 SD ±1,23 B	2,89 SD ±0,92 B	0,28 SD ±0,06 A
	Variante 2	36,72 SD ±2,6 B	3,81 SD ±0,76 B	2,11 SD ±0,55 B	0,47 SD ±0,17 A

Kleine Buchstaben: Unterschiede zwischen der Faktorstufe Woche innerhalb der Faktorstufe Befall. Große Buchstaben: Unterschiede der Faktorstufe Befall innerhalb der Faktorstufe Woche.

Tab. 3.13: Mittelwerte und Standardabweichungen des Anteils von Stickstoff, Protein, freien Aminosäuren (% in der TS) und das C/N Verhältnis zu Beginn und nach vier Befallswochen; Befallsvarianten (0 / 5 / 10 Aphiden Initialbefall/Pflanze, n=15)

Organ	Variante	Stickstoff % TS	Protein % TS	freie Aminosä. % TS	C/N ges.
Blatt	Anfang	4,04 SD ±1,81	4,79 SD ±3,15	0,89 SD ±0,70	11,44 SD ±5,34
	Variante 0	4,38 SD ±0,63	4,49 SD ±2,05	0,62 SD ±0,24	9,696 SD ±1,39
	Variante 1	4,61 SD ±0,48	3,93 SD ±1,61	0,72 SD ±0,23	9,93 SD ±1,35
	Variante 2	4,36 SD ±0,46	3,39 SD ±1,28	0,71 SD ±0,24	10,71 SD ±1,82
Sprossachse	Anfang	2,05 SD ±0,19 a	1,54 SD ±0,22	1,163 SD ±0,55	
	Variante 0	3,82 SD ±0,73 Ab	1,24 SD ±0,52	1,68 SD ±0,80 A	
	Variante 1	4,82 SD ±0,74 Bb	1,14 SD ±0,46	2,67 SD ±1,92 AB	
	Variante 2	4,74 SD ±0,6 Bb	1,00 SD ±0,22	3,91 SD ±3,38 B	
Wurzel	Anfang	4,28 SD ±1,195 a	2,42 SD ±0,86	1,34 SD ±0,87 a	
	Variante 0	4,21 SD ±1,76 Aa	2,87 SD ±1,52 A	0,85 SD ±0,599 Aa	
	Variante 1	3,46b SD ±0,76 B	0,98 SD ±0,64 B	0,52b SD ±0,32 B	
	Variante 2	3,14 SD ±0,75 Bb	0,77 SD ±0,54 B	0,59 SD ±0,46 ABb	
Frucht	Variante 0	5,50 SD ±0,73 A	6,04 SD ±2,63 A	5,09 SD ±2,28	
	Variante 1	3,51 SD ±1,78 B	1,78 SD ±1,42 B	1,95 SD ±0,84	
	Variante 2	3,15 SD ±0,55 B	1,24 SD ±1,27 B	2,77 SD ±3,34	

Kleine Buchstaben: Unterschiede zwischen der Faktorstufe Woche innerhalb der Faktorstufe Befall. Große Buchstaben: Unterschiede der Faktorstufe Befall innerhalb der Faktorstufe Woche.

3.2 Versuch zur Schadbilanzierung der Saugtätigkeit von *A. gossypii* auf der Gurkensorte 'Girola' unter semikontrollierten Bedingungen

Dieser Versuch wurde in einem beheizten Gewächshaus mit Zusatzbeleuchtung (s. 2.4) durchgeführt. Um den Einfluss von Befallszeitpunkt und -stärke auf das Gurkenwachstum erfassen zu können, wurden drei Befallsvarianten und zwei Befallszeitpunkte (Variante 0: kein Befall, Variante 1_1: früher Initialbefall 2 Aphiden, Variante 2_1: früher Initialbefall 5 Aphiden, Variante 1_2: später Initialbefall 2 Aphiden, Variante 2_2: später Initialbefall 5 Aphiden) angelegt. Die späten Varianten konnten bis neun Wochen nach dem Befall für den Versuch genutzt werden, dann wurde der Wuchsraum in den Einzelpflanzenkäfigen zu eng und Blattlausantagonisten fingen an, einzuwandern. Die frühen Varianten waren nach sechs Wochen Befall durch den Schädling derartig beeinträchtigt, dass sie abstarben und aus dem Versuch ausschieden. Die Daten waren teilweise normalverteilt.

3.2.1 Sprosslängenwachstum, wöchentliche Bonitur

Die Sprosslänge erwies sich unter praxisähnlichen Bedingungen als ungeeignet, als Maß für die Schädigung herangezogen zu werden, da die Sprossachse ab einer Länge von ca. 2 m gestutzt wird. Diese Länge wurde nach ca. vier Wochen erreicht. Zu diesem Zeitpunkt waren bei Sprosszuwachs und -länge signifikante Unterschiede zwischen Variante 0 und den Varianten 1_1 und 2_1 zu beobachten. Bei den späten Befallsvarianten (1_2, 2_2) traten keine signifikanten Unterschiede zur Variante 0 auf, die aber im Mittel die längste Sprossachse von 497,75 cm (SD $\pm 103,43$) aufwies (s. Anhang).

3.2.2 Fruchtansatz und Ertrag, wöchentliche Bonitur

Der Fruchtansatz pro Pflanze von Variante 0 und den Varianten 1_1 und 2_1 unterschied sich ab Woche fünf signifikant. Zu diesem Zeitpunkt wurden die Fruchtansätze der frühen Befallsvarianten abgestoßen und keine neuen mehr gebildet. Der Prozentsatz abgestoßener Früchte betrug bei Variante 1_1 86 % und bei Variante 2_1 91 %. Bei den anderen Varianten (0, 1_2 und 2_2) lag der Verlust an jungen Früchten bei 30 %. Es traten keine wöchentlichen Ertragsunterschiede auf. Nur die über alle Ertragswochen kumulierte Fruchtzahl pro Pflanze unterschied sich (Variante 0: 5,5, Variante 1_1: 1,25, Variante 2_1: 1,67, Variante 1_2: 6,4, Variante 2_2: 6,2 Früchte / Pflanze). Die Fruchtzahl der Varianten 1_1 und 2_1 waren gegenüber den anderen Varianten deutlich reduziert. Die Varianten 1_2 und 2_2 hatten insgesamt einen geringeren Fruchtansatz als Variante 0, brachten aber mehr Früchte zur Erntereife (s. Tab. 3.14).

Tab. 3.14: Fruchtansatz und Ertrag unter semikontrollierten Bedingungen, fünf Befallsvarianten (0 / 2 / 5 Aphiden Initialbefall in den Wachstumsstadien Auspflanzung und Erster Ertrag, n=5)

Variante	Wachstumsparameter	Wochen nach Versuchsbeginn										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Var. 0	Zahl ange-setzter Früch-te / Pflanze	3,60 SD±0,00 A	4,50 SD±1,29 A	15,00 SD±1,83 C a	15,00 SD±1,83 C	16,00 SD±3,37 C	16,00 SD±2,71 C a	13,75 SD±5,38 BC a	7,25 SD±6,40 A	8,25 SD±5,56 AB	8,25 SD±6,95 AB	
Var. 1_1		3,60 SD±0,00 ABE	6,20 SD±1,64 AB	11,40 SD±2,70 C b	16,20 SD±2,95 D	18,00 SD±2,55 D	0,40 SD±0,89 EF b	1,75 SD±1,26 AEF b	Pflanzen tot			
Var. 2_1		3,60 SD±0,00 AG	6,80 SD±1,30 B	11,20 SD±1,10 C b	16,60 SD±1,67 D	15,20 SD±2,05 D	0,60 SD±0,89 FG b	1,67 SD±1,53 AFG b				
Var. 1_2					18,00 SD±1,73 B		10,40 SD±5,68 AB a	12,00 SD±9,80 AB	11,40 SD±13,11 AB	4,40 SD±3,78 A	4,40 SD±3,78 A	
Var. 2_2					15,00 SD±3,54 B		10,00 SD±2,35 C a	6,20 SD±5,54 AC	6,40 SD±5,64 AC	2,60 SD±2,41 A	2,60 SD±2,41 A	
Var. 0		Ertrag Frucht-zahl / Pflanze	0,00 SD±0,00 A	0,00 SD±0,00 A	0,00 SD±0,00 A	0,00 SD±0,00 A	0,00 SD±0,00 A	0,00 SD±0,00 A	2,00 SD±0,82 B abc	1,50 SD±1,00 B	1,00 SD±1,41 AB	1,00 SD±1,16 AB
Var. 1_1	0,00 SD±0,00 A		0,00 SD±0,00 A	0,00 SD±0,00 A	0,00 SD±0,00 A	0,00 SD±0,00 A	0,00 SD±0,00 A	1,25 SD±1,50 B ab	Pflanzen tot			
Var. 2_1	0,00 SD±0,00 A		0,00 SD±0,00 A	0,00 SD±0,00 A	0,00 SD±0,00 A	0,00 SD±0,00 A	0,00 SD±0,00 A	1,67 SD±1,53 B abc				
Var. 1_2					0,00 SD±0,00 A	0,00 SD±0,00 A	3,40 SD±1,34 B ac	1,60 SD±1,82 C	0,40 SD±0,55 A	1,00 SD±1,00 AC	1,00 SD±1,00 AC	
Var. 2_2					0,00 SD±0,00 A	0,00 SD±0,00 A	2,40 SD±1,52 B abc	2,60 SD±0,89 B	0,00 SD±0,00 A	1,20 SD±0,84 C	1,20 SD±0,84 C	

Großbuchstaben kennzeichnen die signifikanten Unterschiede der Faktorstufe Woche innerhalb der Faktorstufe Befall; kleine Buchstaben kennzeichnen die signifikanten Unterschiede zwischen den Faktorstufen Befall innerhalb der Faktorstufe Woche; Var. 0 unbefallen, Var. 1_1 2 Aphiden, Gurken im Auspflanzstadium, Var. 1_2 2 Aphiden, Gurken im Stadium „Erster Ertrag“, Var. 2_1 5 Aphiden, Gurken im Auspflanzstadium, Var. 2_2 5 Aphiden, Gurken im Stadium „Erster Ertrag“

3.2.3 Blattfläche, wöchentliche Bonitur

Das Blattflächenwachstum der Varianten unterschied sich bis Woche vier kaum voneinander. Es war sogar, wie im vorangegangenen Versuch (s. 3.1.4.3), eine leichte Förderung des Blattflächenwachstums der Varianten 1_1 und 2_1 gegenüber der Variante 0 zu beobachten. Trotzdem bestanden signifikante Wechselwirkungen zwischen der Initialbefallstärke und der Befallsdauer hinsichtlich der Blattfläche und des relativen Blattflächenzuwachses. Zwischen den Wochen vier und fünf nahm die Blattfläche (cm²) pro Pflanze der Varianten 1_1 und 2_1 im Vergleich zur Variante 0 signifikant ab. Auch der mittlere relative wöchentliche Zuwachs der Varianten 1_1 und 2_1 (Var. 1_1: 0,77 SD ±0,23; Var. 2_1: 0,64 SD ±0,22) war ab Woche fünf gegenüber den Varianten 0, 1_2 und 2_2 reduziert (Var. 0: 0,98 SD ±0,15; Var. 1_2: 0,84 SD ±0,15; Var. 2_2: 1,02 SD ±0,3). Keine signifikanten Unterschiede waren zwischen den Varianten 0, 1_2 und 2_2 zu beobachten, wenn auch die Blattflächen der Varianten 1_2 und 2_2 geringer als die der Variante 0 waren. Der relative wöchentliche Blattflächenzuwachs dieser Varianten (0, 1_2, 2_2) war ab Woche zwei bzw. vier mit 0,8-1,3 ziemlich konstant (s. Tab. 3.15).

Das Blattflächenwachstum als natürlicher Logarithmus der Relativen Blattfläche folgte mit der Gleichung:

$$y = y_0 + a * (1 - e^{-bx})^c \quad (\text{Chapman-Funktion})$$

$$\alpha = 0,0001$$

Variante 0	a = 1,7246	b = 0,0758	c = 1,5140	y ₀ = 0,6880	r ² = 0,946
Variante 1_1	a = 1,1894	b = 0,2826	c = 5,6182	y ₀ = 0,6949	r ² = 0,697
Variante 2_1	a = 1,1602	b = 0,2719	c = 5,7668	y ₀ = 0,6961	r ² = 0,579
Variante 1_2	a = 1,4203	b = 0,1393	c = 2,4413	y ₀ = 0,6976	r ² = 0,901
Variante 2_2	a = 1,2981	b = 0,1239	c = 2,1155	y ₀ = 0,6977	r ² = 0,818

Verfolgt man den Kurvenverlauf, so stellt man fest, dass trotz einer anfänglichen Förderung der Blattfläche nach 19,73 bzw. 18,65 Tagen die relative Blattfläche der Varianten 1_1 und 2_1 gegenüber der Variante 0 sowie dann auch gegenüber 1_2 und 2_2 erniedrigt war. Die Unterschiede zur Variante 0 waren nach 35 Tagen Befallsdauer (Woche fünf) signifikant und betragen am Ende des Versuchs 64,2 - 69,64 %. Es bestanden für diese Varianten signifikante Wechselwirkungen zwischen dem Befall und der relativen Blattfläche. Die relative Blattfläche der Varianten 1_2 und 2_2 war bereits vor Befallsbeginn niedriger als die der Variante 0. Signifikant war der Unterschied nur in Woche sieben (d. h. 21 Tage nach Befallsbeginn).

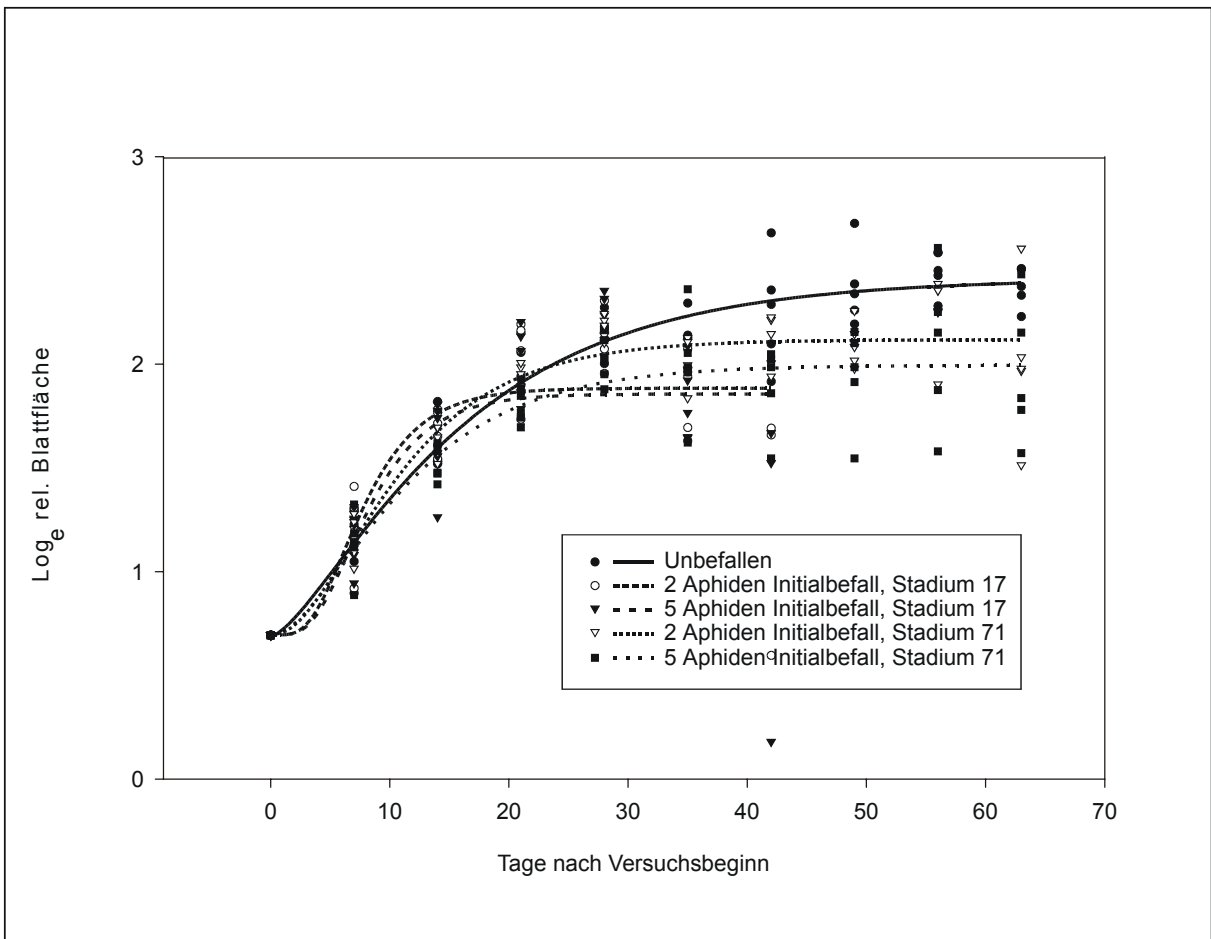


Abb. 3.6: Verlauf des Blattflächenwachstums als natürlicher Logarithmus der Relativen Blattfläche für fünf Varianten (0 / 2 / 5 Aphiden Initialbefall pro Pflanze in den Wachstumsstadien Auspflanzung und Erster Ertrag, n = 5), semikontrollierte Bedingungen

Die Blattschäden als prozentualer Anteil deformierter Blätter an der gesamten Blattzahl waren ab Woche vier für die Varianten 1_1 und 2_1 signifikant höher gegenüber den anderen Varianten mit 8,56-9,52 % (SD \pm 9,07 und SD \pm 9,92) geschädigter Blätter. Die maximale Schädigung betrug in Woche sechs nach Befallsbeginn 93 % (SD \pm 11,55) bei Variante 2_1 bis 100 % (SD \pm 0) bei Variante 1_1. Die Honigtauverschmutzung war bereits ab Woche drei mit 2,35 % (SD \pm 2,16) der Blattoberfläche für Variante 2_1 signifikant im Vergleich zur Variante 0. Der Anteil geschädigter Blätter betrug ab Woche neun (5. Befallswoche) 2,95-4,14 % (SD \pm 4,45, SD \pm 9,25) und der Anteil mit Honigtau verschmutzter Fläche an der gesamten Blattoberfläche 73,4-79,57 % (SD \pm 25,88, SD \pm 19,6) bei den Varianten 1_2 und 2_2. (s. Tab. 6.51 im Anhang)

Tab. 3.15: Blattfläche unter semikontrollierten Bedingungen, Mittelwerte und Standardabweichung fünf Befallsvarianten (0, 2, 5 Aphiden Initialbefall in den Wachstumsstadien Auspflanzung und Erster Ertrag, n=5)

Variante		Wochen nach Versuchsbeginn										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Var. 0	Blattfläche in cm ² pro Pflanze	1601,50 SD±0,00 A	3346,41 SD±862,84 AB	6400,43 SD±1255,88 CB ab	9546,89 SD±953,88 CD ab	12322,38 SD±1522,20 DEF ab	11999,85 SD±1743,88 DE a	14181,47 SD±4998,16 EFG	15811,09 SD±4049,54 G a	16981,10 SD±2184,49 G a	15609,94 SD±1875,21 FG	
Var. 1_1		1601,50 SD±0,00 A	3896,76 SD±975,42 BF	7127,89 SD±824,63 CEF a	11143,29 SD±2146,23 D a	11753,92 SD±1726,80 D abc	8836,90 SD±1922,12 EC b	5068,85 SD±3262,01 BCF bce	Pflanzen tot			
Var. 2_1		1601,50 SD±0,00 AB	3597,33 SD±756,28 ABG	6716,00 SD±1702,42 CGF ab	10512,15 SD±2108,68 D ab	13398,49 SD±1560,72 EF ab	8367,38 SD±1965,40 FCE b	4311,27 SD±3527,26 BCG bce				
Var. 1_2						12527,73 SD±793,71 ACDEF ab	10391,68 SD±1369,57 BCDF a	11649,24 SD±1652,69 ABCDF ade	11497,50 SD±1472,78 ABDF b	13509,24 SD±2627,37 AE a	11045,29 SD±4893,34 ABCDF	
Var. 2_2						10277,71 SD±1058,79 AB bc	10524,80 SD±3186,05 AB a	9199,04 SD±2008,75 AB abcde	9791,11 SD±2460,72 AB b	11986,21 SD±4930,02 B a	10254,41 SD±4202,01 AB	

Großbuchstaben kennzeichnen die signifikanten Unterschiede der Faktorstufe Woche innerhalb der Faktorstufe Befall; kleine Buchstaben kennzeichnen die signifikanten Unterschiede zwischen den Faktorstufen Befall innerhalb der Faktorstufe Woche; Var. 0 unbefallen, Var. 1_1 2 Aphiden, Gurken im Auspflanzstadium, Var. 1_2 2 Aphiden, Gurken im Stadium „Erster Ertrag“, Var. 2_1 5 Aphiden, Gurken im Auspflanzstadium, Var. 2_2 5 Aphiden Gurken im Stadium „Erster Ertrag“

3.2.4 Populationswachstum, wöchentliche Bonitur

Wie auch im vorhergehenden Versuch (s. 3.1.4.4) glichen sich die Befallsdichten der unterschiedlichen Initialbefallsstärken der Varianten 1_1 und 2_1 im Laufe von drei Wochen aneinander an und erreichten ein Maximum von etwa 11 Individuen/cm² in Woche sechs (s. Tab. 3.16). Bei den Varianten 1_2 und 2_2 traten trotz unterschiedlichem Initialbefall keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Befallsstärke auf. Die maximalen Populationsdichten dieser Varianten betragen in Woche neun (5. Befallswoche) 12-14 Individuen/cm² (s. Tab. 3.16). Die Blattlauspopulationen der späten Befallsvarianten vermehrten sich stärker als die frühen. Der Kumulative Blattlausindex (Blattlaustage) pro Quadratzentimeter war bei Variante 1_1 und 2_1 nach fünf Befallswochen deutlich höher (124,53 SD ±24,08, 138,72 SD ±18,29) als bei den späteren Befallsvarianten 1_2 und 2_2 (88,43 SD ±40,14, 93,07 SD ±46,14). Auch dies kann auf eine geringere Blattfläche pro Einzelpflanze zum frühen Befallszeitpunkt zurück geführt werden.

Die Vermehrungsrate der Blattlauspopulation stieg bei den Varianten 1_1 und 2_1 bis Woche drei auf $r_{m1,1}$ 0,567 (SD ±0,09) und $r_{m2,1}$ 0,526 (SD ±0,05) an und nahm dann rapide ab. Der Effekt war auch im Zusammenhang mit der Abwanderung der Blattläuse auf Grund der hohen Individuendichten zu sehen. Für die Varianten 1_2 und 2_2 war kein Anstieg der Wachstumsraten über den der Woche fünf hinaus (= Befallswoche eins $r_{m1,2}$ 0,498 SD ±0,06, $r_{m2,2}$ 0,477 SD ±0,1) zu beobachten. Anschließend schwankte die Vermehrungsrate ab Befallswoche zwei (Woche sechs) zwischen r_m 0,31-0,37, bis zur Reduktion in Befallswoche fünf (Woche neun) auf r_m 0,13-0,18. Die mittlere Vermehrungsrate über alle Befallswochen betrug 0,284 (SD ±0,23) bei der Variante 1_1 sowie 0,241 (SD ±0,25) bei Variante 2_1 und war somit niedriger als bei Variante 1_2 mit 0,317 (SD ±0,15) und bei Variante 2_2 mit 0,339 (SD ±0,17).

Das Populationswachstum folgte der Gleichung:

$$y = a * e^{bx} \quad \alpha = 0,005$$

Variante 1_1	a = 0,8553	b = 0,066	r ² = 0,82
Variante 2_1	a = 1,0165	b = 0,0628	r ² = 0,81
Variante 1_2	a = 0,002	b = 0,2501	r ² = 0,77
Variante 2_2	a = 0,0044	b = 0,2294	r ² = 0,84

Die auf diesem Wege berechneten Vermehrungsraten sind niedriger als die mittleren Vermehrungsraten. Es zeigte sich in beiden Fällen, dass die Populationen der Varianten 1_1 und 2_1 sich insgesamt schwächer vermehrten, als die der Varianten 1_2 und 2_2.

Eine Zusammenfassung der sich nicht signifikant unterscheidenden Wachstumsverläufe ergab eine Wachstumsrate von 0,0644 bei den frühen Varianten und eine von 0,2429 bei den späten Varianten (s. Abb. 3.7).

Früher Befallstermin	$y = 0,9345 * e^{0,0644 x}$	$\alpha = 0,005$ und $r^2 = 0,82$
Später Befallstermin	$y = 0,0028 * e^{0,2429 x}$	$\alpha = 0,005$ und $r^2 = 0,82$

Geflügelte Morphen traten bei den Varianten 1_1 und 2_1 ab Woche zwei (0,09-0,17 Individuen / cm²) auf. In dem vorhergehenden Versuch war dies bei einer höheren Dichte von 0,18-0,25 Individuen/cm² nach vier Wochen der Fall. In Woche fünf bis sechs, bei einer Dichte von 6-7 Individuen / cm², wanderten die Blattläuse dann verstärkt ab.

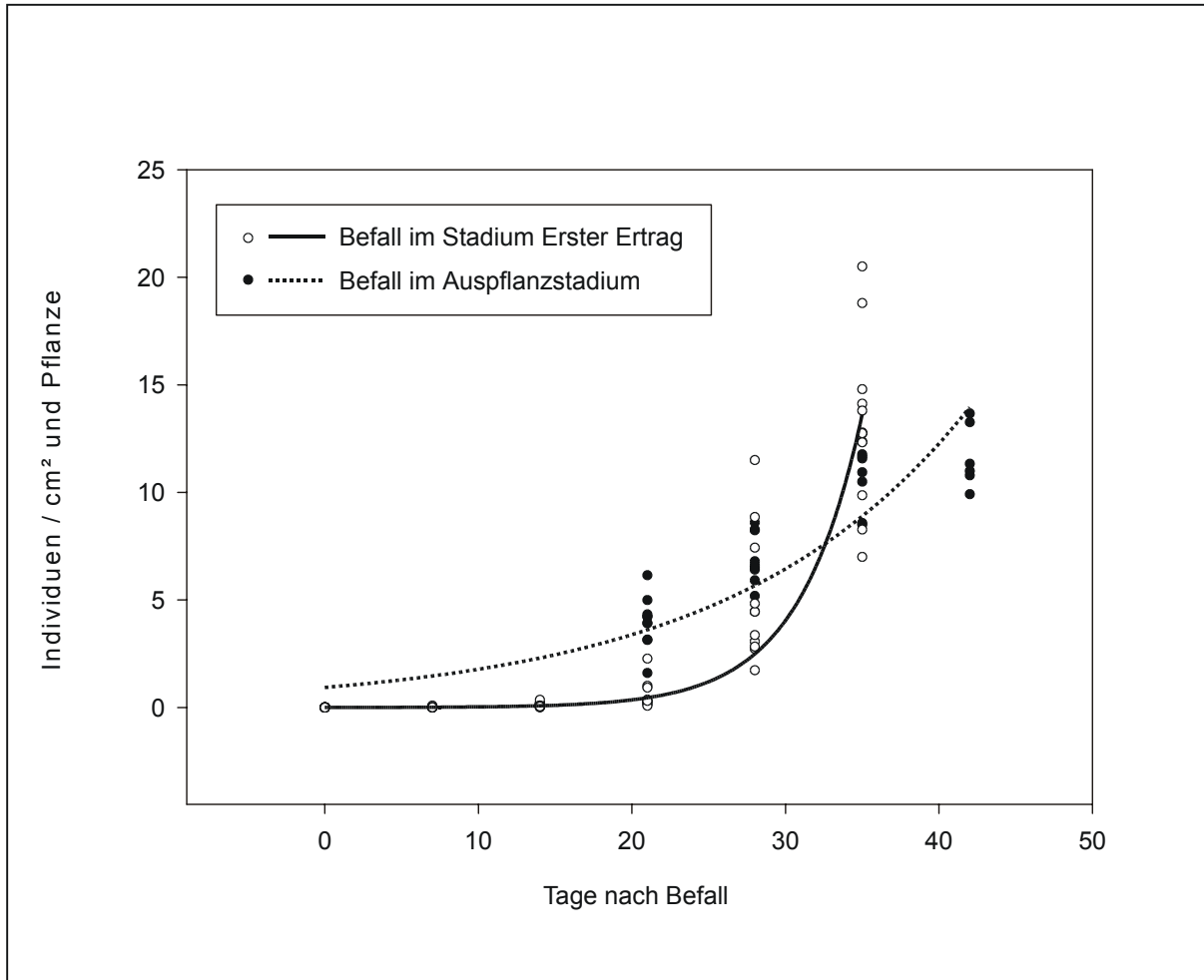


Abb. 3.7: Populationswachstum von *A. gossypii* auf Gewächshausgurke, zwei Varianten (2 / 5 Aphiden Initialbefall pro Pflanze in den Wachstumsstadien Auspflanzung und Erster Ertrag, n = 5), semikontrollierte Bedingungen

Tab. 3.16: Befall als Individuen / cm² und Pflanze unter semikontrollierten Bedingungen, fünf Befallsvarianten (0 / 2 / 5 Aphiden Initialbefall in den Wachstumsstadien Auspflanzung und Erster Ertrag, n=5)

Variante	Wachstumsparameter	Wochen nach Versuchsbeginn										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Var. 0	Individuen- dichte pro cm ² pro Pflanze	0,00 SD±0,00 A a	0,00 SD±0,00 A a	0,00 SD±0,00 A a	0,00 SD±0,00 A a	0,00 SD±0,00 A a	0,00 SD±0,00 A a	0,00 SD±0,00 A a	0,00 SD±0,00 A a	0,00 SD±0,00 A a	0,00 SD±0,00 A a	
Var. 1_1		0,00 SD±0,00 A b	0,02 SD±0,01 A b	0,09 SD±0,05 A b	3,82 SD±1,30 B b	6,31 SD±1,37 C b	10,66 SD±1,99 D b	11,64 SD±1,89 D b	Pflanzen tot			
Var. 2_1		0,00 SD±0,00 A c	0,04 SD±0,01 A c	0,17 SD±0,05 A c	4,12 SD±1,23 B b	7,09 SD±1,37 C b	11,63 SD±0,94 D b	11,68 SD±1,37 D b				
Var. 1_2						0,00 SD±0,00 A a	0,01 SD±0,00 A a	0,07 SD±0,07 A a	0,56 SD±0,37 A a	5,31 SD±2,71 B b	12,45 SD±5,36 C b	
Var. 2_2						0,00 SD±0,00 A a	0,03 SD±0,04 A a	0,12 SD±0,14 A a	0,62 SD±0,93 A a	4,85 SD±3,88 B b	14,00 SD±3,25 C b	

Großbuchstaben kennzeichnen die signifikanten Unterschiede der Faktorstufe Woche innerhalb der Faktorstufe Befall; kleine Buchstaben kennzeichnen die signifikanten Unterschiede zwischen den Faktorstufen Befall innerhalb der Faktorstufe Woche; Var. 0 unbefallen, Var. 1_1 2 Aphiden, Gurken im Auspflanzstadium, Var. 1_2 2 Aphiden, Gurken im Stadium „Erster Ertrag“, Var. 2_1 5 Aphiden, Gurken im Auspflanzstadium, Var. 2_2 5 Aphiden, Gurken im Stadium „Erster Ertrag“