

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Science

an der Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Leibniz Universität Hannover

**Einfluss von Neem Azal-U und Neem-Pellet auf
Trialeurodes vaporariorum und *Encarsia formosa*
unter besonderer Berücksichtigung der biostatistischen
Bewertung der Versuchsdaten mittels Generalisierter
Linearer Modelle.**

Erstprüfer: Prof. Dr. H.-M. Poehling
Institut für Pflanzenschutz und
Pflanzenkrankheiten

Zweitprüfer: Prof. Dr. L.A. Hothorn
Institut für Biostatistik

Vorgelegt von : Sebastian Menke
Matrikelnummer 2270000
Ostarpstrasse 12
59302 Oelde-Lette
E-Mail: menke@stud.uni-hannover.de

Hannover, den 27. August 2008

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	v
Abbildungsverzeichnis	vi
1 Einleitung	1
2 Phytomedizinische Betrachtung	6
2.1 Neem	6
2.1.1 Neembaum, Herkunft und Verbreitung	6
2.1.2 Inhaltsstoffe	7
2.1.3 Wirkungsweise	8
2.1.4 Neemprodukte allgemein und Neem Pellets	9
2.1.5 Wirkungen auf Ziel-Organismen	10
2.1.6 Wirkungen auf Nicht-Ziel-Organismen	11
2.2 Lizetan Combistabchen (Positivkontrolle)	11
2.2.1 Wirkstoff	11
2.2.2 Wirkungsweise	12
2.2.3 Wirkungen auf Nicht-Ziel-Organismen	13
2.3 <i>Trialeurodes vaporariorum</i>	14
2.3.1 Morphologie und Biologie	14
2.3.2 Entwicklungszyklus	15
2.3.3 Schadbild	16
2.3.4 Bekampfungsmoglichkeiten	16
2.4 <i>Encarsia formosa</i>	18
2.4.1 Morphologie und Biologie	18
2.4.2 Entwicklungszyklus	19
2.4.3 Anwendung	20

3	Biostatistische Betrachtung	21
3.1	Allgemeines	21
3.1.1	Hypothesenformulierung	21
3.1.2	Gruppenvergleich über Differenz, Ratio und Odds-Ratio	22
3.1.3	Globaltest gegenüber mehreren einzelnen Tests	24
3.1.4	Anlage eines Versuchs / Ziel des Versuchs	25
3.1.5	Aufbereitung der erhobenen Beobachtungen	27
3.2	Multiple Vergleiche mit Parametern aus Generalisierten Linearen Modellen	30
3.2.1	Generalisierte Lineare Modelle	30
3.2.2	Kontrasttest	33
3.3	Generalisierte Lineare Modelle für Proportionen	36
3.3.1	Verteilungsannahme: Binomial, Multinomial	36
3.4	Zählraten	40
3.4.1	Verteilungsannahme: Poisson, negativ Binomial	41
3.5	Mehrfaktorielles Modell	44
3.5.1	Interaktion	44
3.5.2	Interaktionskontraste	44
4	Phytophysische Versuche und deren biostatistische Auswertung	46
4.1	Material und Methoden für alle Versuche	46
4.1.1	Präparate	46
4.1.2	<i>Trialeurodes vaporariorum</i> - Zucht	47
4.1.3	<i>Gerbera jamesonii</i>	47
4.2	Der Einfluss von Bodenbehandlungen mit Neem (Neem Azal-U und Neem-Pellet) auf Weiße Fliege an <i>Gerbera jamesonii</i>	48
4.2.1	Ziel des Versuches	48
4.2.2	Material und Methoden	48
4.2.3	Statistik	49
4.2.4	Modelldiagnostik	50
4.2.5	Hypothesen	51
4.2.6	Ergebnis	52
4.2.7	Diskussion	53
4.3	Der Einfluss von Bodenbehandlungen mit Neem-Pellets und Imidacloprid-Pellets auf <i>Trialeurodes vaporariorum</i> und <i>Encarsia formosa</i>	55

Inhaltsverzeichnis

4.3.1	Ziel des Versuches	55
4.3.2	Material und Methoden	55
4.3.3	Statistik	57
4.3.4	Modelldiagnostik	57
4.3.5	Hypothesen	57
4.3.6	Ergebnis	57
4.3.7	Diskussion	60
4.4	Wahlversuch mit <i>Encarsia formosa</i>	61
4.4.1	Ziel des Versuches	61
4.4.2	Material und Methoden	61
4.4.3	Statistik	63
4.4.4	Hypothesen	63
4.4.5	Ergebnis	63
4.4.6	Diskussion	64
5	Simulationen	66
5.1	Multinomial Modell mittels dem Paket VGAM	66
5.2	Interaktionskontraste	69
6	Generelle Diskussion	71
6.1	Phytomedizinischer Teil	71
6.2	Biostatistischer Teil	73
	Literaturverzeichnis	75
	Appendix	82
6.3	Generalisierte Lineare Modelle bestehen aus 3 Komponenten:	82
6.4	Auswertungsbeispiele weiterer phytomedizinischer Versuche	84
6.4.1	Einfluss unterschiedlicher Lichtfarben auf das Flugverhalten der Aphiden	84
6.5	R-Code zu den Phytomedizinischen Versuchen und deren biostatistischer Auswertung	87
6.5.1	Der Einfluss von Bodenbehandlungen mit Neem (Neem Azal-U und Neem-Pellet) auf Weiße Fliege an <i>Gerbera jamesonii</i>	87

Inhaltsverzeichnis

6.5.2	Der Einfluss von Bodenbehandlungen mit Neem-Pellet und Imidacloprid-Pellet auf <i>Trialeurodes vaporariorum</i> und <i>Encarsia formosa</i> . . .	88
6.5.3	Wahlversuch mit <i>Encarsia formosa</i>	89
6.5.4	Einfluss unterschiedlicher Lichtfarben auf das Flugverhalten der Aphiden	89
6.6	R-Code zu den Simulationen	90
6.6.1	Verteilungssimulation links, rechts, Mitte bei n=6 und N=100 . .	90
6.6.2	Wiederholungs- und Fallzahlsimulation	91
6.6.3	Interaktionskontraste	91

Tabellenverzeichnis

2.1	Systematische Einteilung	14
2.2	Systematische Einteilung	19
3.1	Phytomedizinischer Beispieldatensatz für die GLM-Beschreibung	30
3.2	Deviance Funktionen	32
3.3	Benutzer definierter Kontrast für einen Tukey - Vergleich	34
3.4	Benutzer definierter Kontrast für einen Dunnett - Vergleich	34
3.5	Phytomedizinisches Beispiel einer 2 x 2-Tafel	37
3.6	Phytomedizinisches Beispiel einer k x 2-Tafel	38
3.7	Phytomedizinisches Beispiel einer k x s-Tafel	38
4.1	Versuchsdaten im 'flat - file' Format aus der Bachelor Arbeit von Sebastian Menke	49
4.2	Benutzer definierter Interaktionskontrast	50
4.3	Konfidenzintervalle für die Interaktionskontraste	54
4.4	Konfidenzintervalle für die Bodenbehandlungen bei <i>Trialeurodes vaporariorum</i>	59
4.5	Konfidenzintervalle für die Bodenbehandlungen bei <i>Encarsia formosa</i>	60
4.6	Konfidenzintervalle für den Wahlversuch (Neem-Mitte-Kontrolle)	64
4.7	Konfidenzintervalle für den Wahlversuch (Neem-Mitte-Neem)	64
4.8	Konfidenzintervalle für den Wahlversuch (Kontrolle-Mitte-Kontrolle)	65
5.1	Simulationsergebnisse Interaktionskontraste	70
6.1	Datensatz Wahlversuch Bornwasser	85
6.2	Konfidenzintervalle Wahlversuch Bornwasser	86

Abbildungsverzeichnis

2.1	Früchte des Neembaumes, (Keele, 2008)	7
2.2	Der Neembaum <i>Azadirachta indica</i> , (Gotostcroix, 2008)	7
2.3	Strukturformel Azadirachtin A (a) Decalinfragment (b) Hydroxy-Furanfragment	8
2.4	Strukturformel Imidacloprid	12
2.5	Strukturformel Nikotin	13
2.6	Adulte der Weißen Fliege, Fotos: S. Menke	14
2.7	Larve der Weißen Fliege	14
2.8	<i>Encarsia formosa</i> , Fotos: S. Menke	18
2.9	Parasitierte Weiße Fliegen Larve nach der Verpuppung	18
3.1	Beispiel eines Boxplot	28
3.2	Beispiel eines Konfidenzintervalls	29
3.3	Poissonverteilung, dargestellt als theoretische Verteilung (schwarze Linie) und als empirische Verteilung (graue Balken). Anzahl der Beobachtungen: 8, Mittelwertsvektor: 1	42
3.4	Boxplot eines Datenbeispiels mit und ohne Interaktionen	45
4.1	Modelldiagnostik mit Residual-Plot links und QQ-Plot rechts	51
4.2	Boxplot der Ergebnisse der Bachelor Arbeit von Sebastian Menke	52
4.3	Modelldiagnostik mit Residual-Plot links und QQ-Plot rechts. Oben: Ziel- größe <i>Trialeurodes vaporariorum</i> . Unten: Zielgröße: <i>Encarsia formosa</i>	58
4.4	Boxplot der Ergebnisse der Bodenbehandlungen von Neem und Imidaclo- prid bei <i>Trialeurodes vaporariorum</i> und <i>Encarsia formosa</i>	59
4.5	Versuchsarena gebaut aus drei Petrischalen	62
4.6	Boxplot der Ergebnisse aus dem Wahlversuch mit <i>Encarsia formosa</i> und Neem-Pellet	64

5.1	Überdeckungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Verteilung links, rechts und Mitte $[1-(\text{links}+\text{rechts})]$, bei Fallzahl 100 und Wiederholung 6 . . .	67
5.2	Überdeckungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Verteilung links, rechts und Mitte $[1-(\text{links}+\text{rechts})]$, bei Fallzahl 100 und Wiederholung 20 . . .	68
5.3	Überdeckungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Fallzahl und der Wiederholung, bei einer Verteilung links = 1/3 rechts =1/3 und Mitte = 1/3	69
5.4	Beispiel für die Simulation der Interaktionskontraste	70

1 Einleitung

Eine der momentan größten produktionstechnischen Herausforderungen in der Topf- und Schnittpflanzenproduktion ist die Regulierung der Weißen Fliege (*Trialeurodes vaporariorum*). Sie gilt als eine der wichtigsten Schädlinge im Unterglasanbau weltweit [67, Stüssi und Detzel, 2004], [8, Bernd und Meyhöfer, 2007]. Nymphen und Adulte von *Trialeurodes vaporariorum* verursachen direkte Schäden durch ihre Stech- und Saugtätigkeit. Sie entziehen der Pflanze Assimilate. Weiterhin entstehen Schäden durch abgegebenen Honigtau, welcher durch die in Gewächshäusern übliche hohe Temperatur und Luftfeuchte ein optimaler Nährboden für Russtaupilze ist. Diese Pilze können die Assimilation in erheblichem Maße beeinträchtigen [27, Fransen und van Lenteren, 1993].

Um *Trialeurodes vaporariorum* zu regulieren, wurden intensiv verschiedene Insektizide eingesetzt. Bei vielen Wirkstoffen hat mit wiederholten Applikationen die Wirkung auf die Weiße Fliege nachgelassen. Es entwickelte sich eine Resistenz gegen viele Klassen von Insektiziden. Ein prägnantes Beispiel für die Entwicklung einer Resistenz ist der Wirkstoff Imidacloprid. Obwohl in den ersten Jahren nach Beginn der Kommerzialisierung hohe Wirkungsgrade erzielt wurden, kann heute nur ein geringer Effekt erreicht werden [30, Gorman et al., 2007]. Eine Resistenz gegenüber dem Wirkstoff Imidacloprid ist bei der in Dauerzucht befindlichen Weißen Fliegen am Institut für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz der Leibniz Universität Hannover nicht zu erkennen. Die Wirkstoffe werden von den Insekten über die Atemwege (Atemgifte), über den Magen-Darm-Trakt (Fressgifte) oder durch Berührung (Kontaktgifte) aufgenommen. Kontaktinsektizide, entfalten ihren abtötenden Effekt auf Insekten erst nachdem diese mit dem Gift in Berührung gekommen sind. Durch die Wachsschichten der Insekten, durch eine schlechte Verteilung auf der Pflanze sowie durch die oft versteckten Aufenthaltsorte eignen sich Kontaktinsektizide nur bedingt zur Bekämpfung von Schädlingen [67, Stüssi und Detzel, 2004], [30, Gorman et al., 2007]. So ist *Trialeurodes vaporariorum* meistens auf der Blattunterseite an den jungen Blättern anzutreffen und somit für die aufgebrachten Insektizide nicht erreichbar [67, Stüssi und Detzel, 2004].

Systemische Insektizide hingegen werden von der Pflanze durch die Blätter oder die Wurzeln aufgenommen und verteilen sich über die Leitungsbahnen. Sie sind für Pflanzen unschädlich, wirken aber auf Insekten, die an der behandelten Pflanze fressen oder saugen. Hierdurch werden aber nur die Entwicklungsstadien bekämpft, welche auch Nahrung aufnehmen. Bei der Weißen Fliege ist damit das Puppenstadium unempfindlich. Allerdings haben diese Insektizide oft sehr spezifische Wirkmechanismen und greifen nur an einzelnen Targets an. Damit erhöht sich das Risiko von Resistenzbildungen.

Eine weitere Bekämpfungsmöglichkeit der Weißen Fliege ist die biologische Kontrolle durch das Einbringen von Nützlingen in einen befallenen Pflanzenbestand. Die Schlupfwespe *Encarsia formosa* ist in der Lage, eine Parasitierung von bis zu 90 % zu erzielen [35, Hoddle et al., 1998]. Sie ist in zweierlei Hinsicht nützlich, zum einen saugt sie junge Entwicklungsstadien aus (Hostfeeding) und zum anderen werden ältere Entwicklungsstadien, das dritte und vierte Larvenstadium, parasitiert [35, Hoddle et al., 1998]. Eine weitere Schlupfwespenart, die in der biologischen Schädlingsbekämpfung eingesetzt werden kann ist *Eretmocerus eremicus*. Im Gegensatz zu *Encarsia formosa* wird das zweite und dritte Larvenstadium bevorzugt parasitiert. Auch Raubmilben, wie *Amblyseius swirskii* können zur Bekämpfung gegen *Trialeurodes vaporariorum* eingesetzt werden. Die Grenzen der Bekämpfung liegen laut Bernd und Meyhöfer (2007) bei Ganzjahreskulturen. Während sich die Schlupfwespe *Encarsia formosa* vermutlich wegen der unzureichenden Lichtverhältnisse bis weit in den April hinein nicht ausreichend etabliert, ist die Weiße Fliege in der Lage sich kontinuierlich zu vermehren [26, Fortmann, 1993].

Eine Kombination aus Insektiziden und Nützlingen kann eine weitere Bekämpfungsstrategie gegen *Trialeurodes vaporariorum* sein. Diese Bekämpfungsstrategie verlangt Detailwissen über die Nützlinge und deren Empfindlichkeit gegenüber kombinierten Insektiziden. So ist zum Beispiel bei dem Insektizid Imidacloprid eine lang anhaltende repellente Wirkung gegenüber *Encarsia formosa* bekannt. Dies führt zu Problemen, da Jungpflanzen, die mit Imidacloprid behandelt wurden von der Schlupfwespe gemieden werden. Oft kann dieser abstossende Effekt weit über die Standdauer der jeweiligen Kultur hinaus anhalten [67, Stüssi und Detzel, 2004].

Im biologischen Pflanzenschutz wird zur Bekämpfung von Schädlingen auch ein aus den Samen des Neembaumes gepresstes Öl verwendet [63, Schmutterer, 2005]. Der Hauptwirkstoff dieses Öles ist die Verbindung Azadirachtin, die erstmals 1968 isoliert wurde [16, Butterworth und Morgan, 1968]. Azadirachtin führt zur Hemmung der Larvenentwicklung bei einer Vielzahl an Schadinsekten [63, Schmutterer, 2005]. Neem-Präparate

werden zumeist im Sprühverfahren auf oberirdische Pflanzenteile appliziert, die jedoch Nebeneffekte auf Nützlinge [24, Feldhege und Schmutterer, 1993] und eine unzureichende Verteilung auf der Pflanze aufweisen [44, Kumar et al., 2005]. Durch eine Bodenapplikation können diese Probleme behoben werden und dadurch eine höhere Effizienz und Sicherheit im Einsatz mit Azadirachtinprodukten erzielt werden [69, Thoeming, 2005]. Der Wirkstoff Azadirachtin wird in der Pflanze systemisch transloziert. Thoeming et al. (2005) zeigten auf, dass Bodenapplikation mit Neem eine Bekämpfung von *Frankliniella occidentalis* möglich machte. Die Verteilung und Persistenz der Wirkstoffe Azadirachtin, 3-Tigloyl-Azadirachtol, Salanin und Nimbin in Substrat und Pflanze (*Phaseolus vulgaris*) nach einer Bodenbehandlung mit Neem (17% Azadirachtin) wurden untersucht [70, Thoeming, 2003]. Eine Bodenapplikation kann die Kontaktkontamination von Nützlingen verringern und somit eine Kombination von Insektiziden und Nützlingen erleichtern. In den Studien von Thöming et al. 2003 wurden Neemwirkstoffe als Lösungen in den Boden appliziert, was bei nachfolgenden Bewässerungen zu Verlusten (Auswaschungen) führen kann. In der vorliegenden Arbeit wurde eine Bodenapplikation von Azadirachtin mittels fester Wirksubstanz in Form von gepressten Neem Pellets untersucht, was nicht nur die Anwendung erleichtert, sondern auch zu einer langsameren und kontinuierlichen Freisetzung des Wirkstoffes im Bodenraum in unmittelbarer Nähe der aufnehmenden Wurzeln führen sollte. Weiterhin sollte in dieser Arbeit die Wirkung von Bodenapplikationen auf Ziel Organismen wie zum Beispiel *Trialeurodes vaporariorum* und auf Nicht Ziel Organismen wie die Schlupfwespe *Encarsia formosa* untersucht werden.

Neben der Beschreibung der Reaktionen der beteiligten Organismen auf die Neembehandlungen behandelt ein Hauptaspekt dieser Arbeit die statistische Planung und Auswertung von phytomedizinischen Versuchen. Einerseits sollte für die oben beschriebene Problemstellung eine adäquate Versuchsdurchführung und Auswertung beschrieben werden, andererseits sollte genereller die statistische Planung und Auswertung vergleichbarer phytomedizinischer Untersuchungen hinterfragt und Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt werden. Um allgemeingültige, objektive Unterschiede zwischen Versuchsgruppen zu finden und um komplizierte Sachverhalte einfach darzustellen werden geplante Versuche unter kontrollierten Bedingungen im Feld wie auch im Gewächshaus durchgeführt. Mit Hilfe einer repräsentativen Stichprobe sollen Rückschlüsse auf die Gesamtpopulation gemacht werden.

Phytomedizinische Versuche bringen oft Schwierigkeiten mit sich, da die erhobenen Daten überwiegend Zählraten sind. Diese sind diskrete und geordnete Zählergebnisse, die in

natürlichen positiven Zahlen beschrieben werden können. Ermittelte Daten können einer Verteilungsannahme, wie der Normal-, Poisson-, Binomial und Negativbinomialverteilung folgen. Die in der Phytomedizin erhobenen Zählraten unterliegen aufgrund ihrer Charakteristik oft nicht der Normalverteilung, was besonders bei wenig Zählereignissen eintritt. Hier ist dann die Poisson- oder negativ Binomialverteilung eine Alternative [5][Anscombe, 1949], [11][Bliss, 1953], [76][Young et al., 1999].

Damit nach der Erhebung der Daten statistische Verfahren angewendet werden können, ist es notwendig, die Fragestellung in einer Hypothese vor dem Versuchsbeginn zu spezifizieren, um die Hypothese mittels dieser Daten zu überprüfen. Eine Hypothese unterscheidet sich in die Alternativhypothese und die Nullhypothese. In der Alternativhypothese wird die Aussage erklärt, welche als wahrscheinlich gilt. Die Alternativhypothese kann nicht direkt verifiziert werden, da der Geltungsbereich der Hypothese nicht erschöpfend getestet werden kann. So wird aufgezeigt, dass das Gegenteil der Alternativhypothese, die Nullhypothese unwahrscheinlich ist (Falsifikationsprinzip) [61, Sachs und Hedderich, 2006]. Diese ist jedoch nicht immer wahrheitsgemäß. In phytomedizinischen Versuchen wird häufig ein globaler Fehler über mehrere Tests kontrolliert, welcher als 'familywise error rate' (FWER) bezeichnet wird. Dies ist die Wahrscheinlichkeit eine falsche Feststellung über alle Hypothesen zu treffen, wenn ein multipler Test durchgeführt wird [34, Hochberg und Tamhane, 1987].

Ein weiteres Problem in phytomedizinischen Daten ist die fehlende Varianzhomogenität, da eine Vielzahl von statistischen Verfahren dies voraussetzen [74, White und Bennetts, 1996], [64, Sileshi, G., 2006]. Doch mit Hilfe Generalisierter Linearer Modelle lassen sich die zuvor beschriebenen Daten auswerten. Generalisierte Lineare Modelle (GLM) sind eine Verallgemeinerung der klassischen linearen Modelle, die sich in die zwei folgenden Punkte aufteilen. Zum Einen können in Anlehnung zu der linearen Regression, welche ein Teil der klassischen Modelle beinhaltet, die Generalisierten Linearen Modelle eine Vielfalt von Verteilungsannahmen mit einbeziehen. So wird zunächst ein Modell angepasst, welches den Sachverhalt adäquat beschreibt. Für das Modell müssen Annahmen, wie zum Beispiel die Verteilung der Daten, unterstellt werden. Mit Hilfe von modelldiagnostischen Verfahren kann die Güte der Anpassung des Modells an die Daten überprüft werden. Aus diesem Modell werden Parameter gewählt und diese auf Unterschiede getestet.

Versuche dieser Art haben das Ziel, einen Unterschied oder auch keinen Unterschied zwischen den Faktorstufen herauszufinden. Dies kann in Anlehnung an Hochberg und

Tamhane (1987) mittels Interaktionskontrasten durchgeführt werden. In dieser Arbeit wird verdeutlicht, dass diese Interaktionskontraste auch mit einer logarithmischen Link Funktion angewendet werden können. Da diese Verfahren für große Fallzahlen konzipiert wurden, mussten Simulationsstudien durchgeführt werden um die Validität der Methode auch bei kleinen Fallzahlen sicherzustellen.

Zum anderen muss in der klassischen Regressionsanalyse eine Skala, konstante Varianz mit Additivität der systematischen Effekte und Normalität der Fehler haben. Bei den Generalisierten Linearen Modellen sind diese Skalierungsprobleme weitestgehend nicht vorhanden, insbesondere werden Normalität und Varianzhomogenität nicht mehr verlangt und die Additivität kann auf einer transformierten Skala vorliegen.

Ein weiteres Problem phytomedizinischer Versuche ist, dass eine bestimmte Irrtumswahrscheinlichkeit von zum Beispiel 5 % zugelassen wird. So besteht die Möglichkeit, dass durch Verletzung der Annahmen, ein Testverfahren nicht mehr mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % durchgeführt wird, sondern eventuell mit 10 % oder 3 % Irrtumswahrscheinlichkeit. Ein Test, welcher einen Unterschied aufzeigt obwohl keiner vorhanden ist, wird als liberal bezeichnet während ein Test, welcher keinen Unterschied zeigt, obwohl einer vorhanden ist als konservativ bezeichnet wird.

In Phytomedizinischen Versuchen ist die Anwesenheit von Daten mit mehreren Kategorien vorhanden. Diese Kategorien können zum Beispiel bei Wahlversuchen über das Flugverhalten von Insekten auftreten, beispielsweise, dass ein Teil der Insekten in Richtung A ein Teil in Richtung B, aber auch ein Teil gar keine Flugaktivität zeigt. Bei der Auswertung solcher Datensätze liegt ein Abhängigkeitsproblem mit mehreren Kategorien vor. Bei solchen Versuchen werden multinomiale Modelle angenommen. Ein weiteres Augenmerk in der hier vorgestellten Arbeit liegt auf multiplen Vergleichen in multinomial Modellen.

Alle hier durchgeführten Auswertungen der Daten wurde mittels R 2.6.1 realisiert.

2 Phytomedizinische Betrachtung

2.1 Neem

2.1.1 Neembaum, Herkunft und Verbreitung

Der Neembaum *Azadirachta indica* (A.Juss) stammt ursprünglich aus Indien. Des Weiteren wird in der Fachliteratur aber auch Myanmar (Burma) als Herkunftsland angegeben [63, Schmuterer, 2005]. Das heutige Verbreitungsgebiet des Neembauums liegt in den tropischen und subtropischen Gebieten Asiens, Afrikas und Amerikas [25, Franke, 1997]. Er gehört zur Familie der Meliaceae (Mahagonigewächse, Zedrachgewächse) und besitzt je nach Region unterschiedliche Bezeichnungen (wie zum Beispiel Großblättriger Zedrach, Indischer Flieder, Niembaum), wobei Neembaum die internationale Bezeichnung ist [52, Meyer, 2004]. In der Regel erreicht der Neembaum eine Größe von 15 - 20 m, aber auch Höhen von 30 m sind möglich. Der Neembaum ist sehr schnellwüchsig, und widerstandsfähig gegen Wassermangel jedoch nur begrenzt tolerant gegen Bodenversalzung. Die immergrüne Pflanze wirft nur bei extremer Trockenheit seine Blätter zur Verminderung der Transpirationsverluste ab [56, Neemfoundation, 2008]. Gut drainierte Sandböden mit einem pH - Wert von 6,0 - 6,5 bevorzugt er. Für ein optimales Wachstum und maximalen Fruchtertrag wird ein Niederschlag von 600 - 1000 mm pro Jahr und Quadratmeter benötigt. Aus den weißen Blüten entstehen olivenähnliche Steinfrüchte, die in Rispen an den Bäumen hängen [72, Trifolio-M, 2008]. Im unreifen Zustand sind die Früchte grün und werden im Laufe des Reifungsprozess gelblich. Im Inneren der weißen, ovalen Samenschale sind länglich - ovale Samenkerne zu finden. Je nach Standortbedingungen sind ein bis drei Ernten pro Jahr möglich, wobei in guten Jahren einzelne Bäume einen Ertrag von bis zu 50 kg Früchte erzielen können. Der Ertrag ist stark abhängig von der Nährstoff- und Wasser Konkurrenz. Ebenso ist ein Alternieren der Erträge nicht untypisch [63, Schmuterer, 2005].



Abbildung 2.1: Früchte des Neembau-
mes, (Keele, 2008)



Abbildung 2.2: Der Neembaum *Azadi-
rachta indica*, (Gotost-
croix, 2008)

2.1.2 Inhaltsstoffe

Das Tetranortriterpenoid Azadirachtin wurde erstmals von Butterworth and Morgan (1968) isoliert. Aber erst Kraus et al. (1985) und Bilton et al. (1985) beschrieben die Strukturformel von Azadirachtin. Azadirachtin A ist der quantitativ am häufigsten vorkommende Inhaltsstoff, dessen Summenformel als $C_{35}H_{44}O_{16}$ zusammengefasst wird. Die zweitwichtigste Substanz ist 3-Tigloylazadirachtol. Der Anteil von Azadirachtin B im Neemsamenkernextrakt beträgt etwa ein Drittel des Anteils von Azadirachtin A. Darüber hinaus wurden weitere Azadirachtine isoliert, die aufgrund des geringen Anteils (<5%) der Gesamtazadirachtine vernachlässigt werden können [63, Schmuterer, 2005]. Zu den Inhaltsstoffen mit fraßmindernder Wirkung werden Desacetyl-Salannin und Desacetyl-Nimbin gezählt [73, Troß, 2000].

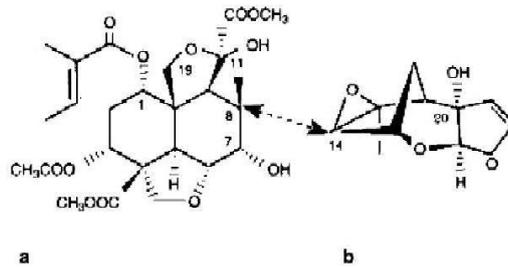


Abbildung 2.3: Strukturformel Azadirachtin A (a) Decalinfragment (b) Hydroxy-Furanfragment

2.1.3 Wirkungsweise

Azadirachtin wird sowohl durch die oberen Pflanzenteile als auch über die Wurzel aufgenommen. Wird der Wirkstoff über die Wurzel aufgenommen und über die Leitungsbahnen in die jungen Blätter transportiert, wird vom systemischen Effekt gesprochen [69, Thoeming, 2006]. Die Wirkungsweise des Wirkstoffes ist verschieden. So tritt zum Einen bei hohen Konzentrationen ein 'Antifeedant-Effekt' auf, zum Anderen ist der Wirkstoff eine Mitose hemmende Substanz, die die Polymerisation des Tubulin der Insektenzellen beeinträchtigt [63, Schmutterer, 2005]. Der 'Antifeedant-Effekt' wird auch fraßabschreckende Wirkung bezeichnet, welcher in einem primären und einem sekundären Effekt unterteilt werden kann. Der primäre Effekt von Azadirachtin ist die direkte Beeinflussung der Geschmacksrezeptoren der Mund- und Fußpartien der Insekten und hemmt auf diese Weise die Nahrungsaufnahme [1, Aerts und Mordue, 1997]. Die Insekten beißen zunächst in die behandelte Pflanze, fressen aber dann nicht weiter [63, Schmutterer, 2005]. Der sekundäre Effekt beschreibt eine erheblich verminderte Darmaktivität, welche nach der Aufnahme mit Azadirachtin behandelten Pflanzenteile eintritt [55, Mordue (Luntz) et al., 1998]. Der sekundäre Effekt ist somit bedeutsamer als der primäre Effekt, da eine verminderte Nahrungsaufnahme bewirkt wird. Durch die Verzögerung der Metamorphose bei der Häutung des Insektes ist Absterben des Insektes die direkte Folge [63, Schmutterer, 2005]. Wird das Insekt nicht abgetötet, führt der sekundäre Effekt oftmals zu kleineren Imagines mit einer geringeren Fortpflanzungsleistung [23, von Elling et al., 2002]. Bei dem Schädling Weiße Fliege ist ebenfalls die sekundäre Wirkungsweise des Wirkstoffes Azadirachtin bekannt [63, Schmutterer, 2005]. So wird durch die Hemmung der Mitose die Flügelbildung in der Prometaphase eins blockiert, welches zur Folge hat, dass deformierte Flügel ausgebildet werden. Auch Lähmungserscheinungen der Mus-

kulatur oder eine verringerte Bildung von Verdauungsenzymen wurden publiziert [63, Schmuterer, 2005]. Thoeming et al. (2005) erklären so die verringerte Nahrungsaufnahme durch den sekundären Effekt. Der Wirkstoff Azadirachtin hat des Weiteren einen bedeutenden Einfluss auf die Produktion von Häutungs- und Juvenilhormonen, welche zusammen die Häutung der Weißen Fliege steuern. Für die Entwicklung der Puppen- und Imaginalkutikula der Insekten ist das Verhältnis zwischen dem Häutungs- und Juvenilhormon wichtig [13, Börner, 1997]. Azadirachtin stört das Verhältnis der Hormone, sodass es nach der Häutung zu Missbildungen der Kutikula kommt [54, Mordue, 2004]. Desweiteren hat die Degeneration von Ovarien sowie die höhere Sterilität zur Folge, dass eine geringere Anzahl von Eiern von den Insekten abgelegt werden.

2.1.4 Neemprodukte allgemein und Neem Pellets

In Entwicklungsländern bilden selbst hergestellte Neemextrakte eine wichtige Methode zur Schädlingsbekämpfung. In Deutschland ist das Präparat NeemAzal-T/S der Firma Trifolio-M GmbH erhältlich. NeemAzal-T/S besteht zu 4 % aus Neem Azal (natürlicher Neem-Kern-Extrakt; 1 % Azadirachtin A, 3 % andere Neemsubstanzen), 51 % aus Pflanzenöl und zu 45 % aus Tensiden [62, Sautter und Stepper, 2006]. Die Öle dienen zur besseren Benetzung der Pflanzenbestände. Weiterentwicklungen von NeemAzal-T/S sind zum Beispiel NeemAzal-U, -T/SR, -F, NeemAzal-T/S forte und Neem schädlingsfrei [59, Pennekamp, 2005]. Darüber hinaus sind weitere Azadirachtinhaltige Insektizide bekannt wie zum Beispiel das Produkt NeemAzal-U der Firma Trifolio-M GmbH. NeemAzal-U ist eine Neem Formulierung auf Wasserbasis und wurde für eine Bodenapplikation entwickelt. Analysen ergaben einen Gehalt von 17 % Azadirachtin A, 2 % 3-Tigloylazadirachtol (Azadirachtin B), 1,5 % Desacetyl - Salannin und 0,35 % Desacetyl - Nimbin [69, Thoeming, 2006]. Ein ähnliches Produkt, jedoch in Pelletform und noch in der Forschung befindlich, ist das Neem Pellet. Dieser weist einen Azadirachtin Gehalt von 12,95 % und einen Dünger-Gehalt von Gesamtstickstoff-Phosphat-Kalium (N-P-K) 4-2-3 auf. Das Pellet wurde von der Firma W. Neudorf GmbH KG mit Sitz in Emmerthal speziell für diese Versuche hergestellt. So beträgt bei einem durchschnittlichem Gewicht von 1,72 g pro Pellet der Azadirachtin Gehalt 0,22 g pro Pellet. Die Firma Neudorf bezieht ihr Ausgangsmaterial, das Azadirachtin, von der Firma Trifolio GmbH, so dass zu erwarten ist, dass bei den Neem Pellets die gleiche Azadirachtin Mischung verwendet

wird, wie bei Neem Azal-U.

2.1.5 Wirkungen auf Ziel-Organismen

Es konnte nachgewiesen werden, dass Pflanzenschutzmittel auf Neembasis bei über 200 Insektenarten, wie zum Beispiel aus den Insektenordnungen Diptera, Heteroptera, Homoptera, Hymenoptera und Lepidoptera, eine Wirkung haben [52, Übersicht in Meyer, 2004]. So sind zur Zeit Neempräparate für den Acker-, Gemüse-, Obst- und Zierpflanzenbau zugelassen [18, BVL, 2008]. Diese können sowohl im Freiland als auch in Gewächshäusern eingesetzt werden. Islam, (2005) stellte bei seinen Studien fest, dass eine Bodenapplikation von NeemAzal-U eine Larvenmortalität von *Aphis fabae* Scopoli (Homoptera: Aphididae) an *Vicia fabae* von bis zu 75 % bewirkte. Des Weiteren sind Wirkungsweisen auf *Bemisia tabaci* und *Trialeurodes vaporariorum* bekannt [46, Kumar und Poehling, 2007]. Kumar und Poehling (2007) beschrieben einen Effekt von NeemAzal T/S auf *Bemisia tabaci*. So hatte NeemAzal T/S in diesen Versuchen eine abschreckende Wirkung auf die adulten Weißen Fliegen. Ebenso konnte ein Einfluss auf das Schlupfverhalten nachgewiesen werden. Wulf und Hartmann (2005) behandelten Pflanzen mit NeemAzal-U. Mit zunehmender Konzentration war das Vorkommen des Schädling in Form von Eiern, Larven und Adulten reduziert. Hier hatte sich der Wirkstoff systematisch über die Wurzel bis in die oberen Pflanzenteile ausgebreitet. In weiteren Untersuchungen wurde die Wirksamkeit von NeemAzal-U und NeemAzal-T/S auf die Weiße Fliege *Bemisia tabaci* Gennadius getestet. Bei beiden wurden Mortalitäten von bis zu 100 % erreicht. Die beiden Anwendungsmethoden (Boden - und Sprühapplikation) zeigten zunächst kaum Wirkungsunterschiede, jedoch die Vorteile der NeemAzal-U Behandlung konnten herausgearbeitet werden. So wurde festgestellt, dass der Wirkstoff bei einer Bodenbehandlung nicht so schnell durch UV-Licht abgebaut werden kann [45, Kumar und Poehling, 2006]. Auch bei Behandlungen von Tomatenpflanzen mit Neem Azal-U auf *Liriomyza sativae* konnte ein Effekt nachgewiesen werden. Es ergaben sich systemische Effekte gegenüber den Larvenstadien mit Mortalitätsraten bis zu 100 % [36, Hossain et al., 2008].

2.1.6 Wirkungen auf Nicht-Ziel-Organismen

Für die meisten Nützlinge ist eine Behandlung mit Neem unschädlich. Hier sind zum Beispiel die Versuche von Aggarwal und Brar, 2006 zu nennen. Sie untersuchten die Wirkungen von Neemprodukten auf verschiedene Nicht - Ziel Organismen. Es wurde keine kontaktinsektizide Wirkung durch NeemAzal T/S bei *Encarsia sophia* gezeigt, dafür aber eine dosisabhängige Wirkung nach oraler Aufnahme. Bei *Chrysoperla carnea* konnte kein Einfluss auf das Schlupfverhalten festgestellt werden. Die Larvenstadien dagegen zeigten wiederum eine dosisabhängige Wirkung auf Neempräparate [2, Aggarwal und Brar, 2006]. Es konnte zum Beispiel keine toxische Wirkung auf die Raubmilbe *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot festgestellt werden [52, Meyer, 2004]. Bei der Schlupfwespe *Encarsia formosa* Gahan, welche das dritte und vierte Larvenstadium der Weißen Fliegen parasitiert, konnte ein negativer Effekt durch eine Neembehandlung nicht nachgewiesen werden [65, Simmonds et al., 2002]. Die Raubmilbe *Hypoaspis aculeifer* zeigte bei einer Behandlung mit NeemAzal-U, in ihrer Populationsentwicklung, keinerlei signifikante Unterschiede zur Kontrollbehandlung [71, Thoeming, 2005]. Bei den Schwebfliegen (Syrphiden), welche wichtige Prädatoren der Blattläuse sind, zeigten sich besonders empfindliche Reaktionen bei der Behandlung mit Neempräparaten. Die Wirkstoffe können bei den weichhäutigen Larven sehr leicht eindringen. Dies hat bei den Puppen - und Larvenstadien eine hohe Mortalität zur Folge. Auf Warmblüter haben Neempräparate niedrige bis keine Toxizität [63, Schmutterer, 2005].

2.2 Lizetan Combistäbchen (Positivkontrolle)

2.2.1 Wirkstoff

Die Lizetan Combistäbchen gegen Schädlinge an Zierpflanzen in Erd- und Hydrokultur beinhalten den Wirkstoff Imidacloprid mit einer Konzentration von 50 mg pro Stäbchen. Der Wirkstoff Imidacloprid [$C_9H_{10}ClN_5O_2$] (Siehe Seite 12, Abbildung 2.4) ist ein systemisches Chlornicotinyl-Insektizid aus der Gruppe der Neonicotinoide. 1985 wurde es erstmal von der Firma Bayer AG synthetisiert. Seit der Markteinführung 1991 von Bayer CropScience wird es in etwa 120 Ländern als das derzeit weltweit meistverwendete Insektizid eingesetzt. Wenn Imidacloprid über den Boden appliziert wird, so

kann es gut über die Wurzel aufgenommen und mit dem Wasserstrom über die Leitbahnen in die Blätter transportiert werden [60, Roberts und Hutson, 1999]; Miller TL (<http://extoxnet.orst.edu/pips/imidaclo.htm>). Saatgutbeizungen bei Zucker- und Futterrüben, Getreide, Kartoffeln, Mais, Zwiebeln und dem Ölkürbis werden auch durchgeführt oder der Wirkstoff wird über die Blätter appliziert. Imidacloprid wirkt dabei gegen saugende und beißende Insekten und wird hauptsächlich im Anbau von sowohl Reis, Mais und anderem Getreide als auch von Kartoffeln, Zuckerrüben, Gemüse, Obst, Hopfen und Baumwolle sowie zur Behandlung von Grasflächen eingesetzt. Der Wirkstoff prägt seine systemische Wirkung am Stärksten aus, wenn er über die Samen oder den Boden angewendet wird.

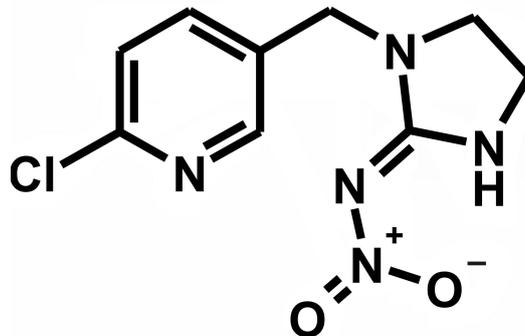


Abbildung 2.4: Strukturformel Imidacloprid

2.2.2 Wirkungsweise

Chemisch ist Imidacloprid mit dem Tabak-Alkaloid Nicotin verwandt (Siehe Seite 13, Abbildung 2.5). Genauso wie das Acetylcholin imitiert Imidacloprid den wichtigsten Neurotransmitter im Zentralen Nervensystem der Insekten. Nachdem Acetylcholin aus der präsynaptischen Nervenzelle freigesetzt wurde bindet es an den postsynaptischen nicotinischen Acetylcholin-Rezeptor und öffnet somit den Liganden-gesteuerten Kationen-Kanal. Natrium- und Calciumionen können hierdurch in die postsynaptische Zelle strömen und es wird eine Änderung des Membranpotentials erreicht. Die Acetylcholin-Esterase kann nicht verhindern, dass durch Nikotin und Imidacloprid es zu einer dauerhaften Aktivierung des nicotinischen Acetylcholin-Rezeptor kommt. Hierdurch werden

die cholinergen Synapsen überstimuliert, was zu Krämpfen, Lähmungen und schließlich zum Tod des Insektes führt. [12, Bloomquist, 1993].

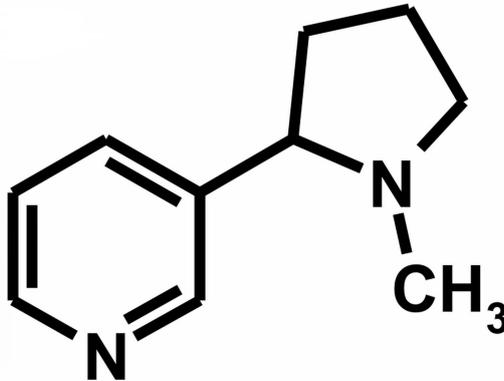


Abbildung 2.5: Strukturformel Nikotin

2.2.3 Wirkungen auf Nicht-Ziel-Organismen

Die Wirkungsweise von Imidacloprid auf Nicht-Ziel-Organismen ist unterschiedlich. Einige räuberische Käfer und Wanzen sowie Spinnen zeigen eine geringe bis gar keine Wirkung auf den Wirkstoff. Gleichzeitig konnte aber auch gezeigt werden, dass andere Spezies aus diesen Familien eine sehr starke toxische Wirkung gegenüber Imidacloprid haben. Es gibt aber auch Raubmilbenarten der Familie Phytoseiidae die keine Wirkung zeigen [39, James und Vogele, 2001]. Imidacloprid und *Encarsia formosa* können gleichzeitig bei einem Befall mit zum Beispiel Weißer Fliege eingesetzt werden. Imidacloprid verursacht eine hohe Mortalität. Bei einem gleichzeitigen Einsatz von *Encarsia formosa* sind die Schlupfwespen für mindestens 10 % der beobachteten Mortalität verantwortlich. Dies bedeutet, dass bei einer Bodenapplikation von Imidacloprid eine konstante Freilassung von Schlupfwespen die Gesamtmortalität erhöht. Weiter bedeutet dies, dass Imidacloprid als Bodenapplikation geringe Auswirkungen auf *Encarsia formosa* hat [9, Bethke und Redbak, 1997].



Abbildung 2.6: Adulte der Weißen Fliege, Fotos: S. Menke



Abbildung 2.7: Larve der Weißen Fliege

2.3 *Trialeurodes vaporariorum*

2.3.1 Morphologie und Biologie

Ordnung:	Hemiptera (Schnabelkerfe)
Unterordnung:	Homoptera (Gleichflügler)
Familie:	Aleyrodidae (Mottenschildläuse)
Gattung:	<i>Trialeurodes vaporariorum</i> Westwood

Tabelle 2.1: Systematische Einteilung

Es sind weltweit bis zu 1200 Arten der Weißen Fliege bekannt. Drei Arten der Weißen Fliege sind in Europa von Bedeutung. Zum einen *Bemisia argentifolii* Bellows und Perring, *Bemisia tabaci* Gennadius und weiter *Trialeurodes vaporariorum* Westwood [49, Maloy and Murray, 2001]. *Trialeurodes vaporariorum*, die zu der Familie der Mottenschildläuse gehört, ist weltweit verbreitet, am stärksten in wärmeren Gebieten. Sie zählt seit 1970 zu den wichtigsten Unterglasschädlingen und wurde wahrscheinlich aus den tropischen, beziehungsweise subtropischen Gebieten Amerikas nach Großbritannien eingeschleppt [26, Fortmann, 1993]. Sie ist etwa 1,5 mm lang und hat vier 'dachförmig' stehende Flügel. Das Insekt ist mit feinem, mehligem Wachsstaub bepudert und verfügt über stechend-saugende Mundwerkzeuge. Es wird überwiegend Assimilat aus dem Phloem aufgenommen [33, Heinz et al., 2004]. Schäden entstehen sowohl durch die Saug-

tätigkeit der Adulten und der Larven, als auch durch die Honigtauabgabe der Adulten und der Larven. In den Sommermonaten legen die Adulten etwa vier bis sieben Eier pro Tag auf die Blattunterseite ihrer Wirtspflanze. In den übrigen Monaten verringert sich die Eiablage auf circa zwei Eier je Tag (<http://www.faunistik.net>, 2008). Die Eier besitzen einen hakenförmigen Stiel, der in einem durch den Ovipositor der Adulten Weißen Fliege geritzten Schlitz festgehakt wird [33, Heinz et al., 2004]. Die 0,1 mm großen Eier werden meist kreisförmig abgelegt und haben eine gelblich - grüne Färbung. Die Larven, die aus diesen Eiern schlüpfen, sind in dem ersten Nymphenstadium. Sie werden Crawler genannt, da sie sich in einem Umkreis von bis zu drei Zentimetern fortbewegen können um sich dann in der Nähe des Eiablageortes festzusetzen. An diesem Ort beginnen sie dann ihre Saugtätigkeit an der Wirtspflanze (<http://www.faunistik.net>, 2008). Nur in diesem Stadium können sich die Larven bewegen. Die Larven weisen im ersten und zweiten Larvenstadium eine Größe von 0,2 - 0,4 mm auf und sind schildförmig. Im dritten und vierten Larvenstadium sind die Larven 0,6 - 0,7 mm lang und haben eine gewölbte Form [58, Pederson et al., 1986]. Das letzte Larvenstadium zeigt keine Ähnlichkeit mit dem Imago. In der Larvenhülle findet eine Metamorphose statt. Das Ergebnis dieser Entwicklung ist ein Puparium [6, Bährmann, 2002]. In dem Puparium wird die Imago aus dem letzten Larvenstadium heraus differenziert.

2.3.2 **Entwicklungszyklus**

Nach der Ablage der Eier dauert es ein bis zwei Tage bis sich die Eier von glasig-hell in schwarz-braun verfärben. Sieben bis zehn Tage später schlüpft aus ihnen der so genannte Crawler, das erste Larvenstadium [26, Fortmann, 1993]. Weitere fünf Tage später ist das erste Larvenstadium beendet und das zweite, welches zwei bis drei Tage dauert, beginnt. Das dritte Larvenstadium dauert drei Tage, und endet im vierten Larvenstadium. Ist dies nach etwa vier Tagen beendet, schlüpft das Insekt aus dem Puparium. Insgesamt durchläuft die Weiße Fliege die vier Larvenstadien in 14 Tagen. Der gesamte Entwicklungszyklus, von der Eiablage bis zum Schlüpfen des Insektes, dauert drei Wochen bei einer Temperatur von 25 Grad Celsius [33, Heinz et al., 2004]. Die Dauer des Entwicklungszykluses ist stark abhängig von der Temperatur. Bei 16 Grad Celsius wird eine Generation in etwa 60 Tagen, bei 24 Grad Celsius bereits in 25 Tagen durchlaufen. Unter günstigen Bedingungen kann eine Entwicklung auch im Freiland erfolgen. Sogar kurz-

fristige Temperaturen unterhalb des Gefrierpunktes gefährden die Entwicklung kaum (<http://www.faunistik.net>, 2008). Die Lebenserwartung der Adulten schwankt und ist stark abhängig von der Umgebungstemperatur [4, Albajes et al., 1999].

2.3.3 Schadbild

Eine direkte Schädigung findet durch den massiven Assimilatentzug statt. *Trialeurodes vaporariorum* nimmt diesen als Nahrung auf. An der Blattoberseite treten bei einem Befall kleine gelbe Flecken auf, wird der Befall stärker können die Blätter völlig vergilben. Durch die Honigtauabgabe der Insekten entstehen indirekte Schäden. Auf dem Honigtau bilden sich Rußtaupilze, welche die Atmung und Assimilation der Wirtspflanze beeinträchtigen. Der abgegebene Honigtau kann auch Stoffwechselprozesse in der befallenen Wirtspflanze beeinflussen. Dadurch wird nicht nur das Pflanzenwachstum beeinträchtigt, sondern auch die Qualität und Verkaufsfähigkeit der Wirtspflanze werden reduziert [26, Fortmann, 1993]. Als indirekter Schaden ist auch die Übertragung von Viren durch *Trialeurodes vaporariorum* zu nennen. *Trialeurodes vaporariorum* kann drei Virusarten übertragen. Das im mediterranem Raum verbreitete Beet Pseudoyellows Virus, welches Gurken, Melonen, Zuckerrüben und Salat befällt, das Tomato Infectiuos Chlorosis Virus (TOCV) sowie das Potato Yellow Vine Virus (PYVV). Diese gehören alle zu den Closteroviren, die Cucurbitaceen befallen [33, Heinz et al., 2004].

2.3.4 Bekämpfungsmöglichkeiten

Die Schlupfwespe *Encarsia formosa* ist in der Lage die Larvenstadien der Weißen Fliege zu parasitieren. Eine weitere Schlupfwespenart, *Eretmocerus eremicus*, kann als Parasitoid gegen die Weiße Fliege eingesetzt werden. *Eretmocerus eremicus* legt ihre Eier neben oder unterhalb der Wirtslarve ab. Erst nach dem Schlupf dringt die Schlupfwespenlarve in die Wirtslarve ein. Hier entwickeln sich nun die folgenden zwei Larvenstadien bis das entwickelte Vollinsekt schließlich durch ein kreisrundes Loch der Puppe schlüpft. Bevorzugt für die Parasitierung werden das zweite und dritte Nymphenstadium der Weißen Fliege [40, Katz Biotech, 2008]. Weitere Beispiele für Schlupfwespen, die Weiße Fliegen parasitieren und in der biologischen Schädlingsbekämpfung eingesetzt werden, sind *Encarsia tricolor* [57, Onillion, 1990] und *Encarsia deserti* [29, Gerling, 1983]. Des

Weiteren werden in Gemüsekulturen auch Raubwanzen zur Bekämpfung der Weißen Fliege eingesetzt. *Macrolophus caliginosus* und *Macrolophus pygmaeus* bevorzugen die Eier und Larven der Schädlinge [62, Sautter und Stepper, 2006]. Auch Pilze können als Gegenspieler zur Weißen Fliege fungieren. Voraussetzung hierfür ist aber eine hohe Temperatur und Luftfeuchte. Hier sind vor allem die Gattungen *Aschersonia*, *Verticillium* und *Paecilomyces* zu nennen. Diese durchdringen die Kutikula und kolonisieren das Innere des Wirtes [4, Albajes et al., 1999]. Bei einem Massenaufreten der Weißen Fliege kann es jedoch zu Problemen mit der biologischen Bekämpfung mittels Nützlingen kommen. Bernd und Meyhöfer, 2007 konnten in Experimenten zeigen, dass eine kurative Bekämpfung bei einer Befallsstärke von 50 Larven der Weißen Fliege und 50 adulten Weißen Fliegen selbst mit einer Ausbringung von wöchentlich 1000 *Encarsia formosa* pro Quadratmeter nicht möglich ist. [8, Bernd und Meyhöfer, 2007]. Oft ist eine Bekämpfung mittels Insektizide nicht vermeidbar, da eine sofortige Bekämpfung notwendig ist um weitere Schäden zu vermeiden. Bei den Insektiziden gibt es verschiedene Wirkstoffgruppen, wie zum Beispiel die Naturstoffe (Pyrethrum, Azadirachtin), organische Phosphorsäureester (Parathion, Dimethoat) oder synthetisch hergestellte Neonicotinoide (Acetamiprid, Imidacloprid). Beim Einsatz von chemischen Insektiziden ist zu beachten, dass es eine differenzierte Anfälligkeit der einzelnen Stadien gegenüber den eingesetzten Insektiziden gibt. Es ist schwierig alle Stadien zu bekämpfen. Es sollten zum einen möglichst systemisch wirkende Insektizide, als auch Kontaktinsektizide eingesetzt werden. Besonders Puppen sind hierdurch schwer zu bekämpfen, da sie keine Nahrung und damit auch keine systemisch wirksamen Insektizide aufnehmen. Außerdem sind sie vor Kontaktinsektiziden durch eine Wachsschicht geschützt [66, Stahl und Umgelter, 1993]. Um eine vollständige Bekämpfung erreichen zu können, ist, aus den genannten Gründen, eine wiederholte Anwendung in kurzen Intervallen unumgänglich [17, Bürki et al., 1990]. Bei langfristiger Anwendung kann es zu Problemen mit dem chemischen Pflanzenschutz kommen. Aufgrund der hohen Anzahl der Generationen pro Jahr und der schnellen Ausbildung von Resistenzen ist der langfristige Erfolg nicht gewährleistet. Dies kann man am Beispiel des Wirkstoffes Imidacloprid (Confidor) sehen. Bei der Markteinführung 1993 konnte eine gute Wirksamkeit gegen *Trialeurodes vaporariorum* beobachtet werden. Heute sind jedoch manche Bemisia-Stämme resistent und bei *Trialeurodes vaporariorum* sind auch schon Resistenzen festgestellt worden [30, Gorman et al., 2007].



Abbildung 2.8: *Encarsia formosa*, Fotos: S. Menke



Abbildung 2.9: Parasitierte Weiße Fliegen Larve nach der Verpuppung

2.4 *Encarsia formosa*

Encarsia formosa Gahan wird weltweit zur Kontrolle der Weißen Fliege im kommerziellen Unterglasanbau genutzt. Erstmals entdeckt wurde *Encarsia formosa* 1924 von Gahan in einem Gewächshaus in Idaho [35, Hoddle et al., 1998]. In den 20er Jahren des letzten Jahrhunderts wurde *Encarsia formosa* das erste Mal eingesetzt. Aufgrund der Entwicklung von Pestiziden verringerte sich das Interesse an Nützlingen allgemein. Ab 1970 wurde *Encarsia formosa* wieder vermehrt eingesetzt. Dieser Parasitoid ist ein thelytoker (aus unbefruchteten Eiern schlüpfen nur Weibchen) Endoparasitoid. Die adulten *Encarsia formosa* reagieren sehr empfindlich auf einige chemische Pflanzenschutzmittel, wie zum Beispiel Pyrethroide oder phosphororganische Wirkstoffe. Aus diesem Grund ist ein kombinierter Einsatz der Schlupfwespe als Nützling mit chemischen Bekämpfungsmaßnahmen sehr schwierig. Ein Beispiel hierfür zeigt sich in den Nebenwirkungen des Wirkstoffes Imidacloprid, der eine hohe Persistenz aufweist und die Schlupfwespe schädigt [19, Dimitrov, 2005].

2.4.1 Morphologie und Biologie

Zu der Familie der Aphelinidae gehören ca. 100 Arten, von denen wiederum etwa 280 zur Gattung *Encarsia* gehören. *Encarsia formosa* ist ein solitärer Endoparasitoid und entwi-

Ordnung:	Hymenoptera (Hautflügler)
Unterordnung:	Apocrita (Tailenwespen)
Familie:	Aphelinidae (Erzwespen)
Gattung:	<i>Encarsia formosa</i> Gahan

Tabelle 2.2: Systematische Einteilung

ckelt sich ausschließlich in Larven der Weißen Fliege [26, Fortmann, 1993]. Weibchen von *Encarsia formosa* sind sehr klein und haben eine Länge von ungefähr 0,6 mm. Ihr Kopf und Thorax ist schwarz. Ihr Abdomen weist eine gelbe Färbung auf. Männchen sind sehr selten und etwas dunkler. Die Schlupfwespe vermehrt sich weitestgehend durch thelytoke Partheogenese. Hierdurch entstehen nur weibliche, jedoch diploide Nachkommen. Männchen machen nur etwa 2 % der Population aus [35, Hoddle et al., 1998]. Weibchen legen ihre Eier vorzugsweise in das dritte und vierte Larvenstadium. Es werden 8-10 Larven pro Tag und Schlupfwespe parasitiert. Die weiblichen Schlupfwespen weisen hierbei ein sehr aktives Suchverhalten auf. Bei der Suche ernährt sich *Encarsia formosa* vom Honigtau und von jüngeren Stadien der Weißen Fliege (Hostfeeding) [26, Fortmann, 1993]. An allen pre-imaginal Stadien findet Hostfeeding statt. Das zweite Larvenstadium wie auch das Puppenstadium wird aber bevorzugt. Wichtig für die Effizienz von *Encarsia formosa* ist die Wirtspflanzenart des Schädling. Bei stark behaarten Blättern und einer daraus resultierend geringen Laufgeschwindigkeit der Schlupfwespe ist deren Effizienz vermindert. Außerdem können sie an den auf dem Blatthaaren sitzendem Honigtau festkleben [4, Albajes et al., 1999].

2.4.2 Entwicklungszyklus

Ein Schlupfwespen-Weibchen kann in ihrer Lebenszeit, welche etwa zwei bis drei Wochen dauert, bis zu 300 Eier ausbilden. Durchschnittlich legt sie pro Tag etwa 10 bis 15 Eier ab [26, Fortmann, 1993]. Die Weibchen legen die etwa 0,13 nm großen Eier mit Hilfe ihres Ovipositors in gesunde Larvenstadien der Weißen Fliege ab. Bevorzugt wird hierbei das dritte und vierte Larvenstadium. Mittels Pheromomne wird eine doppelte Parasitierung der Larvenstadien verhindert und somit die Effizienz als Nützlich gesteigert [35, Hoddle et al., 1998]. Nach der Ablage in die Larve der Weißen Fliege entwickelt

sich das Ei über drei Larven- sowie einem Puppenstadium. Die Entwicklungsdauer zur adulten Schlupfwespe ist abhängig von der Temperatur. Bei einer Temperatur von 25 Grad Celsius wird das erste Larvenstadium nach etwa vier Tagen erreicht. Ei- und Larvenstadium dauern zusammen 12 bis 14 Tage, das Puppenstadium etwa dann noch mal 8 bis 12 Tage. Während der Entwicklung der Schlupfwespe innerhalb der Larve der Weißen Fliege ernährt sich die Schlupfwespe ausschließlich von der Larve und tötet sie schließlich ab. Es ist aber wichtig, dass sich die Larve der Weißen Fliege mindestens bis zum vierten Larvenstadium entwickeln kann, da die *Encarsia* Larve sonst nicht zur Verpuppung fähig ist [26, Fortmann, 1993]. Nach der Verpuppung, die etwa 10 bis 12 Tage nach der Eiablage stattfindet, färbt sich die Larve der Weißen Fliege schwarz. Nach ihrer Entwicklung schlüpft die adulte *Encarsia formosa* durch einem runden Loch aus Chitinhülle der Schädlingslarve.

2.4.3 Anwendung

Eine wichtige Voraussetzung bei dem Einsatz von *Encarsia formosa* sind mittlere Tagestemperaturen von über 18 Grad Celsius. Ist dies nicht der Fall, so entwickelt sich die Weiße Fliege mit einer höheren Vermehrungsrate als die Schlupfwespe. Ist es kälter als 15 Grad Celsius so legt die Schlupfwespe keine Eier mehr ab [26, Fortmann, 1993]. Entscheidend ist aber der prophylaktischer Einsatz, da ein kurativer Einsatz von Schlupfwespen oft nicht zu einer erfolgreichen Bekämpfung der Weißen Fliege führt [8, Bernd und Meyhöfer, 2007]. Die Ausbringungsmenge liegt im Gewächshaus bei etwa 5 bis 10 Nützlingen pro Quadratmeter. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist der Lichtbedarf von Schlupfwespen. Ein sinnvoller Einsatz in den Wintermonaten kann nur mit Zusatzbeleuchtung realisiert werden. *Encarsia formosa* fliegt erst ab einer Beleuchtungsstärke von mindestens 4200 Lux [26, Fortmann, 1993].

3 Biostatistische Betrachtung

3.1 Allgemeines

3.1.1 Hypothesenformulierung

Die Hypothesenformulierung setzt die Präzisierung der Versuchsfrage voraus. Hierbei soll die Art der Aussage, die konkrete Zielstellung des Versuchs, die Vorgaben für die Aussagekraft (Zuverlässigkeit) und den Aussagebereich der Versuchsergebnisse festgelegt werden. Die Zielstellung des Versuchs wird nun mit Hilfe eines statistischen Modells formuliert, wobei Parameter geschätzt werden. Für diese Parameter können statistische Hypothesen formuliert werden, die anhand der Ergebnisse zu überprüfen sind.

Nullhypothese/Alternativhypothese:

Man unterscheidet zwischen Nullhypothese und Alternativhypothese. Oft sagt die Nullhypothese aus, dass ein bestimmter Zusammenhang nicht besteht. Diese These soll verworfen werden, so dass die Alternativhypothese als möglichst wahrscheinlich übrig bleibt [61, Sachs und Hedderich, 2006].

Test auf Mittelwertsunterschied zweier Stichproben

Bei einem Test auf Unterschied wird die Nullhypothese (Gleichheit) mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit α abgelehnt. Somit tritt die Alternativhypothese (Unterschied) in Kraft.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

Nullhypothese: Der Mittelwert einer Stichprobe ist gleich dem Mittelwert einer zweiten Stichprobe.

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

Alternativhypothese: Der Mittelwert einer Stichprobe unterscheidet sich von dem Mittelwert einer zweiten Stichprobe.

3.1.2 Gruppenvergleich über Differenz, Ratio und Odds-Ratio

Der Gruppenvergleich beinhaltet den Unterschied zwischen mehreren Stichproben. Dieser Vergleich kann als Differenz, Ratio oder Odds - Ratio dargestellt werden.

$$H_0 : \mu_i = \mu_j \text{ für } i \neq j$$

Nullhypothese: Der Mittelwert einer Stichprobe unterscheidet sich nicht von dem Mittelwert einer zweiten, dritten, . . . , n-ten Stichprobe.

Folgend die Alternativhypothese für einen 'many to one'-Vergleich:

$$H_1 : \exists i : \mu_1 \neq \mu_i, i = 2, \dots, k, \text{ für } k-1 \text{ Zeilen im Kontrast [15, Bretz et al., 2001].}$$

Alternativhypothese: Der Mittelwert einer Kontrollstichprobe unterscheidet sich von dem Mittelwert mindestens einer zweiten, dritten, . . . , n-ten Stichprobe.

Phytomedizinisches Beispiel für Hypothesen:

H_0 : Kranke Pflanzen haben einen gleich hohen Ertrag, gleiche Größe, gleiche Blütenanzahl wie gesunde Pflanzen.

H_1 : Kranke Pflanzen haben einen unterschiedlichen hohen Ertrag, Größe oder Blütenanzahl wie gesunde Pflanzen.

Test auf Differenz

$$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$$

Nullhypothese: Der Mittelwert einer Stichprobe ist gleich dem Mittelwert einer zweiten Stichprobe.

$$H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

Alternativhypothese: Der Mittelwert einer Stichprobe unterscheidet sich von dem Mittelwert einer zweiten Stichprobe.

Beispiel Test auf Differenz:

H_0 : Kranke Pflanzen haben einen gleich hohen Ertrag wie gesunde Pflanzen.

H_1 : Kranke Pflanzen unterscheiden sich hinsichtlich eines bestimmten Ertrages gegenüber gesunden Pflanzen.

Test auf Ratio

$$H_0 : \frac{\mu_1}{\mu_2} = 1$$

Nullhypothese: Das Verhältnis vom Mittelwert zweier Stichproben ist gleich eins.

$$H_1 : \frac{\mu_1}{\mu_2} \neq 1$$

Alternativhypothese: Das Verhältnis vom Mittelwert zweier Stichproben ist nicht gleich eins.

Beispiel Test auf Ratio:

H_0 : Das Verhältnis von kranken Pflanzen zu gesunden Pflanzen ist gleich eins.

H_1 : Das Verhältnis von kranken Pflanzen zu gesunden Pflanzen ist nicht gleich.

Odds - Ratio

Beschreibt den Quotienten zweier Odds zueinander. Ein Odds ist das Verhältnis aus dem Risiko des Eintritts eines Ereignisses zu dem Risiko, dass dieses Ereignis nicht eintritt. Ist die Odds Ratio gleich eins, so sind die Risiken für das Eintreten der Ereignisse in Gruppe 1 oder 2 gleich. Ist die Odds Ratio > 1 , so ist das Risiko, dass das Ereignis in Gruppe 1 eintritt, größer. Ist sie < 1 , so ist das Risiko, dass das Ereignis in der 1. Gruppe eintritt, kleiner. Folgend werden die Hypothesen dargestellt [3, Agresti, 1990].

$$H_0 : \frac{p_1(1-p_2)}{p_2(1-p_1)} = 1$$

Nullhypothese: Das Risiko, dass das Ereignis in Gruppe 1 eintritt ist gleich dem Risiko, dass das Ereignis in Gruppe 2 eintritt.

$$H_1 : \frac{p_1(1-p_2)}{p_2(1-p_1)} \neq 1$$

Alternativhypothese: Das Risiko, dass das Ereignis in Gruppe 1 eintritt ist nicht gleich dem Risiko, dass das Ereignis in Gruppe 2 eintritt.

Beispiel Odds - Ratio:

H_0 : Das Risiko eines Krankheitssymptoms bei der Kontrolle ist gleich dem Risiko eines Krankheitssymptoms bei der Behandlung.

H_1 : Das Risiko eines Krankheitssymptoms bei der Kontrolle ist nicht gleich dem Risiko eines Krankheitssymptoms bei der Behandlung.

3.1.3 Globaltest gegenüber mehreren einzelnen Tests

Ein Globaltest soll zeigen, dass es irgendwo in den Daten, bei einem bestimmten Irrtumswahrscheinlichkeit α , einen Gruppenunterschied gibt.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

Nullhypothese: Der Mittelwert einer Stichprobe unterscheidet sich nicht von dem Mittelwert einer zweiten und dritten Stichprobe.

$$H_1 : \mu_1 = \mu_2 \neq \mu_3 \vee \mu_1 \neq \mu_2 = \mu_3$$

Alternativhypothese: Irgendwo in den Daten unterscheidet sich der Mittelwert einer Stichprobe von dem Mittelwert einer zweiten Stichprobe.

Einseitiges Testen

Eine einseitige Alternativhypothese wird dann formuliert, wenn ein zu testender Effekt nur in einer Richtung möglich oder sachlich gerechtfertigt ist. Dies bedeutet, dass nicht wie bei einer zweiseitigen Hypothese auf einen abfallenden oder einen ansteigenden Effekt getestet werden soll, sondern entweder nur ein abfallender oder ein ansteigender Effekt betrachtet wird. Wird bei einseitiger Alternativhypothese auf Überlegenheit die Nullhypothese angenommen, so kann eine eventuelle Unterlegenheit nicht ausgeschlossen werden. Die Vorteile bei einseitigen Tests liegen in der Verdoppelung der Irrtumswahrscheinlichkeit α gegenüber dem Zweiseitigen Fall. Eine Irrtumswahrscheinlichkeit α von zum Beispiel 5 % muss nun nicht auf beide Entscheidungen aufgeteilt werden, sondern kann komplett für eine Hypothese verwendet werden. Die Testentscheidung gegenüber dem zweiseitigen Fall wird liberaler.

3.1.4 Anlage eines Versuchs / Ziel des Versuchs

Der Grund für die Durchführung eines Versuchs ist, dass mittels einer Stichprobe aus diesem Versuch auf die Allgemeinheit geschlossen werden soll. Hierbei stellt sich die Frage, welcher Fehler zugelassen und welcher kontrolliert werden soll. Bei der Beschreibung des Versuchs wird erläutert, wie die vorliegenden Daten ermittelt wurden. Die Beschreibung sollte außerdem beinhalten, wann und wo die Daten erhoben wurden. Ziel der Versuchsbeschreibung ist es einem Dritten eine vollständige Wiederholung des Versuchs zu ermöglichen.

Randomisierung

Die Prüfglieder, zum Beispiel Pflanzen, werden zufällig innerhalb der Versuchsanlage verteilt. Es liegt keine Blockbildung vor [68, Thomas, 2006]. Würde man die Prüfglieder systematisch anordnen, so werden Prüfgliedeffekte und Störeffekte miteinander vermischt. Außerdem treten zwischen den Prüfgliedern Korrelationen auf. Jedes Prüfglied muss die gleiche Chance haben, einem bestimmten Platz zugewiesen zu werden. Hierdurch werden die Wirkungen systematischer Störfaktoren ausgeglichen und unverzerrte Versuchsergebnisse sowie unabhängige Zufallseffekte auf die Prüfgliedwerte erzeugt. Falls keine unabhängigen Beobachtungen vorhanden sind wird die Varianz unterschätzt.

Wiederholungen

Unter der Fallzahl versteht man den Umfang einer Stichprobe oder die Anzahl der Versuche bzw. Wiederholungen eines Experiments. Oft wird für die Fallzahl das Symbol N verwendet (Beispiel: $N=30$ bedeutet, dass 30 Beobachtungen gemacht und aufgenommen wurden)

Eine hohe Wiederholungszahl bzw. Fallzahl ist wichtig, da ein einzelnes Prüfmerkmal keine Aussagekraft hat. Die Ergebnisse solcher Versuche sind zufallsbeeinflusst. Es soll die Variabilität innerhalb der Ergebnisse geschätzt werden. Des Weiteren können nur so die Effekte des Prüfgliedes bei einer a priori definierten Genauigkeit ermittelt werden. Die Prüfglieder eines Versuchs müssen mehrere Wiederholungen aufweisen, die unabhängig voneinander sind und die auf verschiedene Versuchseinheiten zeitgleich und unter

kontrollierten Bedingungen angelegt werden. Die Anzahl der Wiederholungen bestimmt maßgeblich die Versuchsgenauigkeit [68, Thomas, 2006].

Block

Nicht immer ist eine vollständige Randomisierung möglich. Gründe der Versuchsdurchführung können dagegen sprechen. Falls keine vollständige Randomisation möglich ist, bieten sich randomisierte Blockanlagen an. Hierbei werden die Prüfglieder zufällig zu den Teilstücken innerhalb des Blocks zugeordnet. Die Blöcke werden ebenso zufällig innerhalb des Versuches entlang eines Gradienten verteilt. Eine Blockanlage ist die gebräuchlichste Form, nicht Zielwirkungen, welche die Zuverlässigkeit der Versuchsergebnisse beeinflussen, zu erfassen. Man unterscheidet zwischen vollständiger und unvollständiger Blockanlage. In einer vollständigen Blockanlage stehen alle Prüfglieder in jedem Block. Bei einer unvollständigen Blockanlage ist dies nicht der Fall, hier ist der Vergleich der Prüfglieder schwieriger, bzw. muss in der Auswertung des Versuches berücksichtigt werden.

Kovariable

Neben der Wirkung des Prüfgliedes kann es Merkmale geben, die das Prüfmerkmal beeinflussen. Sie können die Funktion einer Störgröße annehmen, dadurch kann das Erkennen der direkten Beziehung zwischen Prüfglied und Prüfmerkmal beeinträchtigt werden. Diese Begleitmerkmale werden Kovariablen genannt. Eine Kovariable ist eine Variable, die in einer Untersuchung nicht den Ausschlag gibt, aber die für die Modellbildung entscheidenden Variablen beeinflusst. Kovariablen sollten vor Versuchsbeginn bekannt sein.

Was ist bzw. sind meine Einflußgröße(n) und sind diese Faktoren qualitativ oder quantitativ?

Qualitative Faktoren:

Ein Faktor ist qualitativ, wenn er sich nicht durch zählen, wiegen oder messen zahlenmäßig erfassen lässt, sondern die Ausprägungen nur benannt werden können (z.B.

Blutgruppe, Geschlecht). Qualitative Faktoren werden noch in nominale (Geschlecht), ordinale (Schweregrad) und dichotome (ja - nein Entscheidung) Faktoren unterteilt.

Quantitative Faktoren:

Ein Merkmal heißt quantitativ, wenn es sich durch zählen, wiegen oder messen zahlenmäßig erfassen lässt. Quantitative Faktoren werden noch in diskrete (z.B. Kinderzahl) und stetige Faktoren (z.B. Gewicht) unterteilt.

3.1.5 Aufbereitung der erhobenen Beobachtungen

Die erhobenen Daten einer Untersuchung sollten in die Form eines flat-file formatiert werden. Im flat-file Format enthält jede Zeile die vollständige Information zu einem Eintrag. Für ein Beispiel einer flat-file Struktur siehe Seite 49, Tabelle 4.1. Flat-files haben eine minimale Struktur und sind eine Sammlung von Datensätzen, die nacheinander in einem bestimmten Format in einer Liste angeordnet sind. Sie enthalten keine Informationen über ihre eigene Struktur. Die Informationen in der Datei, die keine Daten sind, sind minimal.

Graphische Darstellung der Beobachtungen

Mit Hilfe der deskriptiven Statistik sollen Untersuchungsergebnisse übersichtlich dargestellt werden. Hierbei können verschiedene Formen gewählt werden. Als mögliche Formen sind hier Tabellen, graphische Darstellungen und charakteristische Maßzahlen zu nennen. Eine davon ist die graphische Darstellung durch einen Box-Whisker Plot.

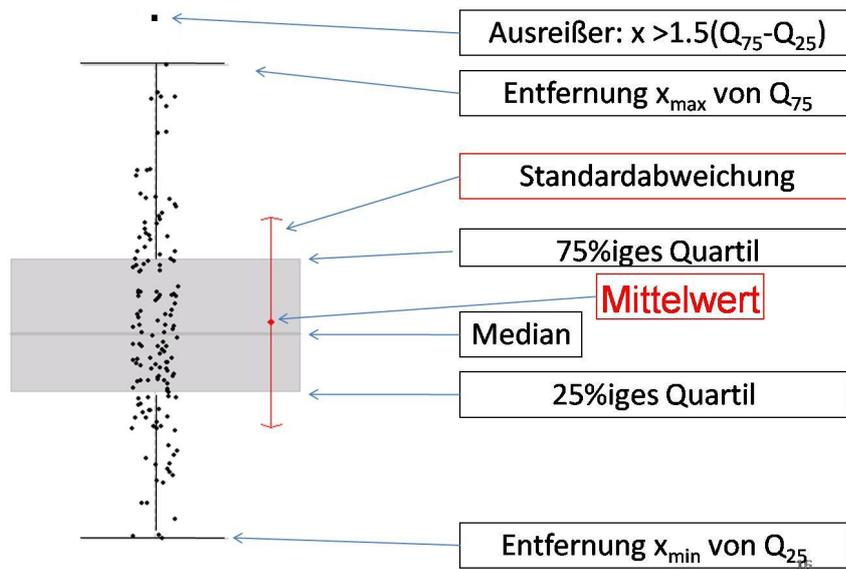


Abbildung 3.1: Beispiel eines Boxplot

x_{min} von Q_{25} :

$x_{min} = 25\%$ iges Quartil $-1.5(Q_{75} - Q_{25})$, kleinste Beobachtung, welche kein Ausreißer ist.

25 %iges Quartil:

25 % der Werte sind unter diesem Punkt und 75 % der Werte über diesem Punkt.

Median:

ist das 50 %- Quartil, d. h., hier sind 50 % der Werte unter dem Median und 50 % der Werte über dem Median.

75 % iges Quartil:

75 % der Werte sind unter diesem Punkt und 25 % der Werte über diesem Punkt.

x_{max} von Q_{75} :

$x_{max} = 75\%$ iges Quartil $+1.5(Q_{75} - Q_{25})$, größte Beobachtung, welche kein Ausreißer ist.

Ausreißer:

Entweder ist $x < 25\%$ iges Quartil $-1.5(Q_{75} - Q_{25})$
 oder $x > 75\%$ iges Quartil $+1.5(Q_{75} - Q_{25})$.

Graphische Darstellung der Ergebnisse

Eine adäquate Form Ergebnisse darzustellen, sind Konfidenzintervalle (Siehe Seite 29, Abbildung 3.2). Sie geben einen Bereich an, in welchem der wahre Parameter mit einer Wahrscheinlichkeit von $1 - \alpha$ liegt. Die verwendete Einheit ist die der gemessenen Größe. In statistischen Tests steht allein die Signifikanz oder der p - Wert als interpretierbare Größe zur Verfügung. Konfidenzintervalle haben dabei weitere Interpretationsmöglichkeiten. Ablehnung einer Hypothese, wenn das $(1 - \alpha)$ - Konfidenzintervall für einen Parameter einen in der Nullhypothese angenommenen Wert nicht enthält, dann kann die Nullhypothese zum Niveau α abgelehnt werden. Außerdem ist eine Aussage über die Relevanz eines Unterschieds möglich: Vergleich des Mittelwertunterschiedes mit gegebener Vertrauenswahrscheinlichkeit mit einem Mindestunterschied, welcher praktisch relevant ist. Des Weiteren kann die Stärke der Signifikanz in der Einheit der gemessenen Größe dargestellt werden. Dies kann bei Dosis - Wirkungs - Versuchen oder Trendtests bei mehreren Gruppen hilfreich sein.

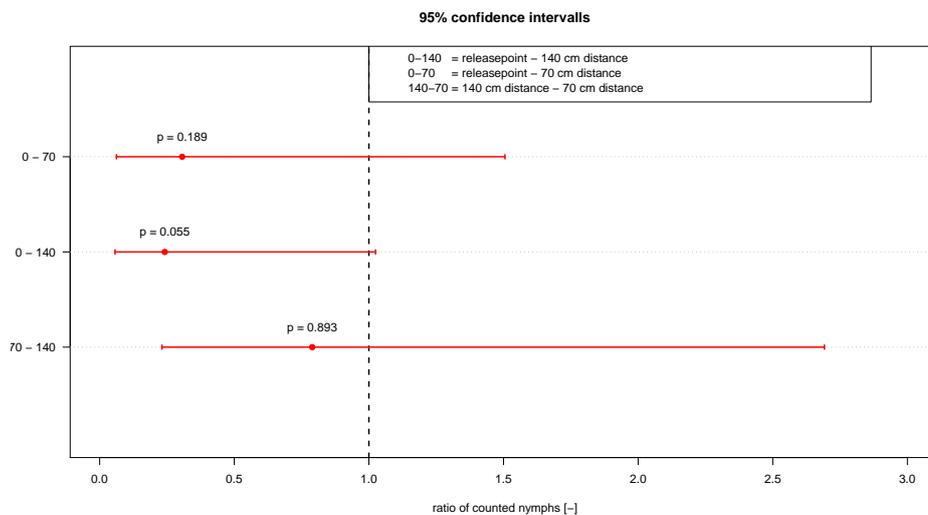


Abbildung 3.2: Beispiel eines Konfidenzintervalls

Behandlung	Zielgröße	Behandlung	Zielgröße	Behandlung	Zielgröße
Kontrolle	15	Dosis 1	6	Dosis 2	0
Kontrolle	14	Dosis 1	5	Dosis 2	3
Kontrolle	16	Dosis 1	7	Dosis 2	2
Kontrolle	18	Dosis 1	9	Dosis 2	5

Tabelle 3.1: Phytomedizinischer Beispieldatensatz für die GLM-Beschreibung

3.2 Multiple Vergleiche mit Parametern aus Generalisierten Linearen Modellen

3.2.1 Generalisierte Lineare Modelle

Generalisierte Lineare Modelle (GLM) verallgemeinern die klassischen linearen Modelle, welche auf der Basis der Normalverteilung basieren. Diese Verallgemeinerung hat zwei Aspekte: In Anlehnung zu der linearen Regression, welche ein Teil der klassischen Modelle beinhaltet, können diese Modelle eine Vielfalt von Verteilungsannahmen mit einbeziehen. Diese sind Verteilungen aus der exponential Familie. Außerdem schätzen sie die Vorhersagewerte auf einer transformierten Skala.

Beispiel eines GLM

In einem phytomedizinischem Versuch wird das Auftreten von Insekten nach drei Behandlungen (Kontrolle, Dosis 1 und Dosis 2) bonitiert. Es wird die Anzahl an Insekten auf den Blättern, bei $n = 10$ Wiederholungen gezählt. Die Versuchsdaten sind in Tabelle 3.1 auf Seite 30 dargestellt. Es soll der Mittelwert der Zielgröße durch ein Modell

abgebildet werden. Dies sieht für das Beispiel wie folgt aus:

$$\mathbf{Y} = \begin{pmatrix} 15 \\ 14 \\ 16 \\ 18 \\ 6 \\ 5 \\ 7 \\ 9 \\ 0 \\ 3 \\ 2 \\ 5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \textit{Kontrolle} & 0 & 0 \\ 0 & \textit{Dosis1} & 0 \\ 0 & 0 & \textit{Dosis2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 15.75 \\ 6.75 \\ 2.5 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -0.75 \\ -1.75 \\ 0.25 \\ 2.25 \\ -0.75 \\ -1.75 \\ 0.25 \\ 2.25 \\ -2.5 \\ 0.5 \\ -0.5 \\ 2.5 \end{pmatrix} \quad (3.1)$$

In dem Programm R wird dieses Modell zunächst anders gebildet. Hier wird die erste Gruppe als Intercept angenommen und man bezieht alles auf die erste Gruppe. Später verändert die Funktion `glht` (general linear hypotheses test) im Paket `multcomp` die Regressionsparameter wieder so, dass Mittelwerte verglichen werden können.

$$\mathbf{Y} = \begin{pmatrix} 15 \\ 14 \\ 16 \\ 18 \\ 6 \\ 5 \\ 7 \\ 9 \\ 0 \\ 3 \\ 2 \\ 5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \textit{Kontrolle} & 0 & 0 \\ \textit{Kontrolle} & \textit{Dosis1} & 0 \\ \textit{Kontrolle} & 0 & \textit{Dosis2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 8.33 \\ 6.75 \\ 2.5 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 6.67 \\ 5.67 \\ 7.67 \\ 9.67 \\ -9.08 \\ -10.08 \\ -8.08 \\ -6.08 \\ -10.83 \\ -7.83 \\ -8.83 \\ -5.83 \end{pmatrix} \quad (3.2)$$

Die Schätzung der Parameter in einem GLM wird normalerweise durch eine Maximum Likelihood Annäherung erreicht. Die Maximum Likelihood Methode ist ein Verfahren

Normalverteilung	$\sum (\mathbf{y} - \hat{\boldsymbol{\mu}})^2$
Poissonverteilung	$2 \sum \{\mathbf{y} \log(\mathbf{y}/\hat{\boldsymbol{\mu}}) - (\mathbf{y} - \hat{\boldsymbol{\mu}})\}$
Binomialverteilung	$2 \sum \{\mathbf{y} \log(\mathbf{y}/\hat{\boldsymbol{\mu}}) - (m - \mathbf{y}) \log [(m - \mathbf{y})/(m - \hat{\boldsymbol{\mu}})]\}$

Tabelle 3.2: Deviance Funktionen

zur möglichst genauen Schätzung von Parametern, zum Beispiel Mittelwerte und deren Varianz, einer Population anhand einer Stichprobe. Es wird untersucht, bei welchen Parametern in der Population die gegebene Stichprobe am wahrscheinlichsten ist. Dieser Wert ist dann der beste Schätzer für die gesuchten Parameter. Es wird eine Funktion erstellt, die diese Wahrscheinlichkeit abbildet. Diese Funktion wird als Likelihood-Funktion bezeichnet. Am Maximum der Likelihood-Funktion ist die Wahrscheinlichkeit am größten, dass die geschätzten Parameter mit Hilfe der Stichprobe den wahren Parametern der Population entsprechen. Die Likelihood-Funktion kann auch zur Deviance-Funktion transformiert werden. Die Deviance-Funktion ist die logarithmierte Ratio der Likelihood an den beobachteten Daten zu der Likelihood am zu schätzenden Parameter conditional der Daten. Sie wird als die Güte der Anpassung des Modells an die Daten gesehen. Die 'scaled deviance'-Methode kann genauso, wie die Methode der kleinsten Quadrate eine Güte für die Anpassung des GLM an die Daten sein. Folgend die 'scaled-deviance'-Funktion mit dem Datenvektor \mathbf{y} und den Vorhersagewerten $\boldsymbol{\mu}$:

$$D(\mathbf{y}; \boldsymbol{\mu}) = 2l(\mathbf{y}; \mathbf{y}) - 2l(\boldsymbol{\mu}; \mathbf{y})$$

wobei $l(\mathbf{y}; \mathbf{y})$ die logarithmierte Likelihood an den beobachteten Daten ist. $l(\boldsymbol{\mu}; \mathbf{y})$ ist die logarithmierte Likelihood bei den an dem Prediktor $\boldsymbol{\mu}$. Da $l(\mathbf{y}; \mathbf{y})$ nicht von den Parametern abhängig ist, ist das Maximum der Likelihood-Funktion $l(\mathbf{y}; \mathbf{y})$ gleich dem Minimum der 'deviance'-Funktion $D(\mathbf{y}; \boldsymbol{\mu})$. Die Formen von Deviance Funktionen bei verschiedenen Verteilungen sind auf Seite 32, Tabelle 3.2 abgebildet. Hat man nun ein GLM für einen Datensatz angepasst, so stellt sich die Frage nach der Qualität. Der Forscher muss sicherstellen, dass das gewählte Modell den Datensatz gut beschreibt, bevor er aus den geschätzten Parametern selbst Schlüsse zieht [50, Mc Cullagh und Nelder, 1989] und [21, Dobson, 1990]. Um sicherzustellen, dass das angenommene Modell auch die Daten adäquat beschreibt, kann eine Modelldiagnostik mittels Residual-Plot und Quantile-Quantile-Plot (QQ-Plot) durchgeführt werden. Beim Residual-Plot werden die Werte des Modells auf der Abszisse gegen den Wert des Anpassungsfehlers (Residuums)

auf der Ordinate dargestellt. Formaler wird bei folgenden grafischen Eigenschaften des Residual-Plots darauf geschlossen, dass das Modell akzeptabel ist: 1. Die Nullachse verläuft mitten durch die Residuen. 2. Die Streuung der Residuen ist überall gleich. 3. Die Residuen weisen keine andere Struktur auf, wie zum Beispiel einen Trichter. Der QQ-Plot dient zur Überprüfung, ob die empirische Verteilung einer stetigen Zufallsvariablen einer angenommenen Testverteilung (zum Beispiel Normalverteilung) entspricht. Es werden die Quantile der empirischen Verteilung auf der Abszisse und die Quantile der theoretischen Verteilung auf der Ordinate aufgetragen. Wenn die Beobachtungswerte genauso Verteilt sind, wie die Quantile der erwarteten theoretischen Verteilung, dann weichen der Beobachtungswert und der erwartete theoretische Wert nicht stark voneinander ab. Im Diagramm sollten die Punkte gleichmäßig auf einer Linie liegen. Falls die Beobachtungswerte nicht der erwarteten theoretischen Verteilung unterliegen, so sind deutliche Abweichungen zu erkennen [50, Mc Cullagh und Nelder, 1989].

3.2.2 Kontrasttest

Ziel eines gartenbaulichen Versuches ist oft der Vergleich von Gruppen. In dem obigen Beispiel möchte man die unterschiedlichen Dosisstufen miteinander vergleichen. Mittels einer Varianzanalyse lässt sich nur die globale Nullhypothese testen:

$$H_0 : \beta_1 = \dots = \beta_k.$$

Stellt sich nun heraus, dass mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von α die Nullhypothese abgelehnt werden kann, so gibt es irgendeinen Unterschied zwischen den Gruppen. Weiterhin ist es von Interesse, welche Gruppen sich unterscheiden. Man kann nun einen selbst definierten Kontrast nach den a priori festgelegten Hypothesen erstellen, oder einen Standard-Kontrast verwenden. Diese wären zum Beispiel der Tukey Kontrast: Jede Gruppe wird miteinander verglichen. Ein weiteres Beispiel wäre der Dunnett Kontrast: Die Kontrollgruppe wird mit jeder Behandlungsgruppe verglichen. Ein Kontrast ist ein k - dimensionaler Vektor

$$\mathbf{c}_i = (c_{i1}, \dots, c_{ik}) \text{ mit } i=1, \dots, k$$

mit der Eigenschaft: $\mathbf{c}_1 + \dots + \mathbf{c}_k = \mathbf{0}$.

	<i>Kontrolle</i>	<i>Beh. 1</i>	<i>Beh. 2</i>	<i>Beh. 3</i>
<i>Kontrolle – Behandlung 1</i>	-1	1	0	0
<i>Kontrolle – Behandlung 2</i>	-1	0	1	0
<i>Kontrolle – Behandlung 3</i>	-1	0	0	1
<i>Behandlung 1 – Behandlung 2</i>	0	-1	1	0
<i>Behandlung 1 – Behandlung 3</i>	0	-1	0	1
<i>Behandlung 2 – Behandlung 3</i>	0	0	-1	1

Tabelle 3.3: Benutzer definierter Kontrast für einen Tukey - Vergleich

	<i>Kontrolle</i>	<i>Beh. 1</i>	<i>Beh. 2</i>	<i>Beh. 3</i>
<i>Kontrolle – Behandlung 1</i>	-1	1	0	0
<i>Kontrolle – Behandlung 2</i>	-1	0	1	0
<i>Kontrolle – Behandlung 3</i>	-1	0	0	1

Tabelle 3.4: Benutzer definierter Kontrast für einen Dunnett - Vergleich

Die Nullhypothese eines Kontrastes $\mathbf{c}_i = (c_1, \dots, c_k)$ mit $i=1, \dots, k$ ist:

$$H_0^c : \mathbf{c}^T \boldsymbol{\beta} = c_1 \beta_1 + \dots + c_k \beta_k = 0.$$

Die gewünschte Alternativhypothese kann durch einen Kontrastmatrix \mathbf{C} dargestellt werden. In einer Kontrastmatrix sind mehrere Kontrastvektoren enthalten. Mit Hilfe der Kontrastmatrix wird die Differenz der Schätzer $\mathbf{C}\hat{\boldsymbol{\beta}}$ berechnet. Man erreicht dies, wenn man die Kontrastmatrix \mathbf{C} von links an den Schätzer für den Mittelwert $\hat{\boldsymbol{\beta}}$ anmultipliziert. Auf der Diagonalen der Varianzkovarianzmatrix $\hat{\boldsymbol{\Sigma}}$ sind die Varianzen $\mathbf{var}(\hat{\boldsymbol{\beta}})$ der einzelnen Schätzer abgebildet. Eine reelle Kovarianzmatrix ist immer symmetrisch, da die Kovarianzen zweier Zufallsvariablen symmetrisch sind. Die Varianzkovarianzmatrix der Linearkombination der Modellparameter wird mit $\mathbf{C}\hat{\boldsymbol{\Sigma}}\mathbf{C}'$ berechnet. $\hat{S}_j = \sqrt{\mathbf{diag}(\mathbf{C}\hat{\boldsymbol{\Sigma}}\mathbf{C}')}$ ist die Standardabweichung. Mit Hilfe dieser Parameter wird die Teststatistik

$$T_j = \frac{\sum_{i=1}^k c_{ij} \hat{\beta}_i}{\hat{S}_j}$$

berechnet und mit dem kritischen Wert $z_{k,1-\alpha,\hat{R}}^{2-seitig}$ aus der multivariaten Normalverteilung verglichen. In das Quantil aus der multivariaten Normalverteilung geht auch die geschätzten Korrelationsmatrix (\hat{R}) aus den Vergleichen und aus den Daten ein. Liegt das Quantil über dem kritischen Wert so ist die Nullhypothese zu verwerfen. Eine Testentscheidung kann auch mittels simultaner Konfidenzintervalle geschehen. Diese können leicht mit Hilfe der berechneten Parameter (Differenz der Schätzer und deren Varianz) berechnet werden. Nachher können mittels der inversen link-Funktion die Parameter für die Konfidenzintervalle zurücktransformiert werden. Hierdurch wird erreicht, dass die Konfidenzintervalle auf der Skala der Daten interpretiert werden können [50, McCullagh und Nelder, 1989].

$$C\beta \in \left[C\hat{\beta} \pm z_{k,1-\alpha,\hat{R}}^{2-seitig} \sqrt{\text{diag}(C\hat{\Sigma}C')} \right]$$

3.3 Generalisierte Lineare Modelle für Proportionen

3.3.1 Verteilungsannahme: Binomial, Multinomial

Die Verteilung Binomial wurde für Experimente entwickelt, bei denen dichotome Daten vorliegen. Sie dient als Modell, wenn bei einem Versuch oder einer Beobachtung zwei Möglichkeiten gegeben sind und diese mit den Wahrscheinlichkeiten $\mathbf{q} = (\mathbf{1} - \mathbf{p})$ auftreten und \mathbf{n} unabhängige Versuche mit der gleichen Einzelwahrscheinlichkeit \mathbf{p} vorliegen. Bei einer konstanten Erfolgswahrscheinlichkeit \mathbf{p} je Versuch ist die Wahrscheinlichkeit von \mathbf{x}_i Erfolgen bei \mathbf{n} Versuchen durch

$$f(\mathbf{x}_i) = P_{\mathbf{x}_i \text{Erfolge}} = \frac{\mathbf{n}!}{\mathbf{x}_i!(\mathbf{n} - \mathbf{x}_i)!} \mathbf{p}^{\mathbf{x}_i} \mathbf{p}^{\mathbf{n} - \mathbf{x}_i} \quad \mathbf{x}_i = 0, 1, 2, \dots, \mathbf{n} \quad (3.3)$$

gegeben [3, Agresti, 2007].

Eigenschaften der Binomialverteilung:

1. Die Binomialverteilung ist eine diskrete Verteilung.
2. Die Binomialverteilung ist eine zweiparametrische Verteilung und wird nur durch \mathbf{n} (Umfang der Stichprobe) und \mathbf{p} (Wahrscheinlichkeit des Erfolges) beschrieben.
3. Der Erwartungswert ist $\mathbf{E}(\mathbf{X}) = \boldsymbol{\mu} = \mathbf{n}\mathbf{p}$.
4. Die Varianz einer binomialverteilten Zufallsvariable ist: $\mathbf{VAR}(\mathbf{X}) = \mathbf{n}\mathbf{p}\mathbf{q}$.
5. Die Form der Binomialverteilung ist abhängig von \mathbf{p} und \mathbf{q} . Durch kleine Werte von $\mathbf{p} < 0.5$ ist die Verteilung linkssteil, bei $\mathbf{p} > 0.5$ rechtssteil und bei $\mathbf{p} = \mathbf{q} = 0.5$ symmetrisch. Bei $\mathbf{p} = 0.5$ und sehr großer Fallzahl nimmt sie die Form einer Glockenkurve an. Vergrößert man $\boldsymbol{\mu}$, so wird sie immer symmetrischer. Bei $\boldsymbol{\mu} > 7$ kann die Poissonverteilung durch die Normalverteilung approximiert werden.
6. Die graphische Darstellung der Binomialverteilung erfolgt mittels Stabdiagramm (Wahrscheinlichkeitsfunktion).

2 x 2 Tafel

Eine 2 x 2 Tafel ist aus vier Feldern aufgebaut (a,b,c,d).

		Dosis		
		Kontrolle	Behandlung	
Befallen	ja	a	c	a+c
	nein	b	d	b+d
Summe		a+b	c+d	

Tabelle 3.5: Phytomedizinisches Beispiel einer 2 x 2-Tafel

Der einfachste Fall für eine Proportion ist die 2 x 2 Tafel. Hier gibt es nur einen Freiheitsgrad, da gilt:

$$(\mathbf{Zeilen} - 1)(\mathbf{Spalten} - 1) = (2 - 1)(2 - 1) = 1.$$

Für Vergleiche von Proportionen über die Odds Ratio können approximative Konfidenzintervalle erstellt werden.

$$\left[\log\left(\frac{ad}{bc}\right) - z_{1-\alpha/2} \sqrt{\left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c} + \frac{1}{d}\right)}; \log\left(\frac{ad}{bc}\right) + z_{1-\alpha/2} \sqrt{\left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c} + \frac{1}{d}\right)} \right]$$

z ist das Quantil aus der Standardnormalverteilung.

$\log\left(\frac{ad}{bc}\right)$ ist der Schätzer.

$Stflog\left(\frac{ad}{bc}\right) = \sqrt{\left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c} + \frac{1}{d}\right)}$ ist der Standardfehler von $\left(\frac{ad}{bc}\right)$.

k x 2 Tafel

Diese Tafel wird um weitere Spalten vergrößert. Das Beispiel siehe Seite 37, Tabelle 3.5 wird um eine weitere Behandlungen erweitert. Bei einer k x 2 Tafel wird ein GLM unter der Annahme von Binomialverteilung angepasst. Es wird die Binomial Likelihood im

		Dosis			
		Kontrolle	Behandlung A	Behandlung B	
Befallen	ja	a	c	e	a+c+e
	nein	b	d	f	b+d+f
Summe		a+b	c+d	e+f	

Tabelle 3.6: Phytomedizinisches Beispiel einer k x 2-Tafel

Modell maximiert. Aus dem Modell können die getesteten Parameter entnommen werden. Hierfür wird der Parametervektor $\hat{\beta}$ auf dem logit Link geschätzt. Dieses Intervall auf dem linearen Prediktor ist aber nicht leicht zu interpretieren. Über den Exponent des Schätzers und der Intervallgrenzen lassen sich die Konfidenzintervalle für die Odds-Ratio erstellen:

$$\exp \left(C\hat{\beta} \pm z_{k,1-\alpha,R}^{2-seitig} \sqrt{\text{diag}(C\hat{\Sigma}C')} \right)$$

k x s Tafel

Diese Tafel ist eine Erweiterung der k x 2 Tafel. Die auf Seite 38 in Tabelle 3.7 vorgestellte k x s Tafel wird um die Befallskategorien kein, mittlerer und hoher Befall erweitert. Somit es es möglich weitere Kategorien bei der Befallsklassifikation zu ergänzen. Wenn

		Dosis			
		Kontrolle	Behandlung A	Behandlung B	
Befall	kein	a	d	g	a+d+g
	mittlerer	b	e	h	b+e+h
	hoher	c	f	i	c+f+i
Summe		a+b+c	d+e+f	g+h+i	

Tabelle 3.7: Phytomedizinisches Beispiel einer k x s-Tafel

die erhobenen Daten statistisch unabhängig sind, können die gemeinsamen Wahrscheinlichkeiten der Zeilen und Spalten über die Randsummen der Zeilen und Spalten ermittelt werden. Diese Wahrscheinlichkeiten sind Parameter für die Multinomialverteilung.

Multinomialverteilung

Die Multinomialverteilung ist die Verallgemeinerung der Binomialverteilung auf mehr als zwei mögliche Ereignisse. Jedem Ereignis wird eine eigene Wahrscheinlichkeit p_i zugeordnet, die Summe aller Wahrscheinlichkeiten muss dabei eins sein. Es wird gezählt, wie oft bei n Versuchen jedes Ereignis eintritt. Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass ein Ereignis E_1 genau x_1 mal, ein Ereignis E_2 genau x_2 mal und ein Ereignis E_i genau x_i mal eintritt ist

$$f(\mathbf{x}_i) = P(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_{i\text{Erfolge}}) = \frac{n!}{x_1! x_2! \dots x_q!} p_1^{x_1} p_2^{x_2} \dots p_q^{x_q}, \quad (3.4)$$

wobei p_i die Wahrscheinlichkeit für das Ereignis E_i ist. Die Summe der Wahrscheinlichkeiten ist $p_i = 1$.

Eigenschaften der Multinomialverteilung:

1. Die Multinomialverteilung ist eine diskrete Verteilung.
2. Die Multinomialverteilung ist eine mehrparametrische Verteilung.
3. Der Erwartungswert ist $E(\mathbf{X}_i) = n\mathbf{p}_i$ mit n (Umfang der Stichprobe) und p_i (Wahrscheinlichkeit des Erfolges für Ereignis E_i).
4. Die Varianz einer multinomialverteilten Zufallsvariable ist gleich: $VAR(\mathbf{X}_i) = n\mathbf{p}_i(1 - p_i)$
5. Die Kovarianz zweier Zufallsvariablen \mathbf{X}_i und \mathbf{X}_j berechnet sich als $COV(\mathbf{X}_i, \mathbf{X}_j) = -n p_i p_j$.
6. Die graphische Darstellung der Multinomialverteilung erfolgt mittels Stabdiagramm (Wahrscheinlichkeitsfunktion).

Es stellt sich die Frage, warum es keinen Unterschied zu einem Binomial GLM gibt. Betrachtet man zunächst nur einen Parameter, wie zum Beispiel μ_a , dann ist das der logarithmierte Odd der Kategorie a und dem Mittelwert μ . Analog hierzu die Kategorien b und c. Bei einem Kontrast $\mathbf{c} = (-1, 1)$ und den Odds $\log\left(\frac{\mu_a}{\mu_c}\right)$ und $\log\left(\frac{\mu_b}{\mu_c}\right)$

folgendes herauskommen:

$$\exp\left(\log\left(\frac{\mu_a}{\mu_c}\right) - \log\left(\frac{\mu_b}{\mu_c}\right)\right) = \frac{\mu_a}{\mu_b} = \frac{\mu_a}{\mu_b}$$

Eine wichtige Anwendung von multinomial Modellen ist die Bestimmung von erklärenden Variablen bei Wahltests. Folgend soll ein Beispiel mit diskreten Gruppen erläutert werden: Weg zur Arbeit. Auswahlmöglichkeit Bus, Auto, Zug, zu Fuß. Modelle für Responsevariablen bestehen aus einer diskreten Gruppe von Wahlmöglichkeiten. Man nennt sie diskrete Wahl Modelle. In vielen diskreten Wahl - Anwendungen kann für ein gegebenes Objekt eine Responsevariable verschiedene Größen an verschiedenen Antwortmöglichkeiten annehmen. Als Beispiel kann bei der Vorhersage der Wahl eines Transportmittels Kosten und Transportzeit verschiedenen Größen annehmen. Erklärende Variablen diesen Typs sind charakteristische Eigenschaften der Wahlmöglichkeiten. Sie unterscheiden sich von den normalen erklärenden Variablen bei denen die Größen stets konstant über die Gruppen bleiben [3, Agresti, 1990].

3.4 Zähldaten

Zähldaten sind diskrete und geordnete Zählergebnisse, die in natürlichen positiven Zahlen beschrieben werden können. Berücksichtigt man den Zeitverlauf, so ereignen sich diese Prozesse in einem klar abgegrenzten Zeitraum. Dann sind sie zeitdauerabhängige Zufallsvariablen $N(t)$, die bezogen auf das Zeitintervall $(0,t)$ folgende Merkmale haben:

1. $N(t)$ ist eine natürliche Zahl $N(t) \geq 0$
2. Für $s < t$ gilt $N(s) \leq N(t)$ (im Verlauf eines konkreten Prozesses)
3. Für $s < t$ beschreibt $N(t) - N(s)$ die Zahl der Ereignisse, die in der Periode (s,t) des konkreten Prozesses stattfinden.

Die Auswertung Zähldaten mittels Generalisierter Linearer Modelle erfordert die Annahme einer Verteilung. Normalerweise werden die oben beschriebenen negativ Binomial oder Poissonverteilungen hierfür verwendet. Des Weiteren muss eine link-Funktion festgelegt werden. Es gibt verschiedene link-Funktionen wie zum Beispiel: identity-link,

arcsin-link, log-link. Üblicherweise wird bei Zähldaten der log-link verwendet. Dies hat zur Folge, das nach einem exponieren der simultanen Konfidenzintervalle eine Ratio aus Mittelwerten beschreiben wird [21, Dobson, 1990].

3.4.1 Verteilungsannahme: Poisson, negativ Binomial

Bei der Verteilungsannahme muss nun entschieden werden, wie die Zielvariable verteilt ist. In dem Beispieldatensatz, siehe Seite 49 Tabelle 4.1, besteht die Zielvariable ausschließlich aus Zähldaten. Wären die Daten keine Zähldaten, also varianzhomogen und gaußverteilt, könnte als möglicher Test eine ANOVA folgen. Doch die Voraussetzungen für eine ANOVA (Varianzhomogenität und Gaußverteilung) sind nicht gegeben. Bei diesen Daten kann zum Beispiel Poissonverteilung angenommen werden. Eine gute Alternative zur Poissonverteilung ist die negativ Binomialverteilung. Sie ist eine gebräuchliche Annahme bei Zähldaten.

Poissonverteilung

Diese Verteilung bildet eine Funktion für ein Zufallsexperiment ab, bei dem die Wahrscheinlichkeit eines bestimmten Ereignisses sehr klein, die Anzahl der Versuche aber sehr hoch ist. Es wird die Wahrscheinlichkeit, mit welcher das Ereignis genau x mal eintritt, abgebildet. Bei phytomedizinischen Versuchen fallen Zähldaten in diese Verteilung. Zähldaten sind natürliche Zahlen mit einer unendlichen oberen Grenze. Sie können durch die Wahrscheinlichkeitsfunktion

$$f(x) = \frac{\mu^x}{x!} e^{-\mu} \quad \text{für } x = 0, 1, 2, \dots, n \quad (3.5)$$

abgebildet werden [50, McCullagh und Nelder, 1989].

Eigenschaften der Poissonverteilung:

1. Die Poissonverteilung ist eine diskrete Verteilung.
2. Die Poissonverteilung ist eine einparametrische Verteilung und wird nur durch μ beschrieben.

3. Der Erwartungswert ist $E(X) = \mu = np$ mit n (Umfang der Stichprobe) und p (Wahrscheinlichkeit des Erfolges).
4. Die Varianz einer poissonverteilten Zufallsvariable ist gleich ihrem Erwartungswert: $VAR(X) = np$.
5. Durch die kleinen Werte von p ist die Verteilung eher linkssteil. Vergrößert man μ so wird sie immer symmetrischer. Bei $\mu > 7$ kann die Poissonverteilung durch die Normalverteilung approximiert werden.
6. Bei großen Fallzahlen $n > 100$ und kleinen Wahrscheinlichkeiten $p < 0.01$ ist die Poissonverteilung eine gute Approximation der Binomialverteilung.
7. Die graphische Darstellung der Poissonverteilung erfolgt mittels Stabdiagramm (Wahrscheinlichkeitsfunktion).

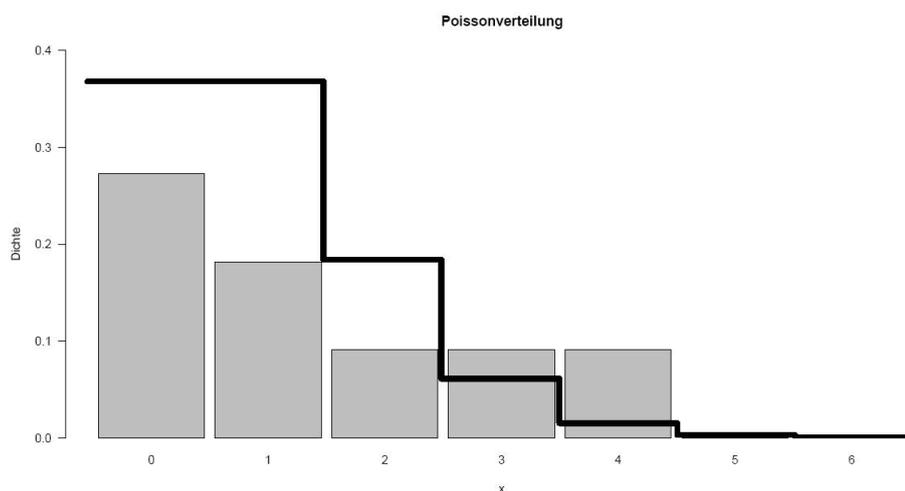


Abbildung 3.3: Poissonverteilung, dargestellt als theoretische Verteilung (schwarze Linie) und als empirische Verteilung (graue Balken). Anzahl der Beobachtungen: 8, Mittelwertsvektor: 1

Negativ Binomialverteilung

Die negativ Binomialverteilung beschreibt die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Anzahl der Versuche, die erforderlich sind, um in einem Bernoulli-Prozess eine vorgegebene Anzahl von Erfolgen zu erzielen. Sie modelliert Zähldaten bei denen die Varianz größer

ist als bei Annahme der Poissonverteilung.

Die negativ Binomialverteilung $\mathbf{NB}(r, p)$ mit den Parametern $r > \mathbf{0}, p \in (0, 1)$ hat die Zähldichte

$$\Pr(Y = y|x) = \frac{\Gamma(y + a^{-1})}{y!\Gamma(a^{-1})} \left(\frac{a\mu(x)}{1 + a\mu(x)} \right)^y \left(\frac{1}{1 + a\mu(x)} \right)^{a^{-1}}, \quad y = 0, 1, \dots, \quad (3.6)$$

Hierbei wird $a \geq \mathbf{0}$ oft als Index oder Dispersionsparameter bezeichnet [5, Anscombe, 1949], [50, McCullagh und Nelder, 1989], [47, Lawless, 1984].

Eigenschaften der negativ Binomialverteilung:

1. Die negativ Binomialverteilung ist eine diskrete Verteilung.
2. Der Mittelwert bestimmt sich durch $E(Y|x) = \mu(x)$.
3. Die Varianz der negativ Binomialverteilung ist $\mathbf{VAR}(X) = \mu(x) + a\mu(x)^2$.
4. Die negativ Binomialverteilung ist vielseitig in der Gestalt. Dadurch kann sie in Anwendungen gut zum Anpassen an gegebene Daten benutzt werden. Betrachtet man den Grenzwert für a gegen $\mathbf{0}$, so nähert sie sich der Poissonverteilung an [50, McCullagh und Nelder, 1989].
5. Die graphische Darstellung der negativ Binomialverteilung erfolgt mittels Stabdiagramm (Wahrscheinlichkeitsfunktion).

3.5 Mehrfaktorielles Modell

Aus einem Mehrfaktoriellen Modell wird eine Pseudo Einweganlage gemacht. Hierfür werden die Faktoren für eine Beobachtung zusammengefasst und es wird das Modell auf einen Faktor reduziert. Ziel ist es einen Parameter als Mittelwert für jede Faktorkombination zu schätzen. Voraussetzung hierfür ist, dass die Fehler unabhängig, normalverteilt und der Erwartungswert im Mittel gleich Null ist. Dies wird von einer vollständig randomisierten Anlage erreicht. Es ist nun möglich mit einem selbst definiertem Kontrast nur die Beobachtungen miteinander zu vergleichen, die von Interesse sind. Des Weiteren kann man auch Vergleiche definieren, die im 2-faktoriellen Modell nicht möglich wären, wie zum Beispiel Tetraden (Interaktionskontrast).

3.5.1 Interaktion

Hat ein Modell mehr als einen Faktor, so ist es möglich, dass die Faktoren sich untereinander beeinflussen. Eine Interaktion ist die Bezeichnung für die gemeinsame Wirkung zweier oder mehrerer unabhängiger Variablen auf eine dritte abhängige Variable, die nicht aus der Addition der einzelnen Einflüsse resultiert. Ein Beispiel für eine Interaktion ist in Abbildung 3.4 auf Seite 45 dargestellt. Wechselwirkungen treten nicht auf, wenn die Faktoren unabhängig voneinander sind.

3.5.2 Interaktionskontraste

Tetraden sind eine Variante Interaktionskontraste zu bilden. Es gibt viele Möglichkeiten einen Interaktionskontrast darzustellen, einer ist die Tetrade [28, Frömke, 2001]:

$$(\mu_{ij} - \mu_{ij'}) - (\mu_{i'j} - \mu_{i'j'}).$$

Bei einem Interaktionskontrast werden nicht einfach zwei Mittelwerte miteinander verglichen, sondern es wird zum Beispiel die Differenz aus Behandlung und Kontrolle eines neuen Pflanzenschutzmittels mit der Differenz aus Behandlung und Kontrolle eines alten Pflanzenschutzmittels verglichen. Würde man die Mittelwerte dieser mit einer Linie

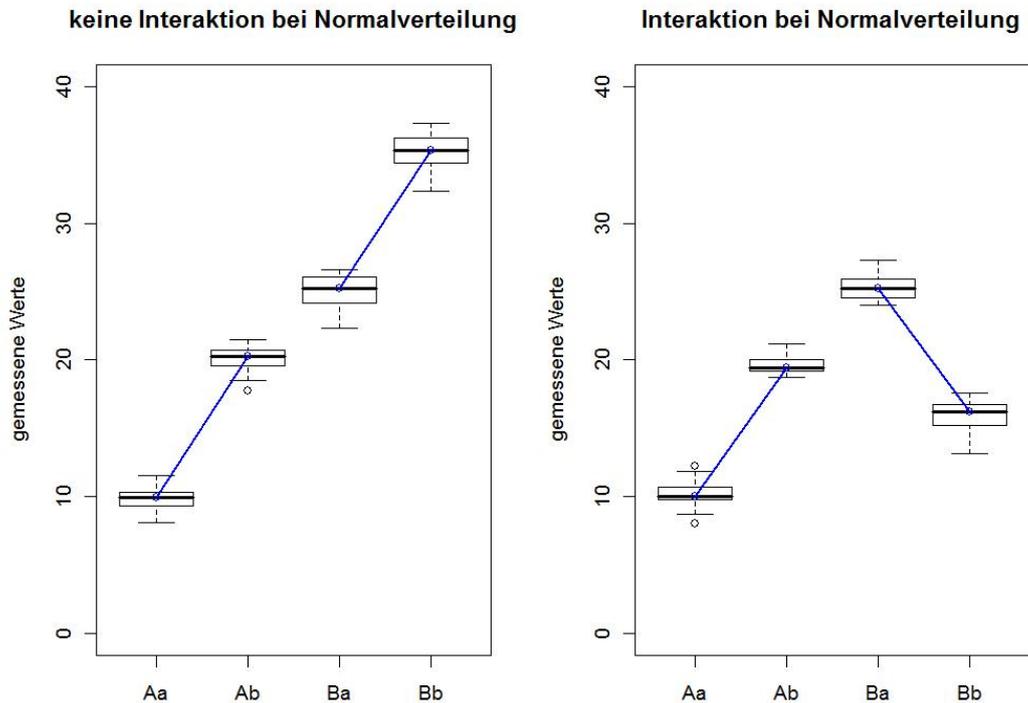


Abbildung 3.4: Boxplot eines Datenbeispiels mit und ohne Interaktionen

in einem Boxplot verbinden, so bekommt man zwei Linien. Die eine fängt beim Mittelwert der Kontrolle des alten Pflanzenschutzmittels an und hört beim Mittelwert der Behandlung des alten Pflanzenschutzmittels auf. Bei dem neuen Pflanzenschutzmittel wird es analog gemacht. Hieraus kann auf die Steigung geschlossen werden. In einem statistischen Test wird die Steigung der beiden Geraden miteinander verglichen. Ist die Steigung bei den beiden Varianten gleich, so ist kein Unterschied bezüglich der Wirksamkeit zu erkennen. Sind die Steigungen unterschiedlich, so ist auch eine unterschiedliche Wirksamkeit zu erwarten. Ein Beispiel für einen Kontrast ist auf Seite 50 in Tabelle 4.2 abgebildet.

4 Phytomedizinische Versuche und deren biostatistische Auswertung

4.1 Material und Methoden für alle Versuche

In diesem Teil werden zunächst allgemeine Materialien und Methoden beschrieben, die für alle Versuche relevant sind.

4.1.1 Präparate

Neem Azal-U

Neem Azal-U beinhaltet den Wirkstoff Azadirachtin (17 %). Dieses Präparat wurde von der Firma Trifolio GmbH aus Lahnau bezogen. Das in Pulverform vorliegende Produkt wurde in 50 ml destilliertem Wasser gelöst, um in Gießversuchen eine systemische Wirkung untersuchen zu können. Zur Anwendung wurden in 50 ml appliziertem Gießwasser 0,325, 0,65, 1,3 g Neem Azal-U pro 50 ml gelöst, was Azadirachtingehalte von 0,055, 0,11 und 0,22 g pro 50 ml Applikationslösung entspricht. Als Kontrolle diente eine Blank-Formulierung mit 1,3 g Blank NeemAzal-U pro 50 ml. Die Lösungen wurden jeweils kurz vor den Versuchen angemischt.

Neem Pellets

Die Neem Pellets hatten einen Azadirachtingehalt von 12,95 % und einen Düngeranteil von N-P-K 4-2-3 pro Pellet. Er wurde von der Firma W. Neudorf GmbH KG mit Sitz in Emmerthal speziell für diese Versuche hergestellt. Bei einem durchschnittlichem Gewicht von 1,72 g pro Pellet bedeutet dies einen Azadirachtingehalt von 0,22 g pro Pellet. Dies

entspricht damit einer Neem Azal-U Konzentration von 1,3 g Neem Azal-U pro 50 ml (siehe oben). Zum Erzielen vergleichbarer Azadirachtin Dosierungen im Wurzelraum wie bei der flüssigen Applikation wurden deshalb die Pellets entsprechend portioniert und 0,25, 0,5 und 1 Pellet ausgebracht. Die Firma Neudorf bezieht ihr Ausgangsmaterial, das Azadirachtin, von der Firma Trifolio GmbH. Es ist zu erwarten dass bei den Neem Pellets die gleiche Azadirachtin Mischung verwendet wird, wie bei Neem Azal-U. Die Neem Pellets wurden so nah wie möglich an der Pflanze in einer Tiefe von zwei Zentimeter in das Substrat gedrückt. Als Kontrolle diente der Azet Dünge Drops der Firma Neudorf, der auch einen N-P-K Gehalt von 4-2-3 aufweist.

Imidacloprid Pellet

Das Imidacloprid Pellet von der Firma Bayer, Combistäbchen-Lizetan, hat einen Imidacloprid Gehalt von 25 g/kg Imidacloprid (50 mg/Pellet) plus 39 % N-P-K-Dünger (16-8-12) plus 4 % MgO. Die Ausbringung der Imidacloprid Pellets wurde in gleicher Weise wie die Ausbringung der Neem Pellets durchgeführt. Der Pellet wurde so nah wie möglich an der Pflanze in das Substrat gedrückt. Bei den Versuchen mit dem Imidacloprid Pellet wurden keine Dosisstufen verwendet. Lediglich ein Pellet pro Topf wurde benutzt.

4.1.2 *Trialeurodes vaporariorum* - Zucht

Individuen von *Trialeurodes vaporariorum* wurden aus der institutseigenen Dauerzucht entnommen. Tabakpflanzen (*Nicotiana tabacum*) dienen als Wirtspflanze. Die Temperatur in den Zuchtkästen betrug 25 Grad Celsius. Die relative Luftfeuchte lag bei 40 bis 60 %. Die Zucht wurde mit MGR-Lampen (Philips HPI T 400W) etwa 16 Stunden belichtet.

4.1.3 *Gerbera jamesonii*

Als Versuchspflanzen wurden Topf-Gerbera *Gerbera jamesonii* 'FlorilineMaxi speciaal' verwendet. Die Pflanzen wurden von der Firma Florist de kwakel b.v. angezogen und als Jungpflanzen nach Hannover verschickt. Die Jungpflanzen wurden in einen Topf (13 cm

Durchmesser) mit Frühstorfer Erde Typ P umgetopft. Ab der dritten Woche der Kultur wurden die Pflanzen pro Woche jeweils einmal mit 0,5 % Wuxal N-P-K (8-8-6) gedüngt. In der Anzuchtphase standen die Gerbera etwa 16 Stunden unter MGR-Lampen (Philips HPI T 400 W) bei einer Temperatur von 24 bis 25 Grad Celsius mit einer relativen Luftfeuchte von 40 bis 60 %. Nach den ersten drei Wochen wurden zehn Weiße Fliegen zur Probe auf eine Pflanze gesetzt um zu überprüfen ob es Rückstände von chemischen Pflanzenschutzmitteln an den Pflanzen gab. Überlebten alle Adulte und entwickelten sich auch die Nachkommen normal, konnte davon ausgegangen werden, dass eventuelle Rückstände an Pflanzenschutzmitteln keinen Einfluss mehr auf die Entwicklung der Weißen Fliege nehmen werden.

4.2 Der Einfluss von Bodenbehandlungen mit Neem (Neem Azal-U und Neem-Pellet) auf Weiße Fliege an *Gerbera jamesonii*

Diese Versuche wurden in der Bachelor Arbeit von Sebastian Menke durchgeführt. Die erhobenen Versuchsdaten konnten im Jahr 2006 noch nicht ausgewertet werden.

4.2.1 Ziel des Versuches

Ziel dieser Studie war es herauszufinden, ob es signifikante Unterschiede zwischen den Bodenbehandlungen Neem Azal-U und Neem-Pellet bei zwei Behandlungsterminen A und B und verschiedenen Dosisstufen gibt.

4.2.2 Material und Methoden

Im Versuch wurde die Anzahl geschlüpfter Weißer Fliegen ausgezählt, welche unter dem Einfluss von zwei Bodenbehandlungen (Neem Azal-U und Neem-Pellet), zwei Behandlungsterminen (Behandlung mit Neem eine Woche vor der Eiablage und Behandlung mit Neem zeitgleich mit der Eiablage) und vier verschiedenen Dosierungen von NeemAzal-U (Kontrolle, 0,325 Gramm pro Liter Substrat, 0,65 Gramm pro Liter Substrat und 1,3

Nummer	Behandlung	Dosis	Termin	Adulte
1	NU	0	A	6
2	NU	0	A	11
3	NU	0	A	7
4	NU	0	A	11
5	NU	0	A	1
...				
94	P	1.3	B	0
95	P	1.3	B	0
96	P	1.3	B	0
97	NU	0	B	2
98	NU	0	B	10
...				
126	NU	1.3	B	0
127	NU	1.3	B	0
128	NU	1.3	B	0

Tabelle 4.1: Versuchsdaten im 'flat - file' Format aus der Bachelor Arbeit von Sebastian Menke

Gramm pro Liter Substrat) standen. Man hat hier ein Modell mit einer Zielvariablen, zwei qualitativen Faktoren und einem quantitativen Faktor. Für genauere Versuchsbeschreibungen siehe [51, Menke, 2006].

4.2.3 Statistik

Die erhobenen Daten können mit Hilfe eines Modells beschrieben werden. Für diesen Versuch lautet das Modell:

$$\log(Y_{ijhw}) = b_i + d_j + t_h + E_{ijhw}$$

Dieses Modell sagt aus, dass die logarithmierte Anzahl der Weißen Fliege Y_{ijhw} abhängig ist von der Behandlung b_i , Dosisstufe d_j und dem Behandlungstermin t_h . Der Fehler in diesem Modell wird durch E_{ijhw} und die Wiederholung durch den Index w abgebildet. Da Interaktionskontraste nur bei Einweganlagen verwendet werden können, müssen die Faktoren zu einem Faktor zusammengefasst werden. Es wird eine Pseudo-Einweganlage erstellt. Das Modell ändert sich wie folgt:

$$\log(Y_{ijhw}) = g_{ijh} + g_{ijhw}$$

Die logarithmierten Werte sind keine transformation der Beobachtungen. Dies zeigt die Link-Funktion an. In diesem Fall wurde der loglinear-Link benutzt. Die obige Fragestellung wird mit Hilfe eines Interaktionskontrasttest dargestellt, da sich bei diesem Versuch die Kontrollen von der Behandlung NeemAzal-U (NU) und Neem Pellet (NP) unterscheiden. Dadurch können die beiden Bodenapplikationen nicht direkt miteinander verglichen werden. Gelöst wird dieses Problem durch einen Interaktionskontrast. Der Kontrast für das obige Beispiel kann wie folgt aussehen (siehe Seite 50, Tabelle 4.2). Dieser Interakti-

1=ANU0 2=BNU0 3=AP0 4=BP0 5=ANU0.325 6=BNU0.325 7=AP0.325 8=BP0.325 9=ANU0.65 10=BNU0.65
11=AP0.65 12=BP0.65 13=ANU1.3 14=BNU1.3 15=AP1.3 16=BP1.3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
(1-5)-(3-7)	1/2	0	-1/2	0	-1/2	0	1/2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(1-9)-(3-11)	1/2	0	-1/2	0	0	0	0	0	-1/2	0	1/2	0	0	0	0	0
(1-13)-(3-15)	1/2	0	-1/2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1/2	0	1/2	0
(2-6)-(4-8)	0	1/2	0	-1/2	0	-1/2	0	1/2	0	0	0	0	0	0	0	0
(2-10)-(4-12)	0	1/2	0	-1/2	0	0	0	0	0	-1/2	0	1/2	0	0	0	0
(2-14)-(4-16)	0	1/2	0	-1/2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1/2	0	1/4

Tabelle 4.2: Benutzer definierter Interaktionkontrast

onskontrast vergleicht die Steigungen zwischen der Kontrolle und einer Dosis mit beiden Bodenapplikationen. Dieser Interaktionskontrast ist benutzerdefiniert und wird in die Funktion 'general linear hypotheses test' (glht) im Paket multcomp (R 2.6.1) eingefügt. Die Vergleiche werden unter der Annahme der negativ Binomial Verteilung und auf dem loglinear-Link durchgeführt. Mit dem Interaktionskontrast werden folgende Hypothesen abgebildet.

4.2.4 Modelldiagnostik

In der Modelldiagnostik werden ein Residual-Plot und ein QQ-Plot dargestellt (siehe Seite 51, Abbildung 4.1).

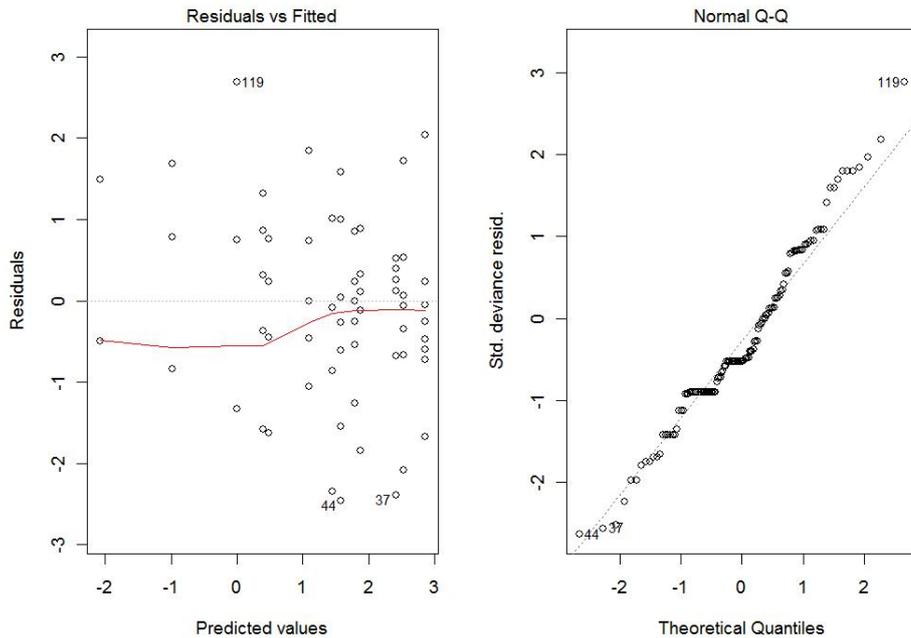


Abbildung 4.1: Modelldiagnostik mit Residual-Plot links und QQ-Plot rechts

4.2.5 Hypothesen

Bei Termin A:

- $H_0 : (\mu_{NU0} - \mu_{NUi}) - (\mu_{P0} - \mu_{Pi}) = 0 \quad i = (0.325; 0.65; 1.3)$
- $H_1 : (\mu_{NU0} - \mu_{NUi}) - (\mu_{P0} - \mu_{Pi}) \neq 0 \quad i = (0.325; 0.65; 1.3)$

Bei Termin B:

- $H_0 : (\mu_{NU0} - \mu_{NUi}) - (\mu_{P0} - \mu_{Pi}) = 0 \quad i = (0.325; 0.65; 1.3)$
- $H_1 : (\mu_{NU0} - \mu_{NUi}) - (\mu_{P0} - \mu_{Pi}) \neq 0 \quad i = (0.325; 0.65; 1.3)$

4.2.6 Ergebnis

Die Ergebnisse werden mittels Box-Whisker Plots dargestellt. Die linke Abbildung zeigt die Ergebnisse bei einer Behandlung eine Woche vor der Eiablage, die Rechte die Ergebnisse bei gleichzeitiger Behandlung und Eiablage (siehe Seite 52, Abbildung 4.2). Auf der Ordinate ist die Anzahl der geschlüpften Weißen Fliegen pro Blatt aufgetragen. Auf der Abszisse sind die Dosisstufen (Kontrolle, 0,325, 0,65 und 1,3 Neem/l Substrat) aufgetragen. Die unterschiedlichen Farben markieren die beiden Behandlungen: NeemAzal-U (hellblau) und Neem Pellet (orange). In den Abbildungen werden neben Box-Whisker Plots auch noch Mittelwert und Standardabweichung (dunkelblau) dargestellt. Es ist zu erkennen das bei beiden Behandlungen und Behandlungsterminen die Anzahl der ausgezählten Weißen Fliegen mit steigender Dosisstufe abnimmt. Des Weiteren wird deutlich, dass in der Behandlung Neem Pellet immer mehr Weiße Fliegen ausgezählt wurden als bei der Behandlung mit NeemAzal-U. Auch bei der Kontrolle gab es diese Unterschiede. Auffällig ist auch die starke Streuung der erhobenen Daten.

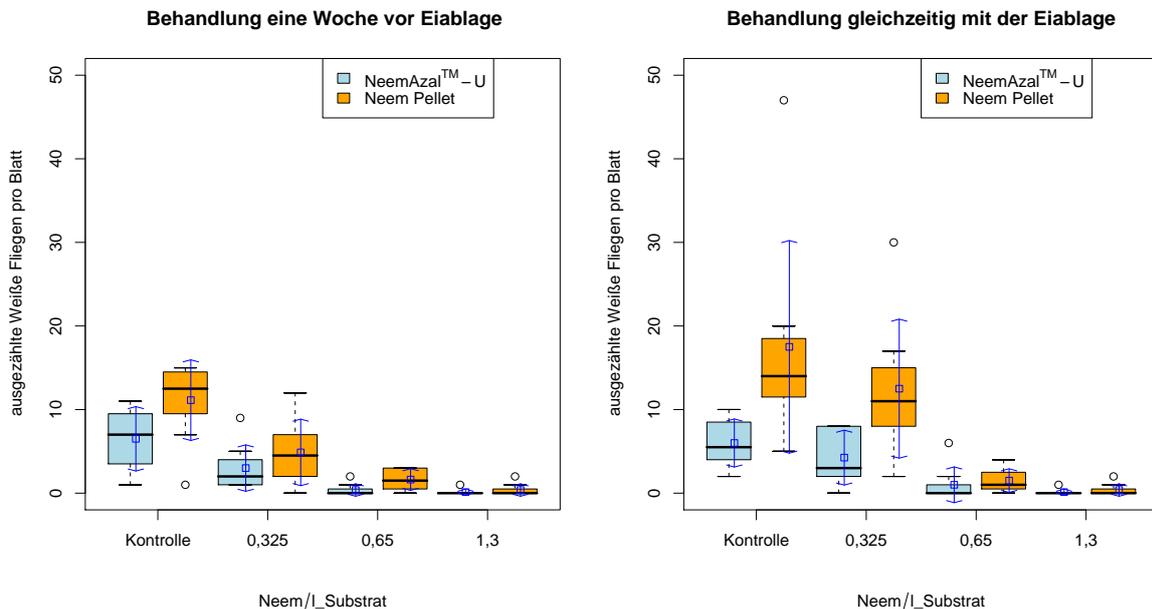


Abbildung 4.2: Boxplot der Ergebnisse der Bachelor Arbeit von Sebastian Menke

In Tabelle (siehe Seite 54, Tabelle 4.3) sind die Konfidenzintervalle für die Hypothesen abgebildet. Mit dem selbstdefiniertem Interaktionskontrast konnten genau die Vergleiche

che, welche von Interesse waren, miteinander verglichen werden. Die in Tabelle 4.3 unter Vergleich dargestellten Abkürzungen bedeuten folgendes:

Bei Termin A:

1: Kontrolle NeemAzal-U, 5: 0,325 NeemAzal-U, 3: Kontrolle Neem-Pellet, 7: 0,325 Neem-Pellet

1: Kontrolle NeemAzal-U, 9: 0,65 NeemAzal-U, 3: Kontrolle Neem-Pellet, 11: 0,65 Neem-Pellet

1: Kontrolle NeemAzal-U, 13: 1,3 NeemAzal-U, 3: Kontrolle Neem-Pellet, 15: 1,3 Neem-Pellet

Bei Termin B:

2: Kontrolle NeemAzal-U, 6: 0,325 NeemAzal-U, 4: Kontrolle Neem-Pellet, 8: 0,325 Neem-Pellet

2: Kontrolle NeemAzal-U, 10: 0,65 NeemAzal-U, 4: Kontrolle Neem-Pellet, 12: 0,65 Neem-Pellet

2: Kontrolle NeemAzal-U, 14: 1,3 NeemAzal-U, 4: Kontrolle Neem-Pellet, 16: 1,3 Neem-Pellet

Bei allen Vergleichen ist die Null nicht in dem Bereich zwischen der unteren und der oberen Schranke enthalten. Dies bedeutet mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit α von 5 %, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Behandlungen NeemAzal-U und Neem-Pellet gibt. Möchte man die Konfidenzintervalle auch noch graphisch darstellen, so empfiehlt sich die Intervalle zu exponieren, da man so die Intervalle nicht auf der logarithmierten Skala, sondern auf der Originalskala darstellt.

4.2.7 Diskussion

In den Ergebnissen wird deutlich, dass Neem nach einer Bodenbehandlung systemisch von *Gerbera jamesonii* aufgenommen wird und einen Einfluss auf das Schlupfverhalten der Weißen Fliege hat. Dies konnte auch schon von De Souza und Vendramin (2005)

Vergleich	Schätzer	untere Schranke	obere Schranke
(1-5)-(3-7)	0.97	0.51	1.86
(1-9)-(3-11)	1.59	0.58	4.35
(1-13)-(3-15)	1.32	0.26	6.65
(2-6)-(4-8)	1.00	0.55	1.84
(2-10)-(4-12)	0.88	0.28	2.72
(2-14)-(4-16)	1.01	0.20	5.09

Tabelle 4.3: Konfidenzintervalle für die Interaktionskontraste

nachgewiesen werden. Sie untersuchten die Wirkung von wässrigen Neemkernextrakten auf *Bemisia tabaci*. Schon bei geringen Konzentrationen konnte eine Mortalität von 100 % beobachtet werden. Auch Kumar und Poehling (2005), Wulf und Hartmann (2005), Islam (2005) und Thöming (2005) bestätigten die systematische Aufnahme von Neem an verschiedenen Pflanzen. Außerdem zeigen die Ergebnisse, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Behandlungen NeemAzal-U und Neem-Pellet auf die Reduktion gegenüber der jeweiligen Kontrollvariante gibt. Ein Grund hierfür ist, dass beide Neempräparate auf dem gleichen Ausgangsmaterial basieren. Die Firma Neudorf, welche den Neem-Pellet herstellt, bezieht das Ausgangsmaterial von der Firma Trifolio GmbH, welche das NeemAzal-U herstellt. Ein weiterer Grund ist, dass die verschiedenen Dosisstufen die gleichen Azadirachtinkonzentrationen pro Liter Substrat haben. Es fällt auf, dass bei der Bodenbehandlung mit Neem-Pellet immer mehr Weiße Fliegen ausgezählt wurden. Hierfür ist wahrscheinlich die Phase, in der die Präparate vorliegen, verantwortlich. So wird NeemAzal-U flüssig und Neem-Pellet als fester Keil appliziert. Durch die bereits flüssige Form von NeemAzal-U kann hier der Wirkstoff schneller über die Wurzel von der Pflanze aufgenommen werden. Bei dem Neem-Pellet muss der Wirkstoff zunächst in eine Pflanzenverfügbare Form gelöst werden. Hierdurch könnte die höhere Anzahl an ausgezählten adulten Weißen Fliegen und damit die pro aufgewendetem Wirkstoff geringere Wirksamkeit erklärt werden. In den Ergebnissen wird zusätzlich bei der Kontrollvariante deutlich, dass hier die Kontrolle bei dem Neem-Pellet eine höhere Anzahl an Weißen Fliegen hat. Anscheinend hat die Blank Formulierung für die Kontrollvariante von NeemAzal-U auch einen Einfluss auf das Schlupfverhalten der Weißen Fliege. Da sich schon die Kontrollen der beiden Behandlungen unterscheiden, ist ein paarweiser statistischer Vergleich zwischen den Behandlungen nicht sinnvoll. Dieses Problem konnte durch einen Interaktionskontrast gelöst werden. Hierfür wurde die Reduktion der

Weißer Fliege also die Steigung zwischen den Mittelwerten miteinander verglichen. In der Arbeit von Frömke (2001) wurden ebenfalls Interaktionskontraste beschrieben. Es wurden simultane Tests und Konfidenzintervalle für landwirtschaftliche Versuchsbeispiele berechnet. Die Interaktionskontraste sind bei diesen Beispielen aber nicht mit einer logarithmischen link - Funktion durchgeführt worden. Auch Hothorn und Bleiholder (2006) beschreiben in ihrem Kommentar zu Modifizierung der EPPO Standard PP1/152 Interaktionskontraste. Es werden in dem Kommentar die statistischen Aspekte der Wirksamkeitsbewertung von Pflanzenschutzmitteln in Feldstudien erörtert. Außerdem wird darauf aufmerksam gemacht, dass mittels Interaktionskontraste Vergleiche zwischen den Wirkungen zweier Pflanzenschutzmitteln möglich sind.

4.3 Der Einfluss von Bodenbehandlungen mit Neem-Pellets und Imidacloprid-Pellets auf *Trialeurodes vaporariorum* und *Encarsia formosa*

4.3.1 Ziel des Versuches

Ziel dieses Versuches war es herauszufinden, ob eine Bodenbehandlung mit Neem-Pellets und Imidacloprid-Pellets einen Einfluss auf das Schlupfverhalten von *Trialeurodes vaporariorum* und *Encarsia formosa* hat.

4.3.2 Material und Methoden

Diese Versuche wurden im Zeitraum Februar 2008 bis August 2008 durchgeführt. Bei den durchgeführten Versuchen wurde ein randomisiertes Versuchsdesign mit zehn Wiederholungen pro Variante gewählt. Bei den Varianten handelte es sich um Wirkstoffkonzentrationen von Neem Pellet (1 Neem Pellet / 1 Substrat) und Imidacloprid Pellet (1 Imidacloprid Pellet / 1 Substrat). Hier diente der Azet Düngedrops der Firma Neudorf als Kontrolle. Der Versuch wurde in zwei Teilversuche unterteilt. 1. Wirkung von Neem Pellet und Imidacloprid Pellet auf *Trialeurodes vaporariorum*. 2. Wirkung von Neem Pellet und Imidacloprid Pellet auf *Encarsia formosa*.

Eine Woche vor der Eiablage der Weißen Fliegen wurden die Pflanzen behandelt. Die Kontroll-, Neem- und Imidacloprid Pellets wurden ca. ein Zentimeter tief neben der Pflanze in die Pflanzerde im Topf gedrückt. Eine Woche später konnten 10 Adulte Weiße Fliegen aus der institutseigenen Dauerzucht für 24 Stunden Eier auf den Pflanzen ablegen. Um dies zu vereinfachen, wurden die Weißen Fliegen mit einem Exhauster gefangen und mit Kohlendioxid betäubt und anschließend in Blattkäfige überführt. Die Blattkäfige hatten einen Durchmesser von 3,5 cm und eine Höhe von 1,2 cm. Die Käfige waren aus Plastik, die Lüftungslöcher wurden mit Gaze bespannt und die Ränder hatten eine Schaumstoffabdichtung. Hierdurch wurde gewährleistet, dass keine in die Käfige gebrachten Weißen Fliegen diese wieder verlassen konnten. Weiterhin bestanden die Käfige aus zwei Teilen: einem Deckel und einem Käfig. Das junge Blatt wurde zwischen Deckel und Käfig (Blattunterseite zum Käfig) mit einer Haarklammer befestigt. Nachdem die Weißen Fliegen einen Tag in den Blattkäfigen verbracht haben und ihre Eier dort abgelegt hatten, wurden die Blattkäfige und die Adulten Weißen Fliegen sorgfältig entfernt und die abgelegten Eier gezählt. 12 Tage nach der Eiablage der Weißen Fliegen wurden bei der Versuchsvariante mit *Encarsia formosa* die Adulten 24 Stunden zur Parasitierung hinzugegeben. Da nicht gewährleistet werden konnte, dass die Gewächshauskabine frei von Weißen Fliegen war, wurden die Blattkäfige exakt an der gleichen Stelle wieder angebracht wo sie vorher entnommen wurden. Die Versuchspflanzen standen bei einer Sollwert-Temperatur von 22 bis 24 Grad Celsius, einer relativen Luftfeuchte von 40 bis 60 % und Zusatzbelichtung von 6.00 bis 20.00 Uhr. Nach 28 Tagen wurden die Blätter unter dem Binokular ausgewertet. Zu diesem Zeitpunkt waren unter normalen Bedingungen (ohne Neem) alle Weißen Fliegen aus ihren Puparien geschlüpft. Es wurde die Anzahl der vollen und leeren Puparien gezählt. Von der Anzahl der leeren Puparien konnte man auf die Anzahl der entwickelten Adulten schließen. Leere Puparianhüllen von *Trialeurodes vaporariorum* und *Encarsia formosa* konnte durch die Farbe der leeren Puparianhüllen unterschieden werden. Bei *Trialeurodes vaporariorum* waren die Hüllen eher heller als bei *Encarsia formosa*, die eine sehr dunkle leere Puparianhülle hatten. Bei diesen Versuchen wurde die Anzahl geschlüpfter Individuen von *Trialeurodes vaporariorum* und *Encarsia formosa* nach einer Bodenbehandlung von Neem beziehungsweise Imidacloprid gezählt.

4.3.3 Statistik

Die erhobenen Daten werden mit Hilfe des folgenden Modells beschrieben:

$$\log(Y_{iw}) = b_i + E_{iw}$$

Dieses Modell sagt aus, dass die logarithmierte Anzahl der Weißen Fliege oder der Schlupfwespen Y_i abhängig ist von der Behandlung b_i . Der Fehler in diesem Modell wird durch E_i abgebildet. Die statistische Auswertung in R erfolgte mit Hilfe des Paketes `multcomp` und der Funktion `glht`. Hiermit wurde ein Generalisiertes Lineares Modell auf dem log - Link mit Annahme von negativ Binomialverteilung erstellt, da dies eine gebräuchliche Annahme für Zähldaten ist [74, White und Bennetts, 1996]. Durchgeführt wurde ein All-Paar Vergleich.

4.3.4 Modelldiagnostik

In der Modelldiagnostik werden ein Residual-Plot und ein QQ-Plot dargestellt (siehe Seite 58, Abbildung 4.3).

4.3.5 Hypothesen

$$H_0 : \beta_K = \beta_{NP} = \beta_I$$

$$H_1 : \beta_K \neq \beta_{NP} \neq \beta_I$$

4.3.6 Ergebnis

Die Ergebnisse wurden mittels Box-Whisker Plots dargestellt. Die linke Abbildung zeigt die Ergebnisse für den Versuch mit *Trialeurodes vaporariorum*, die Rechte die Ergebnisse für den Versuch mit *Encarsia formosa* (siehe Seite 59, Abbildung 4.4). Auf der Ordinate ist die Anzahl der geschlüpften Insekten (*Trialeurodes vaporariorum* oder *Encarsia*

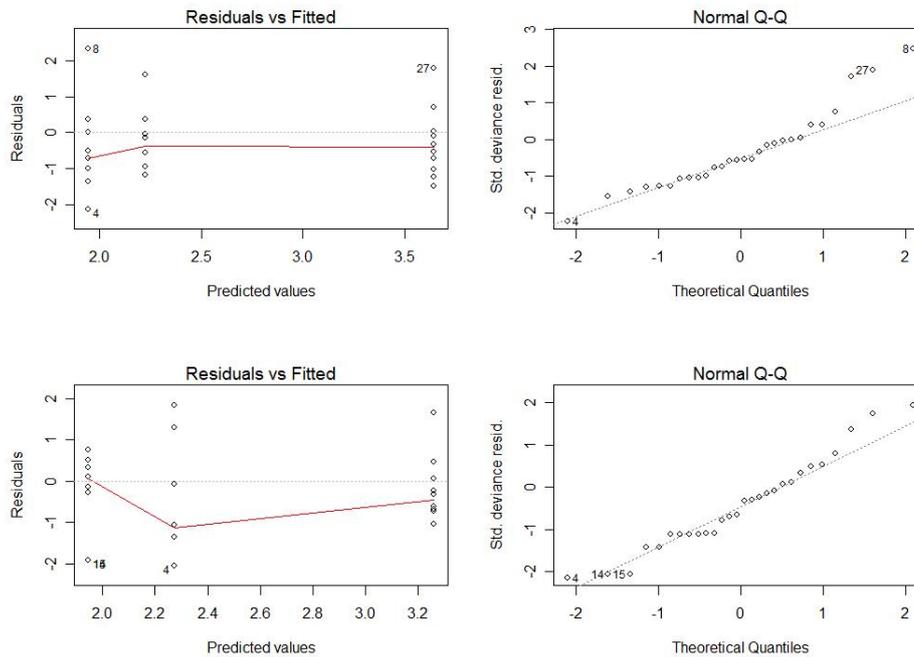


Abbildung 4.3: Modelldiagnostik mit Residual-Plot links und QQ-Plot rechts. Oben: Zielgröße *Trialeurodes vaporariorum*. Unten: Zielgröße: *Encarsia formosa*

formosa) pro Blatt aufgetragen. Auf der Abszisse sind die Behandlungsvarianten (Kontrolle, Neem-Pellet und Imidacloprid-Pellet) aufgetragen. Die unterschiedlichen Farben markieren die beiden Behandlungen: Imidacloprid (hellblau) und Neem Pellet (orange). In den Abbildungen werden neben Box-Whisker Plots auch noch Mittelwert und Standardabweichung (dunkelblau) dargestellt. Aus den Ergebnissen geht hervor, dass die Behandlungen bei *Trialeurodes vaporariorum* und *Encarsia formosa* die Anzahl der geschlüpften adulten Individuen gegenüber der Kontrollbehandlung reduziert. Die beiden Behandlungen unterscheiden sich augenscheinlich nicht.

In Tabelle 4.4 auf siehe Seite 59 sind die Konfidenzintervalle für die All-Paar-Vergleiche dargestellt. Bei den Vergleichen steht Kontrolle für die Kontroll Behandlung, Neem für die Neem Behandlung und Imidacloprid für die Imidacloprid Behandlung.

Konfidenzintervalle für die Bodenbehandlungen bei *Trialeurodes vaporariorum*:

Es ist zu erkennen, dass in den Vergleichen Kontrolle-Neem Behandlung und Kontrolle-

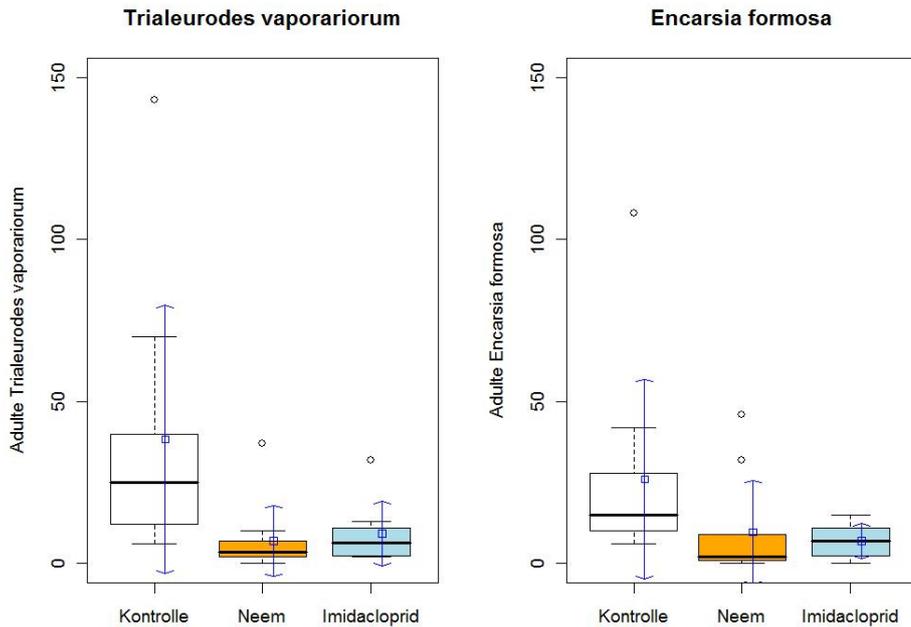


Abbildung 4.4: Boxplot der Ergebnisse der Bodenbehandlungen von Neem und Imidacloprid bei *Trialeurodes vaporariorum* und *Encarsia formosa*.

Vergleich	Schätzer	untere Schranke	obere Schranke
Kontrolle / Neem	0.18	0.07	0.51
Kontrolle / Imidacloprid	0.24	0.08	0.71
Neem / Imidacloprid	1.32	0.44	4.00

Tabelle 4.4: Konfidenzintervalle für die Bodenbehandlungen bei *Trialeurodes vaporariorum*

Imidacloprid Behandlung die Eins nicht im Konfidenzintervall enthalten ist. Aus diesem Grund unterscheiden sich diese Behandlungen mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % signifikant. Die Neem Behandlung reduziert die Anzahl der adulten *Trialeurodes vaporariorum* maximal auf 8 %, minimal auf 71 % und im Mittel auf 24 % der Kontrolle. Die Imidacloprid Behandlung reduziert die Anzahl der adulten *Trialeurodes vaporariorum* maximal auf 7 %, minimal auf 51 % und im Mittel auf 18 % der Kontrolle. Bei dem Vergleich Neem Behandlung-Imidacloprid Behandlung ist kein signifikanter Unterschied zu erkennen, da die Eins im Konfidenzintervall enthalten ist.

Vergleich	Schätzer	untere Schranke	obere Schranke
Kontrolle / Neem	0.37	0.11	1.22
Kontrolle / Imidacloprid	0.27	0.07	0.96
Neem / Imidacloprid	0.72	0.20	2.62

Tabelle 4.5: Konfidenzintervalle für die Bodenbehandlungen bei *Encarsia formosa*

Konfidenzintervalle für die Bodenbehandlungen bei *Encarsia formosa*:

Die Konfidenzintervalle zeigen bei dem Versuch mit *Encarsia formosa*, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen der Kontrolle und der Neem Behandlung gibt. Hier ist die Eins im Intervall enthalten. Auch die Behandlungen Neem und Imidacloprid unterscheiden sich nicht signifikant. Es ist nur ein signifikanter Unterschied zwischen der Kontrolle und der Imidacloprid Behandlung zu erkennen. Die Imidacloprid Behandlung reduzierte die Anzahl der adulten *Encarsia formosa* auf maximal 7 %, minimal 96 % und im Mittel auf 27 % der Anzahl der adulten *Encarsia formosa* bei der Kontroll Behandlung.

4.3.7 Diskussion

Aus den Ergebnissen wird deutlich, dass eine Behandlung mit Neem oder Imidacloprid eine geringere Anzahl an geschlüpften Weißen Fliegen zur Folge hat. Dies ist zurückzuführen auf die systemische Wirkung von Neem und Imidacloprid. Auch von De Souza und Vendramin (2005), Kumar und Poehling (2005), Wulf und Hartmann (2005), Islam (2005) und Thöming (2005) konnte die systemische Wirkung von Neem nachgewiesen werden. Das Imidacloprid eine systemische Wirkung gegenüber der Weißen Fliege und der Schlupfwespe hat wurde auch in den Versuchen von Bethke und Redback (1997) nachgewiesen. Bethke und Redback (2005) untersuchten den Einfluss von Imidacloprid auf *Bemisia argentifolia* und *Encarsia formosa* an Pointsettien. Sie stellten zwar eine Wirkung auf *Encarsia formosa* fest, empfehlen aber trotzdem einen Kombinierten Einsatz von Nützlingen und Imidacloprid da durch den Nützlingseinsatz mindestens 10 % der Mortalität gegenüber der Weißen Fliegen verursacht wurde. Das Neem eine geringe Wirkung auf Nützlinge hat wurde auch schon von Simmonds et al. (2002) herausgefunden. Sie konnten auch kein signifikant geringeres Schlupfverhalten von *Encarsia formosa* bei einer Neem Behandlung feststellen. Der Vergleich zwischen der Neem Behandlung

und der Imidacloprid Behandlung weist keinen Unterschied auf. Das Schlupfverhalten von *Encarsia formosa* und *Trialeurodes vaporariorum* ist bei beiden Wirksubstanzen gleich gering. Ein ähnlicher Vergleich ist in der Literatur leider nicht zu finden. Bei der statistischen Auswertung wurde ein generalisiertes lineares Modell mit der Annahme von negativ Binomial Verteilung und einer logarithmischen link - Funktion verwendet. Mit Hilfe des Tukey-Kontrastes konnten All par vergleiche erstellt werden. Eine weitere Möglichkeit die beiden Insektizide zu vergleichen wäre mit einem Äquivalenztest gegeben [37, Hothorn und Bleiholder, 2006]. A priori wird ein Intervall festgelegt. Liegt der Quotient aus Insektizid A und Insektizid B innerhalb dieses Intervalls so sind die Wirkungen beider Insektizide als gleich anzusehen.

4.4 Wahlversuch mit *Encarsia formosa*

4.4.1 Ziel des Versuches

Ziel des Versuches war es, zu überprüfen, ob Blätter von behandelten Pflanzen, einen Einfluss auf die Flugrichtung von *Encarsia formosa* in einem Wahlversuch haben.

4.4.2 Material und Methoden

Bei diesem Versuch wurden Blattstücke von behandelten und unbehandelten Pflanzen verwendet. Die Behandlung erfolgte mit einem Neem Pellet, die Kontrolle mit einem Azet Düng Drop der Firma Neudorf. Auf den verwendeten Blattstücken wurden zuvor durch die Weiße Fliege Eier abgelegt. Nach zwölf Tagen wurden die Blattstücke in die Wahlkammer überführt. Diese Wahlkammer (siehe Abbildung 4.5) bestand aus drei 9 cm großen Petrischalen. Zehn Schlupfwespen wurden in der mittleren Petrischale freigelassen. Anschließend konnten diese die mittlere Petrischale durch ein ein Zentimeter großes Loch verlassen. Nach 24 Stunden wurden die Individuen in den jeweiligen Petrischalen gezählt. Bei diesem Versuch handelte es sich um einen Wahlversuch. Die Schlupfwespen hatten die Wahl, ob sie zu dem behandelten Blatt oder zu dem nicht behandeltem Blatt fliegen. Des Weiteren wurden auch die Schlupfwespen gezählt, die sich nicht entschieden

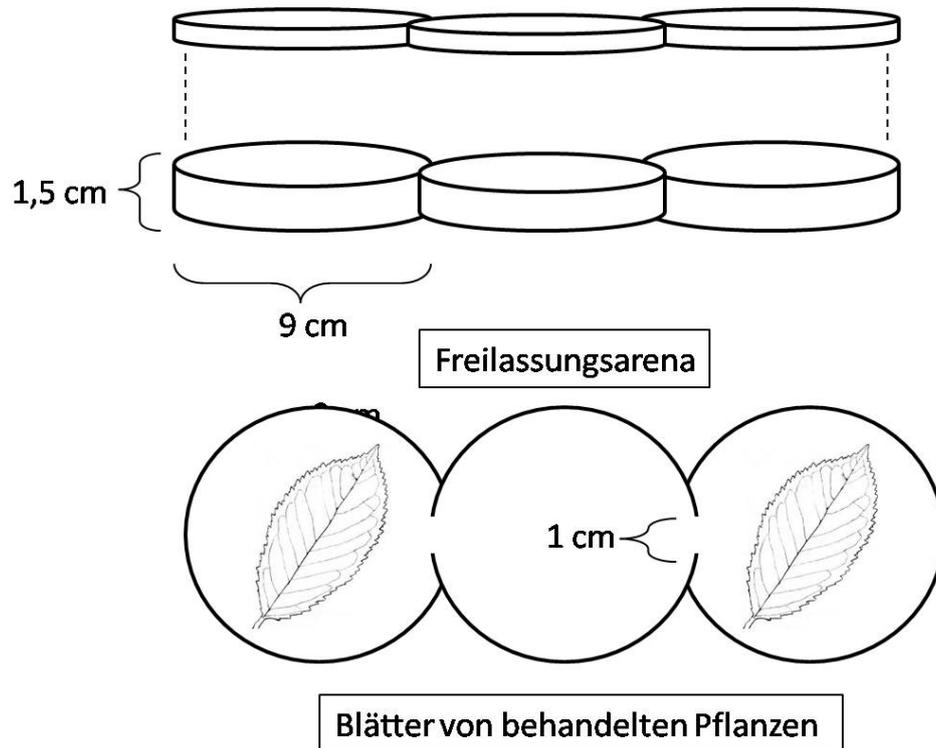


Abbildung 4.5: Versuchsarena gebaut aus drei Petrischalen

hatten. Diese blieben dann in der mittleren Petrischale zurück. Insgesamt wurden drei Versuche durchgeführt:

1. Kontrolle - nicht entschieden - Behandlung (Kontrolle-Mitte-Neem)
2. Behandlung - nicht entschieden - Behandlung (Neem-Mitte-Neem)
3. Kontrolle - nicht entschieden - Kontrolle (Kontrolle-Mitte-Kontrolle)

Als erstes wurde den Individuen die Wahl zwischen einem Kontrollblatt und einem behandelten Blatt gegeben. Als zweites wurde die Wahl zwischen zwei behandelten Blättern angeboten und als letztes die Wahl zwischen zwei Kontrollblättern.

4.4.3 Statistik

Die statistische Auswertung in R 2.6.1 erfolgte mit Hilfe des Paketes VGAM (Vector Generalized Linear and Additive Models) und der Funktion `vglm`. VGAM unterstützt Funktionen zum bilden von Vektor generalisierten linearen und additiven Modellen. Es passt Modelle und Verteilungen mittels Maximum Likelihood Schätzung an. Hiermit können Multinomial Modelle auf dem loglinear-Link erstellt werden. Ausgegeben wird eine Odds-Ratio.

4.4.4 Hypothesen

$$H_0 : \frac{\beta_{NP}/\beta_{Mitte}}{\beta_K/\beta_{Mitte}} = 1$$

$$H_1 : \frac{\beta_{NP}/\beta_{Mitte}}{\beta_K/\beta_{Mitte}} \neq 1$$

4.4.5 Ergebnis

Nach der Freilassung der *Encarsia formosa* in dem ersten Versuch (Kontrolle-Mitte-Neem) entschied sich die überwiegende Anzahl an Individuen für die Blätter, welche eine Kontrollbehandlung erfahren hatten. Es blieben deutlich weniger Schlupfwespen in der Freilassungsarena (Mitte) zurück. Auch entschieden sich weniger Schlupfwespen für die mit Neem behandelten Blätter. Bei den weiteren Teilversuchen (Neem-Mitte-Neem) und (Kontrolle-Mitte-Kontrolle) verteilten sich die Schlupfwespen gleichmäßig auf beide Seiten.

Auf Seite 64, Tabelle 4.6 werden die Konfidenzintervalle für die Odds-Ratio dargestellt. Es wird deutlich, dass die Eins im Intervall Mitte/Neem enthalten ist. Dies bedeutet, dass dieser Vergleich sich nicht signifikant unterscheidet. Im Intervall der Vergleiche Kontrolle/Neem und Kontrolle/Mitte ist die Eins nicht enthalten. Hier gibt es signifikante Unterschiede zwischen allen Vergleichen. Im zweiten Teilversuch (Neem-Mitte-Neem) sieht man in Tabelle 4.7, dass es in allen drei Konfidenzintervallen keinen signifikanten unterschied gibt. Die Schlupfwespen verteilen sich gleichmäßig auf beide Seiten und die

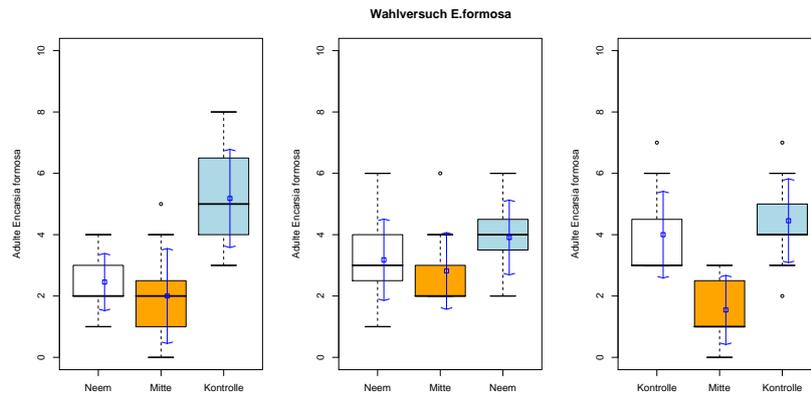


Abbildung 4.6: Boxplot der Ergebnisse aus dem Wahlversuch mit *Encarsia formosa* und Neem-Pellet

Vergleich	Schätzer	untere Schranke	obere Schranke
Mitte / Neem	0.82	0.42	1.60
Kontrolle / Neem	2.11	1.22	3.65
Kontrolle / Mitte	2.59	1.44	4.66

Tabelle 4.6: Konfidenzintervalle für den Wahlversuch (Neem-Mitte-Kontrolle)

Freilassungsarena. Im dritten Teilversuch (Kontrolle-Mitte-Kontrolle) gibt es einen signifikanten unterschied zwischen den beiden Seiten und der Freilassungsarena. Auf den beiden Seiten sind gleichviel Insekten und mehr als in der Freilassungsarena zu finden.

4.4.6 Diskussion

Aus den Ergebnissen geht hervor, dass *Encarsia formosa* sich tendenziell für ein unbehandeltes Blatt entscheidet, wenn die Schlupfwespe die Wahl zwischen einem behandelten und unbehandelten Blatt hat. Dies wird auch mittels der Konfidenzintervallen in

Vergleich	Schätzer	untere Schranke	obere Schranke
Mitte / Neem	0.89	0.50	1.58
Neem / Neem	1.23	0.72	2.09
Neem / Mitte	1.39	0.80	2.41

Tabelle 4.7: Konfidenzintervalle für den Wahlversuch (Neem-Mitte-Neem)

Vergleich	Schätzer	untere Schranke	obere Schranke
Mitte / Kontrolle	0.39	0.20	0.75
Kontrolle / Kontrolle	1.11	0.69	1.81
Kontrolle / Mitte	2.88	1.49	5.56

Tabelle 4.8: Konfidenzintervalle für den Wahlversuch (Kontrolle-Mitte-Kontrolle)

Tabelle 4.6 zeigt. Hier ist im Konfidenzintervall der Odds Ratio, Kontrolle/Neem, die Eins nicht enthalten. Bei den anschließenden Versuchen konnten die Insekten zwischen zwei Kontroll-Pflanzen oder zwei mit Neem behandelten Pflanzen wählen. Die Ergebnisse zeigen hier, dass die Insekten die behandelten Pflanzen meiden (siehe Tabelle 4.7). Dieser Effekt, der auch im ersten Teilversuch auftritt, ist auf die repellente Wirkung von Neem zurückzuführen. Schmutterer (2005) beschreibt dies als den Repellent Effekt. Auch Kumar und Poehling 2006 beschreiben diesen Effekt. Sie untersuchten den Einfluss von Azadirachtin auf *Bemisia tabaci* an Tomaten. Im dritten Teilversuch wird deutlich, dass die Insekten die unbehandelten Kontrollblätter nicht meiden. Um die Versuchsergebnisse besser interpretieren zu können, wurden auch Konfidenzintervalle für die Vergleiche Kontrolle/Mitte berechnet. Die Kontrolle gibt die Anzahl der Insekten am unbehandeltem Blatt wieder. Die Mitte gibt die Anzahl der Insekten an, welche sich nicht entschieden haben. Ist das Konfidenzintervall Kontrolle/Mitte kleiner als eins so sind mehr Insekten in der Mitte verblieben. Ist dies der Fall, so deutet es auf einen Fehler im Versuch hin, da mehr Insekten in der Freilassungsarena verblieben sind und sich nicht signifikant für eine Seite entschieden haben. Auch in dem obigen Versuch findet sich dies wieder. Hier könnte ein Grund für diesen Fehler sein, dass die Löcher von der Freilassungsarena zu den Versuchsvarianten mit einem Zentimeter zu klein geraten sind. Wahrscheinlich haben in dem Teilversuch die Schlupfwespen das Loch in der Petrischale nicht gefunden und konnten sich aus diesem Grund nicht für eine Seite entscheiden. Hierfür spricht auch, dass bei einer Weiterentwicklung dieser Versuchskammern am Institut für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz der Leibniz Universität Hannover die Durchbrüche von der Freilassungsarena größer sind. Versuche mit *Frankliniella occidentalis* zeigten bei den modifizierten Versuchskammern bessere Ergebnisse (unveröffentlicht).

5 Simulationen

5.1 Multinomial Modell mittels dem Paket VGAM

Simulationsergebnisse

Um zu überprüfen, ob in der Funktion `vglm` in dem Paket VGAM in R die Konfidenzintervalle das nominelle Niveau einhalten, wird diese Funktion mit einer Simulation überprüft. Zunächst wurde der Beispieldatensatz überprüft. Hier lag die Wiederholungszahl bei sechs und die Zahl der Aphiden bei 100. Es werden alle möglichen Kombinationen von links, rechts und Mitte berechnet. Der minimale Abstand innerhalb von links, rechts und Mitte liegt bei 0,05. Mit den vorhandenen Daten werden mit der Annahme $n = 6$ und $N = 100$ die einzelnen Kombinationen von links, rechts und Mitte gerechnet. Es wird für jede mögliche Verteilung von links zu Mitte zu rechts eine Überdeckungswahrscheinlichkeit ausgegeben. Diese Überdeckungswahrscheinlichkeit sagt aus, ob der gegebene Parameter mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % innerhalb des Konfidenzintervalls liegt. Ist diese Überdeckungswahrscheinlichkeit 0,95, so liegt der Parameter innerhalb des Konfidenzintervalls. Liegt die Überdeckungswahrscheinlichkeit über 0,95, so wird eine Teststatistik in diesem speziellen Fall konservativer. Der Test würde beispielsweise abgelehnt werden. Liegt die Überdeckungswahrscheinlichkeit unter 0,95 so wird die Teststatistik liberaler. Der Test würde beispielsweise zu spät, mit einer größeren Irrtumswahrscheinlichkeit abgelehnt.

In der folgenden Simulation werden alle Kombinationen von links und rechts (0,05 bis 0,95) und Mitte ($1 - (p_1 + p_2)$), dargestellt. Die Simulationsschleifen werden für jede Kombination 10000 durchlaufen.

In Abbildung 5.1 auf Seite 67 wird deutlich, dass die gerechnete Überdeckungswahrscheinlichkeit bei allen Kombinationen zwischen 0,945 und 0,955 liegt. In der Abbildung ist nur ein Dreieck abgebildet, da die Summe aus rechts, links und Mitte [1-

Coverage in Abhängigkeit der Verteilung links, rechts und Mitte $[1-(\text{links}+\text{rechts})]$, bei Fallzahl 100 und Wiederholung 6

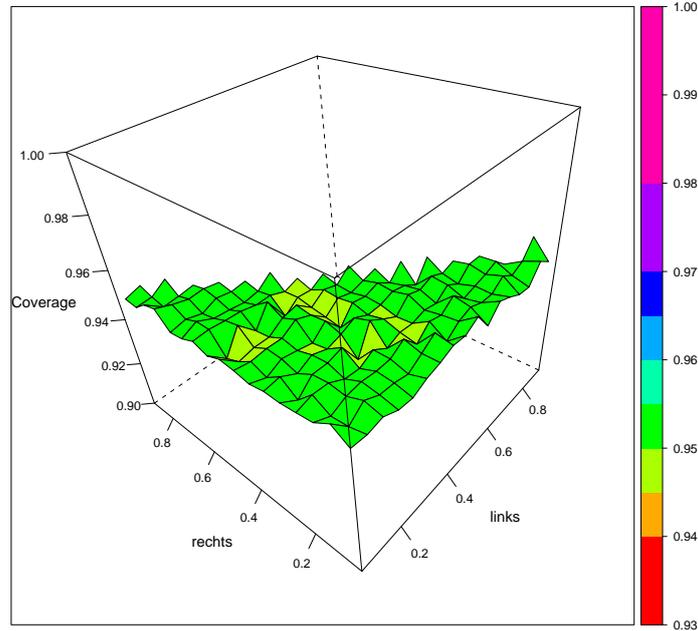


Abbildung 5.1: Überdeckungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Verteilung links, rechts und Mitte $[1-(\text{links}+\text{rechts})]$, bei Fallzahl 100 und Wiederholung 6

$(\text{links}+\text{rechts})]$ immer eins ergeben muss. In der Abbildung lassen sich so vier Dimensionen ablesen. 1. Überdeckungswahrscheinlichkeit, 2. Anteil derer, die in der rechten Kammer zu finden sind, 3. Anteil derer, die in der linken Kammer zu finden sind, 4. Anteil derer, die in der Mitte zu finden sind. Bei Letzteren muss man die Differenz aus 1 und der Summe der beiden Kammern links und rechts bilden. Auf der hinteren Diagonalen ist diese immer null. Betrachtet man die orthogonale Diagonale dazu, die von der vorderen Ecke bis zur hinteren verläuft, so stellt man fest, dass hier die Mitte abgebildet ist. An der vorderen Ecke ist die Mitte gleich eins, und fällt bis auf null, an die hintere Diagonale, ab. Um weitere Erkenntnisse über das Verhalten der Überdeckungswahrscheinlichkeit zu erhalten, wurde die Simulation bei Fallzahl 100 und Wiederholung 20 wiederholt. In Abbildung 5.2 auf Seite 68 wird deutlich, dass die gerechnete Überdeckungswahrscheinlichkeit bei allen Kombinationen zwischen 0,945 und 0,955 liegt. Diese Ergebnisse sagen aus, dass schon bei einem Versuchsdesign $n = 6$ und $N = 100$ interpretierfähige Ergebnisse erzeugt werden können. Es ist noch interessant zu wissen, ab welcher Fallzahl und ab welcher Wiederholungszahl der Parameter deutlich außerhalb

Coverage in Abhängigkeit der Verteilung links, rechts und Mitte $[1-(\text{links}+\text{rechts})]$, bei Fallzahl 100 und Wiederholung 20

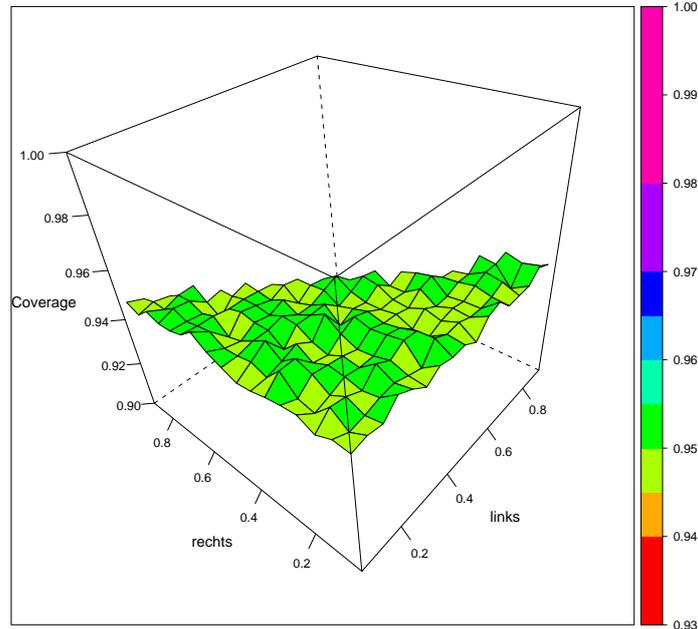


Abbildung 5.2: Überdeckungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Verteilung links, rechts und Mitte $[1-(\text{links}+\text{rechts})]$, bei Fallzahl 100 und Wiederholung 20

des Konfidenzintervalls liegt. Hierzu wird eine Simulation durchgeführt, die die Parameter links, rechts und Mitte konstant bei $\mathbf{1/3}$ beibehält, dafür aber die Fallzahl von 5 bis 20 und die Wiederholungszahl von 5 bis 20 variiert. In Abbildung 5.3 auf Seite 69 wird deutlich, dass die gerechnete Überdeckungswahrscheinlichkeit bei allen Kombinationen zwischen 0,95 und 0,97 liegt. Bei dem Fall, bei dem die Wiederholungszahl und die Fallzahl unter 10 liegt, erhöht sich die Überdeckungswahrscheinlichkeit. Der Wert ist dann zwischen 0,96 und 0,97. Liegen die Wiederholungszahlen und die Fallzahlen über zehn so ist eine Überdeckungswahrscheinlichkeit von 0,95 zu erwarten. Es bleibt festzuhalten, dass bei geringer Fall- und Wiederholungszahl ($\mathbf{n} < \mathbf{10}$ und $\mathbf{N} < \mathbf{10}$) die Überdeckungswahrscheinlichkeit ansteigt und somit ein Test zu konservativ wäre. Das Testergebnis zeigt dann, dass ein Parameter nicht in einem Konfidenzintervall mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % liegt, obwohl der Parameter eigentlich in dem Konfidenzintervall liegen müsste.

Coverage in Abhängigkeit der Fallzahl und der Wiederholung, bei einer Verteilung links = 1/3 rechts = 1/3 und Mitte = 1/3

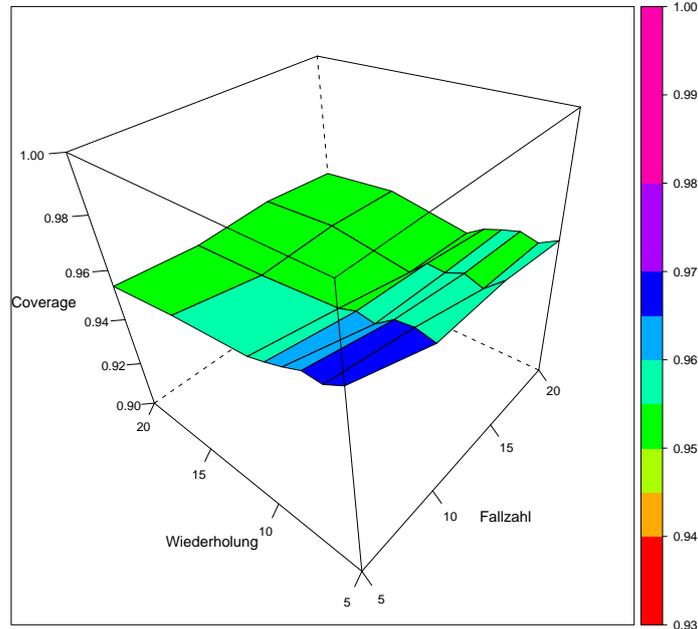


Abbildung 5.3: Überdeckungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Fallzahl und der Wiederholung, bei einer Verteilung links = 1/3 rechts = 1/3 und Mitte = 1/3

5.2 Interaktionskontraste

Die Simulation für die Interaktionskontraste sollte die Überdeckungswahrscheinlichkeit für mehrere Kontraste überprüfen. Hierfür wurde ein Datensatz erstellt, der zwei Faktoren (A und B) mit jeweils zwei Faktorstufen (a und b) hatte. Unter der Nullhypothese $\mathbf{H}_0 : (\mu_{Aa} - \mu_{Ab}) - (\mu_{Ba} - \mu_{Bb}) = \mathbf{0}$ wurden poissonverteilte Daten erzeugt, die bei dem Faktor A und B, Faktorstufe a einen Mittelwert von 10 aufweisen. Bei der Faktorstufe b bei den Faktoren A und B wurde jeweils ein Mittelwert von 5 bis 50 simuliert. Es ergaben sich mehrere Interaktionskontraste für die die Überdeckungswahrscheinlichkeiten berechnet wurde. Diese konnte dann mit der wahren Überdeckungswahrscheinlichkeit von 0,95 verglichen werden. Bei der Alternativhypothese, $\mathbf{H}_0 : (\mu_{Aa} - \mu_{Ab}) - (\mu_{Ba} - \mu_{Bb}) \neq \mathbf{0}$ wurden Daten für die Faktorstufen erzeugt, welche einen Mittelwert von 10 hatten. Nur bei der letzten Faktorstufe Bb wurden Mittelwerte von 5 bis 50 simuliert. Auch hier konnte die errechnete Überdeckungswahrscheinlichkeit mit der wahren Überdeckungswahrscheinlichkeit verglichen werden. Die

5 Simulationen

Fallzahl wurde bei diesen Versuchen auf 20 festgelegt.

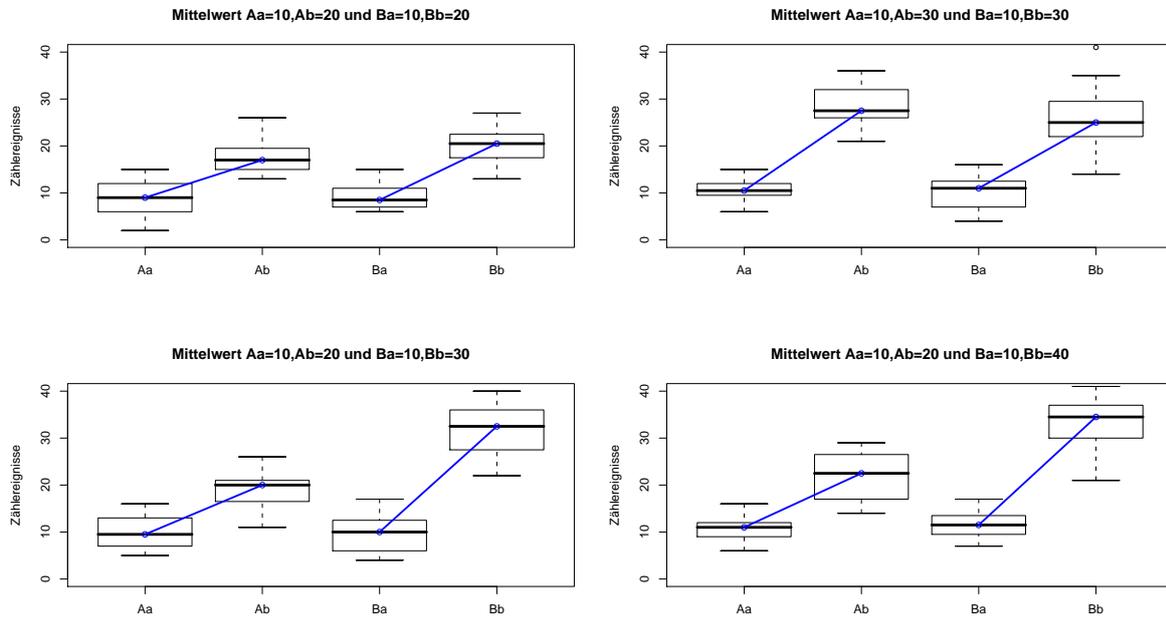


Abbildung 5.4: Beispiel für die Simulation der Interaktionskontraste

		Überdeckungswahrscheinlichkeit					
		Mittelwert	5	10	20	50	
Nullypothese	Ab,Bb	0.9521	0.9493	0.9511	0.9488	n = 5	
Alternativhypothese	Bb	0.9518	0.9476	0.9500	0.9532		
Nullypothese	Ab,Bb	0.9485	0.9522	0.9475	0.9491	n = 10	
Alternativhypothese	Bb	0.9520	0.9488	0.9499	0.9537		
Nullypothese	Ab,Bb	0.9499	0.9505	0.9521	0.9510	n = 20	
Alternativhypothese	Bb	0.9525	0.9497	0.9521	0.9517		

Tabelle 5.1: Simulationsergebnisse Interaktionskontraste

In den Simulationsergebnissen wird deutlich, dass unter der Null- und unter der Alternativhypothese die Überdeckungswahrscheinlichkeit von 0.95 eingehalten wird. Selbst bei kleinen Mittelwerten und Fallzahlen konnten keine Abweichungen festgestellt werden.

6 Generelle Diskussion

6.1 Phytomedizinischer Teil

Die Ergebnisse der drei Versuche zeigen, dass eine Kontrolle der Weißen Fliege mit Neem Präparaten auf der Basis des Wirkstoffes Azadirachtin möglich ist. In diesen Versuchen wurde die Bodenapplikation von Neem Präparaten untersucht und eine systemische Wirkung auf die Weiße Fliege festgestellt. Vergleichbare Wirkungen wurden auch bei anderen Schadinsekten gefunden, beispielsweise von Thöming (2005), die Versuche mit Thrips durchführte, und von Hossain et al. (2008), die Versuche mit Minierfliegen durchgeführt haben.

Die Anfangs beschriebenen Resistenzen von Weißen Fliegen gegenüber chemischen Insektiziden bergen ein zunehmendes Problem im Unterglasanbau [30, Gorman et al., 2007]. Dieses Problem kann mit der Hilfe von Neem Präparaten überwunden werden. Viele Arbeiten beschäftigten sich in der Vergangenheit mit der Wirksamkeit und Effizienz von azadirachtinhaltigen Neem Präparaten. Es wurden die verschiedensten Schadinsekten untersucht. Fast alle sind zu dem Ergebniss gekommen, dass die Wirksamkeit und Effizienz von Neem gegenüber diesen Schadinsekten gut ist [36, Hossain et al., 2008], [46, Kumar und Poehling, 2007], [20, De Souza und Vendramin, 2005].

Da bei einer fortgeschrittenen Entwicklung der Weißen Fliege die Bekämpfung allein mit Neem nicht zu einer 100 % Mortalität der Weißen Fliegen führt, siehe Seite 52, Abbildung 4.2 müssen weitere Schädlingsbekämpfungsmaßnahmen durchgeführt werden. Hier bietet sich der Einsatz von Nützlingen an. Bernd und Meyhöfer (2007) diskutieren in Ihrer Arbeit den Einsatz der Schlupfwespe *Encarsia formosa* gegen die Weiße Fliege *Trialeurodes vaporariorum* an *Gerbera jamesonii*. Sie erarbeiteten eine gute Strategie zur Kontrolle der Weißen Fliege mit einer Ausbringung von Nützlingen. Sie empfehlen eine kontinuierliche Überwachung der Pflanzenbestände, um schon bei einem geringen Befall mit Weißer Fliege eine Bkämpfung mittels Nützlinge zu beginnen. In diesen Ver-

suchen fand jedoch keinerlei weitere Schädlingsbekämpfung statt.

Eine Methode die Weiße Fliege zu kontrollieren ist der kombinierte Einsatz von Neem und *Encarsia formosa*. Die Möglichkeiten und Grenzen dieser Kombination wurde im zweiten Versuch untersucht. Es konnte festgestellt werden, dass Neem keine signifikante Reduzierung der adulten Schlupfwespen im Vergleich zur Kontrolle verursacht (siehe Seite 60, Tabelle 4.5). Die Ergebnisse von Simmonds et al. (2002) bestätigen diese Aussage. Sie untersuchten biologische Insektizide hinsichtlich Ihrer Wirkung auf *Trialeurodes vaporariorum* und *Encarsia formosa*. Simmonds et al. (2002) sind auch zu dem Ergebnis gekommen, dass durch eine Azadirachtinbehandlung das Schlupfverhalten von *Encarsia formosa* nicht beeinträchtigt wird.

Um diese Ergebnisse mit chemischen Insektiziden vergleichen zu können, wurde im zweiten Versuch der Einfluss von Imidacloprid auf *Encarsia formosa* untersucht. Hier konnte festgestellt werden, dass Imidacloprid die Anzahl der geschlüpften Schlupfwespen reduziert. Im Gegensatz hierzu stehen die Ergebnisse von Bethke und Richard (1997). Sie untersuchten den Einfluss einer Bodenapplikation mit Imidacloprid auf *Bemisia argentifolia* und *Encarsia formosa*. Die Ergebnisse zeigten, dass die Kombination einer Imidaclopridbehandlung mit einem Nützlingseinsatz sinnvoll ist und etwa 10 % der Gesamtmortalität ausmacht. Detaillierte Ergebnisse zu den Auswirkungen auf die Schlupfwespe wurde nicht veröffentlicht.

Forschungsbedarf ist in der Kombination von Insektiziden, sowohl biologischer als auch chemischer Art, mit Nützlingen vorhanden. Gerade bei der Bekämpfung der Weißen Fliege könnte diese Kombination eine gute Bekämpfungsstrategie sein. So bietet sich eine Fortsetzung der Arbeit von Bernd und Meyhöfer (2007) an. In dieser Arbeit wurden detailliert die Möglichkeiten von Nützlingen zur Bekämpfung der Weißen Fliege beschrieben. Kombiniert man dieses Wissen über Nützlinge mit dem Wissen über Bodenapplikationen von Azadirachtin Präparaten, welches in der Dissertation von Thöming (2005) beschrieben wurde, so könnten in Versuchen eine alte rnative Bekämpfungsstrategie zur Bekämpfung der Weißen Fliege mit der Kombination aus Neem und Nützlingen ermittelt werden. In der Dissertation von Thöming (2005) wurde die Kombination von Bodenbehandlungen mit Neem Azal-U und Raubmilben erfolgreich untersucht. Mittels der Kombination konnten Wirkungsgrade bis zu 99 % erzielt werden. Auch Nebenwirkungen von Neem Azal-U auf Raubmilben wurden untersucht und festgestellt, dass beide verwendeten Raubmilbenarten überlebten. Lediglich bei *Hypoaspis aculeifer* wurde eine verringerte Populationsentwicklung festgestellt. Zukünftige Untersuchungen könnten

sich mit der Kombination von Bodenbehandlungen mit Azadirachtinhaltenen Präparaten und dem gleichzeitigen Einsatz von Nützlingen wie zum Beispiel die Schlupfwespe bei der Bekämpfung der Weißen Fliege beschäftigen.

6.2 Biostatistischer Teil

Es konnte gezeigt werden, dass eine Auswertung von phytomedizinischen Versuchen mittels GLM möglich ist. Hierbei muss zunächst eine Verteilung für die erhobenen Daten angenommen werden. Bei Zählraten bieten sich die negativ Binomial- und die Poissonverteilung an. Die Binomial- und Multinomialverteilung bieten sich bei der Auswertung mittels GLM für Proportionen an. Nachdem eine Verteilung angenommen wurde muss ein Modell erstellt und validiert werden. Aus diesem Modell werden anschließend Parameter benutzt, um die a priori festgelegten Hypothesen zu testen. Für diesen Test ist es wichtig, dass die Residuen normalverteilt sind.

Die Vorteile der Auswertung über GLM sind, dass kein Dosis Wirkungs Modell angenommen werden muss. Hier ist die Gefahr, dass ein Modell angenommen wird welches die erhobenen Daten nicht adäquat widerspiegelt. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit der skaleninvarianten Auswertung über einen Quotienten. Hierdurch können auch Daten verschiedener Skalen miteinander verglichen werden. Des Weiteren kann mit Hilfe eines GLM ein Äquivalenztest durchgeführt werden. Im phytomedizinischen Versuchen kann hierdurch zum Beispiel ein neues Pflanzenschutzmittel mit einem alten Pflanzenschutzmittel verglichen werden. Durch die Darstellung eines Konfidenzintervalls kann ein Unterschied dargestellt werden. Liegt dieser Unterschied innerhalb einer vorher festgelegten Grenze, so sind die Wirkungen der beiden Pflanzenschutzmittel als äquivalent anzusehen. Der wohl wichtigste Vorteil ist die sehr gute Interpretationsmöglichkeit der Ergebnisse, da diese direkt auf der Skala der Versuchsdaten abgelesen werden können, falls die Ergebnisse in einem Konfidenzintervall dargestellt werden.

Auch können Kontraste selbst definiert werden. Es ist möglich, nur die Hypothesen zu testen, die von Interesse sind. Hierdurch verringert sich die Anzahl an Tests. Die Power des Tests wird erhöht. Es kann öfter ein Unterschied gezeigt, welcher in Wirklichkeit auch vorhanden ist.

Ein Nachteil von GLM ist, dass Annahmen für das Modell gemacht werden müssen. Eine ist zum Beispiel die Verteilungsannahme. Folgen die erhobenen Daten zum Beispiel

der negativ Binomialverteilung, so sind mehrere Versuche pro Dosisstufe notwendig, da die Streuung zwischen den Dosisstufen geschätzt werden kann. Es wird eine extra Variabilität geschätzt. Weiter treffen Probleme auf, falls in einer Dosisstufe ausschließlich Nullen bonitiert werden. In dem Modell steht eventuell eine Null im Nenner des Quotienten und dies ist nicht definiert. Eine andere Möglichkeit ist, dass die Null im Zähler des Quotienten steht. Hierbei könnte die Poissonverteilung angenommen werden, da Varianz gleich Mittelwert gleich Null ist. Dies wäre theoretisch richtig aber bewirkt praktisch, dass die Konfidenzintervalle einen Bereich von Null bis unendlich abbilden. Des Weiteren bringt es Nachteile mit sich, wenn Versuche mit hierarchischem Design oder wiederholten Messungen ausgewertet werden müssen. Dies ist Gegenstand aktueller Forschung und eine zufriedenstellende Lösung mittels gemischter Modelle ist noch nicht vorhanden. Dieses Problem kann aber umgangen werden, indem in der Versuchsplanung einfache Versuchsaufbauten und wiederholte Messungen vermieden werden. Eine alternative Auswertungsmöglichkeit phytomedizinische Versuche auszuwerten sind nichtparametrische Lösungen. Hier müssen weniger Annahmen festgelegt werden. Beim Wilcoxon Test ist die Annahme, dass zwei gleiche Verteilungsfunktionen sich nur um den Shift-Parameter unterscheiden. Die Verteilungsfunktionen werden durch eine Rangbildung bestimmt. Dies ist bei kleinen Fallzahlen ein Problem. Auch Modarres et al. (2005) stellen klar, dass bei der Verletzung von Annahmen ein nichtparametrischer Test p-Werte ausgibt die nicht korrekt sind. Bei GLM muss die Verteilungsfunktion nicht über Ränge bestimmt werden, hier wird eine Verteilung angenommen. Bei kleinen Fallzahlen verliert der Wilcoxon Test an Power, da die empirische Verteilung über Ränge abgebildet werden muss. Man kann seltener einen Unterschied zeigen, obwohl in Wirklichkeit ein Unterschied vorhanden ist.

Literaturverzeichnis

- [1] Aerts, R. J., Mordue, (Luntz), A. J., 1997: Feeding deterrence and toxicity of Neem Triterpenoids. *Journal of Chemical Ecology* 23:2117-2132.
- [2] Aggerwal, N., Brar, D.S., 2006: Effects of different neem preparations in comparison to synthetic insecticides on the whitefly parasitoid *Encarsia sophia* (Hymenoptera: Aphelinidae) and the predator *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) on cotton under laboratory conditions. *Journal of Pest Science* 79:201-207.
- [3] Agresti, A., 2007: *An introduction to categorical data analysis, 2nd Edition*. John Wiley und Sons Inc.
- [4] Albajes R., Loduvica Gullino, M., van Lenteren, J.C., Elad, Y., 1999: *Integrated Pest and Disease Management in Greenhouse Crops*. 1. Auflage; Kluwer Academic Publishers Dordrecht, Boston, London.
- [5] Anscombe, F.J., 1949: The statistical analysis of insect counts based on the negative binomial distribution. *Biometrics*, 5:165-173.
- [6] Bährmann R., 2002: *Die Mottenschöldläuse. Aleyrodina. Pflanzensaugende Insekten Band 2* Neue Brehm-Bücherei 664, 240 Seiten.
- [7] Bernd, O., Meyhöfer, R., 2007: Weiße Fliege an Schnittgerbera: Biologische Bekämpfung mit Schlupfwespe oder Raubmilbe? *Gesunde Pflanzen* 59:171-178.
- [8] Bernd, O., Meyhöfer, R., 2007: Whitefly control in cut gerbera: is it possible to control *Trialetrodes vaporariorum* with *Encarsia formosa*? *BioControl*, Accepted: 2 October 2007
- [9] Bethke, J.A., Redbak, R.A., 1997: Effect of imidacloprid on the silverleaf whitefly, *Bemisia argentifolii* Bellows and Perring (Homoptera: Aleyrodidae), and whitefly parasitism. *Annals of Applied Biology* 130:397-407.

- [10] Bilton, J.N., Broughton, H.B., Ley, S.V., Lidert, Z., Morgan, E.D., Rzepa, H.S., Sheppard, R.N., 1985: Structural reappraisal of the limonoid insect anti-feedant azadirachtin. *Journal of the Chemical Society-Chemical Communications* Pages:968-971.
- [11] Bliss, C.I. und Fisher, R.A., 1953: Fitting the negative binomial distribution to biological data. *Biometrics* 9: 176-200.
- [12] Bloomquist, J. R., 1993: Toxicology, mode of action, and target site-mediated resistance to insecticides acting on chloride channels. *Comparative biochemistry and physiology* 106:301-314.
- [13] Börner H., 1997: *Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*. Börner Horst (Hrsg.) UTB für Wissenschaft.
- [14] Bretz, F., 1999: Powerful modifications of William's test on trend., Dissertation, Leibniz Universität Hannover.
- [15] Bretz, F., Genz, A., Hothorn, L.A., 2001: On the numerical availability of multiple comparison procedures. *Biometrical Journal* 43:645-656.
- [16] Butterworth, J.H., Morgan, E.D., 1968: Isolation of a substance that suppresses feeding in locusts. *Chemistry Communication* 28:23-24.
- [17] Bürki, M., Frutschi, B., Scholz, W., 1990: *Pflanzenschutz an Zier - und Nutzpflanzen*. 2. Auflage; Verlag Bernhard Thalacker Braunschweig.
- [18] BVL (August, 2008) <http://www.bvl.bund.de/pflanzenschutz>
- [19] Dimitrov, A., 2005: Integrierte Produktion von Tomaten (*Lycopersicon esculentum* Mill.) im Gewächshaus unter besonderer Berücksichtigung der integrierten Bekämpfung der Weißen Fliege (*Trialeurodes vaporariorum* Westwood). Dissertation TENA Verlag für Medien (Berlin).
- [20] De Souza, A.P., Vendramin, J.D., 1990: Translaminar, systemic and topical effect of aqueous extract of neem seed on *Bemisia tabaci* (Genn.) biotype B on tomato plants. *Neotropical Entomology* 34:83-87.
- [21] Dobson, J.A., 1990: *An Introduction to Generalized Linear Models*. Chapman and Hall London, New York, Tokyo, Melbourne, Madras.

- [22] Durner, W., 1999: Skript zur Vorlesung., Universität Bayreuth.
- [23] von Elling, K., Borgemeister, C., Setamou, M., Poehling, H-M., 2002: The effect of NeemAzal- T/S, a commercial neem product, on different development stages of the common greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Hom., Aleyrodidae). *Journal of Applied Entomology* 126:40-45.
- [24] Feldhege, M., Schmutterer, H., 1993: Investigations on side effects of Margosan-O on *Encarsia formosa* Gah. (Hym., Aphelenidae), parasitoid of the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* Westw. (Hom., Aleyrodidae). *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 115:37-42.
- [25] Franke, W., 1997: *Nutzpflanzenkunde*. 6. Auflage, Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York.
- [26] Fortmann, M., 1993: *Das große Kosmosbuch der Nützlinge*. 1. Auflage; Franckh-Kosmos Verlag Stuttgart.
- [27] Fransen, J.J., van Lenteren, J.C. 1993: Host selection and survival of the parasitoid *Encarsia formosa* on greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*, in the presence of hosts infected with the fungus *Aschersonia aleyrodidis*. *Entomologia experimentalis et applicata* 69:239-249.
- [28] Frömke, C., 2001: Simultaneous tests and confidence intervals for experimental agricultural designs. Diplomarbeit, Leibniz Universität Hannover.
- [29] Gerling, D., 1983: Observations on the biologies and interrelationships of parasites attacking the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (West.), in Hawaii. *Proc. Hawaiian Entomological Society* 24:217-226.
- [30] Gorman, K., Devine, G., Bennison, J., Coussons, P., Punchard, N., Denholm, I., 2007: Report of resistance to the neonicotinoid insecticide imidacloprid in *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Pest Management Science* 63: 517-622.
- [31] Gotostcroix, August, 2008: <http://www.gotostcroix.com/hiking/images/neem.jpg>
- [32] Hecht-Rost, S., 2001: Nebenwirkungen von NeemAzal-T/S auf den Parasitoiden *Aphidius colemani* (Hymenoptera, Aphidiidae). Diplomarbeit am Fachbereich Gartenbau, Leibniz Universität Hannover.

- [33] Heinz, K.M., van Driesche, R.G., Parrella, M.P., 2004: *Bio Control in protected Culture*. 1. Auflage; Ball Publishing Batava, Illinois.
- [34] Hochberg, Y., Tamhane, A. 1987: *Multiple Comparison Procedures*. Wiley, New York(US).
- [35] Hoddle, M., Van Driesche, R., Sanderson, J. 1998: Biology and use of the whitefly parasitoid *Encarsia formosa*. *Annual Review of Entomology* 43:645-669.
- [36] Hossain, M.B., Poehling, H.-M., Thöming, G., Borgemeister, C., 2008: Effects of soil application of neem (NeemAzal-U) on different life stages of *Liriomyza sativae* (Diptera: Agromyzidae) on tomato in the humid tropics. *Journal of Plant Diseases and Protection* 115:80-87.
- [37] Hothorn, L.A., Bleiholder, H., 2006: Statistical aspects of efficacy evaluation of plant protection products in field trials-a comment on EPPO Standard PP1/152. *EPPO Bulletin* 36:31-45.
- [38] Islam, M.S., 2005: Effects of soil application of Neem on aphids and aphid antagonists. Diplomarbeit am Fachbereich Gartenbau, Leibniz Universität Hannover.
- [39] James, D.G., Vogele, B., 2001: The effect of imidacloprid on survival of some beneficial arthropods. *Plant Protection Quarterly* 16:58-62.
- [40] Katzbiotech, August 2008: <http://www.katzbiotech.de>
- [41] Keele, August 2008: <http://www.keele.ac.uk/depts/ch/groups/ecology/neemseedgut.jpg>
- [42] Köhler, W., Schachtel, G., Voleske, P., 2002: *Biostatistik*. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York.
- [43] Kraus, W., Bokel, M., Klenk, A., Pöhl, H., 1985: The structure of azadirachtin and 22,23-dihydro-23beta-methoxyazadirachtin. *Tetrahedron Letters* 26:35-38.
- [44] Kumar, P., Poehling, H.-M., Borgemeister, C., 2005: Effects of different application methods of Azadirachtin against sweetpotato whitefly *Bemisia tabaci* Gennadius (Hom., Aleyrodidae) on tomato plants. *Journal of Applied Entomology* 129:489-497.

- [45] Kumar, P., Poehling, H-M., 2006: Persistence of soil and foliar azadirachtin treatments to control sweetpotato whitefly *Bemisia tabaci* Gennadius (Homoptera: Aleyrodidae) on tomatoes under controlled (laboratory) and field (netted greenhouse) conditions in the humid tropics. *Journal of Pest Science* 79:189-199.
- [46] Kumar, P., Poehling, H-M., 2007: Effects of Azadirachtin, Abamectin, and Spinosad on Sweetpotato Whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) on Tomato Plants Under Laboratory and Greenhouse Conditions in the Humid Tropics. *Journal of Economic Entomology* 100:411-420.
- [47] Lawless, J.F., 1987: Negative binomial and mixed Poisson regression. *The Canadian Journal of Statistics* 15:209-225.
- [48] Lindsey, J.K., 1997: *Applying Generalized Linear Models*. Springer Verlag New York Berlin, Heidelberg.
- [49] Maloy, O.C., Murray, T.D., 2001: *Encyclopedia of Plant Pathology Volume 2*. 1. Auflage; John Wiley and Sons, Inc. New York, Chichester, Weinheim, Brisbane, Singapore, Toronto.
- [50] McCullagh, P., Nelder, J.A. 1989: *Generalized linear models*. London: Chapman and Hall, 2nd edition.
- [51] Menke, S., 2006: Der Einfluss von Bodenbehandlungen mit Neem (Neem Azal™-U und Neem Pellet) auf Weiße Fliegen an *Gerbera jamesonii*. Bachelorarbeit am Fachbereich Gartenbau, Leibniz Universität Hannover.
- [52] Meyer, J., 2004: Einfluss von Neem auf entopathogene und phytopathogene Nematoden. Diplomarbeit am Fachbereich Gartenbau, Leibniz Universität Hannover.
- [53] Modarres, R., Gastwirth, J.L., Ewens, W., 2005: A cautionary note on the use of non-parametric tests in the Analysis of Environmental Data. *Environmetrics* 16:319-326.
- [54] Mordue, A.J., 2004: *Present Concepts of Action of Azadirachtin from Neem*. In: O. Koul and S. Wahab (eds.), *Neem Today and in the new Millennium*. Kluwer Academic Publishers. Pages: 229-242.

- [55] Mordue (Luntz) A. J., Simmonds, M. S. J., Ley, S. V., Blaney, W.M., Mordue, W., Nasiruddin, M., Nisbet, A. J., 1998: Actions of Azadirachtin, a Plant Allelochemical against Insects. *Pesticide Science* 54:277-284.
- [56] Neemfoundation, August, 2008: <http://www.neemfoundation.org>
- [57] Onillion, J.C., 1990 *The use of natural enemies for the biological control of whiteflies*. In: D. Gerling (ed): *Whiteflies: their bionomics, pest status and management* Intercept, Andover, UK Pages: 287-313.
- [58] Pederson O.C., Reitzel J., Stengard H., 1986: *Pflanzen natürlich schützen - Nützlinge im Treibhaus und Garten*. O.C. Pederson (Hrsg.), Wolfgang-Krüger-Verlag, Frankfurt am Main.
- [59] Pennekamp, R., 2005: Wirkungen von Neem Azal-T/S und Rapsöl allein und in Kombination auf verschiedene Entwicklungsstadien der Weißen Fliege *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood). Diplomarbeit am Fachbereich Gartenbau, Leibniz Universität Hannover.
- [60] Roberts, T., Hutson, D., 1999: *Metabolic Pathways of Agrochemicals, Part 2: Insecticides and Fungicides*, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, Pages: 111-120.
- [61] Sachs, L. und Hedderich, J., 2006: *Angewandte Statistik; Methodensammlung mit R*. Springer Verlag.
- [62] Sautter, H., Stepper, F. (25.06.2008) Neem Azal-T/S aus den Kernen des tropischen Neembaumes. <http://www.nuetzlinge.de/download/katalog/neemazal-ts.pdf>
- [63] Schmutterer, H., Huber J., 2005: *Natürliche Schädlingsbekämpfungsmittel* Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- [64] Sileshi, G., 2006: Selecting the right statistical model for analysis of insect count data by using information theoretic measures. *Bulletin of Entomological Research* 96:479-488.
- [65] Simmonds, M. S. J., Manlove, J. D., Blaney, W. M. und Khambay, B. P. S., 2002: Effects of selected botanical insecticides on the behaviour and mortality of the glasshouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* and the parasitoid *Encarsia formosa*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 102:39-47.

- [66] Stahl, M., Umgelter, H., 1993: *Pflanzenschutz im Zierpflanzenbau*. 3. Auflage; Eugen Ulmer Verlag Stuttgart.
- [67] Stüssi, S., Detzel, P., 2004: Resistenzen stellen den Zierpflanzenbauer vor eine Herausforderung. *Der Gartenbau* 14.
- [68] Thomas, E., 2006: *Feldversuchswesen*, Eugen Ulmer KG, Stuttgart.
- [69] Thoeming, G., Draeger, G., Poehling, H.-M., 2006: Soil application of Azadirachtin and 3-tigoyl-azadirachtol to control thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) translocation and persistence in bean plants. *Pest Management Science* 62:759-767.
- [70] Thoeming, G., Borgemeister, C., Sétamou, M., Poehling H-M., 2003: Systemic effects of neem on Western Flower Thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Journal of Economic Entomology* 96:817-825.
- [71] Thoeming, G., 2005: Soil application of neem products in IPM: Controlling thrips (Thysanoptera: Thripidae) in vegetable crops. Dissertation am Fachbereich Gartenbau, Leibniz Universität Hannover.
- [72] Trifolio-M-GmbH, August, 2008: <http://www.trifolio.de>
- [73] Troß, R., Ruch B., Kliche-Spory, C., Kleeberg, H., 2000: *Abbauverhalten von Neem-inhaltsstoffen in Pflanzen, Boden und Wasser*. In: *Practice Oriented Results On Use and Production of Neem-Ingredients and Pheromones*. H. Kleeberg (Hrsg.), Druck und Graphik Gießen, Deutschland Pages: 109-112.
- [74] White, G.C., Bennetts, R.E., 1996: Analysis of frequency count data using the negative binomial distribution. *Ecology* 77:2549-2557.
- [75] Wulf, T. und Hartmann, T., 2005: Der Einfluss der Bodenbehandlungen mit Neem (NeemAzal-U) und Bitterholzextrakt auf Trauermücken und Weiße Fliegen. Bachelorarbeit am Fachbereich Gartenbau, Leibniz Universität Hannover.
- [76] Young, L.J., Campell, N.L., Capuano, G.A., 1999: Analysis of overdispersed count data from single-factor experiments: a comparative study. *Journal of agricultural, biological, and environmental statistics* 4:258-275.

Appendix

6.3 Generalisierte Lineare Modelle bestehen aus 3 Komponenten:

1. Zufallskomponente: Sie beinhaltet bei den GLMs die Zielgröße

$$\mathbf{Y} = (\mathbf{Y}_1, \mathbf{Y}_2, \dots, \mathbf{Y}_n)^T = \begin{pmatrix} \mathbf{Y}_1 \\ \mathbf{Y}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{Y}_n \end{pmatrix} \quad (6.1)$$

und einem unabhängigen Kovariablenvektor (Designmatrix)

$$\mathbf{X}_k = (\mathbf{x}_{1k}, \mathbf{x}_{2k}, \dots, \mathbf{x}_{nk}) = \begin{pmatrix} \mathbf{x}_{11} & \dots & \mathbf{x}_{1k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{x}_{n1} & \dots & \mathbf{x}_{nk} \end{pmatrix}, \text{ wobei } k = 1, \dots, p \quad (6.2)$$

Hierbei sind die \mathbf{Y}_i unabhängig und besitzen eine Verteilung aus der exponentiellen Familie.

2. Systematische Komponente: Mit Hilfe der Systematischen Komponente soll ein Regressionsparameter $\boldsymbol{\beta} = (\boldsymbol{\beta}_1, \dots, \boldsymbol{\beta}_p)^T$ geschätzt werden. Zusammen mit den beschreibenden Kovariablenvektoren $\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_p \in \mathbf{R}^{n \times 1}$, welche die Verteilung von \mathbf{Y} nur durch eine lineare Funktion beeinflussen, geht der Regressionsparameter $\boldsymbol{\beta}$ eine Linearkombination ein. Diese Linearkombination heißt Linearer Prädiktor und ist in folgender Form gegeben: $\boldsymbol{\eta} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} = \boldsymbol{\beta}_1\mathbf{x}_1 + \dots + \boldsymbol{\beta}_p\mathbf{x}_p$. $\boldsymbol{\eta}$ ist die Vorhersage von \mathbf{Y} .

3. Parametrische Link - Funktion: Die Link Funktion beschreibt eine Funktion g die abhängig von μ ist und in einer bestimmten Beziehung zum linearen Prediktor steht.

$$g(\mu) = \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_p \quad (6.3)$$

Der Erwartungsvektor $\mu = (\mu_1, \dots, \mu_n)^T$ ist eine differenzierbare, monotone und damit invertierbare Funktion von dem linearen Prädiktor η . Dabei wird der Erwartungswert μ über eine Responsefunktion g mit dem linearen Prädiktor η verknüpft: $\mu = g(\eta)$, $\eta = g^{-1}(\mu) =: g(\mu)$, wobei $g := \mathbf{R} \rightarrow \mathbf{R}$ als Linkfunktion bezeichnet wird. Die Einfachste Link - Funktion ist $g(\mu) = \mu$. Diese wird auch 'identity link' genannt und bezeichnet ein lineares Modell für den Mittelwert der Zielgröße.

$$\mu = \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_p \quad (6.4)$$

Eine weitere Link - Funktion ist die 'loglinear link' Funktion. Hierbei wird ein lineares Modell für den logarithmierten Mittelwert der Zielvariable erstellt.

$$\log(\mu) = \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_p \quad (6.5)$$

Möchte man die Zielgröße durch ein Modell abbilden, so muss man den Regressionsparameter β im linearen Prädiktor durch eine geeignete Methode schätzen. Hierbei wird für jede Zielgröße und der jeweiligen Kovariablen mit der Maximum Likelihood Methode ein $\hat{\beta}$ geschätzt. Die Abweichungen zur Zielgröße Y werden in dem Residualfehler e dargestellt. Betrachtet man diesen Fehler nicht sondern multipliziert die geschätzten $\hat{\beta}$ mit den Kovariablen, so erhält man die geschätzten $\hat{\eta}$ Werte. Dies sind die Vorhersagewerte.

$$\mathbf{Y} = \begin{pmatrix} Y_1 \\ \vdots \\ Y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{1k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \dots & x_{nk} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{\beta}_1 \\ \vdots \\ \hat{\beta}_n \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \hat{e}_1 \\ \vdots \\ \hat{e}_n \end{pmatrix} \quad (6.6)$$

Um auf die Zielgröße zurückzukommen müssen zu den geschätzten Werten $\hat{\eta}$ die Fehler e addiert werden. Wenn der 'identity link' verwendet wurde, also wenn gilt $g(\mu) = \mu$

lautet die Gleichung:

$$\mathbf{Y} = \begin{pmatrix} Y_1 \\ \vdots \\ Y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{\eta}_1 \\ \vdots \\ \hat{\eta}_n \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \hat{e}_1 \\ \vdots \\ \hat{e}_n \end{pmatrix} \quad (6.7)$$

Wenn der 'loglinear link' $g(\boldsymbol{\mu}) = \log(\boldsymbol{\mu})$ verwendet wurde lautet die Gleichung:

$$\log(\mathbf{Y}) = \log \begin{pmatrix} Y_1 \\ \vdots \\ Y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{\eta}_1 \\ \vdots \\ \hat{\eta}_n \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \hat{e}_1 \\ \vdots \\ \hat{e}_n \end{pmatrix} \quad (6.8)$$

6.4 Auswertungsbeispiele weiterer phytomedizinischer Versuche

6.4.1 Einfluss unterschiedlicher Lichtfarben auf das Flugverhalten der Aphiden

Versuchsbeschreibung

In diesem Wahlversuch am Institut für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz wurde der Einfluss unterschiedlicher Lichtfarben auf das Flugverhalten der Aphiden getestet. Es wurden 100 Aphiden in einer Blackbox ausgesetzt. Dieser Versuch wurde 6 Mal wiederholt. In diesem Fall gab es mehrere Möglichkeiten für die Aphiden:

1. Sie verbleiben in den Glas in der Mitte.
2. Sie verbleiben in der Mitte.
3. Sie fliegen nicht sondern gehen und verfangen sich im Klebestreifen.
4. Sie fliegen in die rechte Box mit Lichtfarbe X.
5. Sie fliegen in die linke Box mit Lichtfarbe Y.
6. Nicht wiedergefundene Aphiden verbleiben in der Mitte.

Wiederholung	Rechts	Links	Mitte
1	60	13	27
2	54	12	34
3	62	5	33
4	48	17	35
5	61	8	31
6	58	8	35

Tabelle 6.1: Datensatz Wahlversuch Bornwasser

Letztendlich kann man die Gruppen zusammenfassen, da nur von Interesse ist, ob und wohin sie sich entschieden haben.

1. Sie fliegen in die rechte Box mit Lichtfarbe X.
2. Sie fliegen in die linke Box mit Lichtfarbe Y.
3. Nicht entschiedene Aphiden verbleiben in der Mitte.
4. Nicht wiedergefundene Aphiden verbleiben in der Mitte.

Statistik

Bei Datensätzen wie diesem liegt ein Abhängigkeitsproblem vor. Die Anzahl an Aphiden, welche sich für die linke Box entscheiden, ist maximal so groß, wie die Differenz aus der Anzahl freigelassener Aphiden und der Anzahl Aphiden die in der Mitte geblieben oder in die rechte Box gewandert sind. Sind nun 100 Aphiden freigelassen worden, und 30 sind in der rechten Box, so können nur maximal 70 in der linken Box landen. Dies aber auch nur, falls keine weiteren in der Mitte zurückbleiben. Man kann diese Daten mit einem Multinomial Response Models zu erklären. Eine Lösungsmöglichkeit in R ein Konfidenzintervall für Proportionen zu erstellen, ist im Paket VGAM gegeben. Hier ist die Funktion `vglm` gegeben. Ein Vektor generalisiertes lineares Modell (VGML) wird als statistisches Modell definiert, welches eine Funktion \mathbf{M} der linearen Einflusswerte ist. Dies wird durch die Formel $\boldsymbol{\eta}_j = \boldsymbol{\beta}_j^T \mathbf{x}$ beschrieben, wobei \mathbf{x} ein Vektor der erklärenden Variablen ist, und $\boldsymbol{\beta}_j$ ist ein geschätzter Vektor der Regressionskoeffizient. Hier ist $j = 1, \dots, M$, wobei M begrenzt ist. Man kann $\boldsymbol{\eta} = (\boldsymbol{\eta}_1, \dots, \boldsymbol{\eta}_M)^T$ als Matrix der linearen Prediktoren schreiben. Zunächst müssen die Daten als Matrix in R eingelesen

Vergleich	Schätzer	untere Schranke	obere Schranke
links/mitte	1.7589744	1.4276674	2.1671650
rechts/mitte	0.3230769	0.2306000	0.4526395
(links/mitte)/(rechts/mitte)	5.4444444	3.9576441	7.4898031

Tabelle 6.2: Konfidenzintervalle Wahlversuch Bornwasser

werden. Als nächstes wird ein Multinomial Modell gefittet, wobei zwei Parameter geschätzt werden (Links/Mitte und Rechts/Mitte). Vergleicht man unter Einbeziehung der Korrelation links/mitte, rechts/mitte und (links/mitte)/(rechts/mitte), muss man sich einen selbstdefinierten Kontrast erstellen. Folgend wird der Schätzer und die Varianz für das Konfidenzintervall errechnet. Hierdurch kann das Konfidenzintervall vollständig dargestellt werden.

Hypothesen

$$H_0 : \frac{\beta_{NP}/\beta_{Mitte}}{\beta_K/\beta_{Mitte}} = 1$$

$$H_1 : \frac{\beta_{NP}/\beta_{Mitte}}{\beta_K/\beta_{Mitte}} \neq 1$$

Ergebnis

Das Ergebnis (siehe Seite 86, Tabelle 6.2) kann wie folgt interpretiert werden. Enthält das Konfidenzintervall nicht die Eins, so kann mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Im Beispiel ist das erste Konfidenzintervall (links/mitte) über der Eins, so sind links signifikant mehr Aphiden als in der Mitte. Das zweite Konfidenzintervall(rechts/mitte) liegt unterhalb der Eins, hier sind rechts signifikant weniger Aphiden als in der Mitte. Das dritte Konfidenzintervall (links/mitte)/(rechts/mitte) liegt wieder über der Eins, hier kann man signifikant sagen, dass mehr Aphiden links als rechts sind.

6.5 R-Code zu den Phytomedizinischen Versuchen und deren biostatistischer Auswertung

6.5.1 Der Einfluss von Bodenbehandlungen mit Neem (Neem Azal-U und Neem-Pellet) auf Weiße Fliege an *Gerbera jamesonii*

```

library(xlsReadWrite)
setwd("C:\\")
gerbera <- read.xls("FallstudieGerbera.xls")

gerbera1<-subset(gerbera,select=c(Dosnum,Termin,Behandlung,Adulte))
gerberaA<-gerbera1[1:64,1:4]
gerberaA$WW=paste(gerberaA$Dosnum,gerberaA$Behandlung)
gerberaB<-gerbera1[65:128,1:4]
gerberaB$WW=paste(gerberaB$Dosnum,gerberaB$Behandlung)
gerberaA$WW=as.factor(gerberaA$WW)
gerberaB$WW=as.factor(gerberaB$WW)

par(mfrow=c(1,2))
A = boxplot(Adulte ~ WW,ylim=c(0,50),xaxt="n", data =gerberaA, col=c("lightblue","orange"),
varwidth=TRUE,ylab="ausgezählter Weißer Fliegen pro Blatt", sub=expression(paste("","Neem/1_Substrat")))
title("Behandlung eine Woche vor Eiablage")
mn.t = tapply(gerberaA$Adulte,gerberaA$WW, mean)
sd.t = tapply(gerberaA$Adulte,gerberaA$WW, sd)
xi = 0.1 + seq(1,8,by=1)
points(xi, mn.t, col = "blue", pch = 22)
arrows(xi, mn.t - sd.t, xi, mn.t + sd.t,
code = 3, col = "blue", angle = 75, length = .1)
axis(1, at=c(1.5,3.5,5.5,7.5), labels=c("Kontrolle", "0,325", "0,65", "1,3"),abline(v=4.5,b=50,col="red"))
legend(4.5,52, c(expression(paste("","NeemAzal^TM-U)), "Neem Pellet"),
fill = c("lightblue", "orange"))

B = boxplot(Adulte ~ WW,ylim=c(0,50),xaxt="n", data =gerberaB, col=c("lightblue","orange"),
varwidth=TRUE,ylab="ausgezählter Weißer Fliegen pro Blatt", sub=expression(paste("","Neem/1_Substrat")))
title("Behandlung gleichzeitig mit der Eiablage")
mn.t = tapply(gerberaB$Adulte,gerberaB$WW, mean)
sd.t = tapply(gerberaB$Adulte,gerberaB$WW, sd)
xi = 0.1 + seq(1,8,by=1)
points(xi, mn.t, col = "blue", pch = 22)
arrows(xi, mn.t - sd.t, xi, mn.t + sd.t,
code = 3, col = "blue", angle = 75, length = .1)
axis(1, at=c(1.5,3.5,5.5,7.5), labels=c("Kontrolle", "0,325", "0,65", "1,3"),abline(v=4.5,b=50,col="red"))
legend(4.5,52, c(expression(paste("","NeemAzal^TM-U)), "Neem Pellet"),
fill = c("lightblue", "orange"))

gerberaPE<- data.frame(Adulte=gerberaA$Adulte,DBT=paste(Dosnum=gerberaA$Dosnum,
Behandlung=gerberaA$Behandlung,Termin=gerberaA$Termin))
gerberaPE$DBT=as.factor(gerberaPE$DBT)

library(MASS)
fit.nb <- glm.nb(Adulte ~ DBT-1 , data=gerberaPE)
par(mfrow=c(1,2))
plot(fit.nb,1)
plot(fit.nb,2)
koef<- glm.nb(Adulte ~ DBT-1 , data=gerberaPE)

contr <- rbind(
"(1-5)-(3-7)" = c(1/2, 0,-1/2, 0,-1/2, 0, 1/2, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0), #A Kontrolle zu 0.325 NU-P

```

```
"(1-9)-(3-11)"= c( 1/2, 0,-1/2, 0, 0, 0, 0, 0,-1/2, 0, 1/2, 0, 0, 0, 0, 0), #A Kontrolle zu 0.65 NU-P
"(1-13)-(3-15)"=c( 1/2, 0,-1/2, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,-1/2, 0, 1/2, 0), #A Kontrolle zu 1.3 NU-P
"(2-6)-(4-8)" = c( 0, 1/2, 0,-1/2, 0,-1/2, 0, 1/2, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0), #B Kontrolle zu 0.325 NU-P
"(2-10)-(4-12)"=c( 0, 1/2, 0,-1/2, 0, 0, 0, 0, 0, 0,-1/2, 0, 1, 0, 0, 0, 0), #B Kontrolle zu 0.65 NU-P
"(2-14)-(4-16)"=c( 0, 1/2, 0,-1/2, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,-1/2, 0, 1/2)) #B Kontrolle zu 1.3 NU-P
```

```
library(multcomp)
MCPDosis <- glht(fit.nb,linfct = mcp( DBT= contr))
summary(MCPDosis)
CIO<-confint(MCPDosis)
CIO<-CIO$confint[,1:3]
CI1<-exp(CIO)
plot(confint(MCPDosis))
```

6.5.2 Der Einfluss von Bodenbehandlungen mit Neem-Pellet und Imidacloprid-Pellet auf *Trialeurodes vaporariorum* und *Encarsia formosa*

```
library(xlsReadWrite)
setwd("C:\\")
data1 <- read.xls("MSC_Daten.xls",sheet="Tabelle1")

par(mfrow=c(1,2))
A = boxplot(AdulteWF~Variante, data =data1, xaxt="n", ylim=c(0,150),
col=c("white","orange","lightblue"), varwidth=TRUE,ylab="Adulte Trialeurodes vaporariorum",xlab="")
mn.t = tapply(data1$AdulteWF,data1$Variante, mean)
sd.t = tapply(data1$AdulteWF,data1$Variante, sd)
xi = 0.1 + seq(1,3,by=1)
points(xi, mn.t, col = "blue", pch = 22)
arrows(xi, mn.t - sd.t, xi, mn.t + sd.t,
code = 3, col = "blue", angle = 75, length = .1)
axis(1, at=c(1,2,3), labels=c("Kontrolle", "Neem", "Imidacloprid"))
title("Trialeurodes vaporariorum")
B = boxplot(AdulteEF~Variante, data =data1, xaxt="n", ylim=c(0,150),
col=c("white","orange","lightblue"), varwidth=TRUE,ylab="Adulte Encarsia formosa",xlab="")
mn.t = tapply(data1$AdulteEF,data1$Variante, mean)
sd.t = tapply(data1$AdulteEF,data1$Variante, sd)
xi = 0.1 + seq(1,3,by=1)
points(xi, mn.t, col = "blue", pch = 22)
arrows(xi, mn.t - sd.t, xi, mn.t + sd.t,
code = 3, col = "blue", angle = 75, length = .1)
axis(1, at=c(1,2,3), labels=c("Kontrolle", "Neem", "Imidacloprid"))
title("Encarsia formosa")

library(MASS)

par(mfrow=c(2,2))
fit.nb <- glm.nb(AdulteWF ~ Variante , data=data1)
plot(fit.nb,1)
plot(fit.nb,2)
fit.nb <- glm.nb(AdulteEF ~ Variante , data=data1)
plot(fit.nb,1)
plot(fit.nb,2)

contr <- rbind(
"Kontrolle - Neem" = c(-1, 1, 0),
"Kontrolle - Imidacloprid" = c(-1, 0, 1),
"Neem - Imidacloprid" = c(0, -1, 1))

library(multcomp)
MCPDosis <- glht(fit.nb,linfct = mcp(Variante=contr))
summary(MCPDosis)
CIO<-confint(MCPDosis)
```

```
CI0<-CI0$confint[,1:3]
CI1<-exp(CI0)
plot(confint(MCPDosis))
```

6.5.3 Wahlversuch mit *Encarsia formosa*

```
library(xlsReadWrite)
setwd("C:\\")
data4 <- read.xls("MSC_DatenWahl.xls",sheet="Tabelle1")
data4<-subset(data4,Datum=="C")
data5 <- read.xls("MSC_DatenWahl.xls",sheet="Tabelle2")
data7<- read.xls("MSC_DatenWahl.xls",sheet="Tabelle4")

par(mfrow=c(1,3))
A = boxplot(Adulte~Variante, data =data4,xaxt="n", ylim=c(0,10), col=c("white","orange","lightblue"),
varwidth=TRUE,ylab="Adulte Encarsia formosa",xlab="")
axis(1, at=c(1,2,3), labels=c("Neem", "Mitte", "Kontrolle"))
B = boxplot(Adulte~Variante, data =data5, xaxt="n", ylim=c(0,10), col=c("white","orange","lightblue"),
varwidth=TRUE,ylab="Adulte Encarsia formosa",xlab="")
axis(1, at=c(1,2,3), labels=c("Neem", "Mitte", "Neem"))
title("Wahlversuch E.formosa")
C = boxplot(Adulte~Variante, data =data7, xaxt="n", ylim=c(0,10), col=c("white","orange","lightblue"),
varwidth=TRUE,ylab="Adulte Encarsia formosa",xlab="")
axis(1, at=c(1,2,3), labels=c("Kontrolle", "Mitte", "Kontrolle"))

library(mmcpl)
row.names(data4)<-NULL
data.mat<- cbind(data4[1:11,2],data4[12:22,2],data4[23:33,2]) #Neem Mitte Kontrolle
colnames(data.mat)<-c("Neem","Mitte","Kontrolle")
Y <- as.factor(rep(letters[1:3],each=11))
mm <- multinomMCP(data.mat, endp="Tukey")
plot(mm)
summary(mm)
ci <- confint(mm)
plot(ci)
row.names(data5)<-NULL
data.mat<- cbind(data5[1:11,2],data5[12:22,2],data5[23:33,2]) #Neem Mitte Neem
colnames(data.mat)<-c("Neem","Mitte","Neem")
Y <- as.factor(rep(letters[1:3],each=11))
mm <- multinomMCP(data.mat, groups="Tukey", endp="Tukey")
plot(mm,2)
summary(mm)
ci <- confint(mm)
plot(ci)
row.names(data7)<-NULL
data.mat<- cbind(data7[1:11,2],data7[12:22,2],data7[23:33,2]) #Kontrolle Mitte Kontrolle
colnames(data.mat)<-c("Kontrolle","Mitte","Kontrolle")
Y <- as.factor(rep(letters[1:3],each=11))
mm <- multinomMCP(data.mat, groups="Tukey", endp="Tukey")
plot(mm,2)
summary(mm)
ci <- confint(mm)
plot(ci)
```

6.5.4 Einfluss unterschiedlicher Lichtfarben auf das Flugverhalten der Aphiden

```
setwd("C:\\")
library(RODBC)
data<-odbcConnectExcel("Thorsten_Wahl.xls")
sqlTables(data)
```

```

data <- sqlQuery(data, 'select * from "Tabelle1$")
odbcCloseAll()
data.mat<- cbind(data[1:6,1],data[1:6,2],data[1:6,3])
library(VGAM)
library(mvtnorm)
fit = vglm(data.mat ~ 1, multinomial)
K <- rbind(c(1, 0),
           c(0, 1),
           c(1,-1))
est <- (K %*% coefficients(fit))
vest <- K %*% vcov(fit) %*% t(K)
d <- 1/sqrt(diag(vest))
dd <- diag(d)
cr <- dd %*% vest %*% dd
quant <- qmvnorm(0.95, interval=c(-10, 10), corr=cr,tail="both.tails")$quantile
low <- est - quant*sqrt(diag(vest))
upp <- est + quant*sqrt(diag(vest))
CI <- exp(data.frame(est, low, upp))

```

6.6 R-Code zu den Simulationen

6.6.1 Verteilungssimulation links, rechts, Mitte bei $n=6$ und $N=100$

```

library(VGAM)
library(mvtnorm)
CIcalc <- function(fit){
  K <- rbind(c(1, 0),
            c(0, 1),
            c(1,-1))
  est <- (K %*% coefficients(fit))
  vest <- K %*% vcov(fit) %*% t(K)
  d <- 1/sqrt(diag(vest))
  dd <- diag(d)
  cr <- dd %*% vest %*% dd
  quant <- qmvnorm(0.95, interval=c(-10, 10), corr=cr, tail="both.tails")$quantile
  low <- est - quant*sqrt(diag(vest))
  upp <- est + quant*sqrt(diag(vest))
  exp(data.frame(est, low, upp))
}
n <- 6
N <- 100
P1 <- seq(0.05,0.95, by=0.05)
P2 <- seq(0.05,0.95, by=0.05)
Pmat <- expand.grid(P1,P2)
pmat <- Pmat[Pmat[,1] + Pmat[,2] < 1,]
reps <- 10
coverage <- numeric(length=nrow(pmat))
convergence <- numeric(length=nrow(pmat))
for (j in 1:nrow(pmat)){
  p1 <- pmat[j,1]
  p2 <- pmat[j,2]
  p3 <- 1-(p1+p2)
  tp <- c(p1/p3,p2/p3,p1/p2)
  cover <- logical(length=reps)
  conv <- logical(length=reps)
  for (i in 1:reps){
    y = t(rmultinom(n, size = N, prob=c(p1,p2,p3)))
    fit = vglm(y ~ 1, multinomial)
    CI <- CIcalc(fit)
    if (all(CI[,2] < tp) & all(CI[,3] > tp)) cover[i] <- TRUE
    conv[i] <- fit@iter < fit@control$maxit
  }
  coverage[j] <- sum(cover)/reps
  convergence[j] <- sum(conv)/reps
}

```

```

}
coverage[j] <- sum(cover)/reps
convergence[j] <- sum(conv)/reps
}
result <- data.frame(p1 = pmat[,1], p2 = pmat[,2], p3 = 1-rowSums(pmat), coverage, convergence)

```

6.6.2 Wiederholungs- und Fallzahlsimulation

```

library(mvtnorm)
library(VGAM)
CIcalc <- function(fit){
  K <- rbind(c(1, 0),
            c(0, 1),
            c(1,-1))
  est <- (K %*% coefficients(fit))
  vest <- K %*% vcov(fit) %*% t(K)
  d <- 1/sqrt(diag(vest))
  dd <- diag(d)
  cr <- dd %*% vest %*% dd
  quant <- qmvnorm(0.95, interval=c(-10, +10),corr=cr,tail="both.tails")$quantile
  low <- est - quant*sqrt(diag(vest))
  upp <- est + quant*sqrt(diag(vest))
  exp(data.frame(est, low, upp))
}
N<- c(2,5,10,15,20,50,80,100,150,200,300)
n<-c(4,6,8,10,13,15,17,20,25,35,50,100,200)
pmat <- expand.grid(N,n)
p1 <- 1/3
p2 <- 1/3
p3 <- 1-(p1+p2)
tp <- c(p1/p3,p2/p3,p1/p2)
reps <- 10000
coverage <- numeric(length=nrow(pmat))
convergence <- numeric(length=nrow(pmat))
for (j in 1:nrow(pmat)){
  N<-pmat[j,1]
  n <- pmat[j,2]
  tp <- c(p1/p3,p2/p3,p1/p2)
  cover <- logical(length=reps)
  conv <- logical(length=reps)
  for (i in 1:reps){
    y = t(rmultinom(n, size = N, prob=c(p1,p2,p3)))
    fit = vglm(y ~ 1, multinomial)
    conv[i] <- fit@iter < fit@control$maxit
    CI <- CIcalc(fit)
    if (all(CI[,2] < tp) & all(CI[,3] > tp)) cover[i] <- TRUE
  }
  coverage[j] <- sum(cover)/reps
  convergence[j] <- sum(conv)/reps
}
result <- data.frame(n = pmat[,1],coverage, convergence)

```

6.6.3 Interaktionskontraste

Unter der Nullhypothese

```

n<-20
N<-80
lambda_ac<-c(10)
lambda_ad<-c(10)
X<-c(5:50)

```

Appendix

```
reps<-10000
AB<-as.factor(rep(c("ac","bc","ad","bd"),each=n))
cmat <- rbind("ac-ad)-(bc-bd)" = c( 1/2, -1/2, -1/2, 1/2))
quant <- qnorm(0.975)
tp<-1
coverage <- numeric(length=length(X))
for (j in 1:length(X)){
  lambda_bc <- X[j]
  lambda_bd <- X[j]
  cover <- logical(length=reps)
  for (i in 1:reps){
    Response<-rpois(N,lambda=rep(c(lambda_ac,lambda_bc,lambda_ad,lambda_bd),each=n))
    dataframe<-data.frame(Response,AB)
    fit <- glm(Response ~ AB-1 , data=dataframe,family=poisson())
    para <- coefficients(fit)
    vcmat <- vcov(fit)
    est <- (para %*% t(cmat))[1,]
    vcest <- (cmat %*% vcmat %*% t(cmat))[1,1]
    lower <- est - quant*sqrt(vcest)
    upper <- est + quant*sqrt(vcest)
    KI <- exp(data.frame(est, lower, upper))
    if (KI[,2] < tp & KI[,3] > tp) cover[i] <- TRUE
  }
  coverage[j] <- sum(cover)/reps
}
result <- data.frame(X,coverage)
```

Unter der Alternativhypothese

```
n<-20
N<-80
lambda_ac<-c(10)
lambda_ad<-c(10)
lambda_bc<-c(10)
X<-c(5:50)
reps<-10000
AB<-as.factor(rep(c("ac","bc","ad","bd"),each=n))
cmat <- rbind("ac-ad)-(bc-bd)" = c( 1/2, -1/2, -1/2, 1/2))
quant <- qnorm(0.975)
coverage <- numeric(length=length(X))
for (j in 1:length(X)){
  lambda_bd <- X[j]
  cover <- logical(length=reps)
  pp<-c(lambda_ac,lambda_bc,lambda_ad,lambda_bd)
  tp<-exp(cmat%*%log(pp))[1,1]
  for (i in 1:reps){
    Response<-rpois(N,lambda=rep(c(lambda_ac,lambda_bc,lambda_ad,lambda_bd),each=n))
    dataframe<-data.frame(Response,AB)
    fit <- glm(Response ~ AB-1 , data=dataframe,family=poisson())
    para <- coefficients(fit)
    vcmat <- vcov(fit)
    est <- (para %*% t(cmat))[1,]
    vcest <- (cmat %*% vcmat %*% t(cmat))[1,1]
    lower <- est - quant*sqrt(vcest)
    upper <- est + quant*sqrt(vcest)
    KI <- exp(data.frame(est, lower, upper))
    if (KI[,2] < tp & KI[,3] > tp) cover[i] <- TRUE
  }
  coverage[j] <- sum(cover)/reps
}
result <- data.frame(X,coverage)
```

Schriftliche Versicherung

Ich versichere, dass die Arbeit von mir selbständig verfasst wurde und dass ich keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Weiterhin wurde diese Arbeit keiner anderen Prüfungsbehörde übergeben.

Hannover, den 27. August 2008