

Aus dem Institut für Landnutzung
der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät

**Abundanzen der Grünen Pfirsichblattlaus (*Myzus
persicae* Sulzer) und der Grüngestreiften
Kartoffelblattlaus (*Macrosiphum euphorbiae* Thomas)
an verschiedenen Kartoffelsorten**

Dissertation

zur

Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Agrarwissenschaften (doctor agriculturae)

an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät

der Universität Rostock

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. agr. Hend Aldamen

Aus Syrien

Rostock 2010

Gutachter:

Prof. Dr. Bärbel Gerowitt

(Universität Rostock, Institut für Landnutzung, Phytomedizin)

Prof. Dr. Bernd Freier

Julius-Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen

Prof. Dr. Gerhard Lauenstein

Justus-von-Liebig-Universität Gießen

Tag der öffentlichen Verteidigung: 07.02.2011

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Literaturübersicht	4
2.1 Geschichte der Kartoffel	4
2.2 Entwicklung der Kartoffelanbaufläche in Mecklenburg-Vorpommern	5
2.3 Krankheitserreger und Schädlinge der Kartoffel	6
2.4 Blattlausarten	7
2.4.1 Grüne Pfirsichblattlaus (<i>Myzus persicae</i>).....	9
2.4.2 Gestreifte Kartoffellaus (<i>Macrosiphum euphorbiae</i>).....	10
2.5 Blattläuse auf Kartoffel	11
2.6 Die Blattoberflächeneigenschaften und Blattinhaltsstoffe.....	12
2.7 Fluggewohnheiten der Blattläuse und Farbsehen	13
2.8 Spektralverhalten der Vegetation	14
3 Vermehrungsrate der Blattlausarten <i>M. persicae</i> und <i>M. euphorbiae</i>....	17
3.1 Material und Methoden.....	17
3.1.1 Anzucht der Blattläuse	17
3.1.2 Herkunft der Kartoffelsorten	18
3.1.3 Vermehrung In-Vitro.....	20
3.1.4 Vermehrung an Augenstecklingen im Gewächshaus	20
3.1.5 Vermehrung im Semi-Freiland	21
3.1.6 Statistische Auswertung.....	24
3.2 Ergebnisse	24
3.2.1 Vermehrung In-Vitro.....	24
3.2.1.1 Vermehrung an Cultivarsorten	24
3.2.1.2 Vermehrung auf alten Kartoffelsorten bzw. Arten	25
3.2.2 Vermehrung an Augenstecklingen im Gewächshaus	26
3.2.3 Vermehrung im Semi-Freiland	27
3.3 Diskussion	28
4 Vermehrungsraten von <i>M. persicae</i> und <i>M. euphorbiae</i> auf verschiedenen Blattetagen.....	32
4.1 Material und Methoden.....	32
4.1.1 Anzucht der Blattlausarten	32
4.1.2 Versuchsanordnung.....	32
4.1.3 Statistische Auswertung.....	33

4.2	Ergebnisse	34
4.2.1	<i>M. persicae</i>	34
4.2.2	<i>M. euphorbiae</i>	37
4.3	Diskussion	38
5	Sortenwahl von <i>M. persicae</i> und <i>M. euphorbiae</i>	40
5.1	Material und Methoden	40
5.1.1	Sortenwahl im Gewächshaus	40
5.1.2	Sortenwahl unter Semi-Freilandbedingungen	41
5.1.3	Statistische Auswertung	42
5.2	Ergebnisse	43
5.2.1	Sortenwahl im Gewächshaus	43
5.2.1.1	<i>M. persicae</i>	43
5.2.1.2	<i>M. euphorbiae</i>	43
5.2.2	Sortenwahl unter Semi-Freilandbedingungen	45
5.2.2.1	<i>M. persicae</i>	45
5.2.2.2	<i>M. euphorbiae</i>	45
5.3	Diskussion	47
6	Lebensdauer und Fruchtbarkeit von <i>M. persicae</i> und <i>M. euphorbiae</i> im Gewächshaus	49
6.1	Material und Methoden	49
6.1.1	Statistische Auswertung	49
6.2	Ergebnisse	50
6.2.1	<i>M. persicae</i>	50
6.2.2	<i>M. euphorbiae</i>	52
6.3	Diskussion	55
7	Freilandversuche zum Blattlausbefall und Farbspektren der Kartoffelsorten	58
7.1	Material und Methoden	58
7.1.1	Ermittlung des Blattlausbefalls an drei Standorten	58
7.1.1.1	Standort Rostock 2007	59
7.1.1.2	Standort Sanitz und Gülzow	60
7.1.2	Identifizierung der Farbspektren verschiedener Kartoffelsorten	62
7.1.3	Statistische Auswertung	65
7.2	Ergebnisse	65

7.2.1	Blattlausbefall an verschiedenen Kartoffelsorten	65
7.2.1.1	Standort Rostock 2007	65
7.2.1.2	Standort Sanitz 2006 und 2007	70
7.2.1.3	Standort Gülzow 2006 und 2007	73
7.2.2	Identifizierung der Farbspektren verschiedener Kartoffelsorten.....	76
7.2.3	Zusammenhang zwischen Reflexion und Blattlausbefall	83
7.2.4	Zusammenhang zwischen NDVI, WBI und Blattlausbefall.....	84
7.3	Diskussion	87
8	Behaarungsintensitäten und Blattlausdichten.....	91
8.1	Material und Methode.....	92
8.1.1	Feststellung der Behaarungsdichten verschiedener Kartoffelsorten	92
8.1.2	Statistische Auswertung.....	95
8.2	Ergebnisse	95
8.2.1	Behaarungsintensität an alten Kartoffelsorten der IPK-Genbank.....	95
8.2.2	Die Behaarungsintensität in den Versuchen: Sanitz, Gülzow, Rostock, In-Vitro und Gewächshausversuche	99
8.2.3	Korrelation zwischen dem Auftreten von Blattläusen und der Behaarungsintensität	102
8.3	Diskussion	102
9	Freie Aminosäuren- und Zuckergehalt und Blattlausdichte	106
9.1	Material und Methoden.....	107
9.1.1	Biochemische Untersuchungsmethoden.....	107
9.1.1.1	Bestimmung von freien Aminosäuren	107
9.1.1.2	Bestimmung von Zuckergehalt	108
9.2	Ergebnisse	108
9.2.1	Freie Aminosäuren.....	108
9.2.2	Zuckergehalt	111
9.2.3	Korrelation zwischen dem Auftreten von Blattläusen und den Aminosäure- u. Zuckergehalten	112
9.3	Diskussion	113
10	Schlussfolgerungen und Ausblick.....	116
11	Zusammenfassung.....	117
12	Literaturverzeichnis	120

Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Entwicklung der Kartoffelanbaufläche in Mecklenburg-Vorpommern.	5
Tabelle 2: Vermehrungsflächen in Hektar in Mecklenburg-Vorpommern	6
Tabelle 3: Entwicklung der Vermehrungsfläche nach Bundesländern.....	6
Tabelle 4: Das elektromagnetische Spektrum	14
Tabelle 5: Beschreibung der ausgewählten Kartoffelsorten	19
Tabelle 6: Mittlere Vermehrung der Blattläuse an den Cultivarsorten In-Vitro ..	25
Tabelle 7: Mittlere Vermehrung der Blattläuse an alten Kartoffelsorten und einer Wildart In-Vitro.....	26
Tabelle 8: Mittlere Vermehrung der Blattläuse an den Kartoffelsorten an Augenstecklingen im Gewächshaus.....	27
Tabelle 9: Mittlere Vermehrung der Blattläuse an den Kartoffelsorten im Semi- Freiland	28
Tabelle 10: Mittlere Vermehrung der Blattläuse auf den 5 Blattetagen	35
Tabelle 11: Mittlere Besiedlung der Blattläuse auf den Kartoffelsorten unter Gewächshausbedingungen 2007	44
Tabelle 12: Mittlere Besiedlung der Blattläuse auf den Kartoffelsorten unter Semi-Freilandbedingungen 2007	46
Tabelle 13: Mittlere Lebensdauer, Gesamtzahl abgesetzter Jungläuse und Anzahl Jungläuse/Mutterlaus je Tag der Adulten von <i>M. persicae</i>	51
Tabelle 14: Logistische Funktion für die Vermehrung von <i>M. persicae</i>	51
Tabelle 15: Mittlere Lebensdauer, Gesamtzahl abgesetzter Jungläuse und Anzahl Jungläuse/Mutterlaus je Tag der Adulten von <i>M. euphorbiae</i>	53
Tabelle 16: Logistische Funktion für die Vermehrung von <i>M. euphorbiae</i>	54
Tabelle 17: Pflanzenbauliche Maßnahmen am Standort Rostock im Anbaujahr 2007	60
Tabelle 18: Pflanzenbauliche Maßnahmen an den Standorten Gülzow und Sanitz in den Anbaujahren 2006 und 2007.....	61
Tabelle 19: Vegetationsindices und ihre Berechnung	64
Tabelle 20: Mittlere Anzahl der Blattläuse im Freilandversuch am Standort Rostock 2007	69

Tabelle 21: Mittlere Anzahl der Blattläuse im Freilandversuch am Standort Rostock 2007 getrennt nach Kalenderwoche	69
Tabelle 22: Lineare Korrelationstabelle der Reflexionswerte von verschiedenen Wellenlängen und Anzahl der Blattläuse	83
Tabelle 23: Mittlere NDVI und WBI der verschiedenen Kartoffelsorten an den Standorten Gülzow, Sanitz und Rostock (2006-2007).....	85
Tabelle 24: lineare Korrelationstabelle der NDVI und WBI mit Anzahl der Blattläuse.....	86
Tabelle 25: Pflanzenbauliche Maßnahmen am Standort IPK (2006-2007).....	93
Tabelle 26: Die ausgewählten Kartoffelsorten und Ermittlungstermine der Behaarungsintensität in den Versuchen	94
Tabelle 27: Einstufung der Behaarungsintensität verschiedener alter Kartoffelsorten in Behaarungsklassen (2006-2007, IPK).....	97
Tabelle 28: Mittlere freie Aminosäuregehalte von Kartoffelblättern	110
Tabelle 29: Korrelationstabelle zwischen der Anzahl von Blattläusen und dem Aminosäuren- u. Zuckergehalt in den Kartoffelblättern	112

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die Grüne Pfirsichblattlaus	8
Abbildung 2: Entwicklungszyklus einer Blattlausart im Jahresverlauf.....	10
Abbildung 3: Typisches spektrales Reflexionsvermögen von Vegetation und Boden	15
Abbildung 4: In-Vitro-Kulturen	20
Abbildung 5: Insektenkäfige mit Kartoffelpflanzen im Gewächshaus	21

Abbildung 6: Witterungsdiagramm von Groß Lüsewitz (2006)	22
Abbildung 7: Witterungsdiagramm von Groß Lüsewitz (2007)	23
Abbildung 8: Insektenzuchtkäfige unter Semi-Freilandbedingungen.....	24
Abbildung 9: Vergleich der Kartoffelsorten und Methoden bezüglich der Anzahl an Blattläusen	29
Abbildung 10: Mikrokäfige zur Isolierung der Blattläuse auf 5 Blattetagen.....	33
Abbildung 11: Vermehrungsrate von <i>M. persicae</i> und <i>M. euphorbiae</i> auf den 5 Blattstadien	36
Abbildung 12: Vergleich der Kartoffelsorten bezüglich der Vermehrung der Blattlaus <i>M. Persicae</i>	36
Abbildung 13: Vergleich der Kartoffelsorten bezüglich der Vermehrung der Blattlaus <i>M. euphorbiae</i>	37
Abbildung 14: Die Insektenkäfige im Gewächshaus.....	41
Abbildung 15: Die Gazekäfige im Semi-Freiland.....	42
Abbildung 16: Vergleich der Kartoffelsorten bezüglich der Besiedlung durch die Blattläuse im Gewächshaus (2007)	44
Abbildung 17: Vergleich der Kartoffelsorten bezüglich der Besiedlung durch die Blattläuse unter Semi-Freilandbedingungen (2007).....	46
Abbildung 18: Summenkurve der Anzahl täglicher Nachkommen von <i>M.</i> <i>persicae</i> an verschiedenen Kartoffelsorten.....	52
Abbildung 19: Summenkurve der Anzahl täglicher Nachkommen von <i>M.</i> <i>euphorbiae</i> an verschiedenen Kartoffelsorten	55
Abbildung 20: Einfluss der Wirtspflanze auf die Vermehrung von <i>M. persicae</i> ..	57
Abbildung 21: Versuchsdesign und Sortenanordnung auf dem Versuchsfeld Rostock.....	59
Abbildung 22: Versuchsdesign und Sortenanordnung auf den Versuchsfeldern bzw. ausgewählten Sorten in Gülzow und Sanitz	62
Abbildung 23: Artenspektrum der Kartoffelläuse am Standort Rostock 2007 ...	66
Abbildung 24: Auftreten der Blattläuse auf verschiedenen Kartoffelsorten am Standort Rostock (2007)	67
Abbildung 25: Auftreten der Blattläuse am Standort Sanitz (2006 & 2007)	70
Abbildung 26: Artenspektrum der Kartoffelläuse am Standort Sanitz (2006 & 2007).....	72

Abbildung 27: Vergleich der Kartoffelsorten bezüglich der Besiedlung der Blattläuse am Standort Sanitz (2006 & 2007)	73
Abbildung 28: Auftreten der Blattläuse am Standort Gülzow (2006 & 2007)	74
Abbildung 29: Artenspektrum der Kartoffelläuse am Standort Gülzow (2006-2007).....	75
Abbildung 30: Vergleich der Kartoffelsorten bezüglich Besiedlung der Blattläuse am Standort Gülzow (2006 & 2007).....	76
Abbildung 31: Veränderung der Remissionssignatur der Kartoffelsorten (Rostock 2007)	77
Abbildung 32: Veränderung der Remissionssignatur der Kartoffelsorten(Sanitz 2006).....	79
Abbildung 33: Veränderung der Remissionssignatur der Kartoffelsorten (Sanitz 2007).....	80
Abbildung 34: Veränderung der Remissionssignatur der Kartoffelsorten (Gülzow 2006).....	81
Abbildung 35: Veränderung der Remissionssignatur der Kartoffelsorten (Gülzow 2007).....	82
Abbildung 36: Veränderung des NDVI und des WBI der Kartoffelsorten an den Standorten Gülzow, Sanitz und Rostock (2006 & 2007)	84
Abbildung 37: Die einfachen einzelligen Haare auf den Kartoffelblättern.....	95
Abbildung 38: Mittlere Behaarungsintensität auf der Blattunter- und oberseite an verschiedenen alten Kartoffelsorten (2006 & 2007).....	98
Abbildung 39: Mittlere Behaarungsintensität auf Blattunter- und oberseite unter Freilandbedingungen in Sanitz und Gülzow.....	100
Abbildung 40: Mittlere Behaarungsintensität auf Blattunter- und oberseite am Standort Rostock, In-Vitro und Gewächshausversuche.....	101
Abbildung 41: Korrelation zwischen der Behaarung von Blattunterseite und der Dichte der Blattläuse.....	102
Abbildung 42: Der mittlere Gehalt von Saccharose, Glucose und Fructose in den Kartoffelblättern.....	111
Abbildung 43: Der Zuckergehalt in den Kartoffelblätter	114

Abkürzungsverzeichnis

ASS	Ammonsulfatsalpeter
BAZ	Bundesanstalt für Züchtungsforschung an Kulturpflanzen
BEE	Besondere Ernte- und Qualitätsermittlung
cv.	Cultivar
ha	Hektar
inkl.	Inklusive
KAS	Kalkammonsalpeter
l	Liter
M	Einheit für Molarität (Konzentrationsangabe in Mol pro Liter, mol/l)
m ²	Quadratmeter
nm	Nanometer
Ø	Durchmesser
R.P.M.	Rotations per minute
U/min	Umdrehungen pro Minute
UV	Ultraviolettes Licht
VA	vor dem Auflaufen der Kulturpflanzen
WG	Wintergerste

1 Einleitung

Die Kartoffel gehört zusammen mit Getreide, Mais, Raps und Zuckerrüben zu den wichtigsten Ackerkulturen in Deutschland (BMELV 2005). Die weltweite Produktion der Kartoffel betrug im Jahr 2007 mehr als 325 Millionen Tonnen (FAO 2008). Die Kartoffel wird in allen Entwicklungsstadien von Schaderregern befallen (insbesondere von Viren, Bakterien, Pilzen, Nematoden und Insekten) und durch Unkräuter beeinträchtigt. Der Ertragsverlust durch Schadorganismen in Kartoffeln wurde auf bis zu 74% geschätzt (OERKE et al. 1994).

Weltweit gibt es mehr als 4000 Blattlausarten (4401 nach BLACKMAN & EASTOP 1994). In Mitteleuropa gibt es etwa 920 Arten (THIEME & MÜLLER 2000), davon kommen 733 in Deutschland vor (THIEME & EGGERS-SCHUMACHER 2003). In Kartoffeln spielen Blattläuse vor allem wegen ihrer Fähigkeit zur Virusübertragung eine wichtige Rolle (RADCLIFFE & RAGSDALE 2002). In Deutschland werden in den meisten Anbaujahren Blattläuse mehrere Male mit Insektiziden bekämpft. Allerdings kann die weit verbreitete Verwendung von Insektiziden zu unerwünschten Nebenwirkungen führen, nicht nur zu Umweltbelastung und der Vernichtung natürlicher Gegenspieler, sondern auch zur Resistenzbildung gegen die eingesetzten Wirkstoffe. Einige Blattlausarten, insbesondere die Grüne Pfirsichblattlaus (*Myzus persicae*) und die Grüngestreifte Kartoffelblattlaus (*Macrosiphum euphorbiae*) zeigen bereits eine Neigung zur Resistenzbildung gegenüber vielen wichtigen Insektizidklassen (DEVONSHIRE & FIELD 1991; ROBERT et al. 2000). Insektizideinsatz verursacht auch erhebliche Kosten. Weltweit werden jährlich über 10 Milliarden Dollar für Insektizide ausgegeben (SHARMA et al. 2000). Alternative Ansätze bei der Insektenkontrolle sind deshalb sowohl aus ökologischen wie auch aus ökonomischen Gründen erforderlich.

Weltweit gibt es etwa 5000 Kartoffelsorten (DISTL 2007). Durch eine Vielzahl von Züchtungsmethoden und –ansätzen versucht die klassische Pflanzenzüchtung die jeweils aktuellen Sorten mit einer hohen Widerstandsfähigkeit gegenüber den wichtigsten Krankheiten zu finden. In Deutschland sind aktuell 205 Kartoffelsorten zugelassen (BUNDESSORTENAMT 2009). Die Beschreibende Sortenliste 2009 enthält Angaben darüber, wie sich

die Sorten im Reifegrad, Verwendungszweck, Kochtyp und der Anfälligkeit gegenüber Schaderregern und Krankheiten, wie Nematoden oder Viruskrankheiten, unterscheiden. Wie anfällig die Sorten gegenüber Blattläusen sind, ist nicht enthalten.

Geflügelte Blattläuse sind sehr oft verantwortlich für den Beginn der Besiedlung von einjährigen Kulturen wie Kartoffeln. Es ist bekannt, dass sich diese geflügelten Blattläuse während eines Befallsfluges artspezifisch sowohl optisch als auch nach Geruchs- und Geschmacksstoffen zu ihren Wirtspflanzen hin orientieren können (MÖRICKE 1950). Die Ursachen für hohe Blattlausdichten können mannigfaltig sein. So können z. B. die Temperatur, die Tageslänge und die Lichtintensität (WYATT & BROWN 1977), die Eigenschaften der Wirtspflanzen, z. B. Blattseneszenz (VEHRS et al. 1992), der Stickstoffgehalt der Pflanzen (PETITT et al. 1994), die Wirtspflanzensorten oder das Wachstumsstadium der Wirtspflanzen (GULDEMOND et al. 1998) einzeln oder durch Interaktionen mehrerer Faktoren das Populationswachstum der Blattläuse beeinflussen.

M. persicae und *M. euphorbiae* sind wichtige Blattlausarten an Kartoffeln (*Solanum tuberosum* L.) (KUROLI & LANTOS 2006; LE ROUX et al. 2007). Die beiden Blattlausarten kolonisieren am häufigsten an der Kartoffel (RADCLIFFE & RAGSDALE 2002), sie sind weltweit verbreitet und bedeutende Virusvektoren (BLACKMAN & EASTOP 1984). Studien zur Besiedlung von Kartoffeln durch Blattläuse sind notwendig, um die Wirtserkennung bzw. die Prüfung auf Wirtseignung durch die Blattläuse zu verstehen. In dieser Arbeit wurde in verschiedenen Versuchen geprüft, ob Sortenunterschiede zwischen den Kartoffeln für die beiden Blattlausarten relevant sind. Im Einzelnen wurde dabei folgenden Fragen nachgegangen:

- Haben die Kartoffelsorten einen Einfluss auf die Vermehrungsleistung (Kapitel 3), Lebensdauer und Fruchtbarkeit (Kapitel 6) der Blattlausarten *M. persicae* und *M. euphorbiae*?
- Welchen Einfluss hat die Blattetage, d. h. das Alter und Höhe der Blätter von verschiedenen Kartoffelsorten auf die Vermehrungsrate von *M. persicae* und *M. euphorbiae*? (Kapitel 4)

- Gibt es Sortenunterschiede in der Präferenz der beiden Blattlausarten *M. persicae* und *M. euphorbiae*? (Kapitel 5)
- Wie verläuft der Befall verschiedener Kartoffelsorten durch Blattläuse unter Freilandbedingungen? (Kapitel 7)
- Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Reflexion der Kartoffelblätter (Kapitel 7) sowie der Behaarungsintensität und der Blattlausbesiedlung? (Kapitel 8)
- Wird die Besiedlung der Blattläuse durch die freien Aminosäuren und Zucker (Saccharose, Fruktose, Glukose) in den Kartoffelblättern beeinflusst? (Kapitel 9)

Die Experimente zu diesen Fragen werden in der Arbeit in verschiedenen Kapiteln beschrieben, ihre Ergebnisse vorgestellt und diskutiert.

2 Literaturübersicht

2.1 Geschichte der Kartoffel

Die Kartoffel *Solanum tuberosum* L. gehört zur Familie der Nachtschattengewächse (Solanaceae). *S. tuberosum* wird hierbei dem Genus *Solanum* und dem Subgenus *Potatoe* zugeordnet (OLMSTEAD & PALMER 1997). Die Kartoffel hat ihren Ursprung in den Anden in Südamerika, wo zahlreiche knollenbildende Wildformen vorkommen (FRANKE 1989). Die Kartoffel ist weltweit das viertwichtigste Grundnahrungsmittel, gleich nach Weizen, Reis und Mais (FAOSTAT 2006). Sie wird fast weltweit kultiviert (ALBERTS & MULLEN 2003; FROHNE & PFÄNDER 2004). Das Heimatgebiet der Kulturkartoffel liegt in Peru und Bolivien im Bereich der Hochanden um den Titicacasee (HAWKES 1944; SALAMAN 1954). Nach Europa gelangten die rotschaligen Kartoffeln mit großen violetten Blüten erst nach der Eroberung des Inkareiches durch Pizarro (1532), zunächst nach Spanien, wo zwischen 1560 und 1570 die ersten gelbschaligen Kartoffeln in der Nähe der Anlaufhäfen entstanden (BÜLOW 2000). Im Jahr 1565 sind gelbschalige Kartoffeln aus Santa Fe im östlichen Venezuela nach England unabhängig von der Einfuhr nach Spanien gelangt (BRÜCHER 1975). Die hiesigen Kartoffeln sind somit auf Einfuhren von lediglich zwei Landsorten aus zwei verschiedenen Orten zurückzuführen (KÖRBER-GROHNE 1987). Beide Gruppen von Landsorten haben sich dann in Europa vermischt, wo sie in der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts zunächst als Gewürzpflanzen von Ärzten und Apothekern in Gärten gezüchtet wurden (BÜLOW 2000). Erst gegen Ende des 18. Jahrhunderts gelang der Kartoffel, insbesondere in Preußen unter Friedrich II., der Durchbruch als allgemeines Nahrungsmittel (KOLBE 1999). Es wurde damals kein Augenmerk auf die Züchtung resistenter Kartoffelsorten gelegt, was dazu führte, dass die natürlichen Resistenzen gegen Insekten und die Krankheiten, welche in den Wildformen der Kartoffel noch anzutreffen sind, durch die züchterische Tätigkeit verloren gingen (BÜLOW 2000). Nachdem die Kartoffel seit Beginn des 19. Jahrhunderts in Europa ein wichtiges Nahrungsmittel geworden war, traten die ersten schweren Kartoffelseuchen auf. Zwischen den Jahren 1845 und 1848 wurden in Irland die Kartoffelpflanzen schwer mit *Phytophthora infestans* befallen, so dass wegen der Hungersnöte viele Iren gezwungen waren, nach Amerika auszuwandern (BÜLOW 2000).

Heutzutage treten zwar durch den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln keine Epidemien mehr auf, doch die Verluste durch Pflanzenkrankheiten sind nach wie vor groß. Die Weltjahreskartoffelproduktion könnte jedoch 400 Millionen t erreichen, wenn keine Ernteverluste durch Krankheiten auftreten würden (AGRIOS 1997). Es werde zweihundertdreißig bis zweihundertvierzig Kartoffelarten beschrieben, deshalb steht für die Kartoffelzüchtung eine größere Vielfalt an genetischen Variationen zur Verfügung, als für andere Kulturpflanze (MICHAEL 2002; ALVAREZ et al. 2006).

2.2 Entwicklung der Kartoffelanbaufläche in Mecklenburg-Vorpommern

Die Anbaufläche von Kartoffeln in Mecklenburg-Vorpommern hat 2006 gegenüber 2005 leicht zugenommen. Vermehrungsbestände standen auf einem Fünftel der Fläche (Tabelle 1). Die Speisekartoffelfläche ist 2006 im Vergleich zum Vorjahr annähernd gleich geblieben. Speisekartoffeln standen in Mecklenburg-Vorpommern auf etwa 1.850 ha (12% der Gesamtkartoffelfläche) (PIENZ & MICHEL 2006).

Tabelle 1: Entwicklung der Kartoffelanbaufläche in Mecklenburg-Vorpommern

	Anbaufläche in ha					
	1993	2002	2003	2004	2005	2006
Kartoffeln (insgesamt)	23.078	15.352	16.319	17.470	15.666	16.599
Pflanzgutvermehrung	5.690	3.614	3.596	3.814	3.412	3.355
Prozentualer Anteil	24,7	23,5	22,0	21,8	21,8	20,2

Quelle: BEE (2006)

Ein Überblick über die Entwicklung der Vermehrungsflächen in den einzelnen Reifegruppen wird in Tabelle 2 präsentiert. Weiterhin sind die Sorten mit den größten Vermehrungsumfängen im Jahre 2006 dargestellt.

Tabelle 2: Vermehrungsflächen in Hektar in Mecklenburg-Vorpommern

Reifegruppe	2004	2005	2006	Bestimmende Sorten 2006
sehr früh				
Speisesorten	388	342	361	Salome (43ha) Solist ,Berber (42 ha),Donald (41 ha)
Wirt-Sorten	87	136	135	Zorba (EU, 98 ha), Terrana (37 ha)
Früh				
Speisesorten	899	773	761	Karlana (303 ha), Marabel (44 ha), Vineta (43 ha)
Wirt-Sorten	144	83	65	Tomensa (35 ha), Kolibri,Power (7 ha)
Mittelfrüh				
Speisesorten	925	913	884	Agria (214 ha), Pirol 76 ha, Adretta (58), R.Burbank 57 ha
Wirt-Sorten	395	362	383	Lady Claire (EU, 51 ha) Jumbo (49 ha), Albatros (42 ha)
Mittelspät				
Speisesorten	232	179	198	Fasan (63 ha), Saturna (56 ha)
Wirt.-Sorten	744	626	490	Kuras (138 ha), Elkana (EU, 81 ha), Festien (EU, 28 ha)

Quelle: PIENZ & MICHEL (2006)

Aus Tabelle 3 geht hervor, dass in Mecklenburg-Vorpommern mit 243 ha (7%) die größte Ausdehnung von Vermehrungsflächen im Jahr 2007 gegenüber 2006 stattfand, während in den meisten anderen Vermehrungsgebieten die Vermehrungsflächen nur geringfügig erweitert wurden.

Tabelle 3: Entwicklung der angemeldeten Vermehrungsfläche 2006-2009 nach Bundesländern

Bundesland	endgültig		vorläufig		Veränderung		endgültig		vorläufig		Veränderung	
	angemeldet		angemeldet		zu 2006		angemeldet		angemeldet		zu 2008	
	ha	ha	ha	ha	ha	%	ha	ha	ha	ha	ha	%
	2006	2007			2008	2009			2008	2009		
Niedersachsen	5494	5547	53	1	5326	5607	281	5				
M-V	3355	3598	243	7	3784	3909	125	3				
Bayern	2569	2585	16	1	2388	2512	124	5				
Schleswig-Holstein	1783	1817	34	2	1742	1797	55	3				
Sachsen	724	779	55	8	795	827	32	4				
Sachsen-Anhalt	646	622	-24	-4	563	574	11	2				
Brandenburg	632	656	24	4	573	604	31	5				
Thüringen	455	510	55	12	445	478	33	7				
Baden-Württemberg	452	424	-28	-6	370	384	14	4				
Hessen	221	199	-22	-10	209	213	4	2				
Nordrhein-Westfalen	71	50	-21	-30	81	87	6	7				
Deutschland												
gesamt:	16402	16787	385	2	16277	16992	715	4				

(Quelle: ERBE & LÜTHKE 2007, 2009)

2.3 Krankheitserreger und Schädlinge der Kartoffel

Aufgrund der weltweiten Verbreitung der Kartoffel und des oft sehr konzentrierten Anbaus ist die Kartoffel dem Befall durch Krankheitserreger und

Schädlinge ausgesetzt, die es in ihrer Heimat nicht gibt. Dazu kommt, dass die Kartoffel während der Lagerung und während des Wachstums anfällig für Krankheiten ist. Regional ist das Erscheinen von Kartoffelkrankheiten und Schädlingen und somit die Verlustquote beim Kartoffelanbau sehr unterschiedlich, was einerseits auf das Vorkommen und die Anpassung der Erreger an die herrschenden klimatischen Bedingungen und andererseits auf die unterschiedlichen Anbau- und Lagerpraktiken zurückzuführen ist (BÜLOW 2000). Die wichtigsten Schädlinge der Kartoffel sind Nematoden, Viren (Y-Virus u. Blattrollvirus), Blattläuse, und Kartoffelkäfer. Blattläuse können mit ihrem Saugrüssel die Kartoffelpflanze zwar direkt durch Saugen schädigen, den wertvollen Pflanzensaft abzapfen (KOLBE 1970; LLEWELLYN 1972; GODFREY 1997) und Speichel injizieren (KLOFT 1960; DIXON 1973), doch darin liegt nicht ihre Hauptbedeutung. Der eigentliche Schaden entsteht indirekt, indem Viren (Y-Virus, Blattrollvirus, A-Virus, S-Virus, M-Virus und Mosaik-Viren) durch die Blattläuse übertragen werden (EASTOP 1977) und durch ihre Honigtauexkretion (RABBINGE et al. 1981). Es sind mindestens 54 Viren bekannt, die Kartoffeln infizieren (BRUNT et al. 1996), und Blattläuse sind ihre wichtigsten Vektoren (PETERS 1987; RAMAN & RADCLIFFE 1992; JEFFRIES 1998).

2.4 Blattlausarten

Die Insektengruppe Blattläuse, die aus mehreren Familien besteht, gehört zur Unterordnung Homoptera, die neben den Heteroptera zu der Ordnung der Schnabelkerfe zählt. Bei den Homoptera sind im Gegensatz zu den Heteropteren die Vorderflügel wie die Hinterflügel dünnhäutig und von etwa gleicher Form. In Ruhestellung sind die Flügel an die Körperseite angelegt und dachförmig (MOLDENHAUER & SCHRÖDER 1980). Die Homopteren gliedern sich in fünf Familiengruppen, die alle ausschließlich Pflanzensauger sind:

- | | |
|----------------------|--------------|
| 1. Zikaden | (Cicadina) |
| 2. Blattflöhe | (Psyllina) |
| 3. Mottenschildläuse | (Aleurodina) |
| 4. Schildläuse | (Coccidina) |
| 5. Blattläuse | (Aphidina) |

Die Blattläuse werden in acht Familien unterteilt:

- | | |
|-----------------|------------------------------------|
| 1. Baumläuse | (Lachnidae) |
| 2. Blasenläuse | (Eriosomatidae) |
| 3. Borstenläuse | (Chaitophoridae) |
| 4. Maskenläuse | (Thelaxidae) |
| 5. Röhrenläuse | (Aphididae) |
| 6. Tannenläuse | (Adelgidae) |
| 7. Zierläuse | (Callaphididae) |
| 8. Zwergläuse | (Phylloxeridae) (nach MÜLLER 1955) |

Blattläuse sind weltweit verbreitete Parasiten an Wurzeln, Blättern und Stängeln von Pflanzen, denen sie häufig große Schäden zufügen. Sie sind 2-3,5 mm lang. Die erwachsenen Blattläuse sind entweder geflügelte oder ungeflügelte Insekten mit Saugrüssel und häufig röhrenförmigen Körperanhängen an den hinteren Segmenten (Abbildung 1). Der Körper ist weich, bei ungeflügelten Formen plump und es gibt keine deutliche Abgrenzung zwischen den Körperteilen. Die zarthäutigen Flügel sind wenig beadert. Die Antennen bestehen aus sechs Gliedern. Die ersten beiden Glieder sind sehr kurz und die anderen lang und dünn. Die Mundwerkzeuge der Blattläuse sind daran angepasst, Pflanzen anzubohren und deren Säfte auszusaugen, sie bilden einen Saugrüssel. Zwei hornförmige, vom Hinterende des Körpers abstehende Röhren oder Siphonen geben ein wachsartiges Sekret ab (DUBNIK 1991).

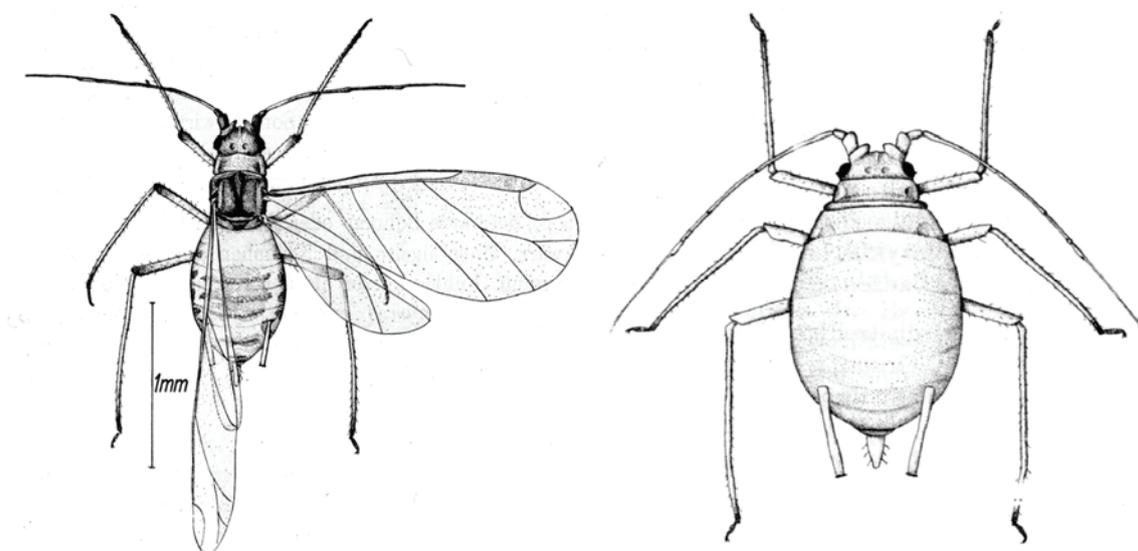


Abbildung 1: Die Grüne Pfirsichblattlaus (links: geflügelt, rechts: ungeflügelt nach FRITZSCHE et al. 1980)

2.4.1 Grüne Pfirsichblattlaus (*Myzus persicae*)

In der älteren Literatur wird sie noch *Myzodes persicae* genannt (DUBNIK 1991). Die Grüne Pfirsichblattlaus ist weltweit verbreitet. Ihr Auftreten in kälteren Zonen ist jedoch auf Gebiete beschränkt, in denen der Hauptwirt Pfirsich ebenfalls vorkommt. Die gesamte Lebensdauer der Blattlaus (*M. persicae*) beträgt bis 50 Tage (TOBA 1964). *M. persicae* wurde von VAN EMDEN et al. 1969 genau beschrieben. Extremer Pfirsichblattlausbefall kann bei Kartoffeln zum Einrollen der Blätter, Fingerblättrigkeit, Blattaufhellungen und glänzendem Honigtaubelag mit Rußtaubildung (Pilzbefall) sowie kümmerwuchs führen. Übertragene Virosen bewirken andere spezifische Schadbilder (RADTKE et al. 2000). *M. persicae* ist Überträger von über 150 Viruskrankheiten in mehr als 50 verschiedenen Pflanzenfamilien, darunter vor allem bei Bohnen, Zuckerrüben, Zuckerrohr, Kohl, Tabak und Kartoffeln (KENNEDY et al. 1962; FRITZSCHE et al. 1972; CLOYD & SADOFF 1998). Die Larven und die Adulten von *M. persicae* übertragen die Viruskrankheiten. Aber die adulten Blattläuse sind wichtiger (FLANDERS et al. 1991). *M. persicae* ist der wichtigste Vektor des Kartoffelblattrollvirus und das Virus führt immer wieder zu großen Ernteverlusten bei Kartoffeln (RADCLIFFE et al. 1999).

Beschreibung

Geflügelte Form (Alate). Die zwischen 1,3 und 2,5 mm lange geflügelte Sommerform der Pfirsichblattlaus ist im Kopf- und Brustbereich schwarz bis schwarzbraun gefärbt, während die Grundfarbe des Hinterleibs zwischen gelbgrün und grün variiert (RADTKE et al. 2000; BLACKMAN & EASTOP 2007). Ungeflügelte Form (Aptere). Bei dem zwischen 1,8 und 2,3 mm langen, gelbgrünen bis mittelgrünen, ungeflügelten Sommerformen treten in Abhängigkeit von der Nahrungsqualität gelegentlich auch gelbe Exemplare auf. Rötliche Färbung der Larven kennzeichnet hingegen die Entwicklung zu einer geflügelten Laus (RADTKE et al. 2000). Die mäßig langen Siphonen sind an den Enden dunkel (HÖHN et al. 1995). Die Jungläuse schlüpfen schon im Februar und März aus den Wintereiern. Zuerst bilden sich an den Blättchen der Blütenbüschel Kolonien ungeflügelter, ausschließlich weiblicher Blattläuse, die sich parthenogenetisch (ohne Männchen) und lebend gebärend fortpflanzen.

Später breiten sich die Kolonien auf die Blätter der Jungtriebe aus. Im Mai und Juni entwickeln sich geflügelte Weibchen, die auf zahlreiche Sommerwirte (Zuckerrübe, Kartoffeln, Gräser und andere) abwandern. Erst erscheinen geflügelte Weibchen, deren Nachkommen zu Geschlechtsweibchen heranwachsen, später die Männchen. Im Oktober und November erfolgt die Ablage der befruchteten Wintereier. Der Entwicklungszyklus einer Blattlausart im Jahresverlauf wird in Abbildung 2 beschrieben.

Auf Kohlgewächsen und anderen Wirtspflanzen (insbesondere im Gewächshaus) kann sich diese Art auch das ganze Jahr ohne Wirtswechsel lebend gebärend und parthenogenetisch fortpflanzen (HÖHN et al. 1995).

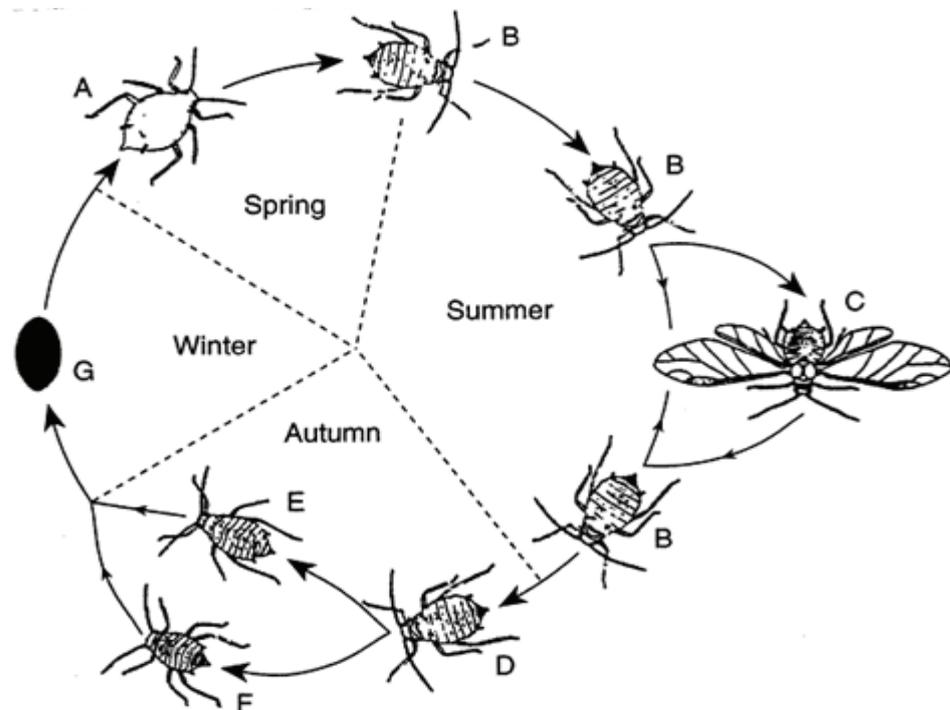


Abbildung 2: Entwicklungszyklus einer Blattlausart im Jahresverlauf (A: Stammutter, B: Aptere, C: Alate, D: Gynoparae, E: Weibchen, F: Männchen, G: Ei, nach JONES 1942)

2.4.2 Gestreifte Kartoffellaus (*Macrosiphum euphorbiae*)

Das Synonym der Grünstreifigen Kartoffelblattlaus ist *Macrosiphum euphorbiae*. Die Grünstreifige Kartoffelblattlaus, weltweit verbreitet, ist in Mitteleuropa alljährlich an Kartoffel zu finden, allerdings nicht so zahlreich wie die Grüne Pfirsichblattlaus (DUBNIK 1991; BLACKMAN & EASTOP 2007). Der Grünstreifigen

Kartoffellaus kommt wie der Pfirsichlaus eine wichtige Rolle als Virusüberträger zu (RADCLIFFE 1982; BLACKMAN & EASTOP 1984; BLACKMAN & EASTOP 2007). Die Art überträgt über fünfzig Virose, darunter die wichtigsten an Kartoffel (FRITZSCHE et al. 1972). Die wichtigsten Sommerwirte sind die Kartoffel und andere Pflanzen aus der Familie der Solanaceae.

Beschreibung

Geflügelte Form. Die 2,3 bis 3,7 mm lange geflügelte Sommerform ist von grüner Farbe und weist auf dem Rücken häufig einen dunkleren Längsstrich auf. Der Brustbereich erscheint hellbraun (RADTKE et al. 2000). Ungeflügelte Form. Die 2-4 mm langen, ungeflügelten Formen sind mit Ausnahme des hellbraunen Kopfes durchgehend grün gefärbt, weisen jedoch auf dem Hinterleib einen dunkleren grünen Längsstrich auf (DUBNIK 1991).

2.5 Blattläuse auf Kartoffel

In der Literatur fanden sich seit vielen Jahren Hinweise auf den Unterschied in der Anfälligkeit von Kartoffeln gegenüber Blattläusen. In den USA berichtete MAUGHAN (1937) über einen großen Unterschied in dem Blattlausbefall auf elf Kartoffelsorten. Aber er hat die Blattlausarten nicht genannt. BURNHAM & MACLEOD (1942) zeigten, dass die Kartoffelsorte Katahdin sehr empfindlich gegen *M. persicae* war. Die Kartoffelsorten Up-to-Date, Green Mountain und President waren weniger anfällig.

Die Kartoffelsorte Katahdin wird als empfindliche Kartoffelsorte gegenüber der Blattlaus (*M. persicae*) registriert (SIMPSON & SHANDS 1949; BRADLEY 1952). Nach BRADLEY et al. (1952) hatten *M. persicae*, *M. euphorbiae* und *Aphis nasturtii* (Kaltenbach) ähnliche Vermehrungsraten an den Kartoffelsorten Katahdin, Chippewa, Canso und Keswick. BALD et al. (1946) fanden keinen Beweis für die Blattlausbevorzugung an den geprüften Kartoffelsorten, doch KENNEDY & BOOTH (1951) und KENNEDY (1958) stellten fest, dass *M. persicae* unter wechselnden Bedingungen verschiedenen Nahrungspflanzen bevorzugte. Die Stärke der Besiedlung der Kartoffelpflanzungen durch migrierende Blattläuse hängt in erster Linie vom Gelingen der Frühjahrmigration aus den Überwinterungsorten ab. Das weitere Verhalten der Läuse und ihrer

Nachkommenschaft auf den Kartoffelpflanzen wird jedoch durch physiologische Einflüsse seitens der Wirtspflanzen bestimmt (TAYLOR 1962). Der Schwerpunkt des anfänglichen Befalls durch geflügelte Pfirsichblattläuse (*M. persicae*) lag immer auf den unteren Blättern des Hauptstängels (TAYLOR 1955, 1962; HARREWIJN 1970; JANSSON & SMLLOWITZ 1986). Die Stärke des Befalls durch *M. persicae* steht im Zusammenhang mit dem Alter der Blätter. Die Kartoffelsorten wie Arran Pilot, die ihr Wachstum rasch abschließen, sind deshalb unter normalen Bedingungen immer besser für die Besiedlung durch *M. persicae* und deren Vermehrung geeignet (TAYLOR 1962). Nach TAYLOR (1962) erfolgt die Infektion durch *M. euphorbiae* auf den jungen, wachsenden Blättern an der Spitze der Triebe.

2.6 Die Blattoberflächeneigenschaften und Blatteinhaltsstoffe

Farbreize können das Auffinden von Pflanzen steuern. Es ist bekannt, dass beim Befallsflug von Blattläusen gelbe Objekte zum Landen veranlassen (MÖRICKE 1950, 1951, 1962). Die Faktoren, die das Insekt nach seinem Anflug oder Zulauf auf die Pflanzen beeinflussen, können die Beschaffenheit der Oberfläche (IBBOTSEN & KENNEDY 1959; HENNIG 1963) sowie sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe sein. Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass die Wirtqualität die Fruchtbarkeit und Entwicklung der Insekten beeinflussen kann (SLANSKY & FEENY 1977; NORRIS & KOGAN 1980; MONTLLOR 1991). Viele sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe können als Repellent, Saugdeterrens oder Phagostimulans für die Wirtswahl durch die Blattläuse wirken (FIEBIG 2000).

MACFOY & DARBROWSKI (1984) stellten bei der chemischen Analyse von Bohnensorten (*Vigna unguiculata* L.) Korrelationen zwischen der Resistenz gegen die Bohnenblattlaus *Aphis craccivora* (Koch) sowie dem Gehalt an Phenolen und Flavonoiden fest. TINGEY et al. (1978) fanden eine signifikante Korrelation zwischen dem Gesamtgehalt an Glykoalkaloiden im Blatt von Wildkartoffeln und der Resistenz gegenüber der Zikade *Empoasca fabae* (Harris). Neben der Gesamtmenge an Glykoalkaloiden war ebenso die Art des Glykoalkaloids in den Blättern von *Solanum chacoense* (Bitter) entscheidend für den Befall des Kartoffelkäfers, *Leptinotarsa decemlineata* (Say) (SINDEN et al. 1980).

Der engere Lebensraum von Pflanzenschädlingen und deren Feinden ist in vielen Fällen die Pflanzenoberfläche. Diese kann durch verschiedene Überzüge, vor allem aber durch unterschiedliche Behaarung, charakterisiert sein (LAMPE 1984). LEVIN (1973), JOHNSON (1975) und WEBSTER (1975) geben umfassende Darstellungen der verschiedenen Typen von Pflanzenhaaren und deren Funktionen bei der Abwehr von Schadorganismen. Die Pflanzenhaare spielen eine wichtige Rolle als Abwehr von Insekten. MAXWELL & JENNINGS (1980) zeigten verschiedene Möglichkeiten des Einsatzes von Pflanzenhaaren als Resistenzfaktoren gegen tierische Schaderreger im Rahmen der Resistenzzüchtung auf.

Die genauen Ursachen für die unterschiedliche Besiedlung behaarter und unbehaarter Pflanzenoberflächen sind nur in wenigen Fällen bekannt (SCHILLINGER & GALLUN 1968; GIBSON 1974a; JOHNSON et al. 1980; ELSEY & WANN 1982). Mechanische Behinderung und reine Verhaltensreaktionen sind nicht immer leicht zu trennen. Bei Drüsenhaaren können außerdem Giftwirkungen auftreten (THURSTON et al. 1966; ABERNATHY & THURSTON 1969; DIMOCK et al. 1982). Allgemeine Aussagen darüber, welche Gruppen und Typen von tierischen Schädlingen durch bestimmte Oberflächenstrukturen behindert werden, sind noch nicht möglich. Auch die natürlichen Feinde der Schaderreger, die auf behaarten Pflanzen nach ihrer Beute suchen, können durch diese Struktureigenschaften beeinflusst werden, wodurch ein zusätzlicher, indirekter Effekt auf die Schadinsekten ausgeübt wird. Hierüber liegen jedoch fast nur Gelegenheitsbeobachtungen vor, die nicht verallgemeinert werden können (FLUITER & ANKERSMIT 1948; MOUND 1965; SCOPES 1969; GURNEY & HUSSEY 1970).

2.7 Fluggewohnheiten der Blattläuse und Farbsehen

Die Fluggewohnheiten der Blattläuse werden in Migrationsflüge (Wanderflüge) und Dispersionsflüge (Verbreitungsflüge) unterteilt. Migrationsflüge dienen dem Aufsuchen der Haupt- oder Nebenwirte und bei dem Dispersionsflug erfolgt die Verbreitung der Population im Allgemeinen. Der Abflug von der Wirtspflanze wird durch eine positive Reaktion der Blattläuse auf weißes und ultraviolett haltiges Licht ausgelöst und findet nur bei günstigen

Wetterbedingungen statt, das heißt bei einer Lufttemperatur von mindestens 10-11°C und einer Windgeschwindigkeit von unter 6 km/h. Durch Aufwinde gelangen die Blattläuse in Höhen von bis zu 1000 m, wo sie von Luftströmungen erfasst und passiv transportiert werden. Nach einiger Flugzeit kommt es zu einer positiven Umstimmung der Blattläuse auf das langwellige Lichtspektrum, wobei hier eine besondere Reaktion auf die gelb-grüne Farbe zu verzeichnen ist. Während dieser so genannten „Befallsstimmung“ erfolgt eine Abwärtsbewegung in bodennahe Schichten und das Landen auf der Pflanze (DUBNIK 1991). Laut DÖRING et al. (2005) liegen bei der Grünen Pfirsichblattlaus *M. persicae* drei Typen an Photorezeptoren mit dem Absorptionsmaxima bei 330-340 nm (UV), 470-480 nm (grün-blau) und 530 nm (grün) vor. Der dem Grünrezeptor sehr nahe stehende Blaurezeptor ermöglicht eine besonders feine Wahrnehmung verschiedener Grüntöne. Das Fehlen eines Rotrezeptors führt dazu, dass Blattläuse Gegenstände, die das menschliche Auge als gelb wahrnimmt, als intensives Grün empfinden.

2.8 Spektralverhalten der Vegetation

Die Sonnenstrahlung wird beim Durchqueren der Atmosphäre von darin eingelagerten Partikeln, wie Gase (z. B. Ozon) und Aerosole (z. B. Staub), beeinflusst. Insbesondere kommt es zu Absorptions- und Streuvorgängen, die zusammengefasst als Extinktion der Atmosphäre bezeichnet werden.

In Abhängigkeit von der Wellenlänge hat die elektromagnetische Strahlung unterschiedliche Eigenschaften, anhand derer auch die Grobgliederung des elektromagnetischen Spektrums vorgenommen wird (Tabelle 4).

Tabelle 4: Das elektromagnetische Spektrum

Bezeichnung	Abkürzung	Wellenlängen (nm)
Sichtbares Licht	VIS	400-700
Violett		400-440
Blau		440-500
Grün		500-570
Gelb		570-590
Orange		590-620
Rot		620-700
Nahes Infrarot	NIR	700-1300
Mittleres Infrarot	MIR	1300-3000

(nach JUNKER 2003)

Die Vegetation reflektiert, absorbiert und transmittiert die einfallende Strahlung in einer typischen Weise (Abbildung 3). Das grundlegende Verhalten wird durch die Eigenschaften des Blattes bestimmt, wobei die wichtigsten Einflussgrößen der Pigmentgehalt, die Zellstruktur und die Oberfläche des Blattes sind. Die obere und untere Schicht des Blattes bestehen aus der Kutikula, durch die ein kleiner Teil der eintreffenden Strahlung reflektiert wird (äußere Reflexion). Der größere Teil der Strahlung transmittiert durch die Kutikula hindurch in das Zellgewebe des Blattinneren (Mesophyll), in dem die entscheidenden Wechselwirkungen stattfinden. Der obere Teil des Mesophylls, das Palisadenparenchym, ist reich an Pigmenten wie Chlorophyll und Karotinoiden. Den unteren Teil bildet das Schwammparenchym, das durch große Interzellularräume, unregelmäßige Zellen und einen geringen Chloroplastengehalt gekennzeichnet ist. Die transmittierten Strahlen treffen im Mesophyll auf die Zellwände auf und werden bei entsprechendem Einfallswinkel reflektiert bzw. gestreut oder verändern durch Brechung ihre Richtung im Blatt. Auf Grund der hohen Zellanzahl kommt es zur Mehrfachreflexion bzw. zur mehrfachen Richtungsänderung der Strahlen (innere Reflexion).

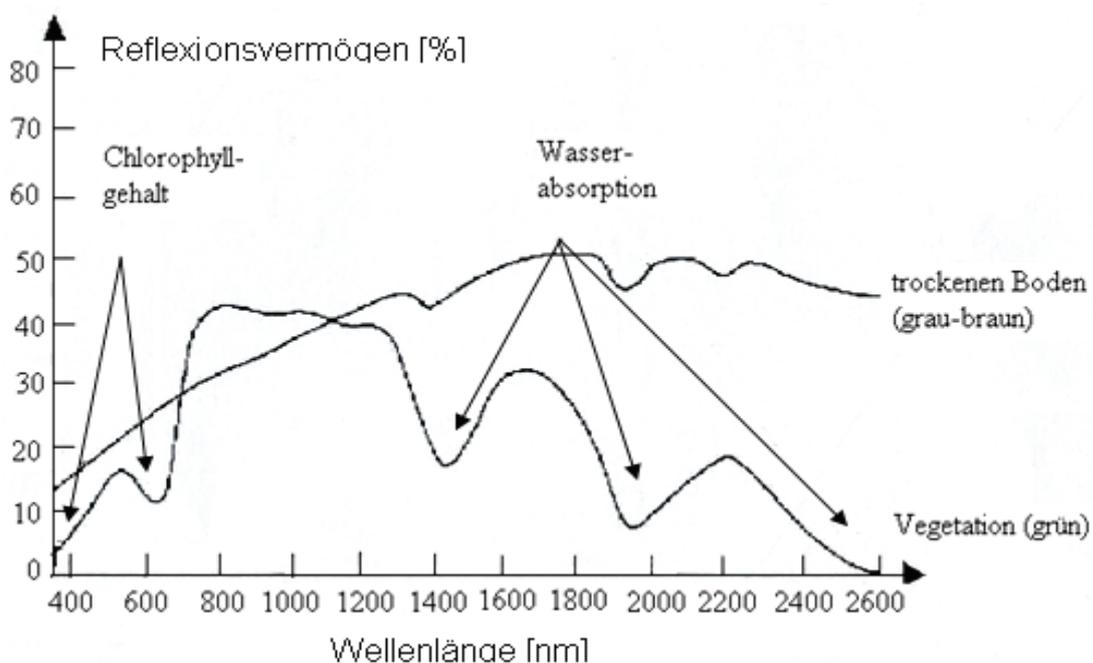


Abbildung 3: Typisches spektrales Reflexionsvermögen von Vegetation und Boden (nach SCHNEIDER 1994)

Das Spektralverhalten eines gesunden Blattes kann wie folgt eingeteilt werden:

- 400-700 nm (VIS vom englischen „visible“): Absorption der für die Photosynthese erforderlichen Energie (photosynthetisch aktive Strahlung PAR) durch Chlorophyll vor allem im Blau- und Rotbereich; vorwiegende Reflexion und Transmission im grünen Bereich (lokales Maximum bei 550 nm). Die Höhe der Absorption ist von der Menge und der Art der Pigmente abhängig und liegt in der Größenordnung von 70-95% der Einstrahlung (HILDEBRANDT 1996).
- 700-1300 nm (NIR, „near infrared“): steiler Anstieg der Reflexionskurve an einer Absorptionskante (Rotschulter); starkes Streuungs- und Brechungsverhalten durch Gewebestruktur in Abhängigkeit von Zahl, Größe und Form der Zellen im Blattgewebe (KRONBERG 1985). Je nach Pflanzenart beträgt die Reflexion in diesem Bereich 30-70% (HILDEBRANDT 1996), und eine Absorption durch Blattpigmente findet kaum statt.
- 1300-2600 nm (SWIR, „short wave infrared“): verringerte Reflexion und Transmission, bei steigender Absorption, hervorgerufen durch das im Blattgewebe enthaltene Wasser mit Maxima bei 1450 nm, 1900 nm und 2600 nm (WEVER 1989).

3 Vermehrungsrate der Blattlausarten *M. persicae* und *M. euphorbiae*

Ziel des ersten Experiments der vorliegenden Arbeit war es, die optimale Vermehrungsleistung der Blattlausarten *M. persicae* und *M. euphorbiae* an verschiedenen Kartoffelsorten unter verschiedenen Bedingungen zu erreichen. Das Vorhaben sollte klären, welche Methode (Augenstecklinge im Gewächshaus, In-Vitro-Kulturen und Semi-Freilandversuche) zu der Vermehrung der Blattläuse am besten geeignet ist.

3.1 Material und Methoden

Zur Ermittlung der Vermehrungsleistung der Blattlausarten wurden insgesamt drei verschiedene Versuchsmethoden benutzt (Augenstecklinge im Gewächshaus, In-Vitro-Kulturen und Semi-Freilandversuche).

3.1.1 Anzucht der Blattläuse

Für die Untersuchungen wurden die zwei verschiedenen Blattlausarten, Grüne Pfirsichblattlaus (*M. persicae*) und Gestreifte Kartoffellaus (*M. euphorbiae*) an der Kartoffelsorte Adretta angezchtet. Beide Arten wurden in Insektenkäfigen im Institut für Landnutzung der Universität Rostock- Phytomedizin bei künstlicher Beleuchtung mit einer Tagesperiode von 16h Licht/ 8h Dunkelheit und einer Temperatur von 20°C bis 24°C gehalten.

Die für die Anzucht der Blattläuse notwendigen Insektenkäfige wurden bereits von MÜLLER (1954) beschrieben. Sie hatten eine Grundfläche aus Holz von 30x30 cm und eine Höhe von 60 cm. Zwei gegenüberliegende Seitenwände bestanden aus Glasscheiben, die beiden anderen aus Gaze. Oben war der Käfig ebenfalls mit Gaze abgeschlossen.

Um gleich altes Blattlausmaterial zu erhalten, wurden Mutterläuse von *M. euphorbiae* und *M. persicae* auf getopfte Kartoffelpflanzen (Adretta) gesetzt. Nach 24 Stunden bei einer Temperatur von 22°C wurden die Mutterläuse mit Hilfe eines Haarpinsels abgesammelt. Die auf den Pflanzen zurückbleibenden Jungläuse waren maximal einen Tag alt. Bis zum Versuchsbeginn blieben die Pflanzen in einem Lichtthermostat bei 22 ±1°C und 16/8 h Tagesperiode.

Für die Vermehrung der Blattläuse wurde bei allen Versuchen gleich altes Blattlausmaterial (Adulte) benutzt und ein einheitlicher Zeitraum gewählt. 12 Tage nach dem Versuchsbeginn wurden die Anzahl der überlebenden Blattläuse und ihre Vermehrung festgehalten.

3.1.2 Herkunft der Kartoffelsorten

Das Pflanzgut bzw. In-Vitro-Material der untersuchten Kartoffelsorten (*Solanum tuberosum* L.) Albatros, Borwina, Fasan, Kormoran, Pirol, Romanze, Salome und Terrana wurde von der Firma NORIKA (Nordring- Kartoffelzucht und Vermehrungs- GmbH in Groß Lüsewitz - Rostock) zur Verfügung gestellt (Tabelle 5). Als Kriterien für die Auswahl der acht Sorten wurden die Anfälligkeit gegenüber dem Blattrollvirus und dem Y-Virus genutzt, beide Merkmale werden in der Bundessortenliste dokumentiert (BUNDESSORTENAMT 2005).

Das In-Vitro-Material der untersuchten Kartoffelsorten Blaue Schweden, Hankkijas Tanu, Hindenburg und der Wildart *Solanum subpanduratum* O. wurde von IPK (Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung) Groß Lüsewitz- Rostock zur Verfügung gestellt.

Tabelle 5: Beschreibung der ausgewählten Kartoffelsorten

	Albatros	Borwina	Fasan	Kormoran	Pirol	Romanze	Salome	Terrana
Knolleigenschaften								
Knollenform	oval	oval	rundoval	oval	rundoval	oval	oval	rundoval
Augentiefe	flach bis mittel	flach	flach bis mittel	flach bis mittel	flach	flach	flach	mittel
Schalenbeschaffenheit	genetzt bis rau	glatt bis genetzt	rau bis genetzt	genetzt	genetzt bis glatt		genetzt bis glatt	genetzt bis rau
Fleischfarbe	hellgelb	gelb	hellgelb	hellgelb	hellgelb bis gelb	gelb	gelb	gelblich weiß
Stärkeertrag	hoch			hoch bis sehr hoch				sehr hoch
Knollenertrag	mittel bis hoch	hoch	hoch	hoch	mittel	hoch	hoch	mittel bis hoch
Knollengröße	mittel bis groß	mittel bis groß	mittel	mittelgroß	mittel		mittel bis groß	mittel
Knollenansatz	mittel	mittel	hoch, relativ spät	mittel bis hoch	mittel		mittel bis hoch	mittel bis hoch
Sortierung	ausgeglichen	ausgeglichen	sehr ausgeglichen	ausgeglichen	ausgeglichen		ausgeglichen	ausgeglichen
Reifegruppe	mfr	sfr	mssp	mssp	mfr	mfr	sfr	sfr
Resistenzen gegen								
Nematoden	Ro1, Ro4	Ro1, Ro4	Ro1, Ro4	Ro1, Ro4	Ro1, Ro4	Ro1, Ro4	Ro1, Ro4	Ro1, Ro4
Krebs	Pathotyp D1		Pathotyp D1	Pathotyp D1	Pathotyp D1			
Y-Virus	sehr hoch	hoch	sehr hoch	hoch	mittel	hoch bis mittel	sehr hoch	sehr hoch
Blattrollvirus	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch	mittel	mittel	hoch	hoch
Krautfäule	mittel	mittel	mittel	mittel	mittel	hoch	hoch	mittel bis hoch
Schwarzbeinigkeit	mittel bis hoch	hoch	hoch	hoch	hoch		hoch	hoch
Rhizoctonia								
Wipfelroller	hoch	hoch	mittel	hoch	hoch		sehr hoch	sehr hoch
Eisenfleckigkeit	mittel bis hoch	hoch	sehr hoch	hoch	sehr hoch	hoch	sehr hoch	sehr hoch
Schorf	mittel	hoch	hoch	mittel	mittel bis hoch	mittel bis hoch	mittel bis hoch	mittel
Knollenfäulen	mittel bis hoch	hoch	hoch	hoch bis mittel	hoch	hoch	mittel	hoch

Quelle: BUNDESSORTENAMT (2005) fr: frühe Reifegruppe

sfr: sehr frühe Reifegruppe

R = resistent 1 = sehr anfällig

mfr: mittelfrühe Reifegruppe

mssp-sp: mittelspäte bis sehr späte Reifegruppe

Ro = Globodera Rostochiensis

3.1.3 Vermehrung In-Vitro

Durch In-Vitro-Kulturen gewinnt der Züchter Zeit, und diese Methode ist sicher in der Gewinnung von gesunden Pflanzen. Die Kartoffelpflanzen der Sorten wurden in steriler Gewebekultur vermehrt. Dazu wurden in vierwöchigem Abstand Stängelsegmente mit einer Rasierklinge abgetrennt und diese Stücke in einen neuen Plastikpflanztopf mit Agarmedium überführt. Die Kultivierung erfolgte in einer Klimakammer bei 23°C und einer Belichtungsdauer von 16 h. Jede Kartoffelsorte wurde in Gefäßen isoliert und in 15-facher Wiederholung kultiviert. Jedes Gefäß enthielt 10 Pflanzen und jede Pflanze wurde mit einer ungeflügelten adulten Blattlaus besetzt (Abbildung 4).

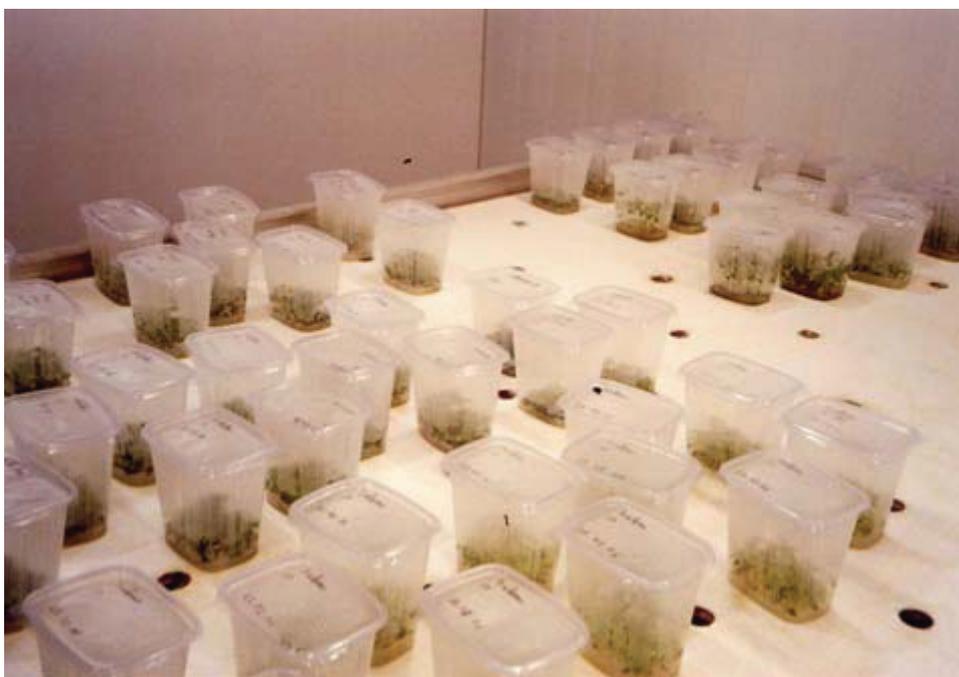


Abbildung 4: In-Vitro-Kulturen

3.1.4 Vermehrung an Augenstecklingen im Gewächshaus

Die Augenstecklinge wurden mit einem Messer von den Knollen gelöst. Dann wurden sie 15 Minuten in eine Lösung bestehend aus 1 mg/l Gibberillinsäure und 6 g/l Thioharnstoff getaucht. Die Augenstecklinge von den acht Kartoffelsorten wurden in mit Einheitserde gefüllte Pflanztöpfe gepflanzt. Die Maße der Gefäße betragen 7 x 7 x 8 cm. Die Klimabedingungen waren 22±1°C, 16h Licht/ 8h Dunkelheit. Für diesen Versuch wurden Insektenkäfige verwendet,

damit die jeweils aufgesetzten Blattläuse nicht auf andere Pflanzen wandern konnten oder durch andere Insekten beeinflusst werden. Jede Kartoffelsorte wurde in Insektenkäfigen isoliert und in 5-facher Wiederholung kultiviert. Jeder Insektenkäfig enthielt 9 Töpfe mit je einer Pflanze/Topf. Jede Pflanze wurde mit einer ungeflügelten adulten Blattlaus besetzt. Abbildung 5 ergänzt die Beschreibung der Methode.



Abbildung 5: Insektenkäfige mit Kartoffelpflanzen im Gewächshaus

3.1.5 Vermehrung im Semi-Freiland

Die Untersuchungen wurden in den Monaten Mai, Juni und Juli am Versuchstandort Rostock vorgenommen. Die Versuchsfläche in Rostock gehört zum Versuchsgelände der Universität Rostock und liegt im Südwesten der Stadt. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt $7,9^{\circ}\text{C}$ und die durchschnittliche Niederschlagsmenge 590 mm.

Der Verlauf der Witterung während der Versuchsjahre 2006 und 2007 auf dem Versuchstandort wird mit Hilfe von Daten charakterisiert, die die Wetterstation von Groß Lüsewitz erfasste. Aufgeführt sind die Monatsmitteltemperaturen sowie die Monatsniederschlagssummen für die einzelnen Versuchsjahre und das langjährige Mittel.

Der Mai 2006 war mit 61 mm niederschlagsreicher als das langjährige Mittel des besagten Monats. In den Monaten Juni und Juli hat es deutlich weniger geregnet im Vergleich zum langjährigen Mittel dieser Monate. Die Niederschlagsmenge im Juli war mit 14 mm/m² besonders gering. Die Temperaturen im Mai, Juni und Juli waren zum Teil deutlich höher als die Werte des langjährigen Mittels. Der Juli war mit 20,8°C sogar 4°C wärmer als das langjährige Mittel dieses Monats (Abbildung 6).

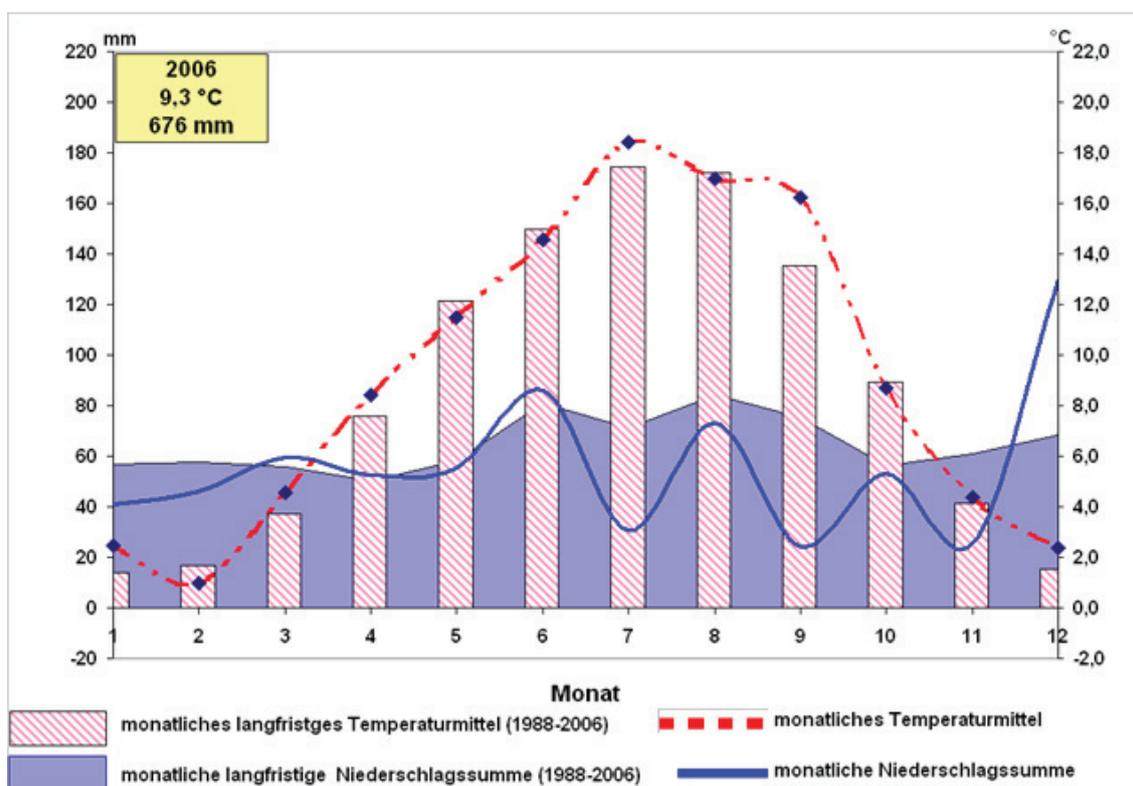


Abbildung 6: Witterungsdiagramm der Wetterstation von Groß Lüsewitz im Jahr 2006

Der Mai 2007 war mit 82 mm niederschlagsreicher als das langjährige Mittel des besagten Monats. In den Monaten Juni und Juli hat es deutlich mehr geregnet als im Vergleich zum langjährigen Mittel dieser Monate. Die Temperaturen im Mai und Juni waren zum Teil deutlich höher als die Werte des langjährigen Mittels. Der Juli war mit 17°C kälter als das langjährige Mittel dieses Monats (Abbildung 7).

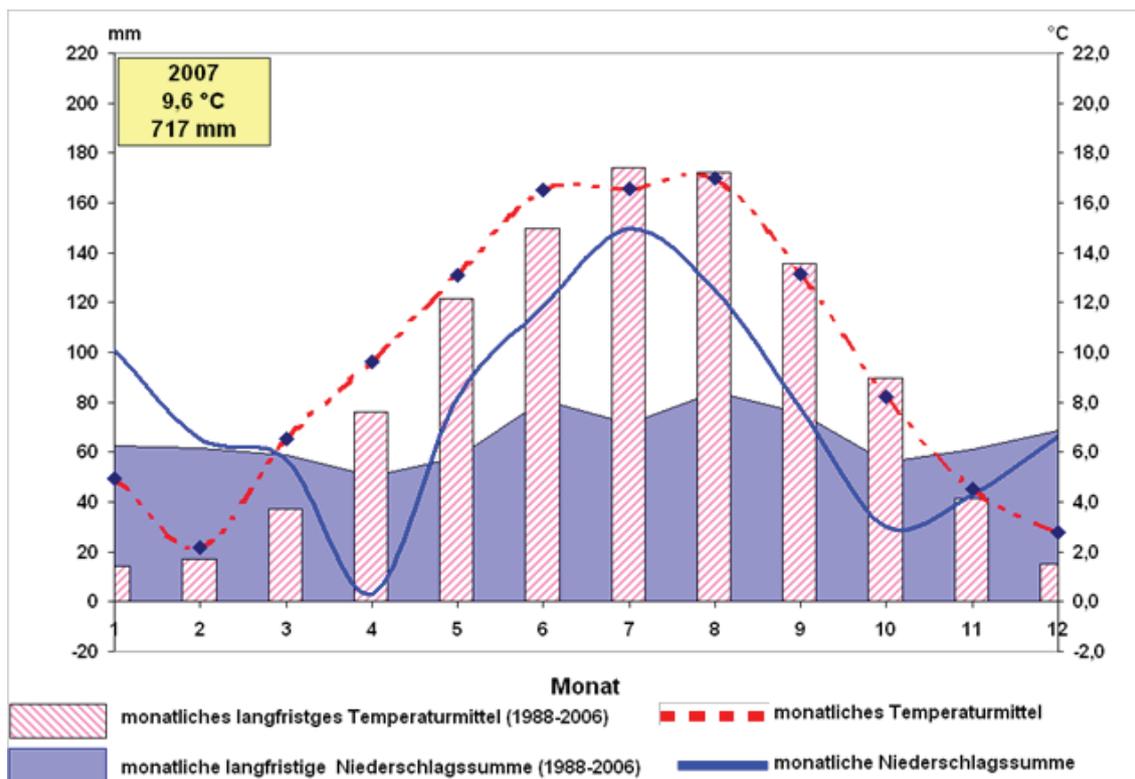


Abbildung 7: Witterungsdiagramm der Wetterstation von Groß Lüsewitz im Jahr 2007

Der Versuch wurde in großen Gazekäfigen im Freiland durchgeführt. Die Insektenkäfige hatten die Abmessungen von 80 x 80 x 150 cm (Abbildung 8). Die Knollen der 8 Kartoffelsorten wurden in Mitscherlichgefäßen mit Einheitserde gepflanzt. Die Maße der Gefäße betragen (H x Ø)= 16 cm x 20 cm. Jede Kartoffelsorte wurde in Käfigen isoliert und in 5-facher Wiederholung kultiviert. Jeder Käfig enthielt 5 Töpfe mit je einer Pflanze/Topf. Jede Pflanze wurde mit 3 ungeflügelte adulten Blattläusen besetzt.

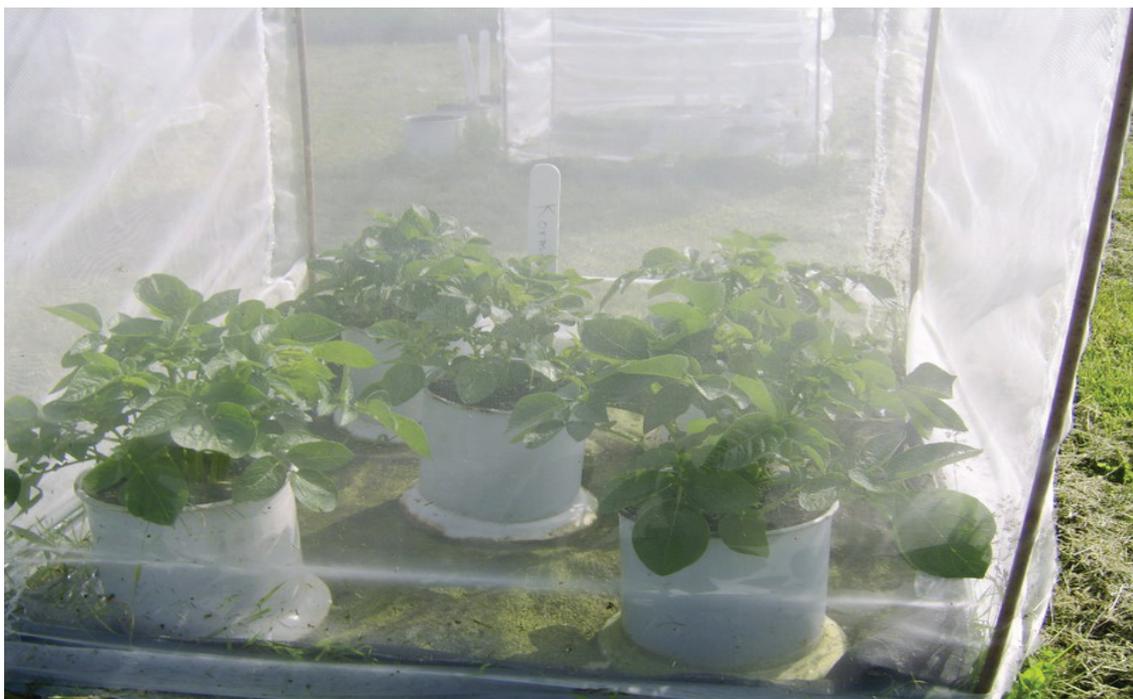


Abbildung 8: Insektenzuchtkäfige unter Semi-Freilandbedingungen

3.1.6 Statistische Auswertung

Standardfehler und 95% Konfidenzintervall wurden mit Hilfe des Programms SPSS (Version 15 für Windows, ANONYM 2006) berechnet. Die statistischen Ergebnisse beruhen auf einfaktoriellen Varianzanalysen in Verbindung mit dem Student-Newman-Keuls-Test. Die Vermehrungsrate wurde nach folgender Formel gerechnet:

$$\text{Vermehrungsrate} = \frac{\text{Anzahl der abgesetzten Blattläuse nach 12 Tagen/Pflanze}}{\text{Anzahl der aufgesetzten Blattläusen / Pflanze}}$$

3.2 Ergebnisse

3.2.1 Vermehrung In-Vitro

3.2.1.1 Vermehrung an Cultivarsorten

Insgesamt betrug die durchschnittliche Anzahl abgesetzter Jungläuse von *M. euphorbiae* 3,6. Die durchschnittliche Anzahl abgesetzter Jungläuse von *M. persicae* betrug 5,3 (Tabelle 6). Die Gegenüberstellung des

Durchschnittsbefalls durch *M. euphorbiae* und *M. persicae* der Varianten aller Untersuchungen ergab eine Streubreite von 2 bis 5 bzw. 4 bis 7. Die höchste Vermehrung der Grünstreifigen Kartoffelblattlaus und der Pfirsichblattlaus trat bei Salome (5,2) bzw. Kormoran (7,1), Borwina (7) und Fasan (6,9) auf. Diese 4 Sorten unterschieden sich statistisch signifikant von den übrigen Sorten.

Bei den Kartoffelsorten Romanze (2,2) und Kormoran (2,4) war die geringste Vermehrungsrate von *M. euphorbiae* zu beobachten. Die geringste Vermehrungsrate von *M. persicae* trat bei Salome (3,9) auf.

Tabelle 6: Mittlere Vermehrung der Blattläuse an den Cultivarsorten In-Vitro ($\bar{X} \pm \text{SE}$; n= Anzahl der Pflanzen im Test; einfaktorische Varianzanalyse, UNIANOVA, SNK-Test)

Kartoffelsorte	<i>M. persicae</i>			<i>M. euphorbiae</i>			Mittel
	In-Vitro	n	***	n	***		
Albatros	134	4,4 ± 0,2	a	165	4,2 ± 0,13	c	4,3 ± 0,1
Borwina	112	7,0 ± 0,2	c	108	3,4 ± 0,16	b	5,3 ± 0,2
Fasan	90	6,9 ± 0,19	c	101	3,1 ± 0,17	b	4,9 ± 0,2
Kormoran	94	7,1 ± 0,2	c	103	2,4 ± 0,17	a	4,7 ± 0,2
Pirol	117	4,3 ± 0,2	a	139	3,2 ± 0,14	b	3,7 ± 0,2
Romanze	105	4,5 ± 0,18	a	118	2,2 ± 0,15	a	3,3 ± 0,2
Salome	150	3,9 ± 0,17	a	147	5,2 ± 0,14	d	4,6 ± 0,2
Terrana	156	5,4 ± 0,2	b	156	4,1 ± 0,13	c	4,8 ± 0,1
Mittel		5,3 ± 0,2			3,6 ± 0,15		4,4 ± 0,2

Unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Differenzen des Sortenmittels hin ($\alpha=0,05$; n.s.= nicht signifikant; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$)

3.2.1.2 Vermehrung auf alten Kartoffelsorten bzw. Arten

An den Kartoffelsorten wurden statistisch signifikante Differenzen beobachtet. Insgesamt betrug die durchschnittliche Anzahl abgesetzter Jungläuse von *M. euphorbiae* 2,7. Die durchschnittliche Anzahl abgesetzter Jungläuse von *M. persicae* betrug 4,4 (Tabelle 7).

Die geringste Vermehrungsrate sowohl von *M. persicae* als auch von *M. euphorbiae* war bei der Wildart *S. subpanduratum* und der Sorte Hindenburg. Diese Sorten wiesen statistisch signifikante Differenzen zu den Sorten Blaue Schweden und Hankkijas Tanu auf.

Im Vergleich mit den Cultivarsorten hatten die beiden Blattlausarten geringere Vermehrungsraten auf den alten Kartoffelsorten. Sowohl bei den Cultivarsorten

als auch bei alten Kartoffelsorten hatte *M. persicae* um 1,7 höhere Vermehrungsraten als *M. euphorbiae*.

Tabelle 7: Mittlere Vermehrung der Blattläuse an alten Kartoffelsorten und einer Wildart In-Vitro ($\bar{X} \pm SE$; n= Anzahl der Pflanzen im Test; einfaktorielles Varianzanalyse, UNIANOVA, SNK-Test)

Sorte bzw. Art	<i>M. persicae</i>			<i>M. euphorbiae</i>			Mittel
	n	***		n	***		
<i>S. subpanduratum</i> (Wildart)	15	0,4 ± 0,68	a	45	1,8 ± 0,29	a	1,4
Blaue Schweden	30	4,8 ± 0,48	b	75	3,0 ± 0,22	b	3,5
Hankkijas Tanu	45	6,4 ± 0,39	b	60	3,8 ± 0,25	b	4,9
Hindenburg	15	1,9 ± 0,68	a	30	1,5 ± 0,35	a	1,6
Mittel		4,4			2,7		

Unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Differenzen des Sortenmittels hin ($\alpha=0,05$; n.s.= nicht signifikant; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$)

3.2.2 Vermehrung an Augenstecklingen im Gewächshaus

Die Kartoffelsorten erbrachten statistisch signifikante Differenzen für die Vermehrungsrate der beiden Blattlausarten. Insgesamt betrug die durchschnittliche Anzahl abgesetzter Jungläuse von *M. euphorbiae* an Augenstecklingen 12,3. Die durchschnittliche Anzahl abgesetzter Jungläuse von *M. persicae* betrug 10,5 (Tabelle 8). Die Gegenüberstellung der Vermehrungsrate durch *M. euphorbiae* und *M. persicae* der Varianten aller Untersuchungen ergab eine Streubreite von 6 bis 19 Blattläusen je Pflanze bzw. 6 bis 14 Blattläusen je Pflanze.

Dabei trat stärkerer Befall bei der Grünstreifigen Kartoffelblattlaus (*M. euphorbiae*) an Borwina (19,2) bzw. bei der Pfirsichblattlaus (*M. persicae*) an Fasan (13,9) und Borwina (13,7) auf. Die Sorte Salome (6,1) zeigte die geringste Vermehrungsrate der Grünstreifigen Kartoffelblattlaus (*M. euphorbiae*). Die geringste Vermehrungsrate der Grünen Pfirsichblattlaus (*M. persicae*) trat bei Romanze (5,9) auf, sie unterschied sich statistisch signifikant von den Sorten Terrana, Pirol, Kormoran, Fasan und Borwina.

Tabelle 8: Mittlere Vermehrung der Blattläuse an den Kartoffelsorten an Augenstecklingen im Gewächshaus ($\bar{X} \pm SE$; n= Anzahl der Pflanzen im Test; einfaktorielle Varianzanalyse, UNIANOVA, SNK-Test)

Kartoffelsorte	<i>M. persicae</i>		<i>M. euphorbiae</i>		Mittel
	n	***	n	***	
Albatros	20	6,3 ± 1,2 ab	38	12,7 ± 0,99 bc	10,5 ± 1,0
Borwina	34	13,7 ± 0,9 c	25	19,2 ± 1,22 d	16 ± 1,0
Fasan	30	13,9 ± 0,9 c	28	12,8 ± 1,15 bc	13,4 ± 1,0
Kormoran	39	10,2 ± 0,8 bc	20	16,0 ± 1,37 c	12,2 ± 1,0
Pirol	13	10,5 ± 1,4 bc	35	12,5 ± 1,03 bc	12 ± 1,1
Romanze	22	5,9 ± 1,1 a	19	11,3 ± 1,40 b	8,4 ± 1,2
Salome	14	9,1 ± 1,4 ab	35	6,1 ± 1,03 a	6,9 ± 1,1
Terrana	15	10,7 ± 1,3 bc	46	11,5 ± 0,90 bc	11,3 ± 1,0
Mittel		10,5 ± 1,0		12,3 ± 1,09	11,5 ± 1,1

Unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Differenzen des Sortenmittels hin ($\alpha=0,05$; n.s.= nicht signifikant; *= $p<0,05$; **= $p<0,01$; ***= $p<0,001$)

3.2.3 Vermehrung im Semi-Freiland

Insgesamt betrug die durchschnittliche Anzahl abgesetzter Jungläuse bei der Grünstreifigen Kartoffelblattlaus (*M. euphorbiae*) 8,3. Die durchschnittliche Anzahl abgesetzter Jungläuse von *M. persicae* betrug 6,1 (Tabelle 9). Die Gegenüberstellung des Durchschnittsbefalls durch *M. persicae* und *M. euphorbiae* der Varianten aller Untersuchungen ergab eine Streubreite von 3,4 bis 14 bzw. 2,8 bis 18,7. Dabei dominiert der Befall von *M. euphorbiae* und *M. persicae* bei Borwina (18,7) und Albatros (16,7) bzw. Kormoran (14). Diese Sorten unterschieden sich statistisch signifikant von den übrigen Sorten.

Die Grünstreifige Kartoffelblattlaus (*M. euphorbiae*) hatte die geringste Vermehrungsrate auf den Kartoffelsorten Pirol (2,8) und Terrana (3). Diese Sorten unterschieden sich statistisch signifikant nur von Borwina und Albatros. Im Gegensatz dazu trat die geringste Vermehrungsrate von Grüner Pfirsichblattlaus (*M. persicae*) bei Romanze (3,4) auf, was sie aber nur statistisch signifikant von Kormoran und Borwina unterschied.

Tabelle 9: Mittlere Vermehrung der Blattläuse an den Kartoffelsorten im Semi-Freiland ($\bar{X} \pm SE$; n= Anzahl der Pflanzen im Test; einfaktorische Varianzanalyse, UNIANOVA, SNK-Test)

Kartoffelsorte	<i>M. persicae</i>			<i>M. euphorbiae</i>			Mittel
	n	***		n	***		
Albatros	15	4,9 ± 0,95	ab	15	16,7 ± 0,94	b	10,8 ± 0,94
Borwina	15	7,6 ± 0,99	b	15	18,7 ± 1,21	b	13,2 ± 1,08
Fasan	15	4,6 ± 0,91	ab	15	6 ± 1,18	a	5,3 ± 1,04
Kormoran	15	14 ± 0,98	c	15	3,6 ± 1,02	a	8,8 ± 1,00
Pirol	15	4,9 ± 1,04	ab	15	2,8 ± 1,15	a	3,8 ± 1,12
Romanze	15	3,4 ± 1,17	a	15	5,9 ± 0,89	a	4,6 ± 1,04
Salome	15	4,6 ± 1,00	ab	15	9,3 ± 1,02	a	7 ± 1,02
Terrana	15	4,9 ± 1,02	ab	15	3 ± 1,05	a	3,9 ± 1,04
Mittel		6,1 ± 1,00			8,3 ± 1,06		7,2 ± 1,03

Unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Differenzen des Sortenmittels hin ($\alpha=0,05$; n.s.= nicht signifikant; *= $p<0,05$; **= $p<0,01$; ***= $p<0,001$)

3.3 Diskussion

In der vorliegenden Arbeit hatten die Blattläuse unterschiedliche Vermehrungsraten auf den Kartoffelsorten unter verschiedenen Bedingungen (Abbildung 9), d.h. die Anfälligkeit von den Kartoffelsorten war gegenüber den beiden Blattlausarten nicht gleich. Verschiedene Berichte in Europa und Amerika verdeutlichen, dass Kartoffelsorten unterschiedliche Anfälligkeiten gegen Blattläuse haben (ADAMS 1946; GIBSON 1974b; BINTCLIFFE 1981).

Bei den Augenstecklingen und im Semi-Freiland hatte die Grünstreifige Kartoffellaus höhere Vermehrungsraten als die Grüne Pfirsichblattlaus. In den In-Vitro-Kulturen war das Gegenteil der Fall. Ein Unterschied in der Reproduktionsrate der Grünen Pfirsichblattlaus (*M. persicae*) und der Grünstreifigen Kartoffellaus (*M. euphorbiae*) wurde an verschiedenen amerikanischen Kartoffelsorten von vielen Autoren bestätigt (MAUGHAN 1937; BURNHAM & MACLEOD 1942; ADAMS 1946; BRADLEY et al. 1952; DAVIS et al. 2007). Die eigenen Befunde decken sich mit Ergebnissen von DAVIS et al. (2007), der einen Versuch mit 49 nordamerikanischen Kartoffelsorten durchführte, um die Vermehrungsrate von *M. euphorbiae* und *M. persicae* zu vergleichen. In seinem Versuch zeigten die Kartoffelsorten erhebliche Unterschiede in der Anfälligkeit für die Blattlausarten.

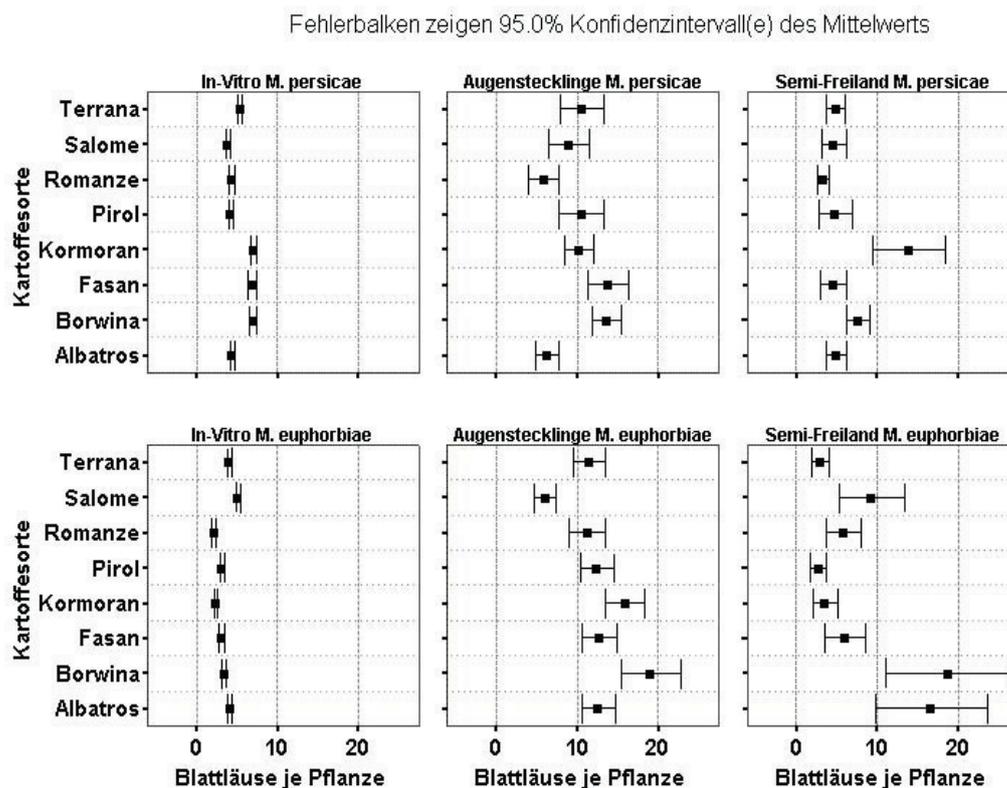


Abbildung 9: Vergleich der Kartoffelsorten und Methoden bezüglich der Anzahl an Blattläusen

In unseren Versuchen wurden an der Sorte Borwina besonders hohe Vermehrungen ermittelt. Auf der Sorte Romanze vermehrten sich beide Blattlausarten weniger stark. ADAMS (1946) hat im Vergleich mit 80 Kartoffelsorten gefunden, dass die Kartoffelsorte Katahdin sehr empfindlich gegen die Blattläuse war. Katahdin wurde 1948 als Standard in Kanada für das Vergleichen von Blattlausbefall auf verschiedenen Kartoffelsorten im Feld und im Gewächshaus verwendet (DIONNE 1948). Die Kartoffelsorte Kerr's Pink hatte eine geringere Anfälligkeit gegen die Blattläuse (*M. persicae*, *M. euphorbiae*) als andere Kartoffelsorten unter ähnlichen Bedingungen (WHITEHEAD et al. 1932).

Die Ursache für die unterschiedlichen Ergebnisse (Reproduktionsrate der Blattläuse) könnten die unterschiedlichen Inhaltsstoffe in den Kartoffelsorten sein. BERNAYS & CHAPMAN (1994) haben festgestellt, dass das Protein der wichtigste Nährstoff für phytophage Insekten ist und es am häufigsten der limitierende Nährstoff für ein optimales Wachstum der Insekten wird.

Unsere In-Vitro-Untersuchungen zeigen, dass sich die beiden Blattlausarten an den alten Kartoffelsorten und der Wildart *S. subpanduratum* um 17% bei *M. persicae* bzw. 24% bei *M. euphorbiae* im Vergleich zu den Cultivarsorten geringer vermehrt haben. Viele wilde Arten von *Solanum* haben im Allgemeinen wirksamen Widerstand gegen Blattläuse, insbesondere gegen die Blattlausart *M. persicae* (RADCLIFFE & LAUER 1968; TINGEY & SINDEN 1982; GIBSON & PICKETT 1983; FLANDERS et al. 1992, 1999; NOVY et al. 2002;). Die geringere Blattlausvermehrung an alten Kartoffelsorten entspricht Beobachtungen von LE ROUX et al. (2007). Die Autoren registrierten an den wilden Kartoffelarten *Solanum bukasovii* (Juz.) und *Solanum marinasense* (Vargas) eine um 26-30% geringere tägliche Vermehrung von *M. euphorbiae* und *M. persicae* im Vergleich zu der Cultivarsorte *Solanum tuberosum* cv. Désirée.

Bei unserer Untersuchung zeigte sich der geringste Mittelwert der Blattlausvermehrung an der Wildart *S. subpanduratum* mit 1,4. Die Pflanzen von *S. sub* hatten in unserem Versuch eine auffällig starke Behaarung an der Blattoberfläche verglichen mit den anderen Sorten. Daher liegt die Vermutung nahe, dass die Behaarung die Ursache für geringere Vermehrungsraten war. Übereinstimmend haben einige Autoren berichtet, dass die Behaarung an Wildarten von *Solanum* der Grund für den Widerstand gegen die Blattläuse ist (GIBSON 1971; TINGEY & LAUBENGAYER 1981; LAPOINTE & TINGEY 1984, 1986). Auch bei der Wildkartoffel *Solanum berthaultii* (Hawkes) beeinflusst die Blattbehaarung als Resistenzmechanismus die Reproduktion und Präferenz von Insekten wie dem Kartoffelkäfer *L. decemlineata* (ROPPEL 2007).

Zusammenfassend konnten wir, wie erwartet, Unterschiede in der Vermehrung an verschiedenen Sorten und im Vergleich zu alten und Wildsorten bestätigen. Zur Untersuchung der möglichen Ursachen, wie den Inhaltsstoffen und der Behaarung, wurden die weiteren Experimente durchgeführt, die in den folgenden Kapiteln beschrieben werden.

Der Vergleich der Methoden untereinander ergab oftmals bei gleichen Sorten größere Abweichungen in der Vermehrungsrate. Das ist wahrscheinlich auf unterschiedliche Entwicklungsbedingungen der Läuse zurückzuführen. Obwohl die abgesetzten Blattläuse stets gleich alt waren, fanden die Versuche in

unterschiedlichen Zeiträumen statt, so dass auftretende Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsschwankungen Auswirkungen auf die absoluten Höhen der Werte bei einer der untersuchten Methoden gehabt haben können. Die Methode „Augenstecklinge im Gewächshaus“ erschien am besten geeignet. Die Vermehrungsrate war höher bei den Augenstecklingen im Gewächshaus als bei In-Vitro, dadurch waren die Unterschiede zwischen den Sorten klarer zu erkennen. Die Schwankungen in der Vermehrungsrate auf den einzelnen Sorten waren größer bei Semi-Freiland als bei den Augenstecklingen. In folgenden Experimenten wurde die Augenstecklinge-Methode am häufigsten benutzt. Diese Methode war auch vorteilhaft, weil sie weniger arbeitsaufwändig ist und kein steriles Arbeiten erfordert.

4 Vermehrungsraten von *M. persicae* und *M. euphorbiae* auf verschiedenen Blattetagen

Die Populationsdynamik der Grüne Pfirsichblattlaus (*M. persicae*) steht im Zusammenhang mit dem physiologischen Alter der Pflanzenblätter. Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass Entwicklungsrate und Fruchtbarkeit der Blattläuse durch das Alter des Blatts beeinflusst werden (VAN EMDEN & BASHFORD 1969; WEARING 1972; JANSSON & SMILOWITZ 1985). Ebenfalls mehrere Studien zeigten, dass die Vermehrungsrate von *M. persicae* auf älteren Pflanzen oder Blättern höher als bei jüngeren Pflanzen oder Blättern war (TAYLOR 1955, 1962; HARREWIJN 1970; GIBSON 1971; NDERITU & MUEKE 1986). Die Akzeptanz der Pflanzen durch die Blattläuse hängt vom Entwicklungsstadium der Pflanzen oder der Blätter ab (ALVAREZ et al. 2006, 2007; ALVAREZ 2007). Die Grüngestreifte Kartoffelblattlaus (*M. euphorbiae*) vermehrt sich besser auf älteren Pflanzen oder Blättern (NDERITU & MUEKE 1986).

Das in diesem Kapitel beschriebene Experiment untersucht die Wirkung der Blattetagen von verschiedenen Kartoffelsorten auf die Vermehrungsrate der Blattlausarten *M. persicae* und *M. euphorbiae* im Einzelblatttest.

4.1 Material und Methoden

4.1.1 Anzucht der Blattlausarten

Ausgewählt wurden die Grüne Pfirsichblattlaus (*M. persicae*) und die Grüngestreifte Kartoffelblattlaus (*M. euphorbiae*), die an der Kartoffelsorte Adretta angezchtet wurden. Die Anzucht der Blattläuse erfolgt wie in Kapitel 3.1.1. beschrieben.

4.1.2 Versuchsanordnung

Zur Ermittlung der Präferenzen von *M. persicae* und *M. euphorbiae* an den acht Kartoffelsorten Albatros, Borwina, Fasan, Kormoran, Pirol, Romanze, Salome und Terrana wurde ein Versuch vom 02.02.2006 bis zum 12.04.2006 in einem Gewächshaus durchgeführt. Die Knollen von den acht Kartoffelsorten wurden in mit Einheitserde gefüllte Pflanztöpfe gesetzt. Mit 3-facher Wiederholung wurden die Pflanzen durch Mikroinsektenkäfige in 5 Blattetagen eingeteilt (Basal= erste

Blatttage, Untere= zweite Blatttage, Mittel= dritte Blatttage, Ober= vierte Blatttage und Apical= fünfte Blatttage). Auf jeder Testblatttage wurde eine ungeflügelte Blattlaus (adult) aufgesetzt. Die in der Abbildung 10 gezeigten Mikrokäfige wurden aus Kunststoffschalen gefertigt, deren Deckel und Boden ausgeschnitten und durch Gaze ersetzt wurden. Ein an der Seite angelegter und mit Watte abgedichteter Schlitz ermöglichte eine absolute Isolierung der darin gehaltenen Blattläuse. 12 Tage nach dem Versuchsbeginn wurden die Anzahl der überlebenden Blattläuse und ihre Vermehrung festgehalten.



Abbildung 10: Mikrokäfige zur Isolierung der Blattläuse auf 5 Blatttagen

4.1.3 Statistische Auswertung

Standardabweichung und 95% Konfidenzintervall für die Vermehrungsrate wurden mit Hilfe des Programms SPSS (Version 15 für Windows) berechnet. Die Ergebnisse wurden als Mittelwert \pm Standardabweichung dargestellt. Unterschiede zwischen Blatttagen und Kartoffelsorten wurden mit Varianzanalyse (ANOVA, $\alpha = 0,05$) getestet. Bei statistisch signifikanten Unterschieden wurde anschließend ein Student-Newman-Keuls-Vergleich innerhalb und zwischen den Kartoffelsorten und Blatttagen durchgeführt. Für die varianzanalytischen Verrechnungen wurden folgende Signifikanzniveaus

angenommen: ***sehr hoch signifikant $p < 0,001$, **hoch signifikant $p < 0,01$, *signifikant $p < 0,05$, n.s. nicht signifikant $p \geq 0,05$.

Die Vermehrungsrate wurde nach folgender Formel berechnet:

$$\text{Vermehrungsrate} = \frac{\text{Anzahl der abgesetzten Blattläuse nach 12 Tagen/Mikrokäfig}}{\text{Anzahl der aufgesetzten Blattläusen / Mikrokäfig}}$$

4.2 Ergebnisse

4.2.1 *M. persicae*

Die Vermehrung auf den Blattetagen unterschied sich statistisch signifikant ($p < 0,001$) voneinander (Tabelle 10). Insgesamt wurde die höchste Vermehrungsrate von *M. persicae* auf den älteren Blättern mit 5,4 Blattläusen je Blattetage auf erstem Blattstadium (Basal) bzw. 6,4 Blattläusen je Blattetage auf zweitem Blattstadium (Untere) festgestellt. Die geringste Vermehrungsrate fand auf den jüngeren Blättern mit 2 Blattläusen je Blattetage auf viertem und fünftem Blattstadium (Ober und Apical) statt.

Bei allen geprüften Kartoffelsorten hatte *M. persicae* auf den alten Blättern eine höhere Vermehrungsrate als auf den jungen Blättern (Abbildung 11). Die Vermehrungsrate von *M. persicae* auf den 5 Blattetagen unterschied sich bei den Kartoffelsorten Borwina, Albatros, Fasan, Romanze, Pirol und Salome statistisch signifikant. Insgesamt war die geringste Vermehrungsrate von *M. persicae* bei Romanze mit 2 und die höchste Vermehrungsrate bei Fasan mit 5,7 (Abbildung 12).

Tabelle 10: Mittlere Vermehrung der Blattläuse auf den 5 Blattetagen (12 Tagen nach Versuchsbeginn, $\bar{X} \pm SD$; einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA)

Kartoffelsorte	Albatros	Borwina	Fasan	Kormoran	Pirol	Romanze	Salome	Terrana											
<i>M. persicae</i>	n	n	n	n	n	n	n	n											
Basal	3	4,0 ± 0,0	b	3	7,0 ± 1,7	a	3	5,3 ± 2,3	3	4,3 ± 1,5	b	3	2,7 ± 0,6	bc	3	6,0 ± 1,0	c	3	7,0 ± 3,6
Untere	3	4,3 ± 1,5	b	3	7,0 ± 1,7	b	3	7,0 ± 3,0	3	4,3 ± 0,6	b	3	3,7 ± 1,2	c	3	4,7 ± 0,6	bc	3	7,7 ± 4,5
Mittel	3	1,7 ± 0,6	a	3	5,0 ± 2,0	ab	3	3,0 ± 1,7	3	1,0 ± 0,0	a	3	1,0 ± 0,0	ab	3	3,3 ± 0,6	ab	3	5,0 ± 2,0
Ober	3	1,3 ± 0,6	a	3	2,7 ± 0,6	a	3	3,0 ± 3,0	3	1,0 ± 0,0	a	3	0,7 ± 0,6	a	3	1,7 ± 0,6	a	3	2,7 ± 0,6
Apical	3	1,7 ± 0,6	a	3	2,3 ± 0,6	a	3	1,7 ± 0,6	3	1,0 ± 0,0	a	3	2,0 ± 1,0	abc	3	2,0 ± 1,0	a	3	2,0 ± 1,7
Mittel		2,6 ± 1,5			4,7 ± 2,4			4,0 ± 2,8		2,3 ± 1,8			2,0 ± 1,3			3,5 ± 1,8			4,9 ± 3,4

<i>M. euphorbiae</i>	n	n.s.	n	***	n	n.s.	n	n.s.	n	n.s.	n	n	n.s.	n	n	n.s.	n	n	n	n
Basal	3	4,7 ± 2,9		3	3,3 ± 1,5	a	3	6,0 ± 3,5	3	2,3 ± 1,5	3	2,0 ± 1,7	3	0,3 ± 0,6	3	1,7 ± 2,1	3	1,0 ± 1,0	3	1,0 ± 1,0
Untere	3	5,3 ± 3,1		3	6,3 ± 2,5	a	3	9,3 ± 4,9	3	4,0 ± 2,6	3	2,3 ± 1,5	3	1,0 ± 1,0	3	4,3 ± 4,9	3	2,0 ± 1,7	3	2,0 ± 1,7
Mittel	3	8,0 ± 5,0		3	6,7 ± 4,2	a	3	2,7 ± 1,5	3	5,0 ± 2,6	3	1,3 ± 0,6	3	2,0 ± 1,7	3	3,7 ± 1,2	3	1,0 ± 0,0	3	1,0 ± 0,0
Ober	3	14,7 ± 4,2		3	15,3 ± 1,5	b	3	7,3 ± 6,4	3	6,7 ± 0,6	3	5,7 ± 3,1	3	3,0 ± 1,7	3	3,3 ± 3,5	3	3,0 ± 0,0	3	3,0 ± 0,0
Apical	3	9,3 ± 5,7		3	16,3 ± 2,1	b	3	14 ± 4,4	3	7,0 ± 3,5	3	5,0 ± 1,0	3	3,3 ± 0,6	3	5,3 ± 3,5	3	4,7 ± 1,2	3	4,7 ± 1,2
Mittel		8,4 ± 5,2			9,6 ± 5,8			7,9 ± 5,4		5,0 ± 2,7		3,3 ± 2,3		1,9 ± 1,6		3,7 ± 3,1				2,3 ± 1,7

Unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Differenzen der Blattetagen hin ($\alpha=0,05$; n.s.= nicht signifikant $p \geq 0,05$; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$, SNK-Test).

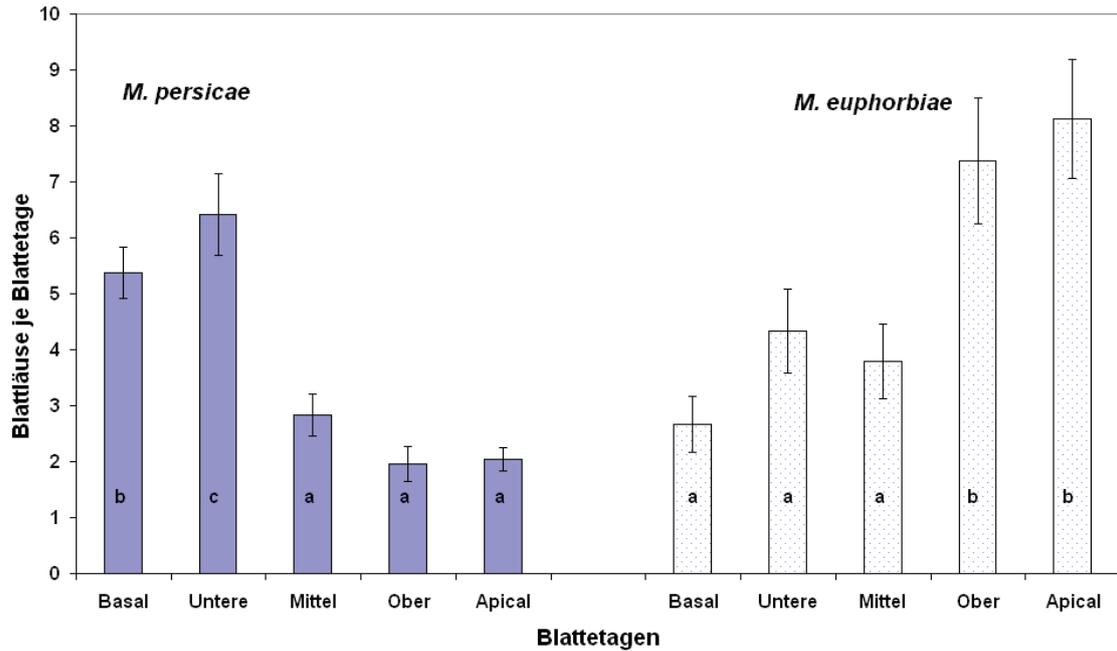


Abbildung 11: Vermehrungsrate von *M. persicae* und *M. euphorbiae* auf den 5 Blattstadien (Mittelwert \pm SE, unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Differenzen der Blattstagen hin, SNK-Test, $\alpha < 0.05$)

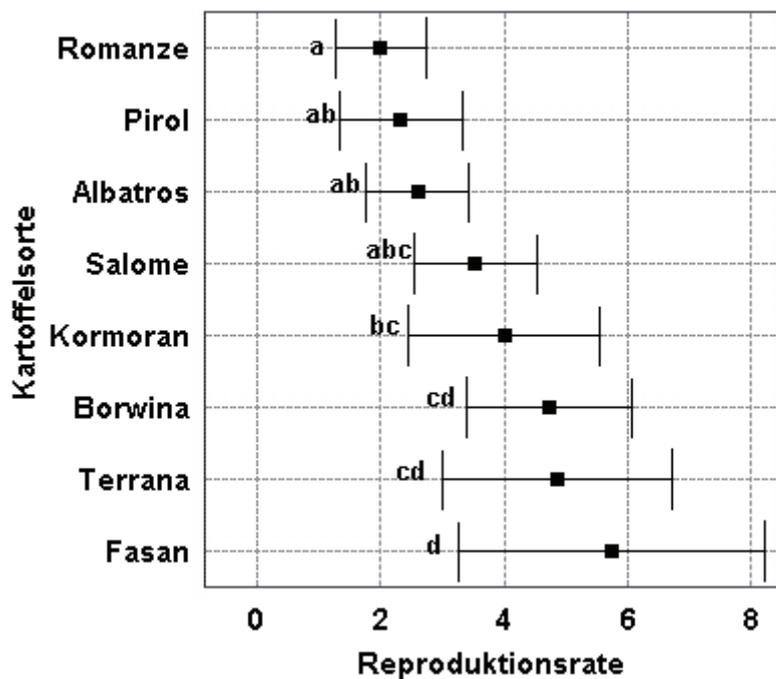


Abbildung 12: Vergleich der Kartoffelsorten bezüglich der Vermehrung der Blattlaus *M. Persicae* (Mittelwert und 95% Konfidenzintervall, unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Differenzen der Sorten hin, SNK-Test, $\alpha < 0.05$)

4.2.2 *M. euphorbiae*

Die Vermehrung auf den Blattetagen der geprüften Kartoffelsorten unterschieden sich statistisch signifikant ($p < 0,001$) voneinander (Tabelle 10). Insgesamt trat die höchste Vermehrungsrate von *M. euphorbiae* auf den jüngeren Blättern mit 7,4 Blattläusen je Blattetage auf dem vierten Blatt (Ober) bzw. 8,1 Blattläusen je Blattetage auf dem fünften Blatt (Apical) auf (Abbildung 11). Die geringste Vermehrungsrate wurde auf den älteren Blättern mit 2,7 Blattläusen je Blattetage auf dem ersten Blatt (Basal) bzw. 4,3 Blattläusen je Blattetage auf dem zweiten Blatt (Untere) beobachtet.

Die Vermehrungsrate von *M. euphorbiae* auf den jüngeren Blattetagen war bei den Kartoffelsorten Terrana und Borwina statistisch signifikant höher. Insgesamt waren die geringste Vermehrungsrate von *M. euphorbiae* bei Romanze (1,9) und die höchste Vermehrungsrate bei Borwina (9,6) zu finden (s. Abbildung 13).

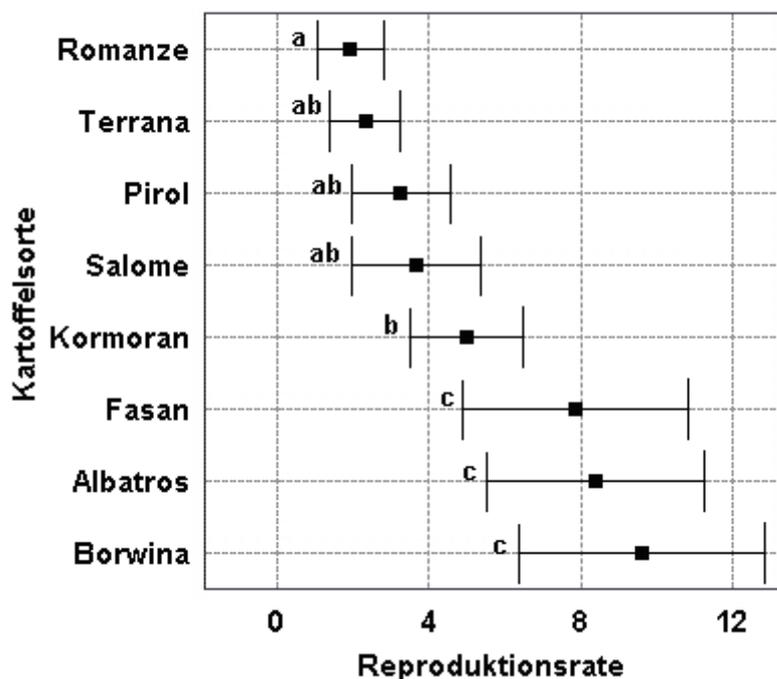


Abbildung 13: Vergleich der Kartoffelsorten bezüglich der Vermehrung der Blattlaus *M. euphorbiae* (Mittelwert und 95% Konfidenzintervall, unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Differenzen der Sorten hin, SNK-Test, $\alpha < 0,05$)

4.3 Diskussion

Der Einfluss der Kartoffelsorten und der Blattetagen auf die Vermehrungsrate von *M. persicae* und *M. euphorbiae* wurde unter Gewächshausbedingungen untersucht. Auf jeder geprüften Kartoffelsorte war die Vermehrungsrate von *M. persicae* auf den alten Blättern höher als auf den jungen Blättern. Ein ähnliches Ergebnis wurde wiederholt in Feldversuchen mit *M. persicae* auf verschiedenen Kartoffelsorten gefunden (BRADLEY 1952; SHANDS et al. 1954; JANSSON & SMILOWITZ 1985; NDERITU & MUEKE 1986). Das Bevorzugen der unteren Blätter hat seine Ursache im Alter der Blätter (TAYLOR 1955, 1962). Auch ALVAREZ et al. 2006 haben gefunden, dass der Widerstand gegen Blattläuse in Kartoffel *S. tuberosum* L. cv. Kardal stark von der Entwicklung der Blattstadien abhängt. Diese Sorte hat eine hohe Resistenz gegen Blattläuse *M. persicae* bei jungen apikalen Blättern, aber bei den älteren und reifen Blättern ist diese Sorte anfällig gegenüber *M. persicae*. Wegen der Bevorzugung der alternden Blätter durch *M. persicae* bildeten sich stärkere Populationen auf der Frühsorte Arran Pilot im Vergleich zu den anderen geprüften britischen Kartoffelsorten Ulster Chieftain, Stormont Dawn u. King Edward, da bei dieser Sorte alternde Blätter zuerst vorhanden sind (TAYLOR 1962).

Das Wirtsalter und die Ernährungsbedingungen der Blattläuse sind die Haupteinflussfaktoren für die Morphenbildung (CARTER et al. 1980). HONEK & MARTINKOVA (2004) haben festgestellt, dass das Wirtspflanzenalter eine wichtige Rolle bei der Entwicklung der Blattlausart Bleiche Getreideblattlaus, *Metopolophium dirhodum* (Walker) spielen kann.

Bei alten Blättern verändert sich die Phloemsaftstruktur von überwiegend Kohlenhydraten zu überwiegend Aminosäuren (THOMAS & STODDART 1980). KENNEDY (1958) leitet theoretisch ab, dass die Blattläuse die alten Blätter bevorzugen, weil diese einen größeren Amin- Stickstoffgehalt haben. Weil es einen positiven Zusammenhang zwischen der Vermehrungsrate von *M. persicae* und dem Stickstoffgehalt der Pflanzen gibt (WOOLDRIDGE & HARRISON 1968; DIXON 1970), ist es einleuchtend, dass die Vermehrungsrate von *M. persicae* auf den unteren Blättern sehr hoch ist, weil die unteren Blätter einen hohen Amin- und Stickstoffgehalt im Phloemsaft haben. Das bestätigt die

Behauptung, dass die Vermehrungsrate von *M. persicae* auf Kartoffeln von der physiologischen Entwicklung der Blätter abhängt (TAYLOR 1962).

Die Vermehrungsrate von *M. euphorbiae* war auf den jungen Blättern höher als auf den alten Blättern. Diese eigenen Befunde decken sich mit Ergebnissen von TAYLOR (1962) und DUNCAN & COUTURE (1956) zitiert in BOITEAU (1997). TAYLOR (1962) hat festgestellt, dass die höchste Vermehrungsrate von *M. euphorbiae* auf den jüngsten Blättern der untersuchten Kartoffelsorten King Edward und Stormont Dawn zu finden war. LE ROUX et al. (2008) beobachtete das Ernährungsverhalten der Blattläuse *M. euphorbiae* und *M. persicae* an den Wildkartoffelarten *Solanum chomatophilum* (Bitter) und *Solanum stoloniferum* (Schltld. & Bouché). Der Autor zeigte eine Mortalität der Larven von *M. euphorbiae* an den reifen Blättern bei der Kartoffelart *S. chomatophilum*, obwohl die adulten Blattläuse von *M. euphorbiae* den Phloemsaft gut saugen konnten. *M. euphorbiae* und *M. persicae* wurden bei allen geprüften Kartoffelsorten an der Blattunterseite beobachtet. NORRIS & BALD (1943) und BRADLEY (1952) vermuten, dass die adulten Blattläuse von *M. euphorbiae* bei nachteiligen Wetterbedingungen einen Schutz auf der Blattunterseite suchen.

In der vorliegenden Arbeit verhielt *M. euphorbiae* sich anders als *M. persicae*. Das ist vermutlich darauf zurück zu führen, dass es einen Unterschied in der Ernährungsqualität zwischen alten und jungen Blättern gab. Dieses Ergebnis bestätigt die Theorie von PETERSSON et al. (2007). Die Autoren berichteten, dass die Phloemsaftstruktur sich in Pflanzen verändert. Zum Beispiel steigt die Konzentration von einigen Aminosäuren während des Tages an und am Abend nimmt sie ab. DOMEK et al. (1995) und DAVIS et al. (2007) berichteten, dass der Proteingehalt und die Aminosäurekonzentration bei den jungen Kartoffelblättern höher als bei den alten Kartoffelblättern waren.

Die Ergebnisse dieses Kapitels sind wichtig für die Erfassung und Beurteilung von Befallsverläufen der verschiedenen Blattlausarten. Präferenzen für bestimmte Inhaltsstoffe und deren Konzentrationen müssen bei den weiteren Arbeiten und der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden.

5 Sortenwahl von *M. persicae* und *M. euphorbiae*

Insekten suchen ihre Wirtspflanzen zur Nahrungsaufnahme und Eiablage auf. Die Nahrungsqualität der Wirtspflanze muss für die Schädlinge geeignet sein. Geflügelte Blattläuse, z. B. von der Schwarzen Bohnenblattlaus *Aphis fabae* (Scop.), entscheiden innerhalb kurzer Zeit nach dem ersten Kontakt mit der Pflanze, ob sie diese als Wirt annehmen und sich ansiedeln oder sie unter dem Einfluss wirksamer Antixenosis-Mechanismen als Wirt ablehnen und verlassen (MÜLLER 1962). Auch ungeflügelte Blattläuse zeigen an Wirts- und Nichtwirtspflanzen deutlich voneinander abweichende Verhaltensmuster, was KLINGAUF (1970, 1975) mit der Erbsenblattlaus (*Acyrtosiphon pisum*, Harris) feststellte. Ziel der Versuche, die im folgenden Kapitel beschrieben werden, war es festzustellen, wie die verschiedenen Kartoffelsorten die Sortenwahl der Blattläuse bestimmen bzw. ob bei den geprüften Kartoffelsorten Unterschiede auftraten.

5.1 Material und Methoden

Zur Ermittlung der durchschnittlichen Besiedlung der 8 Kartoffelsorten Albatros, Borwina, Fasan, Kormoran, Pirol, Romanze, Salome und Terrana durch *M. persicae* und *M. euphorbiae* wurden 2007 Gewächshaus- und Semi-Freilandversuche durchgeführt. Die Anzucht der Blattläuse erfolgte wie im Kapitel 3.1.1. beschrieben. Den Blattläusen *M. persicae* und *M. euphorbiae* wurden jeweils gleichzeitig 8 verschiedene Kartoffelsorten zur Auswahl angeboten. Jede Pflanze wurde mit einer geflügelten Adulte besetzt.

Für die Sortenwahl der Blattläuse wurde bei allen Versuchen ein einheitlicher Zeitraum gewählt. 12 Tage nach dem Versuchsbeginn wurden die Anzahl der überlebenden Blattläuse und ihre Vermehrung festgehalten.

5.1.1 Sortenwahl im Gewächshaus

Im Versuch wurde die Methode der Augenstecklinge und Insektenkäfige im Gewächshaus verwendet (s. Kapitel 3.1.4). Acht Versuchspflanzen wurden in einem Isolierkäfig aufgestellt, so dass in jeden Insektenkäfigen jeweils alle 8

untersuchten Sorten vorhanden waren. Für jede Blattlausart wurde diese Anlage 4-fach wiederholt. Jede Pflanze in den Käfigen wurde mit einer geflügelten adulten Blattlaus besetzt (Abbildung 14).



Abbildung 14: Die Insektenkäfige im Gewächshaus

5.1.2 Sortenwahl unter Semi-Freilandbedingungen

Der Versuch erfolgte in zweifacher Ausführung in großen Gazekäfigen als Semi-Freilandversuch in der Zeit vom 7.06.2007 bis zum 2.07.2007. Die Insektenkäfige hatten die Abmessungen von 80 x 80 x 150 cm (Abbildung 15). Die Knollen von den 8 Kartoffelsorten wurden in mit Einheitserde gefüllte Mitscherlichgefäße gesetzt. Die Maße der Gefäße betragen (H x Ø)= 16 cm x 20 cm. Acht Versuchspflanzen (pro untersuchte Kartoffelsorte eine Pflanze) wurden in einem Gazekäfig aufgestellt, pro Blattlausart wurde dieser Gazekäfig 4-fach wiederholt. Jede Pflanze wurde mit einer geflügelten adulten Blattlaus besetzt.



Abbildung 15: Die Gazekäfige im Semi-Freiland

5.1.3 Statistische Auswertung

95% Konfidenzintervalle wurden mit Hilfe des Programmes SPSS (Version 15 für Windows) berechnet. Die statistischen Ergebnisse beruhen auf einfaktoriellen Varianzanalysen. Mittelwertvergleiche erfolgten dabei unter Nutzung des Student-Newman-Keuls-Test. Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0,05$ festgelegt. Signifikanzen sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet. Zur feineren Unterscheidung werden teilweise Sternchen verwendet, wobei gilt: * ist signifikant mit $p < 0,05$ und ** ist hochsignifikant mit $p < 0,01$. Die Vermehrungsrate wurde nach folgender Formel berechnet:

$$\text{Vermehrungsrate} = \frac{\text{Anzahl der abgesetzten Blattläuse nach 12 Tagen/Pflanze}}{\text{Anzahl der aufgesetzten Blattläusen / Pflanze}}$$

5.2 Ergebnisse

5.2.1 Sortenwahl im Gewächshaus

Die Ergebnisse der Auswahlversuche sind in Tabelle 11 und Abbildung 16 dargestellt.

5.2.1.1 *M. persicae*

Die durchschnittliche Vermehrungsrate von *M. persicae* lag bei den geprüften Kartoffelsorten zwischen 6 und 13 Blattläusen/Pflanze. Insgesamt betrug die durchschnittliche Vermehrungsrate von *M. persicae* 9 Blattläuse/Pflanze. Die Kartoffelsorten unterschieden sich statistisch signifikant voneinander. Die Kartoffelsorten Kormoran und Terrana mit 12,5 Blattläusen/Pflanze bzw. 11,7 Blattläusen/Pflanze wiesen gegenüber den übrigen Kartoffelsorten statistisch signifikant höhere Vermehrungsraten auf.

5.2.1.2 *M. euphorbiae*

Die durchschnittliche Vermehrungsrate von *M. euphorbiae* liegt bei den geprüften Kartoffelsorten zwischen 12 und 20 Blattläusen/Pflanze. Insgesamt betrug die durchschnittliche Vermehrungsrate von *M. euphorbiae* 15,2 Blattläuse/Pflanze. Bei diesem Versuch konnten Unterschiede in der Auswahl der Kartoffelsorten nachgewiesen werden. Die Kartoffelsorten Salome und Fasan mit 19,6 Blattläusen/Pflanze bzw. 19,3 Blattläusen/Pflanze wiesen gegenüber den Sorten Terrana, Pirol, Romanze und Albatros statistisch signifikant höhere Vermehrungsraten auf. Auch die Kartoffelsorten Albatros und Romanze ließen sich mit geringen Vermehrungsraten von ca. 12 Blattläusen/Pflanzen statistisch signifikant abgrenzen. Die übrigen Kartoffelsorten unterschieden sich nicht signifikant voneinander.

Tabelle 11: Mittlere Besiedlung der Blattläuse auf den Kartoffelsorten unter Gewächshausbedingungen 2007 (n= Anzahl der Pflanzen im Test, einfaktorielles Varianzanalyse, UNIANOVA, SNK-Test)

Blattlausart	n	Kartoffelsorte	Versuchszeit			Mittel	
			8.02–19.02	15.02–26.02	1.03-12.03		
<i>M. persicae</i>						***	
	12	Albatros	9	8	7	7,9	ab
	12	Borwina	9	9	10	9,0	ab
	12	Fasan	14	8	10	10,3	bc
	12	Kormoran	10	15	13	12,5	c
	12	Pirol	10	6	8	7,8	ab
	12	Romanze	6	7	7	6,3	a
	12	Salome	7	5	7	6,2	a
	12	Terrana	15	11	10	11,7	c
Mittel			10	8	9	9,0	
<i>M. euphorbiae</i>						***	
	12	Albatros	14	10	12	11,8	a
	12	Borwina	17	18	18	17,5	bc
	12	Fasan	23	17	19	19,3	c
	12	Kormoran	17	12	16	15,0	abc
	12	Pirol	14	14	12	13,3	ab
	12	Romanze	12	10	15	12,1	a
	12	Salome	21	19	19	19,6	c
	12	Terrana	14	11	15	13,3	ab
Mittel			17	14	16	15,2	

Unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Differenzen des Sortenmittels hin ($\alpha=0,05$; n.s.= nicht signifikant; *= $p<0,05$; **= $p<0,01$; ***= $p<0,001$)

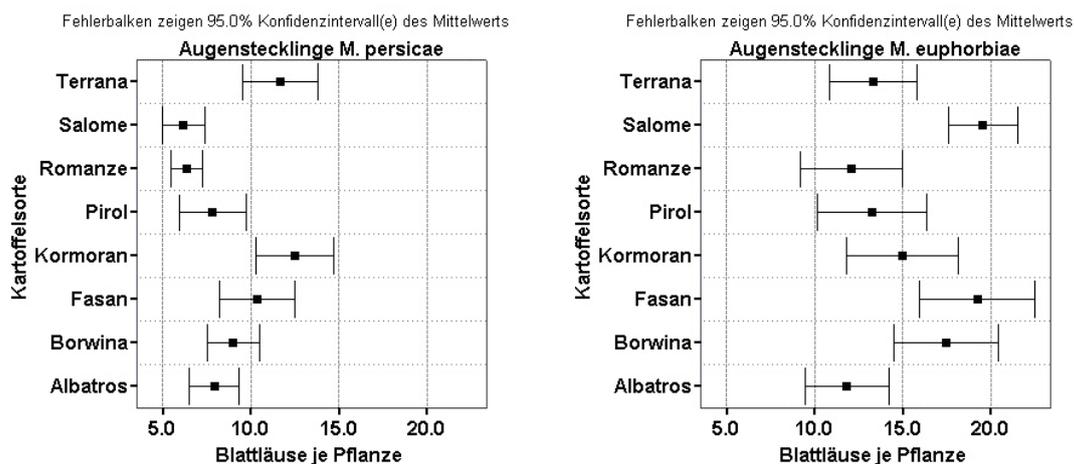


Abbildung 16: Vergleich der Kartoffelsorten bezüglich der Besiedlung durch die Blattläuse im Gewächshaus 2007

5.2.2 Sortenwahl unter Semi-Freilandbedingungen

Die Ergebnisse der Auswahlversuche von 2007 sind in Tabelle 12 und Abbildung 17 dargestellt.

5.2.2.1 *M. persicae*

Die durchschnittliche Vermehrungsrate von *M. persicae* lag bei den geprüften Kartoffelsorten zwischen 1 und 6 Blattläusen/Pflanze. Insgesamt betrug die durchschnittliche Vermehrungsrate von *M. persicae* 3,3 Blattläuse/Pflanze. Es traten in keinem der Versuche signifikante Unterschiede in der Besiedlung der untersuchten Kartoffelsorten auf. Die stärkste Besiedlung von *M. persicae* war auf den Sorten Fasan und Borwina mit 6 Blattläusen/Pflanze bzw. 5 Blattläusen/Pflanze zu beobachten. Die geringste Besiedlung von *M. persicae* war auf der Sorte Romanze mit 1,1 Blattläusen/Pflanze zu finden.

5.2.2.2 *M. euphorbiae*

Die durchschnittliche Vermehrungsrate von *M. euphorbiae* lag bei den geprüften Kartoffelsorten zwischen 1 und 4 Blattläusen/Pflanze. Insgesamt betrug die durchschnittliche Vermehrungsrate von *M. euphorbiae* 2,7 Blattläuse/Pflanze. Bei diesem Auswahlversuch konnten Unterschiede in der Auswahl der Kartoffelsorten nachgewiesen werden. Die Kartoffelsorten Terrana mit 0,9 Blattläusen/Pflanze wies gegenüber den Sorten Kormoran, Fasan, Salome und Borwina statistisch signifikant niedrigere Vermehrungsraten auf. Die übrigen Kartoffelsorten unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Die stärkste Besiedlung von *M. euphorbiae* trat auf den Sorten Borwina und Salome mit 4 Blattläusen/Pflanze auf. Die geringste Besiedlung von *M. euphorbiae* war auf der Sorte Terrana mit 0,9 Blattläusen/Pflanze zu beobachten.

Tabelle 12: Mittlere Besiedlung der Blattläuse auf den Kartoffelsorten unter Semi-Freilandbedingungen 2007 (n= Anzahl der Pflanzen im Test, einfaktorische Varianzanalyse, UNIANOVA, SNK-Test)

Blattlausart	n	Kartoffelsorte	Blattläuse/Pflanze (12 Tage nach Versuchsbeginn)		Mittel
			Versuchszeit		
			21.06-02.07.2007	7.06-18.06.2007	
<i>M. persicae</i>					n.s.
	8	Albatros	2	1	1,8
	8	Borwina	9	1	5,1
	8	Fasan	3	9	6,0
	8	Kormoran	7	3	4,7
	8	Pirol	4	2	2,7
	8	Romanze	2	0	1,1
	8	Salome	3	1	1,8
	8	Terrana	2	5	3,5
Mittel			4	3	3,3
<i>M. euphorbiae</i>					*
	8	Albatros	2	3	2,6 ab
	8	Borwina	3	5	4,0 b
	8	Fasan	4	2	3,1 b
	8	Kormoran	2	4	3,0 b
	8	Pirol	3	2	2,0 ab
	8	Romanze	2	2	2,1 ab
	8	Salome	4	4	3,7 b
	8	Terrana	1	1	0,9 a
Mittel			3	3	2,7

Unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Differenzen des Sortenmittels hin ($\alpha=0,05$; n.s.= nicht signifikant; *= $p<0,05$; **= $p<0,01$; ***= $p<0,001$)

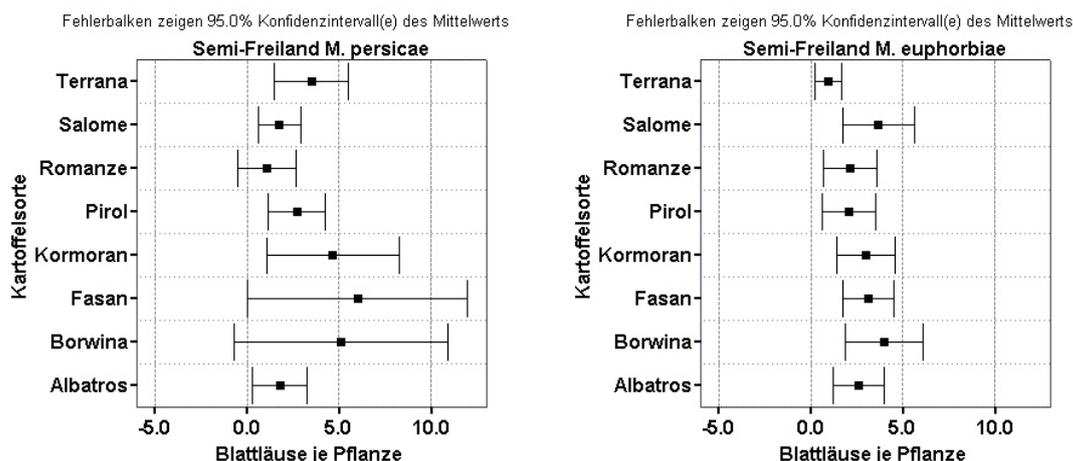


Abbildung 17: Vergleich der Kartoffelsorten bezüglich der Besiedlung durch die Blattläuse unter Semi-Freilandbedingungen 2007 (Mittelwert und 95% Konfidenzintervall)

5.3 Diskussion

Die unterschiedliche Bevorzugung von Kartoffelsorten durch Blattläuse wird in der Literatur vielfach erwähnt (WHITEHEAD et al. 1932; ADAMS 1946; DAVIS et al. 2007). Die Ergebnisse zu *M. persicae* im Gewächshaus- und Semi-Freilandversuche sowie *M. euphorbiae* im Semi-Freilandversuche zeigten, dass die Vermehrungsrate der ungeflügelten Adulten (Kapitel 3) höher ist als die der geflügelten Adulten. Das stimmt mit Aussagen von DIXON & WRATTEN (1971), MACKAY & WELLINGTON (1975) sowie KUO-SELL (1991) überein. DIXON & WRATTEN (1971) sowie MACKAY & WELLINGTON (1975) vermuten, dass die Flügelausbildung zu lasten der Fruchtbarkeit geht.

Unsere Versuche zum Vergleich der Vermehrungsrate von den geflügelten Blattlausarten *M. persicae* und *M. euphorbiae* im Gewächshaus und im Semi-Freiland zeigten, dass *M. euphorbiae* die Kartoffelsorten Salome, Fasan und Borwina sowohl im Semi-Freiland als auch im Gewächshausversuch bevorzugt hat. Dagegen hat *M. persicae* im Gewächshaus- und im Semi-Freilandversuch die Kartoffelsorten Fasan und Kormoran bevorzugt. *M. euphorbiae* wies eine niedrige Besiedlung auf den Kartoffelsorten Pirol und Romanze auf. Im Gegensatz dazu besiedelte *M. persicae* die Kartoffelsorten Salome und Romanze geringer. Die eigenen Befunde decken sich mit Ergebnissen von KENNEDY & BOOTH (1951) und KENNEDY (1958), die ebenfalls unter verschiedenen Bedingungen eine Ernährungsbevorzugung von *M. persicae* aufzeigten. Aber BALD et al. (1946) fanden keinen Beweis dafür, dass die untersuchten Blattläuse Kartoffelsorten bevorzugen.

Um die Bevorzugung der Blattläuse besser zu erklären, wurden verschiedene Theorien aufgestellt. IRWIN et al. 2007 zeigten, dass die Blattläuse wegen unterschiedlicher physikalischer und chemischer Wirtspflanzeigenschaften eine Sorte mehr als die andere bevorzugen. Die physikalischen und chemischen Pflanzeigenschaften haben großen Einfluss auf die Blattlauswanderung, so z. B. Pflanzenstruktur (HODGSON & ELBAKHEIT 1985), Behaarung (GUNASINGHE et al. 1988; IRWIN & KAMPMEIER 1989), Blattwachstum (BERGMAN et al. 1991; POWELL et al. 1999). Die Qualitäts- und

Strukturänderungen der Wirtspflanzen reizen die Blattläuse, andere Pflanzen aufzusuchen (HODGSON 1991; BAILEY et al. 1995; HAILE 2001; ZHANG 2002).

Unter Gewächshausbedingungen betrug die durchschnittliche Vermehrungsrate von *M. euphorbiae* 15,2 bzw. von *M. persicae* 9. Aber unter Semi-Freilandbedingungen betrug die durchschnittliche Vermehrungsrate von *M. euphorbiae* 2,7 bzw. *M. persicae* 3,3, was sich mit Beobachtungen von HIGHLAND & ROBERTS (1984) deckt. Die Autoren zeigen, dass die Besiedlung von *A. craccivora* an der Erdnuss (*Arachis hypogaea* L.) und Sojabohne (*Glycine max* L.) unter Laborbedingungen sehr hoch war. Aber *A. craccivora* erreichte nur geringe Besiedlungswerte an den geprüften Sorten unter Feldversuchsbedingungen.

In unseren Versuchen traten klarere Unterschiede in der Vermehrungsrate der beiden Blattlausarten zwischen den Sorten im Gewächshaus auf als im Semi-Freilandversuch.

Die unterschiedliche Besiedlung der geprüften Kartoffelsorten durch Blattläuse zeigt, dass die Blattläuse bestimmte Kartoffelsorten bevorzugt besiedeln. In weiteren Schritten müssen Sortenmerkmale hinsichtlich ihres Einflusses auf die Blattlausbesiedlung untersucht werden.

6 Lebensdauer und Fruchtbarkeit von *M. persicae* und *M. euphorbiae* im Gewächshaus

Anhand der Lebensdauer und Fruchtbarkeit adulter Blattläuse der Arten *M. persicae* und *M. euphorbiae* auf acht Kartoffelsorten bis zum Tod der Tiere sollte untersucht werden, ob beide Merkmale durch die verschiedenen Sorten beeinflusst werden.

6.1 Material und Methoden

Die Lebensdauer und Fruchtbarkeit der Blattlausarten *M. persicae* und *M. euphorbiae* wurden unter Gewächshausbedingungen ermittelt. Die Gesamtlebensdauer der Aphiden *M. persicae* und *M. euphorbiae* und deren Vermehrung wurden an den Kartoffelsorten Albatros, Borwina, Fasan, Kormoran, Pirol, Romanze, Salome und Terrana untersucht. Die Augenstecklinge von den 8 Kartoffelsorten wurden in mit Einheitserde gefüllte Pflanztöpfe gesetzt. Die Maße der Töpfe betragen 7 x 7 x 8 cm. Für diesen Versuch wurden Insektenkäfige (MÜLLER 1954) verwendet.

Bei dem Versuch wurden 4 Töpfe je Sorte in einem Käfig isoliert. Je Topf wurde eine Pflanze mit einer ungeflügelten adulten Blattlaus besetzt. Täglich wurden die abgesetzten Jungläuse gezählt und dann entfernt, bis die Mutterlaus starb.

6.1.1 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mit dem Statistical Analysis System (SPSS Version 15 für Windows) durchgeführt. Die Varianzanalysen erfolgten mittels der Prozedur GLM und die univariaten Mittelwertvergleiche mit dem Student-Newman-Keuls-Test bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5%. Mit Hilfe des Programms Curve Expert 1,38 (HYAMS 2005) wurde eine logistische Funktion benutzt, um die Blattlausvermehrung zu modellieren.

6.2 Ergebnisse

6.2.1 *M. persicae*

Die Lebensdauer von *M. persicae* betrug im Mittel 27 Tage. Die einzelnen Kartoffelsorten variierten statistisch signifikant (Tabelle 13). Die höchste Lebensdauer wurde bei der Sorte Terrana mit 30 Tagen gemessen. Die geringste Lebensdauer trat bei den Sorten Salome und Kormoran mit 22 Tagen auf. Bei den anderen geprüften Kartoffelsorten lag die durchschnittliche Lebensdauer im Bereich von 28 bis 29 Tagen.

Die durchschnittliche Anzahl abgesetzter Jungläuse von *M. persicae* betrug 36 Jungläuse/Mutterlaus und die Kartoffelsorten unterschieden sich statistisch signifikant voneinander. Die höchste Anzahl abgesetzter Jungläuse trat bei der Sorte Fasan mit 66 Jungläusen/Mutterlaus auf und die geringste Anzahl abgesetzter Jungläuse bei der Sorte Romanze mit 15 Jungläusen/Mutterlaus. Bei den anderen geprüften Kartoffelsorten lag die durchschnittliche Anzahl abgesetzter Jungläuse im Bereich von 29 bis 48 Jungläusen/Mutterlaus. Im Durchschnitt betrug die tägliche Anzahl abgesetzter Jungläuse 1,34 Jungläuse/Mutterlaus.

Differenzen in der Zahl der täglich abgesetzten Jungläuse zeigten sich insbesondere in den letzten zehn Reproduktionstagen (Abbildung 18). Die höhere Fruchtbarkeit an der Sorte Fasan beruhte demnach nicht nur auf einer längeren Reproduktionszeit, sondern auch auf einer höheren Anzahl täglich abgesetzter Nachkommen mit 2,4 Jungläusen/Mutterlaus. Die Sorte Romanze hatte die geringste tägliche Fruchtbarkeit mit 0,5 Jungläusen/Mutterlaus. Bei den anderen geprüften Kartoffelsorten schwankten die täglich abgesetzten Jungläuse von 1 bis 1,7 Jungläuse/Mutterlaus.

Tabelle 13: Mittlere Lebensdauer, Gesamtzahl abgesetzter Jungläuse und Anzahl Jungläuse/Mutterlaus je Tag der Adulten von *M. persicae* auf den Kartoffelsorten (n= Anzahl der Pflanzen im Test, einfaktorielle Varianzanalyse, SNK-Test)

Sorte	n	Lebenstage der Adulten		Gesamtzahl abgesetzter Jungläuse		Jungläuse/Mutterlaus (je Tag)	
		(Tage)		(je Blattlaus)		(je Tag)	
		**		*		***	
Albatros	4	29	b	29	ab	1	b
Borwina	4	28	b	48	bc	1,7	c
Fasan	4	28	b	66	c	2,4	d
Kormoran	4	22	a	29	ab	1,3	bc
Pirol	4	28	b	35	ab	1,2	bc
Romanze	4	29	b	15	a	0,5	a
Salome	4	22	a	23	ab	1,1	b
Terrana	4	30	b	44	abc	1,5	bc
Mittel		27		36		1,34	

Unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Differenzen des Sortenmittels hin ($\alpha=0,05$; n.s.= nicht signifikant; *= $p<0,05$; **= $p<0,01$; ***= $p<0,001$)

Anhand der Vermehrungsrate wurde die Anzahl der Larven pro Weibchen über die Zeit summiert. Das logistische Modell beschreibt die Vermehrungskurve der Blattläuse mit Hilfe der mathematischen Parameter a, b, c. Der Vermehrungsverlauf der Blattlausart (*M. persicae*) folgte der Gleichung wie in Tabelle 14 vorgestellt. Auf den Pflanzen von Romanze, Albatros und Kormoran wurde eine schwächere Vermehrung der Blattlausart (*M. persicae*) im Vergleich zu den Pflanzen von Fasan, Salome und Borwina festgestellt.

Tabelle 14: Logistische Funktion für die Vermehrung von *M. persicae* an verschiedenen Kartoffelsorten

Kartoffelsorte	Logistisches Modell: $y = a/(1+b*\exp(-cx))$			SE	r
	a =	b =	c =		
Albatros	30	15	0,18	0,99	0,995
Borwina	50	35	0,23	0,88	0,999
Fasan	71	39	0,22	1,29	0,999
Kormoran	31	24	0,25	0,84	0,997
Pirol	39	29	0,2	1,18	0,996
Romanze	21	15	0,13	0,56	0,995
Salome	29	40	0,21	0,50	0,997
Terrana	48	58	0,22	0,94	0,998
Durchschnitt an allen Sorten	43	29	0,2	0,72	0,999

a ist der Endwert, b und c freie Parameter zur Modulierung der Kurvenform

y= Anzahl der abgesetzten Jungläuse/Blattlaus

x= Lebenstag

Der zeitliche Verlauf der Summenkurve der täglich abgesetzten Nachkommen je Mutterlaus war bei den Kartoffelsorten unterschiedlich. Die Kurve steigt bei der Sorte Romanze jedoch deutlich flacher an als bei der anderen Kartoffelsorten. Die Kurve der Sorte Fasan hatte das höchste Niveau. Die maximale tägliche Fruchtbarkeit wurde von den Blattläusen an der Sorte Romanze am 3. Lebenstag, Albatros am 9., Kormoran am 12., Terrana und Pirol am 14., Fasan und Borwina am 15. und an der Sorte Salome am 22. Lebenstag erreicht.

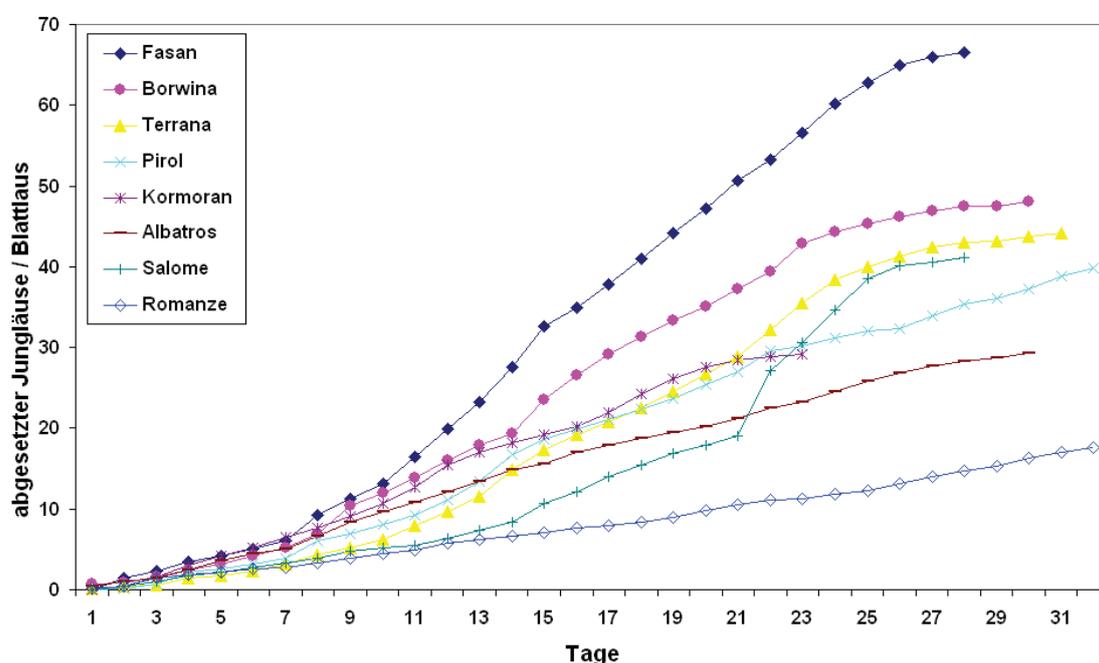


Abbildung 18: Summenkurve der Anzahl täglicher Nachkommen von *M. persicae* an verschiedenen Kartoffelsorten

6.2.2 *M. euphorbiae*

Die durchschnittliche Lebensdauer von *M. euphorbiae* betrug 25 Tage und die geprüften Kartoffelsorten unterschieden sich nicht statistisch signifikant voneinander (Tabelle 15). Die höchste Lebensdauer trat an der Sorte Terrana mit 27 Tagen auf. Die geringste Lebensdauer wurde bei der Sorte Romanze mit 23 Tagen ermittelt. Bei den anderen geprüften Kartoffelsorten lag die durchschnittliche Lebensdauer im Bereich von 24 bis 26 Tagen.

Die durchschnittliche Anzahl abgesetzter Jungläuse von *M. euphorbiae* betrug 28 Jungläuse/Mutterlaus und die Kartoffelsorten unterschieden sich auch hier nicht signifikant voneinander. Die höchste Anzahl abgesetzter Jungläuse war bei der Sorte Borwina mit 37 Jungläusen/Mutterlaus und die geringste Anzahl abgesetzter Jungläuse bei der Sorte Romanze mit 17 Jungläusen/Mutterlaus zu finden. Die geringere Nachkommenzahl der Blattläuse an der Sorte Romanze beruhte nicht alleine auf der kürzeren Lebensdauer der Mutterlaus sondern auch auf einer geringeren Zahl täglich abgesetzter Nachkommen. Bei den anderen geprüften Kartoffelsorten lag die durchschnittliche Anzahl abgesetzter Jungläuse im Bereich von 23 bis 35 Jungläusen/Mutterlaus.

Die mittlere täglich abgesetzte Anzahl von Jungläusen betrug 1,13 Jungläuse/Mutterlaus. Auf der Sorte Borwina trat die höchste Fruchtbarkeit mit 1,5 Jungläusen/Mutterlaus und Tag auf. Dagegen war die geringste Fruchtbarkeit mit 0,7 Jungläusen/Mutterlaus und Tag an der Sorte Romanze zu verzeichnen. Bei den anderen geprüften Kartoffelsorten schwankten die täglich abgesetzten Jungläuse von 0,9 bis 1,3 Jungläuse/Mutterlaus.

Tabelle 15: Mittlere Lebensdauer, Gesamtzahl abgesetzter Jungläuse und Anzahl Jungläuse/Mutterlaus je Tag der Adulten von *M. euphorbiae* auf verschiedenen Kartoffelsorten (n= Anzahl der Pflanzen im Test, einfaktorielle Varianzanalyse, SNK-Test)

Sorte	n	Lebenstage der	Gesamtzahl abgesetzter		
		Adulten	Jungläuse	Jungläuse/Mutterlaus	
		(Tage)	(je Blattlaus)	(je Tag)	
		n.s.	n.s.	***	
Albatros	4	26	34	1,3	bc
Borwina	4	25	37	1,5	C
Fasan	4	24	23	1	ab
Kormoran	4	25	29	1,2	abc
Pirol	4	26	35	1,3	bc
Romanze	4	23	17	0,7	A
Salome	4	25	27	1,1	abc
Terrana	4	27	25	0,9	ab
Mittel		25	28	1,13	

Unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Differenzen des Sortenmittels hin ($\alpha=0,05$; n.s.= nicht signifikant; *= $p<0,05$; **= $p<0,01$; ***= $p<0,001$)

Anhand der Vermehrungsrate wurde die Anzahl der Larven pro Weibchen über die Zeit summiert. Der Vermehrungsverlauf der Blattlausart (*M. euphorbiae*) ließ sich durch die Gleichungen in Tabelle 16 beschreiben. Die Gleichungen beschreiben die Vermehrungskurve der Blattläuse in Abhängigkeit von der Zeit. Auf den Pflanzen von Romanze, Fasan und Salome wurde eine schwächere Vermehrung der Blattlausart (*M. euphorbiae*) im Vergleich zu den Pflanzen von Borwina, Pirol, und Terrana festgestellt.

Tabelle 16: Logistische Funktion für die Vermehrung von *M. euphorbiae* an verschiedenen Kartoffelsorten

Kartoffelsorte	Logistisches Modell: $y = a / (1 + b \cdot \exp(-cx))$			SE	r
	a =	b =	c =		
Albatros	34	23	0,25	0,92	0,997
Borwina	38,	21	0,24	0,9	0,998
Fasan	23	13	0,23	1,25	0,986
Kormoran	28	21	0,28	1,07	0,995
Pirol	37	14	0,2	1,52	0,993
Romanze	19	20	0,24	0,83	0,993
Salome	29	27	0,23	0,61	0,998
Terrana	33	18	0,15	0,83	0,996
Durchschnitt an allen Sorten	33	16	0,19	1,05	0,996

a ist der Endwert, b und c freie Parameter zur Modulierung der Kurvenform
 y= Anzahl der abgesetzten Jungläuse/Blattlaus, x= Lebenstag

Der Verlauf der Summenkurve der täglich abgesetzten Nachkommen je Blattlaus (Abbildung 19) verdeutlicht den einzelnen Effekt der Kartoffelsorten auf die Fruchtbarkeit von *M. euphorbiae*. Die Kurve steigt bei der Sorte Romanze deutlich flacher an als bei den anderen Kartoffelsorten. Die Sorte Borwina hatte das höchste Niveau. Die maximale tägliche Fruchtbarkeit wurde von den Blattläusen an den Sorten Pirol, Kormoran und Romanze am 8. Tag, bei Borwina am 9., Salome am 14., Albatros und Fasan am 15. und an der Sorte Terrana am 28. Lebenstag erreicht.

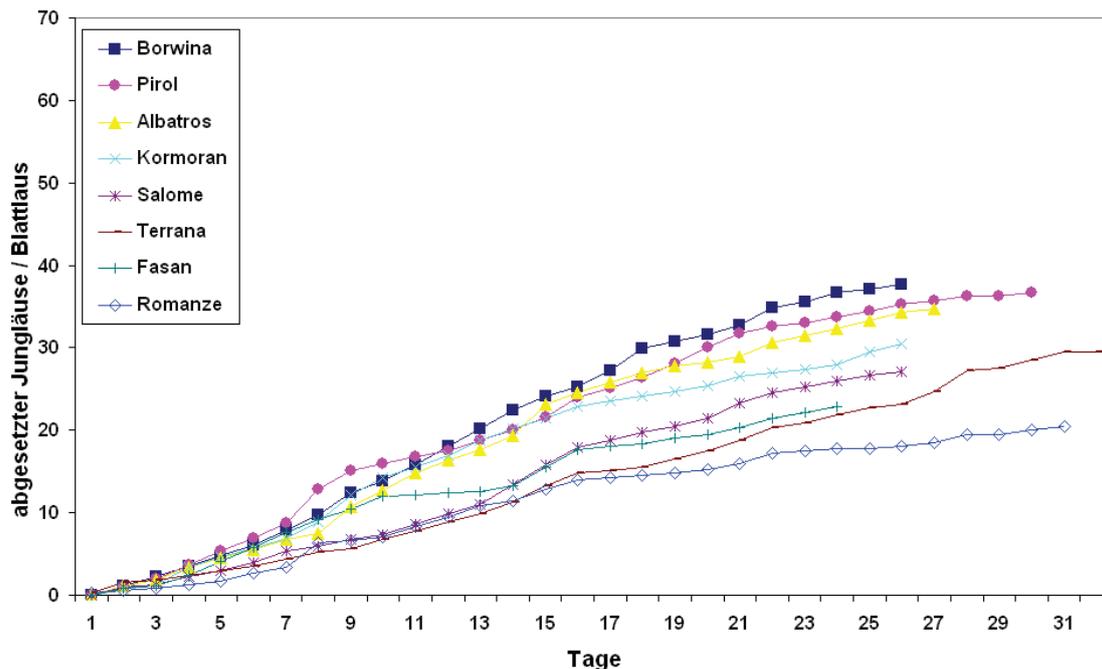


Abbildung 19: Summenkurve der Anzahl täglicher Nachkommen von *M. euphorbiae* an verschiedenen Kartoffelsorten

6.3 Diskussion

Die Ermittlung der gesamten Fruchtbarkeit einzelner Blattläuse ist sehr zeit- und arbeitsaufwendig. DAVIS (1915) hat intensive Untersuchungen durchgeführt, um die Entwicklung und die Reproduktionrate von Blattläusen zu ermitteln. Beide Merkmale können zuverlässige Indikatoren für zukünftigen Blattlausbefall sein (LEATHER & DIXON 1984; ACREMAN & DIXON 1989).

Die Auswertung unseres Versuches lässt erkennen, dass zwischen der Gesamtlebensdauer der Blattläuse (*M. euphorbiae*, *M. persicae*) und der Anzahl der abgesetzten Jungläuse eine Beziehung besteht. Wurden alle Kartoffelsorten zusammengefasst, so blieb, trotz größerer Datenzahl, lediglich die enge Beziehung zwischen Lebensdauer und Nachkommenzahl bei den zwei Blattlausarten erhalten, mit Korrelationskoeffizienten von 0,30 für *M. persicae* (n= 32) bzw. 0,16 für *M. euphorbiae* (n= 32). Mit zunehmender Lebensdauer der Blattläuse erhöhten sich der Zeitraum der Larvenabsetzung sowie auch die Anzahl der Jungläuse. Nach FRANCIS et al. (2001) gab es eine statistische signifikante Wechselwirkung zwischen Wirtspflanzenart und Lebenstag auf die Fruchtbarkeit von *M. persicae*. Auch in der vorliegenden Untersuchung steht die

Anzahl der Nachkommen in enger, stabiler Beziehung zur Lebensdauer der adulten Blattläuse.

In den vorliegenden Ergebnissen hatte die Blattlaus *M. persicae* insgesamt eine höhere Vermehrungsleistung und Lebensdauer als *M. euphorbiae*. Aber eine Untersuchung von BOITEAU (1997) an Kartoffelblättern zeigte auf, dass *M. euphorbiae* länger als die beiden Blattlausarten *M. persicae* und *A. nasturtii* lebte. 10 Tage nach Versuchsbeginn erreichten die beiden Blattlausarten *M. euphorbiae* und *M. persicae* die höchste Vermehrung. Das stimmt mit dem Ergebnis von BOITEAU (1997) und MACGILLIVRAY & ANDERSON (1958) überein, dass die Blattläuse *M. euphorbiae*, *M. persicae* und *A. nasturtii* die höchste Vermehrung in den ersten 10 Tagen nach Beginn der Fortpflanzungsphase erreichten.

Die Blattläuse *M. euphorbiae* und *M. persicae* wiesen unterschiedliche Vermehrungsraten auf den geprüften Kartoffelsorten auf. Die höchste Vermehrungsrate von *M. persicae* wurde an den Sorten Fasan und Borwina gemessen. Im Gegensatz dazu trat die höchste Vermehrungsrate von *M. euphorbiae* an den Sorten Borwina und Pirol auf. Viele wesentliche Eigenschaften der Pflanzen wie Nahrungsqualität und Morphologie können die Fruchtbarkeit, Entwicklung und das Überleben der Insekten beeinflussen (SLANSKY & FEENY 1977; NORRIS & KOGAN 1980; MONTLLOR 1991). FRANCIS et al. (2001) haben den Einfluss der Wirtspflanzen *V. faba*, *S. alba* und *B. napus* auf die Vermehrung von *M. persicae* ermittelt (Abbildung 20). Wegen der Nahrungsqualität der Wirtspflanze haben die Autoren unterschiedliche Vermehrungsraten von *M. persicae* an den geprüften Pflanzen festgestellt. Die Autoren gehen von verschiedenen Nahrungsqualitäten, insbesondere dem Gehalt an Glucosinolaten als Grund für die unterschiedlichen Vermehrungsraten aus.

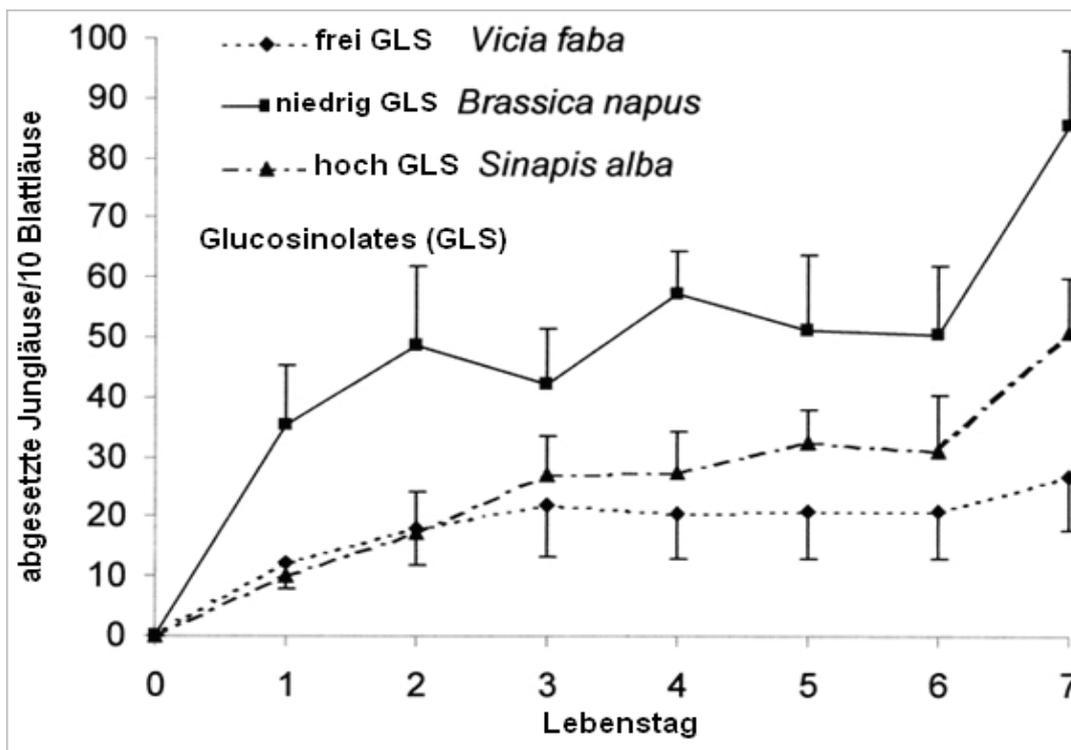


Abbildung 20: Einfluss der Wirtspflanze auf die Vermehrung von *M. persicae* (nach FRANCIS et al. 2001)

COLE (1997) kam zu ähnlichen Ergebnissen, dass Glucosinolat in den Pflanzen der *Brassicaceae* einen erheblichen Einfluss auf die Entwicklung und Performanz der beiden Blattlausarten *Brevicoryne brassicae* L. und *M. persicae* hatte. In Kartoffelblätter wurde über Glucosinolat bisher nicht berichtet. In Kartoffeln können andere, kartoffeltypische Inhaltsstoffe diesen Einfluss übernehmen (vgl. Kapitel. 9).

Die Untersuchungen machen den großen Einfluß der Kartoffelsorte auf die Lebensdauer und Fruchtbarkeit von *M. persicae* und *M. euphorbiae* deutlich. Unter Laborbedingungen konnte die Blattlausart *M. persicae* gegenüber *M. euphorbiae* die Kartoffeln als Nahrung besser nutzen. Dies zeigte sich bei den untersuchten Parametern (Lebensdauer, Fruchtbarkeit). Aus den Ergebnissen geht hervor, dass die Kartoffelsorten Fasan und Borwina als Nahrungsquelle für die Fortpflanzung von *M. persicae* bzw. *M. euphorbiae* am besten geeignet sind.

7 Freilandversuche zum Blattlausbefall und Farbspektren der Kartoffelsorten

Erster Schritt für die Blattlausbesiedlung ist die Auswahl einer geeigneten Wirtspflanze. An der Pflanze sind Faktoren, die das Siedeln der Blattläuse beeinflussen, z. B. Oberflächenstruktur der Blätter, Färbung, Behaarung. Auf Versuchsflächen der Universität Rostock, in Sanitz und in Gülzow in Mecklenburg-Vorpommern wurde in den Jahren 2006 und 2007 an verschiedenen Kartoffelsorten der natürliche Blattlausbefall unter Freilandbedingungen ermittelt. Die Kleinparzellen der einzelnen Sorten lagen unmittelbar nebeneinander, so dass die Blattläuse bereits beim Anflug zwischen den Sorten wählen konnten.

Das Ziel der in diesem Kapitel beschriebenen Arbeiten war es, verschiedene Sorten von Kartoffeln hinsichtlich des Befalls durch Blattläuse im Feld an drei Standorten (Gülzow, Sanitz, Rostock) zu untersuchen. In diesem Kapitel wird den Fragen nachgegangen, ob der Blattlausbefall unterschiedlich war und was mögliche Ursachen dafür sein können. Dazu wurde Reflexionsmessung an Kartoffelblätter vorgenommen.

7.1 Material und Methoden

7.1.1 Ermittlung des Blattlausbefalls an drei Standorten

Es wurde die Anzahl der Blattläuse auf 13 zufällig ausgewählten Blättern in Rostock bzw. 15 Blättern in Sanitz und Gülzow von jedem Block und jeder Sorte festgestellt. Die Zählungen erfolgten ab Mitte Juni 2006 bzw. Ende Mai/Anfang Juni 2007 wöchentlich in Rostock bzw. zweiwöchentlich in Sanitz und Gülzow bis zum jeweiligen Zusammenbruch der Kartoffelpflanzen, in der Regel Ende Juli/Anfang August. Anschließend wurde der Blattlausbefall je 50 Blatt berechnet. Die Bestimmung der Blattlausarten wurde im Labor unter Verwendung eines Binokulares vorgenommen.

Die pflanzenbaulichen Maßnahmen am Standort Rostock im Jahr 2007 werden in Tabelle 17 beschrieben.

Tabelle 17: Pflanzenbauliche Maßnahmen am Standort Rostock im Anbaujahr 2007

Maßnahme		Termin
Pflugfurche		14.11.2006
Grubber		26.03.2007
Kreiseln		22.04.2007
Pflanzen, Häufeln		24.04.2007
Düngung	70 kg N*ha ⁻¹ ASS	04.05.2007
Herbizid	Artist 2,5 kg*ha ⁻¹ VA	27.04.2007
	Sencor WG 0,5 kg*ha ⁻¹	14.05.2007
	Acrobat 2,0 kg*ha ⁻¹	06.06.2007
Fungizid	Shirlan 0,4 l*ha ⁻¹	09.07.2007
Ernte		18.07.2007

7.1.1.2 Standort Sanitz und Gülzow

Sanitz befindet sich etwa 17 km östlich von Rostock. Die vorherrschende Bodenart ist lehmiger Sand bzw. sandiger Lehm, mit einer durchschnittlichen Ackerzahl von 47. Der Standort Gülzow liegt etwa 9 km nord-westlich von Güstrow und der Boden ist durch lehmigen Sand bis sandigen Lehm charakterisiert. Die durchschnittliche Ackerzahl liegt bei 43.

Auf den Versuchsflächen in Sanitz und Gülzow wurden jeweils 254 unterschiedliche Sorten auf offenen Agrarflächen angebaut. Sowohl die Sortenauswahl als auch die Anordnung der Sorten im Versuchsfeld erfolgte auf beiden Standorten gleich. Der Reihenabstand betrug 0,75 m und der Abstand zwischen den Pflanzen 0,30 m. In jeder Reihe befanden sich, bei einem optimalen Auflaufen der Knollen, zehn Kartoffelpflanzen (s. Abbildung 22). In Sanitz wurde eine Reihe je Sorte angebaut, woraus sich eine bepflanzte Gesamtfläche von 572 m² ergab. In Gülzow sind auf der Versuchsfläche jeweils vier Reihen pro Sorte hintereinander angebaut worden. Die bepflanzte Gesamtfläche betrug 2276 m². Die pflanzenbaulichen Maßnahmen an den Standorten Sanitz und Gülzow sind in Tabelle 18 beschrieben.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden 23 Sorten auf Grund ihrer Anfälligkeit für das Blattrollvirus und das Y-Virus ausgewählt (Abbildung 22). Dabei erstreckt sich

die Bandbreite von einer geringen bzw. sehr geringen Resistenz gegenüber den genannten Krankheiten bei der Sorte Berber bis zu einer hohen bzw. sehr hohen Widerstandsfähigkeit der Sorte Borwina (BUNDESSORTENAMT 2005). Die Blattsammlungen und die damit verbundenen Blattlausbonituren fanden an vier Zeitpunkten 2006 und 2007 statt.

Tabelle 18: Pflanzenbauliche Maßnahmen an den Standorten Gülzow und Sanitz in den Anbaujahren 2006 und 2007

Gülzow		2006		2007	
Pflanzung		27.04.2006		20.04.2007	
Düngung	N (KAS) 80 kg*ha ⁻¹	04.05.2006	N (KAS) 80 kg*ha ⁻¹	24.04.2007	
Herbizid	Reglone 2,5 l*ha ⁻¹	28.08.2006	Bandur 3,5 kg*ha ⁻¹	26.04.2007	
	Bandur 3,5 kg*ha ⁻¹	09.05.2006			
Fungizid	Tattoo 4,0 kg*ha ⁻¹	10.07.2006	Ranman 8 Mal mit 0,2 l*ha ⁻¹		
Insektizid	Karate Zeon 0,075 l*ha ⁻¹		Tamaron 1,0 l*ha ⁻¹	01.06.2007	
			Dantop 0,035 kg*ha ⁻¹	14.06.2007	

Sanitz		2006		2007	
Pflanzung		17.05.2006		27.04.2007	
Düngung	N (KAS) 100 kg*ha ⁻¹	24.05.2006	N (Harnstoff) 120 kg*ha ⁻¹	08.05.2007	
Herbizid	Sencor 0,5 kg*ha ⁻¹	24.05.2006	Bandur 3,0 kg*ha ⁻¹	01.06.2007	
	Bandur 3,0 kg*ha ⁻¹	24.05.2006	Sencor 0,3 kg*ha ⁻¹	01.06.2007	
Fungizid	6 Mal Fungizidbehandlungen:		Ranman 7 Mal mit 0,2 l*ha ⁻¹		
	Acrobat Plus 2,0 kg*ha ⁻¹				
	Tanos 0,7 kg*ha ⁻¹				
	Shirlan 0,4 l*ha ⁻¹				
Insektizid	2 Mal Insektizidbehandlungen:		keine Insektizidbehandlung		
	Tamaron 0,8 l*ha ⁻¹				
	Karate Zeon 0,075 l*ha ⁻¹				

Reihe 7	Reihe 6	Reihe 5	Reihe 4	Reihe 3	Reihe 2	Reihe 1	Feld Nr.	Sorte	Anfälligkeit für	
									Blattrollvirus	Y Virus
14	13	12	11	10	9*	8				
21	20	19*	18	17	16*	15	195	Albatros	1	1
28	27*	26	25	24	23	22	232	Avano	7	7
35*	34*	33	32	31	30	29	27	Berber	7	9
42	41	40	39	38	37	36*	9	Borwina	1	2
49*	48	47	46	45	44	43	49	Cilena	6	6
56	55	54	53	52	51	50	223	Eurostar	1	1
63	62	61	60	59	58	57	177	Fasan	1	1
70	69	68	67	66	65	64	246	Florijn	8	6
77	76	75*	74	73	72	71	151	Hansa	7	8
84*	83	82	81	80	79*	78	16	Karatop	2	1
91	90	89	88	87	86	85	226	Kormoran	1	2
98	97	96	95	94	93	92	130	Pirol	6	4
105	104	103	102	101	100	99	34	Presto	2	1
112	111	110	109	108	107	106	160	Romanze	6	1
119	118	117	116	115	114	113	19	Rosara	2	1
126	125	124	123	122	121	120	35	Salome	3	1
133	132	131	130*	129	128	127	180	Saturna	7	7
140	139	138	137	136	135	134	169	Selma	8	7
147	146	145	144	143	142	141	75	Sieglinde	9	7
154	153	152	151*	150	149	148	84	Terrana	2	1
161	160*	159	158	157	156	155	173	Topas	1	1
168	167	166	165	164	163	162	36	Ukama	5	8
175	174	173*	172	171	170	169*	79	Vienna	9	6
182	181	180*	179	178	177*	176				
189	188	187	186	185	184	183				
196	195*	194	193	192	191	190				
203	202	201	200	199	198	197				
210	209	208	207	206	205	204				
217	216	215	214	213	212	211				
224	223*	222	221	220	219	218				
231	230	229	228	227	226*	225				
238	237	236	235	234	233	232*				
245	244	243	242	241	240	239				
252	251	250	249	248	247	246*				

Reihenabstand 0,75 m Pflanzabstand 0,30 m

* Ausgewählte Sorten
im Feld

Niedrige Note = geringe Ausprägung der
betreffenden Eigenschaften

Hohe Note = starke Ausprägung der
betreffenden Eigenschaften

Abbildung 22: Versuchsdesign und Sortenanordnung auf den Versuchsfeldern bzw. ausgewählten Sorten in Gülzow und Sanitz

7.1.2 Identifizierung der Farbspektren verschiedener Kartoffelsorten

In den ersten Phasen der Wirtspflanzenwahl spielen physikalische Faktoren, die visuelle und taktile Reize ausüben, eine besondere Rolle. Der Unterschied in der Vitalität der Pflanzen beeinflusst die Präferenzen der Blattläuse bei der Immigration und die Erhöhung der Blattlauspopulation (HONEK & MARTINKOVA 2002). Die Vegetation reflektiert, absorbiert und transmittiert die einfallende Strahlung in einer typischen Weise (s. Kapitel 2.8).

Im vorliegenden Experiment wurde der Reflexionsgrad von Blättern der verschiedenen Kartoffelsorten untersucht und in Beziehung zum Blattlausbefall

gesetzt. Es wurden 10 Sorten in Rostock bzw. 23 Sorten in Sanitz und Gülzow (s. Kapitel 7.1) ausgewählt, die sich in Ertragsaufbau, Resistenzeigenschaften und Reifezeit unterscheiden. Die Sorten werden derzeit auf allen Böden und in unterschiedlichen Klimaregionen Deutschlands angebaut (ANONYM 2004; HEPTING et al. 2004; KELLERMANN et al. 2005, 2006, 2008; ANONYM 2009).

Spektrale Messungen erfolgten mit Versuchsmaterial der Standorte Sanitz und Gülzow (3 Messungen im Jahr 2006 und 4 Messungen im Jahr 2007) sowie Rostock (3 Messungen im Jahr 2007). Die Messungen mit dem Spektrometer wurden im Labor (Institut für Landnutzung der Universität Rostock-Phytomedizin) vorgenommen. Dazu wurden die Kartoffelblätter der entsprechenden Sorten auf einen Fotobeleuchtungstisch des Typs RG 2 platziert und mit einer gläsernen Petrischale fixiert. Die Ausleuchtung erfolgte durch vier 100-Watt Birnen. Das Spektrometer des Typs FieldSpec®HandHeld, welches mit einem Laptop verbunden war, befand sich vor dem Ausleuchtungstisch auf einem Stativhalter. Der Laptop diente der Messwertspeicherung. Vor Beginn der eigentlichen Messungen wurden Probemessungen vorgenommen, um die optimale Lage der Blätter auf dem Fotobeleuchtungstisch zu ermitteln. Des Weiteren fand eine Weißreferenzierung des Spektrometers statt. Für jede Sorte wurde eine Messung vorgenommen, wobei die Auswahl der Blätter zufällig erfolgte.

Der Reflexionsgrad einer Sorte wird vorwiegend durch ein wellenlängenabhängiges Absorptions- und Remissionsvermögen der Blätter geprägt. Die Messverfahren machen sich die Lichtrückstrahlung von Kartoffelsorten im sichtbaren (VIS = 400 nm - 700 nm) und nahen Infrarot (NIR = 700 nm - 1300 nm) zunutze. Charakteristisch für grüne Vegetation ist die hohe Absorption im sichtbaren Licht (VIS), die im Bereich des grünen Lichts (500-570 nm) abnimmt und der markante Anstieg der Remission im nahen Infrarot (NIR 700-1300 nm). Die daraus berechneten Vegetationsindices (z. B. Normalisierter Differenz Vegetations-Index NDVI und Wasserbanden-Index WBI) charakterisieren physiologisch relevante Pflanzenzustände auf Bestandesebene.

Der NDVI (normalisierter differenzierter Vegetationsindex) ist unter anderem ein Maß für die Vitalität von Pflanzen und Pflanzenbeständen. Im Allgemeinen gilt: je vitaler die Vegetation, desto höher ist der Pigment- und Wasserhaushalt und dementsprechend desto stärker die Absorption im sichtbaren Spektralbereich und desto höher die Reflexion im Nahen Infrarot. Der NDVI nimmt Werte zwischen -1 und +1 an, wobei positive Werte nahe 1 auf eine besonders hohe Vitalität hinweisen. Die gemessenen Spektren wurden in spezifische Informationseinheiten, die Indices, zergliedert. Berechnet wurden der NDVI und der WBI (Wasserbanden-Index) (Tabelle 19).

Tabelle 19: Vegetationsindices und ihre Berechnung

Index	Berechnung	Wellenlängenintervall
NDVI (Normalisierter Differenz Vegetations-Index)	$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$ nach ROUSE et al. 1973	NIR = 701 nm-950 nm R = 601 nm- 700 nm
WBI (Wasserbanden-Index)	$WBI = R970 / R900$ nach PENUELAS et al. 1993	R = 900 nm bzw. 970 nm

Um eine lineare Abhängigkeit zwischen der Reflexion der Strahlung und dem Blattlausbefall festzustellen, sind zunächst in Anlehnung an die bereits erwähnten Empfindlichkeitswerte der Photorezeptoren gegenüber bestimmten Wellenlängen des Lichtes drei Werte (530 nm, 560 nm, 400-700 nm) ausgewählt worden. Diesen Wellenlängen wurden die entsprechenden, an verschiedenen Zeiten im Labor gemessenen, Reflexionswerte zugeordnet. Nach DÖRING et al. (2005) liegen bei *M. persicae* drei Typen an Photorezeptoren, mit den Absorptionsmaxima bei 330-340 nm (UV), 470-480 nm (grün-blau) und 530 nm (grün) vor. Anschließend wurde untersucht, ob es einen Zusammenhang zwischen den verschiedenen Reflexionswerten und der Blattlausanzahl auf der jeweiligen Sorte gibt. Dies erfolgte mit dem Korrelationskoeffizient. Dieser Vorgang wurde für die ausgewählten Sorten an allen Standorten durchgeführt.

7.1.3 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mit dem Statistical Analysis System (SPSS Version 15 für Windows) durchgeführt. Die Varianzanalysen erfolgten mittels der Prozedur GLM und die multiplen Mittelwertvergleiche mit dem Student-Newman-Keuls-Test. Die Irrtumswahrscheinlichkeiten wurden berechnet für: $p < 0,05$; (*) = signifikant, $p < 0,01$; (**) = hoch signifikant, $p < 0,001$; (***) = sehr hoch signifikant, n.s. = nicht signifikant

Es wurde jeweils der lineare Pearson-Korrelationskoeffizient zwischen Blattlausbefall und Reflexionswerten sowie den Vegetationsindices der Kartoffelpflanzen berechnet.

7.2 Ergebnisse

7.2.1 Blattlausbefall an verschiedenen Kartoffelsorten

7.2.1.1 Standort Rostock 2007

Das Artenspektrum von Blattläusen (Homoptera: Aphididae) auf Kartoffelsorten wurde an sieben Terminen bestimmt. Bei der Erfassung des Aphidenspektrums konnten fünf Blattlausspezies nachgewiesen werden (Abbildung 23), von denen drei Spezies dominant auftraten: die Grüne Pfirsichblattlaus (*M. persicae*), die Kreuzdornlaus (*A. nasturtii*) und die Grünstreifige Kartoffellaus (*M. euphorbiae*). Grüne Gurkenblattlaus (*Aphis frangulae* Kaltenbach) und Grünfleckige Kartoffelblattlaus (*Aulacorthum solani* Kaltenbach) erlangten nur geringe Bedeutung. Die dominanten Arten waren bei allen untersuchten Sorten gleich stark vertreten, wobei es innerhalb der Blockwiederholungen zu Abweichungen kam.

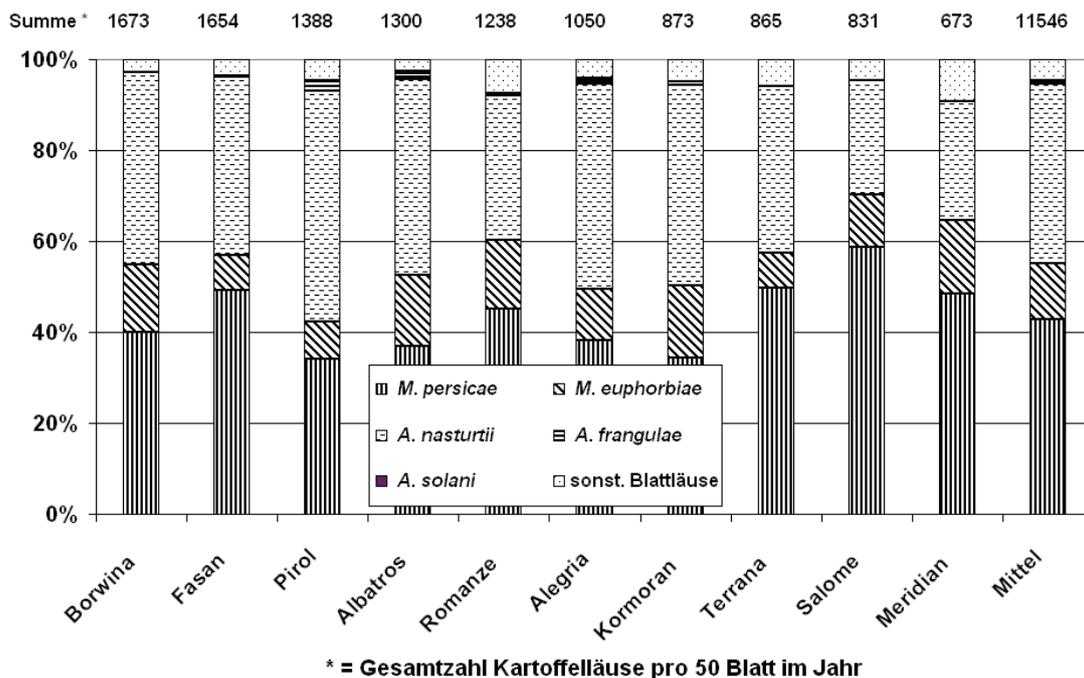


Abbildung 23: Artenspektrum der Kartoffelläuse am Standort Rostock 2007

Nach einem außergewöhnlich milden Winter begann die Besiedelung von Kartoffelblattläusen Ende Mai/Anfang Juni. Die Population baute sich infolge der kühlen Temperaturen zunächst verhalten auf. Mit der ab Anfang Juni einsetzenden Erwärmung nahmen auch die Blattlauszahlen deutlich zu. Die Befallsentwicklung 2007 und die auftretenden Blattlausarten in der Gesamtpopulation sind in Abbildung 24 dargestellt. In den darauf folgenden sieben Wochen bewegte sich zwar der Blattlausbefall kontinuierlich abwärts, erreichte aber in den ersten drei Wochen immer noch hohe Werte. Anschließend trat in der 2. Juliwoche erneut starker Blattlausbefall auf. Höhepunkte von Blattlausflug und Besiedelung der Kartoffelflächen lagen in der 24. Kalenderwoche (Juni). Für Höhepunkte des Blattlausbefalls waren neben den Blattlausarten *A. frangulae*, *M. euphorbiae* und *Aulacorthum solani* hauptsächlich die Grüne Pfirsichblattlaus (*M. persicae*) und die Kreuzdornlaus (*A. nasturtii*) verantwortlich. Im Jahr 2007 war der Befallsbeginn im Feld mit *Phytophthora infestans* besonders früh. Durch *Phytophthora* wurden die Kartoffelpflanzen Ende Juli zerstört.

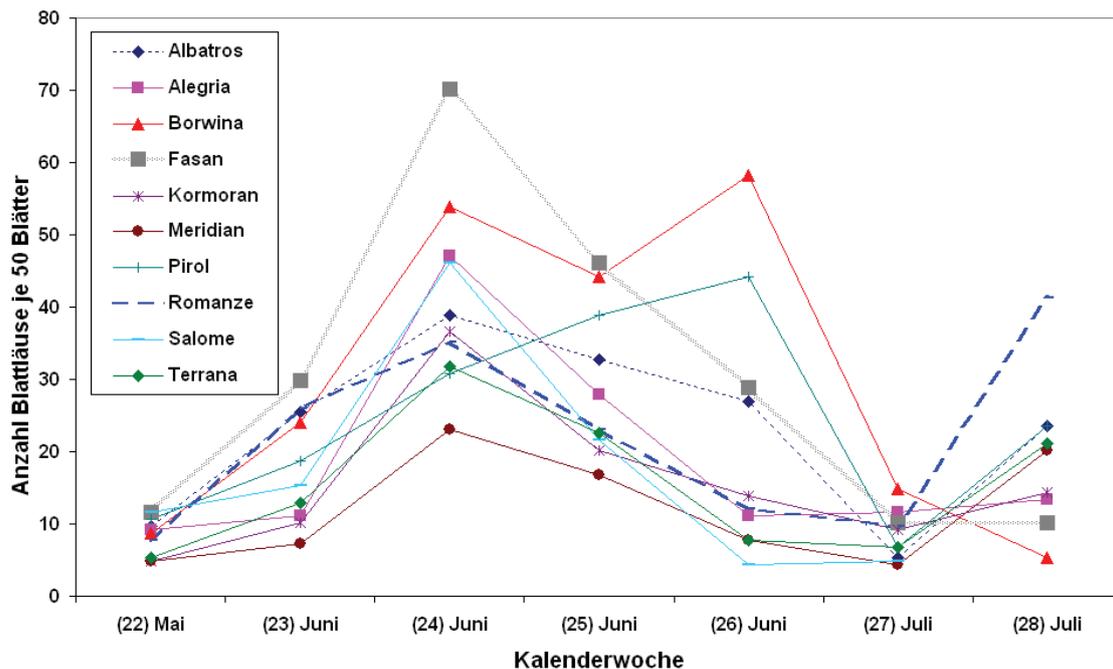


Abbildung 24: Auftreten der Blattläuse (*M. persicae*, *M. euphorbiae*, *A. nasturtii*, *A. frangulae* und *A. solani*) auf verschiedenen Kartoffelsorten am Standort Rostock 2007

Ende Mai wurde der Blattlausbefall an den geprüften Kartoffelsorten ermittelt. In der **22. Kalenderwoche (Mai)** war er an den Kartoffelsorten Fasan und Salome mit 12 Blattläusen je 50 Blätter gegenüber den Kartoffelsorten Meridian, Terrana und Kormoran mit 5 Blattläusen je 50 Blätter statistisch signifikant höher (Tabelle 20 und Tabelle 21).

Der Blattlausbefall nahm in der **23. Kalenderwoche (Juni)** auf den Kartoffelsorten Salome, Terrana, Kormoran, Romanze, Albatros, Pirol, Fasan und Borwina um das zweifache zu. Im Gegensatz dazu nahm der Befall auf den Kartoffelsorten Meridian und Alegria kaum zu. In der 23. Kalenderwoche war die mittlere Anzahl der Blattläuse je 50 Blätter ungefähr doppelt so hoch wie in der 22. Kalenderwoche (Tabelle 20).

Der Blattlausbefall nahm dann bis zur **24. Kalenderwoche (Juni)** in allen Sorten zu. In dieser Woche war der Anstieg der Blattlausbesiedlung am höchsten. Fasan und Borwina hatten mit 70 Blattläusen je 50 Blätter bzw. 54 Blattläusen je 50 Blätter den höchsten Blattlausbefall und sie unterschieden sich statistisch signifikant gegenüber den übrigen Sorten (Tabelle 21). Meridian

hatte mit 23 Blattläusen je 50 Blätter den geringsten Blattlausbefall. Die übrigen Kartoffelsorten unterschieden sich nicht statistisch signifikant voneinander (Tabelle 21).

Ab der **25. Kalenderwoche (Juni)** nahm der Blattlausbefall in den meisten Sorten ab. Die Besiedlung der Kartoffelsorten mit Blattläusen blieb aber ähnlich, wie sie in der 24. Kalenderwoche (Juni) war. Borwina und PiroI hatten mit 58 Blattläusen je 50 Blätter bzw. 44 Blattläusen je 50 Blätter in der **26. Kalenderwoche (Juni)** den höchsten Blattlausbefall. Salome hatte mit 4 Blattläusen je 50 Blätter den geringsten Blattlausbefall. Die Blattlausbesiedlung nahm in der **27. Kalenderwoche (Juli)** ab. Auch in dieser Woche war der Blattlausbefall auf der Sorte Borwina verglichen mit anderen Sorten hoch (15 Blattläuse je 50 Blätter).

Ab Ende **27. Kalenderwoche (Juli)/Anfang 28. Kalenderwoche (Juli)** wurden die Kartoffelsorten mit Phytophthora befallen. Durch die Krankheit wurde die Kartoffelsorte Salome am Anfang der 28. Kalenderwoche (Juli) ganz zerstört. Die anderen Sorten wurden am Ende der 28. Kalenderwoche (Juli) ebenfalls zerstört. Deshalb spielt der Befall von Phytophthora in der 28. Kalenderwoche (Juli) eine große Rolle. Die Sorte Meridian wurde in der letzten Woche mit Phytophthora schwer befallen, und sie hatte mit 20 Blattläusen je 50 Blätter einen hohen Blattlausbefall. Die Sorte Romanze hatte den schwersten Befall mit Phytophthora. Sie hatte zur gleichen Zeit aber auch den höchsten Blattlausbefall mit 41 Blattläusen je 50 Blätter. Die Sorte Borwina hatte den niedrigsten Phytophthorabefall und gleichzeitig den niedrigsten Blattlausbefall mit 8 Blattläusen je 50 Blätter.

Tabelle 20: Mittlere Anzahl der Blattläuse im Freilandversuch am Standort Rostock 2007 ($\bar{X} \pm SE$; n= Anzahl der Blätter im Test, zweifaktorielle Varianzanalysen, SNK-Test)

Prüffaktoren		Blattläuse je 50 Blätter	
Kartoffelsorte		n	***
Albatros	715	24 ± 2,45	e
Alegria	702	19 ± 2,88	cd
Borwina	689	32 ± 3,25	f
Fasan	702	31 ± 3,94	f
Kormoran	715	16 ± 2,49	bc
Meridian	728	12 ± 2,45	a
Pirol	728	25 ± 3,27	e
Romanze	728	22 ± 2,85	de
Salome	624	17 ± 1,97	bc
Terrana	728	15 ± 2,12	b
Kalenderwoche		***	
22	1040	8 ± 2,77	a
23	1040	18 ± 2,78	b
24	1040	41 ± 2,59	e
25	1040	29 ± 2,43	d
26	1040	22 ± 2,43	c
27	1040	8 ± 2,66	a
28	819	22 ± 2,67	c

Kartoffelsorte * Kalenderwoche

Unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Differenzen des Sortenmittels hin ($\alpha=0,05$; n.s.= nicht signifikant; * = $p<0,05$; ** = $p<0,01$; *** = $p<0,001$)

Tabelle 21: Mittlere Anzahl der Blattläuse im Freilandversuch am Standort Rostock 2007 getrennt nach Kalenderwoche (n= Anzahl der Blätter im Test, einfaktorielle Varianzanalysen, SNK-Test)

Mittlere Anzahl der Blattläuse je 50 Blätter														
Kalenderwoche														
	22 (Mai)		23 (Juni)		24 (Juni)		25 (Juni)		26 (Juni)		27 (Juli)		28 (Juli)	
n	1040		1040		1040		1040		1040		1040		819	
	**		***		***		***		***		***		***	
Albatros	10	ab	25	d	39	abc	33	bc	27	b	5	a	27	b
Alegria	9	ab	11	ab	47	bc	28	ab	11	a	12	bc	18	ab
Borwina	9	ab	24	d	54	c	44	d	58	d	15	c	8	a
Fasan	12	b	30	d	70	d	46	d	29	b	10	ab	13	ab
Kormoran	5	a	10	ab	37	ab	20	a	14	a	9	ab	16	ab
Meridian	5	a	7	a	23	a	17	a	8	a	4	a	20	ab
Pirol	11	ab	19	c	31	ab	39	cd	44	c	7	ab	24	ab
Romanze	8	ab	26	d	35	ab	23	ab	12	a	10	ab	41	c
Salome	12	b	15	bc	46	bc	22	ab	4	a	5	a	n.e.	
Terrana	5	a	13	abc	32	ab	23	ab	8	a	7	ab	21	ab
Summe	86		181		413		294		215		83		173	

Unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Differenzen des Sortenmittels hin ($\alpha=0,05$; n.s.= nicht signifikant; * = $p<0,05$; ** = $p<0,01$; *** = $p<0,001$), n.e.= nicht erhoben

Über alle Termine hatten die Sorten Borwina und Fasan den höchsten Blattlausbefall mit 32 Blattläusen je 50 Blätter bzw. 31 Blattläusen je 50 Blätter und sie unterschieden sich signifikant gegenüber den übrigen Sorten (Tabelle 20). Die Sorte Meridian hatte den niedrigsten Blattlausbefall mit 12 Blattläusen je 50 Blätter.

7.2.1.2 Standort Sanitz 2006 und 2007

Die Populationsentwicklung der dominierenden Blattlausarten in den Versuchsjahren 2006 und 2007 zeigt Abbildung 25. In vergleichbaren Varianten war der Rückgang der Blattlausdichten im Jahr 2006 schwächer als 2007. Die Aphidenpopulation hatte in 2006 und 2007 bereits mit Beginn der Bonitur (25. Kalenderwoche) bzw. (24. Kalenderwoche) ihren Höhepunkt erreicht. In vorher durchgeführten Feldbeobachtungen wurden kaum Blattläuse festgestellt, demzufolge wurde der Höhepunkt sehr schnell, d.h. zwischen zwei Kontrollterminen erreicht. Der Befall war am Standort Sanitz insgesamt am niedrigsten. In beiden Jahren kam es schnell zu dem in dieser Jahreszeit üblichen Populationseinbruch.

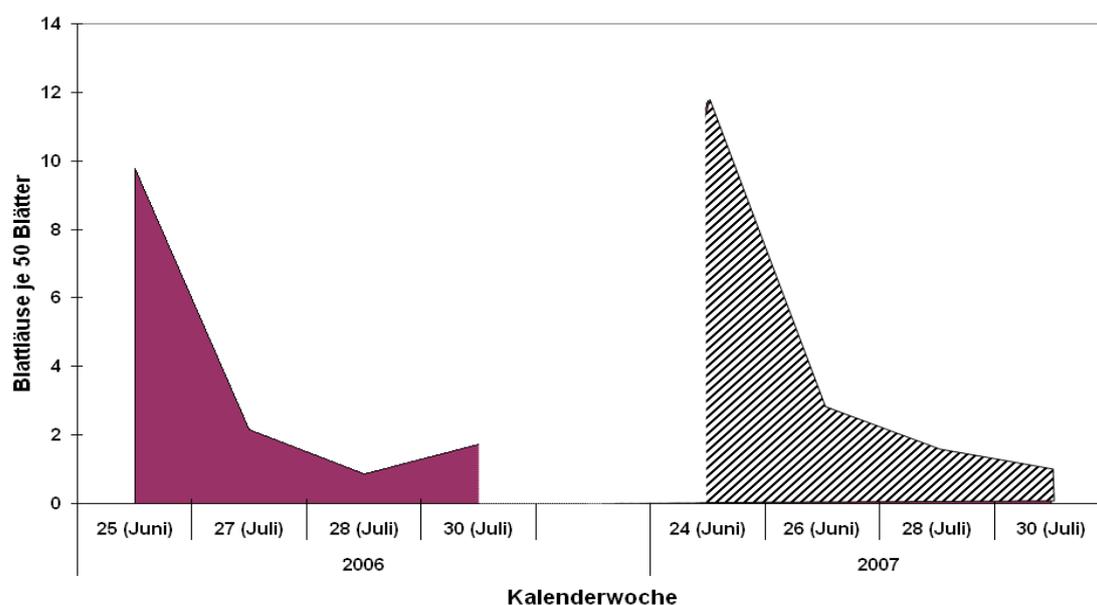


Abbildung 25: Auftreten der Blattläuse (*M. persicae*, *M. euphorbiae*, *A. nasturtii*, *A. frangulae* und *A. solani*) am Standort Sanitz 2006 & 2007

Wie am Standort Rostock waren am Standort Sanitz neben den dominierenden Arten *A. nasturtii*, *M. Persicae* und *M. euphorbiae* zu Beginn der Besiedlung der Kartoffel auch vereinzelt Läuse der Arten *A. frangulae* und *A. solani* zu finden. Sie erreichten auch hier im Verlauf der Vegetationsperiode nur sehr geringe Dichten.

Im **Jahr 2006** war *A. nasturtii* mit einem Anteil von 87% der insgesamt bestimmten Blattläuse mit Abstand die häufigste Blattlausart auf den Kartoffelsorten (Abbildung 26). Teilweise vergesellschaftet mit *M. persicae* kam sie in der Regel zerstreut an älteren Blättern vor. Alle anderen Blattlausarten traten nur selten auf.

Im **Jahr 2007** war *M. persicae* mit einem Anteil von 58% der insgesamt bestimmten Blattläuse mit Abstand die häufigste Blattlausart auf den Kartoffelsorten (Abbildung 26), teilweise vergesellschaftet mit *M. euphorbiae* (23%), die meist die jungen Blätter besiedelte. *A. nasturtii* lag mit einem Anteil von 14% der insgesamt bestimmten Blattläuse an dritter Stelle. Die anderen Blattlausarten traten nur selten auf.

Unterschiede zwischen den Jahren waren vor allem im Auftreten von *M. euphorbiae* und *M. persicae* zu beobachten. Ungefähr gleich niedrige Dichten erreichten beide Arten im Jahr 2006. *A. nasturtii* war in 2006 häufiger zu finden, 2007 war die Populationsdichte von *A. nasturtii* sehr gering, so dass *M. persicae* die häufigste bzw. *M. euphorbiae* die zweithäufigste Blattlausart in diesem Zeitraum waren.

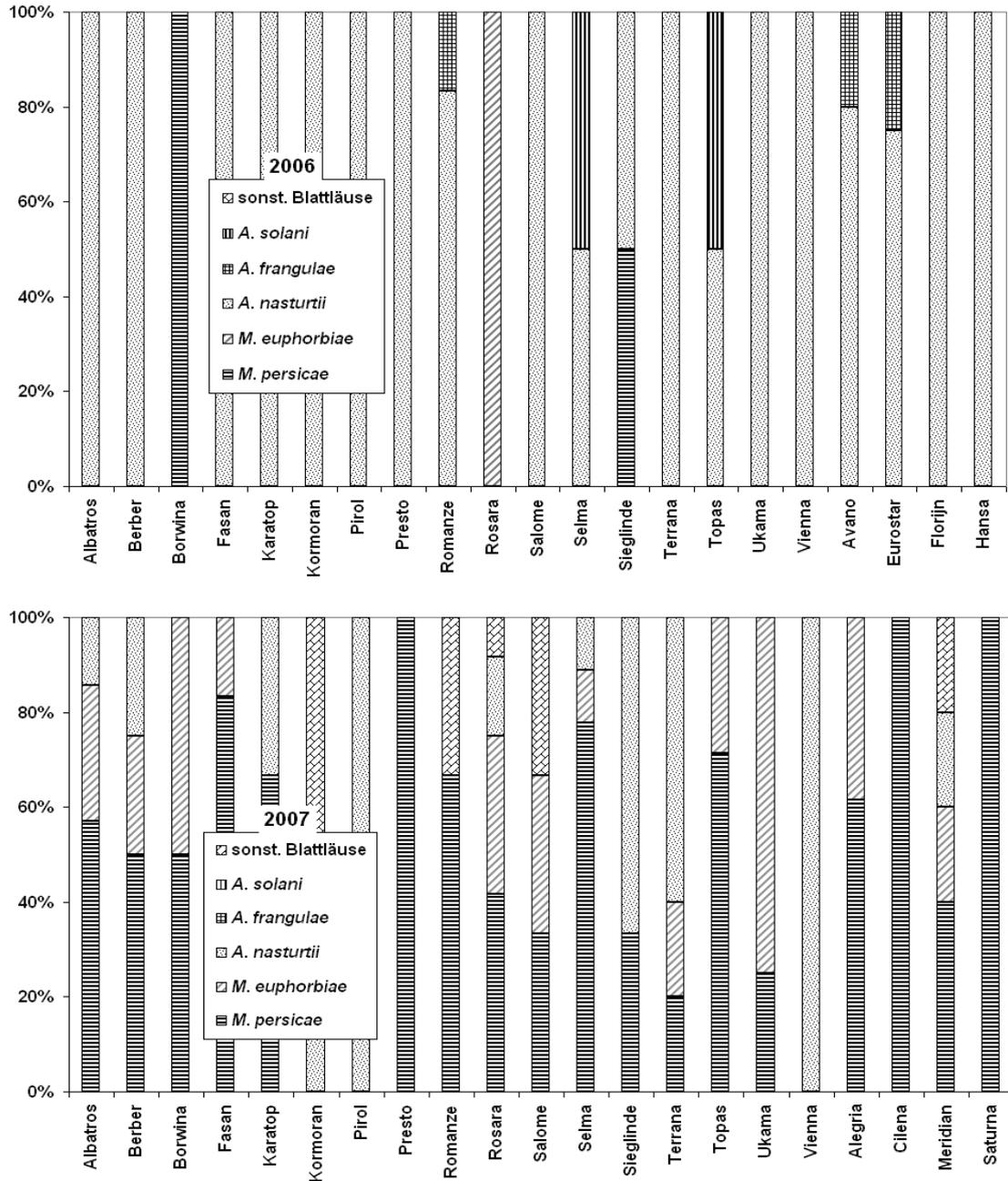


Abbildung 26: Artenspektrum der Kartoffelläuse am Standort Sanitz 2006 & 2007 (Mittelwerte von 100- Blattproben)

Unter den Feldversuchsbedingungen in Sanitz gab es nur kleine Unterschiede im Blattlausbefall zwischen den ausgewählten Kartoffelsorten. Die Sorte Pirol mit 1 Blattlaus je 50 Blätter unterscheidet sich signifikant von den Sorten Albatros und Alegria mit 8,5 bzw. 10,8 (Abbildung 27). Die Kartoffelsorte Alegria mit 10,8 Blattläusen je 50 Blätter hatte den höchsten Blattlausbefall und sie unterschied sich signifikant von den Sorten Terrana, Karatop, Sieglinde,

Ukama, Vienna, Salome, Cilena, Kormoran, Hansa, Pirol und Florijn. Der Unterschied zwischen den übrigen Sorten ist statistisch nicht gesichert.

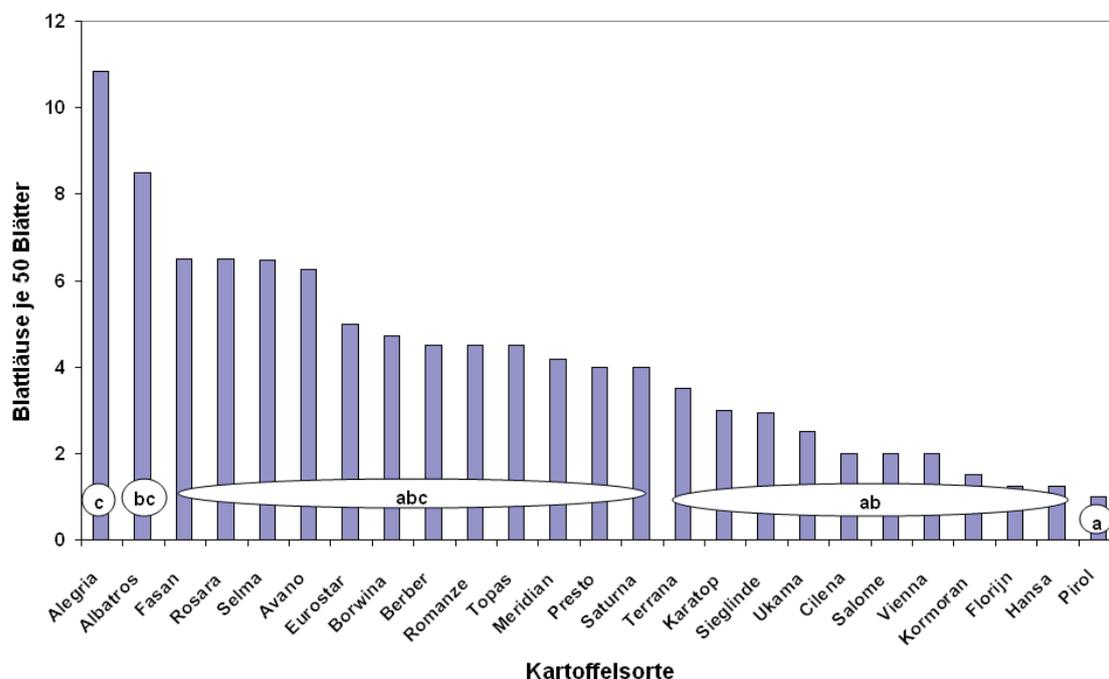


Abbildung 27: Vergleich der Kartoffelsorten bezüglich der Besiedlung der Blattläuse am Standort Sanitz (2006-2007)

7.2.1.3 Standort Gülzow 2006 und 2007

Der zeitliche Verlauf der Populationsdichten von den wichtigsten Blattlausarten im Versuchsjahr 2006 und 2007 ist in Abbildung 28 dargestellt. Bis einschließlich 23. Kalenderwoche war kaum Flug zu verzeichnen, der Flughöhepunkte trat in der 27. Woche in 2006 bzw. in der 24. Woche in 2007 ein. Die Blattlausdichte war in 2007 um 65% niedriger als in 2006. Der Niederschlag im Juni und Juli 2007 war zwei- bis dreifach höher als im Juni und Juli 2006. Die 24. bis 30. Kalenderwoche 2007 schließlich waren regnerische Wochen, deren häufige Niederschläge sich negativ auf das Flugverhalten der Blattläuse auswirkten. Wie in Sanitz (vgl. Abbildung 25) brach auch in Gülzow die Blattlauspopulation in den Jahren 2006 und 2007 bis Ende Juli fast vollständig zusammen. Die Kartoffel war in der Phase des Zusammenbruchs im phänologischen Stadium „Absterben“.

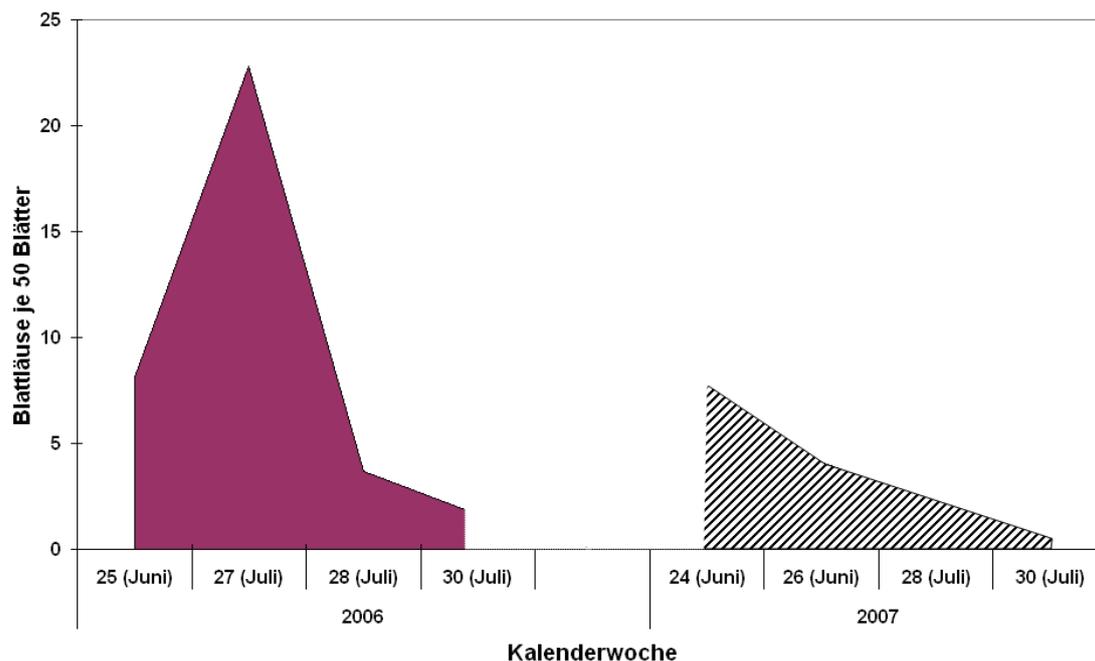


Abbildung 28: Auftreten der Blattläuse (*M. persicae*, *M. euphorbiae*, *A. nasturtii*, *A. frangulae* und *A. solani*) am Standort Gülzow (2006 & 2007)

Im Jahr 2006 dominierte das Artenspektrum der Blattläuse *A. nasturtii* mit einem Anteil von 81% der insgesamt bestimmten Blattläuse (Abbildung 29). Alle anderen Blattlausarten traten nur selten auf. Während *M. euphorbiae* im Jahr 2006 mit dem Minimalwert von nur 1% auftraten, konnte *M. euphorbiae* im Jahr 2007 mit einem höheren Anteil von 42% der insgesamt bestimmten Blattläuse festgestellt werden.

Im Jahr 2007 waren die dominanten Blattlausarten auf den Kartoffelsorten *M. persicae* und *M. euphorbiae* (Abbildung 29), die beiden Arten hatten Abundanzen von 49% bzw. 42%. Im Feld traten sowohl *A. frangulae* als auch *A. solani* nicht auf. Bei dem stärkeren Blattlausbefall in 2006 traten die Sortenunterschiede deutlicher hervor als in 2007 bei schwächerem Befallsdruck (s. Anhang Tab. 13 u. 14).

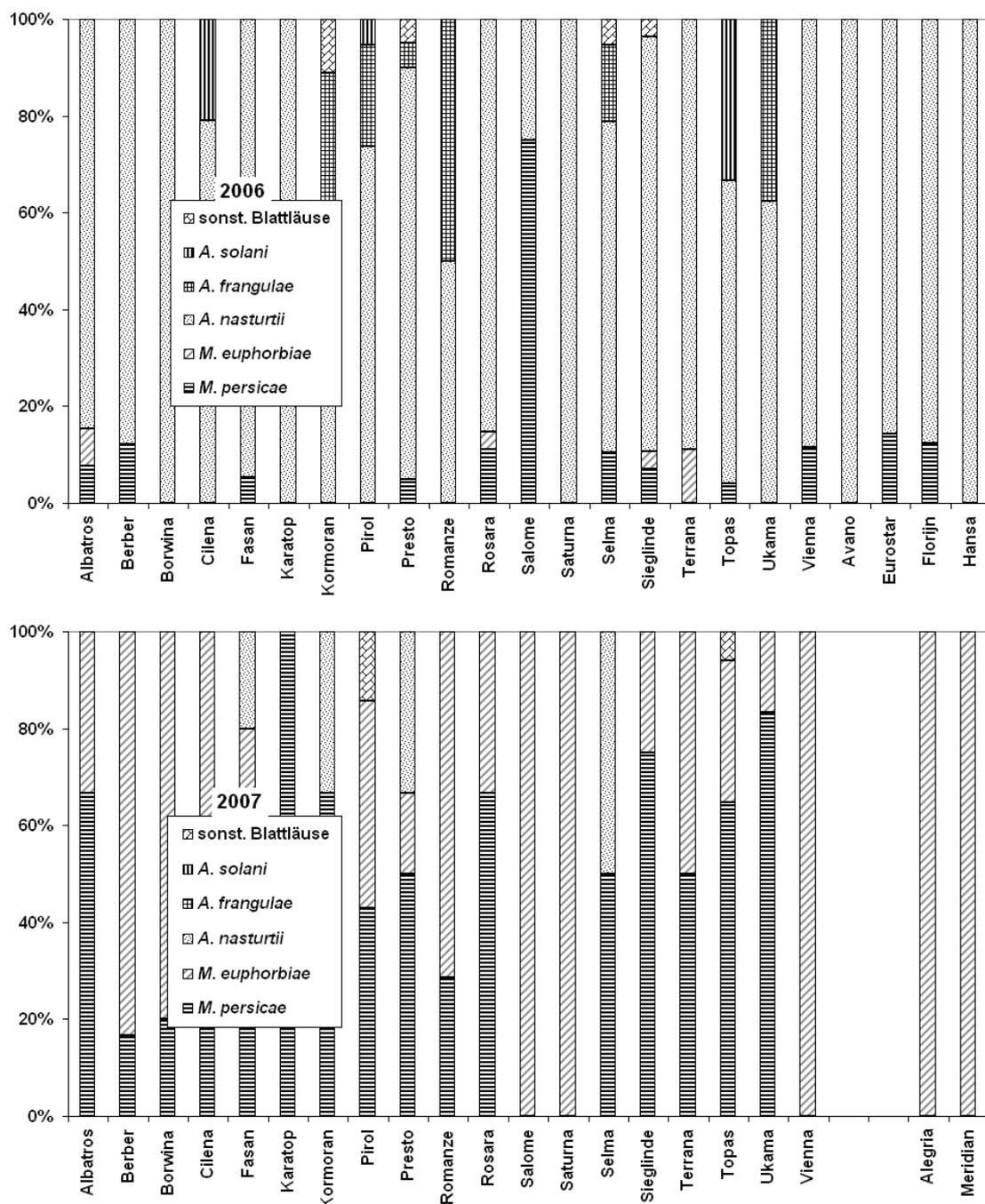


Abbildung 29: Artenspektrum der Kartoffelläuse am Standort Gülzow 2006 & 2007 (Durchschnittswerte von 100- Blattproben)

Die Kartoffelsorten unterschieden sich statistisch signifikant voneinander (Abbildung 30). Die Kartoffelsorten Berber und Topas hatten den höchsten Blattlausbefall mit 13,9 bzw. 13,6 und ließen sich statistisch signifikant gegenüber den Sorten Terrana, Hansa, Salome, Saturna, Meridian, Alegria und Karatop abgrenzen. Der geringste Blattlausbefall war bei den Sorten Karatop

und Meridian mit 1,1 bzw. 1,7 zu finden. Der Unterschied zwischen den übrigen Sorten ist statistisch nicht gesichert.

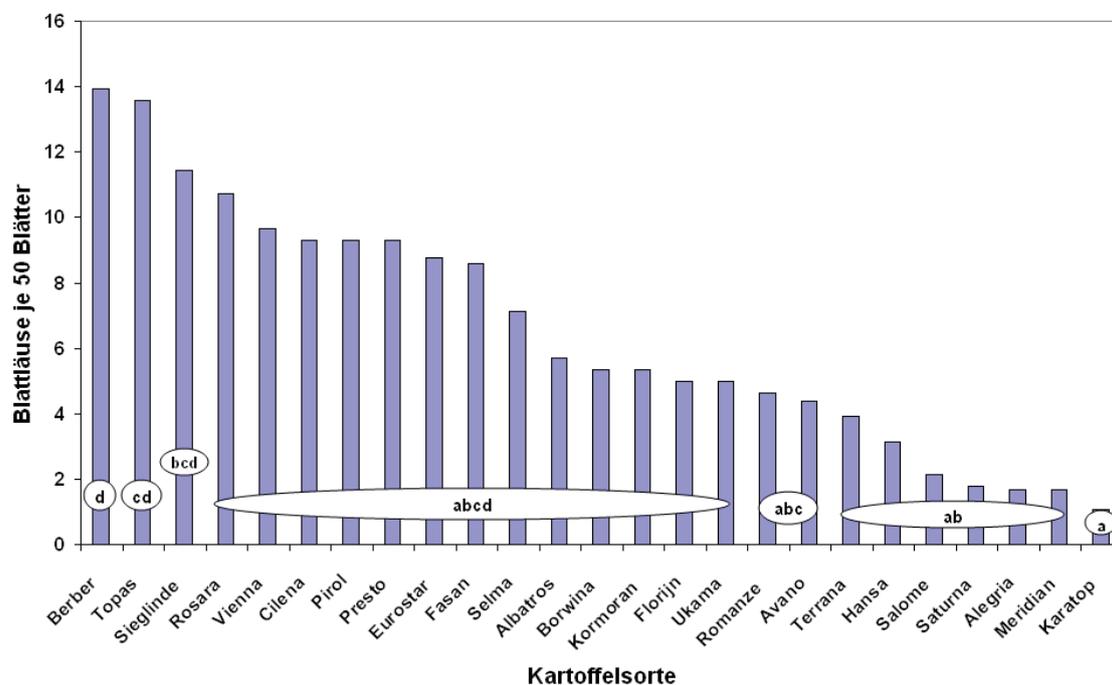


Abbildung 30: Vergleich der Kartoffelsorten bezüglich Besiedlung der Blattläuse am Standort Gülzow (2006-2007)

7.2.2 Identifizierung der Farbspektren verschiedener Kartoffelsorten

In **Rostock 2007** wurde zu drei Terminen ein Spektrometer eingesetzt. In Abbildung 31 sind Pflanzenspektren (Remissionssignaturen) der Sorten in ihren Veränderungen über die drei Termine im Zeitraum 13. Juni bis 4. Juli dargestellt. In Rostock konnte Ende Juli 2007 keine Messung durchgeführt werden, weil die Kartoffelpflanzen durch Phytophthora zerstört waren.

Die spektrale Diskriminierung der unterschiedlichen Kartoffelsorten war am 13.06.2007 und 4.07.2007 besonders deutlich. In diesem Entwicklungsstadium zeichnete sich die Sorte Fasan gegenüber den übrigen Sorten durch höhere Chlorophyllgehalte und Blattflächenindices aus. Daraus resultieren die höheren Absorptionswerte im gelben und roten Lichtwellenbereich (570-700 nm) und die höheren Remissionswerte im nahen Infrarot (700-1000 nm).

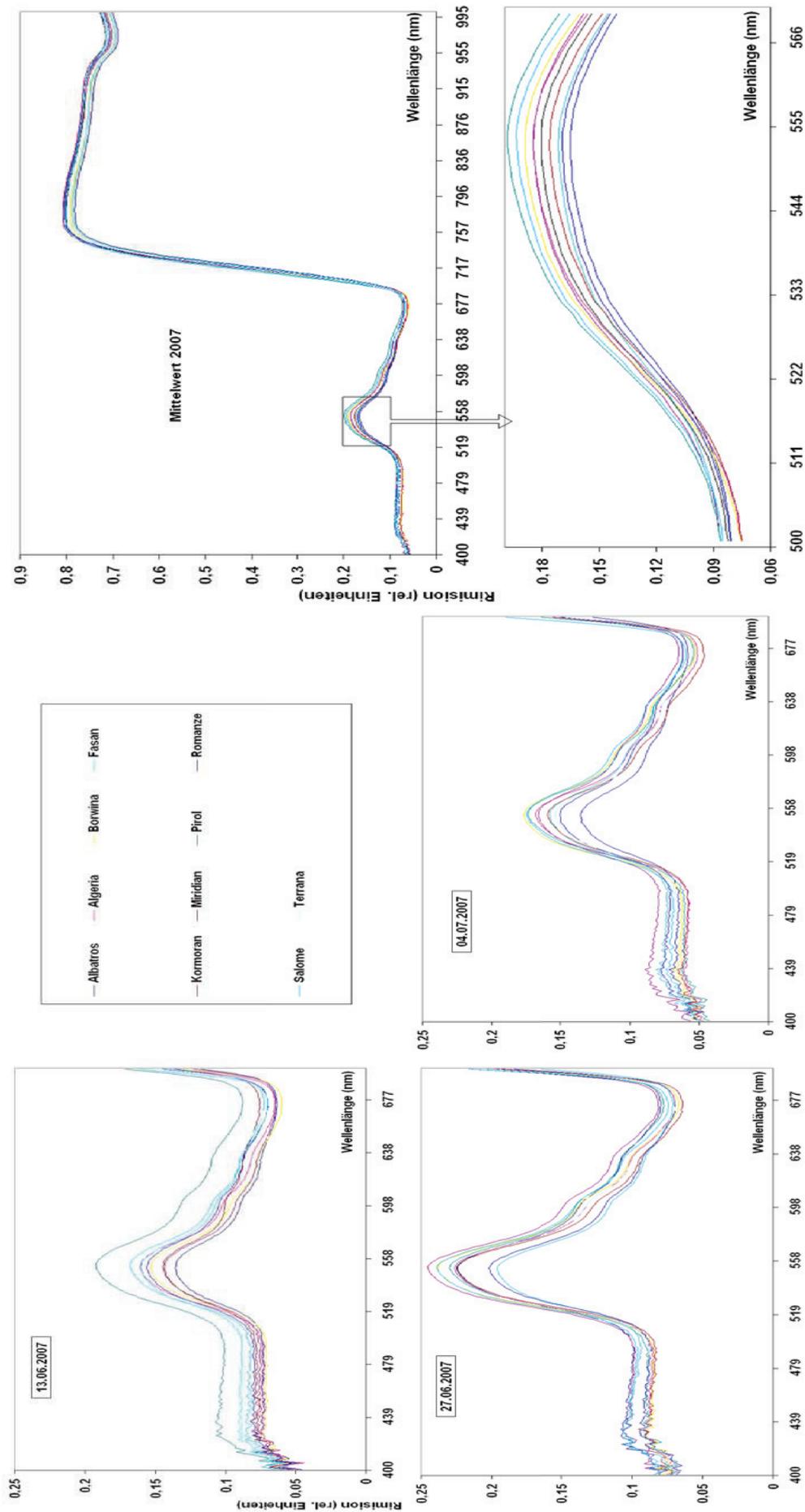


Abbildung 31: Veränderung der Remissionssignatur der Kartoffelsorten im Untersuchungszeitraum 13.06.2007 bis 04.07.2007 in Rostock links, Vergleich der Remissionssignaturen im Wellenlängenband 520 nm - 570 nm rechts

Sowohl in **Sanitz** als auch in **Gülzow** dokumentiert der zweite Messtermin in 2006 bzw. der dritte Messtermin in 2007 die Vitalisierung der Kartoffelsorten (Abbildung 32, Abbildung 33, Abbildung 34 und Abbildung 35). Vor allem rotes Licht wird am 13. Juli 2006 bzw. am 09. Juli 2007 stärker absorbiert als zuvor (= gesteigerter Chlorophyllgehalt), die Remission im NIR nimmt zu (= Zunahme der Biomasse). Im Zuge der für Kartoffel charakteristischen sequentiellen Blattseneszenz ist in den darauffolgenden Spektralaufnahmen (Zeitraum 26.7.2006 bzw. 23.7.2007) im Bereich des sichtbaren Lichtes (VIS) ein stetiger Anstieg der Remission festzustellen. Der Grund dafür ist der Abbau der photosynthetisch aktiven Pigmente und die Einbuße der grünen Blattfläche (GERHARD 2001).

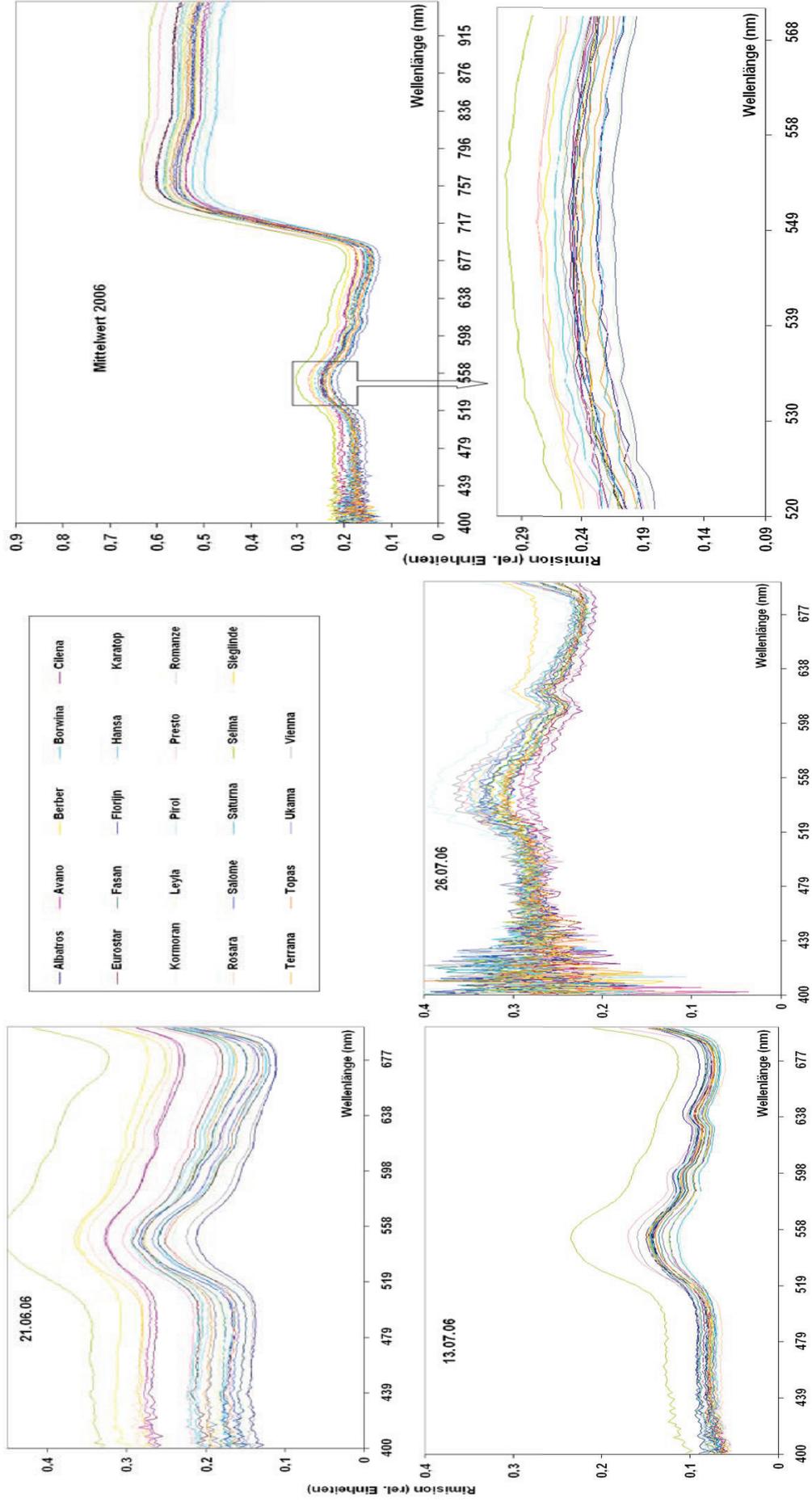


Abbildung 32: Veränderung der Remissionssignatur der Kartoffelsorten im Untersuchungszeitraum 21.06 bis 26.07 in Sanitz 2006 links, Vergleich der Remissionssignaturen im Wellenlängenband 520 nm - 570 nm rechts

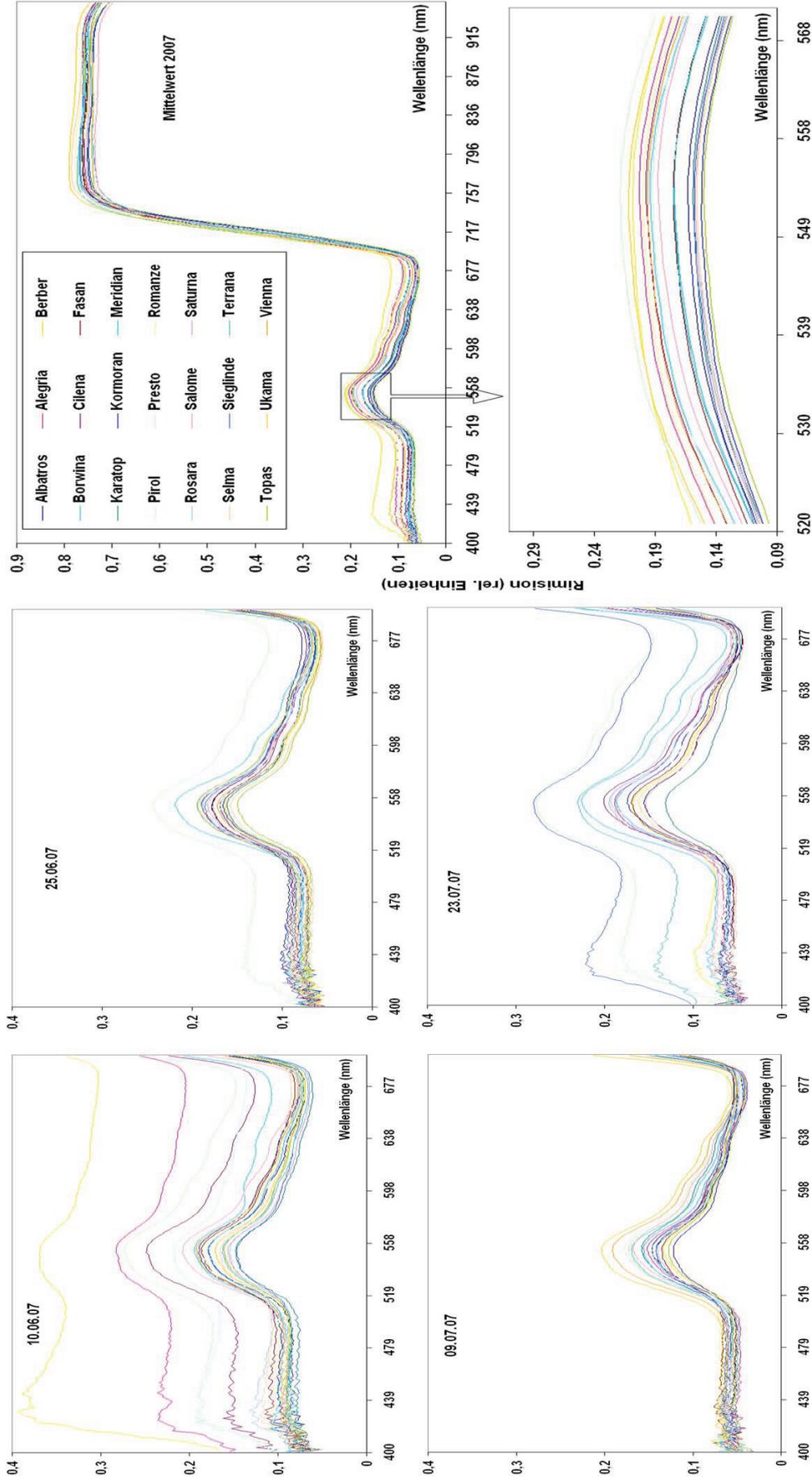


Abbildung 33: Veränderung der Remissionssignatur der Kartoffelsorten im Untersuchungszeitraum 10.06 bis 23.07 in Sanitz 2007 links, Vergleich der Remissionssignaturen im Wellenlängenband 520 nm - 570 nm rechts

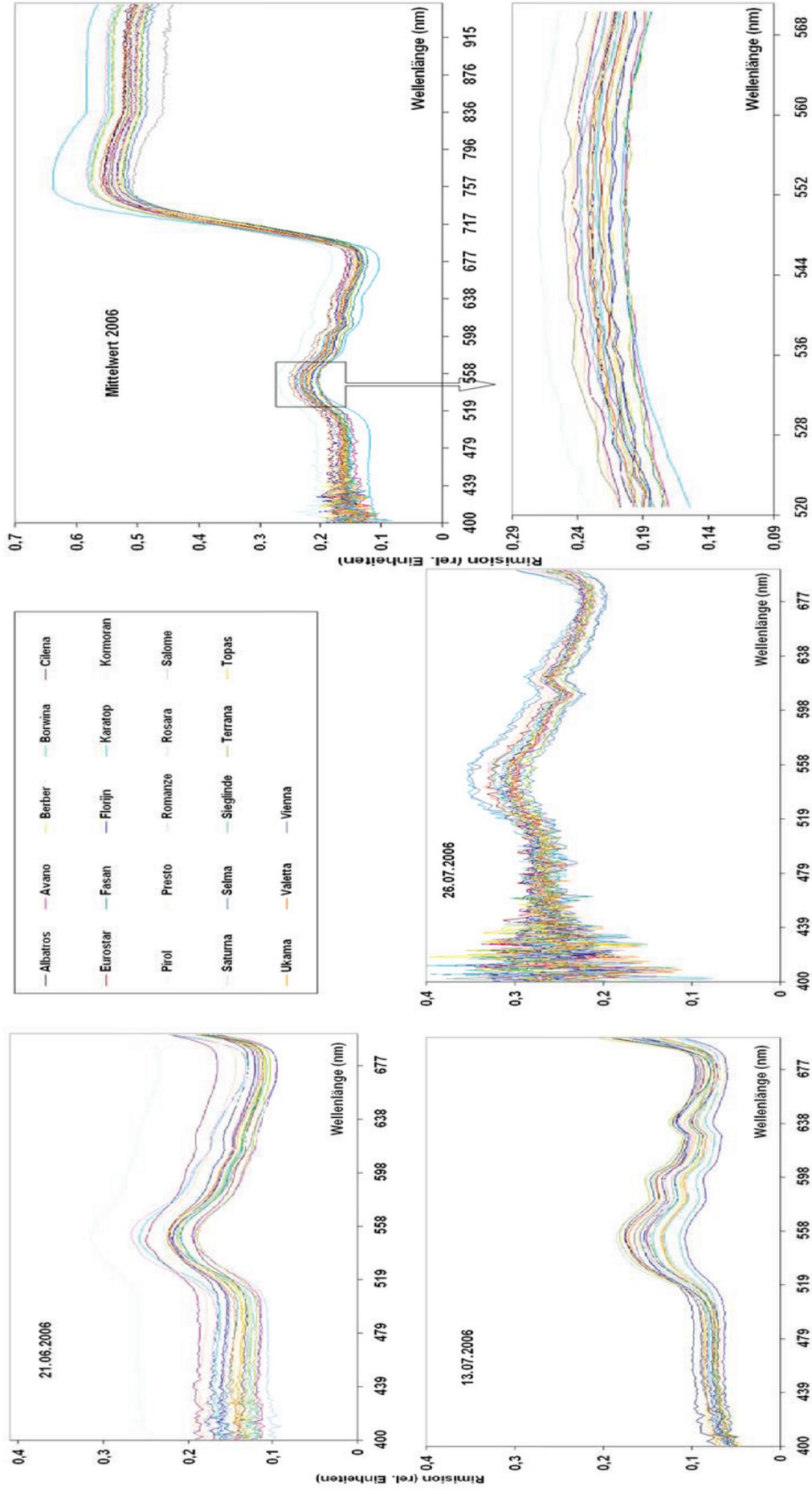


Abbildung 34: Veränderung der Remissionssignatur der Kartoffelsorten im Untersuchungszeitraum 21.06 bis 26.07 in Gülzow 2006 links, Vergleich der Remissionssignaturen im Wellenlängenband 520 nm - 570 nm rechts

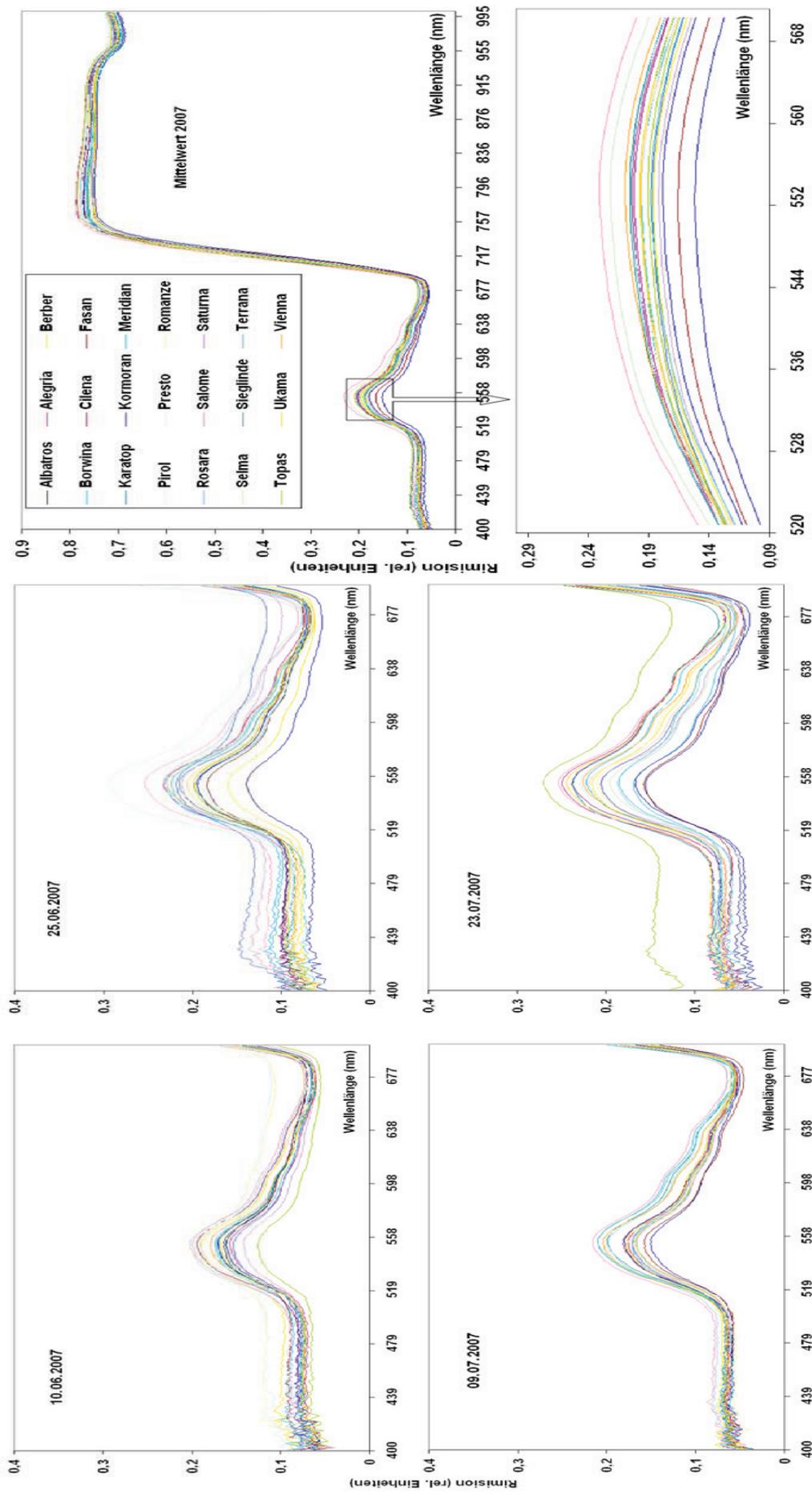


Abbildung 35: Veränderung der Remissionssignatur der Kartoffelsorten im Untersuchungszeitraum 10.06 bis 23.07 in Gülzow 2007 links, Vergleich der Remissionssignaturen im Wellenlängenband 520 nm - 570 nm rechts

7.2.3 Zusammenhang zwischen Reflexion und Blattlausbefall

In Sanitz und Rostock ließen die errechneten linearen Korrelationskoeffizienten bei den Wellenlängen 530 nm, 560 nm und 400-700 nm auf einen positiven Zusammenhang zwischen der von der Vegetation ausgehenden Reflexion und dem Blattlausbefall von *A. nasturtii* schließen (Tabelle 22). Der Blattlausbefall von *M. persicae* brachte eine negative signifikante Korrelation mit Reflexionswerten bei den Wellenlängen 560 nm, 530 nm in Rostock bzw. bei den Wellenlängen 530 nm, 560 nm und 400-700 nm in Gülzow. Der Blattlausbefall von *M. euphorbiae* hatte eine negative signifikante Korrelation mit Reflexionswerten bei den Wellenlängen 530 nm und 560 nm in Rostock bzw. bei den Wellenlängen 400-700 nm in Gülzow.

Mit der Abnahme des Chlorophyllgehaltes und der zunehmenden Entwässerung des Pflanzengewebes und dem sequentiellen Verlust an assimilierender Blattfläche bei Alterung und/oder Krankheit, nimmt die Lichtrückstrahlung im sichtbaren Wellenlängenbereich (VIS = 400 nm bis 700 nm) zu und Blattlausbefall im Feld ab. Anders herum gilt: nehmen die Reflexionswerte ab, nimmt der Blattlausbefall zu.

Tabelle 22: Lineare Korrelationstabelle der Reflexionswerte von verschiedenen Wellenlängen und Anzahl der Blattläuse

	Wellenlängen (nm)		
	400-700	530	560
	(VIS Sichtbares Licht)	Grün	
	r	r	r
Rostock (n=28)			
<i>M. persicae</i>	(-0,21)	-0,40*	-0,44*
<i>A. nasturtii</i>	0,45*	0,48*	0,47*
<i>M. euphorbiae</i>	(-0,29)	-0,40*	-0,44*
Sanitz (n=150)			
<i>M. persicae</i>	(-0,11)	(-0,12)	(-0,13)
<i>A. nasturtii</i>	0,16*	0,16*	0,17*
<i>M. euphorbiae</i>	(-0,12)	(-0,11)	(-0,11)
Gülzow (n=152)			
<i>M. persicae</i>	-0,17*	-0,19*	-0,22**
<i>A. nasturtii</i>	(0,1)	(0,03)	(-0,01)
<i>M. euphorbiae</i>	-0,16*	(-0,12)	(-0,09)

* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

7.2.4 Zusammenhang zwischen NDVI, WBI und Blattlausbefall

Die normalisierten differenzierten Vegetationsindizes aller ausgewählten Sorten aller Versuchstandorte wurden errechnet. Abbildung 36 zeigt den mittleren Verlauf des NDVI der Kartoffelsorten im Untersuchungszeitraum 21. Juni bis 26. Juli im Jahr 2006 bzw. 10. Juni bis 23. Juli im Jahr 2007. Ab Beginn der Blüte stieg der NDVI in allen Varianten und an allen Standorten an und erreichte ein Maximum. Durch den Verlust der grünen Blattfläche und des Chlorophylls als sichtbares Zeichen der Seneszenz, nahm der NDVI zum letzten Messtermin (26. Juli 2006 bzw. 23. Juli 2007) in Sanitz und Gülzow bei allen Varianten markant ab.

Die NDVI-Werte im Jahr 2007 waren deutlich höher als im Jahr 2006. Dies ist das Resultat der veränderten Umweltbedingungen, in denen die Kartoffelpflanzen das Wasser- und Nährstoffangebot in produktives Wachstum umsetzten. In den Monaten Juni und Juli des Jahrs 2007 hat es mit 268 mm deutlich mehr geregnet als im Vergleich zum langjährigen Mittel dieser Monate. Die Niederschlagsmenge des Jahres 2006 im Juni und Juli war mit 66 mm besonders gering (s. Kapitel 3.1.5).

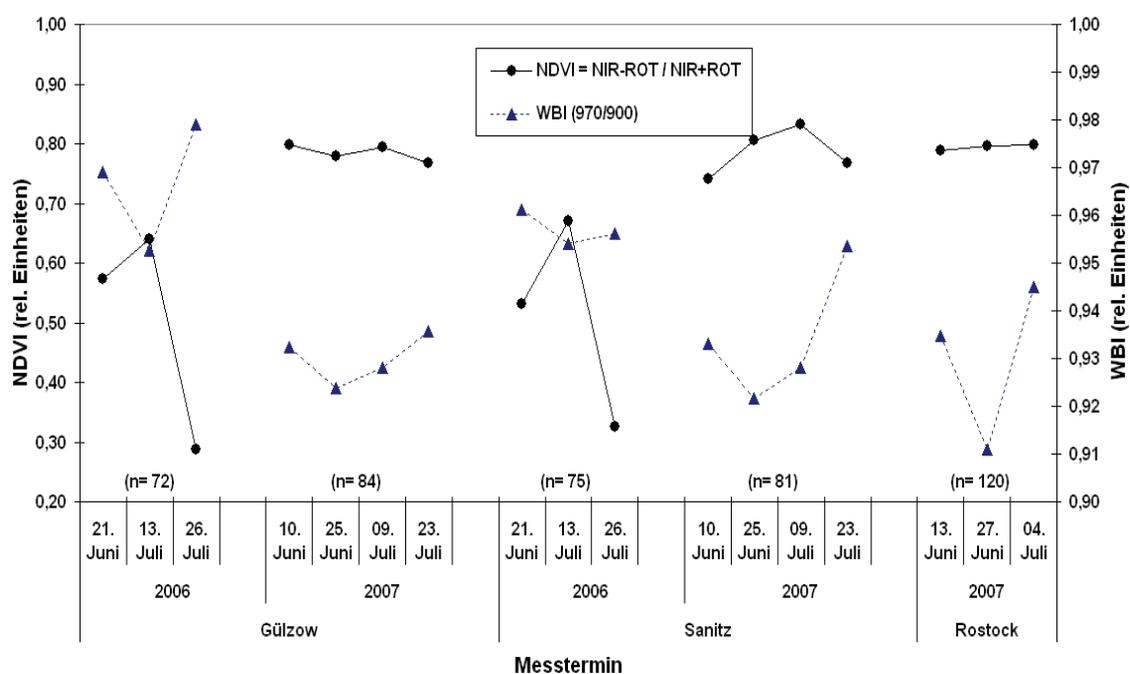


Abbildung 36: Veränderung des NDVI und des WBI der Kartoffelsorten an den Standorten Gülzow, Sanitz und Rostock (2006-2007)

Bei der Berechnung des Wasserbanden-Index (WBI) findet die Beurteilung des rel. Gewebewassergehaltes den Kartoffelsorten besondere Berücksichtigung. Die Verlaufskurve des WBI ist reziprok zu der des NDVI (s. Abbildung 36). Deutlicher als bei dem NDVI tritt eine Differenzierung zwischen den Messtermine auf. Bei dem zweiten Messtermin wiesen die Kartoffelsorten in 2006 und 2007 an allen Standorten die niedrigsten WBI-Werte auf. Damit kann auf höhere Gewebewassergehalte in diesen Sorten geschlossen werden. Im Durchschnitt von 2006 und 2007 wiesen die Sorten Alegria und Meridian in Rostock und Gülzow bzw. die Sorte Topas, Karatop und Alegria in Sanitz die niedrigsten WBI-Werte auf (Tabelle 23). Die Sorten Pirol und Eurostar in Sanitz und Gülzow bzw. Pirol in Rostock hatten höhere WBI-Werte.

Tabelle 23: Mittlere NDVI und WBI der verschiedenen Kartoffelsorten an den Standorten Gülzow, Sanitz und Rostock (2006-2007)

Kartoffelsorte	Gülzow (n= 156)		Sanitz (n= 156)		Rostock (n= 120)	
	NDVI	WBI	NDVI	WBI	NDVI	WBI
Albatros	0,679	0,939	0,712	0,941	0,799	0,928
Alegria	0,784	0,920	0,755	0,935	0,804	0,926
Avano	0,481	0,955	0,457	0,951		
Berber	0,673	0,943	0,613	0,951		
Borwina	0,68	0,941	0,647	0,948	0,799	0,929
Cilena	0,639	0,945	0,635	0,941		
Eurostar	0,516	0,970	0,531	0,961		
Fasan	0,697	0,941	0,68	0,944	0,794	0,928
Florijn	0,513	0,974	0,512	0,950		
Hansa	0,613	0,957	0,506	0,950		
Karatop	0,636	0,949	0,693	0,933		
Kormoran	0,688	0,940	0,693	0,938	0,791	0,935
Meridian	0,785	0,932	0,807	0,943	0,804	0,926
Pirol	0,615	0,958	0,658	0,958	0,777	0,939
Presto	0,657	0,946	0,649	0,951		
Romanze	0,663	0,949	0,652	0,944	0,798	0,928
Rosara	0,655	0,935	0,669	0,940		
Salome	0,634	0,945	0,669	0,943	0,785	0,934
Saturna	0,664	0,951	0,679	0,949		
Selma	0,676	0,943	0,603	0,949		
Sieglinde	0,66	0,951	0,655	0,938		
Terrana	0,668	0,950	0,694	0,938	0,793	0,927
Topas	0,658	0,944	0,698	0,924		
Ukama	0,659	0,945	0,664	0,949		
Vienna	0,663	0,956	0,675	0,951		

Um einen Zusammenhang zwischen der Vitalität der Kartoffelpflanzen und dem Blattlausbefall festzustellen, wurden die Merkmale korreliert. Die resultierenden linearen Korrelationskoeffizienten zeigen einen positiven linearen Zusammenhang zwischen dem NDVI und dem Blattlausbefall bei allen dominierenden Blattlausarten in Gülzow bzw. dem Blattlausbefall von *M. persicae* und *M. euphorbiae* in Sanitz (Tabelle 24). In Rostock gab es keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der NDVI der Sorten und dem Blattlausbefall.

Tabelle 24: lineare Korrelationstabelle der NDVI und WBI mit Anzahl der Blattläuse

	Wasserbanden-Index WBI	Normalisierter Differenz Vegetation Index NDVI
	r	r
Rostock (n=28)		
<i>M. persicae</i>	(0,2)	(-0,16)
<i>A. nasturtii</i>	-0,46*	(-0,05)
<i>M. euphorbiae</i>	(0,14)	(0,06)
Sanitz (n=150)		
<i>M. persicae</i>	-0,21*	0,19*
<i>A. nasturtii</i>	(0,14)	(-0,12)
<i>M. euphorbiae</i>	-0,29**	0,18*
Gülzow (n=152)		
<i>M. persicae</i>	(-0,11)	0,18*
<i>A. nasturtii</i>	-0,25**	0,20*
<i>M. euphorbiae</i>	-0,26**	0,23**

* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant

Der WBI-Wert steigt in Blättern, die wenig Wassergehalt haben (PENUELAS et al. 1997). Es gab eine negative signifikante lineare Korrelation zwischen dem WBI und dem Blattlausbefall von *A. nasturtii* in Rostock und Gülzow bzw. mit *M. euphorbiae* in Gülzow und Sanitz, d.h. je höher der Wassergehalt der Kartoffelpflanzen war, desto höhere Blattlausdichten traten auf. Nur in Sanitz traf diese Beziehung auch für den Befall von *M. persicae* und WBI zu.

7.3 Diskussion

Grundsätzlich wurden in Rostock mehr Blattläuse gefunden als in Gülzow und Sanitz. Eine mögliche Ursache dafür kann es sein, dass in Gülzow und Sanitz in unmittelbarer Nähe zur jeweiligen Versuchsfläche auf anderen Kartoffelfeldern ein Einsatz von Insektiziden stattgefunden hat. Durch den Insektizideinsatz waren möglicherweise weniger Blattläuse in Gülzow und Sanitz, die auf die relevante Versuchsfläche hätten übersiedeln können. Obwohl das Mikroklima der Standorte nicht bekannt ist, kann auch in diesem Punkt eine mögliche Ursache für die Differenz der Gesamtanzahl von Blattläusen ausgemacht werden.

Die Blattläuse können nur bei niedrigen Windgeschwindigkeiten vorankommen. Sie werden über beträchtliche Entfernungen durch die Luftbewegungen transportiert (WIKTELIUS 1984; WIKTELIUS et al. 1990). Der Einfluss von Kartoffelsorten auf die Immigration und frühe Populationsentwicklung von Blattläusen wurde untersucht. Sowohl in Sanitz und Gülzow als auch in Rostock konnten signifikanten Unterschiede im Blattlausbefall zwischen den Sorten erkannt werden. MORAN (1992) hat angegeben, dass die Besiedlungsdichte der Wirtspflanze und die Blattlausmorphe von klimatischen Faktoren wie z. B. Photoperiode und Temperatur beeinflussen. HONEK & MARTINKOVA (2004) haben erklärt, dass die Qualität der Wirtspflanzen und andere Umweltfaktoren die Blattlausbesiedlung beeinflussen.

Bei den Bonituren der Kartoffelblattläuse im Freiland wurde 2006 *A. nasturtii* mit Abstand als die häufigste Blattlausart auf den Kartoffelsorten festgestellt. 2007 war *M. persicae* mit Abstand die häufigste Blattlausart auf den Kartoffelsorten. Während des Untersuchungszeitraumes 2006 und 2007 waren an den Kartoffeln die Blattlausarten *A. nasturtii*, *M. persicae* und *M. euphorbiae* am häufigsten. Das gleiche Artenspektrum wurde auch von verschiedenen Autoren in anderen europäischen Ländern festgestellt (BRADLEY et al. 1952; ROBERTSON 1975; PALUMBO et al. 2000; RIECKMANN 2000; MATTEM & SCHUBERT 2002; WÜTHRICH & HEBEISEN 2005; KUROLI & LANTOS 2006).

Obwohl in unserer Studie mit Blattlausbefall die Sorte Romanze in der letzten Woche am Standort Rostock den schwersten Befall mit Phytophthora hatte,

wies sie den höchsten Blattlausbefall im Vergleich mit den anderen Kalenderwochen und mit den anderen Sorten auf.

Unsere Ergebnisse zeigten klar, dass die Blattlauspopulationen in den Jahren 2006 und 2007 bis Ende Juli fast vollständig zusammengebrochen sind, und das stimmt mit den Ergebnissen von BONNEMAISON (1966) und FRAZER (1988) überein, dass der Zusammenbruch der Blattlauspopulation im Juli oder August erfolgt. Die Gründe dafür können eine Verschlechterung der Nahrungsqualität (meistens einhergehend mit dem Abreifen der Bestände), hohe Temperaturen oder natürliche Feinde sein.

Die anfängliche Attraktion von Blattläusen zu ihren Wirtspflanzen wird durch visuelle Reize bestimmt (MONTLLOR 1991). Für die Wellenlängen 400–700 nm, 530 nm und 560 nm ergab sich ein Unterschied im Reflexionsgrad zwischen den geprüften Kartoffelsorten. Im Laufe der Untersuchung wurde ein gesicherter Zusammenhang zwischen den Reflexionswerten der unterschiedlichen Sorten und dem Blattlausbefall (*M. persicae*, *A. nasturtii*, *M. euphorbiae*) gefunden. Insbesondere war dieses bei der Wellenlänge 530 nm und 560 nm (Grünbereich) deutlich. Dieser Befund war stabil und stimmt mit Ergebnissen von MÖRICKE (1950) überein. Der Autor stellte fest, dass die Blattläuse die grün- gelben Farben bevorzugten. Auch nach ROBERT (1987), FERERES et al. (1999) und IRWIN et al. (2007) reagieren die Blattläuse bei Landung auf bestimmte Farben, und bevorzugen vor allem Pflanzen, die stark die gelb-grünen Wellenlängen reflektieren (520–580 nm). Mit monochromatischem Licht in einem vertikalen Windkanal zeigten HARDIE (1989) und NOTTINGHAM et al. (1991), dass *A. fabae* und *Rhopalosiphum padi* am stärksten auf eine Wellenlänge im grünen Bereich des Spektrums bei 550 nm reagierten.

Nur *M. euphorbiae* und *M. persicae* in Sanitz und *A. nasturtii* in Gülzow zeigten keinen Zusammenhang mit den Reflexionswerten (s. Tabelle 22). Wenn es einen Zusammenhang geben sollte, konnte er eventuell aufgrund von mindestens zwei möglichen Fehlerquellen nicht ermittelt werden. Die erste Fehlerquelle ist die geringe Anzahl der Blattläuse auf den Pflanzen. Des

Weiteren kann als möglicher Fehler die Zeitdifferenz zwischen dem Entnehmen der Blätter und den Messungen an den Blättern angeführt werden, da es aufgrund dieser Zeitdifferenz zu Verfärbungen der Blätter gekommen ist.

Vegetationsindices sind Verhältniswerte, die aus verschiedenen Wellenlängenbereichen einer Reflexionssignatur errechnet werden. Sie beschreiben signifikante Beziehungen zwischen der spektralen Reflexion und pflanzenphysiologischen Zuständen (ROUSE et al. 1974; DUSEK et al. 1985; DOCKTER et al. 1988; GUYOT & BARET 1991; PENUELAS et al. 1993; ARAUS 1996; REYNOLDS et al. 1999; SERRANO et al. 2000). Die Indices können als pflanzenphysiologische Parameter betrachtet werden (GERHARD 2001). In dieser Arbeit wurden die Indices NDVI (Normalisierter Differenz Vegetations-Index, ROUSE et al. 1973) und WBI (Wasserbanden-Index, PENUELAS et al. 1993) verwendet.

Ab Beginn der Blüte stieg der NDVI in allen Varianten an und erreichte ein Maximum. Durch den Verlust der grünen Blattfläche und des Chlorophylls als sichtbares Zeichen der Seneszenz, nahm der NDVI folglich zum letzten Messtermin bei allen Standorten ab. Die mittleren NDVI-Werte der Kartoffelsorten schwankten in 2006 und 2007 zwischen 0,5 und 0,8 (s. Tabelle 23). THENKABAIL et al. (2000) führten im Jahr 1997 in Aleppo (Syrien) 25 Freilandversuche durch und ermittelte die NDVI-Werte von 5 Kulturpflanzen (Kartoffel, Getreide, Baumwolle, Sojabohnen und Sonnenblume). Die Autoren errechneten für Kartoffelpflanzen ebenfalls NDVI-Werte von 0,5 bis 0,7.

Der wichtigste Indikator für die Vitalität der Pflanze und ihren Nährwert für Blattläuse ist der Chlorophyllgehalt in den Blättern (HONEK et al. 1998; HONEK & MARTINKOVA 1999). HONEK (1987, 1991a, 1991b, 1994) zeigte, dass die Besiedlungsdichte der Blattlausart Bleiche Getreideblattlaus, *Metopolophium dirhodum* mit der zunehmenden Vitalität der Pflanzen und zunehmendem Chlorophyllgehalt in den Blättern ansteigt. In Gülzow und Sanitz war die Beziehung zwischen dem NDVI-Wert und den dominierten Blattlausarten positiv, d.h. der hohe Chlorophyllgehalt in den Kartoffelblättern erhöht die Toleranz der Pflanze für die Blattläuse. Das wurde auch von HAILE et al. (1999) beschrieben.

Der WBI zeigt eine semi-quantitative Beziehung zwischen Gewebewassergehalt und Reflexionsgrad bei 970 nm (PENUELAS et al. 1993; ARAUS 1996). Nach TUCKER (1980) sind direktere Messungen des Gewebewassergehaltes im kurzwelligen Infrarotbereich (1050 nm – 2200 nm) zu finden. Diese konnten mit dem hier verwendeten Feldspektrometer aber nicht detektiert werden. In der Berechnung des Wasserbanden-Index (WBI) fand die Beurteilung des rel. Gewebewassergehaltes der Kartoffelpflanzen besondere Berücksichtigung (PENUELAS et al. 1993). Bis Mitte Juli wiesen die Kartoffeln niedrige WBI-Werte auf. Damit kann auf höhere Gewebewassergehalte geschlossen werden, was wiederum ein Anzeichen für höhere Stoffwechselaktivität ist.

Die natürlichen Lichtquellen werden von den meisten Insekten für ihre Orientierung genutzt. Besonders wirksam ist der Lichtwellenbereich zwischen 400 nm und 700 nm. Basierend auf den erhobenen Daten erfolgten verschiedene Betrachtungen: Blattlausbefall an den Kartoffelpflanzen zu den Boniturterminen, Zusammenhang zwischen Blattlausbefall und Sorten, Zusammenhang NDVI und Blattlausbefall, Zusammenhang Reflexion und Blattlausbefall. Sämtliche mögliche Zusammenhänge konnten hierbei bestätigt werden.

Visuelle Reize sind somit wichtig für die Blattläuse. Weitere Erkenntnisse in der Physiologie- und Verhaltensforschung sowie der Sinnesökologie zum Verhalten von Blattlausarten gegenüber Farben können dazu beitragen, um in der angewandten Entomologie und der landwirtschaftlichen Schädlingsbekämpfung neue Wege beschreiten zu können.

8 Behaarungsintensitäten und Blattlausdichten

Taktile Reize sind bei der direkten Kontaktaufnahme der Blattläuse mit den Pflanzen von großer Bedeutung. Die morphologischen Strukturen der Blattoberfläche, wie z. B. eine dichte Behaarung, können über taktile Reize das Ansiedlungsverhalten der Blattläuse beeinflussen. Aus Angaben in der Literatur ist bekannt, dass verschiedenartige Insekten von Pflanzenhaaren festgehalten werden. Die Blatthaardichte gilt bei vielen Pflanzenarten als wesentliche Ursache der Antixenosis (Nonpräferenz), z. B. gegen die Blattlausart *Aphis gossypii* Glover bei Melonen (KENNEDY & KISHABA 1976, 1977; KENNEDY et al. 1978) und auch bei Baumwolle (HARLAND 1932; ABUL-NASR 1960; GAWAAD & SOLIMAN 1972).

Morphologische Parameter wie die Blattbehaarung können einen Einfluss auf die Wechselwirkung von Schaderreger und Wirtspflanze ausüben (ROPPEL 2007). Für die aktuell angebauten Kartoffelsorten liegen noch keine Untersuchungen über die Beziehung zwischen der Pflanzenbehaarung und dem Besiedlungsverhalten der Blattläuse vor. Kartoffeln sind auf der Blattober- und -unterseite auf jedem Blatt behaart (HUMMEL & STAESCHE 1962). Die Behaarung der Blätter von den heutigen kultivierten Kartoffeln (*S. tuberosum*) setzt sich aus einfachen einzelligen Haaren zusammen, die eine große Mannigfaltigkeit in der Gestaltung aufweisen und entweder über der Basis gekrümmte Haare oder einzellige Drüsenhaare sind (HUMMEL & STAESCHE 1962). Aus Angaben in der Literatur ist bekannt, dass die Blattläuse immer die Blattunterseite besiedeln (NORRIS & BALD 1943; BRADLEY 1952). Auch KLINGAUF (1970) hat festgestellt, dass viele Homoptera die Unterseite der Blätter bevorzugen. In den eigenen Untersuchungen bevorzugten die Blattläuse die Blattunterseite (Kapitel 4). Deshalb wurde in der vorliegenden Arbeit vor allem auf die Behaarungsdichte der Blattunterseite eingegangen.

Das folgende Kapitel geht von der Hypothese aus, dass die Intensität der Behaarung der Kartoffelsorten sich auf die Besiedlung durch kleine Schädlinge, wie z. B. Blattläuse, auswirkt. Aufgrund der Literaturangaben muss von einer

negativen Beziehung zwischen Behaarung der Sorten und dem Blattlausbefall ausgegangen werden. Zur Prüfung der Hypothese wurde ein Merkmalsschlüssel für die Blattbehaarung erstellt und die Variation in der Behaarung von Kartoffelsorten erfasst. Dabei wurden auch einige alte Kartoffelsorten der Kartoffelgenbank des Instituts für Kulturpflanzenforschung (IPK), Außenstelle Groß Lüsewitz einbezogen. Im Weiteren wurde die Beziehung zwischen Blatthaaren und Blattlausbefall mit Daten der Feldversuche (s. Kapitel 7) überprüft.

8.1 Material und Methode

8.1.1 Feststellung der Behaarungsdichten verschiedener Kartoffelsorten

Die Blattober- und unterseite von Kartoffelblättern sind mit Pflanzenhaaren ausgestattet. Diese Haare sind unter dem Binokular deutlich zu erkennen. Die Behaarungsintensität wurde in drei Versuchen ermittelt: 1) Freilandversuche, 2) In-Vitro- Versuche und 3) Versuche an Augenstecklingen-Gewächshaus. Die Freilandversuche wurden in Sanitz, Gülzow, am Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung «IPK-Genbank» in Groß Lüsewitz und Rostock (Mecklenburg–Vorpommern) durchgeführt. Die Gewächshausversuche und In-Vitro-Versuche fanden am Lehrstuhl für Phytomedizin, Institut für Landnutzung der Universität Rostock (Versuchsdesign wie im Kapitel 3.1.3 u. 3.1.4).

Ebenfalls wurde die Behaarungsintensität an 60 alten Kartoffelsorten der IPK-Genbank «Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung» am 17.07.2006 und am 28.06.2007 ermittelt.

Das Versuchsdesign und die pflanzenbauliche Maßnahmen an den Standorten Sanitz, Gülzow und Rostock wurden in Kapitel 7.1.1 dargestellt. Die pflanzenbaulichen Maßnahmen im Kartoffelanbau am Standort IPK- Genbank im 2006 und 2007 sind in Tabelle 25 beschrieben. Im Vergleich der pflanzenbaulichen Maßnahmen an den Standorten wurden die Kartoffelflächen der IPK- Genbank sehr häufig mit Insektiziden behandelt. Der Grund dafür ist, dass es in diesem Erhaltungsanbau primär darum geht, virusfreie Saatgut und gesunde Knollen zu gewinnen.

Tabelle 25: Pflanzenbauliche Maßnahmen am Standort IPK im 2006 und 2007

		2006		2007	
	Maßnahme	Termin	Maßnahme	Termin	
Pflanzung		25.04.2006		19.04.2007	
Häufeln u. Striegeln		02.05.2006		24.04.2007	
N-Streuen	160 kg N*ha ⁻¹ (KAS)	28.04.2006	150 kg N/*ha ⁻¹ (KAS)	27.04.2007	
Herbizid	Bandur 4,0 l*ha ⁻¹	10.05.2006	Bandur 4,0 l*ha ⁻¹	02.05.2007	
Insektizid	Bulldock 0,3 l*ha ⁻¹	07.07.2006	Astac 100 ml*ha ⁻¹	31.05.2007	
	Tamaron 1,0 l*ha ⁻¹	08.06.2006	Biscaya 300 ml*ha ⁻¹	25.05. u. 29.06.2007	
		18.07.2006	Dantop 1,5 kg*ha ⁻¹	04.07.2007	
	Trafo 150 g*ha ⁻¹	22.06.2006	Decis 200 ml*ha ⁻¹	06.06.2007	
			Karate 0,075 ml*ha ⁻¹	09.05.2007	
			Pirimor 450 g*ha ⁻¹	21.05. u. 16.07.2007	
			Plenum 0,2 kg*ha ⁻¹	19.06. u. 10.07.2007	
			Tamaron 1,0 l*ha ⁻¹	13.06. u. 26.07.2007	
	Trafo WG 200 ml*ha ⁻¹	25.06.2007			
Fungizid	Shirlan 0,4 l*ha ⁻¹	22.06.2006	Epok 0,5 l*ha ⁻¹	10.07. u. 26.07.2007	
	Tattoo 4,0 l*ha ⁻¹	07.07.2006	Infinito 1,5 l*ha ⁻¹	13.06. u. 25.06.2007	
		18.07.2006	Ranman 0,2 l*ha ⁻¹	29.06.2007	
			Shirlan 0,4 l*ha ⁻¹	31.05. u. 29.06.2007	
			Tattoo 4,0 kg*ha ⁻¹	06.06. u. 19.06.2007	
				04.07. u. 16.07.2007	
		Valbon 1,6 kg*ha ⁻¹	09.05.2007		

Um die Behaarungsintensität verschiedener Kartoffelsorten zu bestimmen, wurden zu verschiedenen Terminen von jeder Kartoffelsorte 5 zufällige Blätter genommen (Tabelle 26). Aus den Blättern wurden runde Blattstücke (d=0,7 cm) ausgestanzt. Diese Blattstückchen wurden auf kleine Glasscheiben aufgelegt und die Pflanzenhaare auf der Ober- und Unterseite des Blattes unter dem Binokular gezählt. Die ermittelte Anzahl der Haare wurde anschließend auf die Fläche bezogen, um die Haardichte je 1 cm² zu errechnen.

Tabelle 26: Die ausgewählten Kartoffelsorten und Ermittlungstermine der Behaarungsintensität in den Versuchen

Gülzow	Freiland in		In-Vitro	Augenstecklinge-Gewächshaus
	Sanitz	Rostock		
Albatros	Albatros	Albatros	Albatros	Albatros
Alegria	Alegria	Alegria	Borwina	Borwina
Avano	Berber	Borwina	Fasan	Fasan
Berber	Borwina	Fasan	Kormoran	Kormoran
Borwina	Cilena	Kormoran	Pirol	Pirol
Cilena	Fasan	Meridian	Romanze	Romanze
Eurostar	Karatop	Pirol	Salome	Salome
Fasan	Kormoran	Romanze	Terrana	Terrana
Florijn	Meridian	Salome		
Hansa	Pirol	Terrana		
Karatop	Presto			
Kormoran	Romanze			
Meridian	Rosara			
Pirol	Salome			
Presto	Saturna			
Romanze	Selma			
Rosara	Sieglinde			
Salome	Terrana			
Saturna	Topas			
Selma	Ukama			
Sieglinde	Vienna			
Terrana				
Topas				
Ukama				
Vienna				
Termine				
11.06.2007	11.06.2007	08.06.2007	09.10.2006	12.03.2007
09.07.2007	09.07.2007			
23.07.2007	23.07.2007			

Zur Bonitur der Behaarungsintensität der Kartoffelblätter für alte Kartoffelsorten der IPK-Genbank wurde folgende Skala verwendet:

Boniturklasse 1 = 0-200 Blatthaare/cm²

Boniturklasse 2 = 201-400 Blatthaare/cm²

Boniturklasse 3 = 401-600 Blatthaare/cm²

Boniturklasse 4 = 601-800 Blatthaare/cm²

Boniturklasse 5 = 801-1000 Blatthaare/cm²

8.1.2 Statistische Auswertung

Um die einzelnen Kartoffelsorten miteinander zu vergleichen, wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse durchgeführt. Im Falle eines signifikanten Ergebnisses wurde nachfolgend der Student-Newman-Keuls-Test durchgeführt, um aufzuzeigen, zwischen welchen Kartoffelsorten signifikante Unterschiede bestehen. Die Beziehung zwischen der Blattbehaarung von Cultivarsorten und der Anzahl der Blattläuse wurde mit dem Korrelationskoeffizient nach Pearson berechnet.

8.2 Ergebnisse

Auf den Blättern der untersuchten Kartoffelsorten wurden fast ausschließlich Trichome festgestellt, die über der Basis gekrümmte Haare sind (Abbildung 37). Dieser Befund entspricht dem Ergebnis von HUMMEL & STAESCHE (1962).

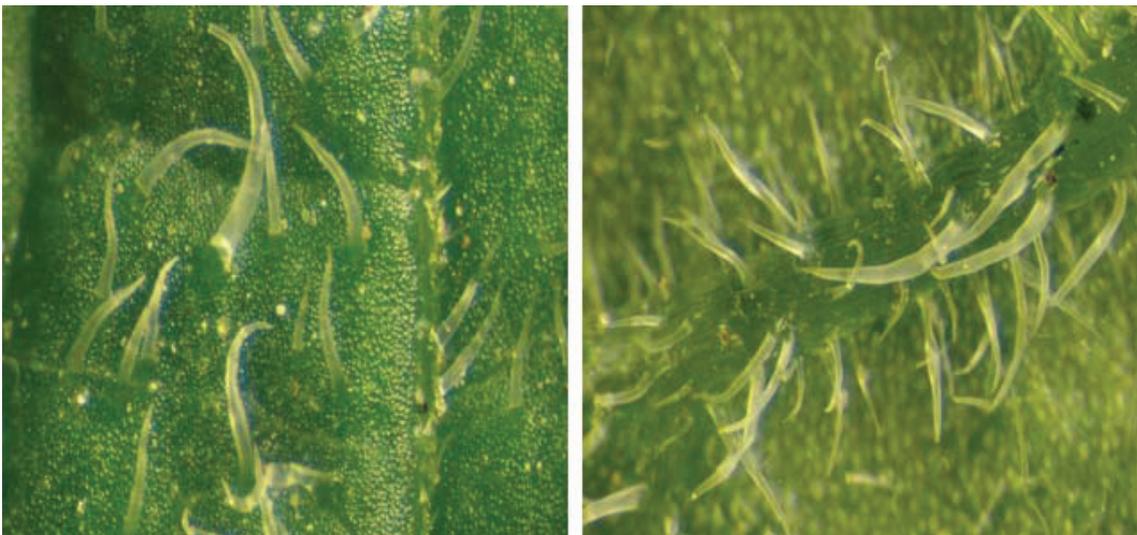


Abbildung 37: Die einfachen einzelligen Haare auf den Kartoffelblättern (40-fache Vergrößerung)

An allen ausgewählten Kartoffelsorten sind die Haare unterschiedlich auf den Blättern zwischen Ober- und Unterseiten verteilt.

8.2.1 Behaarungsintensität an alten Kartoffelsorten der IPK-Genbank

An allen ausgewählten Kartoffelsorten war die Blattunterseite stärker behaart als die Blattoberseite. Die Sorten wurden in Abhängigkeit von der

Behaarungsintensität der Blattunterseite in Skala von 1 bis 5 Klassen sortiert (Tabelle 27). Die meisten Sorten wurden den Boniturklassen 2 (37%) und 3 (48%) zugeordnet.

Abbildung 38 ist zu entnehmen, dass die Kartoffelsorten sich in Abhängigkeit von der Haardichte statistisch signifikant gegeneinander ($p \leq 0,001$) abgrenzen ließen. Die meisten Sorten hatten Haardichten zwischen 401-600 Blatthaare/cm². Die Sorte Ryecroft Purple hatte die höchste Haardichte an beiden Blattseiten, besonders aber an der Blattunterseite (923 Blatthaare/cm²), und wich damit signifikant von den übrigen Sorten ab.

Tabelle 27: Einstufung der Behaarungsintensität der Blattunterseite verschiedener alter Kartoffelsorten in Behaarungsklassen in der Vegetationsperiode 2006 und 2007- IPK-Genbank

Skala	Haare / cm ²	Anzahl der Sorten	%	Sorten
1	0-200	1	2	Pompadour
2	201-400	22	37	Ackersegen Aguti Amyl Ando Bananenkartoffel Blaue Hindelbank Blaue Wyssachen Chipbelle Edgecote Purple Highland Burgundy Kongo MPI 89.497/9 Napoca Norchip Pirola Rubinia Ruby Crescent Shetland rosa Superior Tarpan Violette Schwarze Von Lochow 601
3	401-600	29	48	Arran Victory Azur Bamberger Hörnchen Blaue Emmensteg Blue Christie Bzura Capella(Gerlinde) Hindenburg Lady Christel Mr. Bresee Newfoundland Purple P. S. Eigenheimer Papa Bonita Parnassia Peru purple Purple and White Roseval Shetland Blau I Shetland Rot Stella Stobrawa Ssignal UAC 65 UAC 67 UAC 918 Uptodate Vitelotte Wohlthmann Yellow Finn
4	601-800	7	12	Blanik Endla Merkur Papa Negra 2 Shetland Black Skerry Blue UAC 61
5	801-1000	1	2	Ryecroft Purple

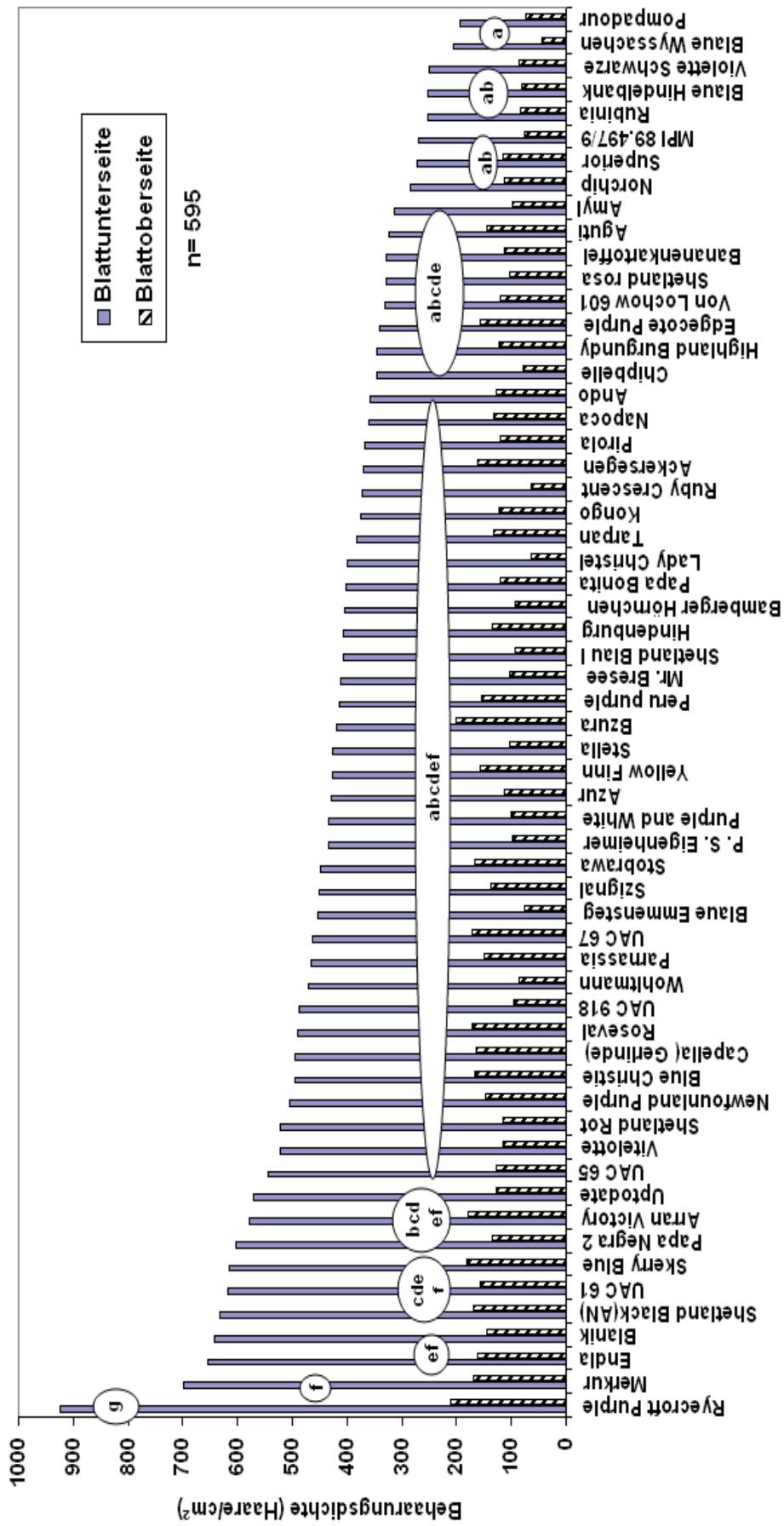


Abbildung 38: Mittlere Behaarungsintensität auf der Blattunter- und oberseite an verschiedenen alten Kartoffelsorten in der Vegetationsperiode 2006 und 2007 (einfaktorielle Varianzanalyse, SNK-Test, $\alpha = 0,05$, Buchstaben weisen auf signifikante Differenzen des Sortenmittels für die Blattunterseite hin)

8.2.2 Die Behaarungsintensität in den Versuchen: Sanitz, Gülzow, Rostock, In-Vitro und Gewächshausversuche

Die Abbildung 39 verdeutlicht, dass die Kartoffelsorten sich unter Freilandbedingungen in Gülzow und Sanitz in der Haardichte (Blattunterseite) unterschieden ($p < 0,001$). Die Blattunterseite wies bei allen Sorten stets eine höhere Haardichte auf als die entsprechende Blattoberseite. Allerdings waren die Haare an der Blattunterseite allgemein länger als an der Blattoberseite. Sowohl in Sanitz als auch in Gülzow war die Haardichte bei der Sorte Romanze mit 353 Blatthaaren/cm² bzw. 365 Blatthaaren/cm² auf der Blattunterseite am höchsten, gefolgt von der Sorte Alegria mit 349 bzw. 361 Blatthaaren/cm². Die niedrigsten Haardichten mit 143 bis 200 Blatthaaren/cm² auf der Blattunterseite wiesen die Sorten Rosara, Sieglinde und Karatop in Sanitz und Gülzow auf.

Unter Gewächshausbedingungen trat nur ein kleiner statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Kartoffelsorten auf (Abbildung 40). Die Sorte Kormoran mit 569 Blatthaaren/cm² auf der Blattunterseite hatte im Gewächshaus die höchste Haardichte. Dagegen zeigten die Sorten unter Freilandbedingungen mehr Differenzen. Die meisten Sorten hatten im Gewächshaus Haardichten zwischen 195-354 Blatthaare/cm² auf der Blattunterseite. Die Haardichte in In-Vitro war zwei bis dreifacher geringer als im Gewächshaus und im Freilandversuch. Die Kartoffelsorten Albatros, Borwina, Fasan, Kormoran, Pirol, Romanze, Salome und Terrana hatten die geringste Haardichte in In-Vitro, diese Sorten hatten die höchste Haardichte im Gewächshaus. Die Sorte Terrana wies mit 192 Blatthaare/cm² im In-Vitro-Versuch einen Unterschied gegenüber der Sorte Borwina, Kormoran und Salome auf. Es wurde auch bei diesen Versuchen deutlich, dass die Blattunterseiten immer stärker als die Blattoberseiten behaart sind.

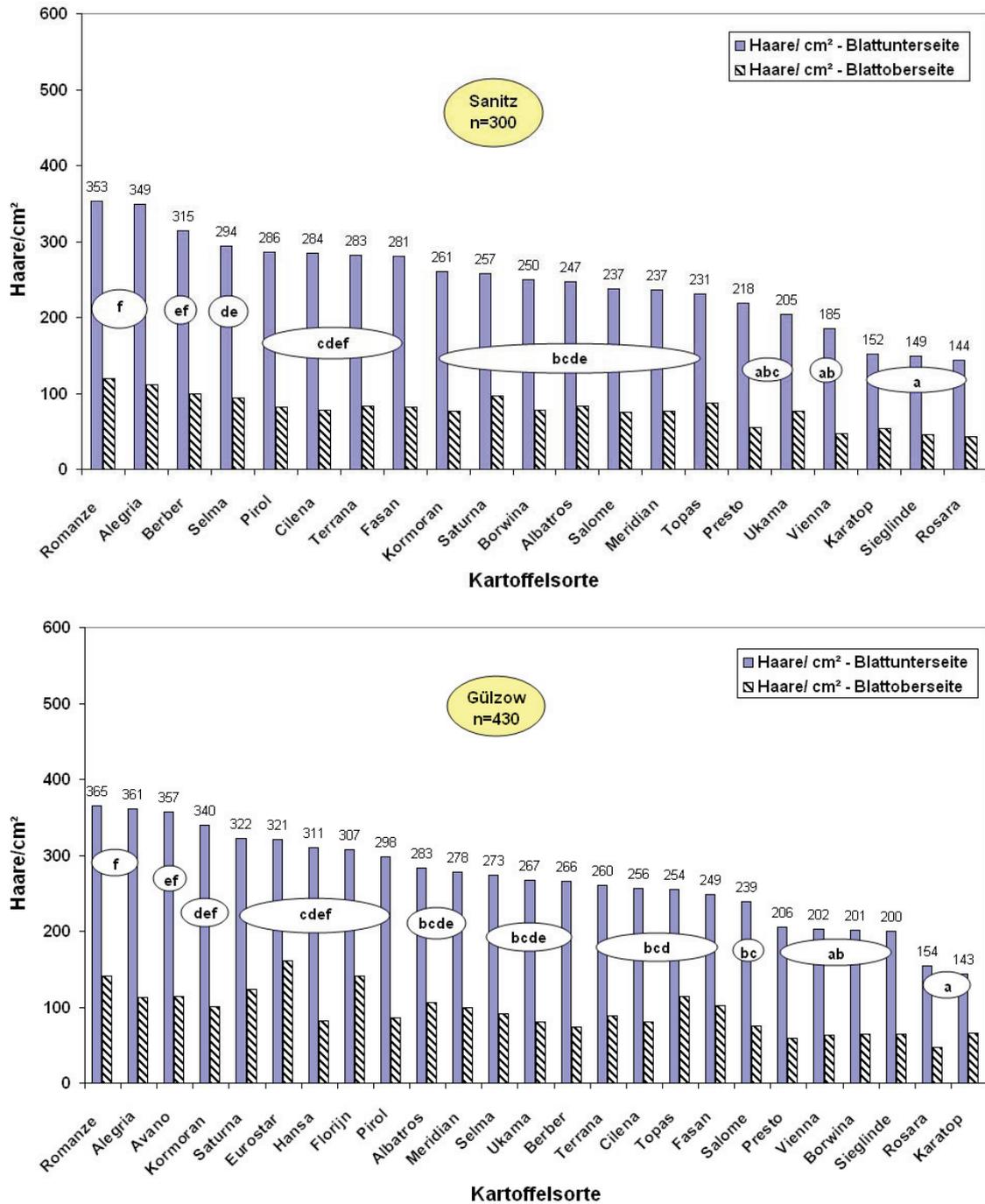


Abbildung 39: Mittlere Behaarungsintensität auf Blattunter- und oberseite unter Freilandbedingungen in Sanitz und Gülzow (einfaktorielle Varianzanalyse, SNK-Test, $\alpha = 0,05$, Buchstaben weisen auf signifikante Differenzen des Sortenmittels für die Blattunterseite hin)

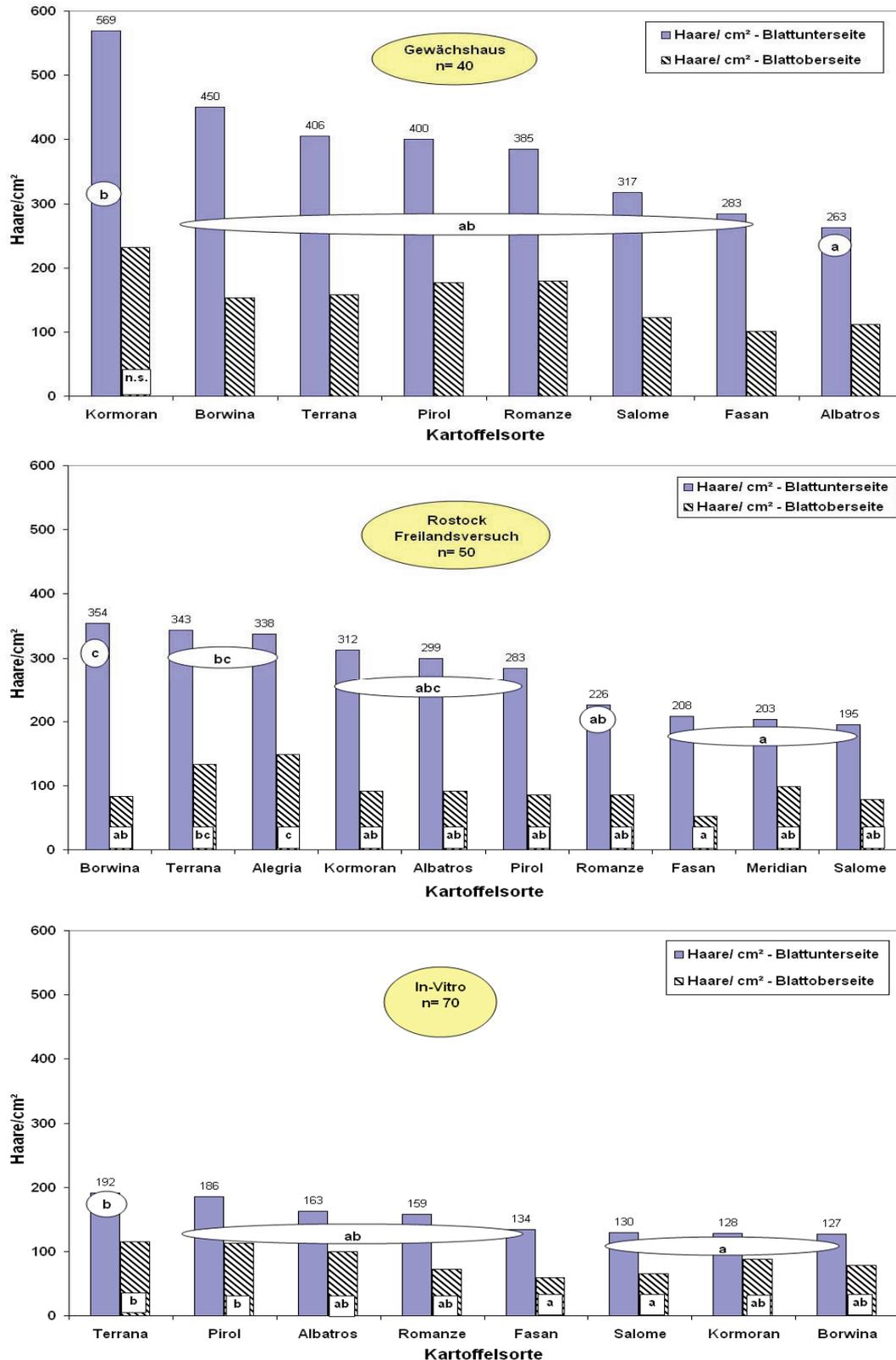


Abbildung 40: Mittlere Behaarungsintensität auf Blattunter- und oberseite am Standort Rostock, In-Vitro und Gewächshausversuche (einfaktorielle Varianzanalyse, SNK-Test, $\alpha = 0,05$, Buchstaben weisen auf signifikante Differenzen des Sortenmittels hin)

8.2.3 Korrelation zwischen dem Auftreten von Blattläusen und der Behaarungsintensität

Wird die unterschiedliche Anzahl der Blattläuse innerhalb der Versuchszeit zu den entsprechenden Behaarungsdichten der Blattunterseite in Beziehung gesetzt, ergibt sich eine signifikante lineare Korrelation zwischen beiden Parametern ($r = 0,37$). Die Regressionsgerade in Abbildung 41 beschreibt die Beziehung. Mit steigender Behaarungsdichte nimmt das Auftreten von Blattläusen zu.

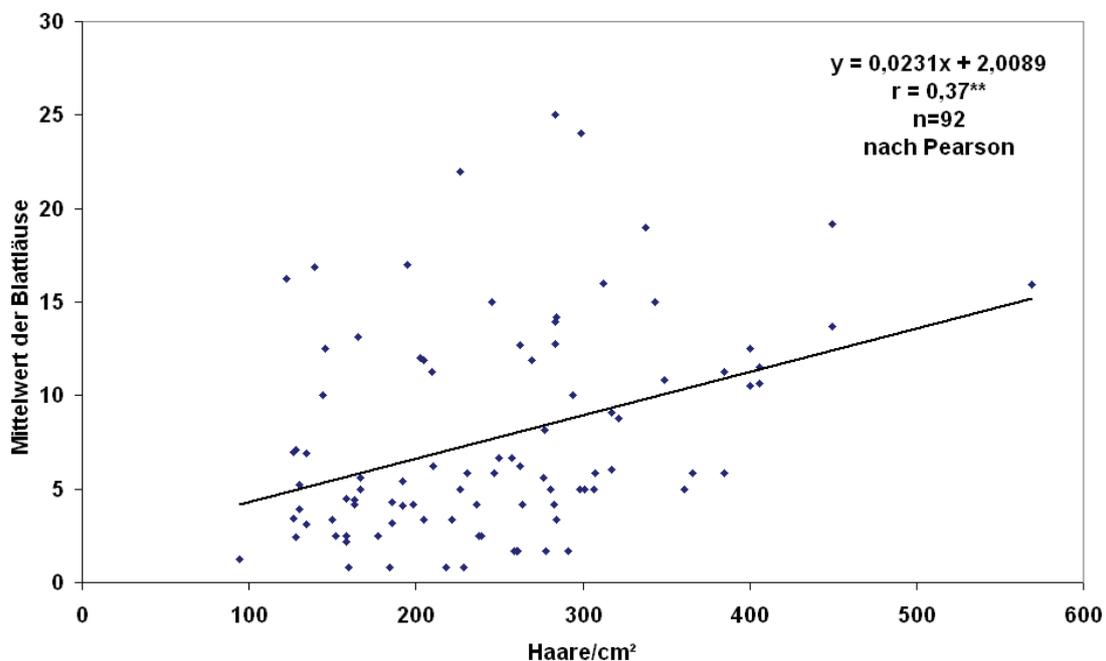


Abbildung 41: Korrelation zwischen der Behaarung von Blattunterseite und der Dichte der Blattläuse (** Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant, zweiseitig)

8.3 Diskussion

Gegen die Schädigung haben die Pflanzen unterschiedliche Strategien entwickelt, um sich zu schützen. Strukturen der Pflanzen wie die Behaarung können die Grundlage für Insektenresistenz in einigen Kulturpflanzen sein (NORRIS & KOGAN 1980). Zahlreiche Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass die Blattläuse hauptsächlich an der Blattunterseite auftreten, z. B. DIXON & LOGAN

(1973) berichteten, dass die Blattlausart Ahornzierlaus, *Drepanosiphum platanooides* (Schrank) die Unterseite der Blätter bevorzugt. Ähnliches Verhalten fanden CRUZ & BERNARDO (1971) für *A. gossypii*. Auch MÜLLER et al. (1974) haben gefunden, dass die Erbsenblattlaus *A. pisum* hauptsächlich auf der Blattunterseite an *V. faba* sitzt. Vier Blattlausarten auf Kartoffeln, *M. euphorbiae*, *M. persicae*, *A. nasturtii* und *A. solani* bevorzugten die Unterseiten der Blätter (GIBSON 1972).

Nur in weniger Fällen ist bekannt, dass die Blattläuse die Blattoberseite oder beide, Ober- und Unterseite, bevorzugen. Die mehligke Pflaumenblattlaus *Hyalopterus pruni* (Geoffroy) bevorzugte z. B. auf Pfirsich und Pflaume die Blattoberseite (EL-KADY 1971). KIDD (1976) hat aber auch festgestellt, dass die Lindenzierlaus *Eucallipterus tiliae* (Linnaeus) im Labor beide Blattseiten kolonisierte, während sie im Feld nur auf Unterseiten kolonisierte. Auch die Schwarze Bohnenblattlaus (*A. fabae*) wurde auf der Ober- und Unterseite der Blätter von *V. faba* festgestellt (DIXON & WRATTEN 1971). Deshalb wurde sich in dieser Arbeit bei der Korrelation zwischen Behaarung und Besiedlung durch Blattläuse auf die Behaarung der Blattunterseite von Kartoffelsorten konzentriert.

Bei vielen Kulturpflanzen konnte die Beeinflussung der Orientierung, Eiablage sowie Nahrungsaufnahme und –verwertung von Insekten durch die Behaarung verschiedener Pflanzenorgane festgestellt werden (FRITZSCHE et al. 1988; SMITH 1989; BERNAYS & CHAPMAN 1994). Pflanzenhaare werden physiologische und ökologische Funktionen zugeschrieben, die sich vor allem auf den Wasserhaushalt der Pflanzen auswirken (UPHOF 1962). Daneben spielt die Behaarung bei den Pflanze-Insekten-Interaktionen eine wichtige Rolle, da die Blatthaare in der Regel den ersten Kontakt mit dem Pflanzenschädling haben. Sie können eine Rolle als Schutzmechanismen gegen phytophage Insekten spielen (GIBSON & PICKETT 1983).

LEVIN (1973), JOHNSON (1975) und WEBSTER (1975) gaben umfassende Darstellungen der verschiedenen Typen von Pflanzenhaaren und deren Funktionen bei der Abwehr von Schadorganismen. MAXWELL & JENNINGS (1980) zeigten verschiedene Möglichkeiten des Einsatzes von Pflanzenhaaren als

Resistenzfaktoren gegen tierische Schaderreger im Rahmen der Resistenzzüchtung auf. Mehrere Studien zeigten, dass die Behaarung auf der wilden Kartoffelart *S. berthaultii* ein wichtiger Widerstandsfaktor gegen verschiedene Insekten ist, z. B. gegen Pfirsichblattlaus, *M. persicae* (GIBSON 1971), Kartoffelkäfer, *L. decemlineata* (CASAGRANDE 1982; NEAL et al. 1989; PELLETIER & SMILOWITZ 1990, 1991; YENCHO & TINGEY 1993) und Kartoffelmotte, *Phthorimaea operculella* (Zeller) (MALAKAR & TINGEY 1999).

In eigenen Versuchen hatten die Kartoffelsorten unterschiedliche Behaarungsintensitäten. Die zunehmende Haardichte brachte keine Abnahme des Blattlausbefalls, sondern der Blattlausbefall nahm zu. Dieses Ergebnis stimmte nicht mit unserer Hypothese überein, dass eine negative Beziehung zwischen den Behaarungsintensitäten und dem Blattlausbefall bestehen sollte. Aber das Ergebnis stimmt mit Arbeiten von GIBSON & TURNER (1977) überein. Die Autoren haben berichtet, dass der Blattlausbefall von *M. persicae* auf verschiedenen wilden Kartoffelsorten an den behaarten Sorten höher als an den unbehaarten Sorten war. Zur Erklärung des Phänomens wurde folgende Hypothese formuliert: Werden die Blattläuse auf unterschiedlich stark behaarte Kartoffelblätter gesetzt, so nimmt die Wahrscheinlichkeit, dass die Läuse von den Haaren festgehalten werden, mit zunehmender Behaarungsintensität der Blätter zu. Die Blattläuse beginnen in diesem Fall sofort mit der Nahrungsaufnahme bzw. dem Saugen, so können im Durchschnitt mehr Jungläuse abgesetzt werden als wenn bei geringerer Behaarungsdichte der Saugort mehrfach gewechselt werden kann. Aber TINGEY & LAUBENGAYER (1981, 1986) haben gezeigt, dass die Haare der Kartoffelart *S. berthaultii* sich auf die Wirtsakzeptanz und die Nahrungsaufnahme von der Zikade, *E. fabae* negativ auswirkten. Im Gegensatz dazu haben NDERITU & MUEKE (1986) in Feldversuchen in Kenia auf 8 Kartoffelsorten (Anett, Desiree, Feldeslohn, Kerr's Pink, Kenya Baraka, Roslin Eburu, Roslin Gucha und Roslin Tana) gefunden, dass sich keine signifikante Korrelation zwischen Blattlausbefall und Behaarungsintensität ergibt.

In unseren Ergebnissen gab es deutliche Unterschiede in der Haardichte zwischen den alten Sorten und den Cultivarsorten. Die Behaarungsintensität an den alten Sorten war zweifacher höher als an den Kulturpflanzen. Unser Versuch an verschiedenen alten Kartoffelsorten zeigte deutlich, dass die Sorten

Ryecroft Purple und Merkur die höchste Behaarungsintensität hatten. Die Behaarungsintensität war auf der Ober- und Unterseite der Blätter sehr unterschiedlich.

Die genauen Ursachen für die unterschiedliche Besiedlung behaarter und unbehaarter Pflanzenoberflächen sind nur in wenigen Fällen bekannt (SCHILLINGER & GALLUN 1968; GIBSON 1974a; JOHNSON et al. 1980; ELSEY & WANN 1982). Mechanische Behinderung und reine Verhaltensreaktionen sind nicht immer leicht zu trennen. Bei Drüsenhaaren können außerdem Giftwirkungen auftreten (THURSTON et al. 1966; ABERNATHY & THURSTON 1969; DIMOCK et al. 1982). Nach KAMEL & ELKASSABY (1965), die Baumwollensorten auf Resistenz gegen *A. gossypii* überprüften, hat die Blattbehaarung erst dann Einfluss auf die Blattläuse, wenn sie so dicht ist, dass sie sie an der Nahrungsaufnahme hindern. Bei Tabak besteht nur deshalb ein Zusammenhang zwischen Haardichte und Resistenz gegenüber *M. persicae*, weil die Haare alkaloidhaltig sind (ABERNATHY & THURSTON 1969). Wildkartoffeln haben Drüsenhaare, an deren Sekret die Blattläuse festkleben (GIBSON 1971). Wegen der unterschiedlichen Ergebnisse und Interpretationen in der Literatur zum Einfluss der Blattbehaarung auf die Reproduktion und Präferenz der Blattläuse, ist ein abschließendes Urteil hierzu schwierig. Weitere Untersuchungen sind notwendig. Eine züchterische Berücksichtigung des Merkmals „Behaarung“ kann aufgrund dieser Untersuchungen nicht empfohlen werden.

9 Freie Aminosäuren- und Zuckergehalt und Blattlausdichte

Nachdem Blattläuse mögliche Nahrungspflanzen gefunden haben, muss deren Eignung als Wirtspflanze zur Nahrungsaufnahme und/oder Eiablage bestimmt werden. Dafür werden Pflanzeninhaltsstoffe aufgenommen (BÖRNER et al. 2009). Pflanzeninhaltsstoffe wie Kohlenhydrate und Aminosäuren sind sehr wichtig für das Wachstum, die Lebensdauer sowie die Fruchtbarkeit der Blattläuse. Daneben ist auch das richtige Mengenverhältnis der Verbindungen bedeutend für das Wachstum, die Lebensdauer sowie die Fruchtbarkeit der Blattläuse (BÖRNER et al. 2009). Auch die Nährstoffe sind verantwortlich für die Anfälligkeit der Pflanzen gegenüber Insekten (BÖRNER et al. 2009). Essentielle Aminosäuren sind notwendig für die Insekten, und wenn nur eine von den essentiellen Aminosäuren in der Nahrung der Tiere fehlt, entwickeln die Tiere sich nicht normal (HUGENTOBLE 1990; NOWAK 2008). Die Blattläuse beanspruchen für ihre Nahrung in erster Linie die freien Aminosäuren des Phloemsaftes (NOWAK 2008). Die Aminosäuren enthalten einen großen Anteil Stickstoff (PATE 1968).

Saccharose und essentielle Aminosäuren sind bekannt als wichtige Phagostimulans für Blattläuse (MITTLER 1970; VAN EMDEN 1972; ZIEGLER 1975; KUO-SELL 1982; WEIBULL 1988, VAN HELDEN et al. 1994). Die Zucker im Pflanzensaft sind die wichtigste Quelle von Kohlenstoff für Wachstum und Respiration der Blattlaus (DOUGLAS & VAN EMDEN 2007). SCHWIMMER et al. (1954) haben festgestellt, dass die Saccharose (Rohr- oder Rübenzucker), Fructose (Fruchtzucker) und Glucose (Traubenzucker) die drei Hauptzucker in der Kartoffel sind. Eine niedrige Nahrungsqualität erhöhte in den Versuchen von KUNKEL & MITTLER (1971) und KLOFT & SAFE (1981) den Anteil an geflügelten Blattläusen. KLOFT & SAFE (1981) vermuteten, dass die Alaten-Bildung bei beiden Blattlausarten *A. pisum* und *A. craccivora* vom Aminosäuregehalt des Substrates abhängig ist.

In der Untersuchung, die in diesem Kapitel beschrieben wird, wurde der Gehalt an freien Aminosäuren und Zucker in den verschiedenen Kartoffelsorten analysiert. Mit dieser Untersuchung sollten folgende Fragen geklärt werden:

- Bestehen sortenbedingte Unterschiede in den Aminosäure- und Zuckergehalten?
- Gibt es Zusammenhänge zwischen dem Auftreten von Blattläusen und den Aminosäure- und Zuckergehalten?

9.1 Material und Methoden

Die zehn untersuchten Kartoffelsorten, das Versuchsdesign und die pflanzenbaulichen Maßnahmen an dem Standort Rostock im Jahr 2007 wurden in Kapitel 7.1.1.1 dargestellt. Am 02.07.2007 und 12.07.2007 wurden zufällig ausgewählte Blätter von jedem Block und jeder Sorte genommen und in einer Mischprobe pro Sorte verarbeitet. Die geernteten Kartoffelblätter von jeder Parzelle wurden gewogen, homogenisiert und ein aliquoter Teil entnommen, der bei 60 °C im Trockenschrank bis zur Massenkonstanz getrocknet und anschließend auf einen Durchmesser von < 1 mm vermahlen wurde.

9.1.1 Biochemische Untersuchungsmethoden

Die biochemischen Untersuchungen umfassten die Parameter des Gehalts an freien Aminosäuren und Zucker (Saccharose, Fructose und Glucose). Die Analysen wurden im Institut für Nutztierwissenschaften und Technologie der Universität Rostock durchgeführt.

9.1.1.1 Bestimmung von freien Aminosäuren

Für die Bestimmung des relativen Gehalts an freien Aminosäuren in der Trockensubstanz verschiedener Sorten erfolgte die Probenvorbereitung nach der Methode von NAGENGAST (2006). Für den Nachweis der freien Aminosäuren wurde 1 g der homogenisierten Probe in ein 100 ml Zentrifugenglas eingewogen, mit 20 ml destilliertem Wasser versetzt und mit einem Ultra Turrax homogenisiert. Um die Proteine auszufällen, wurden dem Homogenisat 5 ml

10%ige Sulfosalicylsäure zugegeben und dieses für 30 Minuten bei 8°C in einen Kühlschrank gestellt. Anschließend wurde 15 Minuten bei 10.000 U/min zentrifugiert. Vom Überstand wurde 1 ml entnommen und bis zur Untersuchung tiefgefroren gelagert. Die Konzentrationen der freien Aminosäuren wurden mittels der HPLC- Anlage von Shimadzu (Trennsäule: LCA K06/Na der Firma Alltech Grom GmbH) qualitativ und quantitativ nachgewiesen.

9.1.1.2 Bestimmung von Zuckergehalt

Die Zuckergehalte wurden ebenfalls mittels der HPLC-Anlage (Shimadzu) nachgewiesen. 2 g Probenmaterial wurden in 250 ml Blutkonservenflaschen eingewogen und mit destilliertem Wasser und 20 mg Quecksilberchlorid versetzt. Die Extraktion erfolgte 1 Stunde im Schüttelwasserbad (Julabo SW 21) mit einer Schüttelfrequenz von 150 R.P.M. bei Zimmertemperatur. Der Extrakt wurde mittels eines engporigen Rundfilters (z. B. Nr. 390, Spezialpapier Niederschlag) abfiltriert. Die Konzentration an mono- und dimeren Kohlenhydraten im Filtrat wurde nach Durchlaufen der Vor- und Trennsäule (HPX - 87 P von BIORAD) der HPLC- Anlage (Laufmittel: Wasser; Temperatur: 80°C; Flußrate: 0,65 ml/min) mittels Brechungsindex- Dedektor (RID) gemessen.

9.2 Ergebnisse

Bei allen Daten handelt es sich um eine zeitliche Punktaufnahme innerhalb einer Vegetationsperiode am 02.07.2007 und 12.07.2007. Die gemessenen Zucker- und Aminosäuregehaltes werden Mittelwerte über die zwei Messtermine dargestellt.

9.2.1 Freie Aminosäuren

Bei der Untersuchung wurden folgende Säuren nachgewiesen: Asparagin, Threonin, Serin, Glutaminsäure, Glycin, Valin, Leucin, Tyrosin, Arginin, Alanin, Histidin, Prolin, Phenylalanin, Isoleucin und Lysin.

Tabelle 28 zeigt die mittleren Gehalte einzelner Aminosäuren in Blättern der geprüften Kartoffelsorten. Die Summe von Alanin und Threonin ergab ca. 30% des Gesamtgehaltes an Aminosäuren. Der Vergleich der Gehalte einzelner Aminosäuren in Kartoffelblättern zeigt, dass als Hauptkomponenten in mengenmäßig absteigender Reihenfolge folgende Aminosäuren hervorzuheben sind: Alanin, Threonin, Valin, Asparagin und Phenylalanin. Alle anderen Aminosäuren treten in geringen Mengen auf. Den höchsten gesamten Aminosäuregehalt wiesen Salome mit $11 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TS und Terrana mit $9,4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TS auf. Bei allen anderen Kartoffelsorten schwankte der gesamte Aminosäuregehalt zwischen $6,5$ - $9,2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TS. Alanin wies mit $1,17$ - $2,17 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TS bei allen untersuchten Kartoffelsorten den höchsten Anteil innerhalb der freien Aminosäuren auf. Glycin trat mit $0,07$ - $0,13 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TS in den geringsten Mengen auf.

Tabelle 28: Mittlere freie Aminosäuregehalte von Kartoffelblättern (Mittelwerte aus 2 Messungen)

Aminosäuren (g*kg ⁻¹ TS)	Salome	Terrana	Fasan	Pirol	Romanze	Albatros	Borwina	Kormoran	Meridian	Alegria	Mittel
Alanin	2,17	1,61	1,75	1,64	1,43	1,55	1,60	1,42	1,55	1,17	1,59
Threonin	0,82	1,13	0,94	0,84	0,94	0,87	0,90	0,75	0,74	0,60	0,85
Valin	0,81	0,80	0,79	0,73	0,74	0,68	0,58	0,63	0,53	0,51	0,68
Asparagin	1,28	0,78	0,68	0,76	0,52	0,32	0,65	0,69	0,52	0,52	0,67
Phenylalanin	0,78	0,70	0,67	0,62	0,64	0,65	0,49	0,49	0,47	0,44	0,60
Tyrosin	0,63	0,67	0,62	0,51	0,56	0,57	0,38	0,47	0,39	0,37	0,52
Isoleucin	0,58	0,58	0,53	0,53	0,49	0,50	0,43	0,44	0,39	0,38	0,49
Lysin	0,63	0,54	0,49	0,46	0,49	0,55	0,47	0,42	0,38	0,41	0,48
Leucin	0,67	0,50	0,55	0,46	0,53	0,51	0,38	0,44	0,34	0,36	0,47
Prolin	0,50	0,49	0,45	0,41	0,48	0,38	0,49	0,42	0,44	0,42	0,45
Histidin	0,56	0,41	0,46	0,40	0,47	0,51	0,34	0,39	0,33	0,32	0,42
Arginin	0,56	0,30	0,42	0,37	0,36	0,34	0,36	0,31	0,26	0,32	0,36
Serin	0,60	0,39	0,47	0,34	0,38	0,35	0,21	0,30	0,22	0,19	0,35
Glutamat	0,34	0,41	0,30	0,34	0,30	0,22	0,35	0,36	0,41	0,38	0,34
Glycin	0,13	0,07	0,11	0,10	0,09	0,08	0,10	0,09	0,07	0,08	0,09
Summe	11,06	9,40	9,22	8,49	8,44	8,09	7,73	7,63	7,05	6,48	8,36

9.2.2 Zuckergehalt

Die Zucker in den Kartoffelblättern bestehen im Wesentlichen aus den beiden Einfachzuckern Glucose und Fructose sowie aus Saccharose, einem zusammengesetzten Zucker. Im Vegetationsverlauf veränderte der Zuckergehalt sich erheblich. In Abbildung 42 sind die durchschnittlichen Zuckergehalte (Glucose, Fructose, Saccharose) in den Kartoffelblättern für jede untersuchte Sorte dargestellt. Der Zuckergehalt aller Kartoffelsorten erreichte im Mittel 16 g*kg^{-1} TS Fructose, 21 g*kg^{-1} TS Glucose und 37 g*kg^{-1} TS Saccharose. Die restlichen Zucker wurden nicht bestimmt. Der Gesamtzuckergehalt variierte in den Kartoffelsorten zwischen 30 und 93 g*kg^{-1} TS. Bei allen Kartoffelsorten war der Saccharosegehalt höher als der Glucose- und Fructosegehalt. Den höchsten Gesamtzuckergehalt wiesen Kormoran mit 93 g*kg^{-1} TS und Alegria mit 84 g*kg^{-1} TS auf. Die geringsten Fructose-, Glucose- und Saccharosegehalte wurden bei Salome mit 30 g*kg^{-1} TS ermittelt.

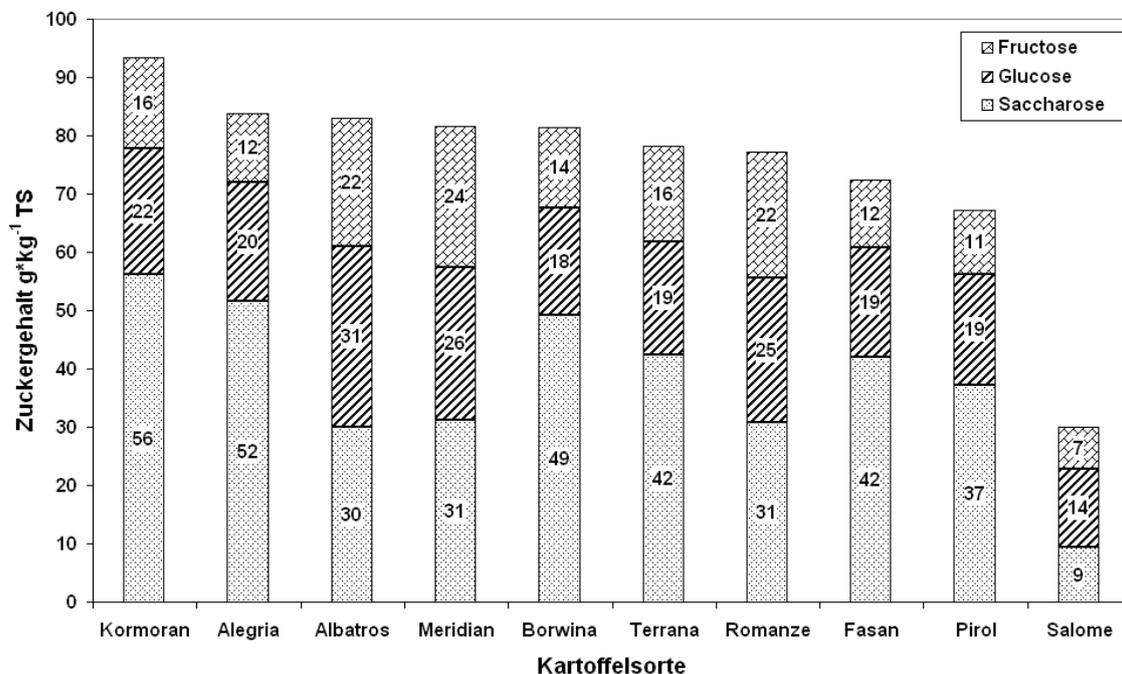


Abbildung 42: Der mittlere Gehalt von Saccharose, Glucose und Fructose in den Kartoffelblättern (Mittelwerte aus 2 Messungen)

9.2.3 Korrelation zwischen dem Auftreten von Blattläusen und den Aminosäure- u. Zuckergehalten

Um eine Beziehung zwischen dem Blattlausbefall und dem Zucker- u. Aminosäuregehalt zu finden, wurden die Ergebnisse des Blattlausbefalls an den verschiedenen Kartoffelsorten im Standort Rostock von Kalenderwoche 27 u. 28 genutzt (vgl. Kapitel 7.2.1). Mit Hilfe einer Korrelations nach Pearson wurde ein signifikant negativer Zusammenhang zwischen dem Befall der Blattläuse und dem Saccharosegehalt festgestellt ($r = -0,51^*$ vgl. Tabelle 29). Die Korrelationsanalyse zeigte, dass der Blattlausbefall in keinem signifikanten Zusammenhang zum Glucose- und Fructosegehalt stand. Die Korrelationsanalyse zeigte auch einen signifikanten Anstieg der Blattlausanzahl mit zunehmendem Gehalt der Aminosäuren Serin ($r = 0,48^*$) und Threonin ($r = 0,71^{**}$). Keine signifikante Korrelation war zwischen anderen Aminosäuren und dem Blattlausbefall festzustellen.

Tabelle 29: Korrelationstabelle zwischen der Anzahl von Blattläusen und dem Aminosäuren- u. Zuckergehalt in den Kartoffelblättern

nach Pearson	Blattläuse je 50 Blätter		
Aminosäuren $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	n	r	p
Alanin	19	-0,39	0,102
Arginin	19	-0,38	0,108
Asparagin	19	-0,43	0,068
Glutamat	19	-0,14	0,566
Glycin	19	-0,03	0,894
Histidin	19	0,24	0,330
Isoleucin	19	-0,02	0,921
Leucin	19	0,02	0,923
Lysin	19	-0,16	0,516
Phenylalanin	19	-0,04	0,861
Prolin	19	0,18	0,457
Serin	19	0,48*	0,037
Threonin	19	0,71**	0,001
Tyrosin	19	-0,05	0,825
Valin	19	0,16	0,510
Zuckergehalt $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$			
Fructose	19	0,38	0,111
Glucose	19	0,12	0,613
Saccharose	19	-0,51*	0,025

* Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig)

**Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig)

9.3 Diskussion

In dieser Arbeit wurden der Aminosäure- und Zuckergehalt in den Kartoffelblättern verschiedener Sorten und die Wirkung auf den Befall unterschiedlicher Blattlausarten erläutert.

Mehrere Studien zeigten, dass die Inhaltsstoffe der Blätter, insbesondere Stickstoff, die Pflanzenwirtswahl von phytophagen Insekten determinieren (AUERBACH & STRONG 1981; FACKNATH & LALLJEE 2005; HUBERTY & DENNO 2006; NOWAK 2008). Aminosäuren sind für die Blattläuse unentbehrliche Stickstoffquellen. Die Konzentration der Aminosäuren wirkt sich in der Ernährung auf Wachstum, Überleben, Fruchtbarkeit von Blattläusen aus (MITTLER & DADD 1963, 1964, 1965; DADD & MITTLER 1966; SRIVASTAVA & AUCLAIR 1974). Im vorliegenden Versuch waren die Aminosäuregehalte der geprüften Kartoffelsorten zwischen $6,5 \text{ g*kg}^{-1}$ und 11 g*kg^{-1} in der Trockenmasse, was sich mit Beobachtungen von BERNAYS & CHAPMAN (1994) deckt.

Aminosäuren sind wahrscheinlich von großer Bedeutung für phloemsaugende Insekten, weil in Phloem die höchsten Konzentrationen auftreten (WEIBULL 1987; KAZEMI & VAN EMDEN 1992; BERNAYS & CHAPMAN 1994). In unserem Versuch stellten wir eine positive Beziehung zwischen den Aminosäuren Threonin u. Serin und den dominanten Blattlausarten fest (Tabelle 29). Hierin bestand also eine Überstimmung mit den Ergebnissen von AUCLAIR et al. (1957), die in Blättern blattlausresistenter Erbsensorten (*Pisum sativum* L.) eine geringere Gesamtkonzentration an Aminosäuren als in denen anfälliger Sorten feststellen. Wie (MITTLER 1967) aufzeigte, stieg die Flüssigkeitsaufnahme von *M. persicae* mit der Konzentration der Aminosäuren bis zu 30 g*kg^{-1} an und verringerte sich dann schwach.

Die von DIXON (1987) und KUO-SELL (1991) beobachtete positive Wirkung der Aminosäuren, dass die Blattläuse sich auf hochwertiger Nahrungsqualität schneller als auf Pflanzen mit niedrigerer Nahrungsqualität entwickeln, ist entsprechend den vorliegenden Ergebnissen. Die vorliegenden Befunde bestätigen die Auffassung von MITTLER (1967) und JANSSON & SMILOWITZ (1986), dass die Populationen von *M. persicae* mit einer Zunahme freien Aminosäuren in Kartoffelblätter angestiegen sind.

Der Zuckergehalt veränderte sich im Vegetationsverlauf erheblich, sodass der Gehalt von Saccharose und Glucose im zweiten Messtermin 12.07.2007 im Vergleich zum ersten Messtermin um 70% bzw. 18% abnahm. Ergebnisse von KOLBE (1996) bestätigten, dass die Gehalte an den drei Hauptzuckern in Kartoffelblättern (Saccharose, Glucose und Fructose) von der Vegetation, dem Wetter und der Nährstoffversorgung beeinflusst werden (vgl. Abbildung 43). PETERSSON et al. (2007) beobachtete auch tägliche Änderungen in der Zuckerkonzentration. Im eigenen Versuch hatte die Saccharose den höchsten Anteil am gesamten Zuckergehalt bei allen geprüften Kartoffelsorten. Dies deckt sich auch mit Untersuchungen von KOLBE (1996). Der Autor ermittelte einen hohen Saccharosegehalt und niedrigen Glucosegehalt in den Kartoffelblättern in der zweiten Hälfte der Vegetation.

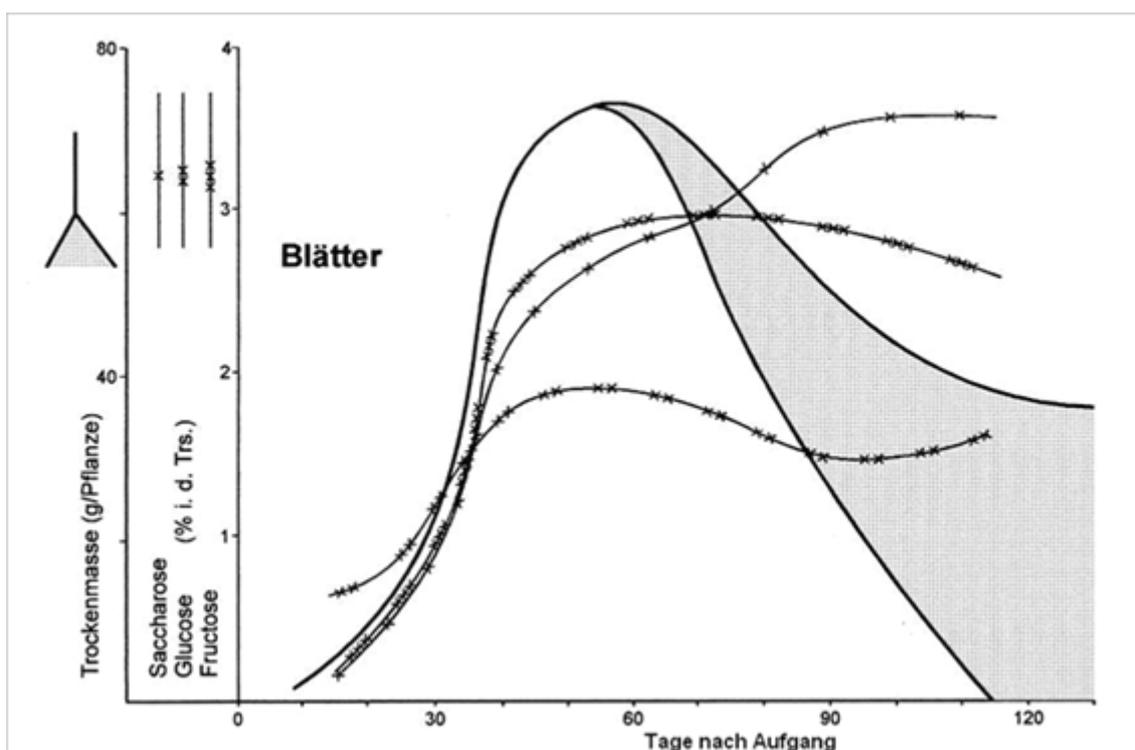


Abbildung 43: Der Zuckergehalt (Saccharose, Glucose, Fructose) in den Kartoffelblättern im Verlauf der Vegetation (nach KOLBE 1996)

Nahrungsqualität und physiologischer Zustand der Pflanzen haben einen bedeutenden Einfluss auf das Wachstum und die Reproduktion der Blattläuse (KLOFT & SAFE 1981; DIXON 1985, 1987; WEIBULL 1987; PANDA & KHUSH 1995; DUFFIELD et al. 1997; DOUGLAS & VAN EMDEN 2007). Mehrere Studien zeigten,

dass die Blattläuse Saccharose, Glucose und Fructose aus dem Phloemsaft aufnehmen (NOBEL 2005; DOUGLAS 2006; DOUGLAS & VAN EMDEN 2007). Die im vorliegenden Versuch beobachtete negative signifikante Korrelation zwischen dem Saccharosegehalt (bis $56 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TS) und dem Blattlausbefall wird durch DOUGLAS & VAN EMDEN (2007) bestätigt. Die Autoren berichteten, dass mit abnehmender Saccharose-Konzentration die Blattläuse mit einer progressiv steigenden Rate saugen. Unterhalb einer minimalen Konzentration von 17-68 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (je nach Art und Bedingungen) kann kein ausdauerndes Saugen beobachtet werden. Die eigenen Befunde (negative Beziehung zwischen Saccharosegehalt und Blattlausbefall) stimmen mit Beobachtungen von MITTLER (1967), MITTLER & MEIKLE (1991) und DOUGLAS et al. (2006) gut überein. Nach Aussagen der Autoren verhielt sich die Saugrate der Blattläuse umgekehrt proportional zu der Saccharose-Konzentration im Phloemsaft. Als eine Begründung dafür wurde durch DOWNING (1978), WILKINSON et al. (1997) und DOUGLAS & VAN EMDEN (2007) beschrieben, dass Saccharose im Phloem zwei physiologische Probleme für Blattläuse bringt. Erstens kann Saccharose im Tierdarm nicht direkt assimiliert werden, sondern der Nährwert hängt von der Hydrolyse in die Bestandteile Glukose und Fruktose ab. Zweitens ist die Saccharose-Konzentration im Phloemsaft sehr hoch, normalerweise bis $342 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ und der osmotische Druck ist wesentlich höher als der in der Körperflüssigkeit der Blattläuse. Der daraus resultierende osmotische Gradient verursacht einen unkontrollierten Wasserfluss aus dem Gewebe der Blattläuse zum Darm und führt zur Austrocknung der Blattläuse.

Während eine negative signifikante Korrelation zwischen dem Blattlausbefall und dem Saccharosegehalt gegeben war, bestand diese Beziehung mit Glucose und Fruktose in dieser Untersuchung nicht. Aber AUCLAIR (1967) zeigte, dass sich hohe Konzentrationen von Glucose auf Wachstum und Reproduktionsrate von Baumwollblattlaus, *A. gossypii* auswirken. LIU & YANG (1993) berichteten, dass eine Unterdrückung des Blattlausbefalls mit erhöhten Konzentrationen der löslichen Zucker in den Blättern assoziiert wurde.

Neben den Zucker- und Aminosäuregehalten haben möglicherweise noch andere Inhaltsstoffe in den Sorten auf die Blattläuse Einfluss, die hier nicht untersucht wurden. Deshalb sind weitere Untersuchungen zu den Inhaltsstoffen notwendig.

10 Schlussfolgerungen und Ausblick

Diese Arbeit konzentriert sich auf zwei Blattlausarten, die an Kartoffeln schädigen, und auf einige aktuell zugelassene deutsche Sorten. Genetische Reserven für die Kartoffelzüchtung wurden in kleinem Umfang in Form von alten Kartoffelsorten bzw. einer anderen *Solanum*-Art eingebunden.

Die Arbeit liefert Informationen über die Vermehrungsrate der Blattlausarten *M. persicae* und *M. euphorbiae* an verschiedenen Kartoffelsorten. Die älteren und jüngeren Untersuchungen an nordamerikanischen Kartoffelsorten konnten damit für eine Auswahl deutscher Sorten bestätigt werden. Um das Merkmal „Blattlausanfälligkeit“ bei der Sortenwahl berücksichtigen zu können, müsste das Sortensortiment systematisch darauf hin untersucht werden. Die Ergebnisse könnten in die Beschreibende Sortenliste des Bundessortenamts eingehen.

In Feldversuchen im Rahmen dieser Dissertation wurden neben den wichtigen Kartoffelblattlausarten (*M. persicae*, *M. euphorbiae*) auch andere Blattlausarten wie *A. nasturtii*, *A. frangulae*, *A. solani* gefunden. Untersuchungen zum Verhalten dieser Blattlausarten an Kartoffeln wären eine interessante Arbeit für die Zukunft.

Heute werden Kartoffelsorten nach einem klar umrissenen Kriterienkatalog gezüchtet. Produktionsbestimmende Faktoren (Reifezeit, Ertrag, Beerntbarkeit), Krankheits- und Schädlingsresistenz stehen ganz oben auf der Liste. Sie bestimmen die Wirtschaftlichkeit und ökologische Nachhaltigkeit des Kartoffelanbaus. Bewertet man alle experimentellen Ergebnisse der vorliegenden Arbeit, können von den untersuchten Sorten einige deutlich abgegrenzt werden: die Sorten Borwina und Fasan mit hoher und die Sorte Romanze mit geringer „Blattlauseignung“. Diese Untersuchungsergebnisse liefern deutliche Hinweise, dass es Anfälligkeitsunterschiede zwischen Sorten gibt. Zukünftige Forschung sollte sich mit diesen Unterschieden noch stärker beschäftigen. Letztendlich wird vor allem die Züchtung gefordert sein, auf Sorten mit geringer Anfälligkeit zu selektieren bzw. diese gezielt zu züchten. Die vorliegende Untersuchung weist daraufhin, dass hierbei vor allem Merkmale zu wie die Inhaltsstoffe in Betracht zu ziehen sind. Genetische Ressourcen unter den *Solanum*-Arten stellen dabei eine Quelle dar.

11 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde die Präferenz von Blattläusen für bestimmte Kartoffelsorten untersucht. Im Detail befasst sich die Arbeit mit der Vermehrungsdynamik (Vermehrungsrate, Sortenwahl, Lebensdauer, Blattlausbefall) der Arten *M. persicae* und *M. euphorbiae* auf verschiedenen Kartoffelsorten in Abhängigkeit von Befallsdichte und bestimmten Wirtspflanzeigenschaften (Behaarungsintensität und Inhaltsstoffe). Zur Klärung des Einflusses der Wirtspflanze auf die Vermehrung von *M. persicae* und *M. euphorbiae* wurden Versuche mit achten unterschiedlichen Kartoffelsorten (Albatros, Borwina, Fasan, Kormoran, Pirol, Romanze, Salome, Terrana) unter kontrollierten Bedingungen (Gewächshaus und Klimakammer) bzw. Freilandsbedingungen durchgeführt. Diese acht Sorten standen in den meisten Versuchen in Zentrum, versuchsspezifisch wurden weitere Sorten und eine Wildart eingesetzt. Die Vorgehensweisen und die Ergebnisse der Versuche lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die optimale Vermehrungsleistung der Blattlausarten *M. persicae* und *M. euphorbiae* wurde auf den acht Cultivarsorten, drei alten Kartoffelsorten und einer Wildart unter verschiedenen Bedingungen (Gewächshaus, In-Vitro, Semi-Freiland) untersucht (s. Kapitel 3). Die Blattlausarten hatten unterschiedliche Vermehrungsraten auf den geprüften Kartoffelsorten unter verschiedenen Bedingungen, d.h. die Anfälligkeit von den Kartoffelsorten (inkl. der genetischen Ressourcen in Form von alten Kartoffelsorten und der Wildart) war gegenüber den beiden Blattlausarten nicht gleich. Die In-Vitro-Untersuchungen zeigten, dass die beiden Blattlausarten sich an den alten Kartoffelsorten und der Wildart um 17% bei *M. persicae* bzw. um 24% bei *M. euphorbiae* im Vergleich zu den Cultivarsorten geringer vermehrt haben. Der Vergleich der Methoden untereinander ergab oftmals bei gleichen Sorten größere Abweichungen in der Vermehrungsrate. Insgesamt wurde in den Versuchen an der Sorte Borwina besonders hohe Vermehrungen ermittelt. Auf der Sorte Romanze vermehrten sich beide Blattlausarten weniger stark.
- In Kapitel 4 wurde die Wirkung der Blattetagen von den genannten Kartoffelsorten auf die Vermehrungsrate von *M. persicae* und *M. euphorbiae* im Einzelblatttest im Gewächshaus untersucht. Beide Blattlausarten haben

eine Präferenz für ein bestimmtes physiologisches Alter der Blätter. Ältere Blätter waren besser geeignet für *M. persicae* als junge Blätter. Im Gegensatz dazu erreichte *M. euphorbiae* höhere Vermehrungsraten auf den oberen Kartoffelblättern im Vergleich zu unteren.

- Versuche zur Sortenwahl der Blattläuse *M. persicae* und *M. euphorbiae* wurden mit den untersuchten Kartoffelsorten im Gewächshaus und Semi-Freiland durchgeführt (Kapitel 5). Offenbar sind *M. persicae* und *M. euphorbiae* in der Lage, geeignete Sorten auszuwählen. Gemessen an der Besiedlung durch die Blattlausarten waren die Sorten Salome, Fasan und Borwina für *M. euphorbiae* bzw. Fasan, Borwina und Kormoran für *M. persicae* besonders attraktiv.
- *M. persicae* und *M. euphorbiae* wurden im Gewächshaus auf acht Kartoffelsorten vermehrt, wobei die Lebensdauer und die Fruchtbarkeit untersucht wurden (Kapitel 6). Die Vermehrungsraten auf den geprüften Kartoffelsorten waren unterschiedlich, wobei die Vermehrungskapazitäten von *M. euphorbiae* geringer als die von *M. persicae* waren. Die Lebensdauer von *M. persicae* und *M. euphorbiae* betrug Min. 22 (Salome) bis Max. 30 (Terrana) Tage bzw. Min. 23 (Romanze) bis Max. 27 (Terrana) Tage.
- Im Rahmen von Kapitel 7 wurden verschiedene Kartoffelsorten in Freilandversuchen an drei Standorten hinsichtlich des Blattlausbefalls untersucht. Außerdem wurden die Spektraleigenschaften der Blätter verschiedener Kartoffelsorten gemessen und ihre Beziehung zum Blattlausbefall geprüft. In dieser Arbeit wurden neben den acht Kartoffelsorten zwei Sorten (Alegria und Meridian) am Standort Rostock bzw. fünfzehn Sorten an den Standorten Sanitz und Gülzow untersucht. Der Blattlausbefall war in den Versuchsjahren 2006 und 2007 an den Standorten unterschiedlich. Es traten die Blattlausarten *M. persicae*, *A. nasturtii*, *M. euphorbiae*, *A. solani*, *A. frangulae* auf. Die Ergebnisse zeigten einen gesicherten Zusammenhang zwischen den Reflexionswerten der unterschiedlichen Sorten und dem Blattlausbefall (*M. persicae*, *A. nasturtii*, *M. euphorbiae*). Insbesondere deutlich war dies für die Wellenlänge 530 nm und 560 nm (Grünbereich). Die mittleren NDVI-Werte (Normalisierter Differenz Vegetations-Index) der Kartoffelsorten schwankten zwischen 0,5 und 0,8. Die resultierenden Werte zeigten einen positiven linearen Zusammenhang zwischen dem NDVI und

dem Blattlausbefall in Gülzow und Sanitz. Die Verlaufskurve des WBI (Wasserbanden-Index) war reziprok zu der des NDVI. Es gab eine negative signifikante Korrelation zwischen WBI und dem Blattlausbefall. D.h. je höher der Wassergehalt der Kartoffelpflanzen war, desto höher war die Blattlausdichte.

- Als weitere mögliche Ursache für das unterschiedliche Verhalten der Blattläuse wurde die Behaarungsintensität der Kartoffelsorten untersucht (Kapitel 8). Bei allen geprüften Kartoffelsorten war jeweils die Blattunterseite stärker behaart als die Blattoberseite. Die Haardichte der Kartoffelsorten war im Gewächshaus am höchsten, gefolgt von Freiland und In-Vitro. Die Beziehung zwischen Behaarungsdichten der Blattunterseite und Abundanz der Blattläuse war signifikant positiv.
- In Kapitel 9 wurden die Hauptnährkomponenten für die Blattläuse, Zucker und freie Aminosäuren, für die geprüften Sorten untersucht. Als Hauptkomponenten sind in mengenmäßig absteigender Reihenfolge folgende Aminosäuren hervorzuheben sind: Alanin, Threonin und Valin. Salome wies die höchsten Gehalte an Aminosäuren auf. Alegria und Meridian wiesen die geringsten Gehalte auf. Der Zuckergehalt aller Kartoffelsorten erreichte im Mittel 16 g*kg^{-1} TS Fructose, 21 g*kg^{-1} TS Glucose und 37 g*kg^{-1} TS Saccharose. Der geringste Anteil am Gesamtzuckergehalt war in der Sorte Salome nachweisbar. Die Sorte Kormoran enthielt die höchsten Zuckergehalte, gefolgt von Alegria. Bei der Ermittlung der Beziehung zwischen den Blattläusen und den Inhaltsstoffen wurde eine signifikant positive Korrelation zwischen dem Gehalt an Aminosäuren (Serin $r= 0,48^*$ und Threonin $r= 0,71^{**}$) und dem Blattlausbefall gefunden, und ein signifikant negativer Zusammenhang zwischen dem Blattlausbefall und dem Saccharosegehalt festgestellt.

Anhand der vorgestellten Ergebnisse ist ein Einfluss der Sorte auf den Befallsverlauf von *M. persicae* und *M. euphorbiae* offensichtlich. Zukünftige Forschungsansätze sollten weitere Blattlausarten der Kartoffel einbeziehen. Für die Kartoffelzüchtung und die praktische Sortenwahl sollten Kriterien entwickelt werden, die Blattlauseignung von Kartoffelsorten zu beschreiben und, wenn möglich, züchterisch zu beeinflussen.

12 Literaturverzeichnis

- ABERNATHY, C.O. and U.R. THURSTON (1969): Plant age in relation to the resistance of *Nicotiana* to the green peach aphid. J. Econ. Ent. 62, 1356-1359
- ABUL-NASR, S. (1960): The susceptibility of different varieties of cotton to infestation with insect and mite pests. Bull. Soc. Ent. Egypt. 44, 143
- ACREMAN, S.J. and A.F.G. DIXON (1989): The effects of temperature and host quality on the rate of increase of the grain aphid (*Sitobion avenae*) on wheat. Ann. Appl. Biol. 115, 3-9
- ADAMS, J.B. (1946): Aphid resistance in potatoes. Amer. Pot. J. 23, 2-22
- AGRIOS G.N. (1997): Plant Pathology, fourth edition, San Diego, Academic Press
- ALBERTS, A. und P. MULLEN (2003): Giftpflanzen in Natur und Garten. Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co, Stuttgart, pp. 272
- ALVAREZ, A.E. (2007): Resistance mechanisms of *Solanum* species to *Myzus persicae*, Ph.D. thesis, Wageningen University, Wageningen, the Netherlands
- ALVAREZ, A.E., E. GARZO, M. VERBEEK, B. VOSMAN, M. DICKE and W.F. TJALLINGII (2007): Infection of potato plants with potato leafroll virus changes attraction and feeding behaviour of *Myzus persicae*. Ent. Exp. et Appl. 125, 135-144
- ALVAREZ, A.E., W.F. TJALLINGII, E. GARZO, V. VLEESHOUWERS, M. DICKE and B. VOSMAN (2006): Location of resistance factors in the leaves of potato and wild tuber-bearing *Solanum* species to the aphid *Myzus persicae*. Ent. Exp. et Appl. 121, 145-157
- ANONYM (2004): Erzeugung von Saat- und Pflanzgut im Freistaat Sachsen, Rückblick 2003 und Informationen für 2004, Sachsen
- ANONYM (2006): SPSS für Windows, Version 15.0.1, SPSS Deutschland
- ANONYM (2009): Pflanzkartoffeln Frühjahr 2009 Verkehrsfähige Pflanzkartoffeln nach Feld-, Virus- und Quarantäneprüfung, Dresden
- ARAUS, J.L. (1996): Integrative physiological criteria associated with yield potential. In: REYNOLDS, M.P., S. RAJARAM and A. MCNAB (Eds.): Increasing yield potential in wheat: breaking the barriers, Mexico: CIMMYT. 150-160

- AUCLAIR, J. L., J.B. MALTAIS and J.J. CARTIER (1957): Factors in resistance of peas to the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum* (Harr.) (Homoptera: Aphididae). II. Amino acids. Can. Ent. 89, 457-464
- AUCLAIR, J.L. (1967): Effects of light and sugars on rearing the cotton aphid, *Aphis gossypii*, on a germ-free and holidic diet. J. Inse. Physio. 13, 1247-1268
- AUERBACH, M.J. and D.R. STRONG (1981): Nutritional ecology of *Heliconia* herbivores: experiments with plant fertilization and alternative hosts. Ecol. Monogr. 51, 63-83
- BAILEY, S.M., M.E. IRWIN, G.E. KAMPMEIER, C.E. EASTMAN and A.D. HEWINGS (1995): Physical and biological perturbations: their effect on the movement of apterous *Rhopalosiphum padi* and localized spread of barley yellow dwarf virus. Envir. Ent. 24, 24-33
- BALD, J.G., D.O. NORRIS and G.A.H. HELSON (1946): Transmission of potato virus diseases. V. Aphid populations, resistance and tolerance of potato varieties to leaf roll. Bull. Counc. Sci. Industry. Res. Austr. No. 196
- BEE (2006): Besondere Ernte- und Qualitätsermittlung. Herausgeber: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz http://www.bvgrar.de/bvagrar/agrarwelt/daten/bee/bee_ernteterminnung_2006.pdf
- BERGMAN, D.K., J.W. DILLWITH, A.A. ZARRABI, J.L. CADDEL and R.C. BERBERET (1991): Epicuticular lipids of alfalfa relative to its susceptibility to spotted alfalfa aphids. Envir. Ent. 20, 781-785
- BERNAYS, E.A. and R.F. CHAPMAN (1994): Host plant selection by phytophagous insects. Chapman and Hall, New York, pp. 312
- BINTCLIFFE, E.J.B. (1981): Resistance to the aphid *Myzus persicae* (Sulz) in potato cultivars. Proceedings of the Eucarpia/10 BC Working Group Meeting. Breeding for Resistance to Insect and Mites, Canterbury, 1980, pp. 29-34
- BLACKMAN, R.L. and V.F. EASTOP (1984): Aphids on the Worlds Crop, An Identification and Information Guide. New York: John Wiley and Sons
- BLACKMAN, R.L. and V.F. EASTOP (1994): Aphids on the World's Trees - An Identification and Information Guide. CAB International, Wallingford, UK, in

- association with The Natural History Museum, University Press, Cambridge, pp. 987
- BLACKMAN, R.L. and V.F. EASTOP (2007): Taxonomic Issues. In: VAN EMDEN, H.F. and R. HARRINGTON (2007): Aphids as Crop Pests. UK, 14-17
- BMELV (2005): Agrarbericht 2005. <http://www.bmelv-statistik.de/data/GGTSPU-styx.bba.de-23043649858DAT/000E6A08E076133B9E516521C0A8D816.0.pdf>
- BOITEAU, G. (1997): Comparative propensity for dispersal of apterous and alate morphs of three potato-colonizing aphid species. *Can. J. Zool.* 75, 1396-1403
- BONNEMAISON, L. (1966): Integrated control of several aphids. In: HODEK, I. (Ed): Ecology of aphidophagous insects. Prague: Academia. 329-330
- BÖRNER, H., K. SCHLÜTER und J. AUMANN (2009): Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. Berlin, 8. Auflage Springer, Heidelberg, New York und Tokyo, pp. 689
- BRADLEY, R.H.E. (1952): Methods of recording aphid populations on potatoes and the distribution of species on the plant. *Can. Ent.* 84, 93-102
- BRADLEY, R.H.E., R.Y. GANONG and D.W. RIDEOUT (1952): Aphid (Homoptera: Aphididae) infestations on Chippewa, Katahdin, and the newly released blight-resistant varieties Canso and Keswick. *Amer. J. Pot. Res.* 29, 221-224
- BRÜCHER, H. (1975): Domestikation und Migration von *Solanum tuberosum* L. Kulturpflanze 23, 11-74
- BRUNT, A.A., K. CRABTREE, M.J. DALLWITZ, A.J. GIBBS, L. WATSON and E.J. ZURCHER (1996): Plant Viruses Online: Descriptions and Lists from the VIDE Database. Version: 20th August 1996. URL <http://biology.anu.edu.au/Groups/MES/vide/>
- BÜLOW, L. (2000): Anaerobe und Pathogen-induzierte Resistenzgenexpression in transgenen Kartoffeln. Dissertation, Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig
- BUNDESSORTENAMT (2005): Beschreibende Sortenliste Kartoffeln. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Hannover, Deutschland, pp. 128
- BUNDESSORTENAMT (2009): Beschreibende Sortenliste Kartoffeln. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Hannover, Deutschland, pp. 121

- BURNHAM, J.C. and D.J. MACLEOD (1942): Varietal susceptibility of potatoes to aphid injury. *Can. Ent.* 74, 36
- CARTER, N., I.F.G. MCLEAN, A.D. WATT and A.F.G. DIXON (1980): Cereal Aphids: a Case Study and Review. *Appl. Biol.* 5, 271-348
- CASAGRANDE, R.A. (1982): Colorado potato beetle resistance in a wild potato, *Solanum berthaultii*. *J. Econ. Ent.* 75, 368-372
- CLOYD, R.A. and C.S. SADOFF (1998): Biology and Management. *Floriculture Indiana*. Vol. 12. No.2, 3-7
- COLE, R.A. (1997): The relative importance of glucosinolates and amino acids to the development of two aphid pests *Brevicoryne brassicae* and *Myzus persicae* on wild and cultivated brassica species. *Ent. Exp. et Appl.* 85, 121-133
- CRUZ, Y.P. and E.N. BERNARDO (1971): The biology and feeding behavior of the melon aphid, *Aphis gossypii* Clover (Aphididae, Homoptera) on four host plants. *Philipp. Ent.* 2, 155-166
- DADD, R.H. and T.E. MITTLER (1966): Permanent culture of an aphid on a totally synthetic diet. *Experientia* 22, 832-833
- DAVIS, A.J., B.E. RADCLIFFE and W.D. RAGSDALE (2007): Resistance to green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer), and potato aphid, *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas), in potato cultivars. *Amer. J. Pot. Res.* 84, 259-269
- DAVIS, J.J. (1915): The pea aphid with relation to forage crops. *Depart. Agricu. Washington. Bulletin No. 276*, 1-67
- DEVONSHIRE, A.L. and L.M. FIELD (1991): Gene amplification and insecticide resistance. *Ann. Revi. Ent.* 36, 1-23
- DIMOCK, M.B., G.G. KENNEDY and W.G. WILLIAMS (1982): Toxicity studies of analogs of 2- tridecanone, a naturally occurring toxicant from wild tomato. *J. Chem. Ecol.* 8, 837-842
- DIONNE, C.E. (1948): Methods used in 1948 for testing aphid in potatoes. *Rep. Ent. Soc. Ont.* No. 78
- DISTL, M. (2007): Entwicklung von Nachweisverfahren für toxische *Solanum*-Glykoalkaloide und ihre Anwendung in Kartoffeln und daraus zubereiteten Produkten. *Dissertation, Universität Heidelberg*, pp. 250

- DIXON, A.F.G. (1970): Factors limiting the effectiveness of the coccinellid beetle, *Adalia bipunctata* (L.) as a predator of the sycamore aphid, *Drepanosiphum plantanoides* (Schr.). *J. Anim. Ecol.* 39, 739 -751
- DIXON, A.F.G. (1973): *Biology of Aphids*. Edward Arnold (Publishers), London, UK
- DIXON, A.F.G. (1985): *Aphid Ecology*. Chapman and Hall, New York, pp. 157
- DIXON, A.F.G. (1987): Pathenogenetic reproduction and the rate of increase in aphids, In A.K. MINKS and P. HARREWIJN (eds.), *Aphids: their biology, natural enemies and control*. Elsevier, Amtersdam, The Netherlands. 1, 269-285
- DIXON, A.F.G. and M. LOGAN (1973): Leaf size and availability of space to the sycamore aphid *Drepanosiphum platanoides*. *Oikos* 24, 58-63
- DIXON, A.F.G. and S.D. WRATTEN (1971): Laboratory studies on aggregation, size and fecundity in the black bean aphid, *Aphis fabae* (Scop.). *Bull. Ent. Res.* 61, 97-111
- DOCKTER, K., W. KÜHBAUCH, F. BOOCHS, C. VON RÜSTEN, U. TEMPELMANN, G. KUPFER (1988): Die spektrale Reflexion von Zuckerrübenbeständen im sichtbaren und infraroten Wellenlängenbereich während des Wachstums. *Mitteilungen d. Gesellschaft f. Pflanzenbau wissenschaften* 1, 55-57
- DOMEK, J.M., W.W. CANTELO, R.M. WAGNER, B.W. LI, and N.J. MILLER-IHLI (1995): Nutritional composition of potato foliage. *J. Agric. Food Chem.* 43, 1512-1515
- DÖRING, T.F., S.M. KIRCHNER und H. SAUCKE (2005): Farbsehen bei *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) - alles im grünen Bereich? In DGaaE Tagungsband der Entomologietagung 2005, Dresden
- DOUGLAS, A.E. (2006): Phloem-sap feeding by animals: problems and solutions. *J. Exp. Bot.* 57, 747-754
- DOUGLAS, A.E., D.R.G. PRICE, L.B. MINTO, E. JONES, K.V. PESCOD, C.L.M.J. FRANCOIS, J. PRITCHARD, and N. BOONHAM (2006): Sweet problems: insect traits defining the limits to dietary sugar utilisation by the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum*. *J. Exp. Biol.* 209, 1395-1403

- DOUGLAS, E.A. and H.F. VAN EMDEN (2007): Nutrition and Symbiosis. In: VAN EMDEN, H.F. and R. HARRINGTON (2007): Aphids as Crop Pests. UK, 115-134
- DOWNING, N. (1978): Measurements of the osmotic concentrations of stylet sap, haemolymph and honeydew from an aphid under osmotic stress. J. Exp. Biol. 77, 247-250
- DUBNIK, H. (1991): Blattläuse - Artenbestimmung, Biologie, Bekämpfung, Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen – Buer, pp. 120
- DUFFIELD, S.J., R.J. BRYSON, J.E.B. YOUNG, R. SYLVESTER-BRADLEY and R.K. SCOTT (1997): The influence of nitrogen fertiliser on the population development of the cereal aphids *Sitobion avenae* (F.) and *Metopolophium dirhodum* (Wlk.) on field grown winter wheat. Ann. Appl. Biol. 130, 13-26
- DUNCAN, J., and R. COUTURE (1956): Les pucerons de la pomme de terre dans l'est du Québec. 38 ème rapport de la Société du Québec pour la protection des plantes, pp. 49-55
- DUSEK, D.A., R.D. JACKSON and J.T. MUSICK (1985): Winter wheat vegetation indices calculated from combinations of seven spectral bands. Rem. Sens. Envir. 18, 255-267
- EASTOP, V.F. (1977): Worldwide importance of aphids as virus vectors. In Aphids as virus vectors (ed. K.F. HARRIS and K. MARAMOROSCH), pp. 3-62. Academic Press, New York
- EL-KADY, E.A. (1971): Feeding Sites of the Mealy Plum Aphid *Hyalopterus-Pruni* (Geoffroy) with Respect to Its Alternative Host Plants in Egypt. Bull. Soci. Ent. Egy. 55, 35-40
- ELSEY, K.D. and E.V. WANN (1982): Differences in infestation of pubescent and glabrous forms of cucumber by pickleworms and melonworms. Hort Sci. 17, 253-254
- ERBE, G. und K. LÜTHKE (2007): Vorschau auf die Pflanzkartoffelerzeugung, Kartoffelbau. 8, 338-345
- ERBE, G. und K. LÜTHKE (2009): Vorschau auf die Pflanzkartoffelerzeugung, Kartoffelbau. 8, 330-337
- FACKNATH, S. and B. LALLJEE (2005): Effect of soil-applied complex fertiliser on an insect-host plant relationship: *Liriomyza trifolii* On *Solanum tuberosum*. Ent. Exp. et Appl. 115, 67-77

- FAO (2008): <http://www.Fao.Org/Ag/Magazine/0611sp1.Htm>
- FAOSTAT DATA (2006): <http://faostat.fao.org/site/408/DesktopDefault.aspx?PageID=408>
- FERERES, A., G.E. KAMPMEIER, and M.E. IRWIN (1999): Aphid attraction and preference for soybean and pepper plants infected with Potyviridae. *Ann. Ent. Soci. Amer.* 92, 542-548
- FIEBIG, M. (2000): Zum Einfluss einer Barley Yellow Dwarf Virus Infektion auf die Wirtseignung ausgewählter Weizensorten für die Getreideblattlaus *Sitobion avenae* F. Dissertation, Universität Hannover
- FLANDERS, K.L., E.B. RADCLIFFE and D.W. RAGSDALE (1991): Potato leaf roll virus spread in relation to densities of Green peach aphid (Homoptera: Aphididae). Implications for management threshold for Minnesota seed potatoes. *J. Econ. Ent.* 84, 1028-1036
- FLANDERS, K.L., J.G. HAWKES, E.B. RADCLIFFE and F.I. LAUER (1992): Insect resistance in potatoes: sources, evolutionary relationships, morphological and chemical defenses and ecogeographical associations. *Euphytica.* 61, 83-111
- FLANDERS, K.L., S. ARNONE and E.B. RADCLIFFE (1999): The Potato: genetic resources and insect resistance. In *Global Plant Genetic Resources for Insect-Resistance Crops* (ed. by S.L. CLEMENT and S.S. QUISENBERRY), pp. 207-239. CRC Press, Boca Raton, FL, USA
- FLUITER, H.J. and G.W. ANKERSMIT (1948): Gegevens betreffende de aantasting van bonen (*Phaseolus vulgaris* L.) door de zwarte bonenluis (*Aphis (Doralis) fabae* Scop.). *Tijdschr. Plziekt.* 54, 1-13
- FRANCIS, F., E. HAUBRUGE, P. HASTIR, and C. GASPARD (2001): Effect of Aphid Host Plant on Development and Reproduction of the Third Trophic Level, the Predator *Adalia bipunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Envir. Ent.* 30, 5, 947-952
- FRANKE, W. (1989): *Nutzpflanzenkunde: Nutzbare Gewächse der gemäßigten Breiten, Subtropen und Tropen.* Thieme Verlag, Stuttgart, New York
- FRAZER, B.D. (1988): Predators. In: MINKS, A.K. and P. HARREWIJN (Eds): *Aphids: Their biology, natural enemies and control.* Vol. 2B. Amsterdam: Elsevier. 217-230

- FRITZSCHE, R., E. KARL, W. LEHMANN und G. PROESELER (1972): Tierische Vektoren pflanzenpathogener Viren, Stuttgart
- FRITZSCHE, R., E. KARL, W. LEHMANN und G. PROESELER (1980): Übertragung durch tierische Vektoren und die Wechselbeziehung zwischen Vektor, Virus und Wirtspflanze In: KLINKOWSKI, M. (Hrsg), Pflanzliche Virologie, Band 1: Einführung in die allgemeinen Probleme, Akademie- Verlag Berlin, 3. Auflage, 134-182
- FRITZSCHE, R., H. DECKER, W. LEHMANN, E. KARL and K. GEIßLER (1988): Resistenz von Kulturpflanzen gegen tierische Schaderreger. Gustav Fischer Verlag, Jena
- FROHNE, D. and H.J. PFÄNDER (2004): Giftpflanzen. Ein Handbuch für Apotheker, Ärzte, Toxikologen und Biologen. 5. Auflage, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart. 387-389
- GAWAAD, A.A.A. and A.S. SOLIMAN (1972): Studies on *thrips tabaci* Lindman. IX. Resistance of nineteen varieties of cotton to *thrips tabaci* L. and *Aphis gossypii*. J. Appl. Ent. 70, 93-98
- GERHARD, M. (2001): Der Einfluß strobilurinhaltiger Fungizide auf physiologische Abläufe der Ertragsbildung an Winterweizensorten. Dissertation, Universität München
- GIBSON, R.W. (1971): Glandular hairs providing resistance to aphids in certain wild potato species. Ann. Appl. Biol. 68, 113-119
- GIBSON, R.W. (1972): The distribution of aphids on potato leaves in relation to vein size. Ent. Exp. et Appl. 15, 213-223
- GIBSON, R.W. (1974a): Aphid- trapping glandular hairs on hybrids of *Solanum tuberosum* and *S. berthaultii*. Pot. Res. 17, 152-154
- GIBSON, R.W. (1974b): Studies on the feeding behaviour of the eriophyid mite *Abacarus hystrix*, a vector of grass viruses. Ann. Appl. Biol. 78, 213-217
- GIBSON, R.W. and J.A. PICKETT (1983): Wild potato repels aphids by release of aphid alarm pheromone. Nature, 302, 608-609
- GIBSON, R.W. and R.H. TURNER (1977): Insect trapping hairs on potato plants. Inter. J. Pest. Manag. 22, 273-277
- GODFREY, L.D. (1997): Potato aphids (*Myzus persicae*, *Macrosiphum euphorbiae*). UC Pest Management Guidelines. University of California, Statewide Integrated Pest Management Project 1-3

- GULDEMOND, J.A., W.J. VAN DEN BRINK and E. DEN BEIDER (1998): Methods of assessing population increase in aphids and the effect of growth stage of the host plant on population growth rates. *Ent. Exp. et Appl.* 86, 163-173
- GUNASINGHE, U.B., M.E. IRWIN and G.E. KAMPMEIER (1988): Soybean leaf pubescence affects aphid vector transmission and field spread of soybean mosaic virus. *Ann. Appl. Biol.* 112, 259-272
- GURNEY, B. and N.W. HUSSEY (1970): Evaluation of some coccinellid species for the biological control of aphids in protected cropping. *Ann. Appl. Biol.* 65, 451-458
- GUYOT, G. and F. BARET (1991): Potentials and limits of vegetation indices. *Rem. Sens. Envir.* 35, 161-173
- HAILE, F.J. (2001): Drought stress, insect and yield loss. In: PETERSON, R.K.D. and L.G. HIGLEY Biotic stress and yield loss. CRC, Boca Raton, pp. 117-134
- HAILE, F.J., L.G. HIGLEY, X. NI and S.S. QUISENBERRY (1999): Physiological and growth tolerance in wheat to Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae) injury. *Envir. Ent.* 28, 787-794
- HARDIE, J. (1989): Spectral specificity for targeted flight in the black bean aphid, *Aphis fabae*. *J. Inse. Physio.* 35, 619-626
- HARLAND, S.C. (1932). Genetics of *Gossypium*. *Bibliographia Genetica* 9, 107-182
- HARREWIJN, P. (1970): Reproduction of the aphid *Myzus persicae* related to mineral nutrition of potato plants. *Ent. Exp. Appl.* 13, 307-319
- HAWKES, J.G. (1944): Potato collecting expeditions in Mexico and South America. II: Systematic classification of the collections. *Imp. Bureaux Plant Breed. Genet.* II. Cambridge
- HENNIG, E. (1963): Zum Probieren oder sogenannten Probesaugen der Schwarzen Bohnenlaus (*Aphis fabae* Scop.). *Ent. Exp. Appl.* 6, 326-336
- HEPTING, L., A. REHM, R. GRAF und A. BRUMMER (2004): Versuchsergebnisse aus Bayern, Landessortenversuch mit mittelfrühen bis späten Wirtschaftskartoffeln. <http://www.hortigate.de/Apps/WebObjects/Hortigate.-woa/vb/bericht?nr=29433>

- HIGHLAND, H.B. and J.E. ROBERTS (1984): Feeding preferences and colonization abilities of three aphid vectors (Homoptera: Aphididae) of peanut mottle virus on selected host plants. *Envir. Ent.* 13, 970-974
- HILDEBRANDT, G. (1996): Fernerkundung und Luftbildmessung für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie, Heidelberg.
- HODGSON, C. (1991): Dispersal of apterous aphids (Homoptera: Aphididae) from their host plant and its significance. *Bull. Ent. Res.* 81, 417-427
- HODGSON, C.J. and I.B. ELBAKHEIT (1985): Effect of colour and shape of target hosts on the orientation of emigrating adult apterous *Myzus persicae* in the laboratory. *Ent. Exp. et Appl.* 38, 267-272
- HÖHN, H., B. GRAF, L. SCHAUB und B. BLOESCH (1995): Blattläuse an Kirsche und Pfirsich, Merkblatt 204
- HONEK, A. (1987): Effect of plant quality and microclimate on population growth and maximum abundances of cereal aphids, *Metopolophium dirhodum* (Walker) and *Sitobion avenae* (F.) (Hom., Aphididae). *J. Appl. Ent.* 104, 304-313
- HONEK, A. (1991a): Environment stress, plant quality and abundance of cereal aphids (Hom., Aphididae) on winter wheat. *J. Appl. Ent.* 112, 65-70
- HONEK, A. (1991b): Factors determining the peak abundance of *Metopolophium dirhodum* (Homoptera, Aphididae) on cereals. *Bull. Ent. Res.* 81, 57-64
- HONEK, A. (1994): The effect of plant quality on the abundance of *Metopolophium dirhodum* (Homoptera: Aphididae) on maize. *Euro. J. Ent.* 91, 227-236
- HONEK, A. and Z. MARTINKOVA (1999): Host-plant mediated influences on population development of *Sitobion avenae* (Sternorrhyncha: Aphididae). *Euro. J. Ent.* 96, 135-141
- HONEK, A. and Z. MARTINKOVA (2002): Factors of between- and within-plant distribution of *Metopolophium dirhodum* (Hom., Aphididae) on small grain cereals. *J. Appl. Ent.* 126, 378-383
- HONEK, A. and Z. MARTINKOVA (2004): Host plant age and population development of a cereal aphid, *Metopolophium dirhodum* (Hemiptera: Aphididae). *Bull. Ent. Res.* 94, 19-26

- HONEK, A., Z. MARTINKOVA and H. LIPAVSKA (1998): Distribution of *Metopolophium dirhodum* in maize and cereals. In: Aphids in Natural and Managed Ecosystems. Ed. by NAFRIA, J.M. and A.F.G. DIXON, Spain: Universidad de Leon, pp. 569-578
- HUBERTY, A.F. and R.F. DENNO (2006): Consequences of nitrogen and phosphorus limitation for the performance of two planthoppers with divergent life-history strategies. *Oecologia*. 149, 444-455
- HUGENTOBLER, U. (1990): Interaktionen zwischen Apfelbäumchen (var. 'Golden delicious') und der grünen Apfelblattlaus *Aphis pomi* Degeer (Homoptera: Aphididae). Dissertation, Universität Zürich
- HUMMEL, K. und STAESCHE, K. (1962): Die Verbreitung der Haartypen in den natürlichen Verwandtschaftsgruppen. In: Handbuch der Pflanzenanatomie, Bd. IV/5, 211-250
- HYAMS, D.G. (2005): Curve Expert 1-3. Hixson, TN: <http://curveexpert.webhop.biz/>
- IBBOTSEN, A. and J.S. KENNEDY (1959): Interaction between walking and probing in *Aphis fabae* Scop. *J. Exp. Biol.* 36, 377-390
- IRWIN, M.E. and G.E. KAMPMEIER (1989): Vector behavior, environmental stimuli, and the dynamics of plant virus epidemics. In: JEGER, M.J., Editor, *Spatial Components of Plant Disease Epidemics*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, pp. 14-39
- IRWIN, M.E., G.E. KAMPMEIER and W.W. WEISSER (2007): Aphid Movement: Process and Consequences. In: VAN EMDEN H.F. and R. HARRINGTON *Aphids as Crop Pests*. UK, pp. 153-186
- JANSSON, R.K. and Z. SMILOWITZ (1985): Development and reproduction of the green peach aphid, *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae), on upper and lower leaves of three potato cultivars. *Can. Ent.* 117, 247-252
- JANSSON, R.K. and Z. SMILOWITZ (1986): Influence of nitrogen on population parameters of potato insects: abundance, population growth, and within-plant distribution of the green peach aphid, *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). *Envir. Ent.* 15, 49-55
- JEFFRIES, C.J. (1998): Potato. Technical Guidelines for the Safe Movement of Germplasm: FAO/IPGRI, Rome, Italy

- JOHNSON, H.B. (1975): Plant pubescence: an ecological perspective. *Bot. Revi.* 41, 233-258
- JOHNSON, K.J.R., E.L. SORENSEN and E.K. HORBER (1980): Resistance in glandular-haired annual *Medicago* species to feeding by adult alfalfa weevils (*Hypera postica*). *Envir. Ent.* 9, 133-136
- JONES, M.G. (1942): A description of *Aphis (Doralis) rumicis*, L. and comparison with *Aphis (Doralis) fabae*, Scop. *Bull. Ent. Res.* 33, 5-20
- JUNKER, W. (2003): Physik für Ahnungslose: Eine Einstiegshilfe für Studierende, Hirzel Verlag Stuttgart, Leipzig
- KAMEL, S.A. and F.Y. ELKASSABY (1965): Relative resistance of cotton varieties in Egypt to spider mites, leafhoppers, and aphids. *J. Econ. Ent.* 58, 209-212
- KAZEMI, M.H. and H.F. VAN EMDEN (1992): Partial antibiosis to *Rhopalosiphum padi* in wheat and some phytochemical correlations. *Ann. Appl. Biol.* 121, 1-9
- KELLERMANN, A., A. REHM, R. GRAF und A. BRUMMER (2005): Versuchsergebnisse aus Bayern, Landessortenversuch mit mittelfrühen bis späten Wirtschaftskartoffeln. <http://www.hortigate.de/Apps/WebObjects/Hortigate.woa/vb/bericht?nr=29785>
- KELLERMANN, A., A. REHM, R. GRAF und A. BRUMMER (2006): Versuchsergebnisse aus Bayern (2006): Landessortenversuch mit mittelfrühen bis späten Speisekartoffeln. <http://www.hortigate.de/Apps/WebObjects/Hortigate.woa/vb/bericht?nr=29994>
- KELLERMANN, L.A., E. DESER, R.D.R. GRAF und A. BRUMMER (2008): Versuchsergebnisse aus Bayern, Landessortenversuch mit mittelfrühen bis späten Wirtschaftskartoffeln, Freising
- KENNEDY, G.G. and A.N. KISHABA (1976): Bionomics of *Aphis gossypii* on resistant and susceptible cantaloupe. *Envir. Ent.* 5, 357-361
- KENNEDY, G.G. and A.N. KISHABA (1977): Response of alate melon aphids to resistant and susceptible muskmelon lines. *J. Econ. Ent.* 70, 407-410
- KENNEDY, G.G., D.L. MCLEAN and M.G. KINSEY (1978): Probing behavior of *Aphis gossypii* on resistant and susceptible muskmelon. *J. Econ. Ent.* 71, 13-16

- KENNEDY, J.S. (1958): Physiological condition of the host plant and susceptibility to aphid attack. *Ent. Exp. et Appl.* 1, 50-65
- KENNEDY, J.S. and C.O. BOOTH (1951): Host alternation in *Aphis fabae* Scop.-I. Feeding preferences and fecundity in relation to the age and kind of leaves. *Ann. Appl. Biol.* 38, 25-64
- KENNEDY, J.S., M.F. DAY and V.F. EASTOP (1962): A conspectus of aphids as vectors of plant viruses. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal
- KIDD, N.A.C. (1976): Aggregation in the lime aphid (*Eucallipterus tiliae* L.). 1. Leaf vein selection and its effect on distribution on the leaf. *Oecologia (Berl.)* 22, 299-304
- KLINGAUF, F. (1970): Zur Wirtswahl der grünen Erbsenlaus *Acyrtosiphon pisum* (Harris) (Homoptera: Aphididae). *Zeit. Angew. Ent.* 65, 419-427
- KLINGAUF, F. (1975): Die Frühphase in der Wirtswahl von Blattläusen. *Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent.* 40, 351-363
- KLOFT, W. (1960): Wechselwirkungen zwischen pflanzensaugenden Insekten and den von ihnen besogenen Pflanzengewebe. *Zeit. Angew. Ent.*, 45, 337-381
- KLOFT, W.J. and A.I. SAFE (1981): Einfluss verschieden stark verdünnter Diäten bzw. des Mangels an unterschiedlichen Stickstoffkomponenten auf mehrere Blattlausarten: Wachstum, Entwicklungsdauer, Morphenbildung, Reproduktion. *Mitt. DGaaE.* 3, 66-69
- KOLBE, H. (1996): Einflussfaktoren auf Ertrag und Inhaltsstoffe der Kartoffel. II Zucker. *Kartoffelbau.* 1, 35-39
- KOLBE, W. (1970): Einfluß direkter Saugschäden bei starkem Blattlausbefall auf den Kartoffelertrag. *Pflanzenschutz-Nachr.* 23, 282-291
- KOLBE, W. (1999): Kulturgeschichte der Kartoffel und ihrer Schaderreger, Verlag Dr. W. A. Kolbe, Burscheid, pp. 120
- KÖRBER-GROHNE, U. (1987): Nutzpflanzen in Deutschland: Kulturgeschichte und Biologie. Thieme Verlag, Stuttgart, New York
- KRONBERG, P. (1985): Fernerkundung der Erde - Grundlagen und Methoden des Remote Sensing in der Geologie, Stuttgart

- KUNKEL, H. und T.E. MITTLER (1971): Einfluss der Ernährung bei Junglarven von *Myzus persicae* (Sulz.) (Aphididae) auf ihre Entwicklung zu Geflügelten oder Ungeflügelten. *Oecologia* (Berl.) 8, 110-134
- KUO-SELL, H.L. (1982): Auswirkungen qualitativ unterschiedlicher Ernährung von Pfirsichläusen (*Myzus persicae*) auf ihren räuberischen Feind (*Aphidoletes aphidimyza*). *Ent. Exp. et Appl.* 31, 211-224
- KUO-SELL, H.L. (1991): Resistenz von Getreide gegen Blattläuse und ihre Kompatibilität mit Blattlausfeinden. Habilitation Thesis, University Göttingen, Germany
- KUROLI, G. and Z.S. LANTOS (2006): Long-term study of alata aphid flight activity and abundance of potato colonizing aphid species. *Act. Phytop. et Ent. Hung.* 41, 261-273
- LAMPE, U. (1984): Einflüsse Unterschiedlicher Typen von Pflanzenhaaren auf Blattläuse und räuberische Blattlausfeinde. Dissertation, Universität Göttingen
- LAPOINTE, S.L. and W.M. TINGEY (1984): Feeding response of the green peach aphid (Homoptera: Aphididae) to potato glandular trichomes. *J. Econ. Ent.* 77, 386-389
- LAPOINTE, S.L. and W.M. TINGEY (1986): Glandular trichomes of *Solanum neocardenasii* confer resistance to green peach aphid (Homoptera: Aphididae). *J. Econ. Ent.* 79, 1264-1268
- LE ROUX, V., E.D.M. CAMPAN, F. DUBOIS, C. VINCENT and P. GIORDANENGO (2007): Screening for resistance against *Myzus persicae* and *Macrosiphum euphorbiae* among wild *Solanum*. *Ann. Appl. Biol.* 151, 83-88
- LE ROUX, V., S. DUGRAVOT, E. CAMPAN, F. DUBOIS, C. VINCENT and P. GIORDANENGO (2008): Wild *Solanum* Resistance to Aphids: Antixenosis or Antibiosis?. *J. Econ. Ent.* 101, 2, 584-591
- LEATHER, S.R. and A.F.G. DIXON (1984): Aphid growth and reproductive rates. *Ent. Exp. et Appl.* 35, 137-140
- LEVIN, D.A. (1973): The role of trichomes in plant defense. *Quart. Revi. Biol.* 48, 3-15
- LIU, X.M. and Q.H. YANG (1993): The relationships between the physiological and biochemical mechanisms of aphid resistance of cotton and the population dynamics of the cotton aphid. *Act. Phyto. Sinica.* 20, 25-29

- LLEWELLYN, M. (1972): The effect of the lime aphid, *Eucallipterus tiliae* L. (Aphididae) on the growth of the lime, *Tilia x vulgaris* Hayne. J. Appl. Ecol. 9, 261-282
- MACFOY, C.C.A. and Z.T. DARBROWSKI (1984): Preliminary studies on cowpea resistance to *Aphis craccivora* Koch (Hom., Aphididae). Zeit. Angew. Ent. 97, 202-209
- MACGILLIVRAY, M.E. and G.B. ANDERSON (1958): Development of four species of aphids on potato. Can. J. Ent. 90, 148-155
- MACKAY, P.A., and W.G. WELLINGTON (1975): A comparison of the reproductive patterns of apterous and alate virginoparous *Acyrtosiphon pisum* (Homoptera: Aphididae). Can. Entomol. 107, 1161-1166
- MALAKAR, R.D., and W.M. TINGEY (1999): Resistance of *Solanum berthaultii* foliage to potato tuberworm (Lepidoptera: Gelechiidae). J. Econ. Ent. 92, 497-502
- MATTEM, D., und J. SCHUBERT (2002): Erste Erkenntnisse zur Blattlausbesiedelung transgener Pflanzen. Schriftenreihe des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (Angewandte Wissenschaft) Biologische Vielfalt mit der Land- und Forstwirtschaft. 494, 104-112
- MAUGHAN, F.B. (1937): Varietal differences in insect populations and injuries to potatoes. Amer. Pot. J. 14, 157-161
- MAXWELL, F.G. and P.R. JENNINGS (1980): Breeding plants resistant to insects. John Wiley and Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto
- MICHAEL, J.P (2002): Molekulare Charakterisierung der *Gro1* Region in Kartoffel, die Resistenz gegen den Nematoden *Globodera rostochiensis* vermittelt. Dissertation, Universität Köln
- MITTLER, T.E. (1967): Effect of amino acid and sugar concentrations on the food uptake of the aphid *Myzus persicae*. Ent. Exp. et Appl. 10, 39-51
- MITTLER, T.E. (1970): Effect of dietary amino acids on the feeding rate of the aphid, *Myzus persicae*. Ent. Exp. et Appl. 13, 432-437
- MITTLER, T.E. and R.H. DADD (1963): Studies on the artificial feeding of the aphid *Myzus persicae* (Sulzer).I. Relative uptake of water and sucrose solutions. J. Ins. Physiol. 9, 623-645

- MITTLER, T.E. and R.H. DADD (1964): Gustatory discrimination between liquids by the aphid *Myzus persicae* (Sulzer). Ent. Exp. et Appl. 7, 315-328.
- MITTLER, T.E. and R.H. DADD (1965): Differences in the probing responses of *Myzus persicae* (Sulzer) elicited by different feeding solutions behind a parafilm membrane. Ent. Exp. Appl. 8, 107-122
- MITTLER, T.E. and T. MEIKLE (1991): Effects of dietary sucrose concentration on aphid honeydew carbohydrate levels and rates of excretion. Ent. Exp. et Appl. 59, 1-7
- MOLDENHAUER, E. und H. SCHRÖDER (1980): Zum Wirtswahlverhalten und zur Schadwirkung der Mehligen Kohlblattlaus (*Brevicoryne brassicae*) an Raps, Diplomarbeit Universität Rostock
- MONTLLOR, C. (1991): The influence of plant chemistry on aphid feeding behavior. In: E.A. BERNAYS [ed]: Insect plant interactions, vol. 3. CRC, Boca Raton, FL, pp. 125-173
- MORAN, N.A. (1992): The evolution of aphid life cycles. Ann. Revi. Ent. 37, 321-348
- MÖRICKE, V. (1950): Über das Farbsehen der Pfirsichblattlaus (*Myzodes persicae* SULZ.). Zeit. Tierpsych. 7, 265-274
- MÖRICKE, V. (1951): Eine Farbfalle zur Kontrolle des Fluges von Blattläusen, insbesondere der Pfirsichblattlaus. Nachrichtenblatt Deut. Pfl. Schutzdienst Berlin. 3, 23-24
- MÖRICKE, V. (1962): Über die optische Orientierung von Blattläusen. Zeit. Angew. Ent. 50, 70-74
- MOUND, L.A. (1965): Effect of leaf hair on cotton whitefly populations in the Sudan Gezira. Emp. Cott. Gro. Revi. 42, 33-40
- MÜLLER, F.P. (1954): Holozyklie und Anholozyklie bei der Grünen Pfirsichblattlaus, *Myzus persicae* (Sulz.). Zeit. Angew. Ent. 36, 369-380
- MÜLLER, F.P. (1955): Die neue Brehm Bücherei - Blattläuse - Biologie, wirtschaftliche Bedeutung und Bekämpfung. A. Ziemsen Verlag, Wittenberg, Lutherstadt
- MÜLLER, F.P., L. BERGER and A. HERRMAN (1974): Versuche über das Ansiedelungsverhalten zweier Rassen der Blattlaus *Acyrtosiphon pisum* (Harris) auf *Vicia faba* (L.). Biol. Zbl. 93, 675-686

- MÜLLER, H.J. (1962): Über die Ursachen der unterschiedlichen Resistenz von *Vicia faba* L. gegenüber der Bohnenblattlaus, *Aphis (Doralis) fabae* Scop. VIII. Das Verhalten geflügelter Bohnenläuse nach der Landung auf Wirten und Nichtwirten. Ent. Exp. et Appl. 5, 189-210
- NAGENGAST, H. (2006): Nachweis und Bewertung von freien Aminosäuren in Geflügelfleisch während der Reifung - Auswirkungen auf die Qualität daraus hergestellter Produkte. Dissertation, Universität Hannover, Tierärztliche Hochschule
- NDERITU, J.H. and J.M. MUEKE (1986): Aphid infestation on eight potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) in Kenya. Ins. Sci. Appl. 7, 677-682
- NEAL, J.J., J.C. STEFFENS and W.M. TINGEY (1989): Glandular trichomes of *Solanum berthaultii* and resistance to the Colorado potato beetle. Ent. Exp. et Appl. 51, 133-140
- NOBEL, P.S. (2005): Physicochemical and environmental plant physiology. 3rd ed. Academic Press/Elsevier, Burlington, Massachusetts, USA, pp. 567
- NORRIS, D.M. and M. KOGAN (1980): Biochemical and morphological bases of resistance, pp. 23-61. In: MAXWELL, F.G. and P.R. JENNINGS [eds], Breeding plants resistant to insects. Wiley, New York
- NORRIS, D.O. and J.O. BALD (1943): The aphid population of potatoes at Canberra during 1940-41, Boll. Count. sci. imhtstr, Res. Austr. No. 163
- NOTTINGHAM, S.F., J. HARDIE, and G.M. TATCHELL (1991): Flight behaviour of the bird cherry aphid, *Rhopalosiphum padi*. Physio. Ent. 16, 223-229
- NOVY, R.G., A. NASRUDDIN, D.W. Ragsdale and E.B. Radcliffe (2002): Genetic resistances to potato leafroll virus, potato virus Y, and green peach aphid in progeny of *Solanum tuberosum*. Amer. J. Pot. Res. 79, 9-18
- NOWAK, H. (2008): Einfluss unterschiedlicher Stickstoffdüngung auf die Aminosäurekonzentration und -zusammensetzung des Phloemsafte von *Tanacetum vulgare* (L.) und auf das Such- und Saugverhalten der monophagen Blattlausarten *Uroleucon tanacetii* (Mordv.) und *Macrosiphoniella tanacetaria* (Kalt.). Dissertation, Universität Bayreuth
- OERKE, E.C., H.W. DEHNE, F. SCHÖNBECK and A. WEBER (1994): Crop production and crop protection. Elsevier, Amsterdam, pp. 808

- OLMSTEAD, R.G. and J.D. PALMER (1997): Implications for the phylogeny, classification, and biogeography of *Solanum* from cpDNA restriction site variation. *Syst. Bot.* 22, 19-29
- PALUMBO, J., C. MULLIS, F. REYES, A. AMAYA, L. LEDESMA and L. CARY (2000): Population Dynamics and Distribution of Aphid Species on Head Lettuce in the Yama Valley. In: BYRNE, D.N. and P. BACIEWICZ: *Vegetable: A College of Agriculture Report for 2000*. USA
- PANDA, N. and G.S. KHUSH (1995): Host plant resistance to insects. CAB international Wallingford, UK
- PATE, J.S. (1968): Physiological aspects of inorganic and intermediate nitrogen metabolism (with special reference to the legume, *Pisum arvense* L.). In: Recent aspects of nitrogen metabolism in plants (HEWITT, E.J. and C.V. CUTTING eds.). Academic Press, London, pp. 219-240
- PELLETIER, Y. and Z. SMILOWITZ (1990): Effect of trichome B exudate of *Solanum berthaultii* Hawkes on consumption by the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say). *J. Chem. Ecol.* 16, 1547-1555
- PELLETIER, Y. and Z. SMILOWITZ (1991): Feeding behavior of the adult Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say), on *Solanum berthaultii* Hawkes. *Can. Ent.* 123, 219-230
- PENUELAS, J., I. FILELLA, C. BIEL, L. SERRANO and R. SAVE (1993): The reflectance at the 950-970 nm region as an indicator of plant water status. *Inter. J. Remo. Sens.* 14, 1887-1905
- PENUELAS, J., J. PINOL, R. OGAYA, and I. FILELLA (1997): Estimation of plant water concentration by the reflectance water index WI (R900/R970). *Inter. J. Remo. Sens.* 18, 2869-2875
- PETERS, D. (1987): Spread of viruses in potato crops. In: *Viruses of Potatoes and Seed-potato Production* (ed. by J.A. DE BOKX and J.P.H. VAN DER WANT), Pudoc, Wageningen, The Netherlands, pp. 126-145
- PETITT, F.L., C.A. LOADER and M.K. SCHON (1994): Reduction of nitrogen concentration in the hydroponic solution on population growth rate of the aphids (Homoptera: Aphididae) *Aphis gossypii* on cucumber and *Myzus persicae* on pepper. *Envir. Ent.* 23, 930-936

- PETTERSSON, J., W.F. TJALLINGII and J. HARDIE (2007): Host-plant Selection and Feeding. In: VAN EMDEN, H.F. and R. HARRINGTON (2007): Aphids as Crop Pests. UK, 87-107
- PIENZ, G. und V. MICHEL (2006): Landessortenversuche Anbaugebiet „D-Nord und D-Süd“ Wirtschaftskartoffeln. <http://www.agrarnetmv.de/var/plain-site/storage/original/application/6998373faa9e8f8c62e997da4c659ae4.pdf>
- POWELL, G., S.P. MANIAR, J.A. PICKETT and J. HARDIE (1999): Aphid responses to non-host epicuticular lipids. *Ent. Exp. et Appl.* 91, 115-123
- RABBINGE, R., E.M. DREES, M. VAN DER GRAF, F.C.M. VERBERNE and A. WESSELO (1981): Damage effects of cereal aphids in wheat. *Neth. J. Plant Pathol.* 87, 217-232
- RADCLIFFE, E.B. (1982): Insect pests of potato. *Ann. Revi. Ent.* 27, 173-204
- RADCLIFFE, E.B. and D.W. RAGSDALE (2002): Aphid-transmitted potato viruses: the importance of understanding vector biology. *Amer. J. Pot. Res.* 79, 353-386
- RADCLIFFE, E.B. and F.I. LAUER (1968): Resistance to *Myzus persicae* (Sulzer), *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas), and *Empoasca fabae* (Harris) in the wild tuber-bearing *Solanum* (Tourn.) L. species. Minnesota Agricultural Experiment Station Technical Bulletin, 259, 2-27
- RADCLIFFE, E.B., D.W. RAGSDALE, I.V. MACRAE and R. SURANYI (1999): Aphid Alert. Recommendations for virus control in seed potatoes. <http://ipmworld.umn.edu/aphidalert/alert7.htm>
- RADTKE, W., W. RIECKMANN und F. BRENDLER (2000): Kartoffel: Krankendheit, Schädlinge, Unkräuter. Gelsenkirchen-Buer: Verlag, Th. Mann. pp. 272
- RAMAN, K.V. and E.B. RADCLIFFE (1992): Pest aspects of potato production, Part 2, Insect pests. *The Potato Crop: The Scientific Basis for Improvement*, 2nd edn (ed. PM Harris), Chapman & Hall, London, UK. pp. 476-506
- REYNOLDS, M.P., K.D. SAYRE and S. RAJARAM (1999): Physiological and genetic changes of irrigated wheat in the post-green revolution period and approaches for meeting projected global demand. *Crop Scie.* 39, 1611-1621
- RIECKMANN, W. (2000): Ohne Blattläuse kein Y-Virus. *Kartoffelbau* 51, 4, 148-153

- ROBERT, Y. (1987): Dispersion and migration. In: MINKS, A.K. and P. HARREWIJN, (eds) Aphids. Their Biology, Natural Enemies and Control, Vol. 2A. Elsevier, Amsterdam, pp. 299-313
- ROBERT, Y., J.A.T. WOODFORD and D.G. DUCRAY-BOURDIN (2000): Some epidemiological approaches to the control of aphid-borne virus diseases in seed potato crops in northern Europe. *Virus Res.* 71, 33-47
- ROBERTSON, D.G. (1975): Aphid populations and distribution. Ministry of Agriculture, Kenya, ODM report. pp. 18-19
- ROPPEL, P. (2007): Untersuchungen zu phänologischen und phytomedizinisch relevanten Effekten einer gentechnischen Modifikation des Kohlenhydratmetabolismus in der Kartoffel (*Solanum tuberosum* L.). Dissertation, Universität Gießen
- ROUSE, J.W., R.H. HAAS, J.A. SCHELL, and D.W. DEERING (1973): Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. Proceedings, Third ERTS Symposium, 1, pp. 48-62
- ROUSE, J.W., R.H. HAAS, J.A. SCHELL, D.W. DEERING and J.C. HARLAN (1974): Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. NASA/GSFC, Type III, Final Report, Greenbelt, MD, pp. 371
- SALAMAN, R.N. (1954): The origin of the early European potato. *J. Linn. Soc.* 55, 185-190
- SCHILLINGER, J.A. and R.L. GALLUN (1968): Leaf pubescence of wheat as a deterrent to the cereal leaf beetle. *Oulema melanopus*. *Ann. Ent. Soc. Amer.* 61, 900-903
- SCHNEIDER, T. (1994): Möglichkeiten und Grenzen der spektralen Trennbarkeit ackerbaulicher Oberflächentypen- eine Abschätzung anhand spektroskopischer Untersuchungen über die Vegetationsperiode. Dissertation, Universität München
- SCHWIMMER, S., A. BEVENUE, W.J. WESTON and A.L. PORTER (1954): Survey of major and minor sugar and starch components of the white potato. *J. Agric. Food Chem.* 2, 1284-90
- SCOPES, N.E.A. (1969): The potential of *Chrysopa carnea* as a biological control agent of *Myzus persicae* on glasshouse chrysanthemums. *Ann. Appl. Biol.* 64, 433-439

- SERRANO, L., I. FILELLA and J. PENUELAS (2000): Remote Sensing of biomass and yield of winter wheat under different nitrogen supplies. *Crop Sci.* 40, 723-731
- SHANDS, W.A., G.W. SIMPSON and L.B. REED (1954): Subunits of sample for estimating aphid abundance in potatoes. *J. Econ. Ent.* 47, 1024-1027
- SHARMA, H.C., K.K. SHARMA, N. SEETHARAMAN and R. ORTIZ (2000): Prospects for using transgenic resistance to insects in crop improvement. *Elect. J. Biot.* 3, 76-95
- SIMPSON, G.W. and W.A. SHANDS (1949): Progress on some important insect and disease problems of Irish potato production in Maine. *Mai. Agric. Exp. Stn. Bull.* 470, pp. 50
- SINDEN, S.L., L.L. SANFORD and S.F. OSMAN (1980): Glycoalkaloids and resistance to the Colorado potato beetle in *Solanum chacoense* bitter. *Amer. Pot. J.* 57, 331-343
- SLANSKY, F.J.R. and P. FEENY (1977): Stabilization of the rate of nitrogen accumulation by larvae of the cabbage butterfly on wild and cultivated food plants. *Ecol. Monogr.* 47, 209-228
- SMITH, C.M. (1989): *Plant resistance to insects: a fundamental approach.* Wiley-Interscience Publication, John Wiley and Sons, USA, pp. 286
- SRIVASTAVA, P.N. and J.L. AUCLAIR (1974): Effect of amino acid concentration on diet uptake and Performance by the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum* (Homoptera: Aphididae). *Can. Ent.* 106, 149-156
- TAYLOR, C.E. (1955): Vegetative development of the potato plant. *Ann. Appl. Biol.* 40, 778-788
- TAYLOR, C.E. (1962): The population dynamics of aphids infesting the potato plant with particular reference to the susceptibility of certain varieties to infestation. *Euro. Pot. J.* 5, 204-219
- THENKABAIL, S.P., SMITH, B.R. and D.E. PAUW (2000): Hyperspectral Vegetation Indices and Their Relationships with Agricultural. *Remo. Sens. Envir.* 71, 158-182
- THIEME, T. und F.P. MÜLLER (2000): Unterordnung Aphidina - Blattläuse. In: STRESEMANN, E., H.J. HANNEMANN, B. KLAUSNITZER, und K. SENGLAUB (Hrsg.): *Exkursionsfauna von Deutschland, Band 2, Wirbellose: Insekten.* Heidelberg: Spektrum Verlag, 9. Aufl., 169-237

- THIEME, T. und H.A. EGGERS-SCHUMACHER (2003): Verzeichnis der Blattläuse (Aphidina) Deutschlands. (Hrsg.) Entomofauna Germanica 6. Entomologische Nachrichten und Berichte. 8, 167-193
- THOMAS, H. and J.L. STODDART (1980): Leaf senescence. Ann. Revi. Plan. Phys. 31, 83-111
- THURSTON, R., W.T. SMITH and B.P. COOPER (1966): Alkaloid secretion by trichomes of *Nicotiana* species and resistance to aphid. Ent. Exp. Appl. 9, 428-432
- TINGEY, W.M. and J.E. LAUBENGAYER (1981): Defense against the green peach aphid and potato leafhopper by glandular trichomes of *Solanum berthaultii*. J. Econ. Ent. 74, 721-725
- TINGEY, W.M. and J.E. LAUBENGAYER (1986): Glandular trichomes of a resistant hybrid potato after feeding behavior of the potato leafhopper (Homoptera: Cicadellidae). J. Econ. Ent. 72, 1230-1234
- TINGEY, W.M., and S.L. SINDEN (1982): Glandular pubescence, glycoalkaloid composition, and resistance to the green peach aphid, potato leafhopper and potato fleabeetle in *Solanum berthaultii*. Amer. Pot. J. 59, 95-106
- TINGEY, W.M., J.D. MACKENZIE and P. GREGORY (1978): Total foliar glycoalkaloids and resistance of wild potato to *Empoasca fabae* (Harris). Amer. Pot. J. 55, 577-585
- TOBA, H.H. (1964): Life-History Studies of *Myzus persicae* in Hawaii. J. Econ. Ent. 57, 2, 290-291
- TUCKER, C.J. (1980): Remote Sensing of leaf water content in the near infrared. Remo. Sens. Envir. 10, 23-32
- UPHOF, J.C.T. (1962): Pflanzenhaare.- In: Handbuch der Pflanzenanatomie, Vol. 4, Teil 5, 1-206
- VAN EMDEN, H.F. (1972): Aphids as phytochemists. In HARBORNE J.B. (ed.): Phytochemical Ecology. Academic Press, London, New York, pp 25-43
- VAN EMDEN, H.F. and M.A. BASHFORD (1969): A Comparison of the Reproduction of *Brevicoryne brassicae* and *Myzus persicae* in Relation to Soluble Nitrogen Concentration and Leaf Age in the Brussels Sprout Plant. Ent. Exp. et Appl. 12, 3, 351-364
- VAN EMDEN, H.F., V.F. EASTOP, R.D. HUGHES, and M.J. WAY (1969): The ecology of *Myzus persicae*. Ann. Revi. Ent. 14: 197-270

- VAN HELDEN M, W.F. TJALLINGII and T.A. VAN BEEK (1994): Phloem sap collection from lettuce (*Lactuca sativa* L.): chemical comparison among collection methods. *J. Chem. Ecol.* 20, 3191-3206
- VEHRS, S.L.C., G.P. WALKER and M.P. PARRELLA (1992): Comparison of population growth rate and within-plant distribution between *Aphis gossypii* and *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae) reared on potted chrysanthemums. *J. Econ. Ent.* 85, 799-807
- WEARING, C.H., 1972: Responses of *Myzus persicae* and *Brevicoryne brassicae* to leaf age and water stress in Brussels sprouts grown in pots. *Ent. Exp. et Appl.* 15, 61-80
- WEBSTER, J.A. (1975): Association of plant hairs and insect resistance: an annotated bibliography. U.S. Dept. Agric. Misc. Publ. 1297, 1-18
- WEIBULL, J. (1987): Seasonal changes in the free amino acids of oat and barley phloem sap in relation to plant growth stage and growth of *Rhopalosiphum padi*. *Ann. Appl. Biol.* 111, 729-737
- WEIBULL, J.H.W. (1988): Free amino acids in the phloem sap from oats and barley resistant to *Rhopalosiphum padi*. *Phytochem.* 27, 2069-2072
- WEVER, T. (1989): Versuch eines Rückschlusses aus der Vegetation auf den geologischen Untergrund im Raum Amberg mit Hilfe der digitalen Bildverarbeitung nach TM Daten, DFVLR Forschungsbericht FB 89-24, Oberpfaffenhofen
- WHITEHEAD, T., J.F. CURRIE and M. DAVIES (1932): Virus diseases in relation to commercial seed potato production. With a study of the aphid population at selected farms. *Ann. Appl. Biol.* 19, 529-549
- WIKTELIUS S., J. WEIBULL and J. PETTERSSON (1990): Aphid host plant ecology: the bird cherry-oat aphid as a model. In: CAMPBELL, R.K. and R.D. EIKENBARY: *Aphid-Plant Genotype Interactions*. Elsevier, Amsterdam, pp. 21-36
- WIKTELIUS, S. (1984): Long-range migration of aphids into Sweden. *Inter. J. Biomet.* 28, 185-200
- WILKINSON, T.L., D.A. ASHFORD, J. PRITCHARD and A.E. DOUGLAS (1997): Honeydew sugars and osmoregulation in the pea aphid *Acyrtosiphon pisum*. *J. Exp. Biol.* 200, 2137-2143

- WOOLDRIDGE, A.W., V.P. HARRISON (1968): Effects of soil fertility on abundance of green peach aphids on Maryland tobacco. *J. Econ. Ent.* 61, 387-391
- WÜTHRICH, R. und T. HEBEISEN (2005): Erhebungen und Prognosen im Jahr 2005. 58. Bericht über das Auftreten von Blattläusen und Viruskrankheiten in Pflanzkartoffeln. 58, Zürich
- WYATT, I.J. and S.J. BROWN (1977): The influence of light intensity, daylength and temperature on increase rates of four glasshouse aphids. *J. Appl. Ecol.* 14, 391-399
- YENCHO, G.C. and W.M. TINGEY (1993): Glandular trichomes of *Solanum berthaultii* alter host preference of the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*. *Ent. Exp. et Appl.* 70, 217-225
- ZHANG, H. (2002): Induced walking behavior of *Rhopalosiphum padi* L. (Homoptera: Aphididae). PhD thesis, University of Illinois, Urbana-Champaign, USA
- ZIEGLER, H. (1975): Nature of transported substances. In: ZIMMERMANN, M.H. and J.A. MILLBURN, Eds. *Encyclopaedia of Plant Physiology*, Vol. 1. Phloem transport. Berlin Springer Verlag, 59-100

Thesen

I. Problemstellung und Forschungsansatz

Weltweit gibt es etwa 5000 Kartoffelsorten. In Deutschland sind aktuell 205 Kartoffelsorten zugelassen. Die Beschreibende Sortenliste 2009 enthält Angaben darüber, wie sich die Sorten im Reifegrad, Verwendungszweck, Kochtyp und der Anfälligkeit gegenüber Schaderregern und Krankheiten, wie Nematoden oder Viruskrankheiten, unterscheiden. Wie anfällig die Sorten gegenüber Blattläusen sind, ist nicht enthalten.

Myzus persicae und *Macrosiphum euphorbiae* sind wichtige Blattlausarten an Kartoffeln (*Solanum tuberosum* L.). Die beiden Blattlausarten kolonisieren am häufigsten an der Kartoffel, sie sind weltweit verbreitet und bedeutende Virusvektoren. Studien zur Besiedlung von Kartoffeln durch Blattläuse sind notwendig, um die Wirtserkennung bzw. die Prüfung auf Wirtseignung durch die Blattläuse zu verstehen.

In dieser Arbeit wurde in verschiedenen Versuchen geprüft, ob Sortenunterschiede zwischen den Kartoffeln für die beiden Blattlausarten relevant sind. Im Einzelnen wurde dabei folgenden Fragen nachgegangen:

- Haben die Kartoffelsorten einen Einfluss auf die Vermehrungsleistung, Lebensdauer und Fruchtbarkeit der Blattlausarten *M. persicae* und *M. euphorbiae*?
- Gibt es Sortenunterschiede in der Präferenz der beiden Blattlausarten *M. persicae* und *M. euphorbiae*?
- Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Reflexion der Kartoffelblätter sowie der Behaarungsintensität und der Blattlausbesiedlung?
- Wird die Besiedlung der Blattläuse durch die freien Aminosäuren und Zucker (Saccharose, Fruktose, Glukose) in den Kartoffelblättern beeinflusst?

II. Methodischer Ansatz

Zur Klärung des Einflusses der Wirtspflanze auf die Vermehrung von *M. persicae* und *M. euphorbiae* wurden Versuche mit achten unterschiedlichen Kartoffelsorten (Albatros, Borwina, Fasan, Kormoran, Pirol, Romanze, Salome, Terrana) unter kontrollierten Bedingungen (Gewächshaus und Klimakammer)

bzw. Freilandsbedingungen durchgeführt. Diese acht Sorten standen in den meisten Versuchen in Zentrum, versuchsspezifisch wurden weitere Sorten und eine Wildart eingesetzt.

III. Die wichtigsten Forschungsergebnisse

- Die Blattlausarten hatten unterschiedliche Vermehrungsraten auf den geprüften Kartoffelsorten unter verschiedenen Bedingungen, d.h. die Anfälligkeit von den Kartoffelsorten war gegenüber den beiden Blattlausarten nicht gleich. Insgesamt wurde in den Versuchen an der Sorte Borwina besonders hohe Vermehrungen ermittelt. Auf der Sorte Romanze vermehrten sich beide Blattlausarten weniger stark.
- Beide Blattlausarten (*M. persicae*, *M. euphorbiae*) haben eine Präferenz für ein bestimmtes physiologisches Alter der Blätter. Ältere Blätter waren besser geeignet für *M. persicae* als junge Blätter. Im Gegensatz dazu erreichte *M. euphorbiae* höhere Vermehrungsraten auf den oberen Kartoffelblättern im Vergleich zu unteren.
- Versuche zur Sortenwahl der Blattläuse *M. persicae* und *M. euphorbiae* wurden mit den untersuchten Kartoffelsorten im Gewächshaus und Semi-Freiland durchgeführt. Gemessen an der Besiedlung durch die Blattlausarten waren die Sorten Salome, Fasan und Borwina für *M. euphorbiae* bzw. Fasan, Borwina und Kormoran für *M. persicae* besonders attraktiv.
- Der Vermehrungsrat der Blattläuse *M. persicae* und *M. euphorbiae* auf den geprüften Kartoffelsorten war unterschiedlich, wobei die Vermehrungskapazitäten von *M. euphorbiae* geringer als die von *M. persicae* waren.
- Die Ergebnisse zeigten einen gesicherten Zusammenhang zwischen den Reflexionswerten der unterschiedlichen Sorten und dem Blattlausbefall (*M. persicae*, *A. nasturtii*, *M. euphorbiae*). Insbesondere deutlich war dies für die Wellenlänge 530 nm und 560 nm (Grünbereich).
- Bei allen geprüften Kartoffelsorten war jeweils die Blattunterseite stärker behaart als die Blattoberseite. Die Haardichte der Kartoffelsorten war im Gewächshaus am höchsten, gefolgt von Freiland und In-Vitro. Die Beziehung

zwischen Behaarungsdichten der Blattunterseite und Abundanz der Blattläuse war signifikant positiv.

- Bei der Ermittlung der Beziehung zwischen den Blattläusen und den Inhaltsstoffen wurde eine signifikant positive Korrelation zwischen dem Gehalt an Aminosäuren (Serin $r = 0,48^*$ und Threonin $r = 0,71^{**}$) und dem Blattlausbefall gefunden, und ein signifikant negativer Zusammenhang zwischen dem Blattlausbefall und dem Saccharosegehalt festgestellt.

IV. Schlussfolgerung (Fazit und Ausblick)

Diese Arbeit konzentriert sich auf zwei Blattlausarten, die an Kartoffeln schädigen, und auf einige aktuell zugelassene deutsche Sorten. Genetische Reserven für die Kartoffelzüchtung wurden in kleinem Umfang in Form von alten Kartoffelsorten bzw. einer anderen *Solanum*-Art eingebunden. Die Arbeit liefert Informationen über die Vermehrungsleistung der Blattlausarten *M. persicae* und *M. euphorbiae* an verschiedenen Kartoffelsorten. Die älteren und jüngeren Untersuchungen an nordamerikanischen Kartoffelsorten konnten damit für eine Auswahl deutscher Sorten bestätigt werden. Um das Merkmal „Blattlausanfälligkeit“ bei der Sortenwahl berücksichtigen zu können, müsste das Sortensortiment systematisch darauf hin untersucht werden. Die Ergebnisse könnten in die Beschreibende Sortenliste des Bundessortenamts eingehen.

In Feldversuchen im Rahmen dieser Dissertation wurden neben den wichtigen Kartoffelblattlausarten (*M. persicae*, *M. euphorbiae*) auch andere Blattlausarten wie *A. nasturtii*, *A. frangulae*, *A. solani* gefunden. Untersuchungen zum Verhalten dieser Blattlausarten an Kartoffeln wären eine interessante Arbeit für die Zukunft. Diese Untersuchungsergebnisse liefern deutliche Hinweise, dass es Anfälligkeitsunterschiede zwischen Sorten gibt. Zukünftige Forschung sollte sich mit diesen Unterschieden noch stärker beschäftigen. Letztendlich wird vor allem die Züchtung gefordert sein, auf Sorten mit geringer Anfälligkeit zu selektieren bzw. diese gezielt zu züchten. Die vorliegende Untersuchung weist daraufhin, dass hierbei vor allem Merkmale zu wie die Inhaltsstoffe in Betracht zu ziehen sind. Genetische Ressourcen unter den *Solanum*-Arten stellen dabei eine Quelle dar.

Erklärung

Ich erkläre, dass ich die eingereichte Dissertation selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Rostock,

Hend Aldamen

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr. Bärbel Gerowitt für die Übernahme dieser Dissertation und ihre Geduld bei der Fertigstellung meiner Arbeit. Sie stand aber auch jederzeit als Diskussionspartnerin zur Verfügung und gab mir hilfreiche Anregungen.

Ganz besonders möchte ich mich bei Herrn Dr. Holger Junghans und Martin Effmert von Norika, sowie Dr. Klaus J. Dehmer von IPK (Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung) in Groß Lüsewitz - Rostock für die Kooperation, das Saatgut und das In-Vitro-Material bedanken.

Ich danke der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei (LFA-MV) für die Versuchsfläche in Gülzow. Herzlichen Dank an den Betrieb Kürzinger für die Versuchsfläche in Sanitz. Dr. Thomas Thieme vom Biotest Labor Sagerheide bin ich dankbar für seine fachlichen Ratschläge. Ebenso möchte ich mich bei Herrn Thilo Busch im Landesamt für Landwirtschaft, Lebensmittelsicherheit und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (LALLF), sowie Dr. Görres Grenzdörffer im Institut für Management ländlicher Räume (MLR), Geodäsie und Geoinformatik, Universität Rostock für die freudige und ideenreiche Unterstützung bei dem Einsatz des Spektrometers bedanken.

Außerdem bin ich allen ehemaligen und jetzigen Mitarbeitern des Fachgebietes Phytomedizin sehr dankbar für die tolle Arbeitsatmosphäre und ihre stete Hilfsbereitschaft. Ich bedanke mich bei Dr. Christine Struck, Maria John, Jana Bürger, Ingolf Gliege und Claudia Paetsch für die ständige Hilfsbereitschaft und Unterstützung. Ganz besonders danke ich Frau Heike Puff für ihr unerschöpfliches Wissen über Blattläuse und für die kompetente Unterstützung bei der Durchführung der Versuche. Ebenso bedanke ich mich bei allen wissenschaftlichen und technischen Mitarbeitern aus der Versuchsstation Rostock für die Unterstützung bei der Aufbereitung meiner Proben und bei der Versuchsarbeit. Weiterhin bedanke ich mich bei Frau Sabine Bremer im Institut für Nutztierwissenschaften und Technologie der Universität Rostock für die Hilfe während der Analysen des Gehalts an freien Aminosäuren und Zucker. Ein besonderer Dank an Frau Dr. Lisa Dittmann, die mir mit ihrem fachlichen Rat bei statistischen Auswertungen eine wertvolle Hilfe war.

Mein besonderer Dank gilt meinen Eltern und meinen Kindern Mohamed und Albaraa. Ebenso lieben Dank an meinen Eyad, der mich tatkräftig unterstützt.

LEBENS LAUF

Name:	Aldamen
Vorname:	Hend
Geburtsdatum:	19.01.1979
Geburtsort:	Syrien, Hama
Staatsangehörigkeit:	syrisch
1984 – 1990	Grundschule in Syrien, Hama, Kurnaz
1991 – 1994	Realschule in Syrien, Hama, Kurnaz
1995 – 1997	Gymnasium in Syrien, Hama, Kurnaz Abschluss: Abitur
1998 – 2003	Hauptstudium der Agrarwissenschaften an der Aleppo Universität, Fachrichtung Pflanzenschutz Abschluss: Diplom- Agraringenieur
seit Mai 2005	Doktorandenstudium und Anfertigung einer Dissertation am Institut für Landnutzung, Phytomedizin der Universität Rostock