

Aus der Professur Pflanzenbau
der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät

**Wirkung von Pflanzenstärkungs- und Pflanzenschutzmitteln auf den
Phytophthora infestans Befall und Kartoffelertrag unter
Freilandbedingungen**

Dissertation
zur
Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Agrarwissenschaften (doctor agriculturae (Dr. agr.))
an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Rostock

Vorgelegt von
Ba.Sc. Waed Almohamad
aus Hama, Syrien

Gutachter

Prof. Dr. Ralf Uptmoor Universität Rostock, Pflanzenbau

PD Dr. Lisa Dittmann Universität Rostock, AUF

Dr. Herwart Böhm Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Institut für ökologischen Landbau

Prof. Dr. Jörg-Michael Greef Julius Kühn-Institut, Bundesanstalt für Kulturpflanzen, Braunschweig

Eingereicht: 07.02.2014
Verteidigung: 26.09.2014

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VI
1 Einleitung	1
2 Literaturübersicht	4
2.1 Physiologie der Kartoffelpflanze	4
2.1.1 Wasserbedarf der Kartoffelpflanze in den verschiedenen Entwicklungsstadien	4
2.1.2 Nährstoffbedarf der Kartoffelpflanze in den verschiedenen Entwicklungsstadien	6
2.2 Kraut- und Knollenfäule (<i>P. infestans</i>)	7
2.3 Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule	9
2.4 Einsatz von Pflanzenstärkungsmitteln im ökologischen Kartoffelbau	13
3 Zielstellung und Hypothesen	18
4 Material und Methoden	19
4.1 Feldversuch.....	19
4.1.1 Pflanzenmaterial.....	19
4.1.2 Standort und Witterung in den Versuchsjahren.....	19
4.1.3 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	20
4.2 Lagerversuche.....	22
4.3 Nachbauversuch (Nachwirkung der Behandlung vom Vorjahr).....	22
4.4 Pflanzenbauliche Prüfmerkmale	23
4.4.1 Bonitur von Kraut- und Knollenfäule (<i>P. infestans</i>).....	23
4.4.2 Kartoffelschorf	24
4.4.3 Ertragsbestimmung von Kraut und Knollen.....	24
4.4.4 Inhaltsstoffe Kraut.....	24
4.4.5 Stärkegehalt der Knollen	25
4.4.6 Mathematischstatistische Methoden	25
5 Ergebnisse	27
5.1 Ergebnisse des Hauptversuches auf dem Feld 2008 und 2009	27
5.1.1 Einfluss der Behandlung auf die geprüften Merkmale	27

5.1.1.1 Befallssituation mit <i>P. infestans</i>	27
5.1.1.2 Einfluss der Behandlung aus dem Fungizidversuch auf den Befall mit <i>P. infestans</i> , den Kraut- und Knollenertrag sowie auf die Knollenqualität..	27
5.1.1.3 Wirkung der Behandlung aus dem Kupferversuch auf den Phythophthorabefall, den Kraut- und Knollenertrag sowie Knollenqualität	30
5.1.1.4 Einfluss der Behandlung auf den Nährstoffgehalt des Krautes	33
5.1.2 Einfluss der exogenen Faktoren auf die geprüften Merkmale in Abhängigkeit der Behandlung.....	36
5.1.2.1 Einfluss des Witterungsverlaufes auf die Befallsdynamik von <i>P. infestans</i>	37
5.1.2.2 Einfluss des Befalls mit <i>P. infestans</i> und der Nährstoff- und Wasserversorgung auf die geprüften Merkmale in Abhängigkeit der Behandlung.....	39
5.1.2.3 Räumliche und zeitliche Ausbreitung von <i>P. infestans</i> im Parzellenversuch	45
5.2 Ergebnisse des Lagerungsversuches 2008/2009 und 2009/ 2010.....	49
5.2.1 Befallssituation mit Braunfäule im Lager	49
5.2.2 Einfluss der Behandlung auf dem Feld sowie Nacherntebehandlung mit Chitosan im Lager auf den Masseverlust während der Lagerung.....	49
5.2.3 Einfluss der Behandlung auf dem Feld auf den Masseverlust während der Lagerung	50
5.3 Ergebnisse des Nachbauversuches 2009 und 2010	52
6 Diskussion.....	56
6.1 Einfluss des Witterungsverlaufes auf die Dynamik des Befalls mit <i>P. infestans</i>	56
6.2 Wirkung der Chitosanpflanzgutvorbehandlung auf den Stängelbefall mit <i>P. infestans</i>	59
6.3 Wirkung der unterschiedlichen Krautbehandlungen auf den Blattbefall mit <i>P. infestans</i> sowie auf den Knollenertrag	61
6.3.1 Wirkung der unterschiedlichen Krautbehandlungen auf den Blattbefall mit <i>P. infestans</i> 2009.....	61
6.3.2 Wirkung der unterschiedlichen Krautbehandlungen auf den Knollenertrag 2009	64
6.4 Einfluss des unterschiedlichen Befalls mit <i>P. infestans</i> sowie der Nährstoff- und Wasserverfügbarkeit auf den Kraut- und Knollenertrag, die Ertragskomponenten und die Knollenqualität	68

6.5 Einfluss der räumlichen und zeitlichen Ausbreitung von <i>P. infestans</i> im Parzellenversuch auf die Wirksamkeit der unterschiedlichen Blattbehandlungen	74
6.6 Wirkung der verschiedenen Behandlungen auf dem Feld bei unterschiedlicher Wasser- und Nährstoffversorgung sowie der Nacherntebehandlung mit Chitosan im Lager auf die Lagereigenschaften der Knollen	76
7 Zusammenfassung	78
8 Literaturverzeichnis	81
Thesen zur Dissertationsschrift	99
Erklärung	103
Wissenschaftlicher Lebenslauf	104
Publikationen (Auswahl)	105
Anhang	106

Abkürzungsverzeichnis

Abb	Abbildung
ANOVA	univariate Varianzanalyse
CBB	Chitosanblattbehandlung
CPGB	Chitosanpflanzgutvorbehandlung
FM	Krautfrischmasse
g/Kno	Einzelknollengewicht in Gramm
h	Stunde
ha	Hektar
K	Kalium
Kno/P	Knollenanzahl je Pflanze
Ko	unbehandelte Kontrolle
LJM	Langjährigen Mittel
MANOVA	multivariate Varianzanalyse
N	Stickstoff
ns	nicht signifikant
P	Phosphor
	Niederschlag
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
PSM	Pflanzenstärkungsmittel
r	Korrelationskoeffizient
r^2	Bestimmtheitsmaß
S	Shirlan
s	signifikant
T	Temperatur
Tab	Tabelle
TM	Krauttrockenmasse
vgl.	Vergleich
z. T	zum Teil

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Der Befallskreislauf und die Infektionsquellen für Stängelbefall und Blattbefall mit <i>P. infestans</i>	8
Abb. 2: Wirkungsweise von Pflanzenstärkungsmitteln auf Basis von natürlichen Pflanzenaktivatoren (NAPS) am Beispiel von Potavit	15
Abb. 3: Witterungsverlauf und Befallsdynamik von <i>P. infestans</i> - Vergleich der Mittelwerte der Regulierungsgruppen im Monat Juli des Jahres 2008. PSM = Pflanzenstärkungsmittel, P = Niederschlag, T = Temperatur	38
Abb. 4: Witterungsverlauf und Befallsdynamik von <i>P. infestans</i> - Vergleich der Mittelwerte der Regulierungsgruppen im Monat Juli des Jahres 2009. PSM = Pflanzenstärkungsmittel, P = Niederschlag, T = Temperatur	38
Abb. 5: Abhängigkeit des Ertrages vom Befall mit <i>P. infestans</i> zum 3. Boniturtermin im Jahr 2009 (separate Kennzeichnung für die Regulierungsgruppen). PSM = Pflanzenstärkungsmittel	40
Abb. 6: Biplot der zweifaktoriellen multivariaten Varianzanalyse (1. Faktor Jahreseinfluss; 2. Faktor Regulierungsgruppe; $n=288$). TM = Krauttrockenmasse, Kno/P = Knollenzahl je Pflanze, g/Kno = Einzelknollengewicht, bonitur2 = Phytophthora- boniturtermin2, bonitur3 = Phytophthora- boniturtermin3, K = Kalium, N = Stickstoff	42
Abb. 7: Kartierung des Pytophthorabefalls auf dem Feld 2008, zeitliche (drei Boniturtermine) und räumliche Ausbreitung von <i>P. infestans</i> (Befallsstärke (% befallene Blattfläche) ist mit der Farbskala am rechten Bildrand gekennzeichnet)	47
Abb. 8: Kartierung des Pytophthorabefalls auf dem Feld 2009, zeitliche (drei Boniturtermine) und räumliche Ausbreitung von <i>P. infestans</i> . (Befallsstärke (% befallene Blattfläche) ist mit der Farbskala am rechten Bildrand gekennzeichnet); a5 Behandlung mit konventionellen Pflanzenschutzmitteln (Akrobat Plus und Shirlan)	48
Abb. 9: Pytophthorabefallskartierung beim Nachbau von Knollen aus dem Kupfer- und Fungizidversuch im Jahr 2010, zeitliche (drei Boniturtermine) und räumliche Ausbreitung von <i>P. infestans</i> . Zahlen entsprechen die Befallsstärke (% befallene Blattfläche), Farben stellen die unterschiedliche Befallsstärke dar.	55

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Wichtige Erkenntnisse aus der Literatur über Befall und Bekämpfung von <i>P. infestans</i>	17
Tab. 2: Monatliche Niederschlagsmengen und Durchschnittstemperaturen während der Vegetationsperiode (April – August) in den Versuchsjahren 2008, 2009, 2010 im Vergleich zu dem langjährigen Mittel (LJM).....	19
Tab. 3: Ackerbauliche Maßnahmen und Pflanzenschutz.....	20
Tab. 4: Prüfglieder der zweifaktoriellen Spaltanlage (Fungizidversuch)	21
Tab. 5: Prüfglieder der einfaktoriellen Blockanlage (Kupferversuch)	21
Tab. 6: Untersuchte Prüfglieder mit Chitosan der Lagerversuche 2008/2009 und 2009/2010.....	22
Tab. 7: Übersicht der Prüfmerkmale der Feldversuche	23
Tab. 8: Neunstufige Skala für die Phytophthora- Bonitur nach JAMES (1971)	23
Tab. 9: Fünfstufige Skala des Schorfbefalls	24
Tab. 10: Wirkung der Chitosanpflanzgutvorbehandlung (Faktor A) und der Krautbehandlung (Faktor B) auf den Phytophthorabefall, den Kraut- und Knollenertrag, den Schorfbefall und den Stärkegehalt der Knollen für das Jahr 2008.....	28
Tab. 11: Wirkung der Chitosanpflanzgutvorbehandlung (Faktor A) und der Krautbehandlung (Faktor B) auf den Phytophthorabefall, den Kraut- und Knollenertrag, den Schorfbefall und den Stärkegehalt der Knollen für das Jahr 2009.....	30
Tab. 12: Wirkung der Krautbehandlung auf den Phytophthorabefall, den Kraut- und Knollenertrag, den Schorfbefall und den Stärkegehalt der Knollen für das Jahr 2008.....	31
Tab. 13: Wirkung der Krautbehandlung auf den Phytophthorabefall, den Kraut- und Knollenertrag, den Schorfbefall und den Stärkegehalt der Knollen für das Jahr 2009.....	32
Tab. 14: Wirkung der Chitosanpflanzgutvorbehandlung (Faktor A) und der Krautbehandlung (Faktor B) auf den Nährstoffgehalt in der Krauttrockenmasse jeweils nach der Blüte am 15. Juli (70. Vegetationstag, 2008 und 2009.	33
Tab. 15: Kalkulation zum Effekt der Nährstoffproportionen von Kalium, Phosphor und Stickstoff beim Kraut- und Knollenertrag für 2008 und 2009. Ergebnisse aus dem Fungizidversuch.....	34

Tab. 16: Wirkung der Krautbehandlung auf den Nährstoffgehalt in der Krautrockenmasse jeweils nach der Blüte am 15. Juli (70. Vegetationstag) 2008 und 2009.....	35
Tab. 17: Kalkulation zum Effekt der Nährstoffproportionen von Kalium, Phosphor und Stickstoff beim Kraut- und Knollenertrag für 2008 und 2009. Ergebnisse aus dem Kupferversuch.....	36
Tab. 18: Ergebnisse der Regressionsschätzung für den Knollenertrag ($n = 288$; $r^2 = 0,44$; Signifikanzprüfung der Regressionsparameter mit t-Test).....	41
Tab. 19: Ergebnisse der zweifaktoriellen multivariaten Varianzanalyse, MANOVA: $df_1 = 56$; $df_2 = 1475$; $F = 20,8$; $p = 0,000$. Paarweiser Vergleich der Regulierungsgruppen getrennt nach Jahren (Hotelling p- Werte, Bonferroni korrigiert).....	43
Tab. 20: Schätzung der Varianzanteile der Ertragskomponenten auf der Basis von logarithmierten (ln) Daten aller Variablen ($n=288$).....	44
Tab. 21: Ergebnisse der Regressionsschätzung für den Stärkegehalt der Knollen ($n = 288$; $r^2 = 0,43$).	45
Tab. 22: Masseverlust (%) während der Lagerung der Knollen der ausgewählten Prüfglieder aus den beiden Versuchen, Lagerversuch 2008/2009 und 2009/2010.	50
Tab. 23: Masseverlust (%) während der Lagerung der Knollen aus dem Fungizidversuch, Lagerversuch 2008/2009 und 2009/2010.	51
Tab. 24: Masseverlust (%) während der Lagerung der Knollen aus dem Kupferversuch, Lagerversuch 2008/2009 und 2009/2010.	52
Tab. 25: Ergebnisse zum Ertrag, Schorf- und Phytophthorabefall aus dem Nachbau der Knollen aus dem Fungizidversuch im Jahr 2009.	53
Tab. 26: Ergebnisse zum Ertrag, Schorf-und Phytophthorabefall aus dem Nachbau der Knollen aus dem Kupferversuch im Jahr 2009.	54
Tab. 27: Kostenkalkulation zur Ausbringung der Präparate (ALMOHAMAD et. al. 2012)	67
Tab. 28: Kalkulation des notwendigen Mehrertrages (ALMOHAMAD et. al. 2012).....	68

1 Einleitung

Phytophthora infestans (*P. infestans*), der Erreger der Kraut- und Knollenfäule, ist einer der weltweit bedeutendsten Krankheitserreger im Kartoffelanbau (POWELSON et al. 1999). Im konventionellen Kartoffelbau nimmt die Fungizidbehandlung gegen *P. infestans* eine herausragende Stellung ein (Neptun 2000). Da sich der Infektionsdruck fortlaufend erhöht, führt dies zu einem gesteigerten Bedarf an Pflanzenschutzmitteln (CASSELLS & KOWALSKI 1998). Der aktuelle nationale Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (NAP) (BMELV 2008) stellt eine Weiterentwicklung des Reduktionsprogramms chemischer Pflanzenschutzmittel (BMELV 2004) dar. Das aktuelle Programm hat zum Ziel den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln auf ein Mindestmaß zu reduzieren und auf das notwendige Maß zu begrenzen. Im Mittelpunkt der Maßnahmen stehen die Förderung von Innovationen im Pflanzenschutz und die Weiterentwicklung der Verfahren des integrierten Pflanzenschutzes.

Im ökologischen Landbau ist das Interesse an alternativen Strategien noch größer, da die direkte Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule nur durch den Einsatz kupferhaltiger Präparate möglich ist (KÜHNE et al. 2009). In Jahren mit hohem Infektionsdruck (warmes und feuchtes Wetter) reicht der Einsatz von Kupferpräparaten jedoch nicht aus, da Kupfer durch Niederschläge von den Blättern abgewaschen wird und keinen Schutz mehr bieten kann. Aufgrund der umweltschädigenden Wirkung von Kupfer ist der Einsatz von Kupferpräparaten zudem beschränkt (MALKOMES 2010). Die Verordnung (EG) Nr. 834/2007 mit den Durchführungsbestimmungen in der Verordnung (EG) Nr. 889/2008 für den ökologischen Landbau, begrenzt den Kupfereinsatz auf 6 kg ha⁻¹ im Jahr. In einigen Anbauverbänden wie Bioland und Naturland ist der Einsatz sogar auf 3 kg ha⁻¹ im Jahr beschränkt bzw. ist gar nicht erlaubt (Anonym 2005). Nach den Bestimmungen der Europäischen Union ist der Einsatz von Kupfer nur noch bis 2016 möglich. Daher ist der Bedarf zur Entwicklung alternativer Strategien sehr groß.

Von diesem Hintergrund gewinnt der Einsatz der Pflanzenstärkungsmittel eine große Bedeutung bei der Regulierung der Kraut- und Knollenfäule.

Pflanzenstärkungsmittel fördern die Gesundheit und die eigene Widerstandsfähigkeit der Pflanzen gegenüber dem Erreger. Unter erhöhtem Befallsdruck ist die Wirkung aber nicht ausreichend (DORN et al. 2007). Durch eine Erhöhung der Wirksamkeit von Pflanzenstärkungsmitteln sollte es gelingen, den Stängelbefall mit *P. infestans* so lang wie möglich zu verzögern und den Infektionsdruck des Blattbefalls soweit wie möglich zu reduzieren (KESSEL et al. 1993). Infiziertes Pflanzgut löst im Frühjahr bei feuchtem und warmem Wetter den Stängelbefall aus (ZELLNER 2004, BOUWS & FINCKH 2007). Deshalb ist eine Vorbehandlung des Pflanzgutes von großer Bedeutung, um den Stängelbefall mit *P. infestans* zu regulieren.

Mit dem Ziel ein besseres Verständnis über die Eignung natürlicher Alternativen zur Regulierung einer wirtschaftlich bedeutenden Krankheit im Kartoffelanbau von der Pflanzung bis zur Lagerung zu gewinnen, wurden in dieser Arbeit zwei separate Feldversuche über zwei Jahre mit der Kartoffelsorte Agria angelegt. Dazu wurden die Pflanzenstärkungsmittel Chitosan (aus Krabbenschale hergestelltes Produkt), Potavit (zugelassenes Pflanzenstärkungsmittel aus Algenextrakt und Wildkräutern) und HKS (Testprodukt in der Entwicklungsphase) untersucht. Chitosan kann aufgrund elicitorischer Eigenschaften verschiedene Verteidigungsmechanismen in der Pflanze erhöhen (HADWIGER et al. 1994, BENHAMOU 1996, HADWIGER 1999). Neben der elicitorischen Aktivität besitzt Chitosan natürliche antifungale und antibakterielle Eigenschaften und wirkt direkt auf zahlreiche Krankheiten, die vor und nach der Ernte auftreten (BAUTISTA-BANÖS et al. 2006, LI et al. 2008, COQUEIRO et al. 2011, LIU et al. 2012).

Die Grundlage für die biotechnische Wirksamkeit von Potavit und HKS sind die allelopathischen Wirkungen dieser Pflanzenextrakte, da sie das Wachstum und die pflanzeigenen Abwehrkräfte fördern.

Im Vordergrund der Versuche stand die Erfolgsaussicht mit der Chitosanpflanzgutvorbehandlung, den Stängelbefall mit *P. infestans* zu regulieren. Weiterhin wurde die Wirkung der Krautbehandlung mit der alleinigen Applikation der geprüften Pflanzenstärkungsmittel (Chitosan, Potavit, HKS) oder in Kombination mit den ökologischen (Kupferhydroxid) sowie konventionellen (Akrobat Plus, Shirlan) Pflanzenschutzmitteln gegen den Blattbefall mit *P. infestans* untersucht. Die Kombinationen sollen eine zusätzliche reduzierende Wirkung

gegen den Befall mit *P. infestans* haben. Bei Auswertung der Ergebnisse der Feldversuche wurden exogene Faktoren einbezogen, um zusätzliche Erkenntnisse zur Wirkung der untersuchten Präparate zu gewinnen.

In zwei Lagerversuchen wurde darüber hinaus die Wirkung der unterschiedlichen Behandlungen auf dem Feld sowie die Chitosannacherntebehandlung im Lager auf die Lagereigenschaften (Knollenfäule, Masseverlust) untersucht. Von jeder eingelagerten Probe wurden 12 Knollen im Folgejahr erneut angebaut, um zu überprüfen, ob die Übertragbarkeit der Ergebnisse gegeben war.

2 Literaturübersicht

2.1 Physiologie der Kartoffelpflanze

2.1.1 Wasserbedarf der Kartoffelpflanze in den verschiedenen Entwicklungsstadien

Die Wasserversorgung während der verschiedenen Entwicklungsstadien der Kartoffelpflanzen (*Solanum tuberosum* L.) ist entscheidend für das Wachstum und die Ertragsbildung, da diese sich maßgeblich auf Morphologie, Entwicklung, Knollenansatz und Knollenwachstum der Kartoffel auswirkt und so den marktfähigen Ertrag und die Qualitätsparameter der Knollen (Trockensubstanzgehalt, Sortierung, Stärkegehalt, chemische Zusammensetzung) beeinflusst. Die Folgen von Wasserstress sind sowohl von dem physiologischen Stadium der Kartoffelpflanzen als auch der Stressdauer abhängig (WIESE et al. 1975, HARRIS 1978, VAN LOON 1981, STRUIK & VOORST 1986, OJALA et al. 1990, JEFFERIES 1993, FOTI et al. 1995, STEYN et al. 2007).

Nach HACK et al. (1993) ist die Entwicklung der Kartoffelpflanze in verschiedene Stadien eingeteilt. Im Stadium EC 0 - 19 sind eine ausreichende Wasserversorgung und optimale Temperaturen (über 8 °C) die Voraussetzung für das Auflaufen. Eine geringe Feuchtigkeit im Boden verzögert das Auflaufen, unter extremen Wasserstressbedingungen können die Pflanzen nicht auflaufen (VAN LOON et al. 1981, KOLBE 1994).

Im Stadium EC 19 - 39 (Krauthauptwachstum) ist ein ausreichendes Wasserangebot zum Aufbau der Krautmasse und dem daraus resultierenden Knollenertrag erforderlich. Nach SINGH (1969), CAVAGNARO et al. (1971) und IGBAL et al. (1999) ist die Kartoffelpflanze in diesem Stadium sehr empfindlich gegenüber Wasserstress. Trockenheit führt in diesem Stadium zur Abnahme der Blätter und Photosynthese und verzögert den Knollenansatz (VAN LOON 1981, STRUIK & VOORST 1986). CAVAGNARO et al. (1971) fanden heraus, dass der abrupte Wechsel von Wasserstress zu Wassergabe in der Vegetationsperiode zur Verzögerung des Knollenansatzes und zur Verkürzung des Knollenansatzzeitraumes führt.

Im Stadium EC 40 - 49 (Knollenansatz und Knollenwachstum) ist der Bedarf an Wasser zur Förderung des Knollenansatzes erhöht und Wassermangel in diesem Stadium kann zu erheblichen Ertragsverlusten führen (WIESE et al. 1972, LEVY 1985, HAVERKORT et al. 1990). JEFFERIES & MACKERRON (1986)

berichteten, dass Trockenstress während des Knollenansatzstadiums zu deutlichen Ertragsdefiziten durch Reduzierung der Anzahl der angelegten Knollen führte. STRUIK & VAN VOORST (1986) wiesen nach, dass das Wasserangebot während des Knollenansatzes im Stolonen- und Wurzelbereich die Knollenanzahl je Pflanze bestimmt.

Nach OJALA et al. (1990) führt Wassermangel direkt nach dem Knollenansatz zur Reduktion der Anzahl der mittleren und großen Knollen und zur Zunahme der Anzahl der kleinen Knollen (15-35 mm), wodurch sich die Sortierausbeute verschlechtert und demzufolge der Ertrag sinkt. Wassermangel während des Knollenwachstums führte zum Anstieg der Anzahl der kleinen Knollen (<40 mm) (JEFFERIES & MACKERRON 1986).

Im Stadium EC 50 - 69 (Blütenanlagen- Blüte) erhöht ausreichende Wasserversorgung bis Ende der Blüte das Einzelknollengewicht und den Stärkegehalt der Knollen. WIESE et al. (1975) stellten fest, dass Wassermangel in diesem Stadium den Knollenanteil in der Sortierung 45-55 mm verringerte, zudem wiesen die Knollen einen hohen Gehalt an Saccharose und einen reduzierten Zucker- bzw. einen geringeren Stärkegehalt auf.

Im Stadium EC 71-79 (Blüte bis vier Wochen danach), in dem das Hauptwachstum der Knollen stattfindet, ist die Wasserversorgung von großer Bedeutung. Eine gute Wasserversorgung führt zur Verlängerung der Vegetationsperiode (Knollenwachstumsdauer) und zum intensiven Knollenwachstum (Knollenwachstumsrate) und infolgedessen zur Steigerung des Knollenertrags (AHMED & SAGAR 1981, JEFFERIES & MACKERRON 1986, ROTH et al. 1987).

Auch der Stärkegehalt der Knollen ist ein wichtiges Kriterium für die innere Qualität der Knollen. Stärke wird während des frühen Vegetationsstadiums gebildet und für das Krautwachstum genutzt. Ab dem Ende der Blüte beginnt die Abreife der Knollen und der größte Teil der Stärke wird in die Knollen eingelagert. Der Stärkegehalt der Knollen steigt in der Abreifphase relativ schnell an, wobei die Gehalte an anderen mineralischen Inhaltsstoffen wie Kalium und Phosphor abnehmen (HUNNIUS 1976, KOLBE 1995).

Schädlinge und pflanzenpathologische Krankheiten, die das Kraut schädigen, verkürzen die Dauer der Störkeeinlagerung und infolgedessen reduzieren sie den Stärkegehalt der Knollen (BURTON 1966).

In der Literatur gingen die Meinungen über die Rolle der Wasserversorgung bzgl. des Stärkegehaltes auseinander. Bei LEVY (1983) führte eine hohe Wasserversorgung zur Reduktion des Trockenmassegehaltes und des daraus resultierenden Stärkegehaltes. Zu dem Gegenergebnis kam FRICKE (2004; 2005), welcher einen steigenden Stärkegehalt bei einer Zusatzbewässerung feststellte.

2.1.2 Nährstoffbedarf der Kartoffelpflanze in den verschiedenen Entwicklungsstadien

In den einzelnen Entwicklungsstadien der Kartoffelpflanze spielen die Makronährstoffe N, P und K eine wesentliche Rolle. 98 % des Pflanzenbedarfes an N wird im Stadium EC 19-39 und EC 40-49 aufgenommen. Stickstoffversorgung (N) ist hier von Bedeutung für die Krautbildung und den Knollenansatz (HARRIS 1992, MARSCHNER 1995). Stickstoff führt zur Steigerung der Anzahl der angelegten Knollen, zur Verbesserung der Sortierung und erhöht den Anteil marktfähiger Knollen (WESTERMANN & KLEINKOPF 1985). VAN DELDEN (2001) stellte fest, dass der Bedarf der Kartoffelpflanzen an Stickstoff vom Auflauf bis Blüte gedeckt sein muss, um optimale Erträge zu gewährleisten. Der Stickstoff wird in den Blättern akkumuliert und später in der Abreifphase in die Knollen eingelagert (KLEINKOPF et al. 1981, KOLBE 1997). Bei zu hoher Stickstoffversorgung nahm die N- Konzentration in den Knollen zu, was die Qualität der Knollen mindert (KOLBE 1995).

Kalium spielt ebenfalls eine Rolle in der frühen Entwicklungsphase der Blätter. Kalium beeinflusst das Sprosswachstum, die Verzweigung des Sprosses, das oberirdische Längenwachstum sowie die Photosynthese positiv (MARSCHNER 1995). Kalium beeinflusst die Sortierung positiv. Bei guter Kaliumversorgung steigt der Anteil der mittleren und großen Knollen und führt so zur Zunahme der Knollenerträge (TREHAN & GREWAL 1994).

Eine gute Kaliumversorgung in Stadium EC 50-69 und später in dem Abreifstadium (EC 61-79) hat eine schnelle Verlagerung der photosynthetisch produzierten Stoffe von den Blättern in die Knollen zur Folge (HAEDER et al. 1973). Ähnlich wie Stickstoff wird Kalium in der Abreifphase in den Knollen eingelagert. Bei zunehmendem Kaliumgehalt der Knollen werden die Trockensubstanz und der Stärkegehalt der Knollen gesenkt (KOLBE et al. 1995).

Phosphordüngung fördert ebenfalls das Wachstum des oberirdischen Teils der Kartoffelpflanzen, beschleunigt die Blätterausbildung und das Krautwachstum

wird früher beendet (JENKINS & ALI 1999). Phosphor beeinflusst den Stärkegehalt positiv aber ein extrem hohes P-Angebot führt zum Rückgang des Stärkegehaltes (KOLBE et al. 1995). Phosphordüngung kann auch negativ auf die Ertragsqualität wirken und eine unbefriedigende Sortierung zur Folge haben (GREWAL & TREHAN 1993). Die Interaktion zwischen den Hauptnährstoffen und ihre Wirkung auf die Kraut- und Knollenentwicklung sowie auf die Knollenqualität wird stark von äußeren Faktoren (Klima, Wasserversorgung) beeinflusst (KOLBE 1997).

Die Nährstoffversorgung beeinflusst die Anfälligkeit für *P. infestans*. Eine späte Stickstoffausbringung begünstigt durch die Verlängerung der Lebensdauer des Krautes und eine Verzögerung der Abreife den Befall mit *P. infestans*. Dadurch erhöht sich die Anfälligkeit des Krautes und der Knollen für den *P. infestans*-Erreger (VOS 1995). Sowohl durch Kalium- als auch Phosphorversorgung wird die Abwehrkraft der Pflanzen erhöht (STRÖMBERG et al. 1991, ABD-EL-KAREEM et al. 2001).

2.2 Kraut- und Knollenfäule (*P. infestans*)

Kraut- und Knollenfäule verursacht durch den Erreger *P. infestans* ist die am meisten untersuchte Kartoffelkrankheit in ökologischen und konventionellen Anbauversuchen. Das Ursprungsland des Erregers *P. infestans* ist Mexiko (ZENTMYER 1988), wo zwei Typen (A1 und A2) verbreitet sind. In Europa wurde Typ A2 erstmals 1981 registriert. Die wichtigsten Wirtspflanzen für *P. infestans* sind Kartoffeln (*Solanum spp.*) und Tomaten (*Lycopersicon spp.*) (TURKENSTEEN 1973). *P. infestans* ist ein pilzähnlicher Mikroorganismus (Pseudofungus), der zur Klasse der Oomycota gehört. Der Stängelbefall (Primärbefall) wird von infiziertem Pflanzgut ausgelöst. In Jahren mit reichlichen Niederschlägen wachsen die Sporangien mit dem Trieb nach oben und können beim Auflaufen Stängelbefall auslösen (ADLLER 2001, NECHWATAL & ZELLNER 2012). Bei lang anhaltender Wärme und Feuchtigkeit im Boden kann der Erreger auf die Knollenoberfläche sporulieren. Die Sporangien werden mit dem Bodenwasser horizontal verbreitet, so dass benachbarte Knollen ebenfalls infiziert und in der näheren Umgebung Stängelbefall ausgelöst werden kann (ZELLNER et al. 2009). Der Befallskreislauf und die Infektionsquelle des *P. infestans*-Erregers sind in der Abb. 1 dargestellt.

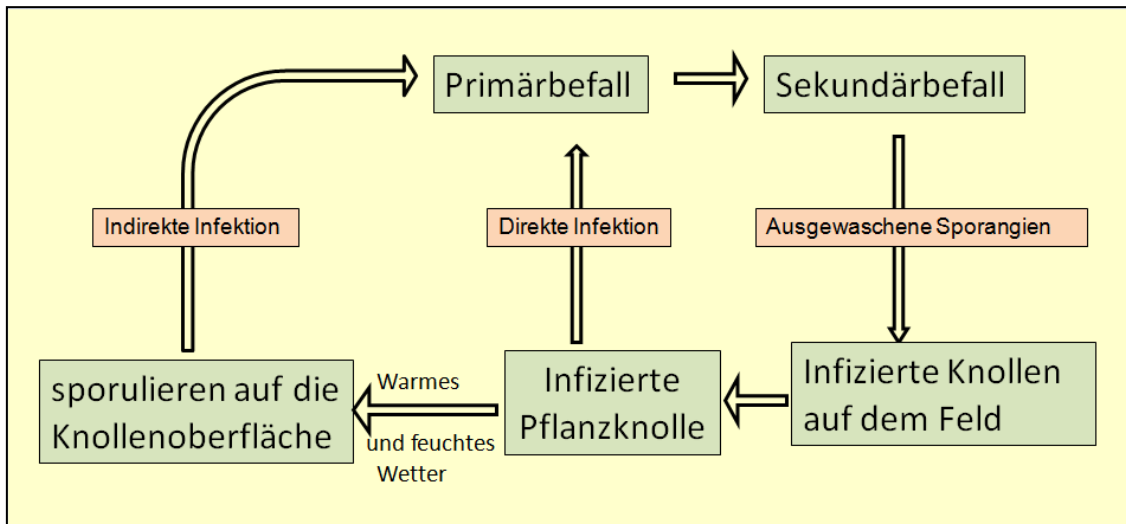


Abb. 1: Der Befallskreislauf und die Infektionsquellen für Stängelbefall und Blattbefall mit *P. infestans*

Auf schweren, feuchten Böden ist der Stängelbefall vor dem Reihenschluss mit hohem Infektionsdruck weit verbreitet (ZELLNER 2004). Nach der Sporulation auf der Oberfläche der infizierten Mutterknollen wächst das Mycel, welches mit dem Bodenwasser nach oben gedrückt wird und so die Bodenoberfläche erreicht und gesunde Stängel im frühen Entwicklungsstadium infizieren kann (ADLER 2001). Auch die unteren Blätter können infiziert werden und Blattbefall (Sekundärbefall) zeigen (CUPSA et al. 1984). Die weitere Ausbreitung des Erregers erfolgt über Wind oder Blattläuse.

Die Lebensfähigkeit des Pilzes hängt stark von der Witterung ab. Die optimalen Witterungsbedingungen für eine erfolgreiche asexuelle Vermehrung durch Sporangienbildung liegen im Bereich zwischen 18 und 23 °C (HOFFMANN & SCHMUTTERER 1999) bei einer relativen Luftfeuchte von über 90 % (ULLRICH 1957). Unter diesen Bedingungen kann *P. infestans* vor dem Abschluss des Knollenansatzes innerhalb weniger Tage ganze Pflanzenbestände zerstören. In Jahren mit hohem Infektionsdruck kann der Ertragsverlust bis zu 100 % erreichen. In den Untersuchungen von GUNN (1990) brachte die Verzögerung des Befalls um 13 bis 36 Tage Mehrerträge von 7 bis 11 t ha⁻¹. KOLBE (1982) stellte fest, dass der Befall durch den Einsatz von chemischen Fungiziden deutlich reduziert wurde und die Erträge im Vergleich zu den unbehandelten Parzellen um bis zu 20 % stiegen. Bei HOFFMANN & SCHMUTTERER (1999) betrugen die Ertragsverluste bei unbehandelten Pflanzbeständen bis zu 70 %. In Abwesenheit eines Stängelbefalls entwickeln sich die Kartoffelpflanzen

zunächst vegetativ und setzen Knollen an. Ein Blattbefall kann erst nach der Blüte auftreten, wenn die Pflanzen in der Abreifphase sind und ein großer Teil der Ertragsbildung bereits abgeschlossen ist, so dass die Ertragsschäden durch *P. infestans* relativ gering bleiben (HOFFMANN & SCHMUTTERER 1999).

Die Symptome der Krankheit zeigen sich auf dem Kraut (Stängel, Blätter), indem die befallenen Stängel zunächst von der Basis und später auch die Blattstiele und Triebspitzen befallen werden und sich braun-schwarz verfärben. Das abgestorbene Gewebe bleibt fest und fällt nicht aus. Auf der Blattoberseite der unteren Blätter zeigen sich gelbgrüne Flecken, die später verbraunen. Auf der Blattunterseite bildet der Pilz bei hoher Feuchtigkeit einen weißen Mycelrasen, der bei Trockenheit verschwindet und es zeigen sich am Blattrand oder von der Blattspitze gelblich-grüne Flecken. Nach kurzer Zeit gehen diese Flecken ins Dunkelbraune über. Bei feuchtem Wetter vergrößern sich diese Flecken sehr schnell und führen in der Folge zu einem starken Blattbefall. Die Krankheit zeigt sich zunächst nur auf wenigen Pflanzen im Befallszentrum. Ausgehend von dieser Infektionsquelle (Einzelpflanzen) erfolgt die weitere Ausbreitung von *P. infestans* in Hauptwindrichtung (RULLICH 1985, ZWANKHUIZEN et al. 1998).

Während des Stadiums der Knollenentwicklung können die Sporangien, die von den Blättern durch Regen ausgewaschen werden, mit ihrem Keimschlauch in das Gewebe verletzter Knollen eindringen und Knollenfäule (Braunfäule) auslösen (LACEY 1967). Die Knollen können auch während der Wachstumsphase durch infizierte Stolonen infiziert werden (WALMSLEY-WOODWARD et al. 1977). Infizierte Knollen zeigen unregelmäßige, bleigraue, harte Flecken in verschiedenen Größen. Während der Lagerung sinken diese Flecken ein und das innere Gewebe wird im Vergleich zum gesunden Gewebe deutlich braun. Der Pilz kann sich im Lager weiter entwickeln und starke Braunfäule auf den Knollen auslösen (RADITKE et al. 2000). Unter optimalen Lagerbedingungen können die infizierten Pflanzenknollen symptomlos überleben und im Frühjahr bei optimalen klimatischen Bedingungen (Wärme, Feuchtigkeit) Stängelbefall auslösen (RADITKE et al. 2000, ZELLNER 2004).

2.3 Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule

Die Bekämpfung von *P. infestans* beginnt vorbeugend vor dem Befallsauftritt. Im ökologischen Landbau zielen die vorbeugenden Maßnahmen auf die Förde-

rung der pflanzeneigenen Abwehrkräfte, die Verzögerung des Stängelbefalls, die Reduktion des Infektionsdrucks durch Blattbefall und die Erhöhung der Wirksamkeit der alternativen Behandlungsmittel zu Kupfer ab. Vorbeugende Maßnahmen allein sind nicht ausreichend um das Auftreten des Befalls mit *P. infestans* zu verhindern, sondern sollen primär die Widerstandsfähigkeit der Pflanzen erhöhen und Faktoren verstärken, welche die Ertragsbildung fördern und stabile Erträge sichern. In Jahren mit frühem und hohem Infektionsdruck sind diese Maßnahmen jedoch nicht ausreichend.

Im Folgenden werden die Faktoren beschrieben, welche Einfluss auf den Befall mit *P. infestans* haben.

Standortfaktoren: Bodenart und Bodenfeuchte können eine wichtige Rolle für das frühe Auftreten des Befalls mit *P. infestans* spielen. In schweren, feuchten Böden kann sich der Erreger erfolgreich im frühen Vegetationsstadium entwickeln und Stängelbefall auslösen (ADLLER 2001, ZELLNER 2004, BÄSSLER 2005). Der Abstand zwischen den Reihen sollte 75 cm betragen und die Dämme müssen in Hauptwindrichtung geplant werden, um ein rasches Abtrocknen des Bestandes zu sichern (BÖHM 2001, SCHÖBER-BUTIN 2001). So trocknen die Pflanzenbestände schneller ab und die Ausbreitung des Befalls mit *P. infestans* wird verringert. Die Lage des Feldes sollte dem Wind zugewandt und nicht im Tal oder einer Senke sein. Eine Bestandsdichte unter ökologischen Anbaubedingungen im Bereich von 38.000 - 59.000 Pflanzen je Hektar zeigte keine negativen Auswirkungen auf den Befall mit *P. infestans* (KARALUS 1998).

Gesundes Pflanzgut und Feldhygiene: Infiziertes Pflanzgut ist die Hauptinfektionsquelle für den Stängelbefall mit *P. infestans*. Die Verwendung von gesundem Pflanzgut verhindert den Stängelbefall (RADTKE et al. 2000, ADLLER 2001, ZELLNER 2004, ZELLNER et al. 2006, BOUWS & FINCKH 2007).

Sortenwahl: Bezüglich der Anfälligkeit für *P. infestans* gibt es deutliche sortenspezifische Unterschiede (MEINCK 1999, SPEISER et al. 2006). Beim Anbau von frühen, hoch resistenten Sorten konnten, besonders in Jahren mit hohem Infektionsdruck mit *P. infestans*, die durch *P. infestans* verursachte Ertragseinbußen verringert werden (MEINCK 1999). Auch die Infektionsgefahr der Knollen

während des Stadiums der Knollenentwicklung ist stark sortenabhängig (LAPWOOD 1977, MEINCK 1999).

Vorkeimung: Durch die Vorkeimung der Pflanzkartoffeln kann das Auflaufen der Pflanzen um zwei Wochen beschleunigt werden. Auch die Ertragsbildung setzt zwei Wochen früher ein (KARALUS 1995), so dass *P. infestans* erst in den späteren Entwicklungsphasen der Kartoffelpflanze auftritt. Durch den späteren Befall wird die negative Wirkung von *P. infestans* auf das Krautwachstum und die Ertragsbildung relativ verringert. Unter den Anbaubedingungen des ökologischen Landbaus konnten durch das Pflanzen von vorgekeimtem Pflanzgut Ertragssteigerungen von bis zu 30 % erreicht werden (KARALUS 1995, MEINCK 1999).

Die direkte Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule sollte am Pflanzgut beginnen, da es die erste Quelle für den Stängelbefall ist. JENSEN (1928) gelang es, die Sporangien auf der Knollenoberfläche direkt nach der Ernte mit Hilfe von Wärme (50 °C) für vier Stunden abzutöten, so dass sich keine Sporangienträger mehr entwickeln konnten. HÄNNI (1949) wies nach, dass die Sporangien auf der Knollenoberfläche mit trockener Zugluft abgetötet werden können. ZELLNER et al. (2006) stellten fest, dass der Erreger durch Pflanzgutbeizung mit einem Kupferpräparat nicht mehr auf der Knollenoberfläche sporulieren konnte. Dadurch konnte sich kein Mycel mehr entwickeln und die Gefahr des früheren hohen Stängelbefalls verringert war. Der Stängelbefall war in diesem Fall nur durch direktes Einwachsen von *P. infestans* in den Stängel möglich und konnte reduziert werden, was ebenfalls den Blattbefall verzögerte und reduzierte. BÄßLER (2005) konnte in seiner Arbeit den Stängelbefall durch Pflanzgutbehandlung mit verschiedenen chemischsynthetischen Fungiziden reduzieren. Der Kontaktwirkstoff Mancozeb hemmte die Sporulation und die Keimung lediglich auf der Knollenoberfläche. Kontaktfungizide werden von den Pflanzen nicht aufgenommen, sondern wirken nur auf die Sporangien in der ersten Entwicklungsphase des Erregers. Die Pflanzgutbehandlung mit dem lokalsystemischen Wirkstoff Dimethomorph konnte den Stängelbefall deutlich unterdrücken. Da lokalsystemische Fungizide von Pflanzen aufgenommen werden, sind sie vor klimatischen Faktoren geschützt. Sie können sich im Gewebe nicht weiter ausbreiten, sondern wirken nur lokal auf den Erreger im tiefen, inneren Blattgewebe (SCHÖBER-BUTIN 2001). Der systemische Wirkstoff Metalaxyl führte zu Re-

duktion und Verspätung des Ausbruchs des Stängelbefalls (BÄßLER 2005). Metalaxyl konnte das Einwachsen des Erregers im Stängelgewebe verhindern. Systemische Fungizide können von den Pflanzen aufgenommen werden und sich im Pflanzengewebe ausbreiten. Dadurch sind sie in der Lage, die weitere Ausbreitung im Innengewebe zu hemmen. Die Ergebnisse von BÄßLER (2005) stimmen mit ADLER (2001) überein. Bei ihm führte die Pflanzgutbeizung mit dem systemischen Wirkstoff Metalaxyl ebenso zum Rückgang des Stängelbefalls. Die weitere Bekämpfung des Blattbefalls kann auf dem Blatt fortgeführt werden. Bei der Bekämpfung von Kraut- und Knollenfäule im konventionellen Anbau stehen zahlreiche synthetische Fungizide zur Verfügung. Zusätzlich werden Modelle (SIMPHYT I, SIMPHYT II und SIMPHYT III) verwendet, mit deren Hilfe anhand der Witterungsdaten (Niederschläge, Temperatur, Luftfeuchtigkeit) der Termin der ersten Behandlung sowie die Abstände zwischen den weiteren Behandlungen mit den jeweils passenden Fungiziden bestimmt werden (HAUSLADEN 2002).

Die Behandlung beginnt in den feuchten Jahren mit hohem Stängelbefall direkt nach dem Auflaufen mit der Anwendung von systemischen Fungiziden, die die Ausbreitung des Erregers im Pflanzgewebe verhindern können. Die Behandlung wird mit Kontaktfungiziden abgewechselt, um eine Entwicklung von resistenten Typen des *P. infestans*-Erregers gegen systemische Wirkstoffe zu verhindern.

Im ökologischen Anbau ist die chemische Bekämpfung von Kraut- und Knollenfäule auf kupferhaltige Pflanzenschutzmittel begrenzt (MEINCK & KOLBE 1999). Bei hohem Infektionsdruck gibt es unter Feldbedingungen bisher keine Mittel als Alternativen zu Kupfer (BÖHM 2003, DORN et al. 2007). Kupfer wirkt nur auf der Pflanzenoberfläche und verhindert die Keimung der Sporangien bzw. Zoosporen, so dass der Erreger nicht mehr in das Pflanzengewebe eindringen kann. Nach dem Eindringen des Erregers hat Kupfer keine Wirkung mehr. Deshalb sollen die Kupferpräparate vorbeugend in kurzen Abständen auf dem Feld ausgebracht werden. Da im ökologischen Anbau der Einsatz von Kupfer beschränkt ist, besteht das Ziel, Alternativen zu finden.

2.4 Einsatz von Pflanzenstärkungsmitteln im ökologischen Kartoffelbau

Pflanzenstärkungsmittel können systemischen Widerstand in den Pflanzen induzieren, sowie die Pflanzengesundheit und die Abwehrkräfte der Pflanzen gegen biotische und abiotische Stressfaktoren fördern (elicitorische Wirkung). Einige Pflanzenstärkungsmittel zeigen überdies auch eine fungizide Wirkung. Die fungizide Wirkung von Pflanzenstärkungsmitteln wurde von BLAESER et al. (1999) überprüft, wobei im Gefäßversuch durch die Behandlung mit Pflanzenextrakten aus *Potentilla erecta* und *Salvia officinalis* der Befall mit *P. infestans* signifikant gehemmt wurde (um 90 % bzw. 83 %). YANAR et al. (2011) haben *in vitro* ebenfalls den fungiziden Effekt von *Salvia officinalis* gegen *P. infestans* nachgewiesen. Auch KREBS & FORRER (2001) wiesen im Gefäßversuch eine signifikante Reduktion des Befalls mit *P. infestans* durch eine Behandlung mit Extrakten aus *Salvia officinalis* nach. Im Feldversuch konnte die fungizide Wirkung von *Salvia officinalis* gegen *P. infestans* jedoch nicht bestätigt werden (BÖHM 2001, NEUHOFF et al. 2003). Heilpflanzenextrakte zeigten in Nasszellenexperimenten einen signifikant hemmenden Effekt gegen *P. infestans*, aber auch diese Ergebnisse bestätigten sich im Feldversuch nicht (KREBS et al. 2006). Wohingegen ABD-EL-KHAIR et al. (2007) sowohl *in vitro*- als auch im Feldversuch die fungizide Wirkung von 11 Heilpflanzenextrakten gegen den Befall mit *P. infestans* nachwiesen. Die beste Wirkung auf dem Feld wurde durch Extrakte aus Zitronengrasblättern (*Cymbopogon citratus*) erreicht. Nach NADIA et al. (2007) kann der Befall mit *P. infestans* durch den Einsatz von Resistenzinduktoren unter Freilandbedingungen reguliert werden. Sie berichteten, dass durch die kombinierte Anwendung von Ascorbinsäure und Dichlorisonicotinsäure sich die Chitinase- und β -1,3-Glucanaseaktivität (109, 115 %) erhöhte. Dadurch wurde im Feldversuch eine Befallsreduzierung um 89 % und eine Ertragssteigerung von 70-81 % erreicht. STEPHAN et al. (2005) haben die elicitorische Wirkung von 22 Pflanzenstärkungsmitteln im Halbfreiland-testsystem gegen *P. infestans* bei Kartoffel untersucht. Dabei wurde nachgewiesen, dass die meisten geprüften Pflanzenstärkungsmittel zu einer signifikanten Befallsreduzierung führten, wenn 24 h vor Erregerinfektion appliziert wurde (elicitorische Effekt).

In der vorliegenden Arbeit wurde der Elicitor Chitosan in verschiedenen Anwendungen (Pflanzgut, Kraut) eingesetzt.

Die von mehreren Autoren ermittelten differenzierten Effekte von Chitosan lassen sich in folgende Kategorien einteilen:

- Verstärkung der Widerstandskraft der Pflanzen gegenüber biotischen und abiotischen Stressfaktoren durch Förderung der Synthese von Substanzen wie Phytoalexine (WALKER-SIMMONS et al. 1983, HADWIGER et al. 1994, BAUTISTA-BANOS et al. 2011), Chitinasen (ROBY et al. 1987, DÖRNENBURG & KNOOR 1994, HADWIGER 1999, O'HERLIHY et al. 2003) und Phenol (KOWALSKI et al. 2005, BAUTISTA-BANOS et al. 2006).
- Fungizide Eigenschaften: Wirkung auf bestimmte Pilzenzyme wie Lysozym (PARK et al. 2004) sowie morphologische und strukturelle Änderungen in den Pilzzellen (BENHAMOU et al. 1992, AIT BARKA et al. 2004, SINGH et al. 2008, AI HETAR et al. 2011).
- Produktion von Sekundärstoffen zur Verbesserung der Kallusbildung (TŮMOVÁ & BACKOVSKÁ 1999, ABDULLAHIL BAQUE et al. 2012).
- Wachstumsstimulator (NGE et al. 2006) und Ertragsförderung (O'HERLIHY et al. 2003, WALKER et al. 2004, KOWALSKI et al. 2006, ASGHARI-ZAKARIA et al. 2009).

Chitosan wurde als natürliche Behandlung von Saatgut verwendet, um die Saatgutvitalität zu verbessern. Die Wirksamkeit wurde bei Erdnusssamen (FAJARDO et al. 1995, ZHOU et al. 2002), Reis (RAUN et al. 2002), Mais (SHAO et al. 2005) und Weizen (BHASKARA REDDY et al. 1999) nachgewiesen. Darüber hinaus wurde Chitosan auch als Konservierungsstoff während der Lagerung eingesetzt. In verschiedenen Studien wurde nachgewiesen, dass Chitosan die Qualität von Obst und Gemüse durch die Verringerung der Atmungsrate sowie die Produktion von Ethylen und Verminderung der Transpiration erhalten kann (EL GHOUTH et al. 1991a,b; 1992). Darüber hinaus hat Chitosan antifungale Eigenschaften gegen verschiedene Schaderreger (z. B. *Botrytis cinerea*, *Alternaria alternata*, *Erwinia carotovora*, *Fusarium oxysporum*, *Colletotrichum gloeosporioides*), die Lagerverluste verursachen können (EL GHOUTH et al. 1997; 1999, BHASKARA REDDY et al. 1997; 1998; 2000, BAUTISTA-BANOS et al. 2003; 2004; 2011, AI HETAR et al. 2011).

Neben Chitosan wurde die Wirkung von zwei weiteren Pflanzenextrakten (Potavit, HKS) untersucht. Für die Herstellung der Pflanzenextrakte werden Bockshornklee, Kornrade, Braunalge und Sojabohne als Rohstoffe verwendet. Die wirksamen Substanzen dieser Pflanzenstärkungsmittel sind sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe (Flavonoide, Brassinolide, Saponine) und Aminosäuren, die den pflanzlichen Stoffumsatz, die Regulierung der pflanzeigenen Abwehrkräfte und infolge dessen das Wachstum fördern. Das Wirkungsprinzip natürlicher Pflanzenaktivatoren (NAPS) wird nach Angabe der Herstellerfirma in der Abb. 2 dargestellt.

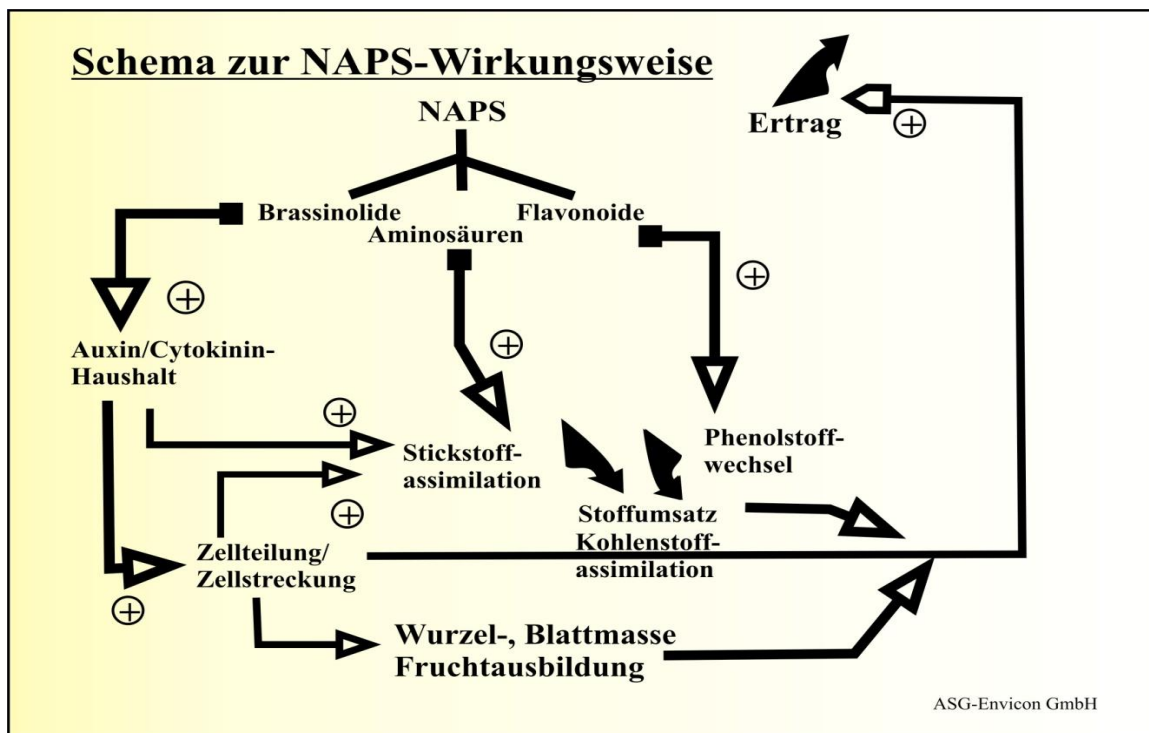


Abb. 2: Wirkungsweise von Pflanzenstärkungsmitteln auf Basis von natürlichen Pflanzenaktivatoren (NAPS) am Beispiel von Potavit

Aminosäuren und Brassinolide fördern die Stoffwechsel- und Enzymaktivität, führen zur Stimulation des pflanzlichen Stickstoffkreislaufs und verbessern die Wuchskraft (Zellteilung, Differenzierung und Streckung) (CLOUSE et al. 1998, BAJGUZ 2007).

Saponine regulieren die Widerstandsfähigkeit der Pflanzen gegen Stressfaktoren und bieten Schutz gegen Pilzbefall (FROST 1988).

Flavonoide regulieren das Hormonsystem, wirken als hormonale Regulations-ebene der Pflanzen, fördern die Zellteilung und Zellstreckung, fördern das

Wachstum und haben antifungale und antimikrobielle Eigenschaften (POURCEL et al. 2007).

Die wichtigen Aussagen aus der Literatur wurden in der Tab. 1 zusammengefasst.

Tab. 1: Wichtige Erkenntnisse aus der Literatur über Befall und Bekämpfung von *P. infestans*

Komplex		Autor; Jahr	Erkenntnis
Physiologie der Kartoffelpflanze	Wasser	KOLBE 1994	Wassermangel im Stadium EC 0-19 beeinträchtigt den Auflauf
		LOON 1981	Trockenheit im Stadium EC 19 - 39 führt zur Abnahme der Blätter, Photosyntheserate, verzögert den Knollenansatz
		JEFFERIES 1995 KASHYAP & PANDA 2002	Trockenstress im Stadium EC 40 - 49 reduziert die Anzahl der angelegten Knollen
		ROTH et al. 1987	ausreichende Wasserversorgung im Stadium EC 50 - 69 erhöht das Einzelknollengewicht
	Nährstoff	HARRIS 1992 MARSCHNER 1995	98% Bedarf der Kartoffelpflanze an Stickstoff wird in Stadium EC 19-39, 40-49 aufgenommen, um das Kraut zu bilden.
		HARRIS 1992 MARSCHNER 1995 TREHAN & GREWAL 1994	Kalium fördert das Sprosswachstum, die Verzweigung, das oberirdische Längenwachstum und erhöht die Anzahl der großen Knollen
Kraut- und Knollenfäule	Ausbreitungs- bedingungen	HOFFMANN & SCHMUTTERER 1999, ULLRICH 1957	optimaler Temperaturbereich für <i>P. infestans</i> - Erreger liegt zwischen 18-23 °C, Luftfeuchtigkeit über 90%
	Ausbreitungs- form	RULLICH 1985 ZWANKHUIZEN et al. 1998	ausgehend von Primärherden entstehen kreisförmige Befallsflecken im Feldbestand
	Infektions- quelle	ADLER 2001	Der Stängelbefall wird von infiziertem Pflanzgut ausgelöst
		CUPSA et al. 1984 ADLER 2001	der Blattbefall kann durch das wachsende Mycel auf der Knollenoberfläche sowie mit Wind und Blattläuse ausgelöst werden
		LACEY 1967 WALMSLEY-WOODWARD et al. 1977	während des Entwicklungsstadiums werden die Knollen auf dem Feld infiziert
	Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule	Bekämpfung des Stängelbefalls	ZELLNER 2006
BÄßLER 2005			Pflanzgutbehandlung mit Fungiziden führt zur Reduktion des Stängelbefalls
Bekämpfung des Blattbefalls		ROßBERG et al. 2002	im konventionellen Kartoffelbau stehen zahlreiche Fungizide zur Verfügung
		MEINCK & KOLBE 1999	Im ökologischen Anbau begrenzt sich die Bekämpfung auf den Einsatz von kupferhaltigen Präparaten
Einsatz von Pflanzenstärkungs- mittel	Fungizide Wirkung	BLAESER et al. 1999 KREBS & FORRER 2001 YANAR et al. 2011	Extrakte aus <i>Salvia officinalis</i> zeigten fungizide Wirkung gegen <i>P. infestans</i>
		ABD-EL-KHAIR et al. 2007	Extrakte aus Zitronengrasblättern hemmten das Wachstum des Myzel von <i>P. infestans</i>
		PARK et al. 2004 SINGH et al. 2008	Chitosan wirkt auf bestimmte Pilzenzyme wie Lysozym, verursachte morphologische und strukturelle Änderung in den Pilzzellen
	Elicitorische Wirkung	NADIA et al. 2007	Ascorbinsäure und Dichlorisonicotinsäure erhöhte die Chitinase- und β -1,3- glucanaseaktivität
		HADWIGER 1999 KOWALSKI et al. 2005 BAUTISTA-BANOS et al. 2011	Chitosan förderte der Synthese von Phytoalexine, Chitinasen und Phenol

3 Zielstellung und Hypothesen

Das Ziel dieser Arbeit ist es, nach Alternativen zu chemischen Schutzmitteln gegen den Befall mit *P. infestans* zu suchen und den dadurch verursachten Schaden durch den Einsatz von den Pflanzenstärkungsmitteln (Chitosan, Potavit, HKS) zu reduzieren sowie den Ertrag zu steigern. Der Arbeit liegen folgende Hypothesen zugrunde:

1. Durch die Pflanzgutvorbehandlung mit dem Elicitor Chitosan wird der Stängelbefall mit *P. infestans* verzögert sowie der Infektionsdruck des Blattbefalls reduziert und die Wirksamkeit der Pflanzenstärkungsmittel erhöht.
2. Durch die kombinierte Anwendung von Pflanzenstärkungsmitteln und chemischen Pflanzenschutzmitteln kann der Blattbefall mit *P. infestans* effektiver als durch den alleinigen Einsatz von chemischen Schutzmitteln reguliert werden. Pflanzenstärkungsmittel regulieren das Wachstum und fördern die pflanzeigenen Abwehrkräfte, während die chemische Behandlung einen direkten Schutz gegen *P. infestans* bietet.
3. Die Wirkung der eingesetzten Mittel wird durch abiotische Faktoren (Witterung, Nährstoffe, territoriale Nachbarschaft der Parzellen) beeinflusst.
4. Die Behandlung auf dem Feld kann über die Ernte hinaus die Haltbarkeit und Vitalität der Kartoffelknollen beeinflussen.

4 Material und Methoden

4.1 Feldversuch

4.1.1 Pflanzenmaterial

Zur Durchführung der Feldversuche wurde die vorwiegend festkochende Sorte Agria (Reifegruppe: mittelfrüh) eingesetzt. Agria hat eine starke Blattentwicklung, einen sehr hohen Gesamt- und Marktwareertrag, sie neigt allerdings zu einem hohen Anteil an Übergrößen und zu einem geringeren Anteil an Untergrößen, besitzt sehr gute Lagereigenschaften, die Anfälligkeit für Krautfäule ist gering und die Anfälligkeit für Schorf ist hoch (MEINCK 1999).

4.1.2 Standort und Witterung in den Versuchsjahren

Die Versuche wurden in der Versuchsstation der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock in den Jahren 2008 und 2009 durchgeführt. Die Versuchsfläche befindet sich in einer ebenen weichselglazialen Grundmoräne, im stark maritim beeinflussten Küstenbereich. Der Bodentyp ist eine Sand-Parabraunerde (KAHLE & KRETSCHMER 1994), die Bodenart ein schwachlehmiger Sand mit 40-41 Bodenpunkten. Der pH-Wert des Bodens schwankte zwischen 5,9 und 6,1. Am Standort fällt eine Jahresniederschlagsmenge in Höhe von durchschnittlich 600 mm, die Durchschnittstemperaturen betragen 8,1°C.

Die Witterung und die ackerbaulichen Maßnahmen wurden in der Tab. 2 und 3 angegeben.

Tab. 2: Monatliche Niederschlagsmengen und Durchschnittstemperaturen während der Vegetationsperiode (April – August) in den Versuchsjahren 2008, 2009, 2010 im Vergleich zu dem langjährigen Mittel (LJM)

Monat	2008		2009		2010		Niederschlag (mm)	Temperatur (°C)
	Niederschlag (mm)	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)	Temperatur (°C)	LJM (1976-2008)	LJM (1976-2008)
April	57,7	7,10	5,00	10,6	12,0	7,4	43,3	7,10
Mai	11,7	12,6	65,5	11,8	90,7	9,0	36,2	12,0
Juni	19,4	15,8	65,7	13,7	34,6	14,8	49,6	14,9
Juli	36,8	18,1	111	17,6	15,3	20,5	72,8	16,9
August	85,0	16,8	35,0	17,7	138	16,6	67,9	16,8

HENNEBERG (2010)

Tab. 3: Ackerbauliche Maßnahmen und Pflanzenschutz

Jahr	2008	2009
Vorfrucht	Dinkel	
Bodenbearbeitung (Herbst)	Pflügen	
Bodenbearbeitung (Frühjahr)	mit Scheibeneggen gelockert mit einer Kombination aus Egge und Krumenpacker begradigt	
Düngung	80 kg N ha ⁻¹ (Kalkammonsalpeter)	80 kg N ha ⁻¹ (Kalkammonsalpeter) 290 kg ha ⁻¹ Patentkali 5 t ha ⁻¹ Kohlensaurer Magnesiumkalk (50% CaCo ₃ , 50%MgCo ₃)
Pflanztermin	06.05.2008	21.04.2009
Mechanische Pflege	Häufeln Hacken/Häufeln	Häufeln Hacken/Häufeln
Pflanzenschutz	Artist im Voraufbau Sencor WG im Nachaufbau	Artist im Voraufbau Sencor WG im Nachaufbau
Pflanzenabstand	30 cm	30 cm
Pflanzendichte	40000 Pflanzen ha ⁻¹	40000 Pflanzen ha ⁻¹
Parzellengröße	12 m ²	12 m ²
Wiederholung	4	4
Erntetermin	26.08.2008	20.08.2009

4.1.3 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Es wurden zwei Versuche je Jahr mit vierfacher Wiederholung durchgeführt. Die Parzellengröße betrug 3 x 4 m. Aus dem Abstand zwischen den Reihen von 75 cm und zwischen den Pflanzen einer Reihe von 30 cm ergab sich eine Bestandsdichte von 40 000 Pflanzen je Hektar. Die Versuche wurden in zwei **Designs** angelegt:

- **Spaltanlage** mit den Faktoren (A) Chitosanpflanzgutvorbehandlung und (B) Krautbehandlung mit Chitosan, Pflanzenschutzmittel des konventionellen Landbaus Akrobat Plus und Shirlan (Fungizidversuch).
- **Blockanlage** mit dem Faktor (A) Krautbehandlung mit Chitosan, Pflanzenextrakten (Potavit, HKS) und mit dem ökologischen Pflanzenschutzmittel Kupferhydroxid (Kupferversuch).

Die Lagepläne der Parzellen sind im Anhang (Abb. A3 und A4) angefügt.

Die **Ausbringung der Präparate** erfolgte mit Hilfe einer Rückenspritze (0,5 mm Düsen, 2 bar). Die eingesetzten Lösungen wurden am Standort vorbereitet. Die verschiedenen Behandlungsprüfglieder sind in Tab. 4 und 5 dargestellt.

Tab. 4: Prüfglieder der zweifaktoriellen Spaltanlage (Fungizidversuch)

FaktorA: Chitosanpflanzgutvorbehandlung		
a1 ohne Chitosanpflanzgutvorbehandlung		a2 mit Chitosanpflanzgutvorbehandlung
Faktor B: Krautbehandlung		
Prüfglieder	Prüfgliederbezeichnung	Regulierungsgruppen
Kontrolle: ohne Behandlung	Ko	Kontrolle
8 mal Chitosan [CBB]	8CBB	PSM
2 mal Akrobat Plus [AP]	2AP	Konventionelle Pflanzenschutzmittel + PSM
2 mal AP und 4 mal CBB	2AP+4CBB	Konventionelle Pflanzenschutzmittel + PSM
2 mal AP und 4 mal Shirlan [S]	2AP+4S	Konventionelle Pflanzenschutzmittel + PSM
2 mal AP, 3 mal S und 1 mal CBB	2AP+3S+1CBB	Konventionelle Pflanzenschutzmittel + PSM
2 mal AP, 2 mal S und 2 mal CBB	2AP+2S+2CBB	Konventionelle Pflanzenschutzmittel + PSM
2 mal AP, 1 mal S und 3 mal CBB	2AP+1S+3CBB	Konventionelle Pflanzenschutzmittel + PSM

PSM = Pflanzenstärkungsmittel

Tab. 5: Prüfglieder der einfaktoriellen Blockanlage (Kupferversuch)

Krautbehandlung	Prüfgliederbezeichnung	Regulierungsgruppen
Kontrolle: ohne Behandlung	Ko	Kontrolle
8 mal Chitosan [CBB]	8CBB	PSM
2 mal Potavit	2Potavit	PSM
2 mal HKS	2HKS	PSM
1kg Kupfer+5 mal CBB	1kgCu+5CBB	Ökologische Pflanzenschutzmittel + PSM
2kg Kupfer+5 mal CBB	2kgCu+5CBB	Ökologische Pflanzenschutzmittel + PSM
3kg Kupfer+5 mal CBB	3kgCu+5CBB	Ökologische Pflanzenschutzmittel + PSM
1kg Kupfer	1kgCu	Ökologische Pflanzenschutzmittel + PSM
2kg Kupfer	2kgCu	Ökologische Pflanzenschutzmittel + PSM
3kg Kupfer	3kgCu	Ökologische Pflanzenschutzmittel + PSM
2 mal Potavit+2kg Kupfer	2Potavit+ 2kgCu	Ökologische Pflanzenschutzmittel + PSM
2 mal Potavit+3kg Kupfer	2Potavit+3kgCu	Ökologische Pflanzenschutzmittel + PSM
2 mal HKS+ 2kg Kupfer	2HKS+2kgCu	Ökologische Pflanzenschutzmittel + PSM
2 mal HKS+3kg Kupfer	2HKS+3kgCu	Ökologische Pflanzenschutzmittel + PSM
2 mal Akrobat Plus+4 mal Shirlan	2AP+4S	Konventionelle Pflanzenschutzmittel + PSM

PSM = Pflanzenstärkungsmittel

4.2 Lagerversuche

Die geernteten Knollen von 10 Pflanzen aus der dritten Reihe (ca. 8 kg) jeder Parzelle wurden im Gewächshaus der Universität Rostock unter suboptimalen Lagerbedingungen frostfrei gelagert. Die Knollen wurden in luftdurchlässige PP-Bändchengewebesäcke gefüllt und mit lichtundurchlässiger schwarzer PE-Folie abgedeckt. Die täglichen Temperaturschwankungen im Lager lagen je nach Witterung im Bereich von 5° C bis 10° C. Die eingelagerten Knollen wurden im Dezember und im März gewogen, wobei faule Knollen erfasst und entfernt wurden. Die auf dem Feld nur mit Chitosan behandelten Prüfglieder wurden im Lager mit verschiedenen Konzentrationen von Chitosan nachbehandelt (Tab. 6). Wichtige Kenngrößen im Lagerversuch waren Braunfäule und Masseverlust.

Tab. 6: Untersuchte Prüfglieder mit Chitosan der Lagerversuche 2008/2009 und 2009/2010

Prüfgliederbezeichnung	Pflanzgutvorbehandlung CPGB	Krautbehandlung CBB	Nacherntebehandlung
K0	0	0	0
K1	0	0	1 g l ⁻¹
K5			5 g l ⁻¹
CPGB	1 g l ⁻¹	0	1 g l ⁻¹
CPGB			5 g l ⁻¹
CBB	0	8 × 1 g l ⁻¹	1 g l ⁻¹
CBB			5 g l ⁻¹
CBB+CPGB	1 g l ⁻¹	8 × 1 g l ⁻¹	1 g l ⁻¹
CBB+CPGB			5 g l ⁻¹

CPGB: Chitosanpflanzgutvorbehandlung, CBB; Chitosanblattbehandlung. Alle Prüfglieder haben vier Wiederholungen

4.3 Nachbauversuch (Nachwirkung der Behandlung vom Vorjahr)

Die eingelagerten Knollen wurden im folgenden Jahr unter ökologischen Bedingungen erneut angebaut, um die Nachbauqualität zu prüfen (12 Knollen von jedem Prüfglied in eine Reihe). Es erfolgte keinerlei zusätzliche Behandlung, um die Wirkungen der Behandlungen im Vorjahr zu prüfen. Wichtige Kenngrößen waren Ertrag, Phytophthorabefall und Schorfbefall. Je Parzelle wurden 10 Pflanzen auf Phytophthorabefall bonitiert. Im September wurde geerntet, gewogen und Schorf erfasst.

4.4 Pflanzenbauliche Prüfmerkmale

In allen Feldversuchen wurden wesentliche pflanzenbauliche Merkmale wie Phytophthorabefall, Knollenertrag, Ertragskomponenten (Knollenzahl, Einzelknollengewicht), Schorfbefall, Stärkegehalt, Krautfrisch- und Trockenmasse und Inhaltstoffe der Krauttrockenmasse erfasst (Tab. 7).

Tab. 7: Übersicht der Prüfmerkmale der Feldversuche

Prüfmerkmale der Knollen			Prüfmerkmale des Krautes		
Bezeichnung	Abkürzung	Einheit	Bezeichnung	Abkürzung	Einheit
Knollenertrag	Ertrag	dt ha ⁻¹	Krautfrischmasse	FM	dt ha ⁻¹
Knollenanzahl je Pflanze	Kno/P	Stück	Krauttrockenmasse	TM	dt ha ⁻¹
Knollengewicht	g/Kno	g	Inhaltstoffe der Trockenmasse	P, K	mg/100 g
				N	g/100 g
Schorfbefall	Schorf	Note	Phytophthorabefall		%
Stärkegehalt	Stärke	%	(drei Termine)		

4.4.1 Bonitur von Kraut- und Knollenfäule (*P. infestans*)

Der Phytophthorabefall wurde prozentual mit einer neunstufigen Skala (nach JAMES 1971) an der kompletten Pflanze ermittelt (Tab. 8). Pro Parzelle wurden 20 Pflanzen (2*10 Pflanzen in den beiden mittleren Reihen jeder Parzelle) bonitiert. In 2008 waren die Boniturtermine am 15. Juli, 21. Juli, und am 31. Juli. In 2009 trat der Befall eine Woche früher auf, somit verfrühten sich in der Folge die Boniturtermine (8. Juli, 20. Juli und 27. Juli).

Tab. 8: Neunstufige Skala für die Phytophthora- Bonitur nach JAMES (1971)

Stufe	Boniturnote	Beschreibung
1	0	Kein Befall mit Blattflecken
2	1	1-10 kleine Flecken je Pflanzen, oder allgemein leichte Fleckigkeit
3	10	Untere Blätter stark befallen, Blattflecken >10 mm
4	25	Von den unteren Blättern fast jedes Fiederblatt mit Flecken, Pflanzen hat noch normale Form und sieht grün aus
5	37,5	Flecken auch im oberen Teil, 50 % Blattfläche der unteren Hälfte zerstört, Pflanze sieht vorwiegend grün aus
6	50	Flecken auch im oberen Teil, 50 % Blattfläche zerstört besonders im unteren Teil, Pflanze braungeflecktes grün
7	75	75 % der Blattfläche zerstört, Blätter der unteren Pflanzenhälfte abgestorben, weder grün noch braun vorherrschend
8	95	Einzelne Blätter noch grün, Stängel grün
9	100	Alle Blätter nekrotisiert, Stängel tot oder absterbend

4.4.2 Kartoffelschorf

Der Knollenbefall mit Kartoffelschorf (*Streptomyces scabies*) wurde gleich nach der Ernte mit Hilfe einer fünfstufigen Skala nach Symptomschwere bonitiert (Tab. 9).

Tab. 9: Fünfstufige Skala des Schorfbefalls

Stufe	Boniturnote %	Beschreibung
1	0	Kein Befall
2	1	Schorfpustel <10 mm Durchmesser, flach
3	2	Schorfpustel >10 mm Durchmesser, flach
4	3	Schorfpustel <10 mm Durchmesser, gewölbt
5	4	Schorfpustel >10 mm Durchmesser, gewölbt
6	5	Tiefe Läsion

4.4.3 Ertragsbestimmung von Kraut und Knollen

Um die **Frischmasse des Krautes** zu bestimmen, wurden am 15. Juli (70-igster Wachstumstag) je Parzelle drei Pflanzen aus der zweiten Reihe abgeschnitten und zusammen gewogen. Zur Ermittlung der **Trockenmasse des Krautes** wurde die gesamte oberirdische Frischmasse jeder Probe bei 60°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und gewogen.

Zur **Knollenertragsermittlung** wurden pro Parzelle 10 Pflanzen (dritte Reihe) per Hand (ca. 110. Wachstumstag) geerntet. In der ersten Septemberwoche wurden Knollenanzahl und Frischmasse bestimmt. Faule Knollen wurden separat erfasst und entfernt.

Frisch- und Trockenmasse des Krautes sowie die Knollenerträge wurden von Parzellenerträgen auf dt ha^{-1} Erträge umgerechnet.

4.4.4 Inhaltsstoffe Kraut

Zur Bestimmung der Nährstoffgehalte des Krautes wurden 2 g von den getrockneten und gemahlenen Pflanzenproben bei 550°C im Muffelofen verascht. Die Asche wurde mit Salzsäure aufgenommen, mit destilliertem Wasser verdünnt, aufgekocht und filtriert. Im Vorfeld der photometrischen P-Bestimmung (Spekol, Carl Zeiss Jena) erfolgte das Anfärben der Lösung mit einem

Molybdat-Vanadat-Gemisch (PAGE et al. 1982). Kalium und Calcium wurden mit dem Flammenphotometer (Elex 6361, Eppendorf), Magnesium mit einem Spektralphotometer (EPOS Analyzer 5060, Eppendorf) (VDLUFA 1997) bestimmt. Die N-Gehaltsbestimmung erfolgte nach Kjeldahl (VDLUFA 1997).

Um 2009 den Einfluss der Kaliumdüngung auf zeitliche Dynamik der anderen Nährstoffe zu ermitteln, wurde das Nährstoffverhältnis nach KOLBE (1997) primär durch die Nährstoffverfügbarkeit im Boden bestimmt. Die flächenbezogene Nährstoffaufnahme wurde kalkuliert.

4.4.5 Stärkegehalt der Knollen

Der Stärkegehalt der Knollen wurde nach der Überwinterung im April mit der Stärkewaage (BRÜCKMANN 1876) über eine Regressionsgleichung nach PUTZ (1989) geschätzt.

4.4.6 Mathematisch-statistische Methoden

Die mathematisch-statistische Auswertung der Daten wurde mit Hilfe des Programms SPSS Version 19 durchgeführt, es kamen folgende analytische Methoden zur Anwendung:

- **Varianzanalyse** mit der Prozedur “GLM – Univariat“ mit zwei Hauptfaktoren (Faktor A: Chitosanpflanzgutvorbehandlung, Faktor B: Krautbehandlung) und deren Wechselwirkung A*B (Chitosanpflanzgutvorbehandlung * Krautbehandlung) einschließlich Mittelwertvergleich aller Prüfglieder mit dem Tukey-Test (Irrtumswahrscheinlichkeit $p < 0,05$).
- **Varianzanalyse** auf Basis der logarithmierten Daten: Nach PIEPHO (1995) zerfällt die Varianz des Ertrages in die Kovarianzen der Ertragskomponenten mit dem Ertrag, wenn von allen Merkmalswerten der natürliche Logarithmus verwendet wird. So setzt sich die Varianz des Knollenertrages durch die Verwendung von Logarithmuswerten aus der Summe der Kovarianz von Knollenzahl/Pflanze plus Kovarianz von Einzelknollengewicht mit dem Ertrag zusammen. Diese Beziehung ist auch auf weitere multiplikative Verknüpfungen von Prüfmerkmalen anwendbar und ermöglicht es, den Variabilitäts- bzw. Stabilitätsgrad von Ertrag und seinen Komponenten zu analysieren.
- **Regressionsanalyse** zur Untersuchung der Abhängigkeit des Ertrages sowie des Stärkegehaltes von mehreren Einflußfaktoren. Die grafische Darstellung einfach-linearer Zusammenhänge erfolgte mit MS-EXCEL (2007).

- **Multivariate und geostatistische Analysen mit der Statistiksoftware PAST 2.12 (HAMMER et al. 2001)**

Um die Varianz innerhalb des sehr komplexen Datenmaterials zu erklären und grafisch zu veranschaulichen, wurden die Faktorenanalyse sowie die Multivariate Varianzanalyse (MANOVA/CVA) mit Hilfe von 0-1 standardisierten Werten der Variablen durchgeführt. Die vielstufigen Varianten der beiden Versuche wurden in vier Regulierungsgruppen zusammengefasst (Kontrolle, PSM (Pflanzenstärkungsmittel), konventionelle Pflanzenschutzmittel + PSM, ökologische Pflanzenschutzmittel + PSM). Für die gesamten Maßdaten der wichtigsten Prüfmerkmale in beiden Jahren wurde Biplot zweifaktoriellen multivariaten Varianzanalyse erstellt.

Da alle Versuchsdaten auch flächenmäßig in 2D-Diagrammen (nach der Lage der Parzellen auf der Versuchsfläche) angeordnet werden können, kam die Spatial-Interpolation mit dem Kriging-Algorithmus zur Anwendung. Die räumliche Kartierung für die Ausbreitung des Phytophthorabefalls auf die Versuchsfläche erfolgte mit einer farbig abgestuften Skala und mit über die Versuchsfläche gelegten Konturlinien gleichen Befalls.

5 Ergebnisse

5.1 Ergebnisse des Hauptversuches auf dem Feld 2008 und 2009

5.1.1 Einfluss der Behandlung auf die geprüften Merkmale

5.1.1.1 Befallssituation mit *P. infestans*

Die Befallssituation in den Jahren 2008 und 2009 war dadurch charakterisiert, dass auf dem Feld kein Stängelbefall mit *P. infestans* auftrat. Der Blattbefall am Kartoffelkraut trat in beiden Jahren spät (Juli) auf, so dass die ersten Bonituren am 15. Juli 2008 bzw. 8. Juli 2009 erfolgten. Es herrschten in beiden Jahren keine günstigen Bedingungen, die eine rasche Ausbreitung der Infektion mit *P. infestans* förderten. Trotz des niedrigen Infektionsdruckes in beiden Jahren führten die jeweiligen Witterungsbedingungen zu unterschiedlichen Befallsverläufen bei *P. infestans*. Aufgrund der unterschiedlichen Witterungsverläufe in den beiden Versuchsjahren und der verschiedenen Befallsniveaus zwischen den beiden Versuchen erfolgte die statistische Verrechnung getrennt nach Jahren und Versuchen. Die Ergebnisse können den Tabellen 10 bis 13 entnommen werden.

5.1.1.2 Einfluss der Behandlung aus dem Fungizidversuch auf den Befall mit *P. infestans*, den Kraut- und Knollenertrag sowie auf die Knollenqualität

Im Jahr 2008 lag der durchschnittliche Befall mit *P. infestans* am ersten Boniturtermin (15. Juli) bei den meisten Prüfgliedern aus dem Fungizidversuch unter 10 % (Tab. 10). Dabei konnte der Befall nur an den unteren Blättern festgestellt werden. Auch zum zweiten Boniturtermin am 21. Juli war der Befall mit unter 20 % außer dem Prüfglied Chitosanblattbehandlung (CBB 21,9 %) noch relativ niedrig. Erst nach Zunahme des Infektionsdruckes ab Ende Juli / Anfang August erreichte der Befall eine Stärke von über 50 %, außer beim Prüfglied 2AP+4S (39,3 %) der Faktorstufe a2: Mit Chitosanpflanzgutvorbehandlung (Tab. 10). Zu diesem Zeitpunkt waren die Pflanzenbestände bereits in der Phase der Abreife, so dass die Ertragsbildung weitestgehend abgeschlossen war. Es konnten keine signifikanten Unterschiede für den Phytophthorabefall und den Knollenertrag für die beiden geprüften Faktoren (Chitosanpflanzgutvor- und Krautbehandlung) im Fungizidversuch festgestellt werden (Tab. A2, Tab. 10). Es ergaben sich auch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Stufen

der beiden Faktoren (Chitosanpflanzgutvor- und Krautbehandlung). Bei der Chitosanpflanzgutvorbehandlung (Faktorstufe a2) wurde ein signifikant niedrigerer Krautrockenmasseertrag (Kraut-TM) und ein signifikant höherer Stärkegehalt im Vergleich zur Faktorstufe a1 ohne Chitosanpflanzgutvorbehandlung festgestellt.

Für den Schorfbefall, der ein wichtiger Parameter für die äußere Knollenqualität ist, konnte im Fungizidversuch 2008 keine nachweisbare Wirkung für die zwei Prüffaktoren Chitosanpflanzgutvorbehandlung (Faktor A) und Krautbehandlung (Faktor B) ermittelt werden.

Tab. 10: Wirkung der Chitosanpflanzgutvorbehandlung (Faktor A) und der Krautbehandlung (Faktor B) auf den Phytophthorabefall, den Kraut- und Knollenertrag, den Schorfbefall und den Stärkegehalt der Knollen für das Jahr 2008.

Faktor A: Pflanzgut- vorbehandlung	Faktor B: Krautbehandlung	Kartoffelknollen				Kartoffelkraut		
		Ertrag	Stärke	Schorf	Kraut-TM	Phytophthorabefall (%)		
		(dt ha ⁻¹)	(% in FM)	(Note)	(dt ha ⁻¹)	Bonitur1 15 Juli	Bonitur2 21 Juli	Bonitur3 31 Juli
		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
a1 ohne Chitosan Pflanzgutvor- behandlung	Ko	299	15,6	1,51	10,2	9,00	15,3	64,0
	8CBB	273	15,9	1,91	16,5	8,10	14,7	62,4
	2AP	260	15,8	1,43	10,8	9,50	16,1	57,9
	2AP+4CBB	294	15,8	1,34	12,8	8,60	13,4	53,9
	2AP+4S	272	15,2	1,50	12,7	9,10	13,9	54,5
	2AP+3S+1CBB	286	15,5	1,61	15,0	11,0	16,1	57,6
	2AP+2S+2CBB	278	14,1	1,91	17,6	10,7	15,5	62,2
	2AP+1S+3CBB	273	15,4	1,62	10,3	7,20	12,8	60,9
	Mittelwert	279	15,4	a 1,62	13,3 a	9,20	14,8	59,2
a2 mit Chitosan Pflanzgutvor- behandlung	Ko	257	17,2	1,23	10,8	6,80	14,1	54,2
	8CBB	261	17,2	1,52	8,90	12,9	21,9	59,9
	2AP	271	16,2	1,31	11,7	8,90	16,9	52,3
	2AP+4CBB	235	16,8	1,22	8,40	10,5	19,7	61,5
	2AP+4S	253	15,5	1,72	8,60	5,20	9,60	39,3
	2AP+3S+1CBB	218	16,7	1,43	8,40	8,10	15,8	52,6
	2AP+2S+2CBB	307	16,8	1,41	9,20	7,90	13,9	55,4
	2AP+1S+3CBB	256	17,2	1,62	10,4	7,20	15,6	61,4
	Mittelwert	257	16,7	b 1,46	9,55 b	8,44	15,9	54,6

Ko = unbehandelte Kontrolle, CBB = Chitosanblattbehandlung, AP = Akrobat Plus, S = Shirlan, Ziffern vor den Behandlungsstufen kennzeichnen die Anzahl der Spritzungen, unterschiedliche Kleinbuchstaben hinter den Mittelwerten zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Pflanzgutvorbehandlungsprüfgliedern ($p \leq 0,05$, Tukey-Test nach zweifaktorieller Varianzanalyse), ns = nicht signifikant

Im Jahr 2009 lag der durchschnittliche Befall mit *P. infestans* zum ersten Boniturtermin bereits bei den meisten Prüfgliedern im Fungizidversuch über 15 %, wobei die Ertragsbildung noch nicht abgeschlossen war (Tab. 11).

Im Gegensatz zu 2008 zeigten sich 2009 bei keinem der untersuchten Parameter signifikante Unterschiede für den Faktor Chitosanpflanzgutvorbehandlung. Dagegen zeigte der Faktor Krautbehandlung im Jahr 2009 signifikante Unterschiede für die Parameter Ertrag, Stärkegehalt der Knollen und für den Phytophthorabefall (Boniturtermine 2 und 3) (Tab. A3, Tab. 11). Zum dritten Boniturtermin am 27. Juli wiesen alle Prüfglieder auf Basis des Einsatzes des konventionellen Pflanzenschutzmittels (mit Ausnahme der Prüfglieder 2AP+4CBB und 2AP) bei der Chitosanpflanzgutvorbehandlung (Faktorstufe a2) einen signifikant niedrigeren Phytophthorabefall auf als die unbehandelte Kontrolle. Die alleinige Chitosanblattbehandlung (8 CBB) führte zu keinem signifikant reduzierten Phytophthorabefall im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle und zu keinem signifikant erhöhten Ertrag. Alle Prüfglieder hatten einen tendenziell höheren Ertrag als die unbehandelte Kontrolle mit Signifikanzen bei den Prüfgliedern 2AP+4S, 2AP+3S+1CBB und 2AP+2S+2CBB der Faktorstufe a2 (mit Chitosanpflanzgutvorbehandlung) und dem Prüfglied 2AP+3S+1CBB der Faktorstufe a1 (ohne Chitosanpflanzgutvorbehandlung).

Beim Stärkegehalt unterschied sich nur das Prüfglied 2AP+4S signifikant von der unbehandelten Kontrolle (Ko). Für den Schorfbefall wurden ebenfalls im Jahr 2009 keine signifikanten Unterschiede für die beiden geprüften Faktoren (Chitosanpflanzgutvor- und Krautbehandlung) festgestellt (Tab. 11).

Tab. 11: Wirkung der Chitosanpflanzgutvorbehandlung (Faktor A) und der Krautbehandlung (Faktor B) auf den Phytophthorabefall, den Kraut- und Knollenertrag, den Schorfbefall und den Stärkegehalt der Knollen für das Jahr 2009.

Faktor A Pflanzgut- vorbehandlung	Faktor B: Krautbehandlung	Kartoffelknollen						Kartoffelkraut						
		Ertrag		Stärke		Schorf	Kraut-TM	Phytophthorabefall (%)						
		(dt ha ⁻¹)		(% in FM)		(Note)	(dt ha ⁻¹)	Bonitur1 8 Juli	Bonitur2 20 Juli		Bonitur3 27 Juli			
		s		s		ns		ns	ns		s		s	
a1 ohne Chitosan Pflanzgutvor- behandlung	Ko	336	a	16,5	a	2,44	16,1	19,0	35,4	a	68,8	c		
	8CBB	357	ab	17,6	ab	2,63	16,1	15,5	30,9	a	52,2	bc		
	2AP	394	ab	16,8	a	2,18	17,5	14,6	27,7	a	41,1	ab		
	2AP+4CBB	362	ab	17,9	ab	2,19	16,9	15,1	26,6	a	42,3	ab		
	2AP+4S	409	ab	20,1	b	1,94	20,9	14,6	27,1	a	31,1	a		
	2AP+3S+1CBB	424	b	18,9	ab	2,05	17,9	15,1	22,5	a	36,6	ab		
	2AP+2S+2CBB	390	ab	18,7	ab	2,39	15,5	14,9	24,5	a	30,8	a		
	2AP+1S+3CBB	406	ab	18,9	ab	2,16	16,9	13,0	25,2	a	35,7	ab		
Mittelwert		386	a	18,2	a	2,20	17,2	15,2	27,2	a	41,4	a		
a2 mit Chitosan Pflanzgutvor- behandlung	Ko	326	a	16,8	a	2,46	18,6	16,9	31,8	b	63,1	bc		
	8CBB	348	ab	18,5	ab	2,91	17,8	19,9	27,6	ab	64,3	c		
	2AP	398	ab	18,8	ab	2,37	18,4	14,6	22,8	ab	50,6	abc		
	2AP+4CBB	398	ab	19,1	ab	2,18	17,5	13,5	17,2	a	41,6	ab		
	2AP+4S	427	b	19,8	b	2,46	16,3	13,3	22,9	ab	32,7	a		
	2AP+3S+1CBB	430	b	19,4	ab	2,60	15,8	18,4	25,7	ab	40,8	a		
	2AP+2S+2CBB	402	b	17,4	ab	2,55	17,3	19,1	28,1	ab	38,1	a		
	2AP+1S+3CBB	383	ab	18,4	ab	2,44	19,3	20,9	25,5	ab	40,6	a		
Mittelwert		389	a	18,5	a	2,50	17,6	17,1	25,4	a	46,5	a		

Ko = unbehandelte Kontrolle, CBB = Chitosanblattbehandlung, AP = Akrobat Plus, S = Shirlan, Ziffern vor den Behandlungsstufen kennzeichnen die Anzahl der Spritzungen, unterschiedliche Kleinbuchstaben hinter den Mittelwerten zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Krautbehandlungsprüfgliedern ($p \leq 0,05$, Tukey-Test nach zweifaktorieller Varianzanalyse), ns = nicht signifikant, s = signifikant

5.1.1.3 Wirkung der Behandlung aus dem Kupferversuch auf den Phytophthorabefall, den Kraut- und Knollenertrag sowie Knollenqualität

Im Kupferversuch wurde im Vergleich zum Fungizidversuch in beiden Versuchsjahren ein höherer Befall ermittelt. Die verschiedenen Krautbehandlungen im Kupferversuch bewirkten im Jahr 2008 keine signifikanten Unterschiede bei Phytophthorabefall, Krautrockenmasse (Kraut-TM), Knollenertrag und Stärkegehalt der Knollen, sowohl im Vergleich miteinander als auch im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (Tab. 12). Für den Schorfbefall wurden signifikante Unterschiede zwischen den Prüfgliedern festgestellt, aber diese Unterschiede

können nicht mit der Wirkung der unterschiedlichen Krautbehandlungen erklärt werden (Tab. 12).

Tab. 12: Wirkung der Krautbehandlung auf den Phytophthorabefall, den Kraut- und Knollenertrag, den Schorfbefall und den Stärkegehalt der Knollen für das Jahr 2008.

Prüfglieder	Kartoffelknollen				Kartoffelkraut			
	Ertrag	Stärke	Schorf	Kraut-TM	Phytophthorabefall (%)			
	(dt ha ⁻¹)	(% in FM)	(Note)	(dt ha ⁻¹)	Bonitur1 15 Juli	Bonitur2 21 Juli	Bonitur3 31Juli	
	ns	ns	s		ns	ns	ns	
Ko	278	15,6	1,80	d	10,4	13,2	20,1	81,0
8CBB	280	15,9	1,63	cd	9,94	14,4	22,7	84,0
1kgCu+5CBB	323	14,8	0,87	ab	12,4	11,9	15,6	78,9
2kgCu+5CBB	317	15,3	0,71	a	11,8	16,2	21,7	89,3
3kgCu+5CBB	290	15,2	1,00	abc	12,5	14,2	19,5	83,3
2AP+4S	314	14,5	1,53	bcd	14,3	15,6	22,4	72,1
2Potavit	265	14,9	2,03	d	9,65	11,0	15,8	76,9
2HKS	290	15,4	1,04	abc	8,79	14,6	19,4	83,5
1kgCu	290	13,8	1,01	abc	11,5	12,0	20,1	81,4
2kgCu	293	14,9	0,89	ab	8,85	12,8	18,0	73,8
3kgCu	296	15,0	0,81	ab	11,4	12,0	18,0	77,5
2Potavit+ 2kgCu	274	15,1	0,83	ab	11,5	12,9	18,4	79,3
2Potavit+3kgCu	307	14,5	0,94	abc	10,8	11,0	14,6	100
2HKS+2kgCu	286	14,7	0,85	ab	11,7	12,8	18,8	78,1
2HKS+3kgCu	303	14,4	0,98	abc	13,4	11,8	20,4	85,7

Ko = unbehandelte Kontrolle, CBB = Chitosanblattbehandlung, AP = Akrobat Plus, S = Shirilan, Cu = Kupferhydroxid, Ziffern vor den Behandlungsstufen kennzeichnen die Anzahl der Spritzungen, unterschiedliche Kleinbuchstaben hinter den Mittelwerten zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Krautbehandlungsprüfgliedern ($p \leq 0,05$, Tukey-Test nach einfaktorieller Varianzanalyse), ns = nicht signifikant, s = signifikant

Im Jahr 2009 war der Befall des Prüfgliedes (2AP+4S) (34,1 %) zum dritten Boniturtermin signifikant niedriger als der Befall der unbehandelten Kontrolle (Ko 82 %) und der übrigen Prüfglieder (Tab. 13). Dies führte zu einem höheren Stärkegehalt, der allerdings nicht signifikant verschieden von der unbehandelten Kontrolle war. Der Knollenertrag von 2AP+4S und der Kontrolle war gleich (Tab. 13). Der Phytophthorabefall sowie der Knollenertrag der Prüfglieder mit unterschiedlichen Kupferhydroxidmengen war nicht signifikant unterschiedlich sowohl voneinander als auch im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. Sowohl die alleinige Behandlung mit Chitosan, Potavit und HKS als auch die Kombination mit Kupferhydroxid hatte keinen nachweisbaren Einfluss auf den Kraut- und

Knollenertrag sowie auf den Phytophthora- und Schorfbefall. Die alleinige Behandlung mit HKS zeigte einen signifikant niedrigeren Stärkegehalt im Vergleich zu dem Prüfglied 2AP+4S. Signifikante Unterschiede bei Ertrag, Krautrockenmasse (Kraut-TM) und Schorfbefall zwischen den Prüfgliedern konnten statistisch nicht nachwiesen werden (Tab. 13).

Tab. 13: Wirkung der Krautbehandlung auf den Phytophthorabefall, den Kraut- und Knollenertrag, den Schorfbefall und den Stärkegehalt der Knollen für das Jahr 2009.

Prüfglieder	Kartoffelknollen				Kartoffelkraut			
	Ertrag	Stärke	Schorf	Kraut-TM	Phytophthorabefall (%)			
	(dt ha ⁻¹)	(% in FM)	Note	(dt ha ⁻¹)	Bonitur1 8 Juli	Bonitur2 20 Juli	Bonitur3 27 Juli	
	ns	s	ns	ns	ns	ns	s	
Ko	343	17,7	ab	1,48	16,9	23,5	35,8	82,0 b
8CBB	364	17,9	ab	1,29	17,1	24,2	33,1	78,4 b
1kgCu+5CBB	346	18,0	ab	1,43	13,7	22,7	33,6	73,7 b
2kgCu+5CBB	327	18,3	ab	2,16	14,4	23,6	33,8	73,8 b
3kgCu+5CBB	336	17,7	ab	1,60	17,4	22,7	32,0	65,7 b
2AP+4S	343	19,8	b	1,45	17,1	18,4	28,8	34,1 a
2Potavit	365	17,9	ab	1,75	18,6	21,9	36,3	78,0 b
2HKS	342	17,2	a	1,09	18,8	24,2	34,6	80,0 b
1kgCu	344	18,0	ab	1,52	19,3	20,9	30,1	76,9 b
2kgCu	339	17,6	ab	1,47	15,8	18,3	31,9	65,1 b
3kgCu	358	18,0	ab	1,77	18,7	22,1	32,6	69,9 b
2Potavit+ 2kgCu	332	17,7	ab	1,79	15,3	24,1	34,1	70,1 b
2Potavit+3kgCu	337	18,6	ab	2,73	13,1	25,0	33,4	64,5 b
2HKS+2kgCu	369	18,5	ab	1,92	15,0	19,8	30,3	66,5 b
2HKS+3kgCu	355	17,9	ab	2,38	16,6	16,3	30,1	68,6 b

Ko = unbehandelte Kontrolle, CBB = Chitosanblattbehandlung, AP = Akrobat Plus, S = Shirilan, Cu = Kupferhydroxid, Ziffern vor den Behandlungsstufen kennzeichnen die Anzahl der Spritzungen, unterschiedliche Kleinbuchstaben hinter den Mittelwerten zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Krautbehandlungsprüfgliedern ($p \leq 0,05$, Tukey-Test nach einfaktorieller Varianzanalyse), ns = nicht signifikant, s = signifikant

Im Kupferversuch war der Phytophthorabefall in den beiden Versuchsjahren vergleichsweise höher als im Fungizidversuch. So wurden 2009 im Fungizidversuch durchschnittlich 50 dt ha⁻¹ mehr Knollen geerntet. Prüfglieder des Kupferversuchs hatten in den beiden Jahren einen niedrigeren Schorfbefall gezeigt als die Prüfglieder im Fungizidversuch. Beim Vergleich der Kraut- und

Knollenerträge sowie des Stärkegehaltes und des Schorfbefalls der Knollen der beiden Versuchsjahren (Mittelwerte von Tab. 10, Tab. 11, Tab. 12, Tab. 13 im Vergleich) wird deutlich, dass diese 2009 deutlich höher ausfielen als 2008.

5.1.1.4 Einfluss der Behandlung auf den Nährstoffgehalt des Krautes

Im Fungizidversuch hat die Krautbehandlung (Faktor B) mit allen geprüften Mitteln in den beiden Jahren keine signifikante Wirkung auf die Nährstoffkonzentration in der Trockenmasse des Krautes am 70. Vegetationstag (Tab. 14). Lediglich bei der Chitosanpflanzgutvorbehandlung (Faktorstufe a2) wurde im Jahr 2008 beim Phosphor ein signifikant niedrigerer Gehalt festgestellt.

Tab. 14: Wirkung der Chitosanpflanzgutvorbehandlung (Faktor A) und der Krautbehandlung (Faktor B) auf den Nährstoffgehalt in der Krauttrockenmasse jeweils nach der Blüte am 15. Juli (70. Vegetationstag, 2008 und 2009).

Faktor A Pflanzgutvor- behandlung	Faktor B Krautbehandlung	2008			2009		
		P mg/100 g	K mg/100 g	N g/100 g	P mg/100 g	K mg/100 g	N g/100 g
		ns	ns	ns	ns	ns	ns
a1 ohne Chitosanpflanzgut- vorbehandlung	Kontrolle	200	1744	3,39	170	2756	2,39
	8CBB	231	2361	3,34	168	2833	2,47
	2AP	211	2225	3,23	180	2952	2,60
	2AP+4CBB	226	2429	3,26	157	2796	2,49
	2AP+4S	223	2175	3,29	186	3087	2,38
	2AP+3S+1CBB	227	2218	3,14	170	3063	2,55
	2AP+2S+2CBB	223	2133	3,23	186	2607	2,72
	2AP+1S+3CBB	204	2135	3,18	180	2883	2,35
	Mittelwert	218 a	2178	3,30	175	2872	2,50
a2 mit Chitosanpflanzgut- vorbehandlung	Kontrolle	207	2418	3,23	164	2803	2,58
	8CBB	206	2072	3,35	175	2827	2,36
	2AP	200	2299	3,26	163	3279	2,51
	2AP+4CBB	195	2156	3,40	169	2882	2,38
	2AP+4S	196	2533	3,37	156	2765	2,41
	2AP+3S+1CBB	203	2300	3,23	167	3136	2,46
	2AP+2S+2CBB	226	1781	3,24	170	2650	2,37
	2AP+1S+3CBB	205	2209	3,24	179	2932	2,46
	Mittelwert	205 b	2221	3,30	168	2909	2,40

Ko = unbehandelte Kontrolle, CBB = Chitosanblattbehandlung, AP = Akrobat Plus, S = Shirlan, Ziffern vor den Behandlungsstufen kennzeichnen die Anzahl der Spritzungen, unterschiedliche Kleinbuchstaben hinter den Mittelwerten zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Pflanzgutvorbehandlungsprüfgliedern ($p \leq 0,05$, Tukey-Test nach zweifaktorieller Varianzanalyse), ns = nicht signifikant

Von Bedeutung für die Kartoffelpflanze sind neben den Nährstoffgehalten im Kraut die Nährstoffverhältnisse und die flächenbezogene Nährstoffaufnahme, die sich aus der Nährstoffkonzentration und dem Massenaufwuchs kalkulieren lässt (Tab. 15).

Tab. 15: Kalkulation zum Effekt der Nährstoffproportionen von Kalium, Phosphor und Stickstoff beim Kraut- und Knollenertrag für 2008 und 2009. Ergebnisse aus dem Fungizidversuch.

Merkmale:		2008		2009	
		a1	a2	a1	a2
Erwarteter Ertrag nach dem 70. Tag (35 %)	dt ha ⁻¹	97,8	90,0	135	136
Krautertrag am 70. Tag	dt TM ha ⁻¹	13,2	9,24	17,3	17,9
K.Gehalt im Kraut am 70. Tag	mg/100 g TM	2177	2221	2872	2909
P-Gehalt im Kraut am 70. Tag	mg/100 g TM	218	205	175	168
N-Gehalt im Kraut am 70. Tag	g/100 g TM	3,30	3,30	2,50	2,40
Verhältnis K:P		10,0	10,8	16,4	17,3
Verhältnis K:N		0,66	0,67	1,15	1,21
Kaliummenge in der Krautmasse am 70. Tag	kg ha ⁻¹	28,6	20,5	49,7	51,9
Phosphormenge in der Krautmasse am 70. Tag	kg ha ⁻¹	2,87	1,89	3,03	3,00
Stickstoffmenge in der Krautmasse am 70. Tag	kg ha ⁻¹	43,4	30,5	43,2	42,8
Kaliummenge im Kraut für den erwarteten Ertrag	kg K/dt Knollen	0,29	0,23	0,37	0,38
Phosphormenge im Kraut für den erwarteten Ertrag	kg P/dt Knollen	0,03	0,02	0,02	0,02
Stickstoffmenge im Kraut für für den erwarteten Ertrag	kg N/dt Knollen	0,44	0,34	0,32	0,31

a1 ohne Chitosanpflanzgutvorbehandlung, a2 mit Chitosanpflanzgutvorbehandlung

Die Kaliumdüngung im Jahr 2009 bewirkte eine ausreichende Kaliumversorgung, was zu deutlich höheren K-Gehalten im Kraut im Vergleich zum Jahr 2008 führte (Tab. 14). Darüber hinaus hatte die Kaliumdüngung dazu beigetragen, dass das K:P und K:N Verhältnis im Kraut (Tab. 15) im Jahr 2009 mit 16,4 bzw. 17,3 zu 1 und 1,15 bzw. 1,21 zu 1 erheblich weiter war als im Jahr 2008 mit 10 bzw. 10,8 zu 1 und 0,66 bzw. 0,67 zu 1. Die Krautmasse als zweite Komponente der Nährstoffaufnahme hatte die Nährstoffmenge im Kraut am 70. Vegetationstag ebenfalls stark beeinflusst. Die Nährstoffmengen im Kraut am 70. Vegetationstag bei Faktorstufe a2 (mit Chitosanpflanzgutvorbehandlung) waren 2008 wegen der geringeren Krautmasse deutlich niedriger. Wenn unterstellt wird, dass am 70. Vegetationstag etwa 65 % des Knollenertrages bereits gebildet sind (KOLBE 1997) und die zu diesem Zeitpunkt im Kraut gespeicherte

Nährstoffmenge dem noch zu erwarteten Knollenzuwachs gegenübergestellt wird, ergeben sich die in Tab. 15 kalkulierten Proportionen.

Im Kupferversuch wurden 2008 für die Prüfglieder signifikante Unterschiede beim Nährstoffgehalt beobachtet, was jedoch nicht auf die unterschiedlichen Krautbehandlungen zurückgeführt werden kann. 2009 traten diese signifikanten Unterschiede nicht wieder auf (Tab. 16).

Tab. 16: Wirkung der Krautbehandlung auf den Nährstoffgehalt in der Krautrockenmasse jeweils nach der Blüte am 15. Juli (70. Vegetationstag) 2008 und 2009.

Püfglieder	2008						2009		
	P mg/100 g		K mg/100 g		N g/100 g		P mg/100 g	K mg/100 g	N g/100 g
	s		s		s		ns	ns	ns
Ko	224	d	1485	a	3,20	a	188	2386	2,40
8CBB	245	f	1787	bc	3,10	a	171	2085	2,46
1kgCu+5CBB	214	c	2285	e	3,20	ab	180	2585	2,73
2kgCu+5CBB	204	b	2081	de	3,30	bc	174	2172	2,64
3kgCu+5CBB	205	bc	2182	f	3,10	a	175	2221	2,60
2AP+4S	206	bc	1926	cd	3,13	a	183	2438	2,70
2Potavit	208	bc	1876	bcd	3,40	d	184	2182	2,56
2HKS	213	bc	1748	bc	3,52	f	171	2085	2,50
1kgCu	208	bc	1660	ab	3,30	cd	177	2142	2,43
2kgCu	234	f	2203	e	3,50	ef	181	2378	2,52
3kgCu	233	de	1455	a	3,30	cd	171	2145	2,49
2Potavit+ 2kgCu	193	a	1863	f	3,30	cd	175	2588	2,40
2Potavit+3kgCu	238	ef	2312	e	3,30	cd	174	2398	2,84
2HKS+2kgCu	193	a	1738	bc	3,20	a	178	1959	2,74
2HKS+3kgCu	205	bc	1745	bc	3,30	bc	182	2143	2,43

Ko = unbehandelte Kontrolle, CBB = Chitosanblattbehandlung, AP = Akrobat Plus, S = Shiran, Cu = Kupferhydroxid, Ziffern vor den Behandlungsstufen kennzeichnen die Anzahl der Spritzungen, unterschiedliche Kleinbuchstaben hinter den Mittelwerten zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Krautbehandlungsprüfglieder ($p \leq 0,05$, Tukey-Test nach einfaktorieller Varianzanalyse), ns = nicht signifikant, s = signifikant

Die Kaliumversorgung führte ebenfalls zur Erhöhung des Kaliumgehaltes im Kraut. Diese Erhöhung war aber weniger stark ausgeprägt als im Fungizidversuch (Tab. 15, Tab. 17 im Vergleich). In der Folge waren das K:P und K:N Verhältnis im Kraut im Jahr 2009 mit 12,3 bzw. 0,85 zu 1 auch leicht erhöht im Vergleich zu 9,1 bzw. 0,60 zu 1 im Jahr 2008 (Tab. 17).

Tab. 17: Kalkulation zum Effekt der Nährstoffproportionen von Kalium, Phosphor und Stickstoff beim Kraut- und Knollenertrag für 2008 und 2009. Ergebnisse aus dem Kupferversuch.

Mekmale		2008	2009
Erwarteter Ertrag nach dem 70. Tag (35 %)	dt ha ⁻¹	103	121
Krautertrag am 70. Tag	dt TM ha ⁻¹	11,3	16,4
K.Gehalt im Kraut am 70. Tag	mg/100 g TM	1951	2207
P-Gehalt im Kraut am 70. Tag	mg/100 g TM	214	179
N-Gehalt im Kraut am 70. Tag	g/100 g TM	3,25	2,61
Verhältnis K:P		9,12	12,3
Verhältnis K:N		0,60	0,85
Kaliummenge in der Krautmasse am 70. Tag	kg ha ⁻¹	22,1	36,1
Phosphormenge in der Krautmasse am 70. Tag	kg ha ⁻¹	2,42	2,93
Stickstoffmenge in der Krautmasse am 70. Tag	kg ha ⁻¹	36,8	42,7
Kaliummenge im Kraut für den erwarteten Ertrag	kg K/dt Knollen	0,21	0,30
Phosphormenge im Kraut für den erwarteten Ertrag	kg P/dt Knollen	0,02	0,02
Stickstoffmenge im Kraut für für den erwarteten Ertrag	kg N/dt Knollen	0,36	0,35

Die Nährstoffmenge in der Krautmasse bzw. die aufgenommenen Nährstoffe und deren Wirkung auf den Ertrag wird in dem folgenden Abschnitt ausführlich betrachtet.

5.1.2 Einfluss der exogenen Faktoren auf die geprüften Merkmale in Abhängigkeit der Behandlung

Im Feldversuch können viele abiotische Faktoren auftreten und die Ergebnisse des Versuchs in einigen Fällen stark beeinflussen. In diesem Abschnitt soll dargestellt werden, inwieweit die exogenen Faktoren (Witterung, Nährstoff- und Wasserversorgung, Phytophthora-Ausbreitungsform) in den beiden Jahren die untersuchten Merkmale in Abhängigkeit der Behandlung beeinflusst haben. Die vielstufigen Prüfglieder in den beiden Versuchen wurden zu vier Regulierungsgruppen zusammengefasst, um grundsätzliche Unterschiede zwischen ihnen aufzuzeigen:

- 1- Kontrolle: ohne Behandlung
- 2- PSM: Pflanzenstärkungsmittel
- 3- Ökologische Pflanzenschutzmittel + PSM.
- 4- Konventionelle Pflanzenschutzmittel + PSM

Es bietet sich dementsprechend an, multivariate sowie zeit- und flächenbezogene Analysen mit dem aufwendig zusammengetragenen Datenmaterial durchzuführen.

5.1.2.1 Einfluss des Witterungsverlaufes auf die Befallsdynamik von *P. infestans*

In diesem Kapitel wird der Einfluss der Witterung in den beiden Versuchsjahren auf die Befallsentwicklung im Vergleich der vier Regulierungsgruppen (Kontrolle, PSM, konventionelle Pflanzenschutzmittel + PSM, ökologische Pflanzenschutzmittel + PSM) dargestellt. In beiden Versuchsjahren gab es keinen frühzeitigen Infektionsdruck mit *P. infestans*. Die Bedingungen für eine Ausbreitung von *P. infestans* waren in den beiden Jahren erst im Monat Juli gegeben und werden deshalb detaillierter in den zwei Abbildungen dargestellt (Abb. 3 und 4). In 2008 war der Witterungsverlauf im Monat Juli (Abb. 3) mit nur geringen Niederschlägen ab der zweiten Pentade, begleitet von Temperaturen unterhalb des in den Abbildungen 3 und 4 ausgewiesenen optimalen Bereiches eher ungünstig für die Befallsausbreitung. Alle Regulierungsgruppen (Kontrolle, PSM, konventionelle Pflanzenschutzmittel + PSM, ökologische Pflanzenschutzmittel + PSM) haben zum ersten sowie zweiten Boniturtermin am 15. und 21. Juli einen relativ niedrigen Befall (9 bis 13 %, 16 bis 20 %). Zum dritten Boniturtermin am 31. Juli wiesen drei Regulierungsgruppen einen vergleichbar hohen Befall (Kontrolle 70 %, ökologische Pflanzenschutzmittel + PSM 80 %, PSM 75 %) mit *P. infestans* auf, wobei die Regulierungsgruppe auf Basis der konventionellen Pflanzenschutzmittel einen deutlich geringeren Befall (konventionelle Pflanzenschutzmittel + PSM 57 %) mit *P. infestans* verzeichnete (Abb. 3). Der Monat Juli 2009 war im Vergleich zu 2008 durch wesentlich höhere Niederschlagsmengen gekennzeichnet. So trat der Befall mit *P. infestans* eine Woche eher auf. Zum ersten (8. Juli) sowie zum zweiten Boniturtermin (20. Juli) konnten keine Unterschiede im Befall durch *P. infestans* in Abhängigkeit von der Krautbehandlung festgestellt werden. Bei der weiteren Ausbreitung der Krautfäule zum dritten Boniturtermin (27. Juli) brachte die Behandlung mit konventionellen Pflanzenschutzmitteln + PSM sichtbare und signifikante Effekte (38 %) im Vergleich zu den anderen Regulierungsgruppen (Kontrolle 74 %, PSM 72 %, ökologische Pflanzenschutzmittel + PSM 70 %) (Abb. 4).

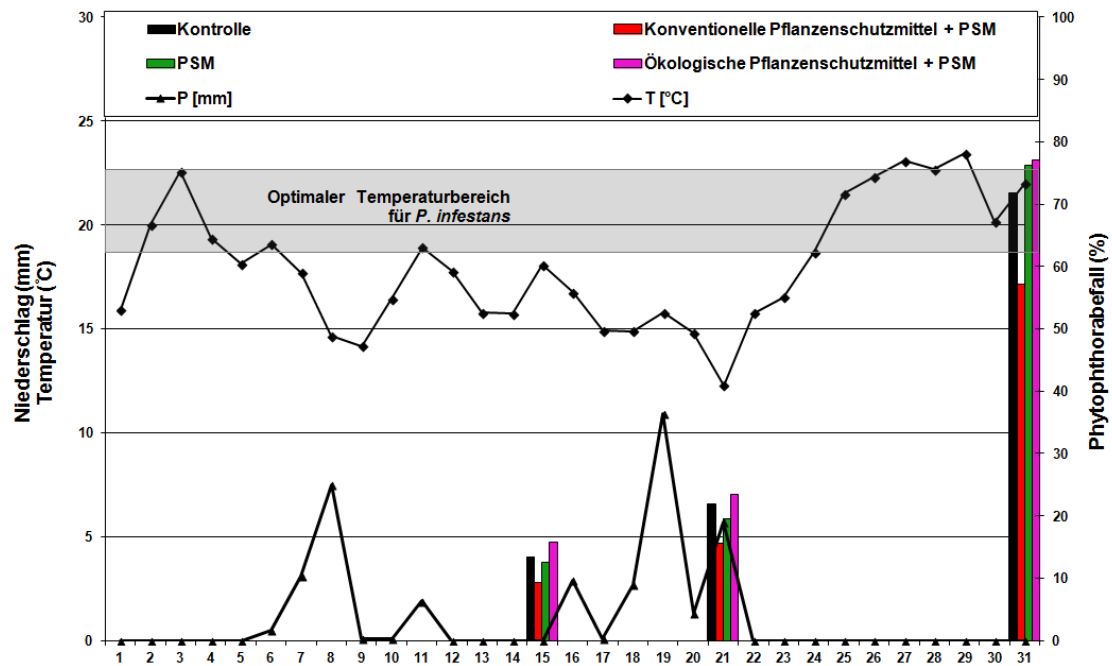


Abb. 3: Witterungsverlauf und Befallsdynamik von *P. infestans* - Vergleich der Mittelwerte der Regulierungsgruppen im Monat Juli des Jahres 2008. PSM = Pflanzenstärkungsmittel, P = Niederschlag, T = Temperatur

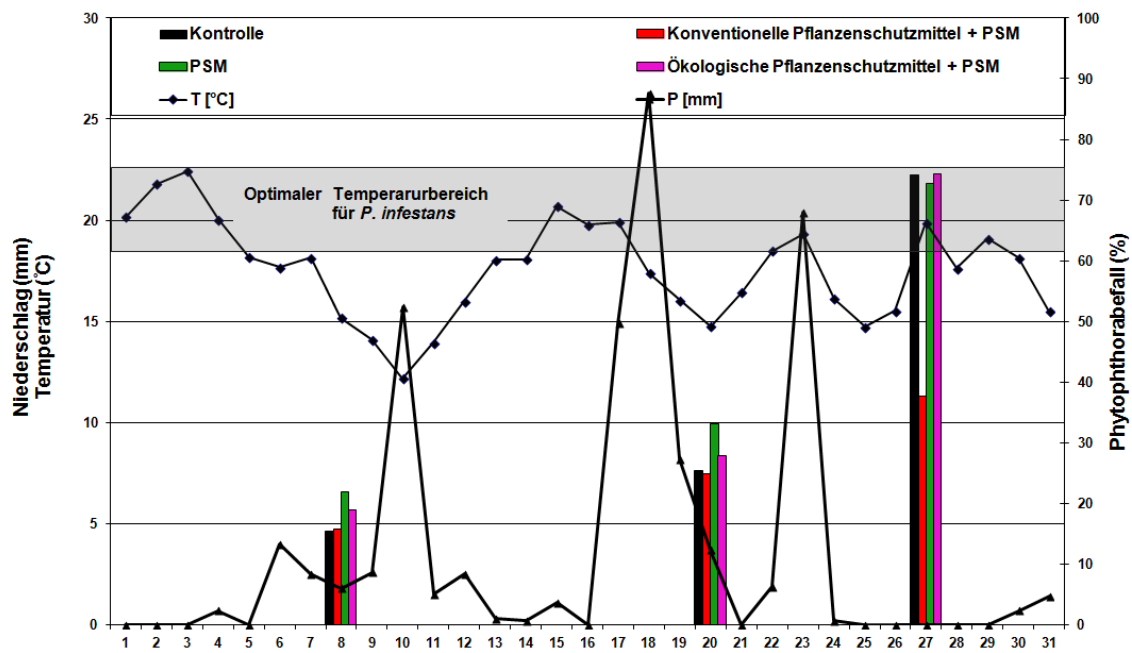


Abb. 4: Witterungsverlauf und Befallsdynamik von *P. infestans* - Vergleich der Mittelwerte der Regulierungsgruppen im Monat Juli des Jahres 2009. PSM = Pflanzenstärkungsmittel, P = Niederschlag, T = Temperatur

5.1.2.2 Einfluss des Befalls mit *P. infestans* und der Nährstoff- und Wasserversorgung auf die geprüften Merkmale in Abhängigkeit der Behandlung

Der Befall mit *P. infestans* führt zur Abnahme der Blattfläche. Ausgehend von der engen Beziehung zwischen dem Kraut- und Knollenwachstum, kann der Knollenertragsschaden auf die Zerstörung der oberirdischen Pflanzenteile zurückgeführt werden. Je früher der Befall auftritt, desto größer sind die Knollenertragseinbußen. Weiterhin kann die Knollenqualität durch das Absterben des Krautes als Folge des Befalls mit Kraut- und Knollenfäule beeinträchtigt werden. Die vorgenannten Prüfmerkmale werden aber auch von der Nährstoff- und Wasserversorgung stark beeinflusst. Im vorliegenden Abschnitt wird der Einfluss des Zeitpunktes des Befallsauftritts sowie des Infektionsdrucks mit *P. infestans* neben der Nährstoff- und Wasserversorgung auf Kraut- und Knollenertrag und auf ausgewählte Qualitätsparameter der Knollen mit **multivariaten Methoden** überprüft.

Da der Knollenertrag im Jahr 2009 unter den Bedingungen einer ausgeglichenen Nährstoff- und Wasserversorgung aller Versuchsparzellen zustande kam, wird zunächst der Zusammenhang von dem Befall mit *P. infestans* und dem Knollenertrag nur für das Versuchsjahr 2009 dargestellt. Die Regulierungsgruppen (Kontrolle, PSM, konventionelle Pflanzenschutzmittel + PSM, ökologische Pflanzenschutzmittel + PSM) sind in Abb. 5 farbig differenziert. Der durch die Krautbehandlungen unterschiedlich hohe Befall mit *P. infestans* zeigte für das Jahr 2009 in der Regressionsanalyse einen signifikanten Einfluss auf den Ertrag ($r^2 = 0,2118$ bei $n=144$), das heißt, dass 21,2 % der Ertragsvarianz auf den Befall durch *P. infestans* zurückgeführt werden können. Eine Reduktion des Befalls um 1 % lässt dabei einen Ertragszuwachs von $1,1 \text{ dt ha}^{-1}$ erwarten (Abb. 5). Die Behandlung mit konventionellen Pflanzenschutzmitteln + PSM (rote Punkte in Abb. 5) hatte den Phytophthorabefall am besten reguliert und erreichte durchschnittlich den höchsten Knollenertrag aller Regulierungsgruppen.

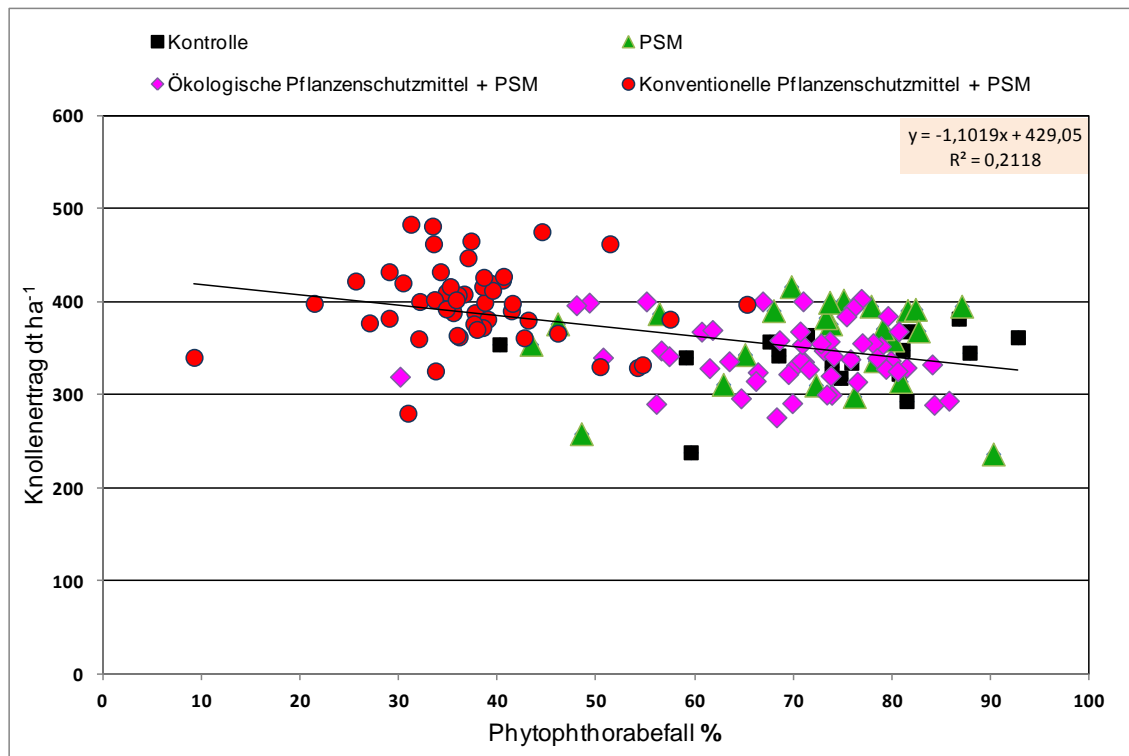


Abb. 5: Abhängigkeit des Ertrages vom Befall mit *P. infestans* zum 3. Boniturtermin im Jahr 2009 (separate Kennzeichnung für die Regulierungsgruppen). PSM = Pflanzenstärkungsmittel

Aufgrund der Tatsache, dass der Befall mit *P. infestans* zwar signifikant war, aber hierdurch nur 21,2 % der Ertragsvariation erklärt werden können, deutet dieses Ergebnis darauf hin, dass weitere Faktoren einen erheblichen Einfluss auf die Ertragsbildung haben. Die Wasserversorgung hat im Zusammenwirken mit der Kaliumversorgung und dem Phytophthorabefall einen erheblichen Einfluss auf die Knollenbildung gehabt.

Mit der dreifach-linearen Regressionsfunktion (alle Daten aus beiden Jahren, $n=288$, Methode *stepwise*) konnte ein signifikanter Effekt von drei Einflußfaktoren (Niederschlagsmenge vom 15. Juli bis 15. August in mm, Kaliummenge im Kraut am 70. Vegetationstag in kg ha^{-1} und *P. infestans* Befall Ende Juli in %) auf den Knollenertrag nachgewiesen werden (Tab. 18). 44 % der Knollenertragsvarianz konnten auf die genannten Faktoren zurückgeführt werden. Die in Tab. 18 dargestellten nicht standardisierten Regressionskoeffizienten b_1 bis b_3 quantifizieren den Einfluss des Faktors je Mengeneinheit auf den Ertrag in dt ha^{-1} . Die standardisierten β -Koeffizienten drücken den partiellen Grad des Zusammenhangs der geprüften Variablen mit dem Ertrag aus.

Tab. 18: Ergebnisse der Regressionsschätzung für den Knollenertrag ($n = 288$; $r^2 = 0,44$; Signifikanzprüfung der Regressionsparameter mit t-Test).

Modell:		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	t- Test	P	
Ertrag (dt ha ⁻¹) = a+b1*x1+ b2*x2+ b3*x3		Konstante a Koeffizient b	Standardfehler	beta			
Einflussfaktoren		a	209	16,2		12,9	0,00
x1	Niederschlag (15. Juli - 15. Augst) (mm)	b1	1,36	0,16	0,50	8,77	0,00
x2	Kalium im Kraut am 70. Tag (kg K ha ⁻¹)	b2	0,68	0,25	0,16	2,73	0,01
x3	<i>P. infestans</i> Befall (3. Bonitur) (%)	b3	-0,33	0,15	-0,11	-2,22	0,03

Eine noch komplexere Untersuchung unter Einbeziehung weiterer Prüfmerkmale, wie Stärkeertrag, Knollenanzahl pro Pflanze, Krautrockenmasse sowie Nährstoffgehalte des Krautes wurde mit der multivariaten Varianzanalyse (MANOVA) mit dem Programm PAST (HAMMER et al. 2001) durchgeführt. Wegen der sehr unterschiedlichen Größenordnung der Daten dieser Prüfmerkmale wurden der Analyse die 0-1 standardisierten Werte zugrunde gelegt. Somit können der Einfluss des Jahres sowie die Unterschiede zwischen den Regulierungsgruppen (Kontrolle, PSM (Pflanzenstärkungsmittel), konventionelle Pflanzenschutzmittel + PSM, ökologische Pflanzenschutzmittel + PSM) grafisch in einem **Biplot** veranschaulicht werden (Abb. 12). Die Prüfglieder innerhalb einer Gruppe erscheinen in der Grafik als Punkte. Sie verteilen sich je Regulierungsgruppe und Jahr auf eine farbig gekennzeichnete „umrandete Wolke“. Im Diagramm stellen die waagerechte Achse (Axis1) die erste Hauptkomponente (das Jahr 2009 in positiver Richtung) und die senkrechte Achse (Axis2) die zweite Hauptkomponente (die vier Regulierungsgruppen mit hohem Befall in negativer Richtung) dar. Die untersuchten Prüfmerkmale werden als Vektoren (auf den Höchstwert gerichtete Linien) in ihrem Bezug zu den beiden Achsen dargestellt. So verlaufen die relativ gleich gerichteten Vektoren von Kraut- und Knollenertrag (Ertrag dt ha⁻¹ und TM-dt ha⁻¹) in positiver Richtung von Axis 1, Einzelknollengewicht entgegengesetzt zum Phytophthorabefall erklären Axis 2.

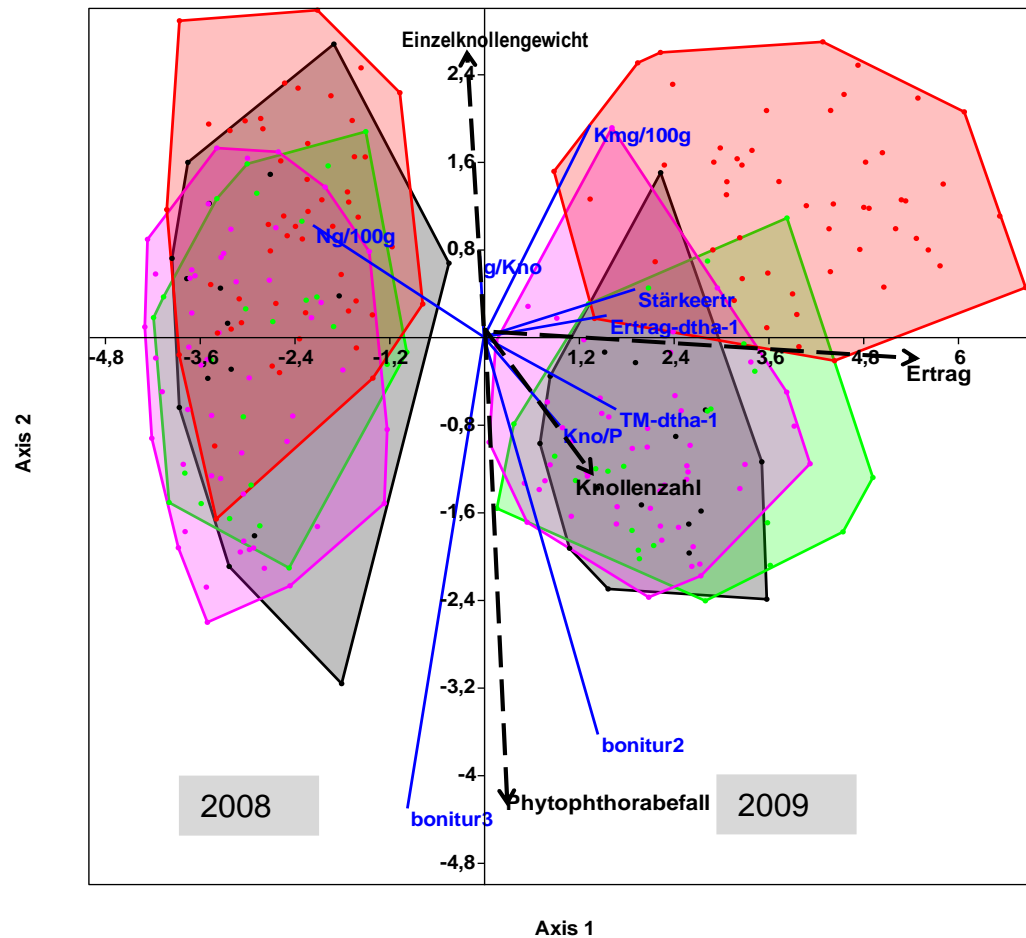


Abb. 6: Biplot der zweifaktoriellen multivariaten Varianzanalyse (1. Faktor Jahreseinfluss; 2. Faktor Regulierungsgruppe; $n=288$). TM = Krautrockenmasse, Kno/P = Knollenanzahl je Pflanze, g/Kno = Einzelknollengewicht, bonitur2 = Phytophthora- boniturtermin2, bonitur3 = Phytophthora- boniturtermin3, K = Kalium, N = Stickstoff

Die Ergebnisse der multivariaten Varianzanalyse MANOVA aller neun Prüfmerkmale (Tab. 19) wiesen einen signifikanten Globaleinfluss beider Faktoren nach dem F-Test ($F = 20,8$; $p = 0,000$) aus. Multivariat signifikante Unterschiede zwischen den Regulierungsgruppen, nach Jahren getrennt untersucht, werden bei Hotelling-p-Werten unter 0,05 erreicht.

Tab. 19: Ergebnisse der zweifaktoriellen multivariaten Varianzanalyse MANOVA, $df_1 = 56$; $df_2 = 1475$; $F = 20,8$; $p = 0,000$. Paarweiser Vergleich der Regulierungsgruppen getrennt nach Jahren (Hotelling p -Werte, Bonferroni korrigiert).

2008	Ökologische Pflanzenschutzmittel + PSM	Kontrolle	PSM
Konventionelle Pflanzenschutzmittel + PSM	0,0000	0,3107	0,0718
Ökologische Pflanzenschutzmittel + PSM		0,9861	1,0000
Kontrolle			1,0000
2009	Ökologische Pflanzenschutzmittel + PSM	Kontrolle	PSM
Konventionelle Pflanzenschutzmittel + PSM	0,0000	0,0000	0,0000
Ökologische Pflanzenschutzmittel + PSM		0,5945	0,9680
Kontrolle			1,0000

bei $p < 0,05$ signifikanter Unterschied, PSM = Pflanzenstärkungsmittel

Bei intensiver Betrachtung der Lage der farbigen Punktwolken in Zusammenhang mit Richtung und Länge der Vektoren der untersuchten Prüfmerkmale im Biplot lassen sich folgende Tendenzen ableiten:

- Krautmasse (TM), Knollen- und Stärkeertrag waren unabhängig von den Regulierungsgruppen und trotz des früheren und höheren Phytophthorabefalls, durch die verbesserte Kalium- und Wasserversorgung im Jahr 2009 höher als im Jahr 2008.
- Vergleich der Regulierungsgruppen multivariat: Die Behandlungen mit den konventionellen Pflanzenschutzmitteln + PSM (rote Wolke) zeigten in den beiden Versuchsjahren (insbesondere aber 2009) einen geringeren Befall mit *P. infestans* bzw. einen höheren Knollen- und Stärkeertrag als die anderen Regulierungsgruppen. Dies bestätigt die Ergebnisse der univariaten Analyse.
- Beziehungen zwischen Ertragskomponenten und Ertrag: Der Knollenertrag 2009 wurde durch eine höhere Knollenanzahl je Pflanze (Kno/P) erreicht. Beim Einzelknollengewicht (g/Kno) gab es keinen Unterschied zwischen den beiden Jahren.

Varianz der Ertragskomponenten

Aus den Ertragskomponenten ergibt sich die Anzahl der Pflanzen pro Flächeneinheit (Pflanzendichte) und der Knollenertrag je Pflanze. Die Komponente Knollenertrag je Pflanze ergibt sich aus den Teilkomponenten Knollenanzahl pro Pflanze und Einzelknollengewicht. Die Komponente Pflanzendichte war relativ einfach zu kontrollieren und durch Verwendung von guten Pflanzkartoffeln

einheitlich mit 40 000 Pflanzen je Hektar auf allen Parzellen gesichert worden. Die Variabilität im Knollenertrag war durch die Komponenten Knollen pro Pflanze und Einzelknollengewicht verursacht. Dadurch wird der Stärkeertrag auch beeinflusst. Um den Varianzanteil dieser Komponenten zu erklären, wurde eine Kovarianzanalyse durchgeführt (Tab. 20).

Tab. 20: Schätzung der Varianzanteile der Ertragskomponenten auf der Basis von logarithmierten (\ln) Daten aller Variablen ($n=288$).

Varianz des Ertragsmerkmals		Kovarianz der Ertragskomponenten/Ertragsmerkmals			
		Kno/ P	g/Kno	Knollenertrag dt ha ⁻¹	Stärkegehalt %
Knollenertrag dt ha ⁻¹	0,044 100%	0,035 79,7%	0,009 20,2%	x	x
Stärkeertrag dt ha ⁻¹	0,075 100%	0,05 60,5%	0,008 10,2%	x	0,02 29,3%
		x	x	0,05 70,7%	0,02 29,3%

Kno/P = Knollenanzahl je Pflanze, g/Kno = Einzelknollengewicht

Die in Prozent ausgedrückten Kovarianzverhältnisse der Ertragskomponenten spiegeln wider, welche Ertragskomponenten im Versuchsverlauf (zwei Jahre) über ihre Variabilität den Ertrag beeinflusst haben.

Stärkegehalt der Knollen

Der Stärkegehalt der Knollen ist ein komplexer Parameter, der stark von vielen Faktoren beeinflusst wird (z. B. Wasser- und Nährstoffversorgung, Sorte, Temperatur während des Knollenwachstums, Schädlinge und Krankheiten....). In diesem Abschnitt soll geprüft werden, welche Faktoren am stärksten auf den Stärkegehalt der Knollen in den beiden Jahren gewirkt haben.

Mit Hilfe einer mehrfach-linearen Regression (Methode *stepwise*; $n=288$) konnten 43 % der Varianz des Stärkegehalts der Knollen mit vier signifikanten Faktoren erklärt werden. Die standardisierten β -Koeffizienten drücken den unterschiedlich starken Zusammenhang mit dem Stärkegehalt in der Reihenfolge Krautfrischmasse (0,68), Stickstoffgehalt im Kraut (-0,54), Phytophthorabefall (-0,21) sowie Kaliumgehalt im Kraut (0,20) aus (Tab. 21). Es bestand eine positive partielle Korrelation zwischen Stärkegehalt und Kaliumgehalt im Kraut am

70. Tag, wobei sich der Stickstoffgehalt im Kraut und der Phytophthorabefall als hemmender Faktor für die Störkeeinlagerung zeigten.

Tab. 21: Ergebnisse der Regressionsschätzung für den Stärkegehalt der Knollen ($n = 288$; $r^2 = 0,43$).

Modell:			Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	t- Test	P	
			Konstante a Koeffizient b	Standardfehler	βeta			
Stärkegehalt (%) = a+b1*x1+ b2*x2+ b3*x3+ b4*x4								
Einflussfaktoren			a	17,0	0,42			
x1	Kalium im Kraut am 70. Tag	(kg K ha ⁻¹)	b1	0 ,02	0,01	0,20	2,09	0,04
x2	Stickstoff im Kraut am 70. Tag	(kg N ha ⁻¹)	b2	-0, 09	0,01	-0,54	-7,88	0,00
x3	<i>P. infestans</i> Befall (3. Bonitur)	(%)	b3	-0,02	0,00	-0,21	-4,15	0,00
x4	Krautfrischmasse	(dt ha ⁻¹)	b4	0,03	0,00	0,68	7,22	0,00

5.1.2.3 Räumliche und zeitliche Ausbreitung von *P. infestans* im Parzellenversuch

In der vorliegenden Karte wird der Effekt der Reihenlage zur Hauptwindrichtung auf die Ausbreitung des Erregers sowie die starke Variabilität des Befalls unabhängig von der Behandlung auf der Versuchsfläche dargestellt. Es zeigte sich, dass die Ausbreitung des Befalls immer von einem bestimmten Punkt ausgeht (Befallsquelle). Der Befallsdruck variierte in Abhängigkeit vom Befallszentrum zwischen den Parzellen. Die Anlage der Reihen im Jahr 2008 erfolgte entsprechend der Hauptwindrichtung. Das Auftreten des Erregers war im Befallszentrum im Vergleich zu den äußeren Parzellen unabhängig von der Behandlung um 20 % höher. So zeigte die äußere Parzelle am Rand 5 (R5) keinen und die am Rand 1 (R1) einen geringen Befall (Abb. 7). Am zweiten Boniturtermin war eine weitere Ausbreitung des Befalls zu verzeichnen. Dieser stieg in einigen Parzellen im Zentrum bis auf 40 % an, während die äußeren Parzellen (R1 und R5) einen Befall unter 15 % aufwiesen. Zum dritten Boniturtermin betrug der Befall im Zentrum 100 %. In der Randparzelle 5 war der Befall mit 25 % vergleichsweise gering. Zum diesem Termin zeigte sich deutlich eine stärkere Ausbreitung des Erregers entlang der Reihen in der Windrichtung.

Im Jahr 2009 wurden die Reihen quer zum vorherrschenden Wind geplant. Die Randparzellen (R1) auf der Wind zugewandten Seite hatten zum ersten Boniturtermin den höchsten Befall mit *P. infestans*. Der zweite Rand (R2) hatte zum gleichen Termin einen geringeren Befall, beim dritten Rand (R3) fiel der Befall noch geringer aus (Abb. 8). Ausgehend von der infizierten Quelle des ersten Randes erfolgte eine Ausbreitung des Erregers entsprechend der Hauptwindrichtung. In der dritten Randparzelle (R3) und in deren Nachbarzellen war der Infektionsdruck sehr gering und lag zum ersten Boniturtermin bei 10 %, wohingegen die Parzellen des ersten Randes einen 25 %igen Befall aufwiesen. Zum zweiten Boniturtermin hatte sich der Befall weiter in Hauptwindrichtung über die gesamte Fläche ausgebreitet. Der Vorsprung des Befallsdrucks wurde bei den früher befallenen Parzellen beibehalten. Zum dritten Boniturtermin wiesen die meisten Parzellen des ersten und zweiten Randes einen 90 %igen Befall auf. Im dritten Rand (R3), welcher am weitesten vom Infektionsherd (R1) entfernt war, war der Befall mit 65 % deutlich niedriger. Die chemische Kontrolle (a5) hatte im Jahr 2009 den Befall stark reduziert trotz des hohen Befallsniveaus der benachbarten Parzellen.

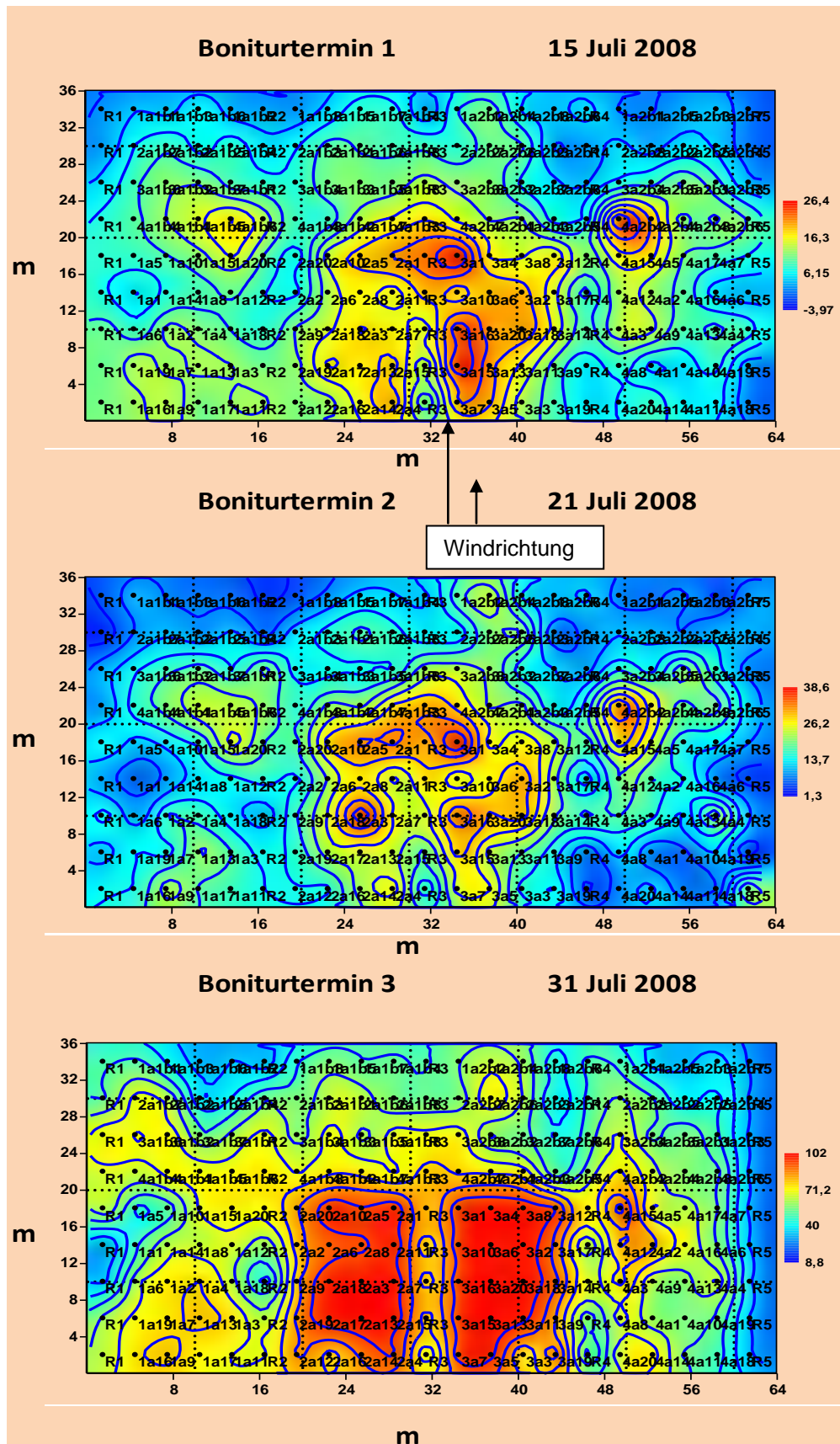


Abb. 7: Kartierung des Pythophthorabefalls auf dem Feld 2008, zeitliche (drei Boniturtermine) und räumliche Ausbreitung von *P. infestans* (Befallsstärke (% befallene Blattfläche) ist mit der Farbskala am rechten Bildrand gekennzeichnet)

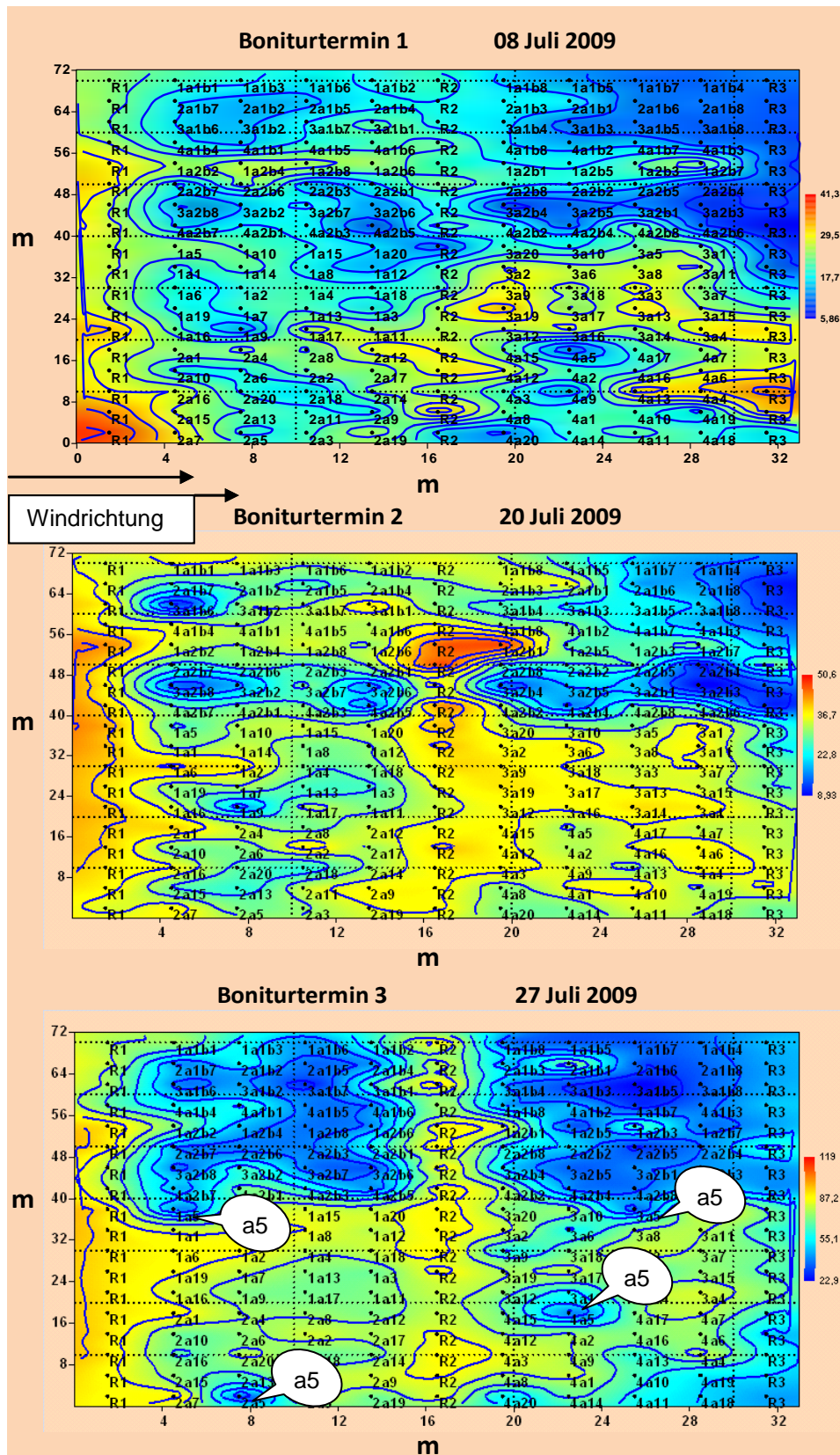


Abb. 8: Kartierung des *Pytophthora*befalls auf dem Feld 2009, zeitliche (drei Boniturtermine) und räumliche Ausbreitung von *P. infestans*. (Befallsstärke (% befallene Blattfläche) ist mit der Farbskala am rechten Bildrand gekennzeichnet); a5 Behandlung mit konventionellen Pflanzenschutzmitteln (Akrobat Plus und Shirlan)

5.2 Ergebnisse des Lagerungsversuches 2008/2009 und 2009/ 2010

5.2.1 Befallssituation mit Braunfäule im Lager

Aufgrund des niedrigen Infektionsdrucks mit *P. infestans* während der Vegetationsperiode 2008 war die Wahrscheinlichkeit der Knolleninfektion durch von Blättern ausgewaschenen Sporangien sehr gering. Die mit Braunfäule befallenen Knollen zur Zeit der Ernte waren optisch kaum zu erkennen. Weiterhin entwickelte sich der Befall 2008/2009 im Lager trotz suboptimaler Lagerbedingungen nicht weiter. Auch im Lagerversuch 2009/2010 trat im Lager keine Braunfäule auf. Die Nacherntebehandlung mit unterschiedlichen Konzentrationen mit Chitosan konnten im Lager in den beiden Jahren keinen Effekt auf die Braunfäule zeigen, da kein Befall vorhanden war.

5.2.2 Einfluss der Behandlung auf dem Feld sowie Nacherntebehandlung mit Chitosan im Lager auf den Masseverlust während der Lagerung

Die Nacherntebehandlung mit Chitosan sowie die Behandlung auf dem Feld hat im Lager keine Wirkung auf den Masseverlust der Knollen gezeigt. Im Jahr 2008/2009 hatte die Chitosannacherntebehandlung während der ersten (15. September – 15. Dezember) sowie über die ganze (15. September – 15. März) Lagerperiode einen signifikanten Einfluss auf den Masseverlust im Lager. Während der zweiten Lagerperiode (15. Dezember – 15. März) traten keine Unterschiede im Masseverlust der Knollen auf (Tab. 22). In Gegenteil dazu zeigten sich in 2009/2010 signifikante Unterschiede im Masseverlust zwischen den Prüfgliedern nur während der zweiten Lagerperiode (Tab. 22). Generell waren aber die Unterschiede im Masseverlust zwischen den Prüfgliedern sowohl in 2008/2009 als auch in 2009/2010 so schwach ausgeprägt, dass die Ergebnisse keine eindeutige Schlussfolgerung zur Wirkung einer Chitosannacherntebehandlung auf die Lagerfähigkeit der Knollen zulassen. Generell war der Masseverlust in der zweiten Lagerperiode geringer als in der ersten Lagerperiode und größer in 2009/2010 als in 2008/2009.

Tab. 22: Masseverlust (%) während der Lagerung der Knollen der ausgewählten Prüfglieder aus den beiden Versuchen, Lagerversuch 2008/2009 und 2009/2010.

Prüfglieder	Chitosannachernte- behandlung g l ⁻¹	Masseverlust im Lager % 2008/2009					Masseverlust im Lager % 2009/2010				
		Lagerperiode 1		Lagerperiode 2		gesamte Lagerperiode	Lagerperiode 1		Lagerperiode 2		gesamte Lagerperiode
		s	ns	s	ns	s	ns	s	ns	s	ns
K0	0	4,97	ab	5,41	10,1	ab	13,4	8,70	ab	20,9	
K1	1g	7,45	b	5,27	12,3	b	13,4	6,83	ab	19,3	
K5	5g	6,32	ab	4,44	10,5	ab	10,9	4,80	a	15,1	
CPGB	1g	3,63	a	4,55	8,01	a	15,5	7,62	ab	22,0	
CPGB	5g	5,61	ab	5,66	10,9	ab	14,4	5,36	a	19,0	
CBB	1g	6,84	ab	5,79	12,2	b	16,9	8,23	ab	23,8	
CBB	5g	7,56	b	5,43	12,6	b	14,5	8,59	ab	21,8	
CBB+CPGB	1g	4,77	ab	4,85	9,40	ab	15,3	10,2	ab	23,7	
CBB+CPGB	5g	5,15	ab	6,33	11,1	ab	15,1	11,4	b	24,8	

K0 = unbehandelte Kontrolle, K1= nur Chitosannacherntebehandlung mit 1 g l⁻¹, K5 = nur Chitosannacherntebehandlung mit 5 g l⁻¹, CPGB = Chitosanpflanzgutvorbehandlung, CBB = Chitosanblattbehandlung, unterschiedliche Kleinbuchstaben hinter den Mittelwerten zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungsprüfgliedern (p ≤ 0,05, Tukey-Test nach einfaktorieller Varianzanalyse), ns = nicht signifikant, s = signifikant

5.2.3 Einfluss der Behandlung auf dem Feld auf den Masseverlust während der Lagerung

Die Chitosanpflanzgutvorbehandlung (Faktor A) hatte in beiden Jahren keinen Effekt auf den Masseverlust in der ersten und zweiten sowie über die ganze Lagerperiode. Es konnten keine statistischen Unterschiede zwischen den zwei Faktorstufen a1 (ohne Chitosanpflanzgutvorbehandlung) und a2 (mit Chitosanpflanzgutvorbehandlung) nachgewiesen werden (Tab. 23). Zwischen den Prüfgliedern der Krautbehandlung (Faktor B) wurden in 2008/2009 leichte signifikante Unterschiede in der ersten Lagerperiode festgestellt. Die alleinige Chitosanblattbehandlung (CBB) hatte den höheren Masseverlust. Allerdings war dies nicht signifikant im Vergleich zu der unbehandelten Kontrolle. Im Jahr 2009/2010 traten für den Masseverlust keine signifikanten Unterschiede zwischen den Prüfgliedern der Krautbehandlung (Faktor B) auf. Betrachtet man die Masseverluste sowohl in der einzelnen Lagerperiode als auch über die gesamte Lagerungszeit, waren für die Prüfglieder keine signifikanten Unterschiede nachzuweisen (Tab. 23).

Tab. 23: Masseverlust (%) während der Lagerung der Knollen aus dem Fungizidversuch, Lagerversuch 2008/2009 und 2009/2010.

		Masseverlust im Lager (%) 2008/2009			Masseverlust im Lager (%) 2009/2010			
Faktor A: Pflanzgutvor- behandlung	Faktor B: Krautbehandlung	Lagerperiode 1	Lagerperiode 2	gesamte Lagerperiode	Lagerperiode 1	Lagerperiode 2	gesamte Lagerperiode	
		s	ns	ns	ns	ns	ns	
a1 ohne Chitosan Pflanzgutvor- behandlung	Ko	5,00	ab	5,40	10,1	13,4	8,70	20,9
	8CBB	15,3	b	5,10	19,6	16,9	8,20	23,8
	2AP	6,20	ab	6,00	11,8	16,2	9,80	24,4
	2AP+4CBB	5,30	ab	5,80	10,8	12,6	10,7	22,0
	2AP+4S	7,60	ab	5,40	12,7	13,9	9,80	22,3
	2AP+3S+1CBB	5,10	ab	5,20	10,1	9,3	8,40	16,9
	2AP+2S+2CBB	5,00	ab	5,10	9,8	16,5	10,5	25,1
	2AP+1S+3CBB	3,90	a	6,00	9,7	17,3	11,7	27,0
Mittelwert		6,70	5,40	11,8	14,5	9,70	22,7	
		ns	ns	ns	ns	ns	ns	
a2 mit Chitosan Pflanzgutvor- behandlung	Ko	6,90	5,10	11,6	23,3	6,30	28,2	
	8CBB	12,6	5,20	17,2	20,6	8,90	27,5	
	2AP	4,00	5,50	9,3	17,1	13,1	28,0	
	2AP+4CBB	3,70	5,50	9,0	15,3	8,90	22,8	
	2AP+4S	6,40	5,50	11,6	9,60	11,1	19,6	
	2AP+3S+1CBB	4,70	5,00	9,5	12,8	14,4	25,4	
	2AP+2S+2CBB	5,80	7,00	12,4	15,8	11,6	25,6	
	2AP+1S+3CBB	5,60	6,40	11,6	15,3	9,00	22,9	
Mittelwert		6,20	5,60	11,5	16,2	10,4	25,8	

Ko = unbehandelte Kontrolle, CBB = Chitosanblattbehandlung, AP = Akrobat Plus, S = Shirlan, Ziffern vor den Behandlungsstufen kennzeichnen die Anzahl der Spritzungen, unterschiedliche Kleinbuchstaben hinter den Mittelwerten zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungsprüfgliedern ($p \leq 0,05$, Tukey-Test nach zweifaktorieller Varianzanalyse), ns = nicht signifikant, s = signifikant

Für den Masseverlust der Knollen aus dem Kupferversuch wurden in 2008/2009 sowohl in der ersten und zweiten als auch über die gesamte Lagerperiode signifikante Unterschiede zwischen den Prüfgliedern ermittelt. Die höchsten Masseverluste während der ersten Lagerperiode waren für die Chitosanblattbehandlung (CBB) und für die Behandlung mit Pflanzenextrakten (Potavit, HKS) zu verzeichnen (CBB 6,40 %, Potavit 6,54 %, HKS 6,60 %), welche ähnlich hoch waren wie in der unbehandelten Kontrolle (Ko 5,25 %) (Tab. 24). Signifikant geringere Masseverluste als in der Kontrolle traten während der gesamten Lagerperiode bei Knollen aus den Prüfgliedern 2kgCu+5CBB, 3kgCu+5CBB, 1Cu und 2HKS+2kgCu auf. Generell waren diese Unterschiede zwischen den Prüfgliedern nicht auf die Wirkung der Behandlung zurückzuführen.

Im Jahr 2009/2010 unterschieden sich die Prüfglieder in der ersten und zweiten sowie über die gesamte Lagerperiode nicht signifikant voneinander (Tab. 24).

Tab. 24: Masseverlust (%) während der Lagerung der Knollen aus dem Kupferversuch, Lagerversuch 2008/2009 und 2009/2010.

Prüfglieder	Masseverlust im Lager (%) 2008/2009						Masseverlust im Lager (%) 2009/2010		
	Lagerperiode 1		Lagerperiode 2		gesamte Lagerperiode		Lagerperiode 1	Lagerperiode 2	gesamte Lagerperiode
	s	ab	s	bc	s	c	ns	ns	ns
Ko	5,3	ab	4,9	bc	10,1	c	14,1	8,3	21,3
8CBB	6,4	b	5,9	c	11,9	c	14,8	10,0	23,3
1kgCu+5CBB	3,7	ab	3,1	abc	6,7	ab	15,8	10,3	24,5
2kgCu+5CBB	4,2	ab	2,3	a	6,4	a	15,3	10,4	24,1
3kgCu+5CBB	3,5	a	2,5	ab	5,9	a	13,9	9,3	22,0
2Ap+4S	5,4	ab	3,3	abc	8,6	abc	10,6	9,0	18,6
2Potavit	6,5	b	3,1	abc	9,5	abc	14,6	10,9	23,8
2HKS	6,6	b	2,5	ab	8,9	abc	14,2	8,8	21,8
1kgCu	3,9	ab	2,1	a	6,0	a	15,0	8,9	22,6
2kgCu	4,8	ab	2,5	ab	7,2	ab	14,6	9,4	22,6
3kgCu	4,6	ab	3,3	abc	7,8	ab	15,0	9,5	23,1
2Potavit+ 2kgCu	3,8	ab	3,4	abc	7,1	ab	16,2	10,2	24,7
2Potavit+3kgCu	4,7	ab	3,7	abc	8,2	abc	14,0	9,4	22,1
2HKS+2kgCu	3,7	a	2,4	ab	6,0	a	14,4	10,3	23,3
2HKS+3kgCu	4,4	ab	2,6	ab	6,9	ab	15,9	11,6	25,6

Ko = unbehandelte Kontrolle, CBB = Chitosanblattbehandlung, AP = Akrobat Plus, S = Shirlan, Cu = Kupferhydroxid, Ziffern vor den Behandlungsstufen kennzeichnen die Anzahl der Spritzungen, unterschiedliche Kleinbuchstaben hinter den Mittelwerten zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Krautbehandlungsprüfgliedern ($p \leq 0,05$, Tukey-Test nach einfaktorieller Varianzanalyse), ns = nicht signifikant, s = signifikant

Werden die Masseverluste in den beiden Jahren über die einzelnen Lagerperioden sowie über die gesamte Lagerzeit betrachtet, so ist festzustellen, dass, unabhängig von der Lagerperiode und der Behandlung, der Masseverlust im Jahr 2009 deutlich höher war als im Jahr 2008.

5.3 Ergebnisse des Nachbauversuches 2009 und 2010

Von den eingelagerten Knollen aus dem Jahr 2008/2009 sowie 2009/2010 wurden jeweils im April 2009 und 2010 12 Knollen je Variante erneut angebaut. 2009 betrug der Auflauf 50 bis 100 % der angebauten Knollen. Im Jahr 2010 liefen die Pflanzen schlechter (0 bis 80 %) auf. Aufgrund des Totalausfalls eini-

ger Parzellen wurde 2010 auf eine statistische Auswertung verzichtet. 2009 waren keine signifikanten Unterschiede für die geprüften Merkmale Ertrag und Schorfbefall nachzuweisen, unabhängig davon, ob das Pflanzgut aus dem Fungizid- oder Kupferversuch stammte (Tab. 25, Tab. 26). Die Pflanzen aus dem Kupferversuch hatten zum zweiten und dritten Boniturtermin einen tendenziell erhöhten Phytophthorabefall als die, die aus dem Fungizidversuch stammen. Das Prüfglied 2AP+4S im Kupferversuch hatte einen reduzierten Phytophthorabefall (Tab. 26). Ein signifikanter Unterschied im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (Ko) lag jedoch nicht vor.

Tab. 25: Ergebnisse zum Ertrag, Schorf- und Phytophthorabefall aus dem Nachbau der Knollen aus dem Fungizidversuch im Jahr 2009.

Faktor A: Pflanzgut- vorbehandlung	Faktor B: Krautbehandlung	Ertrag (dt ha ⁻¹)	Schorf (Note)	Phytophthorabefall (%)		
				Bonitur1 8 Juli	Bonitur2 20 Juli	Bonitur3 27 Juli
		ns	ns	ns	ns	ns
a1 ohne Chitosan Pflanzgutvor- behandlung	Ko	412	2,76	19,1	32,0	50,5
	8CBB	371	2,56	21,1	27,0	53,0
	2AP	414	2,18	20,4	27,8	48,2
	2AP+4CBB	401	2,22	14,0	27,8	55,0
	2AP+4S	359	2,08	17,0	27,1	51,7
	2AP+3S+1CBB	316	2,04	15,7	29,9	50,4
	2AP+2S+2CBB	349	2,33	19,1	26,9	45,5
	2AP+1S+3CBB	337	2,69	18,3	25,9	40,2
	Mittelwert	370	2,36	18,1	28,0	49,3
a2 mit Chitosan Pflanzgutvor- behandlung	Ko	319	2,07	15,7	23,8	35,8
	8CBB	350	2,21	15,7	20,9	38,1
	2AP	336	1,94	15,9	26,8	51,0
	2AP+4CBB	307	2,54	14,0	23,9	37,2
	2AP+4S	355	2,44	13,5	20,5	42,3
	2AP+3S+1CBB	334	2,07	15,2	24,6	46,5
	2AP+2S+2CBB	390	1,73	12,8	20,4	37,5
	2AP+1S+3CBB	331	2,07	14,4	22,9	41,4
	Mittelwert	340	2,18	14,6	23,0	41,2

Ko = unbehandelte Kontrolle, CBB = Chitosanblattbehandlung, AP = Akrobat Plus, S = Shirlan, Ziffern vor den Behandlungsstufen kennzeichnen die Anzahl der Spritzungen, ($p \leq 0,05$, Tukey-Test nach zweifaktorieller Varianzanalyse), ns = nicht signifikant

Tab. 26: Ergebnisse zum Ertrag, Schorf- und Phytophthorabefall aus dem Nachbau der Knollen aus dem Kupferversuch im Jahr 2009.

Prüfglieder	Ertrag (dt ha ⁻¹)	Schorf (Note)	Phytophthorabefall (%)			
			Bonitur1 8 Juli	Bonitur2 20 Juli	Bonitur3 27 Juli	
	ns	ns	ns	ns	s	
Ko	325	2,17	15,8	25,7	51,7	ab
8CBB	357	2,25	17,5	31,9	65,2	ab
1kgCu+5CBB	335	2,40	17,4	27,8	66,6	ab
2kgCu+5CBB	312	2,44	18,5	33,1	68,2	ab
3kgCu+5CBB	373	2,28	18,6	33,1	62,8	ab
2AP+4S	343	1,93	14,5	24,0	43,4	a
2Potavit	328	2,29	18,1	28,2	61,4	ab
2HKS	378	2,51	15,4	31,7	62,8	ab
1kgCu	397	2,32	17,0	26,4	64,0	ab
2kgCu	404	2,64	18,2	31,1	70,1	ab
3kgCu	332	2,12	15,2	28,2	48,0	ab
2Potavit+ 2kgCu	380	2,43	12,4	39,4	62,2	ab
2Potavit+3kgCu	379	2,43	20,7	42,4	84,0	b
2HKS+2kgCu	318	2,20	15,7	29,3	72,0	ab
2HKS+3kgCu	358	2,53	14,8	23,5	51,6	ab

Ko = unbehandelte Kontrolle, CBB = Chitosanblattbehandlung, AP = Akrobat Plus, S = Shirlan, Cu = Kupferhydroxid, Ziffern vor den Behandlungsstufen kennzeichnen die Anzahl der Spritzungen, unterschiedliche Kleinbuchstaben hinter den Mittelwerten zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungsprüfgliedern ($p \leq 0,05$, Tukey-Test nach einfaktorieller Varianzanalyse), ns = nicht signifikant, s = signifikant

Im Jahr 2010 herrschte während der Vegetativentwicklung eine lange Trockenperiode vor. Der Phytophthorabefall konnte so erst am 12.08.2010 bonitiert werden. Zu diesem Zeitpunkt war die Ertragsbildung schon abgeschlossen, so dass der Phytophthorabefall keinen Einfluss auf den Knollenertrag hatte. Einen großen Einfluss auf den Knollenertrag hatte die stark variierende Pflanzendichte. So war eine statistische Auswertung für den Knollenertrag nicht möglich.

Da die Pflanzdichte für eine optimale Ausbreitung des Phytophthorabefalls ungünstig war, variierte der Befall zum ersten Boniturtermin relativ stark. An den Randparzellen (R2) betrug der Befall auf einigen Parzellen über 80 % (Abb. 9). Die ersten Befallszentren bildeten sich in den Parzellen mit Pflanzgut aus dem Kupferversuch und breiteten sich später kreisförmig über die gesamte Fläche aus. Zum dritten Boniturtermin betrug der Befall der Parzellen im Kupferversuch

über 90 %. Bei den Pflanzen aus dem Fungizidversuch variierte der Befall sehr stark. Im Allgemein blieb der Befall im Fungizidversuch geringer. In den Randparzellen, die im Vorjahr nicht behandelt wurden, war der Befall höher und breitete sich erfolgreich entlang der Reihen aus (Abb. 9).

R1	Bonitur 1				12.8.2010				R2	R3			
5	15	0	10	0	0	1	3	13	11	6			
12	11	12	19	29	6	6	44	1	25	8			
29	9	3	5	13	15	12	32	1	5	9			
3	0	7	10	17	20	14	0	0	31	15			
9	4	12	0	50	53	0	27	28	18	7			
6	3	25	15	0	2	19	39	25	0	4			
4	3	10	1	0	23	0	0	38	20	33			
4	1	14	75	5	10	38	7	45	17	12			
5	7	14	38	42	37	19	23	17	0	34			
9	25	25	27	4	8	34	0	1	17	22			
0	0	25	47	25	38	25	51	46	25	5			
25	0	0	56	25	54	25	60	53	0	9			
17	19	1	57	6	95	57	53	50	33	25			
0	1	5	12	12	25	0	33	0	0	38			
58	19	0	0	3	80	0	0	1	0	63			
8	0	0	13	13	18	25	10	0	0	24			
25	0	9	13	0	0	0	0	1	13	53			
28	0	0	1	1	38	10	0	25	0	18			
Bonitur2 19.8.2010													
15	22	0	25	12	24	15	14	33	31	21			
25	47	20	42	61	22	22	55	18	75	17			
29	37	12	18	30	33	28	44	10	19	25			
39	10	30	50	29	50	29	1	0	9	37			
26	15	20	0	73	56	25	43	45	38	38			
22	12	85	33	25	20	60	71	25	0	12			
19	22	41	5	0	68	0	0	0	54	72			
10	10	28	95	19	37	44	25	76	43	24			
19	14	52	30	75	59	32	44	25	0	55			
25	49	50	54	12	24	58	0	5	15	35			
0	0	13	74	5	40	56	52	73	75	22			
38	0	0	74	53	58	42	67	65	0	15			
29	22	13	74	33	100	67	67	58	46	37			
0	10	25	27	31	25	0	34	0	0	59			
80	25	0	0	6	92	10	6	21	0	66			
25	0	0	13	13	18	35	10	0	10	37			
25	3	19	13	8	0	0	0	1	9	61			
41	10	0	10	0	75	10	0	25	0	25			
Bonitur3 25.8.2010													
75	84	0	95	85	97	79	85	82	88	88			
98	97	82	88	97	95	74	98	75	95	64			
96	97	73	73	97	90	71	93	25	73	82			
96	75	80	95	82	98	84	63	0	100	90			
95	90	67	0	98	92	75	89	90	85	58			
78	90	98	88	75	75	93	96	53	10	24			
80	88	91	75	0	94	0	25	94	82	88			
56	85	80	100	78	89	95	82	98	56	82			
78	88	83	90	98	79	91	92	78	0	94			
35	78	88	87	45	84	86	0	38	88	60			
0	0	73	91	50	73	89	85	98	95	46			
75	33	0	80	90	90	98	83	83	0	55			
65	55	44	84	95	100	95	96	95	95	50			
0	10	25	27	31	95	0	34	0	0	77			
90	88	0	0	38	98	34	29	56	25	86			
87	25	25	60	60	75	75	75	20	38	83			
95	58	73	68	10	0	0	40	18	75	83			
90	75	38	38	63	100	38	0	75	38	69			

Abb. 9: Pythophthorabefallskartierung beim Nachbau von Knollen aus dem Kupfer- und Fungizidversuch im Jahr 2010, zeitliche (drei Boniturtermine) und räumliche Ausbreitung von *P. infestans*. Zahlen entsprechen der Befallsstärke (% befallene Blattfläche), Farben stellen die unterschiedliche Befallsstärke dar.

6 Diskussion

6.1 Einfluss des Witterungsverlaufes auf die Dynamik des Befalls mit *P. infestans*

Der Einfluss des Wetters auf die Entwicklung des Befalls mit *P. infestans* wurde von mehreren Autoren untersucht. ANDRADE-PIEDRA et al. (2005) und FORBES & SIMON (2007) diskutierten den Einfluss des Wetters auf den Befall mit *P. infestans* und stellten fest, dass anhand der Relation zwischen dem Phytophthorabefall und den klimatischen Bedingungen viele Strategien zur Regulierung der Kraut- und Knollenfäule entwickelt werden könnten. Auf Basis der Wetterdaten, des Infektionsdrucks und dem Einfluss des Wetters auf die Produktwirksamkeit konnte (mit allen Strategien) die optimale Produktmenge und der optimale Spritzzeitpunkt ermittelt werden. Nach dem von MUSA & FORRER (2005) entwickelten Prognosemodell BioPhytoPre bezieht sich die Empfehlung für die Phytophthora-Bekämpfung auf die regionale Witterung (Niederschlag >1 mm für mindestens 6 h, Luftfeuchtigkeit >90 %, Tagestemperatur >10 °C). HIJMANS et al. (2000) konnten mit einem geografischen Informationssystem (GIS) auf Basis der Klimadaten die Anzahl der erforderlichen Spritzungen gegen Kraut- und Knollenfäule bestimmen. Auch KROMANN et al. (2009) hatten anhand detaillierter Wetterdaten ein DSS- System entwickelt, um Landwirte bei Spritzentscheidungen zu unterstützen.

Temperatur und Feuchtigkeit haben einen starken Einfluss auf die Entwicklung und Ausbreitung des Phytophthora-Erregers. Nach HOFFMANN & SCHMUTTERER (1999) und SCHÖBER-BUTIN (2001) sind eine Temperatur zwischen 18 - 23 °C und Feuchtigkeit 95 % - 100 % optimal für eine Entwicklung des Phytophthora-Erregers auf dem Feld.

In den eigenen durchgeführten Feldversuchen wurde ebenfalls beobachtet, dass der Verlauf des Befalls mit *P. infestans* stark von den herrschenden Temperaturen und der Feuchtigkeit während der Versuchszeit abhing. Im Versuch **2008** blieb der Stängelbefall mit *P. infestans* aufgrund der geringeren Niederschläge in den Monaten Mai und Juni (Tab. 2, Abb. A1) aus. Auch APPEL et al. (2001), ZELLNER (2004; 2006) und BÄßLER (2005) belegen, dass die Niederschläge und die Bodenfeuchte im frühen Vegetationsstadium die ersten Voraussetzungen für das Auslösen des Stängelbefalls mit *P. infestans* sind. In Folge dessen trat der Blattbefall mit *P. infestans* sehr spät auf (erster

Boniturtermin 15. Juli). Dabei lag der durchschnittliche Blattbefall mit *P. infestans* unter 15 %. So konnte der Befall nur an den unteren Blättern festgestellt werden. Auch zum zweiten Boniturtermin war der Befall mit einer Befallsstärke unter 25 % noch recht niedrig (Abb. 3). Der Grund dafür war der Witterungsverlauf im Monat Juli (Abb. 3) mit ebenfalls nur geringen Niederschlägen begleitet von Temperaturen unterhalb des in den Abb. 3 und 4 ausgewiesenen Optimalbereiches von 18 bis 23°C für den Befall mit *P. infestans* (HOFFMANN & SCHMUTTERER 1999, SCHÖBER-BUTIN 2001). Untersuchungen von DEVAUX & HAVERKORT (1987) zeigten, dass eine niedrige Luftfeuchtigkeit dazu beitrug den Blattbefall mit *P. infestans* zu verzögern und seine Entwicklung zu bremsen. Erst beim Temperaturanstieg Ende Juli beschleunigte sich die Zuwachsrates des Befalls zwischen dem Bonitur 2 und 3 und der Befall bewegte sich trotz der ausfallenden Niederschläge auf einem hohen Niveau. Die Regulierungsgruppen: Kontrolle, PSM, ökologische Pflanzenschutzmittel + PSM zeigten zum dritten Boniturtermin (31. Juli) eine Befallsstärke von über 70 %. Bei der Regulierungsgruppe konventionelle Pflanzenschutzmittel + PSM lag die Befallsstärke bei 57 % (Abb. 3). Es ist anzunehmen, dass die in den Pflanzenbeständen gespeicherte Feuchtigkeit in den Morgenstunden begleitet von der Temperatur innerhalb des optimalen Bereichs für *P. infestans* (Abb. 3 und 4) ausreichend war. Somit konnte der Erreger diesen hohen Blattbefall auslösen.

Im Gegenteil zu 2008 waren die Monate Mai, Juni, und Juli im Jahr **2009** durch hohe Niederschläge gekennzeichnet (Tab. 2, Abb. A2). Trotzdem blieb der Stängelbefall mit *P. infestans* aus. Dies war auf die niedrige Temperatur zurückzuführen. Die unterdurchschnittlich kühlen Temperaturen in den Monaten Mai und Juni (Tab. 2, Abb. A2) führten zu keinem Stängelbefall mit *P. infestans*. Auch bei ZELLNER (2005) minderte eine kühle Temperatur im Frühjahr den Stängelbefall mit *P. infestans* trotz erheblicher Niederschläge.

Aus dem gleichen Grund entwickelte sich der Blattbefall mit *P. infestans* trotz der anhaltenden feuchten Witterung relativ langsam. Auch HIJMANS et al. (2000) und ANDRADE-PIEDRA et al. (2005) stellten fest, dass die Temperatur einen starken Einfluss auf das Wachstum und die Ausbreitung des *P. infestans*-Erregers hat. Die Bedingungen für eine Ausbreitung von *P. infestans* waren erst durch die erhöhten Temperaturen Anfang Juli gegeben (Abb. 4). Am 8. und 20.

Juli (erster und zweiter Boniturtermin) konnten noch keine Unterschiede im Befall mit *P. infestans* zwischen den vier Regulierungsgruppen (Kontrolle, PSM, konventionelle Pflanzenschutzmittel + PSM, ökologische Pflanzenschutzmittel + PSM) festgestellt werden (Abb. 4), da die Zuwachsrates des Befalls gering war. Dies war auch auf die niedrigen Temperaturen im Monat Juli zurückzuführen (Abb. 4). Am 23. Juli wurden aufgrund ausreichender Niederschläge und erhöhter Temperatur (Abb. 4) optimale Bedingungen für den *P. infestans* Erreger erreicht, so dass die Regulierungsgruppen Kontrolle, PSM, ökologische Pflanzenschutzmittel + PSM zum dritten Boniturtermin (27. Juli) bereits eine Befallsstärke von über 70 % erreichten. Die Regulierungsgruppe konventionelle Pflanzenschutzmittel + PSM zeigte einen Befall mit *P. infestans* von 38 % (Abb. 4).

Beim Vergleich des Blattbefalls zwischen den beiden Jahren ist festzustellen, dass der Phytophthorabefall zum dritten Boniturtermin 2008 stärker ausgeprägt war als 2009. Dies kann damit begründet werden, dass die Pflanzen im Vergleich zum gleichen Zeitpunkt 2009 physiologisch älter waren. Die Trockenheit in 2008 beschleunigte die natürliche Abreife der Pflanzen. VAN OIJEN (1991) stellte eine positive Korrelation zwischen dem physiologischen Alter der Pflanzen und deren Anfälligkeit für den Befall mit *P. infestans* fest.

Die in der Literatur nachgewiesene Relation zwischen dem Wetter und der Entwicklung des Phytophthora-Erregers bestätigte sich damit in den eigenen durchgeführten Feldversuchen. Die Wetterbedingungen stellten einen wichtigen Bestandteil für eine integrierte Regulierung der Kraut- und Knollenfäule dar. Aufgrund der gegenwärtigen Situation ist für die Praxis zu empfehlen, auf die Bekämpfung von *P. infestans* unter trockenen Bedingungen zu verzichten und die Kosten zu sparen. Dabei spielt allerdings auch die Sorte eine wichtige Rolle. Bei der mittelfrühen Kartoffelsorte (Agria) war der Ertragsverlust kaum zu sehen. Allerdings muss die Bekämpfung gegen *P. infestans* ökonomisch relevant sein. Bei Temperaturanstieg und erheblichen Niederschlägen ist die Ausbringung von Kontaktfungiziden in Abhängigkeit des Witterungsverlaufes ratsam. Über den richtigen Zeitpunkt und die Art der Ausbringung der Pflanzenstärkungsmittel besteht ein hoher Forschungsbedarf. Die Regenfestigkeit und Stabilität eines Mittels bedingt seine Wirkung und sollten in den weiteren Forschungen berücksichtigt werden.

6.2 Wirkung der Chitosanpflanzgutvorbehandlung auf den Stängelbefall mit *P. infestans*

Bei optimalen Bedingungen für den Phytophthora-Erreger wird der Stängelbefall im Frühjahr durch infiziertes Pflanzgut ausgelöst. Bei hoher Feuchtigkeit kann der Phytophthora-Erreger auf der Knollenoberfläche sporulieren, die Sporen können durch das Bodenwasser nach oben gedrückt werden, die unteren Blätter infizieren und somit den Blattbefall verursachen (RADTKE et al. 2000, BOUWS & FINCKH 2007). In den letzten Jahren stellt der Stängelbefall die Hauptgefahr für den Kartoffelanbau dar (TURKENSTEEN & FLIER 1998). Deswegen gewinnt die Entwicklung einer Strategie zur Verringerung des Infektionsdrucks mit dem Stängelbefall eine große Bedeutung. Eine Reduzierung oder Verzögerung des Stängelbefalls würde auch zu einem späteren und zu einem niedrigeren Infektionsdruck für den Blattbefall führen.

Der Stängelbefall mit *P. infestans* wurde nach einer Behandlung mit chemischen Fungiziden unter Feldbedingungen in mehreren Untersuchungen signifikant reduziert (ADLLER 2001, BÄSSLER 2005, ZELLNER et al. 2006). Aufgrund der toxischen Rückstände der chemischen Fungizide sind vergleichende Versuche mit dem Einsatz von Mitteln auf Basis von Naturstoffen von Bedeutung. In der eigenen Arbeit war von großem Interesse, zu untersuchen, inwieweit eine Chitosanpflanzgutvorbehandlung den Stängelbefall mit *P. infestans* unter Praxisbedingungen regulieren kann.

Für die eigenen Untersuchungen war das Ziel, die Oberflächensporulation des Phytophthora-Erregers auf der Oberfläche der Pflanzknolle im Boden durch die Chitosanpflanzgutvorbehandlung zu vermindern, so dass die weitere Ausbreitung des Phytophthorastängelbefalls und die Infektionen der Nachbarknollen über das Bodenwasser reduziert wird. Das direkte Wachstum des Erregers im Stängel sollte durch die Erhöhung der Abwehrkräfte der Kartoffelpflanze dezimiert werden.

Durch die Abwesenheit des Stängelbefalls aufgrund des bereits beschriebenen Witterungsverlaufes (s. Kap. 6.1) in den eigenen Versuchen konnte die Wirkung der Chitosanpflanzgutvorbehandlung nicht abschließend untersucht werden.

In vitro zeigten die Untersuchungen von VASYUKOVA et al. (2001), dass die Behandlung mit Chitosan an der Kartoffelknolle zahlreiche Verteidigungsmechanismen im Kartoffelknollengewebe auslöste. Nach Aussage der Autoren

förderte die Pflanzgutbehandlung mit Chitosan die Produktion von Phytoalexinen, erhöhte die β -Glucanase- und die Chitinase Aktivität, wirkte auf die Enzyme des Erregers und löste damit lokale und systemische Widerstände im Kartoffelknollengewebe aus. Dadurch wurde das Wachstum des *P. infestans*-Erregers gehemmt.

Auch ATIA et al. (2005) wiesen *in vitro* nach, dass Chitosan das Myzelwachstum und die Produktion der Sporangien von *P. infestans* gehemmt hatte. Ergebnisse von VASYUKOVA et al. (2001) und ATIA et al. (2005) zeigten, dass Chitosan eine indirekte (elicitorische) und direkte (fungizide) Wirkung auf den *P. infestans*-Erreger hat. Aus diesem Hintergrund wurde angenommen, dass Chitosan einen potentiellen Effekt auf den *P. infestans*-Erreger im Feld haben könnte.

Als Pflanzgutbehandlung wurde die Wirkung von Chitosan auf andere Schadereger bereits nachgewiesen. So konnten beispielsweise BENHAMOU et al. (1994), AB-EL-KAREEM et al. (2006) und NEHAL et al. (2006) *in vitro* und in Gefäßversuchen eine signifikante Reduzierung des Befalls mit Wurzelfäule bei Tomaten durch Saatgut- und Bodenbehandlung mit Chitosan belegen. BHASKARA REDDEY et al. (1999) wiesen ebenfalls *in vitro* nach, dass der Befall mit *Fusarium graminearum* in Folge einer Saatgutbehandlung bei Weizen signifikant reduziert werden konnte. PHOTCHANACHAI et al. (2006) konnten zeigen, dass die Chitosansaatgutbehandlung von Chili die Infektion mit *Colletotrichum sp.* reduzierte.

Während die Wirkung der Saatgutbehandlung mit Chitosan unter kontrollierten Bedingungen (*in vitro*- und Gefäßversuche) bereits in mehreren Untersuchungen nachgewiesen wurde, fehlen nach der aktuellen Literaturrecherche vergleichbare Ergebnisse unter Freilandbedingungen bei der Kartoffel. Bislang wurde lediglich die Chitosanpflanzgutbehandlung auf den Befall mit *P. infestans* im einjährigen Feldversuch untersucht (KOWALSKI et al. 2003). Dabei wurde aber der Stängel- und Blattbefall mit *P. infestans* nicht separat erfasst. Die Autoren berichteten, dass eine Pflanzgutbehandlung mit Chitosan keine ausreichende Wirkung auf den Befall mit *P. infestans* an Kartoffelbeständen aufwies. Allerdings reicht ein einjähriger Feldversuch nicht aus, um Empfehlungen für die Praxis auszusprechen. Anhand der vorliegenden Ergebnisse konnte auch keine Aussage für die Praxis hinsichtlich des Potentials von Chitosan, den Stängelbe-

fall mit *P. infestans* unter Feldbedingungen zu regulieren, getroffen werden. Deshalb sind weitere Praxisversuche über die Wirkung der Pflanzgutbehandlung mit Chitosan gegen den Stängelbefall mit *P. infestans* notwendig.

In weiteren Untersuchungen ist eine Aufklärung des Wirkungspotentials von Chitosan gegen den Stängelbefall mit *P. infestans* unter kontrollierten Bedingungen notwendig. Dafür ist ein Gefäßversuch parallel zum Feldversuch zu empfehlen. Im Gefäßversuch wäre eine Inokulation der Knollen mit dem Erreger möglich. Im Gegensatz dazu ist eine Inokulation auf dem Feld kaum durchführbar und arbeitsaufwändig. Darüber hinaus ist die Entwicklung des Erregers auf dem Feld nach der Inokulation wie bereits beschrieben vom Wettereinfluss abhängig. Die Art und der Zeitpunkt der Behandlung sollte in den weiteren Untersuchungen berücksichtigt werden. Empfehlungswert wäre eine kombinierte Pflanzgut- und Bodenbehandlung mit Chitosan kurz vor dem Auflauf.

6.3 Wirkung der unterschiedlichen Krautbehandlungen auf den Blattbefall mit *P. infestans* sowie auf den Knollenertrag

Im Jahr 2008 trat der Befall mit *P. infestans* zu spät und mit niedrigem Infektionsdruck auf. Die unterschiedlichen Behandlungen unterschieden sich nicht signifikant voneinander hinsichtlich des Blattbefalls. Der zunehmende Infektionsdruck (Ende Juli) mit *P. infestans* fiel bereits in die Abreifphase der Kartoffelpflanze, was auch nicht zu einer Ertragsbeeinträchtigung führte, da zu diesem Zeitpunkt die Knollenbildung bei der mittelfrühen Kartoffelsorte Agria zum größten Teil abgeschlossen war. Auch bei ZELLNER et al. (2006) bereitete der, aufgrund des ausbleibenden Stängelbefalls mit *P. infestans* verzögerte Blattbefall, keine großen Probleme bei der Kartoffelsorte Agria. Die unterschiedlichen Krautbehandlungen hatten trotz des ausbleibenden Befalls mit *P. infestans* keine Wirkungssteigerung auf den Ertrag im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. Als Grund dafür könnte die Wärme und Trockenheit angenommen werden.

Lediglich **im Jahr 2009** war der Befallsdruck mit *P. infestans* früh und hoch genug um signifikante Unterschiede hinsichtlich des Knollenertrags in Abhängigkeit den verschiedenen Behandlungen nachzuweisen.

6.3.1 Wirkung der unterschiedlichen Krautbehandlungen auf den Blattbefall mit *P. infestans* 2009

In diesem Abschnitt wird die Wirkung der Einzelapplikation von den Pflanzenstärkungsmitteln (Chitosan, Potavit, HKS) mit dem Schwerpunkt Chitosan, so-

wie eine kombinierte Anwendung mit konventionellen (Akrobat Plus, Shirlan) oder mit ökologischen (Kupferhydroxid) Pflanzenschutzmitteln auf den Befall mit *P. infestans* dargestellt. Die Ergebnisse der eigenen Untersuchungen zeigten, dass keines der eingesetzten Mittel außer die Behandlung auf Basis der konventionellen Pflanzenschutzmittel Akrobat Plus und Shirlan den Blattbefall mit *P. infestans* signifikant reduzieren konnte.

Die alleinige Chitosanbalttbehandlung wies keine ausreichende Wirkung gegen den Blattbefall mit *P. infestans* auf. Der Befall war vergleichbar mit der unbehandelten Kontrolle. Die von ATIA et al. (2005) *in vitro* nachgewiesene fungizide Wirkung für eine Konzentration von 1 g l^{-1} Chitosan gegen *P. infestans* hatte sich in der eigenen Arbeit unter Freilandbedingungen bei Kartoffel nicht bestätigt. Auch bei KOWALSKI et al. (2003) wies die alleinige Chitosanbalttbehandlung keine ausreichende Wirkung gegen den Blattbefall mit *P. infestans* auf dem Feld auf. Im Gefäßversuch von ATIA et al. (2005) wurde festgestellt, dass sich die Wirksamkeit von Chitosan gegen *P. infestans* bei Tomaten mit zunehmendem Abstand zwischen der Infektion und der Behandlung verringerte. Das beste Ergebnis wurde nach ATIA et al. (2005) bei einer Applikation 2-12 h nach der Infektion erreicht. Im Feld ist eine genaue Schätzung des Befallsauftretens nicht möglich. Überdies können die Wetterbedingungen zum Wirksamkeitsverlust führen. Somit war vielleicht ein wöchentlicher Applikationsabstand in der eigenen Arbeit zu lang um eine fungizide Wirkung im Feld zu zeigen. Andere Untersuchungen über Pflanzenstärkungsmittel zeigten, dass mehrere Pflanzenstärkungsmittel eine signifikante Reduzierung des Befalls mit *P. infestans* unter kontrollierten Bedingungen (*in vitro* und Gefäßversuche) aufwiesen, diese Wirkung jedoch auf dem Feld nicht reproduziert werden konnte. Dies wurde damit begründet, dass unter Freilandbedingungen die Naturstoffe mit der Zeit sowie durch Regen ihre Wirksamkeit verlieren (CAO et al. 2003, STEPHAN et al. 2005, DORN et al. 2007). Überdies zeigten mehrere Untersuchungen *in vitro* einen positiven Zusammenhang zwischen der Erhöhung der Konzentration von Chitosan und seiner fungiziden Wirkung (BAUTISTA et al. 2006). Dies wird damit begründet, dass der polykationische Charakter von Chitosan seine fungiziden Eigenschaften bedingt. Somit führt eine Verlängerung der Polymer-Kette zur Verbesserung der fungiziden Aktivität (HIRANO & NAGAO 1989). Mehrere Autoren wiesen *in vitro* eine fungizide Wirkung von

Chitosan gegen unterschiedliche Erreger bei höheren Konzentrationen als 1 g l⁻¹ Chitosan nach (REDDEY et al. 1999, BAUTISTA et al. 2003, 2004, AL HETAR et al. 2011, COQUEIRO et al. 2011, MONA et al. 2012). Somit hätte evtl. eine Erhöhung der Konzentration in den eigenen Untersuchungen zur Verbesserung der Wirksamkeit führen können.

Auch durch die Applikation der Pflanzenextrakte **Potavit** und **HKS** wurde keine ausreichende Effektivität gegen den Befall mit *P. infestans* erreicht. Durchgehend war die Wirkung von HKS schlechter als die von Potavit. Der Befall der HKS- Variante war mit der unbehandelten Kontrolle vergleichbar (Ko: 82 %, HKS: 80 %). Bisher existieren nach der aktuellen Literaturrecherche keine Ergebnisse über die Wirksamkeit von Potavit und HKS gegen den Befall mit *P. infestans*.

Durch die Kombinationswirkung der Pflanzenstärkungsmittel und der fungiziden Pflanzenschutzmittel sollte eine bessere Wirkung gegen den Blattbefall mit *P. infestans* im Vergleich zur alleinigen Applikation der Pflanzenschutzmittel oder der Pflanzenstärkungsmittel erreicht werden.

Die Kombinationen von Kupferhydroxid mit den Pflanzenstärkungsmitteln Chitosan, Potavit und HKS zeigten entgegen den Erwartungen keine signifikante Reduzierung des Befalls mit *P. infestans*. Die Pflanzenstärkungsmittel Chitosan, Potavit, HKS zeigten wie bereits beschrieben, keine reduzierende Wirkung bei alleiniger Applikation. Darüber hinaus war die fungizide Wirkung (Kontaktwirkung) von Kupferhydroxid unabhängig von der ausgebrachten Menge unter den erheblichen Niederschlägen 2009 (Tab. 2, Abb. A2) vermutlich stark vermindert und hat ebenfalls keine signifikante Befallsreduzierung erreicht.

Kupfer kann nur bei Kontakt mit Erregern auf der Pflanzenoberfläche in der Sporenphase wirken (ERWIN et al. 1983, MEINCK 1999). Nach dem Eindringen des Erregers in das Pflanzengewebe bietet Kupfer keinen Schutz mehr. Deshalb ist die Fähigkeit von Kupfer, *P. infestans* zu regulieren, begrenzt. Vermutlich waren drei Kupferbehandlungen in der eigenen Arbeit nicht ausreichend, den Befall mit *P. infestans* unter diesen erheblichen Niederschlägen (Tab. 2, Abb. A2) zu reduzieren, da Kupfer durch die Niederschläge von den Blättern abgewaschen wurde. MEINCK (1999) wies nach, dass die Nachhaltig-

keit der Kupferbehandlung von der Wettersituation in den Tagen nach der Behandlung abhängig ist. In der Untersuchung von MOHR et al. (2007) führten die Niederschläge zum 85 %igen Wirksamkeitsverlust des Kupferpräparats.

Da der Einsatz von Kupfer auf maximal 3 kg pro Jahr beschränkt ist, wäre es günstiger, die Kupfermenge auf möglichst viele Spritzungen (unter Berücksichtigung der optimalen Aufwandmenge je Behandlung) aufzuteilen. Bei MEINCK (1999) und ZELLNER et al. (2006) führte die Behandlung mit 4 × 750 g Kupferhydroxid je Hektar zur besten Reduktion des Befalls mit *P. infestans*.

Im Gegensatz dazu reduzierte die **Kombinationen von Chitosan mit den konventionellen Pflanzenschutzmitteln Akrobat Plus und Shirlan** den Phytophthorabefall im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle und zur alleinigen Chitosanblattbehandlung (CBB) (s. Kap. 5.1.1.2. Tab 11). Allerdings nicht im Vergleich zur alleinigen Behandlung mit Akrobat Plus und Shirlan. Dies war erwartungsgemäß auf den synthetischen Effekt der konventionellen Pflanzenschutzmittel zurückzuführen. Je mehr Akrobat plus und Shirlan ausgebracht wurde, desto besser war der Effekt. Nach O'HERLIHY et al. (2003) zeigte die kombinierte Anwendung von Chitosan mit dem systemischen Pflanzenschutzmittel Ridomil (Wirkstoff Metalaxyl) eine bessere Wirkung auf den Befall mit *P. infestans* als die alleinige Anwendung des konventionellen Pflanzenschutzmittels Ridomil. Dies wurde dadurch begründet, dass durch die alternierende Anwendung von Chitosan und Ridomil die Entwicklung eines resistenten Typen des Erregers gegen Ridomil (systemischer Wirkstoff Metalaxyl) reduziert wurde. In der eigenen Arbeit wurde das Akrobat Plus mit dem Kontaktmittel Shirlan abgewechselt. Somit war die Möglichkeit für den Erreger einen resistenten Typ gegen das Akrobat Plus (lokalsystemischer Wirkstoff Dimethomorph) zu entwickeln sehr gering. Allerdings ist eine Resistenzbildung gegen den Wirkstoff Dimethomorph bisher nicht bekannt.

6.3.2 Wirkung der unterschiedlichen Krautbehandlungen auf den Knollenertrag 2009

Erwartungsgemäß war der Knollenertrag lediglich durch die Behandlung auf Basis der konventionellen Pflanzenschutzmittel Akrobat Plus und Shirlan im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle signifikant erhöht.

Durch den Einsatz der Pflanzenstärkungsmittel wurde erwartet, Resistenzen in der Pflanze hervorzurufen, mit dem Ziel, die durch den Befall mit *P. infestans* verursachten Schäden zu verringern. Darüber hinaus sollte der Einfluss der eingesetzten Pflanzenstärkungsmittel auf die Fähigkeit der Pflanze, den Befall zu ertragen und unter dem höheren Infektionsdruck stabile hohe Erträge zu gewährleisten, untersucht werden.

Die Ergebnisse der eigenen Versuche zeigten, dass keines der eingesetzten Pflanzenstärkungsmittel zur signifikanten Ertragserhöhung führte. Es wurde eine leichte Ertragsverbesserung bei der alleinigen Krautbehandlung mit 1 g l^{-1} Chitosan sowie Potavit (6 % mehr Ertrag im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle) festgestellt. Statistisch waren diese Ergebnisse aber nicht gesichert.

In den Untersuchungen von ATIA et al. (2005) führte im Gewächshaus die Krautbehandlung mit 1 g l^{-1} Chitosan sieben Tage vor der Inokulation mit dem Erreger durch eine Erhöhung der Peroxidase, der β -1,3 Glukanase und der Chitinase Aktivität zur Förderung der Abwehrkräfte der Tomatenpflanze und zur Reduktion des Befalls mit *P. infestans* um 99 % im Vergleich zur Kontrolle.

Die Ergebnisse von ATIA et al. (2005) wurden in Feldversuchen von O'HERLIHY et al. (2003) bestätigt. Die wöchentliche Krautbehandlung mit 1 g l^{-1} Chitosan wirkte bei der Kartoffelsorte Golden Wonder unter Freilandbedingungen in Irland durch die Erhöhung der Chitinaseaktivität positiv auf die pflanzlichen Abwehrkräfte. In der Folge wurde ein signifikant hemmender Einfluss auf den Befall mit *P. infestans* (um 80 %) bzw. ein signifikant erhöhter Ertrag (um 140 %) gegenüber der unbehandelten Kontrolle erreicht. Auch in den Untersuchungen von ABD-AL-KAREEM et al. (2001) wurde nachgewiesen, dass die Krautbehandlung mit 0,5 und 1 g l^{-1} Chitosan ebenfalls durch Erhöhung der Chitinase- und der β -1,3 Glukanase Aktivität zu einer signifikanten Reduzierung des Befalls mit *P. infestans* (um 87 %, 81 %) und zu einem erhöhten Ertrag (um 168 %, 150 %) bei der Kartoffelsorte Diamont im Vergleich zur Kontrolle führte.

Eine elicitorische Wirkung bzw. eine Ertragserhöhung durch die relativ niedrigen Konzentrationen von Chitosan wurden im Gegenteil zu der fungiziden Wirkung in mehreren Untersuchungen nachgewiesen. KOWALSKI et al. (2006) wiesen beispielsweise nach, dass die Konzentrationen von $0,1 \text{ g l}^{-1}$ *in vitro* und 1 g l^{-1} Chitosan im Gefäßversuch einen signifikant positiven Einfluss auf die Krauttro-

cken- und Frischmasse sowie auf den Knollenertrag und auf die Knollenanzahl bei der Kartoffelsorte Désirée zeigten. Dies hatte sich z. T. *in vitro* mit einer Konzentration von $0,5 \text{ g l}^{-1}$ bei der Kartoffelsorte Agria bestätigt (ASGHARI-ZAKARIA et al. 2009). CHIRKOV et al. (2001) stellten *in vitro* fest, dass eine Krautbehandlung mit 1 g l^{-1} Chitosan durch die Induktion einer Resistenz in der Kartoffelpflanze zu einer signifikanten Reduktion des Befalls mit dem Kartoffelvirus X und zum erhöhten Ertrag führte.

Unter Einbeziehung der Untersuchungen von ABD-AL-KAREEM et al. (2001) und O'HERLIHY et al. (2003) lässt sich feststellen, dass die elicitorische Wirkung von Chitosan als Grund für diese leichte Ertragsverbesserung im eigenen Versuch angenommen werden kann. Die Wirkungsmechanismen wurden aber in der eigenen Arbeit nicht untersucht. Der elicitorische Effekt soll anhand der Befallsreduzierung und der Ertragserhöhung erfasst werden. Da die Chitosanblattbehandlung in der eigenen Arbeit zu keiner signifikanten Befallsreduzierung und nur zu einer leichten Ertragserhöhung führte, erschwert dies einen Vergleich zu den Ergebnissen von ABD-AL-KAREEM et al. (2001) und O'HERLIHY et al. (2003). Allerdings basieren die Ergebnisse von ABD-AL-KAREEM et al. (2001) und O'HERLIHY et al. (2003) auf Untersuchungen an anderen Kartoffelsorten. Die Kartoffelsorten unterscheiden sich stark in ihrem Ertragspotenzial sowie in ihrer Anfälligkeit für *P. infestans* (MEINCK 1999). Darüber hinaus können die unterschiedlichen Standort- und Klimabedingungen weitere Gründe für die Unterschiede zwischen den eigenen Ergebnissen und den Ergebnissen von ABD-AL-KAREEM et al. (2001) und O'HERLIHY et al. (2003) sein.

Diesbezüglich besteht unter Freilandbedingungen ein großer Forschungsbedarf über die elicitorische Wirkung von Chitosan. Hier wäre es interessant, diese Wirksamkeit und die Wirkmechanismen bei unterschiedlichen Kartoffelsorten, zu untersuchen. Mehrere Untersuchungen zeigten, dass die Resistenz in der Pflanze früh induziert wurde, ihren Höhepunkt während der Blütezeit hatte und dann rasch wieder abnimmt (MITTELSTRASS 2004). Somit könnte eine Intensivierung der Behandlung vor der Blütezeit zur Motivierung der Resistenzbildung führen. In zukünftigen Forschungen ist es interessant zu untersuchen, ob sich eine fungizide Wirkung durch erhöhte Konzentrationen einstellt.

Über Potavit existieren lediglich Ergebnisse der Firma ASG ENVICON GMBH, welche diese Pflanzenextrakte entwickelt hat. Hier wird über eine deutliche Erhöhung der Erträge durch den Potavit Einsatz über mehrere Jahre bei verschiedenen Kartoffelsorten berichtet (Tab. A 4). Es besteht weiterer Forschungsbedarf über die Wirkung von Potavit und HKS.

Die Ergebnisse aus dieser Arbeit zeigen, dass keines der geprüften Pflanzenstärkungsmittel zur erfolgreichen Ertragserhöhung führte. Der Einsatz von Pflanzenstärkungsmitteln wird in der Praxis nur erfolgen, wenn er wirtschaftlich ist. Die durch die Ausbringung des Pflanzenstärkungsmittels verursachten Kosten müssen daher durch den Erlös des Mehrertrages gedeckt werden. Eine Kostenkalkulation für die Ausbringung der Präparate enthält Tab. 27.

Tab. 27: Kostenkalkulation zur Ausbringung der Präparate (ALMOHAMAD et. al. 2012)

Präparat	Aufwandmenge je ha	Kosten des Präparates in €/ha	Aufwand für eine Ausbringung je ha (nach KTBL)				Gesamtkosten der Ausbringung €/ha	Gesamtkosten €/ha
			Arbeitszeit in h (10 €/h)	Diesel in l (0,60 €/l)	Maschinenkosten in €			
					Fix	Variabel		
Chitosan	8*400 g	650	0,23	1,2	5,55	3,31	88	738
Potavit	2*200 ml	39	0,23	1,2	5,55	3,31	22	61
HKS	2*500 ml	39	0,23	1,2	5,55	3,31	22	61

Da sich der Verkaufspreis der Speisekartoffel stark zwischen öko- und konventionellen Anbau unterscheidet, müssen unterschiedliche Mehrerträge erreicht werden, um beim Einsatz der Mittel eine wirtschaftliche Bedeutung zu gewinnen. Zur Deckung der Ausbringungskosten müsste im konventionellen Anbau ein Mehrertrag von 82 dt ha⁻¹ nach Einsatz von Chitosan und von 7 dt ha⁻¹ nach Einsatz von Potavit sowie HKS erzielt werden (Tab. 28). Im ökologischen Landbau wäre dagegen nach Einsatz von Chitosan eine Ertragssteigerung von 22 dt ha⁻¹ und nach Einsatz von Potavit bzw. HSK eine Steigerung um 2 dt ha⁻¹ ausreichend, wenn die in der Kalkulation unterstellten Kartoffelpreise von 9 bzw. 34 €/dt (KTBL 2010/2011) erzielt würden.

Tab. 28: Kalkulation des notwendigen Mehrertrages (ALMOHAMAD et. al. 2012)

Präparat	Verkaufspreis Speisekartoffeln in €/dt	
	konventioneller Anbau	ökologischer Anbau
	9	34
	Erforderlicher Mehrertrag in dt/ha	
Chitosan	82	22
Potavit	7	2
HKS	7	2

6.4 Einfluss des unterschiedlichen Befalls mit *P. infestans* sowie der Nährstoff- und Wasserverfügbarkeit auf den Kraut- und Knollenertrag, die Ertragskomponenten und die Knollenqualität

Von großer Bedeutung für den Ertrag bei Kartoffeln sind die Wasser- und Nährstoffversorgung. Zudem spielt die Pflanzengesundheit eine wichtige Rolle für den Kraut- und Knollenertrag sowie für die Knollenqualität. Pflanzengesundheit, Pflanzenernährung und Wasserversorgung interagieren teilweise stark miteinander. In dieser Arbeit wurde die komplexe Wirkung der unterschiedlichen Wasser- und Nährstoffversorgung sowie des unterschiedlichen Phytophthorabefalls in den beiden Versuchsjahren auf den Kraut- und Knollenertrag und die Knollenqualität untersucht.

Kalium fördert insbesondere das oberirdische Längenwachstum der Kartoffel im EC 30 - 39 und sorgt damit für ein großes Volumen des Kartoffelkrautes (ULRICH & FONG 1969).

Die Niederschlagsmengen hatten im Zusammenwirken mit der Kaliumversorgung und dem Phytophthorabefall einen erheblichen Einfluss auf die Knollenbildung. Deshalb wurde der Einfluss dieser Komponenten auf den Knollenertrag mit einer dreifach-linearen Regressionsfunktion (Daten beider Jahre; n=288) geschätzt. Auf diese Weise konnten 44 % der Ertragsvarianz erklärt werden. Die der Untersuchung zugrunde liegende Datenbasis zeigt, dass der Befall durch *P. infestans* die Ertragsvariation nur zu 11 % erklärt. Die Wasserversorgung hatte einen deutlich größeren Einfluss auf die Ertragsbildung (50 %) als der Befall mit *P. infestans*. Als weitere Einflussgröße konnte die Kaliumversorgung identifiziert werden (16 %) (Tab. 18). Das widerspricht nicht der Aussage

in der Abbildung. 5, dass im Jahr 2009 etwa 21 % der Ertragsvarianz durch den Befall mit *P. infestans* erklärt werden konnte. Das höhere und sichere Ertragsniveau 2009 gegenüber 2008 wurde durch eine bessere Wasser- und Kaliumversorgung erreicht. In Untersuchungen zum ökologischen Kartoffelanbau von FINCKH et al. (2006) wurde ebenfalls gezeigt, dass lediglich 26 % der Ertragsvariation durch den Befall mit *P. infestans* erklärt werden konnte. Als wesentliche Ertrag beeinflussende Faktoren wurden in der Arbeit von FINCKH et al. (2006) neben der Wachstumszeit und der Temperatursumme auch die Stickstoffversorgung herausgearbeitet. Da es in den hier vorliegenden Untersuchungen keine Variation der Stickstoffversorgung gab (80 kg ha⁻¹ in den beiden Jahren), konnte dieser Faktor in den Regressionsanalysen nicht berücksichtigt werden.

Die durch gute Wasser- und Kaliumversorgung verursachte Ertragszunahme 2009 war durch die Steigerung der **Knollenanzahl** charakterisiert (s. Kap. 5.1.2.2. Abb. 6). Der Zusammenhang zwischen der Wasserversorgung und der Knollenanzahl je Pflanze wurde bereits von KRUG & WIESE (1972) und HAVERHORT et al. (1990) bestätigt. In den Untersuchungen von WIESE et al. (1975) wurden unter feuchten Bedingungen im Knollenansatzstadium doppelt so viele Knollen angelegt, wie in trockenem Boden.

Die Kaliumversorgung könnte 2009 ebenfalls eine indirekte positive Wirkung auf die Knollenanzahl durch die Förderung des Krautwachstums gehabt haben. HOLM & NYLUND (1978) und HAVERKORT & RUTAYISIRE (1986) berichteten, dass Kalium zum Anstieg der Anzahl der Stängel pro Pflanze führte. HAVERKORT et al. (1990) und MOLL (1992) stellten eine positive Korrelation zwischen der Knollenanzahl und der Stängelanzahl pro Pflanze fest.

Der Phytophthorabefall beeinflusste die Knollenanzahl in den beiden Jahren nicht, da die Knollenanzahl in einer frühen Entwicklungsphase (EC 40-49) angelegt wird (Moll 1992) und der Befall mit *P. infestans* in den eigenen Versuchen spät einsetzte (EC 61-69).

Neben der Knollenanzahl wird auch das **Einzelknollengewicht** durch die differenzierte Nährstoff- und Wasserversorgung beeinflusst, da das Knollenwachstum erst kurz vor der Ernte beendet ist (AHMED & SAGAR 1981). Trotz der erhöhten Knollenanzahl im Jahr 2009 in den eigenen durchgeführten Versuchen

kam es nicht zu einer Reduzierung des Einzelknollengewichtes. Das Einzelknollengewicht war 2009 gleich hoch wie im Jahr 2008 (s. Kap. 5.1.2.2. Abb. 6). Nach AHMED & SAGAR (1981) reduziert sich die Wachstumsrate der Einzelknollen beim Anstieg der Knollenanzahl je Pflanze. Dies kam aufgrund der guten Kalium- und Wasserversorgung in der eigenen Arbeit nicht zustande. ROTH et al. (1985; 1987) bestätigten, dass der Knollenertrag bzw. das Knollenwachstum von der Wasserversorgung während der Blüte und vier Wochen danach abhängig ist und Wassermangel in diesem Zeitraum zu beträchtlichen Ertragsverlusten führen kann. SPIESS (2002) zeigte, dass die Kaliumdüngung den Anteil der mittleren und großen Knollen förderte und den Anteil der kleinen Knollen im Vergleich zur Kontrolle ohne Kaliumzufuhr reduzierte.

Darüber hinaus führte die durch die gute Kalium- und Wasserversorgung geförderte Krautbildung im eigenen Versuch zur Steigerung des Einzelknollengewichts der Knollen (s. Kap. 5.1.2.2. Abb. 6). HOLM & NYLUND (1978) wiesen nach, dass ein verbessertes Krautwachstum zur Erhöhung der Wachstumsrate der Knollen führte.

Das Einzelknollengewicht wurde im Gegensatz zur Knollenanzahl durch den unterschiedlich starken Phytophthorabefall beeinflusst. Die Regulierungsgruppe auf Basis von konventionellen Pflanzenschutzmitteln (konventionelle Pflanzenschutzmittel + PSM) zeigte zum dritten Boniturtermin einen signifikant niedrigen Befall mit *P. infestans* bzw. größere Knollen als die anderen Regulierungsgruppen (Abb. 6). Unter Einbeziehung der Lebensdauer des Krautes und hinsichtlich seiner Rolle für die Knollenwachstumsdauer und die Knollenwachstumsrate (AHMED & SAGAR 1981), ergaben sich diese Unterschiede beim Einzelknollengewicht zwischen den Regulierungsgruppen. Durch Zerstörung der Pflanzenbestände mit *P. infestans* reduzierte sich die Wachstumsrate und Wachstumsdauer der Knollen. NEUHOFF & KÖPKE (2002) stellten fest, dass ein höherer Befall mit *P. infestans* in der dritten Juli-Dekade zu einer Verkürzung der Lebensdauer des Krautes bzw. der Knollenwachstumsdauer und zu geringeren Erträgen führte.

Deutlich konnte jedoch herausgearbeitet werden, dass die Ertragsvariation von Kartoffeln von unterschiedlichen Faktoren abhängig ist. Unter Einbeziehung der Untersuchungen von FINCKH et al. (2006, 2008) sowie MÖLLER et al. (2006) wird damit eine ausgewogene und optimale Nährstoffversorgung im Rahmen

eines integrierten Konzepts zur Bekämpfung von *P. infestans* unter den Bedingungen des sparsamen Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln für besonders wichtig erachtet.

Stärkegehalt der Knolle

In der vorliegenden Arbeit lag ein Schwerpunkt auf der Verlängerung der Lebensdauer des Krautes durch die Reduktion des Infektionsdrucks mit *P. infestans*, so dass die Störkeeinlagerung über einen längeren Zeitraum stattfinden bzw. ein höherer Stärkegehalt erreicht werden kann. Ebenso wurde die unterschiedliche Wasser- und Nährstoffversorgung zwischen den beiden Jahren auf den Stärkegehalt der Knollen untersucht.

P. infestans hatte die Störkeeinlagerung im Versuchsjahr 2008 aufgrund des späten Auftretens des Phytophthorablattbefalls nicht beeinflusst. Es kam in allen Prüfgliedern zur natürlichen Defoliation der Pflanzenbestände, so dass die Knollen bereits optimal ausgereift waren und die Störkeeinlagerung abgeschlossen war. Es ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen der Chitosanpflanzgutvorbehandlung. Bei der Faktorstufe a2 (mit Chitosanpflanzgutvorbehandlung) wurde ein signifikant höherer Stärkegehalt im Vergleich zur Faktorstufe a1 (ohne Chitosanpflanzgutvorbehandlung) festgestellt. Dies wurde durch die geringere Krautmasse bei der Faktorstufe a2 vergleichsweise mit Faktorstufe a1 begründet. Diese geringere Krautmasse bei der Faktorstufe a2 führte zur schnelleren Abreife. So waren die Knollen zum Erntetermin durch einen höheren Reifegrad gekennzeichnet, was sich in einem höheren Stärkegehalt der Knollen widerspiegelte. Auch KOLBE (1995) stellte einen positiven Zusammenhang zwischen dem Reifegrad der Knollen und deren Gehalt an Stärke fest.

Im Jahr 2009 zeigte *P. infestans* durch das Zerstören des Krautes einen hemmenden Effekt auf den Stärkegehalt. Die Regulierungsgruppe auf Basis von konventionellen Pflanzenschutzmitteln hatte mit signifikant niedrigem Phytophthorabefall einen signifikant höheren Störkeertrag bzw. Stärkegehalt gezeigt als die übrigen Regulierungsgruppen (Kontrolle, PSM, ökologische Pflanzenschutzmittel + PSM) (s. Kap. 5.1.2.2. Abb. 6). Diese Tatsache kann dadurch begründet werden, dass durch Reduzierung des Phytophthorabefalls die Lebensdauer des Krautes verlängert wird bzw. die Störkeeinlagerung über

längere Zeit stattfinden kann. Auch MÖLLER (2001) und NEUHOFF & KÖPKE (2002) wiesen eine Abnahme des Stärkegehalts der Knollen bei hohem Befall mit *P. infestans* nach.

Trotz des negativen Effekts von *P. infestans* auf den Stärkegehalt im Jahr 2009 war der Stärkegehalt deutlich höher als 2008, da mehr Krautmasse zur mehr Stärkebildung führte. Nach erheblichen Niederschlägen bis zum 24. Juli waren die Niederschlagsmengen mit größeren zeitlichen Abständen bis zum 9. August reduziert (nur 5,1 mm Niederschlag innerhalb dieses Zeitraumes). So konnte die Störkeeinlagerung vermutlich in dieser Zeitspanne (ca. zwei Wochen) gesteigert werden. Auch WIESE et al. (1975) und WINKELMANN (2005) fanden heraus, dass sich die Störkeeinlagerung bei fehlender Wasserversorgung in der Reifephase (nach der Blüte) erhöht.

Mit der Regressionsanalyse wurde in der eigenen Arbeit festgestellt, dass Kalium eine positive Wirkung auf den Stärkegehalt hatte (s. Kap. 5.1.2.2. Tab. 21). Der Einfluss der Kaliumversorgung auf den Stärkegehalt der Knollen wird kontrovers diskutiert. Nach KOLBE (1995) und FORSTER et al. (2007) soll eine gute Kaliumversorgung (Klasse C) eine reduzierte Trockensubstanz und einen reduzierten Stärkegehalt zur Folge haben. Begründet wird dieser Zusammenhang mit dem Anstieg des Wassergehaltes bei erhöhter Kaliumkonzentration in den Knollen, so dass der Anteil an Trockensubstanz und Stärke negativ beeinflusst wird. Auch NEUHOFF & KÖPKE (2002) und SANDBRINK & GROCHOLL (2006) bestätigten diesen Sachverhalt. Im Gegenteil dazu wiesen MALINOWISKA (1983) und WÖLFEL (2002) nach, dass eine ausreichende Kaliumversorgung der Pflanze zahlreiche Enzyme aktiviert, die für Stoffwechselvorgänge des Kohlenhydrat- und Zuckerhaushaltes zuständig sind.

Schorfbefall

Kartoffelschorf auf den Knollen wird durch die Bakterienart *Streptomyces scabies* hervorgerufen. Obwohl die Symptome dieser Krankheit lediglich auf die Knollenschale begrenzt sind, ist die wirtschaftliche Bedeutung sehr groß, da die äußere Qualität der Knollen je nach Symptomschwere beeinträchtigt wird.

Die Infektion mit dem Kartoffelschorf erfolgt in der Phase des Knollenwachstums. Im Zeitraum vom Beginn des Knollenansatzes bis zwei Wochen danach ist das Befallsrisiko sehr hoch, da die Knollen zu diesem Zeitpunkt noch dünn-

schalig sind. Die Gefahr von Schorfbefall ist daher von der Wachstumsintensität und der Wachstumsdauer der Knollen abhängig. Während der gesamten Lebensdauer des Krautes befinden sich die Knollen noch im Wachstum und können infiziert werden.

Der Schorfbefall wurde in der eigenen Arbeit bei der Sorte Agria unter Freilandbedingungen durch die Chitosanpflanzgutvorbehandlung mit 1 g l^{-1} nicht beeinflusst. Im Gegensatz dazu erreichten BEAUSEJOUR et al. (2003) und JOBIN et al. (2005) *in vitro* durch die Knollenbehandlung (Kartoffelsorte Shepody) mit 0,5 g und 0,25 g Chitosan je Knolle eine Reduktion des Schorfbefalls um 27 % und 92 % im Vergleich zur Kontrolle.

Im Feldversuch konnten PREVOST et al. (2006) die Ergebnisse von BEAUSEJOUR et al. (2003) und JOBIN et al. (2005) nicht bestätigen. Durch die Knollenbehandlung mit 0,5 g Chitosan je Knolle bei der Kartoffelsorte Shepody wurde keine Wirkung auf den Schorfbefall nachgewiesen.

In den eigenen Untersuchungen wurden deutliche Unterschiede beim Schorfbefall zwischen den beiden Jahren festgestellt. Im Versuchsjahr 2009 wurde bei erheblichen Niederschlägen im Juni und Juli ein höherer Schorfbefall bonitiert als 2008. Wegen der hohen Niederschlagsmenge 2009 zum Stadium des Knollenansatzes (Juni: 65 mm) und Knollenwachstum (Juli: 111 mm) wurde ursprünglich kein Anstieg des Schorfbefalls erwartet. Dennoch widersprechen die eigenen Ergebnisse nicht der Aussage, dass ein ausreichendes Wasserangebot während diesem Zeitraum hemmend auf den Kartoffelschorf wirkt (LEWIS 1977, SCHÖBER- BUTIN 1984, ADAMS et al. 1990, WILSON et al. 2001). Möglicherweise ist die Verlängerung der Infektionsdauer die Ursache für den höheren Schorfbefall im Jahr 2009. Die Niederschläge führten einerseits zur Reduktion des Schorfbefallsdrucks, andererseits zur Verlängerung der Lebensdauer des Krautes und zur Verzögerung der Abreife bzw. Verlängerung der Knollenwachstumsdauer und folglich des Infektionszeitraumes mit Schorf. Das Jahr 2008 war durch einen kurzen Vegetativzeitraum gekennzeichnet, was zur Verkürzung der Infektionsdauer mit Schorfbefall führte. Die Behandlung auf Basis der konventionellen Pflanzenschutzmittel zeigte in beiden Jahren einen höheren Schorfbefall als die anderen Behandlungen. Der geringere Phytophthoraablattbefall in dieser Variante trug zur Verlängerung der Lebens-

dauer des Krautes bei. So war die Verdickung der Knollenschale verzögert und die Infektionsdauer verlängert.

6.5 Einfluss der räumlichen und zeitlichen Ausbreitung von *P. infestans* im Parzellenversuch auf die Wirksamkeit der unterschiedlichen Blattbehandlungen

Der *P. infestans*-Erreger hatte Befallszentren auf dem Feld, von wo aus sich ein Befallsnetz bildete. NEUHOFF et al. (2003) bestätigte, dass ausgehend von der Infektionsquelle „Einzelpflanze“ die Ausbreitung von *P. infestans* hauptsächlich in Hauptwindrichtung erfolgt und um diese Primärherde herum kreisförmige Befallsflecken im Pflanzenbestand entstehen.

Im diesem Kapitel wird dargelegt, dass der Befall mit *P. infestans* eine starke Befallsvariabilität im Feld bedingt. Dadurch variierte die Wirksamkeit der eingesetzten Mittel. Dies führt zur großen Streuung zwischen den Wiederholungen, so dass keine signifikanten Unterschiede bei der univariaten Varianzanalyse hinsichtlich des Phytophthorabefalls erkennbar werden.

FINCKH et al. (2003; 2008) stellten fest, dass der variierte Befallsdruck durch das Mikroklima innerhalb eines Feldes und durch die räumliche Ausbreitung von *P. infestans* mit einer entsprechenden statistischen Methode betrachtet werden muss. Deshalb wurde angenommen, dass die einfache Varianzanalyse bei der Auswertung der Wirksamkeit der unterschiedlichen Behandlungsmittel nicht ausreichen würde. Für die Auswertung der eigenen Ergebnisse wurde eine geostatistische Analyse (Semivarianz und Kriging) mit der Statistiksoftware PAST 2.12 (HAMMER et al. 2001) durchgeführt. Dabei wurde der räumliche Abstand jeder Parzelle von der Infektionsquelle berücksichtigt.

Durch die Befallskartierung konnte gezeigt werden, dass die Parzellen, die auf einer Konturlinie lagen, unabhängig von der Behandlung, gleich stark befallen waren. Generell führte die Behandlung auf Basis der konventionellen Pflanzenschutzmittel zur Verringerung des Befallsdrucks auf der gesamten Fläche des Fungizidversuches, einschließlich der Parzellen, die nur mit Chitosan behandelt waren. Im Gegenteil dazu erhöhte sich der Befallsdruck auf der gesamten Fläche des Kupferversuchs (außer der Parzellen, die mit Akrobat Plus und Shirlan behandelt waren). So war die Wirksamkeit der unterschiedlichen Behandlungen stark von der territorialen Nachbarschaft beeinflusst. Beispielsweise zeigte die

alleinige Chitosanbalttbehandlung aufgrund des variierten Befallsdrucks zwischen den beiden Versuchen unterschiedliche Wirksamkeit auf *P. infestans*.

Die Lage der Parzellen zur Hauptwindrichtung in beiden Versuchsjahren spielte eine relativ große Rolle für den Infektionsdruck, da der Wind der wichtigste Faktor zur Verbreitung von *P. infestans* Sporangien ist (AYLOR et al. 2001). Die Ausbreitung des Phytophthorabefalls in den eigenen Versuchen verlief vorwiegend in Hauptwindrichtung.

Im Jahr 2008 lagen die Parzellen auf der Windseite. Durch die lange windoffene Seite des Feldes (63 m) konnte der Phytophthora-Erreger mehrere Befallszentren ausbilden, aus denen eine kreisförmige Ausbreitung des Befalls erfolgte. Darüber hinaus war der Befallsverlauf entlang der Reihe (in der Hauptwindrichtung) erfolgreich und reichte bis zum dritten Boniturtermin das Ende des Feldes (entlang 36 m). So war der hohe Befallsdruck auf der gesamten Fläche vorhanden.

Im Versuch 2009 wurden die Parzellen quer zur Windrichtung geplant. Die Reihen des ersten Randes (R1) wirkten 2009 als Barriere für die vom Wind eingebrachten Sporen. Durch diese lange Barriere (72 m) wurde die Ausbreitung der Sporen auf die ganze Versuchsfläche verhindert. Folglich war die Ausbreitung des Befalls auf der Versuchsfläche langsamer als im Jahr 2008, als die Parzellen in Hauptwindrichtung lagen. Darüber hinaus breitete sich der Befall zwischen den Reihen bzw. zwischen den Parzellen nur verzögert aus und der Befallsdruck stieg nur langsam. Zum dritten Boniturtermin war der hohe Befallsdruck bis zu einer Entfernung ca. 16 m von den Reihen des ersten Randes (R1) begrenzt. BOUWST & FINCKH (2008) bestätigten, dass der Befallsdruck in den Parzellen, die quer zum Wind angebaut wurden, deutlich reduziert ist.

Es ist möglich, dass sich diese Ergebnisse unter sehr feuchten und warmen Bedingungen nicht bestätigen, da durch den Anbau der Reihen in Windrichtung die Feuchtigkeit der Pflanzenbestände verringert werden kann. Daher sind weitere Versuche in feuchtwarmen Gebieten bzw. mit hohem Befallsdruck sowie mit unterschiedlichen Sorten erforderlich. Dazu wäre eine lange Parzelle quer zur Windrichtung ratsam. Da dadurch der Infektionsdruck verringert werden könnte.

6.6 Wirkung der verschiedenen Behandlungen auf dem Feld bei unterschiedlicher Wasser- und Nährstoffversorgung sowie der Nacherntebehandlung mit Chitosan im Lager auf die Lagereigenschaften der Knollen

Der Fortschritt in der Lagerhaltung ist sowohl im ökologischen als auch im konventionellen Kartoffelbau von großem Interesse, um im Frühjahr gesundes Pflanzgut zur Verfügung zu stellen. Daher wurde in der vorliegenden Arbeit die Wirkung der verschiedenen Behandlungen auf dem Feld, bei unterschiedlichen Wetterbedingungen und variierender Wasser- und Nährstoffversorgung sowie Phytophthorabefall bzw. Nacherntebehandlung mit Chitosan im Lager, auf die Lagereigenschaften (Knollenfäule, Masseverlust) der Knollen untersucht. Die Wirkung der unterschiedlichen Behandlungen (auf dem Feld, im Lager) gegen die Knollenfäule konnte in dieser Arbeit nicht nachgewiesen werden, da kein Befall im Lager vorhanden war. Als mögliche Ursache dafür wird der niedrige Infektionsdruck mit *P. infestans* während der Zeit des Knollenwachstums gesehen, was eine geringe Wahrscheinlichkeit der Knolleninfektion auf dem Feld zur Folge hatte. Obwohl im Versuchsjahr 2009 der Bestandsbefall eher auftrat und stärker war als 2008, stieg die Häufigkeit der Braunfäule nicht an. Auch bei KÖLSCH et al. (1991) und MEINCK (1999) führte der Anstieg des Infektionsdrucks auf dem Feld zu keiner Braunfäule-Infektion im Lager.

Die Wirkung der Knollenbehandlung mit Chitosan gegen die Braunfäule durch Resistenzinduzierung in der Knolle wurde von OZERETSKOVSKAYA et al. (2006) nachgewiesen.

Die verschiedenen Behandlungen auf dem Feld hatten auch keinen Einfluss auf den Masseverlust. Auch KOWALSKI et al. (2007) konnten keinen signifikanten Effekt durch die Chitosanbehandlung auf dem Feld auf die Masseverluste bzw. die Braunfäule im Lager bei fünf Kartoffelsorten feststellen.

Auch durch die Nacherntebehandlung mit Chitosan im Lager wurde der Masseverlust nicht beeinflusst. Zum gleichen Ergebnis kam WEDELL (2006). Auch hier zeigte die Behandlung mit Chitosan im Lager keine Wirkung weder auf den Masseverlust noch auf die Knollenfäule bei Kartoffel.

Bei anderen Fruchtarten wurde ebenfalls keine Wirkung für Chitosan auf den Masseverlust festgestellt. BAUTISTA-BANÖS et al. (2003) konnten beispielsweise durch die Applikation von Chitosan auf Papaya- Früchte im Lager keinen Effekt auf den Masseverlust nachweisen. Im Gegenteil dazu stellten HONG et

al. (2012) fest, dass die Behandlung mit Chitosan im Lager zur signifikanten Reduzierung des Gewichtsverlustes von Guavefrüchten führte. JITAREERAT et al. (2007) und ZHU et al. (2008) haben ebenso nachgewiesen, dass die Behandlung von Mangofrüchten mit Chitosan zur Reduzierung der Atmungsrate und Ethylenproduktion bzw. zur Verringerung des Masseverlustes im Lager führte. In der Literatur wurde ebenfalls bestätigt, dass Chitosan einen signifikant hemmenden Effekt gegen verschiedene Lagerkrankheiten bei verschiedenen Früchten zeigte (EL GHOUTH et al. 1997, ZHANG et al. 1998, EL GHOUTH et al. 1999, BAUTISTA-BANÖS et al. 2003, ROMANAZZI 2002; 2010, ZAHID et al. 2012).

Deutliche Unterschiede des Gewichtsverlustes in den eigenen Lagerversuchen wurden zwischen den beiden Jahren über unterschiedliche Lagerzeiträume festgesellt. Große Gewichtsverluste im Lager können auf die Wasserabgabe zurückgeführt werden (BODIN 1984). Im Lagerversuch 2009/2010 wurden für alle Prüfglieder höhere Gewichtsverluste nachgewiesen als 2008/2009, besonders in der ersten Lagerperiode. Dies ist vermutlich auf die Verzögerung der Ausreifung der Knollen zurückzuführen. So hatten vermutlich die unreifen Knollen in den ersten vier Wochen der Lagerung 2009/2010 eine hohe Atmungsaktivität und einen hohen Verdunstungsverlust und verloren mehr Wasser bzw. Masse als die besser ausgereiften Knollen 2008/2009. 2008/2009 waren die Knollen ausgereift mit dicker Schale, was zur Reduktion der Wasserabgabe führte. Auch LANGE (1996) und MEINCK (1999) benannten das physiologische Alter der Knollen als Einflussfaktor für den Masseverlust der Knollen im Lager. Die Knollen verloren durch die hohe Keimintensität in der zweiten Lagerperiode 2009/2010 viel Wasser, wohingegen die Knollen 2008/2009 aufgrund der Kälte (-9,3 – 7,7 °C Außentemperatur) nicht keimten. Nach der Praxiserfahrung ist die optimale Temperatur für die Keimbildung zwischen 10 - 15 °C. Überdies erhöhten die Kaliumdüngung und der daraus resultierende erhöhte Wassergehalt der Knollen (KOLBE et al. 1995) den Masseverlust, was ebenfalls im Lagerversuch 2009/2010 zutreffend war.

7 Zusammenfassung

Die Regulierung der Kraut- und Knollenfäule (*P. infestans*), die wichtigste Krankheit bei Kartoffeln, nimmt eine bedeutende Stellung im Kartoffelbau ein. Das Interesse an der Reduktion der gesamten Aufwandmenge der chemischen Pflanzenschutzmittel ist sehr groß, da es ein Vorteil für Umwelt und Verbraucher ist. Derzeit gewinnt die Anwendung von Pflanzenstärkungsmitteln an Bedeutung. Zahlreiche Forschungsarbeiten haben das Ziel verfolgt, die pflanzen-eigenen Abwehrkräfte durch den Einsatz von Pflanzenstärkungsmitteln zu erhöhen.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher, die Wirksamkeit des Elicitors Chitosan sowie der Pflanzenstärkungsmittel Potavit und HKS (Testprodukt in der Entwicklungsphase) zur Regulierung des Befalls mit *P. infestans* bei der Kartoffelsorte Agria im Feld zu untersuchen. Dabei wurde die Wirkung der einzelnen Extrakte sowie deren Kombinationswirkung mit dem im ökologischen Landbau verwendeten Kupferhydroxid sowie mit im konventionellen Landbau verwendeten Pflanzenschutzmitteln (Akrobat Plus, Shirlan) überprüft.

Im Vordergrund der Untersuchungen stand die Ermittlung der Wirksamkeit einer Pflanzgutvorbehandlung mit Chitosan auf den Stängelbefall mit *P. infestans*. In Folge der Kombinationswirkung aus dem elicitorischen Effekt der Pflanzenstärkungsmittel und dem fungiziden Effekt der Pflanzenschutzmittel wurde eine effektive Reduzierung des Blattbefalles mit *P. infestans* und somit eine positive Ertragswirkung erwartet.

Weiterhin wurde der Einfluss der Behandlungen auf dem Feld sowie der Nach-erntebehandlung mit Chitosan im Lager auf die Lagereigenschaften der Kartoffeln (Fäule, Masseverlust) untersucht. Die eingelagerten Knollen wurden im Folgejahr erneut angebaut, um die Wirkung der Behandlung im Nachbauversuch im Vergleich zu einer unbehandelten Kontrolle zu prüfen.

In den verschiedenen Feldversuchen wurde die Wirkung der unterschiedlichen Behandlungen auf den Befall mit *P. infestans*, die Frisch- und Trockenmasse des Krautes, die Inhaltsstoffe des Krautes, den Knollenertrag, die Ertragsstruktur, die Knollenqualität (Stärkegehalt, Schorfbefall) und die Lagerungseignung der Knollen erfasst. Zudem wurden die exogenen Faktoren (Wetter, Wasser- und Kaliumversorgung), welche die Ergebnisse der Feldversuche stark beeinflussten, in die Auswertung einbezogen.

Im Ergebnis der Untersuchungen lassen sich zusammenfassend die folgenden Aussagen treffen:

1. Der Effekt von Chitosan gegen den Stängelbefall konnte sich nicht nachweisen lassen, da in den beiden Versuchsjahren kein Stängelbefall auf Grund des trockenen Wetters in den Monaten Mai und Juni 2008 oder der niedrigen Temperatur 2009 ausgelöst wurde. Deshalb sind weitere Erforschungen notwendig.
2. Die beste Wirkung gegen den Blattbefall mit *P. infestans* wurde durch häufige Applikation der konventionellen Pflanzenschutzmitteln Akrobat Plus und Shirlan erreicht. Die alleinige Applikation von Akrobat Plus + Shirlan (2AP + 4 S) führte zur Reduktion des Befalls mit *P. infestans* um 52 % und bewirkte eine Ertragserhöhung um 26 % sowie eine Erhöhung des Stärkegehaltes um 19 % im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. Die kombinierte Chitosanblattbehandlung mit den konventionellen Pflanzenschutzmitteln Akrobat Plus und Shirlan (AP + S + CBB) führte zu einer Befallsreduzierung um 44 %, zur Ertragserhöhung um 22 % und zur Stärkegehaltssteigerung um 11 % im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle.
Es wurde keine nachweisliche Wirkung gegen den Blattbefall mit *P. infestans* infolge der Krautbehandlung mit der Kombination von Akrobat Plus + Shirlan + Chitosan (AP + S + CBB) im Vergleich zu der alleinigen Applikation von Akrobat Plus + Shirlan (2AP + 4 S) erreicht.
3. Die alleinige Applikation der Pflanzenstärkungsmittel Chitosan, Potavit und HKS bewirkte ebenfalls keine signifikante Befallsreduzierung und/oder Ertragssteigerung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle.
4. Die Kombination aus Kupfer + Chitosan sowie Kupfer und den Pflanzenextrakten Potavit und HKS zeigte keinen signifikanten Effekt auf den Blattbefall mit *P. infestans* wie auch auf den Knollenertrag und den Stärkegehalt der Knollen. Die kombinierten Varianten waren mit der alleinigen Applikation der Pflanzenstärkungsmittel sowie mit der unbehandelten Kontrolle vergleichbar.
5. Temperatur und Niederschlag in den Monaten Juni und Juli hatten in den durchgeführten Untersuchungen einen erheblichen Einfluss auf die Blattbefallsdynamik von *P. infestans*. Die Wärme und Trockenheit 2008 führte einerseits zur Verzögerung des Blattbefalls und andererseits zur Verkürzung

der Vegetationszeit und Beschleunigung der Ausreife der Knollen. Daher wurde keine Ertragsreduktion durch den Befall mit *P. infestans* verursacht. Im Jahr 2009 hatte sich der Blattbefall mit *P. infestans* aufgrund der Kälte trotz der erheblichen Niederschläge nur langsam entwickelt. Erst mit einem Temperaturanstieg bis zum optimalen Bereich für *P. infestans* beschleunigte sich die Zuwachsrate des Blattbefalls und es konnte ein signifikanter Einfluss einzelner Behandlungsstufen hinsichtlich des Blattbefalles mit *P. infestans* sowie des Knollenertrags ermittelt werden. 21 % der Ertragsvarianz 2009 konnte auf den Befall mit *P. infestans* zurückgeführt werden.

6. Die gute Wasser- und Kaliumversorgung führte 2009 zur Erhöhung der Krautfrischmasse sowie der Anzahl der Knollen, welche zur Ertragssteigerung trotz des früheren und höheren Befalls mit *P. infestans* führte. Mit der Dreifachlinearen Regressionsfunktion von Daten aus beiden Jahren ($n=288$, Methode *stepwise*) konnten 44 % der Ertragsvariation durch drei signifikante Faktoren (die Niederschlagsmenge vom 15. Juli bis 15. August in mm; Kaliummenge im Kraut am 70. Vegetationstag in kg ha^{-1} und *P. infestans* Befall Ende Juli in %) erklärt werden. Der Ertragsvarianz wurde zum großen Teil durch den ersten Faktor (Niederschlagsmenge vom 15. Juli bis 15. August in mm) erklärt.
7. Der Stärkegehalt der Knollen war 2009 ebenfalls erhöht. Es konnte 43 % der Varianz des Stärkegehaltes der Knollen mit vier signifikanten Faktoren (Kalium im Kraut am 70. Tag, Stickstoff im Kraut am 70. Tag, Befall mit *P. infestans*, Krautfrischmasse) erfasst werden. Der erhebliche Einfluss auf den Stärkegehalt war für die Krautfrischmasse.

8 Literaturverzeichnis

- Abd-El-Kareem F, Abd-Alla MA, El-Mohamedy RSR (2001) induced resistance in potato plants for controlling late blight disease under field conditions. Egyptian Journal of Phytopathology 29 (2): 29-41.
- Abd-El-Karem F, Nehal S, El-Mougy, Nadia G, El-Gamal, Fotouh YO (2006) use of chitin and chitosan against tomato root rot disease under greenhouse conditions. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 2 (4): 147-152.
- Abd-El-Khair H, Haggag WM (2007) application of some egyptian medicinal plant extracts against potato late and early blights. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 3 (3): 166-175.
- Abdullahil Baque Md, Humayun Kabir Shiragi Md, Eun-Jung Lee, Kee-Yoeup Paek (2012) elicitor effect of chitosan and pectin on the biosynthesis of anthraquinones, phenolics and flavonoids in adventitious root suspension cultures of *Morinda citrifolia* (L.). Australian Journal of Crop Science 6:1349-1355.
- Adams SS, Stevenson WR (1990) water management, disease development and potato production. American Potato Journal 67: 3-11.
- Adler N (2001) Untersuchungen zum Befall von Kartoffeln mit *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary mittels visueller Bonituren und PCR-Methoden. Dissertation. Technische Universität München.
- Ahmed CH MS, Sagar GR (1981) volume increase of individual tubers of potatoes grown under field conditions. Potato Research 24: 279-288.
- Ait Barka E, Eullaffroy P, Cle´ment C, Vernet G (2004) chitosan improves development and protects *Vitis vinifera* L. against *Botrytis cinerea*. Plant Cell Reports 22 (8): 608-614.
- Al Hetar MY, Zainal Abidin MA, Sariah M, Wong MY (2011) antifungal activity of chitosan against *Fusarium oxysporum* f. sp *cubense*. Applied Polymer Science 120 (4): 2434-2439.
- Ali A, Muhammad MTM, Sijam K, Siddiqui Y (2011) effect of chitosan coatings on the physicochemical characteristics of Eksotika II papaya (*Carica papaya* L.) fruit during cold storage. Food Chemistry 124: 620-626.
- Almohamad W, Böhm H, Dittmann L (2012) Wirkung von Pflanzenstärkungsmitteln Befall mit Kraut- und Knollenfäule (*P. infestans*) sowie Kartoffelertrag unter Freilandbedingungen. Kartoffelbau 11 (63): 20-24.

- Andrade-Piedra JL, Forbes GA, Shtienberg D, Grünwald NJ, Taipe MV, Hijmans RJ, Fry WE (2005) qualification of a plant disease simulation model: Performance of the late blight model across a broad range of environments. *American Phytopathological Society* 95 (12): 1412-1422.
- Asghari-Zakaria R, Maleki-Zanjani B, Sedghi E (2009) effect of *in vitro* chitosan application on growth and minituber yield of *Solanum tuberosum* L. *Plant, Soil and Environment* 55 (6): 252-256.
- Atia MMM, Buchenauer H, Aly AZ, Abou-Zaid MI (2005) antifungal activity of chitosan against *Phytophthora infestans* and activation of defence mechanisms in tomato to late blight. *Biological Agriculture & Horticulture* 23: 175-197.
- Appel R, Habermeyer J, Hausladen H (2001) Einfluss der Bodenfeuchte auf Primärbefall von *Phytophthora infestans*. *Kartoffelbau* 5: 190-193.
- Aylor DE, Fry WE, Mayton H, Andrade-Piedra JL (2001) quantifying the rate of release and escape of *Phytophthora infestans* sporangia from a potato canopy. *Journal of Phytopathology* 91 (12): 1189-1196.
- Bajguz A (2007) metabolism of brassinosteroids in plants. *Plant Physiology and Biochemistry* 45 (2): 95-107.
- Bäßler R (2005) Primärbefall der Kartoffeln (*Solanum tuberosum* L.) mit *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary unter Berücksichtigung zweier physikalischer Bodenparameter und einer Pflanzgutbeizung. Dissertation. Technischen Universität München
- Bautista-Banös S, Hernández-Lauzardoa AN, Velázquez-del Vallea MG, Hernández-López M, Ait Barkab E, Bosquez-Molinac E, Wilson CL (2006) chitosan as a potential natural compound to control pre- and postharvest diseases of horticultural commodities. *Crop Protection* 25: 108-118.
- Bautista-Banös S, Hernández-López M, Bosquez-Molina E (2004) growth inhibition of selected fungi by chitosan and plant extracts. *Journal of Phytopathology* 22: 178-186.
- Bautista-Banös S, Hernández-López M, Bosquez-Molina E, Wilson CL (2003) effects of chitosan and plant extracts on growth of *Colletotrichu gloeosporioides*, anthracnose levels and quality of papaya fruit. *Crop Protection* 22: 1087-1092.
- Bautista-Banös S, Sanchez-Dominguez D, Rios MY, Castillo-Ocampo P, Zavala-Padilla G, Ramos-Garcia M (2011) cytological and biochemical changes in-

- duced by chitosan in the pathosystem *Alternaria alternata*-tomato. Pesticide Biochemistry and Physiology 99 (3): 250-255.
- Beausejour J, Clermont N, Beaulieu C (2003) effect of *Streptomyces melanosporofaciens* strain EF-76 and of chitosan on common scab of potato. Plant and Soil 256 (2): 463-468.
- Benhamou N (1992) ultrastructural and cytochemical aspects of chitosan of *Fusarium oxysporum* f. sp. *Radicis-lycopersici*, agent of tomato crown and root rot. Journal of Phytopathology 82: 1185-1193.
- Benhamou N, Lafontaine P, Nicole M (1994) induction of systemic resistance to fusarium crown and root rot in tomato plants by seed treatment with chitosan. Journal of Phytopathology 84: 1432-1444.
- Benhamou N (1996) elicitor-induced plant defence pathways. Trends in Plant Science 1 (7): 233-240.
- Bhaskara Reddy MV, Ait Barka E, Castaigne F, Arul J (1998) effect of chitosan on growth and toxin production by *Alternaria alternata* f. sp. *lycopersici*. Biocontrol Science and Technology 8 (1): 33-43.
- Bhaskara Reddy MV, Arul J, Angers P, Couture L (1999) effect of chitosan treatment of wheat seeds induces resistance to *Fusarium graminearum* and improves seed quality. Journal of Agricultural and Food Chemistry 47 (3): 1208-1216.
- Bhaskara Reddy MV, Asselin A, Arul J (1997) effect of chitosan on tissue maceration and enzyme production by *Erwinia carotovora* in potato. Presented at the 94th Annual Meeting International Conference of the American Society for Horticultural Science 32 (3): 512.
- Blaeser P (1999) Isolierung und Charakterisierung von Pflanzeninhaltsstoffe mit fungizider Wirkung. Dissertation. Universität Bonn.
- BMELV (2008) Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln [online]. Zu finden in <http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Pflanze/Pflanzenschutz/Nationaler-AktionsplanPflanzenschutz.pdf;jsessionid=DCEBC82674E8B2F25694531D95817015?__blob=publicationFile> [zitiert am 15.02.2011].
- BMVEL (2004) Reduktionsprogramm chemischer Pflanzenschutz. Berlin : BMVEL, 58 p.
- Bodin FK (1984) Kartoffellagerung ohne Qualitätsverluste. KTBL Schrift 294.

- Böhm H. (2001) Möglichkeiten der Regulierung von *Phytophthora infestans* an Kartoffeln im ökologischen Landbau. In Reents, H.-J. (ed.): Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung zum ökologischen Landbau. 6-8. März 2001. Freising-Weihenstephan: 377-380.
- Böhm H (2003) Kupfer und Kartoffelbau: Regulierung der Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*) im ökologischen Kartoffelanbau. Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft 118:48-55.
- Bouws H, Finckh MR (2007) effects of cropping history and origin of seed potatoes on population structure of *Phytophthora infestans*. European Journal of Plant Pathology 117 (4): 313-327.
- Bouws H, Finckh MR (2008) effects of strip intercropping of potatoes with non-hosts on late blight severity and tuber yield in organic production. Journal of Plant Pathology 57 (5): 916-927.
- Brückmann RA (1876) Die Kartoffel und ihre Kultur : Amtlicher Bericht über die Kartoffel-Ausstellung zu Altenburg vom 14. bis 24. Oktober 1875 und ihre Ergebnisse. Berlin : Wiegandt, Hempel & Parey.
- Burton WG (1966) the potato, 2nd ed. Verlag H. Veenman BV, Wageningen.
- Cao K, Wang ST, Kessler P, Fried PM, Forrer HR (2003) Krautfäulebekämpfung im Bio-Kartoffelanbau ohne Kupfer. Agrarforschung 10 (5): 182-187.
- Cassells A, Kowalski B (1998) strategies for the evaluation of somaclonal variation as a source of resistance to early and late blight of potato. In: Khurana SMP, Chandra R, Upadhy MD (eds) Comprehensive potato biotechnology. New Delhi : Malhotra Publ House, pp 49-64.
- Cavagnaro JB, de Lis BR, Tizio RM (1971) drought hardening of the potato plant as an after-effect of soil drought conditions at planting. Potato Research 14: 181-192.
- Chirkov SN, Il'ina AV, Surgucheva NA, Letunova EV, Varitsev YA, Tatarinova NY, Varlamov VP (2001) effect of chitosan on systemic viral infection and some defense responses in potato plants. Plant Physiology 48 (6): 774-779.
- Clouse SD, Sasse JM (1998) Brassinosteroids: essential regulators of plant growth and development. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 49: 427-451.
- Coqueiro DSO, Di Piero RM (2011) antibiotic activity against *xanthomonas gardneri* and protection of tomato plants by chitosan. Plant Pathology 93 (2): 337-344.

- Costa LD, Macherron KDL (2000) plant and soil water status in Haverkort AJ, Mackerron KDL (Eds) management of nitrogen and water in potato production 175-108. Wageningen Pers the Netherlands
- Cupsa I, Pamfil GH, Ignat V (1984) possibility to predict the initial and epidemic occurrence of potato late blight. Abstr. 9th Trienn. Conf. EAPR. Interlaken 350-352.
- Devaux A, Haverkort AJ (1987) the effects of shifting planting dates and mulching on late blight (*Phytophthora infestans*) and drought stress on potato crops grown under tropical highland conditions. Experimental Agriculture 23: 325-333.
- Dorn B, Musa T, Krebs H, Fried PM, Forrer HR (2007) control of late blight in organic potato production evaluation of copper-free preparations under field, growth chamber and laboratory conditions. European Journal of Plant Pathology 119: 217-240.
- Dörnenburg H, Knorr D (1994) elicitation of chitinases and antraquinones in *Morinda citrifolia* cell cultures. Food Biotechnology 8: 57-65.
- El Ghaouth A, Arul J, Ponnampalam R, Boulet M (1991a) chitosan coating effect on storability and quality of fresh strawberries. Food Science 56 (6): 1618-1620.
- El Ghaouth A, Arul J, Ponnampalam R, Boulet M (1991b) use of chitosan coating to reduce water-loss and maintain quality of cucumber and bell pepper fruits. Food Processing and Preservation 15: 359-368.
- El Ghaouth A, Arul J, Wilson C, Benhamou N (1997) biochemical and cytochemical aspects of the interactions of chitosan and *Botrytis cinerea* in bell pepper fruit. Postharvest Biology and Technology 12: 183-194.
- El Ghaouth A, Ponnampalam R, Castaigne F, Arul J (1992) chitosan coating to extend the storage life of tomatoes. Hortscience 27 (9): 1016-1018.
- El Ghaouth A, Smilanick JL, Brown GE, Wisniewski M, Wilson CL (1999) application of *Candida saitoana* and glycolchitosan for the control of postharvest diseases of apple and citrus fruit under semi-commercial conditions. Plant Disease 84: 243-248.
- Erwin DC, Bartnicki-Garcia S, Tsao PH (1983) *Phytophthora*: its biology, taxonomy, ecology, and pathology. American Phytopathological Society. St. Paul. Minnesota.

- Fajardo JE, Waniska RD, Cuero RG, Pettit RE (1995) phenolic compounds in peanut seeds enhanced elicitation by chitosan and effects on growth and aflatoxin B1 production by *Aspergillus flavus*. Food Biotechnology 9: 59-78.
- Finckh MR, Andrivon D, Bodker L, Bouws H, Corbiere R, Elliseche D, Philipps S, Wolfe MS (2003) Diversifikationsstrategien für das Management der Kraut- und Knollenfäule der Kartoffel. Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum ökologischen Landbau: 141-145.
- Finckh MR, Schulte-Geldermann EC, Bruns C (2006) challenges to organic potato farming: Disease and nutrient management. Potato Research 49 (1): 27- 42.
- Finckh R, Hayer F, Schulte-Geldermann E, Bruns C (2008) Diversität, Pflanzenernährung und Prognose: Ein integriertes Konzept zum Management der Kraut- und Knollenfäule in der ökologischen Landwirtschaft. Gesunde Pflanzen 60: 159-170.
- Forbes GA, Simon R (2007) implications for a warmer, wetter world on the late blight pathogen: How CIP efforts can reduce risk for low-input potato farmers. Journal of SAT Agricultural Research 4 (1).
- Forster H, Beringer H (2007) Stärkegehalte von Kartoffelknollen in Abhängigkeit von Kalium-Ernährung und Knollenentwicklung. Pflanzenernährung und Bodenkunde 146: 572-582.
- Foti S, Mauromicale G, Ierna A (1995) influence of irrigation regimes on growth and yield of potato cv. Spunta. Potato Research 38: 307-318.
- Fricke E (2004) Kartoffeln brauchen eine gesicherte Wasserversorgung. Kartoffelbau 55 (3): 76-79.
- Fricke E. (2005) kein Kartoffelanbau ohne gesicherte Wasserversorgung. Kartoffelbau 56 (3): 86-89.
- Frost M (1988) zur ökochemischen Funktion von Saponinen aus *A. githago*. Dissertation. Universität Frankfurt.
- Grewal JS, Trehan S (1993) phosphorus and potassium nutrition of potato - Potato (Eds. KL Chadha and JS Grewal) Malhotra Publishing House. New Delhi. In Advances in Horticulture 7: 261-297.
- Gunn JS (1990) crop protection handbook– Potatoes. Farnham. BCPC, 192 p.
- Hack H, Gall H, Klemke T, Klose R, Meier R, Strauss R, Witzemberger A (1993) Phänologischen Entwicklungsstadien der Kartoffel (*Solanum tuberosum* L.). Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes 45: 11-19.

- Hadwiger LA (1999) host-parasite interactions: elicitation of defense responses in plants with chitosan. In: Jollès P (ed) chitin and chitinases. Basel: Birkhäuser. pp 185-200
- Hadwiger LA, Tomoya O, Kuyama H (1994) chitosan polymer sizes effective in inducing phytoalexin accumulation and fungal suppression are verified with synthesized oligomers. *Molecular Plant Microbe Interactions* 7 (4): 531-533.
- Haeder HE, Mengel K, Forster H (1973) the effect of potassium on translocation of photosynthates and yield pattern of potato plants. *Science of Food and Agriculture* 24 (12): 1479-1487.
- Hammer Ø, Harper D, Ryan P (2001) paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4: 9.
- Hänni H (1949) Beitrag zur Biologie und Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule der Kartoffel, verursacht durch *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. *Phytopathologische Zeitschrift* 15: 209-332.
- Harris PM (1992) the scientific basis for improvement. Chapman & Hall Ltd. London
- Harris PM (1978) the potato crop (P.M. Harris, ed.). Chapman & Hall Ltd. London. 730 p.
- Hausladen H (2002) Grundlagen für ein Entscheidungskonzept zur Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule an Kartoffeln und seine Einführung in die Praxis. Dissertation. Technische Universität München.
- Haverkort AJ, Rutayisire C (1986) utilization of chemical fertilizers under tropical conditions .2. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium on the relationship between intercepted radiation and yield in potato crops in central Africa. *Potato Research* 29 (3): 357-365.
- Haverkort AJ, Van de Waart M, Bodlaender KBA (1990) the effect of early drought stress on numbers of tubers and stolons of potato in controlled and field conditions. *Potato Research* 33 (1): 89-96.
- Henneberg M (2010) Persönliche Mitteilung von Dr. Henneberg (Universität Rostock) – Witterungsdaten für den Feldversuchsstandort Rostock.
- Hijmans RJ, Forbes GA, Walker TS (2000) estimating the global severity of potato late blight with GIS-linked disease forecast models. *Plant Pathology* 49 (6): 697-705.

- Hirano A, Nagao N (1989) effects of chitosan, pectic acid, lysozyme, and chitinase on the growth of several phytopathogens. *Agricultural and Biological Chemistry* 53 (11): 3065-3066.
- Hoffmann GM, Schmutterer H (1999) Parasitäre Krankheiten und Schädlinge an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. 2. Aufl Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 675 p.
- Holm DG, Nylund RE (1978) the influence of potassium fertilizer application on tuber yield and mineral element content of potato petioles during the growing season. *American Potato Journal* 55 (5): 265-273.
- Hong K, Xie J, Zhang L, Sun D, Gong D (2012) effects of chitosan coating on postharvest life and quality of guava (*Psidium guajava* L.) fruit during cold storage. *Scientia Horticulturae* 144: 172-178.
- Hunnius W (1976) Veränderung des Stärkegehaltes bei Abreife der Kartoffel. *Kartoffelbau* 12: 359.
- Iqbal MM, Shah SM, Mohamad W, Nawaz H (1999) field response of potato subject to water stress at different growth stages. In Kirba C, Moutonnet P, Hera C, Nielson DR (eds) crop yield response to deficit irrigation 213-223 Kuwer academic Publishers the Netherlands.
- Irla E (2002) Forderungen zum Schutz von Krautfäule. Informationstagung Landtechnik.
- James C (1971) a manual of assessment keys for plant diseases. St Paul: American Phytopathological Society, 43 p.
- Jefferies RA, MacKerron DKL (1986) the influence of early soil moisture stress on tuber numbers in potato. *Potato Research* 29: 299-312.
- Jefferies RA, MacKerron DKL (1988) the distributions of tuber sizes in droughted and irrigated crops of potato. I. Observations on the effect of water stress on graded yields from differing cultivars. *Potato Research* 31: 269-278.
- Jefferies RA (1993) response of potato genotypes to drought. Expansion of individual leaves and osmotic adjustment. *Annals of Applied Biology* 122 (1):93-104.
- Jenkins PD, Ali H (1999) growth of potato cultivars in response to application of phosphate fertilizer. *Annals of Applied Biology* 135 (1) 431-438.
- Jensen in Appel O (1928) Handbuch der Pflanzenkrankheiten – Die pflanzlichen Parasiten. Verlagsbuchhandlung Paul Parey, Berlin.

- Jitareerat P, Paumchai S, Kanlayanarat S, Sangchote S (2007) effect of chitosan on ripening, enzymatic activity, and disease development in mango (*Mangifera indica*) fruit. Crop and Horticultural Science 35 (2): 211-218.
- Jobin G, Couture G, Goyer C, Brzezinski R, Beaulieu C (2005) streptomycete spores entrapped in chitosan beads as a novel biocontrol tool against common scab of potato. Applied Microbiology and Biotechnology 68 (1): 104-110.
- Kahle P, Kretschmer H (1994) Einfluß unterschiedlicher Gehalte an organischer Bodensubstanz auf das Konsistenzverhalten verschiedener Mineralboden-substrate. Pflanzenernährung und Bodenkunde 157: 393-396.
- Karalus W (1995) Einfluß der Pflanzgutvorbereitung auf den Krankheitsbefall und Ertragsaufbau bei Kartoffeln (*Solanum tuberosum* L) im ökologischen Landbau. Dissertation. Universität Gießen.
- Karalus W (1998) Einfluss der Bestanddichte auf den Krankheitsbefall bei Kartoffeln im ökologischen Landbau. Gesunde Pflanzen 50 (4): 97-100.
- KTBL (2010/2011) Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
- Kessel GJT, Jongebloed PHJ, Molhoek WML, Van Der Plas CH, Fokkema NJ (1993) biological control of *Phytophthora infestans* with bacterial antagonists. In: Lepoiver P, ed. Proceedings of an EC Workshop, Gembloux: 16-17.9.1993.refF.II.3-SJ/0010.
- Kleinkopf GE, Westermann DT, Dwelle RB (1981) dry matter production and nitrogen utilization by six potato cultivars. Agronomy Journal 73: 799-802.
- Kolbe H (1994) Einfluss des Wetters auf Ertrag und Zusammensetzung der Kartoffel. Wissenschaftsverlag Vauk Kiel.
- Kolbe H (1995) Einflussfaktoren auf die Inhaltsstoffe der Kartoffel. Trockensubstanz und Stärke. Kartoffelbau 46 (10): 404-411.
- Kolbe H (1997) Einflussfaktoren auf Ertrag und Inhaltstoffe der Kartoffel. Mineralstoffe und Spurenelemente. Kartoffelbau 48 (8): 318-323.
- Kolbe H, Müller K, Olteanu G, Gorea T (1995) effects of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer treatments on weight loss and changes in chemical composition of potato tubers stored at 4°C. Potato Research 38: 97-107.
- Kolbe W (1982) Bedeutung der Krautfäulebekämpfung im Kartoffellbau am Beispiel des Dauerversuches Höfchen (1943-1982) und der historischen Entwicklung. Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer 35: 247-290.

- Kölsch E, Stöppler H, Vogtmann M, Bätz W (1991) Kartoffel im ökologischen Landbau. Lagereignung, Inhaltstoffe und sensorische Qualität. Kartoffelbau 2: 68-75.
- Kowalski B (2003) Entwicklung von nachhaltigen Maßnahmekomplexen zur Kontrolle von wirtschaftlich bedeutenden pilzlichen Schaderregern im ökologischen Kartoffelbau Forschungsprojekt Nr:02OE272. Universität Rostock.
- Kowalski B, Jimenez Terry F, Agramonte Peñalver D, Unger C, Köppen D (2005) Untersuchungen zur Wirkung von Pflanzenstärkungsmitteln und Elicitoren auf Ertrag und Pflanzengesundheit bei Kartoffeln. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 17: 351-352.
- Kowalski B, Jimenez Terry F, Herrera L, Agramonte Peñalver D (2006) application of soluble chitosan *in vitro* and in the greenhouse to increase yield and seed quality of potato minitubers. Potato Research 49: 167-176.
- Kowalski B, Wedell KN, Köppen D (2007) Untersuchungen zur Auswirkung von Pflanzenstärkungsmitteln im Feld auf die Lagerung von Kartoffelknollen. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 19: 32-33.
- Krebs H, Dorn B, Forrer HR (2006) control of late blight of potato with medicinal plant suspension. Agrarforschung 13 (1):16-21.
- Krebs H, Forrer HR (2001) potatoes effects of incorporation of medicinal plants into soil. Agrarforschung 8 (11/12): 470-475.
- Kromann P, Taipei A, Perez WG, Forbes GA (2009) rainfall thresholds as support for timing fungicide applications in the control of potato late blight in Ecuador and Peru. Plant Disease 93:142-148.
- Krug H, Wiese W (1972) Einfluss der Bodenfeuchte auf Entwicklung und Wachstum der Kartoffelpflanze (*Solanum tuberosum* L.). Potato Research 15: 354-364.
- Kühne S, Strassemer J, Rossberg D (2009) Anwendung kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel in Deutschland. Journal für Kulturpflanzen 61(4): 126-130.
- Lacey J (1967) susceptibility of potato tubers to infection by *Phytophthora infestans*. Annals of Applied Biology 59 (2): 257-264.
- Lange J (1996) Gutes Pflanzgut muss kein Zufall sein. Top agrar 11: 50-53.
- Lapwood DH (1977) factors affecting the field infection of potato tubers of different cultivars by blight (*P. infestans*). Annals of Applied Biology 85 (1): 23-42.

- Latten J (1994) biologische Bekämpfung phytopathogener Pilze mit Hilfe von Pflanzenextrakten. Dissertation. Universität Gießen.
- Levy D (1983) varietal differences in the response of potatoes to repeated short periods of water stress in hot climates. 2. Tuber yield and dry matter accumulation and other tuber properties. *Potato Research* 26 (4): 315-321.
- Levy D (1985) the response of potatoes to a single transient heat or drought stress imposed at different stages of tuber growth. *Potato Research* 28 (4): 415-424.
- Lewis BG (1977) effects of water potential of the infection of potato tubers by *Streptomyces scabies* in soil. *Annals of Applied Biology* 66: 83-88.
- Li B, Wang X, Chen R, Huangfu WG, Xie GL (2008) antibacterial activity of chitosan solution against *Xanthomonas* pathogenic bacteria isolated from *Euphorbia pulcherrima*. *Carbohydrate Polymers* 72: 287-292.
- Liu H, Tian WX, Li B, Wu GX, Ibrahim M, Tao ZY, Wang YL, Xie GL, Li HY, Sun GC (2012) antifungal effect and mechanism of chitosan against the rice sheath blight pathogen, *Rhizoctonia solani*. *Biotechnology Letters* 34 (12): 2291-2298.
- Malinowska G (1983) Untersuchungen zum Einfluss von Kaliumernährung auf Ertrag und Stärkeakkumulation von Kartoffelknollen. Hannover: Universität, 84 p.
- Malkomes HP (2010) Einfluss Kupfer haltiger anthropogener Einträge auf Bodenmikroorganismen. *Kulturpflanzen* 62 (6): 211-222.
- Marschner H (1995) mineral nutrition of higher plants. 2nd Edition Acad. Press, London.
- Meinck S (1999) Speisekartoffelanbau im ökologischen Landbau. Optimierung des Anbauverfahrens durch Sortenwahl und Phytophthora-Prophylaxe. Dissertation. Universität Kassel.
- Mittelstraß K (2004) Einfluss von CO₂ und Stickstoffdüngung auf das Resistenzverhalten von Kartoffelpflanzen gegenüber *Phytophthora infestans* und *Alternaria solani*. Dissertation. Technische Universität München.
- Meinck S, Kolbe H (1999) Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule im ökologischen Kartoffelanbau. *Kartoffelbau* 50 (5): 172-175.

- Mohr HD, Portz C, Holz B, Noga G, Kast WK, Henning M (2007) Minimierung des Kupfereinsatzes im ökologischen Weinbau unter besonderer Berücksichtigung der Blattbeläge und ihrer Wirkung gegen den Falschen Mehltau (*Plasmopara viticola*). Nachrichtenblatt deutscher Pflanzenschutzdienst 59: 49-58.
- Moll A (1992) Beziehungen zwischen Stängel- und Knollenzahl bei der Kartoffel in Abhängigkeit von wichtigen Einflussfaktoren. II. Der Einfluss des Jahres. Potato Research 35: 287-295.
- Möller K (2001) Einfluss und Wechselwirkung von Krautfäulebefall (*P. infestans*) (Mont.) de Bary und Stickstoffernährung auf Knollenwachstum und Ertrag von Kartoffeln (*Solanum tuberosum* L.) im ökologischen Landbau. Dissertation. Technische Universität München.
- Möller K, Habermeyer J, Zinkernagel V, Reents HJ (2006) impact and interaction of nitrogen and *P. infestans* as yield limiting and yield-reducing factors in organic potato (*Solanum tuberosum* L.) crops. Potato Research 49: 281-301.
- Mona MM, Ashour AMA, Abdel-Kader MM, El-Mohamady R, Abdel-Aziz A (2012) *in vitro* evaluation of some fungicides alternatives against *Fusarium oxysporum* the causal of wilt disease of pepper (*Capsicum annum* L.). International Journal of Agriculture and Forestry 2 (2): 70-77.
- Musa-Steenblock T, Forrer HR (2005) Bio-PhytoPRE – a decision support system for late blight control in organic potato production in Switzerland. In: Heß J, Rahmann G (Hrsg) Ende der Nische. Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung zum ökologischen Landbau 1. Kassel: 133-136.
- Nadia G, El-Gamal F, Abd-El-Kareem YO, Fotouh, Nehal S, El-Mougy (2007) induction of systemic resistance in potato plants against late and early blight diseases using chemical inducers under greenhouse and field conditions. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 3 (2): 73-81.
- Nechwatal J & Zellner M (2012) Kupferminimierungsstrategien für den ökologischen Kartoffelanbau. In: Wiesinger K & Cais K (Hrsg.): Angewandte Forschung und Beratung für den ökologischen Landbau in Bayern. Ökolandbautag 2012, Tagungsband. –Schriftenreihe der LfL 4/2012, 104-117.
- Nehal S, El-Mougy, Nadia G, El-Gamal YO, Fotouh, Abd-El-Kareem F (2006) evaluation of different application methods of chitin and chitosan for control-

- ling tomato root rot disease under greenhouse and field conditions. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 2 (5): 190-195.
- Neuhoff D, Klinkenberg HJ, Köpke U (2003) Nutzung von Pflanzenextrakten zur Kontrolle der Krautfäule (*P. infestans*) im ökologischen Kartoffelanbau. Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum ökologischen Landbau. Ökologischer Landbau der Zukunft: 559-560. Wien.
- Neuhoff D, Köpke U (2002) Speisekartoffelproduktion im organischen Landbau Einfluss von Düngung und Sortenwahl auf Ertrag und Knolleninhaltsstoffe. Pflanzenbauwissenschaften 6: 49-56.
- Nge KL, Nwe N, Chandkrachang S, Stevens WF (2006) chitosan as a growth stimulator in orchid tissue culture. Plant Science 170: 1185-1190.
- O'Herlihy E, Duffy ME, Cassells AC (2003) the effects of arbuscular mycorrhizal fungi and chitosan sprays on yield and late blight resistance in potato crops from microplants. Folia Geobot 38: 201-207.
- Ojala JC, Stark JC, Kleinkopf GE (1990) influence of irrigation and nitrogen management on potato yield and quality. American Potato Journal 67 (1): 29-43.
- Ozeretskovskaya OL, Vasyukova NI, Panina Ya S, Chalenko GI (2006) effect of immunomodulators on potato resistance and susceptibility to *Phytophthora infestans*. Plant Physiology 53 (4): 488-494.
- Page AL, Miller RH, Keeney DR (1982) methods of soil analysis: part 2, chemical and microbial properties. American Society of Agronomy 9: 403-430.
- Park SI, Daeschel MA, Zhao Y (2004) functional properties of antimicrobial lysozyme-chitosan composite films. Food Science 69 (8): 215-221.
- Photchanachai S, Singkaew J, Thamthong J (2006) effects of chitosan seed treatment on *Colletotrichum* sp. and seedling growth of chili cv. "Jinda". Acta Horticulturae 2 (712): 585-590.
- Piepho HP (1995) a simple procedure for yield component analysis. Euphytica 84: 43-48.
- Pourcel L, Routaboul JM, Cheynier V, Lepiniec L, Debeaujon I (2007) flavonoid oxidation in plants: from biochemical properties to physiological functions. Trends in Plant Science 12 (1): 29-36.
- Powelson ML, Inghish DA (1999) foliar fungicides as protective seed piece treatments for management of late blight of potatoes. Plant disease 83 (3): 265-268.

- Prevost K, Couture G, Bill Shipley B, Brzezinski R, Beaulieu C (2006) effect of chitosan and a biocontrol streptomycete on field and potato tuber bacterial communities. *BioControl* 51 (4): 533-546.
- Putz B (1989) Kartoffeln : Züchtung, Anbau, Verwertung. Hamburg : Behr, 263 p.
- Radtke W, Rieckmann W, Brendler F (2000) Kartoffel -Krankheiten, Schädlinge, Unkräuter. Verlag Th Mann. Gelsenkirchen-Buer.
- Roby D, Gadelle A, Toppan A (1987) chitin oligosaccharides as elicitors of chitinase activity in Melon Plants. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 143 (3): 885-892.
- Romanazzi G (2010) chitosan treatment for the control of postharvest decay of table grapes, strawberries and sweet cherries. *Freshe Produce* 4 (1): 111-115.
- Romanazzi G, Nigro F, Ippolito A, Di venere D, Salerno M (2002) effects of pre- and postharvest chitosan treatments to control storage grey mould of table grapes. *Food Science* 67: 1862-1867.
- Roßberg D, Gutsche V, Enzian S, Wick M (2002) NEPTUN 2000: Erhebung von Daten zum tatsächlichen Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel im Ackerbau Deutschlands. Braunschweig : BBA, Ber Biol Bundesanst 98.
- Roth D, Kachel K, Zenner I (1985) Ergebnisse zur Ertragswirksamkeit der Beregnung in langjährigen Feld- und Großversuchen in Abhängigkeit von Standort und Witterung. *Feldwirtschaft* 26: 191-194. Berlin.
- Roth D, Roth R, Kachel K (1987) Untersuchungen zum Einfluss differenzierter Wasserversorgung auf den Verlauf der Ertragsbildung und den Ertrag von Kartoffeln (*Solanum tuberosum* L.) sowie Schlussfolgerungen für den effizienten Beregnungseinsatz. *Potato Research* 30 (4): 625-636.
- Ruan SL, Xue QZ (2002) effects of chitosan coating on seed germination and salt-tolerance of seedlings in hybrid rice (*Oryza sativa* L.). *Acta Agronomica Sinica* 28 (6): 803-808.
- Rullich G (1985) über die epidemiologische Ausbreitung von *P. infestans* unter natürlichen und künstlichen meteorologischen Bedingungen. Diplomarbeit, Technische Universität Braunschweig.
- Sabdrink K, Grocholl G (2006) Düngung für Ertrag und Qualität. *Kartoffelbau* 13: 26-29.
- Schöber-Butin B (1984) Kartoffelschorf- Auftreten, Bedeutung und Möglichkeit der Bekämpfung. *Kartoffelbau* 35: 202-203.

- Schöber-Butin B (2001) die Kraut- und Braunfäule der Kartoffel und ihr Erreger *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary: Mitteilungen Biologische Bundesanstalt Land-Forstwirtschaft 384: 1-64.
- Shao CX, Hu J, Song WJ, Hu WM (2005) effects of seed priming with chitosan solutions of different acidity on seed germination and physiological characteristics of maize seedling. Agriculture and Life Sciences 31(6): 705-708.
- Singh G (1969) a review of the soil-moisture relationship in potatoes. American Potato Journal 46 (10): 398-403.
- Singh T, Vesentini D, Singh AP, Daniel G (2008) effect of chitosan on physiological, morphological, and ultrastructural characteristics of wood-degrading fungi. International Biodeterioration & Biodegradation 62 (2): 116-124.
- Speiser B, Tamm L, Amsler T, Lambion J, Bertrand C, Hermansen A, Ruissen MA, Haaland P, Zarb J, Santos J, Shotton P, Wilcockson S, Juntharathap P, Ghorbani R, Leifert C (2006) improvement of late blight management in organic potato production systems in Europe: Field tests with more resistant potato varieties and copper based fungicides. Biological Agriculture and Horticulture 23 (4): 393-412.
- Spieß H (2002) zur Problematik der Kaliumversorgung im ökologischen Landbau unter Berücksichtigung der Anwendung von Pflanzenextrakt. In: Einsiedel, R. (Hg.): 25. Fortbildungskurs, SIGÖL, Heft 9, 79-92. Wiss. Lektorat & Verlag Leipzig.
- Stephan D, Schmitt A, Martin Carvalho S, Seddon B, Koch E (2005) evaluation of biocontrol preparations and plant extracts for the control of *Phytophthora infestans* on potato leaves. European Journal of Plant Pathology 112 (3): 235-246.
- Steyn JM, Kagabo DM, Annandale (2007) potato growth and yield responses to irrigation regimes in contrasting seasons of a subtropical region. African Crop Science Society 8: 1647-1651.
- Strömberg A, Brishammar S (1991) induction of systemic resistance in potato (*Solanum tuberosum* L.) plants to late blight by local treatment with *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, *Phytophthora cryptogea* Pethyb. & Laff, or dipotassium phosphate. Potato Research 34 (2): 219-225.
- Struik PC, van Voorst G (1986) effects of drought on the initiation, yield, and size distribution of tubers of *Solanum tuberosum* L. cv. Bintje. Potato Research 29: 487-500.

- Trehan SP, Grewal JS (1994) a rapid tissue testing methodology for optimum K fertilization for potato grown under sub tropic short day conditions. *Fertilizer Research* 38 (3): 223-231.
- Tumová L, Backovská M (1999) chitosan and the flavonoid production. *Herba Polonica* 45: 114.115.
- Turkensteen LJ (1973) partial resistance of tomatoes against *Phytophthora infestans*, the late blight fungus. *Agricultural Research Reports* 810. Wageningen.
- Turkensteen LJ, Flier WG (1998) in ADLER N (2001) Untersuchungen zum Befall von Kartoffeln mit *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary mittels visueller Bonituren und PCR-Methoden. Dissertation. Technische Universität München.
- Ullrich J (1957) Die Biologie und Epidemiologie von *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. *Nachrichtenblatt deutscher Pflanzenschutzdienst* 9: 129-138.
- Ulrich A, Fong KH (1969) effect of potassium nutrition on growth and cation content of potato leaves and tuber relative to plant analysis. *American Society for Horticultural Science* 94: 356-359.
- Van Delden A (2001) yield and growth of potato and wheat under organic N-management. *Agronomy journal* 93 (6): 1370-1385.
- Van Loon CD (1981) the effect of water stress on potato growth, development and yield. *American Potato Journal* 58 (1): 51-69.
- Van Oijen M (1991) leaf area dynamics of potato cultivars infected by *Phytophthora infestans*. *Plant Pathology* 97 (6): 345-354.
- Vasyukova NI, Zinov'eva SV, Il'inskaya LI, Perekhod EA, Chalenko GI, Gerasimova NG, Il'ina AV, Varlamov VP, Ozeretskovskaya OL (2001) modulation of plant resistance to diseases by water-soluble chitosan. *Applied Biochemistry and Microbiology* 37: 103-109.
- VDLUFA (1997) Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik : Methodenbuch ; Bd III: Die chemische Untersuchung von Futtermitteln : 4. Ergänzungslieferung. Darmstadt : VDLUFA.
- Vos J (1995) nitrogen and the growth of potato crops. In *Potato ecology and modeling of crops under conditions limiting growth* (Haverkort AJ, Mackerron DKL eds). Kluwer, Dordrecht, Niederland: 115-128.

- Walker R, Morris S, Brown P, Gracie A (2004) evaluation of potential for chitosan to enhance plant defense. A Report for the Rural Industries Research and Development Corporation. Australia. RIRDC Project No RSAG-4A.
- Walker-Simmons M, Hadwiger L, Ryan CA (1983) chitosans and pectic polysaccharides both induce the accumulation of the antifungal phytoalexin Pisatin in pea pods and antinutrient proteinase inhibitors in tomato leaves. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 110 (1): 194-199.
- Walmsley-Woodward DJ, Lewis BG (1977) laboratory studies of potato tuber resistance to infection by *Phytophthora infestans*. *Annals of Applied Biologie* 85 (1): 43-49.
- Wedell AN (2006) Einfluss der Behandlung von Kartoffelpflanzen und Erntegut mit Pflanzenstärkungsmitteln und Elicitoren auf die Lagerung von Kartoffel. Masterarbeit. Universität Rostock.
- Westermann DT, Kleinkopf GE (1985) nitrogen requirements of potatoes. *Agronomy Journal* 77: 616-621.
- Wiese W, Bommer D, Patzold Chr (1975) Einfluss differenzierter Wasserversorgung auf Ertragsbildung und Knollenqualität der Kartoffelpflanze (*Solanum tuberosum* L.). *Potato Research* 18 (4): 618-631.
- Wilson CR, Pemberton BM, Ransom LM (2001) the effect of irrigation strategies during tuber initiation on marketable yield and development of common scab disease of potato in Russet Burbank in Tasmania. *Potato Research* 44 (3): 243-251.
- Winkelmann HH (2005) Einfluss von N- Düngung und Beregnung auf den Ertrag und die Stärkegehalte. *Kartoffelbau* 56: 90-92.
- Wölfel S (2002) Einflussnahme auf die Entwicklung des Stärkegehaltes von Speisekartoffeln unter Thüringer Bedingungen [online]. Zu finden in <<http://www.tll.de/ainfo/pdf/skar1106.pdf>> [zitiert am 15.02.2011].
- Yanar Y, Kadioğlu I, Gökçe A, Demirtas D, Gören N, Çam H, Whalon M (2011) *in vitro* antifungal activities of 26 plants extracts on mycelial growth of *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. *African Journal of Biotechnology* 10 (14): 2625-2629.
- Zahid N, Ali A, Manickam S, Siddiqui Y, Maqbool M (2012) potential of chitosan-loaded nanoemulsions to control different *Colletotrichum spp.* and maintain quality of tropical fruits during cold storage. *Applied Microbiology* 113 (4): 925-939.

- Zellner M (2004) zur Epidemiologie und Bekämpfung von Phytophthora-Primärbefall an Kartoffeln. Mitteilung der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft 396: 189.
- Zellner M (2005) Pflanzenschutz-Rückblick. Kartoffelbau 56: 497-500.
- Zellner M, Benker M, Wagner S (2006) neue Ansätze zur Optimierung der Kraut- und Knollenfäulebekämpfung im ökologischen Kartoffelanbau. Gesunde Pflanzen 58: 18-27.
- Zellner M, Keil S, Bangemann LW, Zwerger P, Kleinhenz B, Tschöpe B (2009) Entwicklung, Überprüfung und Praxiseinführung des Prognosemodells ÖKO-SIMPHYT zur gezielten Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule (*P. infestans*) im ökologischen Kartoffelanbau mit dem Ziel, den Einsatz kupferhaltige Fungizide auf ein Minimum zu reduzieren. Abschlussbericht. Freising.
- Zentmyer GA (1988) origin and distribution of four species of Phytophthora. Transactions of the British Mycological Society 91 (3): 367-378.
- Zhang D, Quantick PC (1997) effects of chitosan coating on enzymatic browning and decay during postharvest storage of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit. Postharvest Biology and Technology 12: 195-202.
- Zhou YG, Yang YD, Qi YG, Zhang ZM, Wang XJ, Hu XJ (2002) effects of chitosan on some physiological activity in germinating seed of peanut. Journal of Peanut Science 31 (1): 22-25.
- Zhu X, Wang QM, Cao JK, Jiang WB (2008) effects of chitosan coating on post-harvest quality of mango (*Mangifera indica* L. cv. Tainong) fruits. Food Processing and Preservation 32: 770-784.
- Ziani K, Ursua B, Mate JI (2010) application of bioactive coatings based on chitosan for artichoke seed protection. Crop Protection 29 (8): 853-859.
- Zwankhuizen J, Govers F, Zadocks JC (1998) development of potato late blight epidemics: Disease foci, disease gradients, and infection sources. Journal of Phytopathology 88 (8): 754-763.

Thesen zur Dissertationsschrift

Thema:

„Wirkung von Pflanzenstärkungs- und Pflanzenschutzmitteln auf den *Phytophthora infestans* Befall und Kartoffelertrag unter Freilandbedingungen“

Vorgelegt von Ba.Sc. Waed Almohamad

Kraut- und Knollenfäule ist das Hauptproblem im Kartoffelanbau. Dadurch wird der Knollenertrag quantitativ und qualitativ stark beeinträchtigt. Die Regulierung dieser Krankheit ist sowohl im ökologischen als auch im konventionellen Kartoffelanbau bedeutend. Eine Verringerung der Ausbringung von chemischen Pflanzenschutzmitteln ist wünschenswert, da es von Vorteil für Umwelt und Verbraucher ist. Die Suche nach einer alternativen Strategie zur Regulierung der Kraut- und Knollenfäule ist daher von großem Interesse. Insbesondere durch den Einsatz der umweltfreundlichen Pflanzenstärkungsmittel. In den letzten Jahren hat die Forschung bewiesen, dass unter Feldbedingungen mit hohem Infektionsdruck der Einfluss von Pflanzenstärkungsmitteln kein ausreichendes Ergebnis zeigte, dagegen wurde bei niedrigem Befall eine erfolgreiche Regulierung und hohe Erträge realisiert. Darüber hinaus verursachte *P. infestans* besonders im konventionellen Anbau durch die Braunfäule viele Ertragsverluste im Lager. Daher ist die Nacherntebehandlung im Lager von großer Bedeutung.

Auch die Verhinderung bzw. Verzögerung des Stängelbefalls mit *P. infestans* spielt eine große Rolle bei der Reduzierung des Blattbefallsdrucks. Deshalb wäre eine zusätzliche Regulierung des Blattbefalls mit *P. infestans* durch die Anwendung der Pflanzenstärkungsmittel möglich.

Während die Bekämpfung des Stängelbefalls durch die Pflanzgutbeizung mit chemischen Pflanzenschutzmitteln wie z. B. Kupfer und synthetische Fungizide bereits unter Freilandbedingungen untersucht wurde, fehlen bisher vergleichbare Untersuchungen für Pflanzenstärkungsmittel auf Basis von Naturstoffen.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher: Entwicklung von nachhaltigen Strategien zur Regulierung der Kraut- und Knollenfäule von der Pflanzung bis zur Lagerung an Kartoffel zu schaffen. Im Vordergrund stand dabei die Gesamt-

aufwandmenge der chemischen Pflanzenschutzmittel zu reduzieren ohne den Ertrag zu beeinträchtigen.

Dafür wurden je zwei Feldversuche über zwei Jahre angelegt. Es erfolgte eine Pflanzgutvorbehandlung mit dem Pflanzenstärkungsmittel Chitosan (aus Krabenschale hergestelltes Produkt) um den Stängelbefall mit *P. infestans* zu reduzieren. Zur Regulierung des Blattbefalls kamen die Pflanzenstärkungsmittel Chitosan, Potavit (zugelassenes Pflanzenstärkungsmittel aus Algenextrakt und Wildkräutern) und HKS (Testprodukt in Entwicklungsphase) allein oder kombiniert mit den Mitteln Akrobat Plus und Shirlan oder mit Kupferhydroxid als Krautbehandlung zum Einsatz. Durch die Kombinationswirkung der Pflanzenstärkungs- und Pflanzenschutzmittel wurde eine effektivere Befallsregulierung erwartet.

In zwei Lagerversuchen wurde der Einfluss der unterschiedlichen Behandlungen auf dem Feld sowie eine Nacherntebehandlung mit Chitosan im Lager auf die Lagereigenschaften Knollenfäule und Masseverlust geprüft. Von den eingelagerten Knollen wurden 12 Knollen im nächsten Frühjahr im Nachbauversuch erneut angebaut. Es sollte untersucht werden, ob die Wirkung der Behandlung im Vorjahr erhalten wird.

Pflanzenstärkungsmittel können die natürlichen Abwehrkräfte der Pflanze in verschiedenen Wirkungsweisen (genetisch, biochemisch, physiologisch, physikalisch) beeinflussen. Der Fokus der Untersuchung lag jedoch nicht auf der Wirkungsweise der Pflanzenstärkungsmittel sondern auf der erfolgreichen Reduzierung des Befalls mit *P. infestans* durch den Einsatz der Pflanzenstärkungsmittel und auf die dadurch realisierten Erträge.

Aus den Ergebnissen der Arbeit können die folgenden Thesen abgeleitet werden:

1. Chitosan kann durch elicitorische sowie natürliche antifungale Eigenschaften die Gesundheit der Pflanze beeinflussen. Eine Aussage über die Fähigkeit von Chitosan den Stängelbefall mit *P. infestans* zu verhindern bzw. zu reduzieren konnte aus den eigenen Untersuchung nicht abgeleitet werden, da in den beiden Versuchsjahren kein Stängelbefall vorhanden war. Durch die Chitosanblattbehandlung wurde keine ausreichende Wirkung gegen den Blattbefall mit *P. infestans* erreicht.

2. Durch die allopatische Wirkung der Pflanzenextrakte (Potavit, HKS) kann die natürliche Abwehrkraft der Kartoffelpflanze bzw. deren Befall mit *P. infestans* beeinflusst werden. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass die beiden Pflanzenextrakte keinen signifikanten Einfluss auf den Blattbefall mit *P. infestans* hatten.
3. Durch die Kombination von Pflanzenstärkungsmitteln mit chemischen Mitteln kann der elicitorische Effekt der Pflanzenstärkungsmittel sowie der fungizide Effekt der Pflanzenschutzmittel besser genutzt werden. Die Kombination der geprüften Pflanzenstärkungsmittel (Chitosan, Potavit, HKS) mit dem ökologischen Pflanzenschutzmittel Kupferhydroxid zeigte in der eigenen Arbeit keine ausreichende Regulierung des Blattbefalls mit *P. infestans*. Der Befall war mit der alleinigen Anwendung der Pflanzenstärkungsmittel sowie mit der unbehandelten Kontrolle vergleichbar. Durch die Kombination von Chitosan mit den konventionellen Pflanzenschutzmitteln (Akrobat Plus, Shirlan) wurde der Blattbefall mit *P. infestans* signifikant reduziert und der Ertrag gegenüber der unbehandelte Kontrolle erhöht. Allerdings nicht besser als die alleinige Behandlung mit den konventionellen Pflanzenschutzmitteln Akrobat Plus und Shirlan.
4. Der *P. infestans*-Erreger kann sich erst entwickeln, wenn die optimale Voraussetzung hinsichtlich der Feuchtigkeit und der Temperatur erfüllt sind. Aufgrund der Trockenheit 2008 und der Kälte 2009 blieb in der eigenen Arbeit der Stängelbefall aus. Der Blattbefall entwickelte sich verzögert.
5. Nährstoff- und Wasserversorgung sind die entscheidenden Faktoren für den Ertrag im Kartoffelanbau und können die Ertragsleistung mehr als der Phytophthorabefall beeinflussen. Ergebnisse aus der eigenen Arbeit zeigten, dass 2009 aufgrund der guten Wasser- und Kaliumversorgung und trotz des früheren und höheren Infektionsdruckes mit *P. infestans* deutlich mehr Erträge erzielt wurden als 2008, wobei der Befall mit *P. infestans* geringer war.
6. Der Infektionsdruck auf der gesamten Versuchsfläche variierte in Abhängigkeit der Lage der Parzellen zur Infektionsquelle.
7. Die Behandlung auf dem Feld kann einen Einfluss auf die Lagereigenschaften haben. Ergebnisse der Lagerversuche aus der eigenen Arbeit zeigten, dass der Masseverlust der Knollen durch die Behandlung auf dem Feld so-

wie durch die Nacherntebehandlung mit Chitosan im Lager nicht beeinflusst wurde.

Zusammenfassend kann geschlussfolgert werden, dass die geprüften Pflanzenstärkungsmittel keine ausreichende Regulierung gegen den Befall mit *P. infestans* bei der Kartoffelsorte Agria unter Feldbedingungen ermöglichen.

In nachfolgenden Untersuchungen sollte geprüft werden, wie die Situation bei unterschiedlichen Kartoffelsorten ist und welche Wirkmechanismen sich dabei nachweisen lassen. Dazu wäre zu erklären, welche Konzentration, Art und Termine der Applikation geeignet sind, um auf dem Feld Effekte zu erhalten.

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Doktorarbeit mit dem Titel:

**„Wirkung von Pflanzenstärkungs- und Pflanzenschutzmitteln auf den
Phytophthora infestans Befall und Kartoffelertrag unter
Freilandbedingungen“**

Selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe.

Rostock, den 07.02.2014

Waed Almohamad

Wissenschaftlicher Lebenslauf

Name: Waed Almohamad

Geburtsdatum: 17.01.1980

Geburtsort: Hama, Syrien

Ausbildung /Beruflicher Werdegang

- | | |
|--------------------|--|
| seit 04.2007: | Universität Rostock, Agrar- und umweltwissenschaftliche Fakultät, Professur für Pflanzenbau, Promotionsstudentin |
| 07.2005 – 03.2007: | Universität Aleppo, Fakultät für Landwirtschaft, Fachbereich Pflanzenschutz, Tätigkeit als wissenschaftliche Assistentin |
| 10.2004 – 06.2005: | Agrarministerium - Landwirtschaftliche Beratung, Tätigkeit als Agraringenieurin |
| 05.2003 – 09.2004: | Technisches Büro der Universität Aleppo, Tätigkeit als Agraringenieurin |
| 09.2002 – 04.2003: | Mathematik- Lehrerin, Klasse 6-9 |
| 09.1998- 06.2002: | Studium an der Universität Aleppo, Fakultät für Landwirtschaft, Fachbereich Pflanzenschutz |

Publikationen

- Almohamad W, Böhm H, Dittmann L (2011) Auswirkungen einer Behandlung mit Chitosan sowie der Wasser- und Nährstoffversorgung auf den Ertrag und den Befall mit *Phytophthora infestans* von Kartoffeln (*Solanum tuberosum* L). Landbauforschung - vTI Agriculture and Forestry Research 2 (61): 101-114.
- Almohamad W, Böhm H, Dittmann L (2012) Wirkung von Pflanzenstärkungsmitteln: Befall mit Kraut- und Knollenfäule (*P. infestans*) sowie Kartoffelertrag unter Freilandbedingungen. Kartoffelbau 11 (63): 20-24. ISSN: 0022-9156
- Almohamad W (2009) Anwendung von Pflanzenstärkungsmitteln bei Kartoffeln im Feld und nach der Ernte in Kombination mit chemischer Bekämpfung und Kupferhydrochlorid. Doktorandentag. Rostock
- Almohamad W, Eichler-Löbermann B, Uptmoor R, Dittmann L (2012)
Regulierung der Kraut-und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*) und ihre Ausbreitung im Parzellenversuch. 5. gemeinsam Agrosnet Doktorandentag. Rostock.
- Almohamad W, Dittmann L, Köppen D (2009) Einsatz von Chitosan bei Kartoffel (Sorte: Agria) im Feld und Lager in Kombination mit Akrobat Plus und Shirlan. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften. 21: 193 - 194. Halle. ISSN: 0934-5116

Anhang

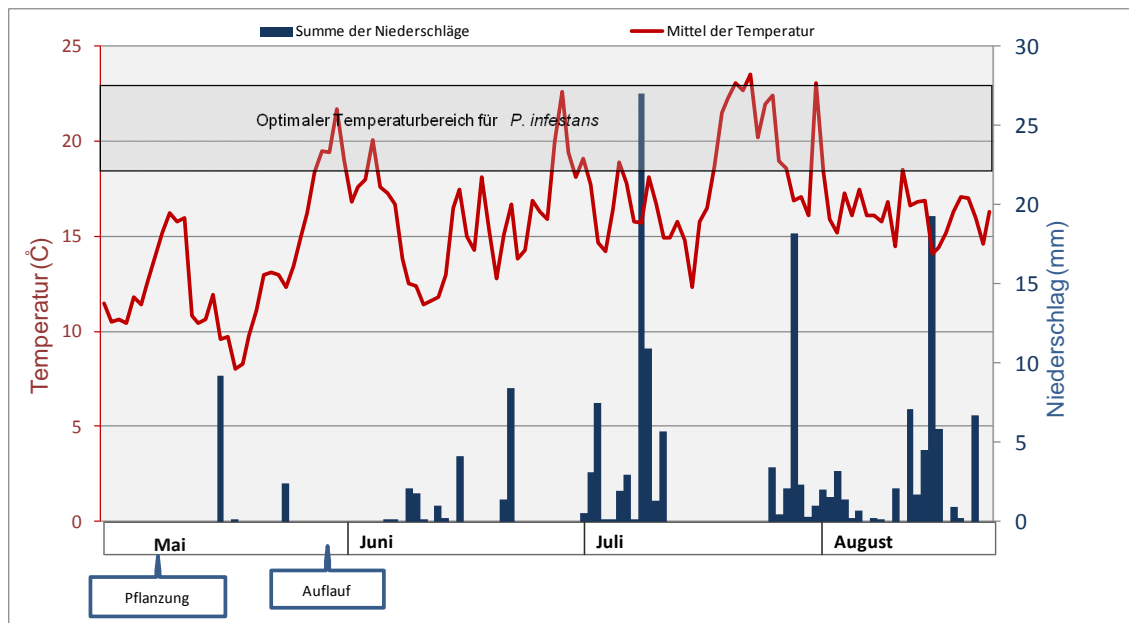


Abb. A 1: Witterung (Temperatur, Niederschläge) am Versuchsort 2008

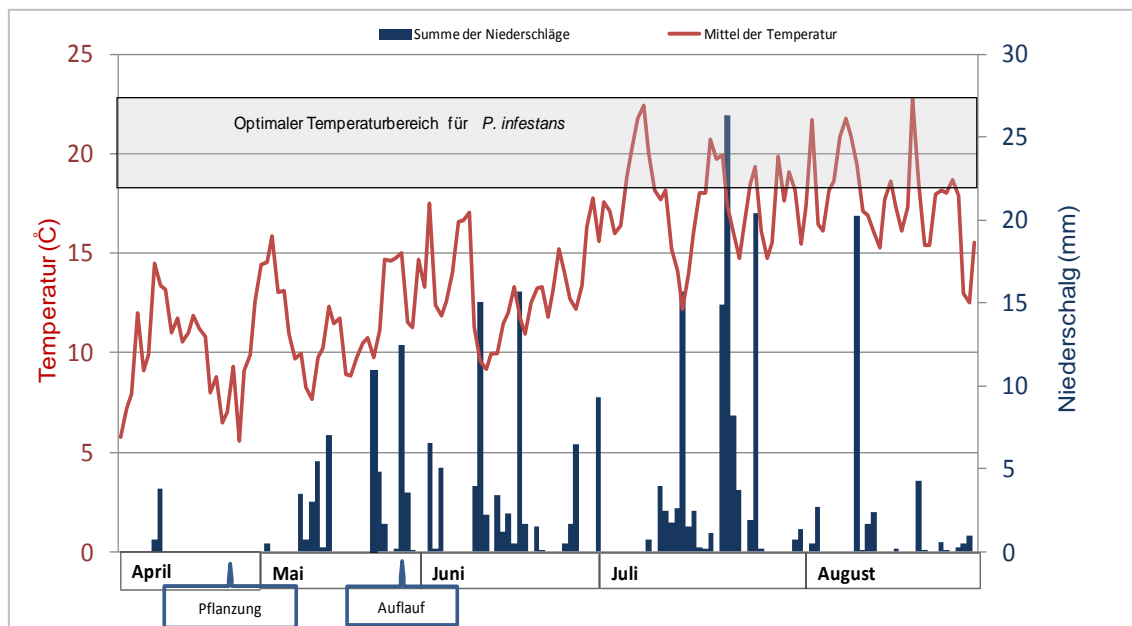


Abb. A 2: Witterung (Temperatur, Niederschläge) am Versuchsort 2009

F(A)						Fungizidversuch (Spaltanlage)																	
4m 4m 4m 4m	F(B)	A1										A2											
		R	b ₁	b ₃	b ₆	b ₂	R	b ₈	b ₅	b ₇	b ₄	R	b ₂	b ₄	b ₈	b ₆	R	b ₁	b ₅	b ₃	b ₇	R	
		R	b ₇	b ₂	b ₅	b ₄	R	b ₃	b ₁	b ₆	b ₈	R	b ₇	b ₆	b ₃	b ₁	R	b ₈	b ₂	b ₅	b ₄	R	
		R	b ₆	b ₂	b ₇	b ₁	R	b ₄	b ₃	b ₅	b ₈	R	b ₈	b ₂	b ₇	b ₆	R	b ₄	b ₅	b ₁	b ₃	R	
		R	b ₄	b ₁	b ₅	b ₆	R	b ₈	b ₂	b ₇	b ₃	R	b ₇	b ₁	b ₃	b ₅	R	b ₂	b ₄	b ₈	b ₆	R	
	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m
Kupferversuch (Blockanlage)																							
4m 4m 4m 4m 4m		R	a ₅	a ₁₀	a ₁₅	a ₂₀	R	a ₂₀	a ₁₀	a ₅	a ₁	R	a ₁	a ₄	a ₈	a ₁₂	R	a ₁₅	a ₅	a ₁₇	a ₇	R	
		R	a ₁	a ₁₄	a ₈	a ₁₂	R	a ₂	a ₆	a ₈	a ₁₁	R	a ₁₀	a ₆	a ₂	a ₁₇	R	a ₁₂	a ₂	a ₁₆	a ₆	R	
		R	a ₆	a ₂	a ₄	a ₁₈	R	a ₉	a ₁₈	a ₃	a ₇	R	a ₁₆	a ₂₀	a ₁₈	a ₁₄	R	a ₃	a ₉	a ₁₃	a ₄	R	
		R	a ₁₉	a ₇	a ₁₃	a ₃	R	a ₁₉	a ₁₇	a ₁₃	a ₁₅	R	a ₁₅	a ₁₃	a ₁₁	a ₉	R	a ₈	a ₁	a ₁₀	a ₁₉	R	
		R	a ₁₆	a ₉	a ₁₇	a ₁₁	R	a ₁₂	a ₁₆	a ₁₄	a ₄	R	a ₇	a ₅	a ₃	a ₁₉	R	a ₂₀	a ₁₄	a ₁₁	a ₁₈	R	
			Block1				Block2					Block3				Block4							

Abb. A 3: Parzellenlageplan (Spaltanlage: Faktor A = Großteilstücke Faktor B = Kleinteilstücke, Blockanlage: Faktor A die vier große Stücke sind die Blöcke) Einzelparzellengröße 3*4, 4 Wiederholungen 2008

Länge:	F(A)	F(B)	Fungizidversuch(Spaltanlage)											
4 m	a1	Block	R	b1	b3	b6	b2	R	b8	b5	b7	b4	R	
4 m		Block	R	b7	b2	b5	b4	R	b3	b1	b6	b8	R	
4 m		Block	R	b6	b2	b7	b1	R	b4	b3	b5	b8	R	
4 m		Block	R	b4	b1	b5	b6	R	b8	b2	b7	b3	R	
4 m	a2	Block	R	b2	b4	b8	b6	R	b1	b5	b3	b7	R	
4 m		Block	R	b7	b6	b3	b1	R	b8	b2	b5	b4	R	
4 m		Block	R	b8	b2	b7	b6	R	b4	b5	b1	b3	R	
4 m		Block	R	b7	b1	b3	b5	R	b2	b4	b8	b6	R	
Breite:			3 m	3 m	3 m	3 m	3 m	3 m	3 m	3 m	3 m	3 m	3 m	

	Kupferversuch (Blockanlage)											
	Block1								Block3			
	4m	R	a ₅	a ₁₀	a ₁₅	a ₂₀	R	a ₂₀	a ₁₀	a ₅	a ₁	R
	4m	R	a ₁	a ₁₄	a ₈	a ₁₂	R	a ₂	a ₆	a ₈	a ₁₁	R
	4m	R	a ₆	a ₂	a ₄	a ₁₈	R	a ₉	a ₁₈	a ₃	a ₇	R
	4m	R	a ₁₉	a ₇	a ₁₃	a ₃	R	a ₁₉	a ₁₇	a ₁₃	a ₁₅	R
	4m	R	a ₁₆	a ₉	a ₁₇	a ₁₁	R	a ₁₂	a ₁₆	a ₁₄	a ₄	R
	Block2				Block4							
	4m	R	a ₁	a ₄	a ₈	a ₁₂	R	a ₁₅	a ₅	a ₁₇	a ₇	R
	4m	R	a ₁₀	a ₆	a ₂	a ₁₇	R	a ₁₂	a ₂	a ₁₆	a ₆	R
	4m	R	a ₁₆	a ₂₀	a ₁₈	a ₁₄	R	a ₃	a ₉	a ₁₃	a ₄	R
	4m	R	a ₁₅	a ₁₃	a ₁₁	a ₉	R	a ₈	a ₁	a ₁₀	a ₁₉	R
	4m	R	a ₇	a ₅	a ₃	a ₁₉	R	a ₂₀	a ₁₄	a ₁₁	a ₁₈	R
				3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m

Abb. A 4: Parzellenlageplan (Spaltanlage: Faktor A = Großteilstücke; Faktor B = Kleinteilstücke, Blockanlage: Faktor A die vier große Stücke sind die Blöcke) Einzelparzellengröße 3*4 = 12 m², 4 Wiederholungen 2009.

Tab. A1: Spritzplan der verwendeten Präparaten

Prüfglieder- bezeichnung	Monat Juni				Monat Juli			
	erste Woche	zweite Woche	dritte Woche	vierte Woche	fünfte Woche	sechste Woche	siebte Woche	achte Woche
KO	keine Behandlung							
8CBB	Chitosan	Chitosan	Chitosan	Chitosan	Chitosan	Chitosan	Chitosan	Chitosan
2AP	Akrobat Plus		Akrobat Plus					
2AP+4CBB	Akrobat Plus		Akrobat Plus		Chitosan	Chitosan	Chitosan	Chitosan
2AP+4S	Akrobat Plus		Akrobat Plus		Shirlan	Shirlan	Shirlan	Shirlan
2AP+2S+2CBB	Akrobat Plus		Akrobat Plus		Chitosan	Shirlan	Chitosan	Shirlan
2AP+1S+3CBB	Akrobat Plus		Akrobat Plus		Chitosan	Shirlan	Chitosan	Chitosan
2AP+3S+1CBB	Akrobat Plus		Akrobat Plus		Chitosan	Shirlan	Shirlan	Shirlan
1kgCu		Kupfer (0,3 kg ha ⁻¹)		Kupfer (0,3 kg ha ⁻¹)		Kupfer (0,3 kg ha ⁻¹)		
2kgCu		Kupfer (0,7 kg ha ⁻¹)		Kupfer (0,7 kg ha ⁻¹)		Kupfer (0,7 kg ha ⁻¹)		
3kgCu		Kupfer (1 kg ha ⁻¹)		Kupfer (1 kg ha ⁻¹)		Kupfer (1 kg ha ⁻¹)		
1kgCu+5CBB	Chitosan	Kupfer (0,3 kg ha ⁻¹)	Chitosan	Kupfer (0,3 kg ha ⁻¹)	Chitosan	Kupfer (0,3 kg ha ⁻¹)	Chitosan	Chitosan
2kgCu+5CBB	Chitosan	Kupfer (0,7 kg ha ⁻¹)	Chitosan	Kupfer (0,7 kg ha ⁻¹)	Chitosan	Kupfer (0,7 kg ha ⁻¹)	Chitosan	Chitosan
3kgCu+5CBB	Chitosan	Kupfer (1 kg ha ⁻¹)	Chitosan	Kupfer (1 kg ha ⁻¹)	Chitosan	Kupfer (1 kg ha ⁻¹)	Chitosan	Chitosan
2Potavit			Potavit					
2HKS			HKS					
2Potavit+2kgCu	Potavit	Kupfer (0,7 kg ha ⁻¹)	Potavit	Kupfer (0,7 kg ha ⁻¹)		Kupfer (0,7 kg ha ⁻¹)		
2HKS+2kgCu	HKS	Kupfer (0,7 kg ha ⁻¹)	HKS	Kupfer (0,7 kg ha ⁻¹)		Kupfer (0,7 kg ha ⁻¹)		
2Potavit+3kgCu	Potavit	Kupfer (1 kg ha ⁻¹)	Potavit	Kupfer (1 kg ha ⁻¹)		Kupfer (1 kg ha ⁻¹)		
2HKS+3kgCu	HKS	Kupfer (1 kg ha ⁻¹)	HKS	Kupfer (1 kg ha ⁻¹)		Kupfer (1 kg ha ⁻¹)		

Tab. A 2: Auswirkung der Chitosanpflanzgutvorbehandlung (Faktor A) und Krautbehandlung (Faktor B) auf den Phytophthorabefall, den Kraut- und Knollenertrag und Qualitätsparameter der Knollen, Signifikanz-Tabelle der Prüffaktoren für das Jahr 2008.

Quelle der Variation	Ertrag (dt ha ⁻¹)	g/kno	Kno/P	Schorf (Note)	Stärke (% in TM)	Kraut- TM dt ha ⁻¹	Kraut- FM dt ha ⁻¹	Phytophthorabefall (%)		
								Bonitur1	Bonitur2	Bonitur3
Wdh	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	*	**	***
Faktor A	n.s	n.s	n.s	n.s	*	**	**	n.s	n.s	n.s
Faktor B	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
Faktor A * Faktor B	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	*	*	n.s	n.s	n.s

n.s nicht signifikant, * signifikant $p < 0,05$, ** signifikant $p < 0,01$, *** signifikant $p < 0,001$

Tab. A 3: Auswirkung der Chitosanpflanzgutvorbehandlung (Faktor A) und Krautbehandlung (Faktor B) auf den Phytophthorabefall, den Kraut- und Knollenertrag und Qualitätsparameter der Knollen, Signifikanz-Tabelle der Prüffaktoren für das Jahr 2009.

Quelle der Variation	Ertrag (dt ha ⁻¹)	g/kno	Kno/P	Schorf (Note)	Stärke (%) in FM	Kraut TM dt ha ⁻¹	Kraut- FM (dt ha ⁻¹)	Phytophthorabefall (%)		
								Bonitur1	Bonitur2	Bonitur3
Wdh	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
Faktor A	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
Faktor B	**	n.s	n.s	n.s	***	n.s	n.s	n.s	*	***
Faktor A * Faktor B	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s

n.s nicht signifikant, * signifikant $p < 0,05$, ** signifikant $p < 0,01$, *** signifikant $p < 0,001$

Tab. A 4: Einfluss des Einsatzes von Potavit auf den Knollenertrag (dt ha⁻¹) und Fraktionierung sowie Stärkegehalt der Knollen der Sorte Agria, Versuchsjahr 2002-2009

Ergebnisse Exaktversuche Agro Nod von 2002 - 2007									
Ertrag und Fraktionierung Hansa									
Jahr	Variante	Ertrag		Fraktion - %			Stärke %		Stärke
		dt / ha	relativ	< 35 mm	35 - 55 mm	> 55 mm	relativ	dt/ ha	
2002	Kontrolle	321.16	100.0	4.5	95.5	0.0	16.55	100.0	53.2
	Potavit 100	346.91	108.0	2.9	97.1	0.0	15.35	92.7	53.2
2003	Kontrolle	405.81	100.0	3.8	94.8	1.4	18.6	100.0	75.5
	Potavit 100	415.58	102.4	3.7	92.6	3.7	18.425	99.1	76.6
2004	Kontrolle	448.67	100.0	0.3	99.6	0.1	17.3	100.0	77.5
	Potavit 100	460.67	102.7	0.3	99.6	0.1	17.5	101.3	80.6
	Potavit 200	468.01	104.3	0.2	99.6	0.2	17.9	103.5	83.7
2005	Kontrolle	342.44	100.0	2.5	82.2	15.3	16.6	100.0	56.8
	Potavit 100	367.34	107.3	0.8	69.9	29.3	17.1	102.9	62.7
	Potavit 200	379.33	110.8	0.8	78.4	20.8	18.0	108.1	68.1
MW	Kontrolle	379.52	100	2.78	93.00	4.22	17.26	100.00	65.75
	Potavit	402.46	106.4	1.89	91.93	6.16	17.40	100.85	70.39
		22.94 Mehrertrag durch Potavit							4.65
Ertrag und Fraktionierung Agria									
Jahr	Variante	Ertrag		Fraktion - %			Stärke		Stärke
		dt / ha	relativ	< 35 mm	35 - 55 mm	> 55 mm	%	relativ	dt/ ha
2004	Kontrolle	472.90	100.0	0.1	96.5	3.4	17.3	100.0	81.7
	Potavit 100	490.45	103.7	0.2	94.9	4.9	17.4	100.7	85.3
	Potavit 200	497.12	105.1	0.2	96.0	3.8	17.7	102.2	87.7
2005	Kontrolle	308.22	100.0	4.4	95.6	0.0	18.2	100.0	56.1
	Potavit 100	354.44	115.0	3.6	96.4	0.0	18.7	102.6	66.2
	Potavit 200	380.83	123.6	2.5	97.6	0.0	19.3	106.0	73.5
2006	Kontrolle	355.6	100.0	1.6	69.6	28.9	10.2	100	36.3
	Potavit 200	377.3	106.1	0.7	68.5	30.9	10.6	105	39.9
2007	Kontrolle	385.6	100.0	1.8	48.3	49.9	16.4	100.0	63.1
	Potavit 200	408.3	105.9	1.4	48.6	50.0	17.1	104.4	69.8
MW	Kontrolle	380.55	100.00	1.96	77.49	20.55	15.51	100.00	59.30
	Potavit	415.89	110.17	1.18	77.66	21.16	16.16	104.41	67.74
		35.33 Mehrertrag durch Potavit							8.44
Ergebnisse Exaktversuche Agro Nod von 2006 - 2009									
Ertrag und Fraktionierung Fasan									
Jahr	Variante	Ertrag		Fraktion - %			Stärke		Stärke
		dt / ha	relativ	< 35 mm	35 - 55 mm	> 55 mm	%	relativ	dt/ ha
2006	Kontrolle	271.3	100.0	1.8	75.5	22.7	14.2	100.0	38.5
	Potavit 200	303.1	111.7	1.8	66.7	31.6	14.8	100.7	44.7
2007	Kontrolle	415.8	100.0	3.1	69.3	27.7	17.3	100.0	71.9
	Potavit 200	442.5	106.4	2.2	72.0	25.9	17.8	103.0	78.9
2008	Kontrolle	607.2	100.0	0.4	91.8	7.8	21.3	100.0	129.5
	Potavit 200	631.7	104.0	0.4	90.8	8.9	21.8	102.3	137.9
MW	Kontrolle	431.4	100.0	2.5	72.4	25.2	15.8	100.0	79.7
	Potavit	459.1	107.4	1.4	76.5	22.1	18.1	102.0	87.1
		27.65 Mehrertrag durch Potavit							7.44
Ertrag und Fraktionierung Karlana									
Jahr	Variante	Ertrag		Fraktion - %			Stärke		Stärke
		dt / ha	relativ	< 35 mm	35 - 55 mm	> 55 mm	%	relativ	dt/ ha
2006	Kontr	280.2	100.0	4.2	79.9	16.0	14.1	100.0	39.4
	Po200	292.2	104.3	4.3	79.6	16.1	13.2	103.47	38.6
2007	Kontr	397.1	100.0	1.0	62.9	36.1	14.7	100.0	58.5
	Po200	442.5	106.4	2.2	72.0	25.9	17.8	103.0	78.9
2008	Kontr	353.0	100.0	2.9	73.6	23.5	15.0	100.0	52.8
	Po200	371.2	105.2	2.6	72.0	25.4	15.2	108.0	56.3
2009	Kontr	525.1	100.0	0.9	91.1	8.1	18.6	100.0	97.7
	Po200	541.5	103.1	0.6	90.0	9.4	18.6	100.0	100.4
MW	Kontr	388.85	100.00	2.23	76.86	20.91	15.58	100.00	50.21
	Potavit	411.86	104.61	2.42	78.39	19.19	16.19	103.63	57.93
		23.01 Mehrertrag durch Potavit							7.72
Ertrag und Fraktionierung Adretta									
Jahe	Variante	Ertrag		Fraktion - %			Stärke		Stärke
		dt / ha	relativ	< 35 mm	35 - 55 mm	> 55 mm	%	relativ	dt/ ha
2008	Kontrolle	399.6	100.0	0.4	96.8	1.8	19.0	100.0	75.9
	Potavit 200	416.8	104.3	0.7	97.6	1.6	20.2	103.5	84.2
2009	Kontrolle	493.6	100.0	0.5	90.3	9.2	16.1	100.0	79.5
	Potavit 200	518.4	105.0	0.5	89.6	9.9	17.5	108.7	90.7
MW	Kontrolle	446.6	100.0	0.5	93.5	5.5	17.6	100.0	77.7
	Potavit	467.6	104.7	0.6	93.6	5.8	18.9	106.1	87.5
		21.00 Mehrertrag durch Potavit							9.76

Quelle Firma ASG ENVICON GMBH