

Auswirkungen einer Behandlung mit Chitosan sowie der Wasser- und Nährstoffversorgung auf den Ertrag und den Befall mit *Phytophthora infestans* von Kartoffeln (*Solanum tuberosum* L.)

Waed Almohamad*, Herwart Böhm** und Lisa Dittmann*

Zusammenfassung

Im Rahmen eines integrierten Konzepts zur Regulierung der Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*) gewinnt der Einsatz von Pflanzenstärkungsmitteln nicht nur im ökologischen Kartoffelbau an Bedeutung. Das Pflanzenstärkungsmittel ChitoPlant® (Inhaltsstoff: Chitosan 99,9 %) wurde in einem zweijährigen Parzellenversuch bezüglich seiner Wirkung auf Pflanzengesundheit und Ertrag der Kartoffelsorte Agria geprüft. Unter Freilandbedingungen beeinflussten neben den Prüffaktoren des Versuches exogene Faktoren wie Witterung bzw. Wasser- sowie Nährstoffversorgung die Versuchsergebnisse erheblich.

ChitoPlant® (Chitosan) wurde im Versuch sowohl zur Krautbehandlung separat (1 g l⁻¹) oder in Kombination mit chemischen Fungiziden (Acrobat®, Shirlan®) als auch zur Knollenbehandlung vor der Pflanzung eingesetzt (1 g l⁻¹). Alle Varianten wurden gegen die unbehandelte Kontrolle und gegen die chemische Variante (Acrobat®, Shirlan®) geprüft. In den beiden Versuchsjahren 2008 und 2009 mit jeweils relativ geringem Befallsdruck konnten keine signifikanten Effekte des Einsatzes von Chitosan – weder nach Knollenbehandlung noch bei Krautbehandlung – nachgewiesen werden.

Mit Hilfe dreifach-linearer Regressionsanalysen konnte gezeigt werden, dass der Phytophthorabefall die Ertragsvarianz lediglich zu 20 % erklärt, dass aber die Wasserversorgung (Niederschlag) 60 % der Ertragsvarianz und die Kaliumversorgung (K-Gehalt in der Krautmasse) weitere 12,5 % der Ertragsvarianz erklären. Dies verdeutlicht, dass Versuchsergebnisse oftmals stark abhängig sind von exogenen, nicht zu beeinflussenden Faktoren (z. B. Witterung), die die eigentlichen Untersuchungsfaktoren stark überlagern können.

Schlüsselwörter: Kartoffel, *Phytophthora infestans*, Krautfäule, Pflanzenstärkungsmittel, Chitosan, Wasserversorgung, Nährstoffversorgung

Summary

Effects of a Chitosan treatment and the water and nutrient supply on the yield and level of *Phytophthora infestans* infection in potatoes (*Solanum tuberosum* L.)

Within the framework of an integrated concept for controlling late blight (*Phytophthora infestans*), the use of plant-strengthening substances is gaining importance in both organically and conventionally cultivated potatoes. The plant strengthener ChitoPlant® (substance: Chitosan 99.9 %) was tested with regard to its impact on plant health and the yield of the potato variety Agria in a two year plot trial. Under field cropping conditions, in addition to the tested factors, exogenous factors such as weather, water and nutrient supply had a significant effect on the study results.

ChitoPlant® (Chitosan) was used in the study both separately or in combination with chemical fungicides (Acrobat®, Shirlan®) for foliar treatment and for the tuber treatments (1 g l⁻¹). All variants were tested against the untreated control and against the chemical variant (Acrobat® and Shirlan®). In the study years 2008 and 2009, with relatively low infestation, no significant effects of the use of Chitosan could be determined, either after tuber treatments or after foliar treatments.

With a multiple regression analysis it could be shown that the *Phytophthora* infection only explains about 20 % of the yield variance, but that the water supply (precipitation) accounted for 60 % of the yield variance and the potassium supply (K- content in the foliar mass) explained a further 12.5 % of the yield variance. This makes clear that the study results are often strongly dependent on exogenous factors which cannot be influenced (i.e., weather) but that strongly dominated study factors.

Keywords: potato, *Phytophthora infestans*, late blight, plant strengthener, Chitosan, water supply, nutrient supply

* Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Justus-Liebig-Weg 6, 18059 Rostock

** Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst 32, 23847 Westerau

1 Einleitung und Zielstellung

Die Regulierung der Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*) im Kartoffelbau erfordert einen umfangreichen Einsatz chemisch-synthetischer Pflanzenschutzmittel (Cassells und Kowalski, 1998). Auswertungen im Rahmen des Projektes NEPTUN 2000 (Roßberg et al., 2002) zeigen, dass Fungizidbehandlungen gegen *P. infestans* im konventionellen Kartoffelbau eine herausragende Stellung einnehmen. Der aktuelle nationale Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (NAP) (BMELV, 2008) stellt eine Weiterentwicklung des Reduktionsprogramms chemischer Pflanzenschutz (BMVEL, 2004) dar. Diese Programme haben zum Ziel, den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln 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 neben verschiedenen vorbeugenden Maßnahmen der Einsatz kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel der einzige Weg, um den Befall mit *P. infestans* zu regulieren (Meinck und Kolbe, 1999; Kühne et al., 2009). Das reicht jedoch in Jahren mit hohem Infektionsdruck (warmes und feuchtes Wetter) nicht aus. Der Ertragsverlust kann in Jahren mit hohem Befall sehr groß sein. Der Einsatz von Kupfer muss wegen der Akkumulationsgefahr im Boden und der negativen Auswirkungen auf Bodenlebewesen und Wasserorganismen sowie Pflanzenvitalität und -leistungsfähigkeit begrenzt werden (Malkomes, 2010). Die Verordnung (EG) Nr. 834/2007 mit den Durchführungsbestimmungen in der Verordnung (EG) Nr. 889/2008 über den Ökologischen Landbau begrenzt den Kupfereinsatz auf 6 kg ha⁻¹ im Jahr. Einige Anbauverbände des Ökologischen Landbaus wie Bioland und Naturland haben eine Jahreshöchstmenge von 3 kg ha⁻¹ festgelegt (Bioland, 2008). Kupferhaltige Mittel sollten nur zum Einsatz kommen, wenn alle vorbeugenden Maßnahmen ausgeschöpft wurden (Böhm, 2003).

Im Ökologischen Landbau werden deshalb präventive Maßnahmen genutzt, die einen direkten oder indirekten Einfluss auf den Phytophthorabefall haben (Meinck und Kolbe, 1999). Hierzu zählen z. B. der Anbau von weniger anfälligen Sorten und mehreren Reifegruppen, vorgekeimtes gesundes Pflanzgut, Feldhygiene, Ausrichtung der Kartoffeldämme in Hauptwindrichtung sowie eine optimale Nährstoffversorgung.

Alle diese Maßnahmen sind neben dem Einsatz von **Pflanzenstärkungsmitteln** Bausteine für die integrierte Regulierung der Kraut- und Knollenfäule insbesondere im Ökologischen Landbau. Von den Autoren wird die **Hypothese** aufgestellt, dass Pflanzenstärkungsmittel in Kombination mit Pflanzenschutzmitteln im Kartoffelbau insgesamt und nicht nur im Ökologischen Landbau

einen zusätzlichen Phytophthora-reduzierenden Effekt haben können. Pflanzenstärkungsmittel bewirken keine direkte Reduktion des Befalls sondern fördern die Pflanzengesundheit und die Widerstandsfähigkeit der Pflanzen gegenüber Schadorganismen.

Das aus Krabbenschalen technisch gewonnene **Chitosan** ist ein Polyaminosaccharid mit unterschiedlichem Reinheitsgrad sowie einer differenzierten chemischen Qualität. So bedingt ein größerer Desacetylierungsgrad seine verstärkte biologische Aktivität (Niederhofer, 2003). Die von etlichen Autoren ermittelten differenzierten Effekte von Chitosan lassen sich bündeln in:

- Verstärkung der Widerstandskraft der Pflanzen gegenüber Schaderregern und Stressfaktoren (Hadwiger, 1999; Hadwiger et al., 1994; Kauss, 1997; O'Herlihy et al., 2003; Roby et al., 1987; Tiuterev, 1996).
- Förderung der Synthese von Substanzen, z. B. Phytoalexine (Walker-Simmons et al., 1983) und Chitinasen (Dörnenburg und Knorr, 1994) und solchen, die die Peroxidase-Aktivität fördern (Kowalski et al., 2005).
- Produktion von Sekundärstoffen zur Verbesserung der Kallusbildung (Dörnenburg und Knorr, 1994, Tůmová und Backovská, 1999).
- positive Wirkung auf den Ertrag verschiedener Pflanzenarten (Benhamou et al., 1992; Benhamou et al., 1994; Bitelli et al., 2001; El Ghaouth, 1994; Reddy et al., 1999; Vander, 1998).

In einem zweijährigen Feldversuch wurde das Pflanzenstärkungsmittel ChitoPlant® (Chitosan) bei Kartoffeln sowohl zur Knollenbehandlung vor der Pflanzung als auch zur Krautbehandlung während der Vegetation eingesetzt. Zur Krautbehandlung wurde Chitosan auch in Kombination mit chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln gegenüber einer unbehandelten und einer ausschließlich chemisch-synthetischen Kontrollvariante geprüft.

Das Ziel dieses Beitrages ist die Wirkung von Chitosan auf die Pflanzengesundheit, den Ertrag und ausgewählte Kenngrößen zu untersuchen. Zudem werden weitere exogene Faktoren, die im Rahmen eines standardmäßig geplanten Feldversuches auftreten können, betrachtet, um aus ihnen einen Erkenntnisgewinn zu ziehen durch:

- varianzanalytische Untersuchungen zur Wirkung der geplanten Prüffaktoren;
- Ermittlung des Einflusses des Witterungsverlaufes in den beiden Versuchsjahren auf den Befall durch *P. infestans* in Abhängigkeit der Behandlungen;
- Prüfung des Effekts einer differenzierten Kaliumversorgung des Bodens bezüglich der Wirkung von Chitosan auf den Nährstoffgehalt des Kartoffelkrautes;
- Auswirkungen der Wasserversorgung auf die Ertragsbildung der Kartoffeln.

2 Material und Methoden

2.1 Standort und Versuchsdurchführung

Auf der Versuchstation Rostock (Bodenart SI, 41 Bodenpunkte, pH-Wert 6,0, 25 mg 100g⁻¹ P₂O₅, 5 mg 100g⁻¹ K₂O, 6,4 mg 100g⁻¹ MgO) wurde in den Jahren 2008 und 2009 ein zweifaktorieller Feldversuch mit vier Wiederholungen durchgeführt. Nach Vorfrucht Dinkel wurde der Versuch in beiden Jahren am 6. Mai mit der gegenüber *P. infestans* gering bis mittel anfälligen Sorte Agria gepflanzt. Die Parzellengröße betrug 4 x 3 Meter mit 4 Kartoffelreihen (Reihenabstand: 75 cm, Pflanzabstand: 30 cm). Gedüngt wurden 80 kg N ha⁻¹ in Form von Kalkammonsalpeter und im Jahr 2009 erfolgte eine Kaliumdüngung im April vor der Pflanzung in Höhe von 240 kg K ha⁻¹ in Form von Patentkali. Die Unkrautregulierung erfolgte im Voraufbau mit Artist® WG (Wirkstoffe Flufenacet und Metribuzin), im Nachaufbau zusätzlich mit Sencor® WG (Metribuzin). Eine Behandlung gegen Kartoffelkäfer war nicht notwendig, da kein Befall vorlag.

Das Pflanzenstärkungsmittel Chitosan (Handelsprodukt: ChitoPlant®) wurde im Versuch zur Knollenbehandlung vor der Pflanzung (Faktor A) und zur Krautbehandlung (Faktor B) separat oder in Kombination mit chemischen Fungiziden (Acrobat® Plus WG (Wirkstoffe: Mancozeb und Dimethomorph), Shirlan® (Wirkstoff: Fluazinam)) eingesetzt (Abbildung 1). Alle Varianten wurden gegen die unbehandelte Kontrolle und gegen die chemische Variante (Acrobat® Plus [AP], Shirlan® [S]) geprüft. Die Pflanzgutvorbehandlung mit Chitosan (1 g l⁻¹) erfolgte einen Tag vor dem Pflanzen. Die erste Krautbehandlung mit Chitosan [CBB] (1 g l⁻¹) wurde in beiden Versuchsjahren am 08. Juni vorgenommen und wöchentlich wiederholt. Gleichzeitig begann der Einsatz des systemischen Fungizides Acrobat®, der in Abständen von zwei Wochen wiederholt wurde. Als weitere chemische Behandlung wurde ab dem 6. Juli das Kontaktmittel Shirlan® in Abständen von je einer Woche angewendet. Die Applikation aller Präparate erfolgte mit einer Rückenspritze mit einem 1,5 m breiten Spritzbalken (0,5 mm Düsen, 2,0 bar).

Länge:		F(A)	F(B)										
4 m	a1	Block1	R	b1	b3	b6	b2	R	b8	b5	b7	b4	R
4 m		Block2	R	b7	b2	b5	b4	R	b3	b1	b6	b8	R
4 m		Block3	R	b6	b2	b7	b1	R	b4	b3	b5	b8	R
4 m		Block4	R	b4	b1	b5	b6	R	b8	b2	b7	b3	R
4 m	a2	Block1	R	b2	b4	b8	b6	R	b1	b5	b3	b7	R
4 m		Block2	R	b7	b6	b3	b1	R	b8	b2	b5	b4	R
4 m		Block3	R	b8	b2	b7	b6	R	b4	b5	b1	b3	R
4 m		Block4	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

Faktor A: Knollenbehandlung	R: Randstreifen (Sorte Agria)
a1: Kontrolle; a2: Chitosan (1 g l ⁻¹)	(ohne Knollen- und Krautbehandlung)

Faktor B: Krautbehandlung		
Stufen	Behandlung	Variantenbezeichnung
b1	Kontrolle: ohne Behandlung	K0
b2	8 x Chitosan [CBB] in Abständen von einer Woche	8CBB
b3	2 x Acrobat [AP] 2 kg ha ⁻¹ am 10.06. und am 24.06.	2AP
b4	2 x AP und 4 x CBB	2AP + 4CBB
b5	2 x AP und 4 x Shirlan [S] 0,4 l ha ⁻¹ in Wochenabstand	2AP + 4S
b6	2 x AP, 3 x S und 1 x CBB	2AP + 3S + 1CBB
b7	2 x AP, 2 x S und 2 x CBB	2AP + 2S + 2CBB
b8	2 x AP, 1 x S und 3 x CBB	2AP + 1S + 3CBB

Abbildung 1: Versuchsanlage und Varianten des Feldversuches

2.2 Witterung

Die Witterung am Standort ist gekennzeichnet durch eine Durchschnittsjahrestemperatur von 8,1 °C und eine mittlere jährliche Niederschlagsmenge in Höhe von 600 mm. Die Witterungsbedingungen für die Vegetationszeit der beiden Versuchsjahre sind im Vergleich zum längjährigen Mittel in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1:

Monatliche Niederschlagsmengen und Durchschnittstemperaturen in der Vegetationsperiode (April bis August) für die Versuchsjahre 2008 und 2009 im Vergleich zu dem langjährigen Mittel (LJM) von der Versuchsstation der Universität Rostock

Monat	2008		2009		LJM (1976 bis 2008)	
	Niederschlag (mm)	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)	Temperatur (°C)
April	54,7	7,1	5,0	10,6	43,1	7,1
Mai	11,7	12,6	65,5	11,8	36,2	12,0
Juni	19,4	15,8	65,7	13,7	49,8	14,9
Juli	36,8	18,1	110,6	17,6	73,4	16,9
August	85,3	16,8	34,8	17,7	67,6	16,8
Summe	207,9		281,6		270,1	

2.3 Pflanzenbauliche Prüfmerkmale

a) Bonitur von *Phytophthora infestans*

Der Befall mit Kraut- und Knollenfäule (*P. infestans*) wurde visuell an der kompletten Pflanze ermittelt und prozentual einer neunstufigen Skala (nach James, 1971) zugeordnet. Die Bewertung des Krautfäulebefalls jeder Parzelle wurde in Abhängigkeit von ihrer räumlichen Position zu den Randreihen (R) ermittelt; pro Parzelle wurden in den beiden mittleren Reihen jeder Parzelle jeweils 10 Pflanzen bonitiert. Die Bonituren erfolgten in 2008 am 15. Juli, 21. Juli, und am 31. Juli; in 2009 aufgrund des frühzeitigeren Befallsbeginn am 8. Juli, 20. Juli und am 27. Juli.

An den geernteten Knollen wurde die Bewertung des Schorfbefalls (*Streptomyces scabies*) mit einer fünfstufigen Skala nach Symptomschwere durchgeführt.

b) Ertragsermittlung von Kraut und Knollen

Zur Bestimmung der Frisch- und Trockenmasse des Krautes wurde am 15. Juli (70-igster Wachstumstag) das Kraut von drei Pflanzen pro Parzelle aus der zweiten Reihe geerntet. Die Trockenmassebestimmung erfolgte bei 105 °C.

Die Kartoffelernte wurde in beiden Versuchsjahren am 28. August durchgeführt. Hierzu wurden pro Parzelle 10 Pflanzen aus der dritten Reihe zur Bestimmung der Frisch-

masse mit Handhacke geerntet. Zusätzlich wurde die Anzahl der Knollen bestimmt und das Einzelknollengewicht berechnet.

c) Inhaltsstoffe Kraut

Für die Bestimmung des Nährstoffgehaltes im Kraut wurden 2 g der getrockneten und gemahlene Pflanzenpro-

ben bei 550 °C im Muffelofen verascht. Die Asche wurde mit Salzsäure aufgenommen, mit destilliertem Wasser verdünnt, aufgekocht (Aschelösung) 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 wurde mit dem Flammenphotometer gemessen (Elex 6361, Eppendorf) sowie Magnesium mit einem Spectralphotometer (EPOS Analyzer 5060, Eppendorf) (VDLUFA, 1997). Der N-Gehalt wurde nach Kjeldahl bestimmt (VDLUFA, 1997).

d) Inhaltsstoffe Knolle

Der Stärkegehalt der Knollen wurde mit der Stärkewaa-ge (Brückmann, 1876) über eine Regressionsgleichung nach Putz (1989) geschätzt.

In Tabelle 2 sind die im Feldversuch geprüften Merkmale zusammenfassend dargestellt.

Die mathematisch-statistische Datenanalyse erfolgte varianzanalytisch als Spaltanlage mit der Prozedur GLM des Programms SPSS, Version 15 unter Einbeziehung der beiden Hauptfaktoren (Faktor A: Knollenbehandlung, Faktor B: Krautbehandlung) und deren Wechselwirkung AxB (Knollenbehandlung x Krautbehandlung). Die Mittelwerte der Prüfglieder wurden mit dem Tukey-Test (Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$) verglichen.

Tabelle 2:

Übersicht der in den Feldversuchen erhobenen Prüfmerkmale

Prüfmerkmale der Knollen			Prüfmerkmale des Krautes (*am 70. Vegetationstag)		
Bezeichnung	Abkürzung	Einheit	Bezeichnung	Abkürzung	Einheit
Knollenertrag (Frischmasse)	Ertrag	dt ha ⁻¹	Krautfrischmasse *	Kraut-FM	dt ha ⁻¹
Knollenanzahl je Pflanze	Kno/Pfl	Stück	Krauttrockenmasse *	Kraut-TM	dt ha ⁻¹
Einzel-Knollengewicht	EKG	g	Inhaltstoffe in der Trockenmasse *	N, P, K, Mg	mg 100g ⁻¹
Schorfbefall	Schorf	%	Phytophthorabefall	Phyto	%
Stärkegehalt	Stärke	% FM			

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Befallssituation mit *Phytophthora infestans*

Die Befallssituation in den Jahren 2008 und 2009 war dadurch charakterisiert, dass in den Feldversuchen kein Primärbefall mit *Phytophthora infestans* am Stängel auftrat. Dieser geht bei hoher Boden- und Luftfeuchte von dem mit *P. infestans* infizierten Pflanzgut aus (Zellner, 2004). Der Sekundärbefall am Kartoffelkraut trat in beiden Jahren deshalb sehr spät, d. h. Anfang Juli auf, so dass die ersten Bonituren am 15. Juli 2008 bzw. 8. Juli 2009 erfolgten. Es herrschten somit keine günstigen Infektionsbedingungen, die eine rasche Ausbreitung der Infektion mit *P. infestans* beförderten. Trotz des niedrigen Infektionsdruckes in beiden Jahren führten die jeweiligen Witterungsbedingungen zu differenzierten Befallsverläufen bei *P. infestans* (siehe Punkt 3.3).

Im Jahre 2008 hatten die Pflanzenbestände auf Grund des warmen und trockenen Wetters im Mai und Juni (Tabelle 1) einen Vegetationsvorsprung von zwei Wochen gegenüber 2009. Am ersten Boniturtermin (15.07.2008) lag der durchschnittliche Befall mit *P. infestans* bei 8,8 % (Tabelle 3). Dabei konnte ein Befall nur an den unteren Blättern festgestellt werden. Auch zum zweiten Boniturtermin

am 21. Juli war der Befall mit durchschnittlich 15,4 % noch recht niedrig. Erst nach Zunahme des Infektionsdruckes ab Ende Juli / Anfang August erreichte der Befall eine Stärke von 57 % (Tabelle 3). Zu diesem Zeitpunkt waren die Pflanzenbestände bereits in der Phase der Abreife, so dass die Ertragsbildung weitestgehend abgeschlossen war.

Die Monate Mai bis Juli waren im Jahre 2009 (Tabelle 1) durch hohe Niederschlagsmengen gekennzeichnet, wobei allein im Juli über 100 mm Niederschlag fielen. Die Temperatur hingegen war niedriger als in dem Vergleichszeitraum des Jahres 2008. Aufgrund einer frühzeitigeren Infektion der Kartoffelbestände mit *P. infestans* wurde daher der erste Boniturtermin um eine Woche, d. h. auf den 08.07.2009 vorverlegt. Der durchschnittliche Befall mit *P. infestans* lag zu diesem Zeitpunkt bereits bei 16,1 % (Tabelle 5), wobei die Ertragsbildung noch nicht abgeschlossen war. Die Ausbreitung von *P. infestans* war somit im Jahr 2009 beschleunigt, verlief jedoch im Weiteren verhalten und erreichte beim dritten Boniturtermin am 27. Juli eine Befallsstärke von durchschnittlich 44 % (Tabelle 5).

3.2 Auswirkungen auf Ertrags- und Qualitätsparameter

Aufgrund der unterschiedlichen Witterungsverläufe in den beiden Versuchsjahren erfolgte die statistische Verrechnung getrennt nach Jahren. Die Ergebnisse können den Tabellen 2 bis 6 entnommen werden.

Tabelle 3:

Signifikanztabelle mit Mittelwerten und Standardabweichungen der Prüffaktoren für das Jahr 2008

Quelle der Variation	Kartoffelknollen			Kraut-TM (dt ha ⁻¹)	Kartoffelkraut Phytophthorabefall (%)		
	Ertrag (dt ha ⁻¹)	EKG (g)	Stärke (% in FM)		15.07.	21.07.	31.07.
Wiederholung	n.s	n.s	n.s	n.s	*	**	***
Knollenbehandlung (FA)	n.s	n.s	*	**	n.s	n.s	n.s
Krautbehandlung (FB)	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
(FA) * (FB)	n.s	n.s	n.s	*	n.s	n.s	n.s
Mittelwert	268,3	84,8	16,1	11,4	8,8	15,4	56,9
Standardabweichung	49,8	16,2	1,2	4,0	4,7	6,7	13,6

n.s nicht signifikant; * signifikant p < 0,05; ** signifikant p < 0,01; *** signifikant p < 0,001, EKG = Einzelknollengewicht

Tabelle 4:

Mittelwertvergleich der Faktorstufen für das Jahr 2008

Faktor A: Knollenbe- handlung	Faktor B: Krautbehandlung	n	Kartoffelknollen			Kartoffelkraut			
			Ertrag (dt ha ⁻¹)	EKG (g)	Stärke (% in FM)	Kraut-TM (dt ha ⁻¹)	Phytophthorabefall (%)		
							15.07.	21.07.	31.07.
Kontrolle		32	279,4 a	84,2 a	15,4 a	13,3 a	9,2 a	14,8 a	59,2 a
Chitosan		32	257,2 a	85,3 a	16,8 b	9,5 b	8,5 a	15,9 a	54,6 a
	K0	8	278,0	92,3	16,4	10,7	8,0	14,8	59,1
	8CBB	8	267,0	84,2	16,5	12,7	10,5	18,4	61,2
	2AP	8	265,7	76,5	16,0	11,2	9,2	16,5	55,1
	2AP + 4CBB	8	264,5	89,1	16,3	10,6	9,5	16,6	57,7
	2AP + 4S	8	262,0	94,5	15,3	10,7	7,2	11,8	46,9
	2AP + 3S + 1CBB	8	252,1	80,4	16,1	11,7	9,6	16,0	55,1
	2AP + 2S + 2CBB	8	292,7	83,6	15,4	13,4	9,3	14,8	58,8
	2AP + 1S + 3CBB	8	264,4	77,4	16,3	10,4	7,2	14,2	61,1

Faktor A: Varianzanalyse mit F-Test – nicht gleiche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede bei $p < 0,05$;
 Faktor B: Tukey-Test – keine signifikante Unterschiede
 CBB = Chitosan, AP = Acrobat®, S = Shirilan®

Tabelle 5:

Signifikanztabelle mit Mittelwerten und Standardabweichungen der Prüffaktoren für das Jahr 2009

Quelle der Variation	Kartoffelknollen			Kraut-TM (dt ha ⁻¹)	Kartoffelkraut Phytophthorabefall (%)		
	Ertrag (dt ha ⁻¹)	EKG (g)	Stärke (% in FM)		08.07.	20.07.	27.07.
Wiederholung	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
Knollenbehandlung (FA)	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
Krautbehandlung (FB)	**	n.s	***	n.s	n.s	n.s	***
(FA) * (FB)	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
Mittelwert	392,0	60,7	18,4	17,4	16,1	26,3	44,0
Standardabweichung	47,0	17,0	1,4	3,1	5,3	7,7	14,6

n.s nicht signifikant; * signifikant $p < 0,05$; ** signifikant $p < 0,01$; *** signifikant $p < 0,001$; EKG = Einzelknollengewicht

Im Jahre 2008 wurden für den Knollenertrag und das Einzelknollengewicht keine Signifikanzen für die beiden geprüften Faktoren Knollen- und Krautbehandlung ausgewiesen (Tabelle 3). Somit ergaben sich auch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Faktorstufen (Tabelle 4). Die Knollenbehandlung (Faktor A) mit Chitosan führte einerseits zu signifikant höheren Stärkegehalten und andererseits zu signifikant niedrigeren Kraut-Trockenmasseerträgen. Hierbei handelt es sich voraussichtlich um Scheineffekte, da eine mangelnde Kaliumversorgung auf dem Großteilstück (a2) gegenüber (a1) vermutet wird und verantwortlich für diesen Effekt zu sein scheint. Die Rolle der Kaliumversorgung wird nachfolgend diskutiert (siehe Punkt 3.5).

Ein signifikanter Effekt des Zufallsfaktors Block (siehe Versuchsanlage in Abbildung 1) beim Befall mit *P. infestans* ist Ausdruck dafür, dass der Befallsdruck aus territorialer Nachbarschaft der Parzellen stärker wirkte und somit die Stufen des Faktors B (Krautbehandlung) überdeckte, so dass keine signifikanten Unterschiede erkennbar waren.

Im zweiten Untersuchungsjahr 2009 zeigten sich im Gegensatz zum Versuchsjahr 2008 bei keinem der untersuchten Parameter signifikante Effekte für den Faktor Knollenbehandlung. Dagegen zeigte der Faktor Krautbehandlung im Jahr 2009 signifikante Unterschiede für die Parameter Ertrag, Stärkegehalt und die Boniturtermine 2 und 3 (Tabelle 5 und 6).

Mit Ausnahme der Variante 2AP + 4CBB wiesen alle anderen Varianten auf Basis des Einsatzes chemischer

Tabelle 6:

Mittelwertvergleich der Faktorstufen für das Jahr 2009

Faktor A: Knollenbe- handlung	Faktor B: Krautbehandlung	n	Kartoffelknollen			Kartoffelkraut			
			Ertrag	EKG	Stärke	Kraut-TM (dt ha ⁻¹)	Phytophthorabefall (%)		
			(dt ha ⁻¹)	(g)	(% in FM)		08.07.	20.07.	27.07.
Kontrolle		32	384,9 a	93,8 a	18,2 a	17,2 a	15,2 a	27,2 a	41,4 a
Chitosan		32	389,0 a	87,5 a	18,5 a	17,6 a	17,1 a	25,4 a	46,5 a
	K0	8	331,1 a	83,7	16,7 a	17,4	17,9	33,6	66,0 a
	8CBB	8	353,9 ab	83,3	18,0 ab	16,9	18,0	30,7	57,3 b
	2AP	8	395,9 bc	88,8	17,8 ab	18,0	14,6	25,2	45,9 b
	2AP + 4CBB	8	379,8 abc	89,7	18,5 bc	17,2	14,3	21,9	38,2 b
	2AP + 4S	8	418,0 c	104,3	19,9 bc	18,6	14,0	25,0	31,9 b
	2AP + 3S + 1CBB	8	427,1 c	89,3	19,2 bc	16,8	16,7	24,1	38,8 b
	2AP + 2S + 2CBB	8	396,0 bc	88,7	18,1 ab	16,4	17,0	26,3	34,5 b
	2AP + 1S + 3CBB	8	394,6 bc	93,6	18,7 bc	18,1	16,9	25,3	38,2 b

Faktor A: Varianzanalyse mit F-Test – keine signifikanten Unterschiede bei $p < 0,05$;
 Faktor B: Tukey-Test – nicht gleiche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede bei $p < 0,05$
 CBB = Chitosan, AP = Acrobat®, S = Shirilan®

Pflanzenschutzmittel signifikant höhere Erträge auf als die unbehandelte Kontrollvariante. Die alleinige Krautbehandlung mit Chitosan (8CBB) führte zu keinem signifikant höheren Ertrag im Vergleich zur Kontrolle. Die Stärkegehalte nahmen in allen behandelten Varianten zu; allerdings waren diese in der ausschließlich mit Chitosan behandelten Variante (8CBB) und in den Varianten 2AP sowie 2AP + 2S + 2CBB nicht signifikant höher als in der unbehandelten Kontrolle.

Beim Vergleich der Knollen- und Krauterträge der beiden Versuchsjahre (Mittelwerte im Vergleich von Tabelle 3 mit 5 sowie 4 mit 6) wird deutlich, dass diese in 2009 deutlich höher ausfielen als in 2008. Die Ertragsbildung in 2009 wurde aufgrund einer besseren Wasserversorgung durch die höheren Niederschlagsmengen in der Hauptwachstumsphase (Mai bis Juli) deutlich positiv beeinflusst und zudem durch eine ausreichende Kaliumversorgung im April 2009 (240 kg K ha⁻¹) auf allen Parzellen sichergestellt. Die ausreichende Wasser- und Nährstoffversorgung im Jahr 2009 war somit Basis dafür, dass die Krautbehandlung mit den verschiedenen Spritzmitteln und -kombinationen in diesem Jahr signifikante Effekte bewirkte.

3.3 Auswirkungen auf den Befall mit *P. infestans*

Das Jahr 2008 war in der Region Rostock ein Jahr mit einem unterdurchschnittlichen Befall der Kartoffelbestände durch *P. infestans*. Gründe dafür sind die geringen Niederschlagsmengen in den Monaten Mai und Juni (Tabelle 1) und der Witterungsverlauf im Monat Juli (Abbil-

dung 2) mit ebenfalls nur geringen Niederschlägen ab der zweiten Pentade, begleitet mit Temperaturen unterhalb des in den Abbildungen 2 und 3 ausgewiesenen Optimalbereiches von 18 bis 23 °C (Schöber-Butin, 2001). Das erklärt den geringen Befall durch *P. infestans* zum ersten Boniturtermin am 15. Juli einheitlich bei allen Spritzvarianten. Die Niederschläge in der 3. Pentade waren ebenfalls von niedrigen Temperaturen begleitet und bewirkten somit noch keinen stärkeren Infektionsdruck. Der erst Ende Juli zunehmende Infektionsdruck fiel bereits in die Abreifephase der Kartoffeln, so dass hiervon keine ausgeprägten Unterschiede im Krautfäulebefall in Abhängigkeit der Krautbehandlungen ausgehen konnten. Zum dritten Boniturtermin am 31. Juli wiesen die drei ausgewählten Spritzvarianten (Abbildung 2: Kontrolle; 2AP + 1S + 3CBB; 2AP + 4S) einen vergleichbar hohen Befall durch *P. infestans* auf.

Das Jahr 2009 war im Vergleich zu 2008 durch wesentlich höhere Niederschlagsmengen im Juni und Juli gekennzeichnet (Tabelle 1, Abbildung 3). Die unterdurchschnittlich kühlen Temperaturen im Monat Juni verhinderten einen frühzeitigen Infektionsdruck, so dass die Bedingungen für eine Ausbreitung von *P. infestans* erst durch die höheren Temperaturen Anfang Juli gegeben waren. Am 8. Juli (erster Boniturtermin) konnten noch keine Unterschiede im Befall durch *P. infestans* in Abhängigkeit der Krautbehandlungen festgestellt werden. Dennoch war der Befall durch *P. infestans* schon zu diesem Zeitpunkt stärker ausgeprägt als im Jahr 2008. Die chemische Krautbehandlung (2AP + 4S) sowie die Variante mit der Chitosan-Komponente (2AP

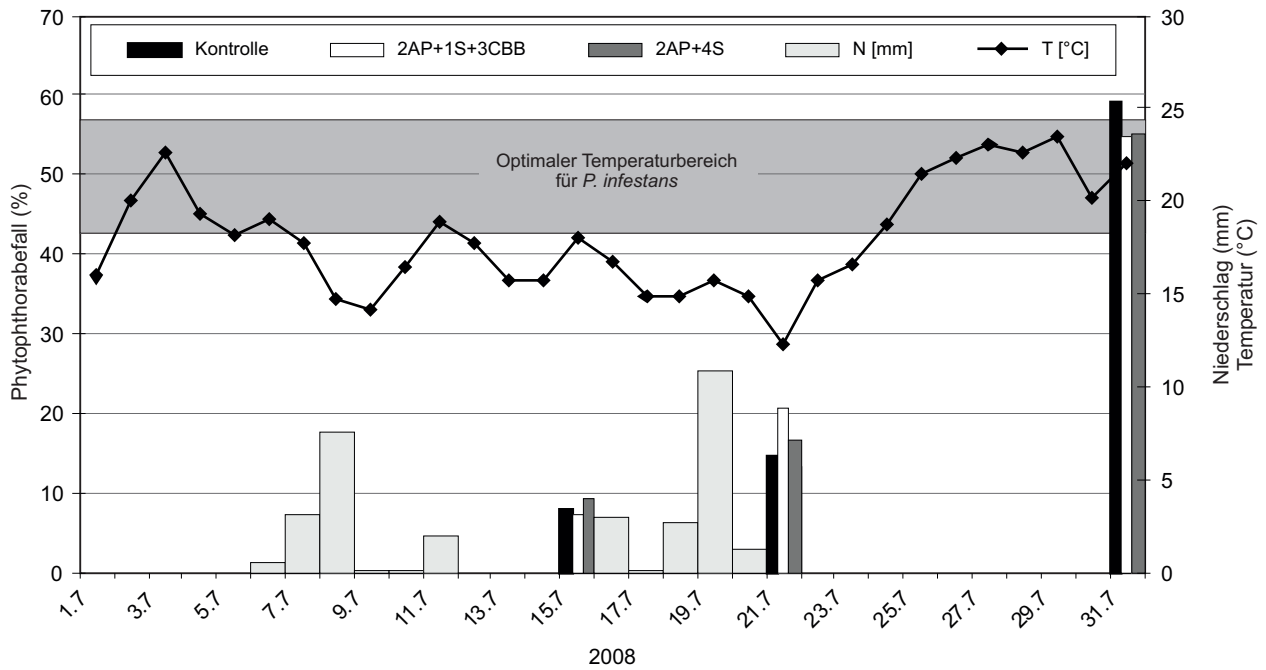


Abbildung 2:

Witterungsverlauf, Befallsdynamik von *Phytophthora infestans* im Vergleich der chemischen mit der kombinierten Spritzbehandlung und der Kontrolle im Monat Juli des Jahres 2008 (Mittelwerte für den Hauptfaktor „Krautbehandlung“; n = 8) AP = Acrobat®, S = Shirlan®, CBB = Chitosan, N = Niederschlag, T = Temperatur

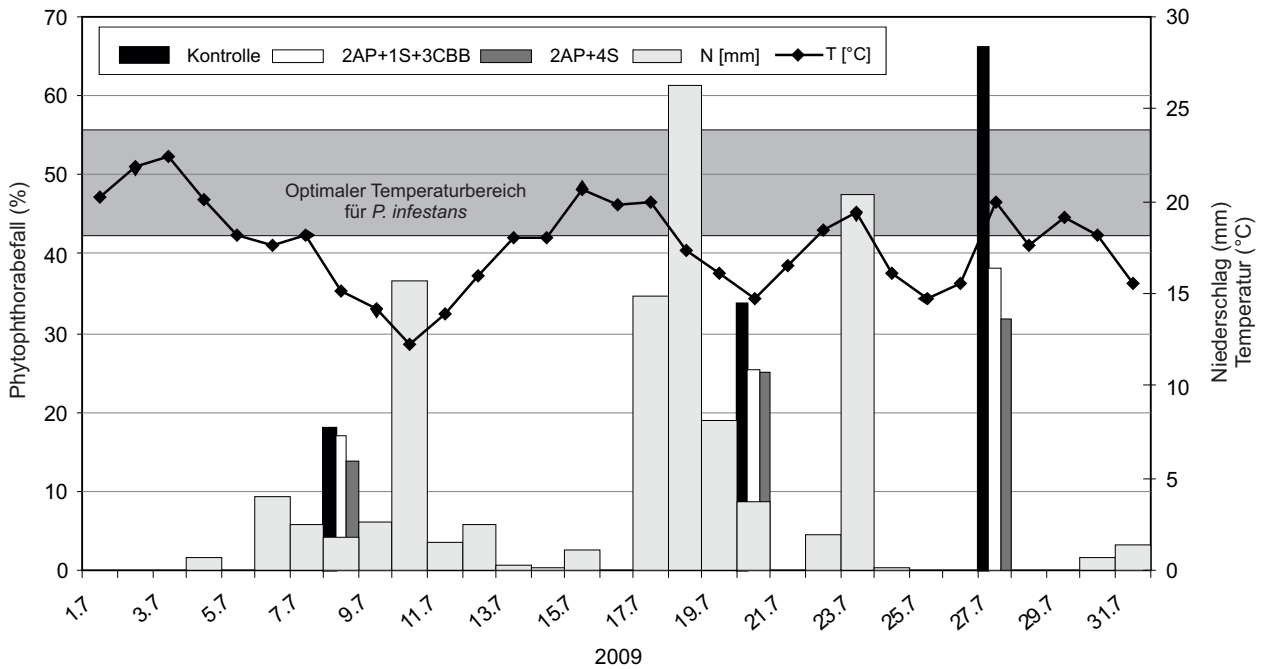


Abbildung 3:

Witterungsverlauf, Befallsdynamik von *Phytophthora infestans* im Vergleich der chemischen mit der kombinierten Spritzbehandlung und der Kontrolle im Monat Juli des Jahres 2009 (Mittelwerte für den Hauptfaktor „Krautbehandlung“; n = 8) AP = Acrobat®, S = Shirlan®, CBB = Chitosan, N = Niederschlag, T = Temperatur

+ 1S + 3CBB) brachten bei der weiteren Ausbreitung der Krautfäule zum dritten Boniturtermin sichtbare und signifikante Effekte im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (Abbildung 3, Tabelle 5 und 6).

Die Knollenbehandlung (Faktor A) mit Chitosan brachte bei allen Prüfmerkmalen im Jahre 2009 keine signifikanten Unterschiede. Da keine Wechselwirkungen vorlagen, werden die Ergebnisse für die Krautbehandlung ebenfalls für den Hauptfaktor betrachtet (Tabelle 6). Alle Krautbehandlungsvarianten hatten zum dritten Boniturtermin im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (KO) einen geringeren Befall durch *P. infestans*. Die alleinige Krautbehandlung mit Chitosan (8CBB) konnte den Befall nicht signifikant reduzieren, was in Übereinstimmung zu den Ergebnissen von Kowalski (2003) steht. Die chemische Variante (2AP + 4S) als auch die Kombinationsvarianten von Chitosan mit Acrobat® und Shirlan® (2AP + 4CBB, 2AP + 3S + 1CBB, 2AP + 2S + 2CBB, 2AP + 1S + 3CBB) konnten den Befallsverlauf verzögern sowie den Befall mit Befallswerten von unter 40 % gegenüber der unbehandelten Variante (66,0 %) als auch gegenüber der Chitosanbehandlung (8CBB: 57,3 %) signifikant reduzieren. Dabei zeigten diese Behandlungen mit Ausnahme der Variante 2AP + 4CBB einen signifikant höheren Ertrag im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle.

3.4 Einfluss des Befalls mit *P. infestans* auf den Ertrag

Da das Ergebnis im Jahre 2009, wie nachfolgend noch diskutiert, unter den Bedingungen einer ausgeglichenen Nährstoffversorgung und guter Wasserversorgung aller

Versuchspartzellen zustande kam, wird im Folgenden der Zusammenhang von Befall mit *P. infestans* und Knollenertrag für das Versuchsjahr 2009 dargestellt (Abbildung 4). Der durch die Krautbehandlungen unterschiedlich hohe Befall mit *P. infestans* zeigte für das Jahr 2009 in der Regressionsanalyse einen signifikanten Zusammenhang ($r^2 = 0,2384$) auf den Ertrag (Abbildung 4). Somit waren 23,8 % der Ertragsvarianz auf den Befall durch *P. infestans* zurückzuführen. Eine Reduktion des Befalls um 1 % lässt dabei einen Ertragszuwachs von 1,7 dt ha⁻¹ erwarten (Abbildung 4).

Aufgrund der Tatsache, dass der Befall mit *P. infestans* zwar signifikant war, aber hierdurch nur 23,8 % der Ertragsvariation erklärt werden können, deutet dieses Ergebnis darauf hin, dass weitere Parameter einen erheblichen Einfluss auf die Ertragsbildung haben. Im Folgenden wird daher auf die Nährstoff- und die Wasserversorgung eingegangen.

3.5 Auswirkungen der Nährstoffversorgung

Die Bestimmung der Nährstoffgehalte im Kartoffelkraut diente der Überprüfung, ob die Applikation von Chitosan eine Wirkung auf die Nährstoffaufnahme der Pflanzen hatte. Die Krautbehandlung aller geprüften Mittel hatte in beiden Jahren keine signifikante Wirkung auf die Nährstoffkonzentration in der Trockenmasse des Krautes am 70. Vegetationstag (Tabelle 7). Lediglich die Knollenbehandlung mit Chitosan (Faktor A) führte im Jahre 2008 beim Phosphor zu signifikant niedrigeren Gehalten.

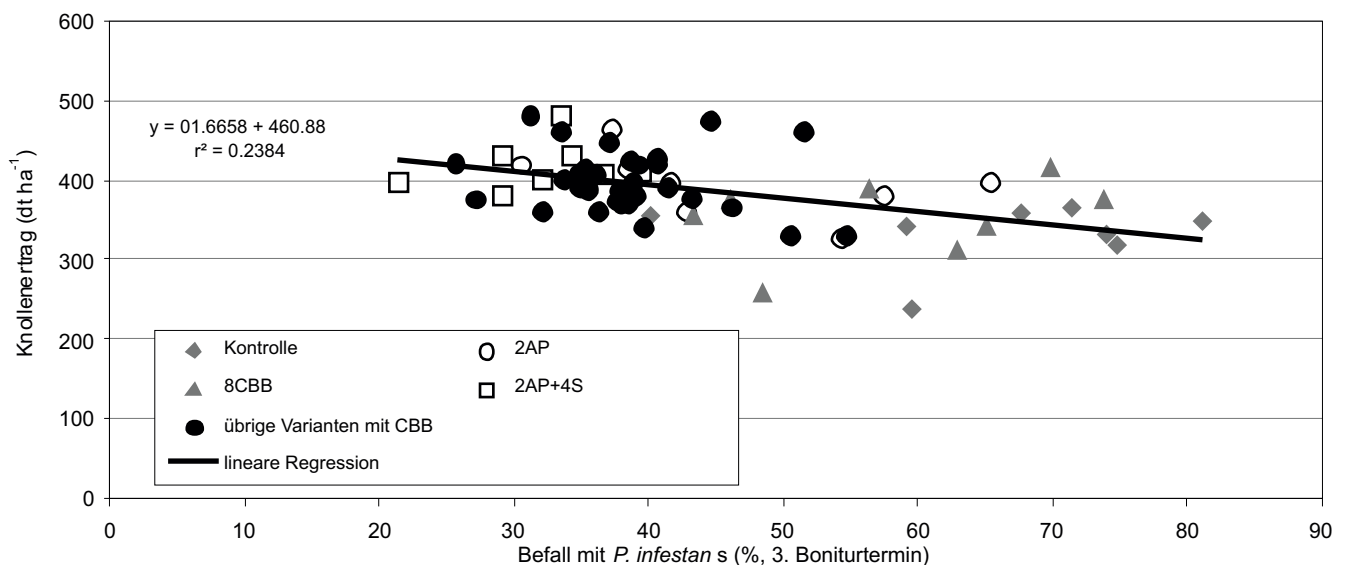


Abbildung 4:

Abhängigkeit des Ertrages vom Befall mit *P. infestans* (3. Bonitur-Termin) im Jahre 2009 (separate Kennzeichnung für ausgewählte Krautbehandlungen, CBB = Chitosan, AP = Acrobat®, S = Shirlan®)

Tabelle 7:

Mittelwertvergleich zum Nährstoffgehalt in der Trockenmasse des Krautes jeweils nach der Blüte am 15. Juli (70. Vegetationstag)

Knollen- behandlung	Krautbehandlung	n	2008			2009		
			P (mg 100g ⁻¹)	K (mg 100g ⁻¹)	N (g 100g ⁻¹)	P (mg 100g ⁻¹)	K (mg 100g ⁻¹)	N (g 100g ⁻¹)
Kontrolle: ohne Chitosan	Kontrolle	4	200,0	1744,0	3,4	170,4	2755,5	2,4
	8CBB	4	230,7	2360,5	3,3	167,7	2832,5	2,5
	2AP	4	210,8	2225,0	3,2	179,6	2951,8	2,6
	2AP + 4CBB	4	226,2	2428,5	3,3	157,1	2796,3	2,5
	2AP + 4S	4	222,6	2174,5	3,3	185,5	3087,0	2,4
	2AP + 3S + 1CBB	4	227,1	2218,0	3,1	170,4	3062,8	2,5
	2AP + 2S + 2CBB	4	223,5	2133,0	3,2	186,0	2607,3	2,7
	2AP + 1S + 3CBB	4	203,6	2134,5	3,2	180,5	2883,3	2,3
Behandlung mit Chitosan	Kontrolle	4	207,2	2418,0	3,2	163,5	2802,8	2,6
	8CBB	4	206,3	2072,0	3,4	174,5	2826,5	2,4
	2AP	4	200,0	2298,5	3,3	163,1	3279,0	2,5
	2AP + 4CBB	4	195,5	2156,0	3,4	169,0	2882,0	2,4
	2AP + 4S	4	196,4	2533,0	3,4	156,2	2765,3	2,4
	2AP + 3S + 1CBB	4	202,7	2300,0	3,2	166,8	3136,3	2,5
	2AP + 2S + 2CBB	4	226,2	1781,0	3,2	170,4	2650,0	2,4
	2AP + 1S + 3CBB	4	204,5	2208,5	3,2	178,7	2931,8	2,5
Kontrolle	32	218.1 a	2177.6 a	3.3 a	174.6 a	2872.0 a	2.5 a	
Chitosan	32	204.8 b	2220.9 a	3.3 a	167.7 a	2909.2 a	2.4 a	

CBB = Chitosan, AP = Acrobat®, S = Shirilan®

Von Bedeutung sind aber neben den Nährstoffgehalten im Kraut ebenfalls die Nährstoffverhältnisse und die flächenbezogene Nährstoffaufnahme, die sich aus der Nährstoffkonzentration und dem Massenaufwuchs kalkulieren lässt.

Das Nährstoffverhältnis wird nach Kolbe (1997) primär durch die Nährstoffverfügbarkeit im Boden bestimmt. Die Kaliumdüngung im Jahr 2009 bewirkte eine ausreichende Kaliumversorgung, was zu deutlich höheren K-Gehalten im Kraut im Vergleich zum Jahr 2008 führte (Tabelle 7). Bekannt ist, dass durch Kaliumdüngung die Abwehrkraft der Pflanzen erhöht werden kann (Alten und Orth, 1941). Darüber hinaus hatte die Kaliumdüngung zur Folge, dass das Kalium-Phosphor-Verhältnis im Kraut (Tabelle 8) im Jahre 2009 mit 16 bis 17 zu 1 erheblich weiter war als im Jahre 2008 mit 10 bis 11 zu 1.

Die Krautmasse als zweite Komponente der aufgenommenen Nährstoffmenge wird ebenfalls stark durch die Kaliumversorgung beeinflusst. Kalium fördert insbesondere das oberirdische Längenwachstum der Kartoffel im EC 30 - 39 und wirkt sich positiv auf die Photosynthese (Ulrich und Fong, 1969) aus. Kalium sorgt damit für ein großes Volumen dieses zeitweiligen Nährstoffspeichers Kartoffelkraut. Die Unterversorgung mit Kalium aufgrund der geringen Kaliumgehalte (5 mg K₂O 100g⁻¹ Boden) auf

der gesamten Versuchsfläche im Jahre 2008 und die vermutlich noch geringeren Gehalte auf dem Großteilstück „a2“ des Faktors A erklären die erhebliche Differenz der Kaliumgehalte im Kraut in den beiden Versuchsjahren und den signifikanten Unterschied des Kraut-Trockenmasseertrages zwischen den Stufen des Faktors A im Jahre 2008 (Tabelle 4). 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 Tabelle 8 kalkulierten Proportionen.

Die erheblichen Ertragsdifferenzen hingegen können nicht nur auf die verbesserte Kaliumversorgung im Jahre 2009 zurückgeführt werden. Die Wasserversorgung hat in einzelnen Entwicklungsphasen einen wesentlichen Einfluss auf die Bildung von Kraut- und Knollenmasse (Roth et al., 1987). So hat sich die um 46,3 mm niedrigere Niederschlagsmenge im Juni 2008 gegenüber 2009 vorrangig auf die Blattmasseentwicklung negativ ausgewirkt. Die Niederschlagsmengen im Vegetationsabschnitt Ende Blüte und drei Wochen danach (15. Juli bis 15. August) hingegen haben im Zusammenwirken mit Kaliumversorgung und Phytophthorabefall einen erheblichen Einfluss auf die Knollenbildung gehabt. Deshalb wurde der Einfluss dieser

Tabelle 8:

Kalkulation zum Effekt der Nährstoffproportionen von Kalium und Phosphor beim Knollenertrag; Phytophthorabefall und Wasserversorgung (Vergleich der Jahre 2008 und 2009)

	Jahr Großteilstück	2008		2009	
		a1	a2	a1	a2
Knollenertrag (Ernte)	(dt ha ⁻¹)	279,40	257,20	384,90	389,00
Erwarteter Ertragszuwachs nach dem 70. Tag (35%)	(dt ha ⁻¹)	97,80	90,00	134,70	136,20
Krautertrag am 70. Tag	(dt TM ha ⁻¹)	13,16	9,24	17,29	17,85
K-Gehalt im Kraut am 70. Tag	(mg 100g ⁻¹ TM)	2177	2221	2872	2909
P-Gehalt im Kraut am 70. Tag	(mg 100g ⁻¹ TM)	218	205	175	168
Verhältnis K:P		10,0 zu 1	10,8 zu 1	16,4 zu 1	17,3 zu 1
Kaliummenge im Kraut für Knollenzuwachs	(kg K dt ⁻¹ Knollen)	0,293	0,228	0,369	0,381
Phosphormenge im Kraut für Knollenzuwachs	(kg P dt ⁻¹ Knollen)	0,029	0,021	0,022	0,022
Phytophthorabefall (3. Bonitur)	(%)	59,2	54,6	41,4	46,6
Niederschlagssumme (15. Juli bis 15. August)	(mm)	60		107	
Kaliummenge in der Krautmasse am 70. Tag	(kg ha ⁻¹)	29,1	20,8	49,5	51,7

Tabelle 9:

Ergebnisse der Regressionsschätzung ($r^2 = 0.64$) für die Versuchsjahre 2008 und 2009

		Koeffizienten	Beta std.	Signifikanz p	r partiell
Knollenertrag (dt FM ha ⁻¹)	(Konstante)	192,4		0,000	
Phytophthorabefall (3. Bonitur)	(%)	-0,969	-0,195	0,001	-0,283
Niederschlagssumme (15. Juli bis 15. Aug.)	(mm)	1,947	0,599	0,000	0,535
Kaliummenge im Kraut am 70. Tag	(kg K ha ⁻¹)	0,567	0,125	0,135	0,134

Komponenten auf den Knollenertrag mit einer dreifach-linearen Regressionsfunktion (Daten beider Jahre; $n=128$) geschätzt (Tabelle 9). Auf diese Weise konnten 64 % der Ertragsvarianz erklärt werden.

Die standardisierten Beta-Koeffizienten lassen auf den partiellen Effekt der betrachteten Komponenten schließen, d. h., Wasserversorgung rund 60 %, Phytophthorabefall etwa 20 % und Kaliumvorrat im Kraut 12,5 %. Das widerspricht nicht der Aussage in Abbildung 4, dass im Jahre 2009 etwa 24 % der Ertragsvarianz durch den Befall mit *P. infestans* erklärt werden, da 2009 das höhere und sichere Ertragsniveau (387 +/- 47 dt/ha⁻¹) gegenüber 2008 (268 +/- 50 dt ha⁻¹) durch eine bessere Wasser- und Kaliumversorgung erreicht wurde. 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 Parameter wurden in der Arbeit von Finckh et al. (2006) neben der Wachstumszeit und der Temperatursumme auch die Stickstoffversorgung herausgearbeitet. Da in den hier vorlie-

genden Untersuchungen keine Erhebungen zur Stickstoffversorgung durchgeführt wurden, konnte dieser Faktor in den Regressionsanalysen nicht berücksichtigt werden.

Ein weiterer Aspekt der Kaliumversorgung ist, dass Kalium während des Staudenwachstums auch für den Aufbau von Enzymen zur Kohlenhydratbildung (Zucker und Stärke) verantwortlich ist (Malinowska, 1983; Wölfel, 2002). Eine gute Kaliumversorgung und optimale Temperaturen im Juli 2009 (von 15 bis 16 °C) bewirkten in den Varianten mit Krautbehandlung höhere Stärkegehalte in den Knollen, wobei die Stärkegehalte der Chitosanvariante (8CBB) sowie der Varianten 2AP und 2AP + 2S + 2CBB jedoch nicht signifikant höher als die der unbehandelten Kontrolle waren (Tabelle 6).

Mit den Daten beider Jahre konnte durch lineare Regression ein Zusammenhang von Stärkegehalt und K-P-Verhältnis im Kraut am 70. Tag geschätzt werden (Abbildung 5). Zu etwa 34 % erklärt sich unter diesen Versuchsbedingungen die Varianz des Stärkegehaltes durch die Änderung des K-P-Verhältnisses ($r^2 = 0,3442$). Untersuchungen von anderen Autoren (MacKay et al., 1966; Singh, 1987; Kolbe, 1995) zeigen, dass Kalium und

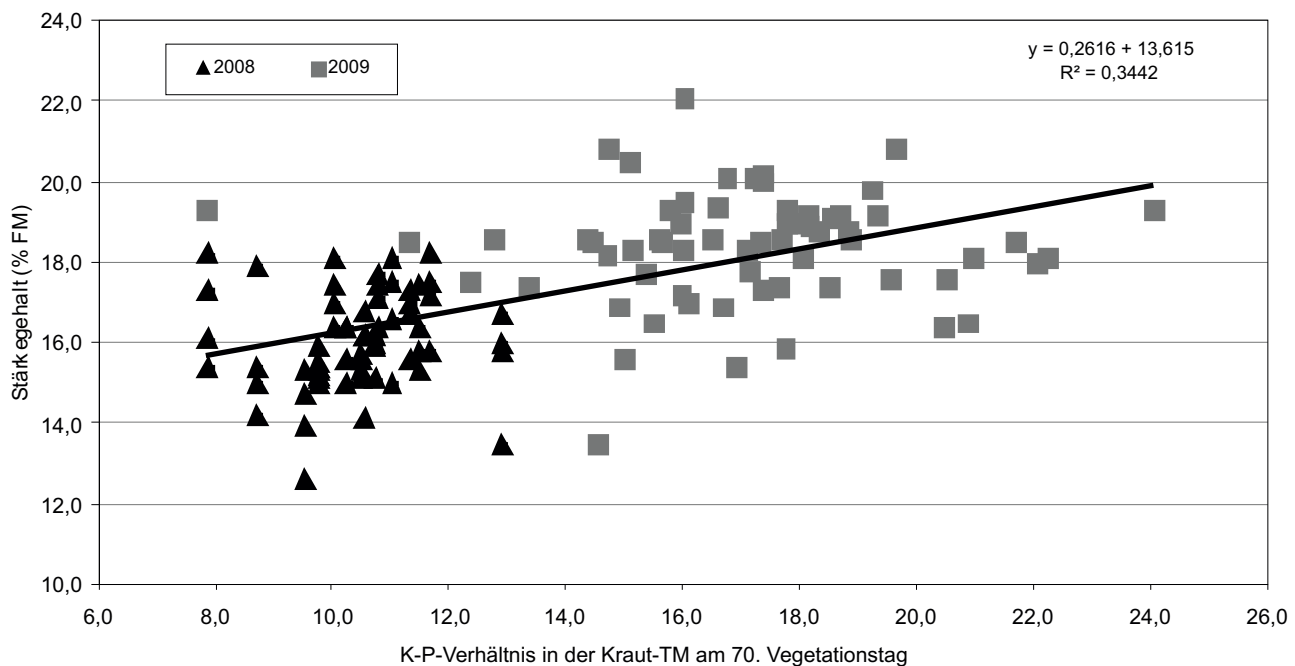


Abbildung 5:

Abhängigkeit des Stärkegehaltes geernteter Knollen vom K-P-Verhältnis in der Kraut-TM am 70. Vegetationstag (n = 128)

Phosphor bzw. deren Verhältnis den Ertrag und auch den Stärkegehalt beeinflussen. Allerdings gibt es keine direkt vergleichbaren Ergebnisse, da der Schwerpunkt der Untersuchungen entweder auf den Ertrag abzielte oder aber die Konzentrationen in den Blättern und nicht im oberirdischen Kraut aufwuchs bestimmt wurden. Dennoch ist aus den Ergebnissen abzuleiten, wie in Abbildung 5 dargestellt, dass dem Verhältnis von Kalium zu Phosphor eine wichtige Bedeutung zukommt.

4 Schlussfolgerungen

Weder die Knollenbehandlung noch die Krautbehandlung mit dem Pflanzenstärkungsmittel auf Basis von Chitosan führten zu einem geringeren Befall mit *P. infestans* oder zeigten einen positiven Effekt auf den Knollenertrag. Die in der Literatur beschriebenen positiven Effekte hinsichtlich z. B. antimikrobieller Eigenschaften und der dadurch positiv beeinflussten Verteidigungsmechanismen der Pflanzen gegenüber Mikroorganismen konnten unter Freilandbedingungen in den durchgeführten Feldversuchen hinsichtlich einer Befallsreduktion durch *P. infestans* nicht bestätigt werden.

Deutlich konnte jedoch herausgearbeitet werden, dass die Ertragsvariation von Kartoffeln von unterschiedlichen Faktoren abhängig ist. Die der Untersuchung zugrunde liegende Datenbasis zeigt, dass der Befall durch *P. infestans* die Ertragsvariation nur zu 20 % erklärt. Einen wesentlichen Zufallsfaktor im Feldversuch stellt jedoch die Witterung

des jeweiligen Untersuchungsjahres dar. So hatte in den vorliegenden Untersuchungen die Wasserversorgung einen deutlich größeren Einfluss auf die Ertragsbildung als der Befall mit *P. infestans*. Als weitere Einflussgröße konnte die Kaliumversorgung identifiziert werden. Hier konnte insbesondere gezeigt werden, dass das Verhältnis von Kalium und Phosphor im Kraut den Stärkegehalt in den Knollen beeinflusst. Dies muss bei der Düngungsbesetzung Berücksichtigung finden.

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.

Literatur

- Alten F, Orth H (1941) Untersuchungen über den Aminosäuregehalt und die Anfälligkeit der Kartoffel gegen die Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans* de Bary). *Phytopathol Z* 13:243-271
- Bioland (2008) Bioland informiert : Kupfer in der Ernährung und in der Landwirtschaft [online]. Zu finden in <http://www.bioland.de/fileadmin/bioland/img/wissen/Kompakt/Bioland_informiert_zu_Kupfer_10-2008.pdf> [zitiert am 15.02.2011]
- 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. *Phytopathology* 84:1432-1444
- Benhamou N, Nicole M, Theriault G (1992) Treatment with chitosan enhances resistance of tomato plants to the crown and root rot pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. *Physiol Mol Plant Pathol* 4:33-52

- Bittelli M, Flury M, Campbell GS, Nichols EJ (2001) Reduction of transpiration through foliar application of Chitosan. *Agric Meteorol* 107:167–175
- BMVEL (2004) Reduktionsprogramm chemischer Pflanzenschutz. Berlin : BMVEL, 58 p
- 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]
- Böhm H (2003) Regulierung der Kraut- und Knollenfäule (Phytophthora infestans) im ökologischen Kartoffelanbau. *Ber Biol Bundesanst Land Forstwirtschaft* 118:48-55
- 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
- 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, Upadhyia MD (eds) *Comprehensive potato biotechnology*. New Delhi : Malhotra Publ House, pp 49–64
- Dörnenburg H, Knorr D (1994) Elicitation of chitinases and antraquinones in *Morinda citrifolia* cell cultures. *Food Biotechnol* 8:57
- El Ghaouth A (1994) Effect of chitosan on cucumber plants : suppression of *Pythium aphanidermatum* and induction of defense reactions. *Phytopathology* 84:313–320
- Finckh MR, Schulte-Geldermann E, Bruns C (2006) Challenges to organic potato farming : disease and nutrient management. *Potato Res* 49(1):27-42
- Finckh MR, Hayer F, Schulte-Geldermann E, Bruns C (2008) Diversity, plant nutrition and prognosis : an integrated concept for late blight management in organic agriculture. *Gesunde Pflanzen* 60(4):159-170
- 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, Ogawa T, 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
- James C (1971) A manual of assessment keys for plant diseases. St Paul : Am Phytopath Soc, 43 p
- Kauss H (1997) Partial acetylation of Chitosan and a conditioning period are essential for elicitation of H2O2 in surface-abraded tissues from various plants. *Adv Chitin Sci* 2:94-101
- Kolbe H (1995) Einflussfaktoren auf die Inhaltsstoffe der Kartoffel : Teil 1: Trockensubstanz und Stärke. *Kartoffelbau* 46(10):404-411
- Kolbe H (1997) Einflussfaktoren auf Ertrag und Inhaltsstoffe der Kartoffel. *Kartoffelbau* 48(8):318-323
- Kowalski B (2003) Entwicklung von nachhaltigen Maßnahmekomplexen zur Kontrolle von wirtschaftlich bedeutenden pilzlichen Schaderregern im ökologischen Kartoffelbau : Forschungsprojekt Nr:02OE272. Rostock : Univ
- 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. *Mitt Ges Pflanzenbauwiss* 17:351–352
- Kühne S, Strassmeyer J, Rossberg D (2009) Anwendung kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel in Deutschland. *J Kulturpfl* 61(4):126-130
- MacKay DC, MacEachern CR, Bishop RF (1966) Optimum nutrient levels in potato leaves (*Solanum tuberosum* L.). *Soil Sci Soc Am Proc* 30:73-76
- Malinowska G (1983) Untersuchungen zum Einfluss von Kaliumernährung auf Ertrag und Stärkeakkumulation von Kartoffelknollen. Hannover : Univ, 84 p
- Malkomes H-P (2010) Einfluss kupferhaltiger anthropogener Einträge auf Bodenmikroorganismen. *J Kulturpfl* 62(6):211-222
- Malkomes HP (2010) Einfluss kupferhaltiger anthropogener Einträge auf Bodenmikroorganismen : eine Übersicht. I. Mikrobielle Populationen. *J Kulturpfl* 62(6):211-222
- Meinck S, Kolbe H (1999) Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule im ökologischen Kartoffelanbau. *Kartoffelbau* 50:172–175
- Möller K, Habermeyer J, Zinkernagel V, Reents HJ (2006) Impact and interaction of nitrogen and phytophthora infestans as yield-limiting and yield-reducing factors in organic potato (*Solanum tuberosum* L.) crops. *Potato Res* 49:281–301
- Neuhoff D (2000) Speisekartoffelerzeugung im Organischen Landbau : Einfluss von Sorte und Rottemistdüngung auf Ertragsbildung und Knolleninhaltsstoffe. Berlin : Köster, 151 p, SchrR Inst Organischen Landbau 15
- Niederhofer A (2003) Biotechnologische Herstellung von niedermolekularem Chitosan aus *Mucor* Spezies als pharmazeutischer Hilfsstoff. Kiel : Univ, 147 p
- 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 plantlets. *Folia Geobot* 38:201–207
- Page AL, Miller RH, Keeney DR (1982) *Methods of soil analysis : part 2, chemical and microbial properties*. Madison : Am Soc Agron, Agronomy 9
- Putz B (1989) *Kartoffeln : Züchtung, Anbau, Verwertung*. Hamburg : Behr, 263 p
- Reddy MVB, Arul J, Angers P, Couture L (1999) Chitosan treatment of wheat seeds induces resistance to *Fusarium graminearum* and improves seed quality. *J Agric Food Chem* 47:1208-1216
- Roby D, Gabelle A, Toppan A (1987) Chitin oligosaccharides as elicitors of chitinase activity in melon plants. *Biochem Biophys Res Commun* 143:885–892
- 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, 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 Berechnungseinsatz. *Potato Res* 30:625-636
- Schöber-Butin B (2001) Die Kraut- und Braunfäule der Kartoffel und ihr Erreger *Phytophthora infestans* (mont.) de Bary. Berlin : Parey, 64 p, Mitt Biol Bundesanst Land Forstwirtschaft 384
- Singh J (1987) Leaf analysis for balanced nutrition of potato. *J Indian Potato Assoc* 14(3/4):88-89
- Tiuterev S (1996) Chitosan mechanism of action and ways of using chitosan as ecologically safe means in enhancement of plant disease resistance. *Arch Phytopathol Plant Protection* 30:323–332
- Túmová L, Backovská M (1999) Chitosan and the flavonoid production. *Herba Pol* 45:114–115
- Ulrich A, Fong KH (1969) Effect of potassium nutrition on growth and cation content of potato leaves and tuber relative to plant analysis. *J Am Soc Hortic Sci* 94:356-359
- Vander P (1998) Comparison of the ability of partially N-acetylated chitosans and chitoooligosaccharides to elicit resistance reactions in wheat leaves. *Plant Physiol* 118:1353–1359
- VDLUFA (1997) *Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik : Methodenbuch ; Bd III: Die chemische Untersuchung von Futtermitteln : 4. Ergänzungslieferung*. Darmstadt : VDLUFA
- 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. *Biochem Biophys Res Commun* 110:194–199
- 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]
- Zellner M (2004) Zur Epidemiologie und Bekämpfung von *Phytophthora-Primärbefall* an Kartoffeln. *Mitt Biol Bundesanst Land- Forstwirtschaft* 396:189