



**LfL**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

## Neue Ansätze zur Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*) im ökologischen Kartoffelbau



**Schriftenreihe**

9

2015

ISSN 1611-4159

## **Impressum**

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)  
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan  
Internet: [www.LfL.bayern.de](http://www.LfL.bayern.de)

Redaktion: Institut für Pflanzenschutz  
Lange Point 10, 85354 Freising-Weihenstephan  
E-Mail: [Pflanzenschutz@LfL.bayern.de](mailto:Pflanzenschutz@LfL.bayern.de)  
Telefon: 08161 71-5651

1. Auflage: November 2015

Druck: ES-Druck, 85356 Freising-Tüntenhausen

Schutzgebühr: 10,00 Euro

© LfL



**Neue Ansätze zur Bekämpfung  
der Kraut- und Knollenfäule  
(*Phytophthora infestans*)  
im ökologischen Kartoffelbau**

Ergebnisse eines Forschungsprojekts im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer  
Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft

Förderkennzeichen 2809OE045

Jan Nechwatal, Michael Zellner



---

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>11</b>
1.1 Gegenstand des Vorhabens .....	11
1.2 Stand der Forschung .....	12
1.3 Konkrete Fragestellungen des Projekts .....	14
<b>2 Material und Methoden .....</b>	<b>15</b>
2.1 Versuche zur Knollenbeizung .....	15
2.1.1 Labor- und Phytotronversuche .....	16
2.1.2 Feldversuche.....	17
2.2 Versuche zu alternativen Blattbehandlungsmitteln.....	19
2.2.1 Labor- und Phytotronversuche .....	22
2.2.2 Feldversuche.....	23
2.3 Versuche zur Reduktion der Tochterknolleninfektion .....	25
2.3.1 Feldversuche.....	25
2.3.2 Ermittlung der Braunfäule-Infektionsrate .....	25
<b>3 Ergebnisse .....</b>	<b>27</b>
3.1 Versuche zur Knollenbeizung .....	27
3.1.1 Labor- und Phytotronversuche .....	27
3.1.2 Feldversuche.....	30
3.2 Versuche zu alternativen Blattbehandlungsmitteln.....	36
3.2.1 Labor- und Phytotronversuche .....	36
3.2.2 Feldversuche.....	40
3.3 Versuche zur Reduktion der Tochterknolleninfektion .....	46
3.3.1 Feldversuche.....	46
3.3.2 Ermittlung der Braunfäule-Infektionsrate .....	49
<b>4 Diskussion .....</b>	<b>49</b>
4.1 Knollenbeizung .....	50
4.1.1 Labor- und Phytotronversuche .....	50
4.1.2 Feldversuche.....	51
4.1.3 Ausblick .....	52
4.2 Blattbehandlung .....	53
4.2.1 Labor- und Phytotronversuche .....	53
4.2.2 Feldversuche.....	55
4.2.3 Ausblick .....	57

---

4.3	Reduktion der Tochterknolleninfektion .....	57
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>59</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>60</b>
	<b>Danksagung.....</b>	<b>64</b>

---

## Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1: Phytotron-Versuche: Hohe Luftfeuchte an den inokulierten Pflanzen wird durch übergestülpte Plastiktüten erreicht. ....	23
Abb. 2: Beizung - Lagerversuch: Mittlerer Knollenbefall (in %, relativ zur unbehandelten Kontrolle) nach künstlicher Inokulation, Beizung und 6-wöchiger Inkubation bei 15°C. Mittelwerte aus 6 Einzelversuchen mit je n = 10 oder 30 Knollen. ....	28
Abb. 3: Beizung – Lagerversuch: Braunfäulebefall bei wasserbehandelter Kontrolle (oben, 57% der Knollen) und mit Knöterich-Produkt behandelten Knollen (unten, 27%). Jeweils befallene Knollen rechts, gesunde Knollen links. ....	28
Abb. 4: Beizung - Pflanzversuch: Mittlere Anzahl gesund auswachsender Pflanzen (in %, relativ zur unbehandelten Kontrolle), 4-6 Wochen nach künstlicher Inokulation, Beizung und Auspflanzung der Knollen im Topf. Mittelwerte aus 6 Einzelversuchen mit je n = 10 Knollen. ....	29
Abb. 5: Beizung - Pflanzversuch: Mittlere Anzahl gesund auswachsender Pflanzen, 4-6 Wochen nach künstlicher Inokulation, Beizung und Auspflanzung der Knollen im Topf. Mittelwerte und Standardabweichung aus 6 Einzelversuchen mit je n = 10 Knollen. ....	30
Abb. 6: Beizversuch 2012, Standort Puch. Mittlerer Phytophthora-Blattbefall während der Vegetationsperiode (Sorte Agria). ....	31
Abb. 7: Beizversuch 2012, Standort Straß. Mittlerer Phytophthora-Blattbefall während der Vegetationsperiode (Sorte Agria). ....	31
Abb. 8: Beizversuch 2012, Standort Troisdorf, NRW. Mittlerer Phytophthora-Blattbefall während der Vegetationsperiode (Sorte Agria). ....	32
Abb. 9: Ausfallraten (relativ, Kontrolle = 100%) der Sorte Agria (gebeizt) an den Standorten Puch (oben) und Strass (unten) im Beizversuch 2014. ....	33
Abb. 10: Wetterdaten Standort Puch. Mittlere Tagestemperatur und Niederschlagssummen 2014, im Vergleich zum langjährigen Mittel. ....	34
Abb. 11: Beizversuch 2014, Standort Puch. Mittlerer Phytophthora-Blattbefall während der Vegetationsperiode (Sorte Agria). ....	35
Abb. 12: Beizversuch 2014, Standort Straß. Mittlerer Phytophthora-Blattbefall während der Vegetationsperiode (Sorte Agria). ....	35
Abb. 13: Einzelblattversuche, nach 6 Tagen Inkubation bei 18°C. Links: Cu-Blattdünger (0,1%), rechts: Kontrolle (mit Wasser behandelt). ....	37
Abb. 14: Phytotronversuch, Versuchsende: rechts Kontrolle, links Chitosan-behandelte Pflanze. ....	40
Abb. 15: Kleinparzellenversuch Freising 2014: Mittlerer Phytophthora-Blattbefall während der Vegetationsperiode (Sorte Agria). Mittelwerte aus 4 Kleinparzellen pro Versuchsglied mit je 6 Pflanzen. ....	41
Abb. 16: Feldversuch Puch 2012: Mittlerer Phytophthora-Blattbefall während der Vegetationsperiode (Sorte Ditta). Mittelwerte aus 4 Versuchspartellen je Versuchsglied. ....	42
Abb. 17: Feldversuch Olching 2012: Mittlerer Phytophthora-Blattbefall während der Vegetationsperiode (Sorte Nicola). Mittelwerte aus 4 Versuchspartellen je Versuchsglied. ....	42
Abb. 18: Feldversuch Puch 2012, Ertrag. Mittelwerte aus 4 Versuchspartellen je Versuchsglied, hochgerechnet auf Hektar. ....	43

---

Abb. 19: Feldversuch Olching 2012, Ertrag. Mittelwerte aus 4 Versuchspartzen je Versuchsglied, hochgerechnet auf Hektar.....	43
Abb. 20: Feldversuch Puch 2014: Mittlerer Phytophthora-Blattbefall während der Vegetationsperiode (Sorte Ditta). Mittelwerte aus 4 Versuchspartzen je Versuchsglied. ....	45
Abb. 21: Feldversuch Olching 2014: Mittlerer Phytophthora-Blattbefall während der Vegetationsperiode (Sorte Nicola). Mittelwerte aus 4 Versuchspartzen je Versuchsglied.....	45
Abb. 22: Feldversuch zur Reduktion der Tochterknolleninfektion Puch 2012: verbleibende Stängelreste nach Schlegeln und Abflammen (Juli 2012).....	46
Abb. 23: Feldversuch zur Reduktion der Tochterknolleninfektion Puch 2012. Relativer Ertrag (Kontrolle = 100% = 438 dt/ ha). VG 1: Kontrolle, VG 2: Schlegeln 25.7., VG 3: Schlegeln und Abflammen 25.7., VG 4: Schlegeln und Cuprozin Progress 25.7., VG 5: Cuprozin Progress spät 20.8., VG 6: spätes Abflammen 20.8. ....	47
Abb. 24: Feldversuch zur Reduktion der Tochterknolleninfektion Olching 2012. Relativer Ertrag (Kontrolle = 100% = 339 dt/ ha). VG 1: Kontrolle, VG 2: Schlegeln 25.7., VG 3: Schlegeln und Abflammen 25.7., VG 4: Schlegeln und Cuprozin Progress 25.7., VG 5: Cuprozin Progress spät 20.8., VG 6: spätes Abflammen 20.8. ....	47
Abb. 25: Feldversuch zur Reduktion der Tochterknolleninfektion Puch 2014. Relativer Ertrag (Kontrolle = 100% = 379 dt/ ha). VG 1: Kontrolle, VG 2: Schlegeln 12.8., VG 3: Schlegeln und Abflammen 12.8., VG 4: Schlegeln und Cuprozin Progress 12.8., VG 5: Cuprozin Progress spät 27.8., VG 6: spätes Abflammen 27.8. ....	48
Abb. 26: Feldversuch zur Reduktion der Tochterknolleninfektion Olching 2014. Relativer Ertrag (Kontrolle = 100% = 219 dt/ ha). VG 1: Kontrolle, VG 2: Schlegeln 12.8., VG 3: Schlegeln und Abflammen 12.8., VG 4: Schlegeln und Cuprozin Progress 12.8., VG 5: Cuprozin Progress spät 27.8., VG 6: spätes Abflammen 27.8. ....	48

---

## Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab. 1: Überblick über die in den Labor- und Gewächshausversuchen zu alternativen Beizungsmitteln eingesetzten Präparate und Produkte. ....	16
Tab. 2: Versuchsvarianten und Aufwandmengen der Beizversuche 2011-2014.....	18
Tab. 3: Überblick über die in den Versuchen zu alternativen Blattbehandlungsmitteln eingesetzten Präparate und Produkte. ....	20
Tab. 4: Ergebnisse der Blatttests im Labor mit 23 verschiedenen kupferfreien Alternativmitteln, angegeben als mittlere Befallshäufigkeit (% befallene Blätter) und mittlere Befallsstärke (befallene Blattfläche, Index 1-10). ....	38
Tab. 5: Ergebnisse der Pflanzentests im Phytotron mit 6 verschiedenen kupferfreien Alternativmitteln, angegeben als mittlere Zahl befallener Blätter und mittlere Befallsstärke in %. Mittelwerte aus 3 bis 11 Einzelversuchen mit je 3 oder 4 Pflanzen je Präparat. ....	39



# 1 Einleitung

## 1.1 Gegenstand des Vorhabens

Die Kraut- und Knollenfäule der Kartoffel, verursacht durch den Oomyceten *Phytophthora infestans*, ist nicht nur im ökologischen Landbau eine der weltweit wichtigsten und wirtschaftlich bedeutendsten Krankheiten der Kartoffel. Wenn keine Bekämpfungsmaßnahmen durchgeführt werden, können je nach Standort und Witterung die durch *Phytophthora infestans* verursachten Ertrags- und Qualitätseinbußen und damit verbunden die wirtschaftlichen Verluste für die kartoffelanbauenden Betriebe massiv sein. Im Durchschnitt der letzten Jahre (2001-2014) lag beispielsweise in Bayern die durch die Kraut- und Knollenfäule bedingten Ertragsverlust über alle Verwertungsrichtungen betrachtet bei 26% (Nechwatal et al., 2014). Trotz jahrzehntelanger Bemühungen ist es bislang nicht gelungen, eine ausreichend Krautfäule-tolerante Kartoffelsorte zu züchten, die gleichzeitig den hohen Anforderungen des Marktes für Speise- und Wirtschaftskartoffeln gerecht werden könnte. Auch und gerade im ökologischen Kartoffelanbau zählt eine effektive Krautfäule-Kontrolle somit zu den wichtigsten Pflanzenschutzmaßnahmen, jedoch stehen hierfür derzeit nur kupferhaltige Fungizide zur Verfügung.

Kupferhaltige Pflanzenschutzmittel werden seit über 100 Jahren gegen pilzliche Pflanzenkrankheiten angewendet, so auch gegen die Kraut- und Knollenfäule. Allerdings machen die Anreicherung von Kupfer im Boden, mögliche negative Auswirkungen auf Nicht-Ziel-Organismen und nicht zuletzt generelle Bedenken gegen den Kupfereinsatz im Öko-Anbau eine Reduktion der ausgebrachten Kupfermengen erforderlich (Wilbois et al., 2009). Bioanbau-Verbände haben bereits Beschränkungen hinsichtlich der auszubringenden Kupfermengen etabliert. Kupferhaltige Mittel sollen außerdem nur zum Einsatz kommen, wenn alle vorbeugenden Maßnahmen ausgeschöpft wurden. Kupferhaltige Pflanzenschutzmittel wurden durch die EU-Kommission in den Anhang I der Pflanzenschutzmittel-Richtlinie aufgenommen, zunächst jedoch befristet bis November 2016 und unter der Auflage, dass die Mitgliedsländer Maßnahmen zur Kupferreduzierung ergreifen. Im ökologischen Kartoffelanbau würde ein Kupferverbot derzeit den Anbau vielerorts in Frage stellen, so dass neben der Ausschöpfung anderer Reduktionsmöglichkeiten die Suche nach möglichen Ersatz- und Ergänzungstoffen weiterhin von großer Bedeutung ist (Anonymus, 2009; Kühne et al., 2013).

Der ökologische Landbau in Deutschland hat seit vielen Jahren den Einsatz von Kupferpräparaten immer weiter reduziert und die ausgebrachte Menge über maximal zulässige Applikationsmengen eingeschränkt (Wilbois et al., 2009; BÖLW, 2010; Kühne et al., 2013; Bangemann et al., 2014). Langfristiges, einvernehmliches Ziel ist es, die Kupferzufuhr dem jährlichen Entzug durch die Ernte anzunähern, so dass keine Anreicherung mehr erfolgt (Wilbois et al., 2009).

Ziel der im Rahmen dieses Projekts durchgeführten Untersuchungen war es, Methoden des Pflanzenbaus und des Pflanzenschutzes so weiterzuentwickeln, dass *Phytophthora*-Infektionen vermieden bzw. zeitlich stark hinausgezögert werden und so eine direkte Bekämpfung des Pathogens (mit Kupferfungiziden) in der Häufigkeit und dem Mitteleinsatz reduziert werden kann. Angesichts der angestrebten Reduzierung des Kupfereinsatzes im Ökolandbau und den damit verbundenen Auflagen für die EU-Mitgliedsländer könnte so die Grundlage dafür geschaffen werden, dass sich auch bei

weiter reduzierten Kupfermengen die Ertragsausfälle durch *Phytophthora*-Befall im Ökoanbau in ökonomisch akzeptablen Grenzen halten und die Wirtschaftlichkeit dieses Produktionszweiges für Ökobetriebe erhalten bleibt. Dies dient gleichzeitig auch dem Ziel, die Rahmenbedingungen für die Ausdehnung des ökologischen Landbaus dauerhaft zu verbessern, da der Kartoffelanbau in der ökologischen Landwirtschaft aufgrund seiner hohen Deckungsbeiträge besondere Bedeutung hat.

Ausgangspunkt des Projekts ist die Tatsache, dass *Phytophthora*-Infektionen bei Kartoffeln häufig von latent befallenem Pflanzgut ausgehen (z.B. Powelson et al., 2002; Zellner et al., 2011; Wharton et al., 2012). Durch die im Rahmen des Projekts erarbeiteten Maßnahmen sollte dieser Primärbefall ausgehend von infizierten Knollen reduziert und somit das Auftreten von Krautfäuleepidemien im Feld verringert bzw. verzögert werden. Außerdem sollte das Ausmaß der *Phytophthora*-Infektionen in den Tochterknollen (also dem Pflanzgut für die nächste Saison) verringert werden. Dies sollte einerseits über eine Knollenbeizung mit Kupfer bzw. Alternativmitteln und andererseits über eine Krautbehandlung mit kupferfreien Alternativmitteln bzw. geeignete Krautbehandlungs- oder -minderungsmethoden erreicht werden. Daraus ergab sich für die gesamte Zielsetzung ein gestuftes Vorgehen mit differenzierten Teilzielen in Richtung auf eine kupferreduzierte Behandlungsstrategie, welches zu drei verschiedenen Zeitpunkten im Verlauf der Produktion von Kartoffelpflanzgut ansetzt: 1. während der Lagerung (Herbst-Beizung), 2. beim Pflanzen (Frühjahrs-Beizung), 3. während der Vegetationsperiode (Blattbehandlung bzw. Krautminderung).

Zur Reduktion des Primärbefalls sollte das bereits etablierte System einer Pflanzgutbeizung mit geringen Kupfermengen auf den Einsatz alternativer Mittel ausgeweitet werden. Außerdem sollte zusätzlich zur Beizung bei der Pflanzung im Frühjahr eine Beizung des Pflanzgutes vor der Lagerung im Herbst in die Tests miteinbezogen werden. Im Rahmen des Projekts sollten ferner verfügbare Pflanzenstärkungsmittel oder sonstige für den ökologischen Anbau geeignete Mittel in Labor-, Gewächshaus- und Feldversuchen auf ihre Wirkung gegen *Phytophthora infestans* getestet werden, um mögliche Ersatz- oder Ergänzungsstoffe für Kupfer identifizieren zu können, die das Ausmaß des *Phytophthora*-Blattbefalls während der Saison verringern können. Hinsichtlich der Produktion von gesundem, nicht infiziertem Pflanzgut sollten zusätzlich Methoden erarbeitet werden, die das Auftreten von latentem Knollenbefall, der bei entsprechender Witterung der Ursprung für Primärbefall ist, reduzieren. Dies sollte über geeignete Krautreduktionsmaßnahmen während und am Ende der Vegetationsperiode erfolgen. Dadurch kann eine Reduktion der Tochterknolleninfektion erzielt und zusätzlich die Qualität und Lagerfähigkeit der Knollen deutlich erhöht werden.

## 1.2 Stand der Forschung

Befallenes Pflanzgut stellt eine der Hauptinfektionsquellen für die Krautfäule dar. Aufgrund verbesserter Lagertechnik gelangen gesund erscheinende, aber latent (nicht sichtbar) mit *Phytophthora* infizierte Knollen aufs Feld, die sonst bereits im Lager verfault wären. Molekularbiologische und andere Nachweisverfahren haben gezeigt, dass im Mittel 10% der Pflanzkartoffeln auf diese Weise infiziert sind (Powelson et al., 2002; Zellner et al., 2011). Im Schlag können sich aus solchen latent infizierten Knollen bei ausreichender Feuchtigkeit des Bodens und geeigneten Temperaturen Pflanzen mit primärem Stängelbefall entwickeln, wenn der Erreger am oder im Trieb nach oben wächst (Appel et al., 2001; Powelson et al., 2002; Johnson, 2010; Wharton et al.,

2012). Bei feuchter Witterung treten die ersten befallenen Stängel dann oft schon vor Reihenschluss auf. Sobald es zur Sporulation an diesen Pflanzen kommt, ist dies der Ausgangspunkt für sekundären Blattbefall und nachfolgende Epidemien, sei es auf dem selben Schlag oder – durch Windverfrachtung der Sporangien – auch auf benachbarten Feldern. Von infizierten Knollen kann zudem eine Krankheitsübertragung innerhalb des Damms auf benachbarte Pflanzen erfolgen – es kann also auch unterirdisch zu einer Weiterverbreitung kommen.

Der Befall des Ernte- und späteren Pflanzgutes erfolgt aller Wahrscheinlichkeit nach bereits während oder gegen Ende der Vegetationsperiode, wenn von befallenen Pflanzen mit dem Regen Sporen in den Damm gespült werden, wo sie die Tochterknollen infizieren können. Erhöhte Infektionsgefahr für die Knollen herrscht bei der Ernte, wenn Kartoffelkraut mit sporulierendem Pilzbefall, sporenhaltige Erde und die Knollen in intensiven Kontakt kommen, besonders wenn beim Roden zusätzlich die Knollenschale verletzt wird. Aber auch während der Lagerung können – je nach Lagerbedingungen – ausgehend von (latent) befallenen Knollen Sporen auf gesunde, nicht kontaminierte Knollen gelangen (Johnson & Cummings, 2009).

Der potentielle Nutzen von (konventionellen) Pflanzgutbeizungen gegen primäre (knollenbürtige) *Phytophthora*-Infektionen wurde bereits gezeigt (Inglis et al., 1999; Platt et al., 1999; Powelson & Inglis, 1999; Powelson et al., 2002, Caldiz et al., 2007). Beizungen wurden auch im ökologischen Anbau als Möglichkeit zur Verzögerung oder Reduktion des *Phytophthora*-Befalls in Erwägung gezogen (Bäßler et al., 2002; Keil & Zellner, 2009; Wharton et al., 2012; Kühne et al., 2013). Kupferpräparate, die als Beizung gegen Nassfäule-Befall im Kartoffelanbau zugelassen sind, haben sich als geeignet erwiesen, auch den *Phytophthora*-Primärbefall zu vermindern (Bäßler et al., 2002; Keil & Zellner, 2009). Im Gegensatz zu konventionellen, teilweise systemisch wirkenden Präparaten (Caldiz et al., 2007) basiert die Wirkung solcher Mittel mit reiner Kontaktwirkung dabei auf der direkten Wirkung gegen die auf der Knolle befindlichen Verbreitungseinheiten des Pilzes bzw. im umgebenden Bodenmilieu. So könnten zusätzlich auch gesunde Nachbarknollen geschützt werden. Ähnliches gilt für die Anwendung solcher Mittel bereits vor der Einlagerung, wo auf diese Weise die Ausbreitung des Pilzes auf gesunde Knollen innerhalb des Lagers verhindert werden könnte. Einzelne Arbeiten aus den USA deuten darauf hin, dass auch für den Öko-Anbau geeignete Präparate solche Wirkungen zeigen könnten (Wharton et al., 2012).

Auch als mögliche Blattbehandlungsmittel kommt Kupfer-Ersatzstoffen bei der Reduzierung von Kupfer-Anwendungen besondere Bedeutung zu. Da die Infektion des Ernte- und späteren Pflanzgutes in engem Zusammenhang steht mit dem Ausmaß des *Phytophthora*-Befalls während der Saison, tragen auch Blattbehandlungen, die den Befall reduzieren, zur Gesunderhaltung des Ernte- und Pflanzgutes bei. Die Kupfer-Ausbringungspraxis im ökologischen Anbau zielt vielfach auch auf diesen Aspekt ab, bei dem weniger die Gesunderhaltung des Krautes im Mittelpunkt steht, als vielmehr die Vermeidung von Braunfäule-Infektionen im Lager durch auf die Knollen gelangende Sporen. Daher kommt möglichen Alternativen zu Kupfer neben ihrer Rolle als Mittel zur Gesunderhaltung des Blattapparates der Kartoffelpflanzen während der Saison auch die Aufgabe zu, eine Infektion des Erntegutes so weit wie möglich zu minimieren. Sie sollen also im Idealfall nicht nur das Ausmaß des *Phytophthora*-Blattbefalls verringern, sondern auch die Menge der in den Boden eingewaschenen und auf die neuen Knollen getragenen Sporen. Als mögliche Austauschstoffe für Kupfer kommen v.a.

Pflanzenextrakte, antagonistische Mikroorganismen, mineralische Bestandteile und andere natürliche Substanzen in Frage. Einige dieser Produkte sollen dabei direkt gegen den Erreger wirken, andere indirekt über die Veränderung des Mikrohabitates auf dem Blatt, während wieder andere als Elicitoren fungieren können, die die Abwehrreaktionen der Pflanze anregen bzw. auslösen sollen. Zahlreiche Studien haben bereits diverse solche Präparate auf ihre Fähigkeit untersucht, *Phytophthora*-Infektionen in Kartoffel (und Tomate) sowie in zahlreichen anderen Kulturen zu verhindern bzw. zu reduzieren (z.B. Bowers & Locke, 2004; Stephan et al., 2005; Olyana & Larkin, 2006; Dorn et al., 2007; Lobato et al., 2008; Elliott et al., 2009; Forrer et al., 2010; Krebs et al., 2013). Diese Studien konnten in Labor- und/ oder Gewächshausversuchen Hinweise auf eine gewisse Wirkung einzelner Substanzen auf das Infektionsgeschehen erarbeiten, wobei Effekte, die denen des Kupferpräparates gleichkamen, nur selten erzielt wurden. Insbesondere Feldversuche konnten die Ergebnisse aus den Laborstudien in der Regel nicht bestätigen (z.B. Hadwiger & McBride, 2006; Dorn et al., 2007) bzw. wurden nicht durchgeführt (Stephan et al., 2005; Olyana & Larkin, 2006).

Da die Sporangien von *P. infestans*, nachdem sie von den befallenen Pflanzen abgetragen wurden, im Boden nur begrenzte Zeit vital sind (Sunseri et al., 2002), kann der Infektionsdruck auf die Knollen außerdem dadurch minimiert werden, dass zwischen dem vollständigen Absterben des Krautes (bzw. dem Zeitpunkt, ab dem keine neuen Sporen mehr gebildet werden) und der Rodung ein möglichst langer zeitlicher Abstand liegt, so dass die Gefahr, bei der Ernte lebensfähige Sporangien mit den Knollen in Kontakt zu bringen, reduziert wird. Gezielte Maßnahmen zur Reduktion des Krautes gegen Ende der Saison könnten also die vom befallenen Kraut ausgehende Gefahr stark verringern und so ebenfalls dazu beitragen, eine Tochterknolleninfektion zu verhindern.

### 1.3 Konkrete Fragestellungen des Projekts

Im Rahmen dieses Projekts wurden folgende Fragestellungen bearbeitet:

(1) Pflanzgutbeizung zur Reduktion des Primärbefalls: in Feld-, Gewächshaus- und Laborversuchen wurden verschiedene Behandlungen des Pflanzgutes mit Kupfer und alternativen Mitteln getestet, entweder nach der Pflanzguternte im Herbst oder vor der Pflanzung im Frühjahr. Dies sollte einerseits die Entstehung von primärem Stängelbefall und die Infektion von Nachbarknollen, andererseits die Etablierung des Erregers auf den Knollen im Lager verhindern.

(2) Krautbehandlung mit kupferfreien Alternativmitteln: als Teil einer Behandlungs- und Kupferminimierungsstrategie für den ökologischen Kartoffelanbau werden kupferfreie Alternativmittel zur Blattanwendung im Feld getestet. Als Ersatz für bzw. in Kombination mit Kupfer kann dies zu einer weiteren Reduktion des Kupfereinsatzes im ökologischen Kartoffelanbau beitragen. Diese Tests werden durch umfangreiche Laborversuche an einzelnen Blättern oder Pflanzen begleitet bzw. ergänzt.

(3) Reduktion der Tochterknolleninfektion: durch geeignete Maßnahmen (z.B. genau terminierte Krautbeseitigung oder Behandlung der Dämme vor der Ernte, um *Phytophthora*-Sporen abzutöten) soll eine Übertragung der Krankheit auf die Tochterknollen reduziert werden.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Versuche zur Knollenbeizung

Im Rahmen von Knollenbeizungsversuchen sollte die Möglichkeit untersucht werden, mithilfe von Pflanzknollenbehandlungen den Befall einer (latent) infizierten Knolle bzw. einer später auswachsenden Pflanze zu verhindern oder zu reduzieren, um so den von infizierten Knollen ausgehenden (primären) Befall im Kartoffelschlag zu minimieren. Hierzu mussten zunächst Methoden entwickelt werden, die es zulassen, den möglichen Erfolg einer solchen Beizung unter kontrollierten Bedingungen in Labor und Klimakammer zu beobachten, zu untersuchen und zu evaluieren. Diese Versuche sollten einerseits eine im Herbst, also vor der Einlagerung, stattfindende Beizung simulieren (Lagerversuch), andererseits eine im Frühjahr, also zum Zeitpunkt der Pflanzung, durchgeführte Behandlung (Pflanzversuch). Während also im ersten Versuch der Effekt einer Beizung auf die Lagerfähigkeit infizierter Knollen und die mögliche Ausbreitung des Erregers im Lager untersucht werden sollte, zielte der zweite auf die Wirkung einer Knollenbehandlung auf die auswachsende Pflanze, also den Auflauf ab. Als Beizmittel kamen neben dem in der Praxis bereits als Beizmittel eingesetzten Kupferpräparat solche Mittel zum Einsatz, die potentiell im Öko-Landbau eingesetzt werden könnten, also Produkte auf Basis von Pflanzenextrakten, mikrobiellen Antagonisten oder mineralischen Bestandteilen, bzw. sonstige geeignete Substanzen (siehe Tabelle 1). Viele der als Beizmittel getesteten Präparate sind parallel auch in den Tests zu alternativen Blattbehandlungsmitteln (siehe Kapitel 3.2) eingesetzt worden. Ähnlich wie bei den Blattversuchen wurden auch bei den Beizversuchen bevorzugt solche Mittel ausgewählt, die entweder bereits auf dem Markt erhältlich, bei kommerziellen Herstellern in Entwicklung befindlich oder relativ leicht zugänglich bzw. herstellbar sind, um hinsichtlich ihrer Einsetzbarkeit in der Praxis eine reelle Chance für einen tatsächlichen Einsatz zu wahren.

Für die Feldversuche kamen während des Projekts diejenigen Mittel zum Einsatz, auf die sich die Projektpartner zu Beginn der Arbeiten geeinigt hatten (*Bacillus*, Naphosphonat, Chitosan). Diese Auswahl wurde aus Gründen der Vergleichbarkeit ungeachtet neuer Erkenntnisse aus den Laborversuchen über die gesamte Projektlaufzeit beibehalten. Die Feldversuche sollten v.a. ermöglichen, die Auswirkungen einer Herbst- bzw. Frühjahrsbeizung auf den tatsächlichen Befallsverlauf unter Praxisbedingungen zu untersuchen.

Tab. 1: Überblick über die in den Labor- und Gewächshausversuchen zu alternativen Beizungsmitteln eingesetzten Präparate und Produkte.

Kategorie	Aktive Bestandteile, Wirkstoff, Name	Produktstatus	Anwendungskonzentration	Versuch <sup>1</sup>
Kontrolle	Wasser	n/a	n/a	L/P
	Kupferhydroxid (Cuprozin flüssig)	kommerziell	1,6%	L/P
	Curzate (konventionelle/ chem. Kontrolle)	kommerziell	0,025%	P
Mikroorganismen	<i>Aureobasidium pullulans</i> (BoniProtect forte)	kommerziell	1%	L/P
	<i>Pythium oligandrum</i> (Polyversum)	kommerziell	7%	L
	<i>Bacillus subtilis</i> (Serenade)	kommerziell	1%	L/P
Pflanzenextrakte	Knoblauch-Produkt (Konzentrat)	kommerziell	1%	L
	Knöterich-Produkt (Regalia/ Sakalia)	kommerziell	1%	L/P
	Süßholzextrakt	Testpräparat	5%	P
	Meerrettich/ Senf-Produkt (Tillecur)	kommerziell	20%	L/P
	Schachtelhalm-Präparat	Testpräparat	2%	P
	Pulver aus Sareptasenf-Pflanzen	nicht-kommerziell	20%	L
	Nelkenöl	kommerziell	1%	L/P
	Zitrus-Präparat	Testpräparat	0,8%	P
chem. Substanzen		kommerziell	2%	P
	Benzoe-Säure (Menno Florades)			
	Na-Phosphonat (= Phosphit)	Testpräparat	1%	L/P
	Chitosan (Chitoplant)	kommerziell	0,4%	L/P
sonstiges	Wasserbad 44°C	n/a	n/a	L/P

<sup>1</sup> eingesetzt im Lager- (L) bzw. Pflanzversuch (P).

## 2.1.1 Labor- und Phytotronversuche

### 2.1.1.1 Lagerversuch

Für die Lagerversuche wurden i.d.R. eingelagerte Knollen (5°C) aus dem jeweils aktuellen Erntematerial (Sorte Agria) verwendet. Die Knollen wurden gründlich verlesen, so dass nur unbeschädigte Knollen ohne Krankheitssymptome und von durchschnittlicher Größe zum Einsatz kamen. Kühl gelagerte Knollen wurden vor Versuchsbeginn auf Zimmertemperatur aufgewärmt. Die Knollen wurden gewaschen und nach Abtrocknung im Labor einheitlich künstlich inokuliert, indem sie kurz in eine Sporangien-

suspension (ca. 5 Sporangien/  $\mu\text{l}$ ) getaucht und anschließend in abgedeckten Kunststoffwannen unter hoher Luftfeuchtigkeit für 2 Tage bei Zimmertemperatur inkubiert wurden. Die Behandlung erfolgte dann nach erneuter Abtrocknung mit den in Tabelle 1 aufgeführten Präparaten bzw. Verfahren. Insgesamt wurden 11 alternative Behandlungen getestet, zusätzlich Kupfer und die unbehandelte Kontrolle (Wasser). Die Anwendungskonzentrationen der jeweiligen Präparate richteten sich nach den Angaben der Hersteller bzw. den in der Literatur angegebenen Daten und sind ebenfalls in Tabelle 1 angegeben. Die Knollen wurden dann bei  $4^{\circ}\text{C}$  („gute“ Lagerbedingungen) und  $15^{\circ}\text{C}$  („schlechte“ Lagerbedingungen) für ca. 10-12 Wochen in offenen Gefäßen (Kunststoff-Vorkeimkisten) im Dunklen gelagert, wobei sich alle Knollen einer Versuchsvariante gegenseitig berührten. Zu Versuchsende wurden das Ausmaß der Schädigung durch *Phytophthora*-Befall („Braunfäule“) je Knolle (in % betroffener Knollenoberfläche) sowie die Gesamtzahl befallener Knollen bonitiert. Der *Phytophthora*-Befall war aufgrund der festen Struktur des geschädigten, nekrotischen Gewebes leicht diagnostizierbar. Es wurden insgesamt 6 unabhängige Versuche durchgeführt, jeder Einzeltest bestand aus 10 (3 Versuche) bzw. 30 Knollen (3 Versuche) je getestetem Mittel.

#### 2.1.1.2 Pflanzversuch

Für den Pflanzversuch wurden die Knollen wie oben beschrieben verlesen, gewaschen und inokuliert. Auch die Behandlung erfolgte wie unter 3.1.1.1 angegeben, nach zwei Tagen Inkubation der inokulierten Knollen. Insgesamt wurden in dieser Versuchsreihe 12 alternative Mittel getestet (s. Tabelle 1). Zusätzlich zum Kupferpräparat und der unbehandelten Kontrolle wurde in dieser Versuchsreihe als „Positivkontrolle“ eine Behandlung mit einem chemisch-synthetischem Beizmittel integriert (Curzate M, Dupont, Wirkstoffe: Cymoxanil und Mancozeb). Anschließend wurden die Knollen bei  $15^{\circ}\text{C}$  gelagert. Wiederum 2-4 Tage später wurden die Knollen in diesem Versuch einzeln in Kunststofftöpfe (Volumen ca. 1 Liter) mit Einheitserde gepflanzt, die im Gewächshaus ( $20\text{-}25^{\circ}\text{C}$ ) aufgestellt und regelmäßig gewässert wurden. Die Bonitur erfolgte ca. 4-6 Wochen später, wobei je Topf ein Index für das Pflanzenwachstum vergeben wurde (0: keine Pflanze, 1: kleine, schwache Pflanze, 2: mittelgroße Pflanze, 3: große, kräftige Pflanze). Zusätzlich wurden eventuelle *Phytophthora*-Befallssymptome an den Pflanzen vermerkt. Eine Bonitur der Mutterknollen konnte hier nicht mehr stattfinden, da diese in vielen Fällen (unabhängig vom Beizmittel) von sekundären Fäuleerregern zersetzt worden war. Es wurden insgesamt 6 unabhängige Versuche durchgeführt, jeder Einzeltest bestand aus 10 Knollen je getestetem Mittel.

#### 2.1.2 Feldversuche

Im Herbst 2011 erfolgte erstmals die Beizung von Pflanzkartoffeln für die Pflanzung auf Versuchspartellen an zwei Standorten in Bayern im Frühjahr 2012. Die für die Pflanzung erforderlichen Mengen an Pflanzgut wurden verlesen und mit je einem von zwei Alternativmitteln bzw. Kupfer (Cuprozin flüssig) mittels ULV-Technik am Enteder gebeizt. Eingesetzt wurden das Na-Phosphonat-Testpräparat und das *Bacillus subtilis*-Testpräparat. Nach der Behandlung im November 2011 wurden die Knollen bis zur Pflanzung unter „guten“ Lagerbedingungen bei  $4^{\circ}\text{C}$  eingelagert. Im Frühjahr 2012 wurde eine entsprechende Beizung für die verbleibenden Versuchsglieder (Frühjahrsbeizung) durchgeführt. Hier wurden Kupfer, Phosphonat, *Bacillus* und Chitosan eingesetzt. Die Aufwandmengen für die Beizungen sind der Tabelle 2 zu entnehmen. Die Mengen für Chitosan, Na-Phosphonat und Serenade wurden in Absprache mit den je-

weiligen Herstellerfirmen festgelegt. Zusammen mit der ungebeizten Kontrolle ergaben sich so 8 Versuchsglieder, in jeweils 4 Wiederholungen. Der Beizversuch wurde parallel für einen Standort in Nordrhein-Westfalen auch von der LWK Nordrhein-Westfalen durchgeführt.

Tab. 2: *Versuchsvarianten und Aufwandmengen der Beizversuche 2011-2014*

Versuchsglied	Beizvariante	Wirkstoff	Aufwandmengen
1	Kontrolle	-	200 ml Wasser je dt
2	Cuprozin flüssig (Herbst)	Kupferhydroxid	400 ml/ha (16 ml/dt), 16 ml + 84 ml Wasser je dt
3	Na- Phosphonat (Herbst)	dto	40 ml + 160 ml Wasser je dt
4	Serenade (Herbst)	<i>Bacillus subtilis</i>	320 ml ohne Wasserzusatz je dt
5	Chitoplant (Frühjahr)	Chitosan	1 g in 200 ml Wasser je dt
6	Cuprozin flüssig (Frühjahr)	Kupferhydroxid	400 ml/ha (16 ml/dt), 16 ml + 84 ml Wasser je dt
7	Na- Phosphonat (Frühjahr)	dto	40 ml + 160 ml Wasser je dt
8	Serenade (Frühjahr)	<i>Bacillus subtilis</i>	320 ml ohne Wasserzusatz je dt

Die im Herbst 2011 bzw. im Frühjahr 2012 gebeizten Pflanzknollen wurden im April/Mai 2012 in 2 Feldversuchen in Bayern (Versuchsgüter Puch und Straß) ausgepflanzt. Die Versuche wurden gemäß einer etablierten Strategie (Keil et al., 2010) mit zwei Knollen pro Pflanzloch angelegt, wobei zusätzlich zur gebeizten Knolle (Sorte Agria, s.o.) eine künstlich infizierte Knolle (Sorte Gala bzw. Laura, da phänotypisch gut von Agria zu unterscheiden) gelegt wurde, um die Chancen für die Entstehung von Stängelbefall zu erhöhen. Diese Strategie wurde v.a. deshalb verfolgt, weil vorhergehende Analysen des Pflanzgutes gezeigt hatten, dass die Ausgangskontamination mit *Phytophthora* sehr gering war. Die Inokulation der Knollen erfolgte wie bei Keil et al. (2010) beschrieben, jeweils 3-4 Tage vor dem jeweiligen Legetermin. Die Anlage der Versuche erfolgte auf den Versuchsgütern der LfL in Puch (Landkreis Fürstentfeldbruck) und Straß (Landkreis Neuburg/ Donau) (Pflanztermin Puch: 09.05.2012, Auflauftermin Puch: 03.06.2012, Ernte: 17.09.2012; Pflanztermin Straß: 08.05.2012, Auflauftermin Straß: 01.06.2012, Ernte: 05.09.2012).

Die Beizversuche wurden in 4-facher Wiederholung mit 6-reihigen Parzellen (zwei Versuchs- und vier Randleihen) angelegt. Es wurden entweder eine Pflanzknolle (Agria, in den Randleihen) oder 2 Knollen pro Pflanzloch (Gala bzw. Laura infiziert + Agria gesund und gebeizt) gepflanzt. Es wurden Auflaufbonituren, wöchentliche Befallsbonituren, sowie Ernte- und Lagerbonituren auf *Phytophthora*-Befall durchgeführt. Die Krautfäule-Behandlung (Blatt) während der Saison erfolgte mit Kupfer in Ökopraxisüblichen Mengen und nach Berechnungen der Prognosemodelle mit Cuprozin progress.

Parallel wurde der Versuch 2012 am Standort Troisdorf in Nordrhein-Westfalen angelegt, wobei die Sorte Bintje verwendet wurde. Die Knollen wurden hier nicht künstlich infiziert, so dass nur eine Knolle pro Pflanzstelle ausgepflanzt wurde. Die Pflanzung erfolgte am 10.04.2012, Auflauftermin war 02.05.2012, die Ernte am 29.08.2012.

In den Versuchsjahren 2012/13 und 2013/14 wurden die Versuche in entsprechender Weise angelegt, wobei in allen Versuchsjahren an allen 4 Standorten dieselben Alternativmittel für Herbst- und Frühjahrsbeizung zum Einsatz kamen.

Termine 2013: Puch: Pflanztermin 26.05.2013, Auflauf 02.06.2013, 24.09.2013; Straß: Pflanztermin 26.04.2013, Auflauf 30.05.2013, Ernte 11.09.2013

Termine 2014: Puch: Pflanztermin 24.04.2014, Auflauf 02.06.2014, Ernte 17.09.2014; Straß: Pflanztermin 25.04.2014, Auflauf 05.06.2014, Ernte 10.09.2014.

In Nordrhein-Westfalen wurde der Versuch 2013 und 2014 ebenfalls mit zwei Knollen pro Pflanzloch (nach Keil et al., 2010) angelegt, wobei die Sorte Laura zuvor künstlich infiziert und die Sorte Bintje gebeizt wurde. Termine 2013: Pflanzung 15.04.2013, Auflauf 15.05.2013, Ernte 02.10.2013; Termine 2014: Pflanzung 03.04.2014, Auflauf 15.05.2014, Ernte 08.09.2014.

## 2.2 Versuche zu alternativen Blattbehandlungsmitteln

Im Rahmen eines dreistufigen Verfahrens, von Labor- über Phytotron- bis hin zu Feldversuchen wurden zahlreiche kommerzielle, nicht-kommerzielle sowie Versuchsprodukte für eine Blattbehandlung gegen *P. infestans* eingesetzt. Insgesamt wurden 23 verschiedene Mittel getestet (siehe Tabelle 3). Viele der hier eingesetzten oder getesteten Mittel sind bisher in ähnlichen Studien noch nicht intensiv auf ihre Wirkung gegen *Phytophthora* untersucht worden. Zumeist handelte es sich, wie oben erwähnt, um Präparate auf Basis von Pflanzenextrakten, mikrobiellen Antagonisten oder mineralischen Bestandteilen, sowie vereinzelt um andere, potentiell im Öko-Landbau einsetzbare Substanzen. Es wurden auch in diesen Versuchen bevorzugt solche Mittel ausgewählt, die entweder bereits auf dem Markt erhältlich, bei kommerziellen Herstellern in Entwicklung befindlich oder relativ leicht zugänglich bzw. herstellbar sind, um hinsichtlich ihrer Einsetzbarkeit in der Praxis eine reelle Chance für einen tatsächlichen Einsatz zu wahren. Die Auswahl an Mitteln beruhte dabei ebenfalls hauptsächlich auf Daten aus der einschlägigen Literatur, auf sonstigen Hinweisen aus Wissenschaft, Praxis und Beratung und auf eigenen Erfahrungen.

Tab. 3: Überblick über die in den Versuchen zu alternativen Blattbehandlungsmitteln eingesetzten Präparate und Produkte.

Kategorie	Aktiver Bestandteil, Wirkstoff, Name	Produktstatus	Konzentration	Konzentration	Konzentration	Konzentration	Aufwandmenge	Aufwandmenge
			Blattversuch (1. Reihe)	Blattversuch (2. Reihe)	Blattversuch, kurativ	Topfversuch		
Kontrolle	Wasser	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Kupfer	Kupferhydroxid (Cuprozin flüssig)	kommerziell	0,4%	-	0,4%	0,4%	2,0l	2,0 l/ 1,0 l
Mikroorganismen, Antagonisten	<i>Aureobasidium pullulans</i> (Boni-Protect)	kommerziell	0,1%	-	-	-	-	-
	<i>Aureobasidium pullulans</i> (Boni-Protect forte)	kommerziell	0,1%	-	-	-	-	-
	<i>Pythium oligandrum</i> (Polyversum)	kommerziell	0,1%	-	-	-	-	-
	<i>Bacillus subtilis</i> (Serenade)	kommerziell	1%	-	-	-	-	3,0 l
Pflanzenextrakte	Knoblauchextrakt	nicht-kommerziell	1%	-	-	-	-	-
	Knoblauch-Produkt (EnviRepel, gebrauchsfertig)	kommerziell	unverdünnt	-	-	-	-	-
	Knoblauch-Produkt (AMN BioVit, Konzentrat)	kommerziell	1%	4%	-	-	-	4,0 l
	Knöterich-Produkt (Regalia/ Sakalia)	kommerziell	0,25%	1%	1%	1%	4,0-6,0l	2,5 l
	Citrus-Produkt (ViCare)	kommerziell (verboten)	0,3%	-	-	-	-	1,2 l
	Süßholzextrakt	Testprodukt	5%	-	5%	5%	20,0-30,0l	-

	Koniferen-Rindenextrakt (Vie-Up)	kommerziell	25%	-	-	-	-	-
	(unbekannt) ‚I‘	Testprodukt	0,5%	-	-	-	-	-
	Schachtelhalmextrakt ‚F‘	Testprodukt	0,5%	2%	2%	2%	8,0-12,0l	-
	Citrusextrakt ‚B‘	Testprodukt	0,2%,	0,8%	0,8%	0,8%	3,2-4,8l	-
Mineralien, andere definierte Substanzen	‚Aktiviertes‘ Wasser + Zeolith/ Clioptilolith	kommerziell	1,6%	-	-	-	-	-
	Dolomit-Ton-Suspension	nicht- kommerziell	2%	-	-	-	-	-
	Dolomit-Ton-Suspension + 10% Calciumhydroxid	nicht- kommerziell	2%	-	-	-	-	-
	Dolomit-Ton-Suspension + 20% Calciumhydroxid	nicht- kommerziell	2%	-	-	-	-	-
	Na-Phosphonat	Testprodukt	1%	-	-	-	-	-
	Chitosan (Chitoplant)	kommerziell	0,1%	0,4%	0,4%	0,4%	1,6-2,4kg	-
	Silicat	Testprodukt	-	0,1%	-	-	-	-
	NaHCO <sub>3</sub> + Neemöl	kommerziell	0,25% + 0,5%	-	-	-	-	-
	Cu-Blattdünger (Sergomil)	kommerziell	-	0,1%	0,1%	-	0,4-0,6l	0,4 l
	Ca Mg (OH) <sub>2</sub>	nicht- kommerziell	0,5%	-	-	-	-	-

\* pro Anwendung und ha

## 2.2.1 Labor- und Phytotronversuche

### 2.2.1.1 Laborversuche an Einzelblättern

Am Anfang der Untersuchungen standen zunächst Laborversuche an Einzelblättern, um die potentiell wirksamsten Mittel für weitere Versuche auswählen zu können. Dabei wurden alle 23 Präparate aus Tabelle 3 auf ihre Wirksamkeit gegen *P. infestans*-Blattbefall getestet.

Für die Einzelblattversuche wurden einzelne, voll entwickelte Fiederblättchen (4-8 cm lang) von laufend frisch herangezogenen Gewächshauspflanzen (Sorte Agria) verwendet. Die Blätter wurden in Plastikboxen (20 x 20 x 6.5 cm, Carl Roth Nr. 4933.2) auf feuchtes Filterpapier gelegt (adaxiale Seite nach oben) und mit dem jeweiligen Mitteln bis zur vollständigen Benetzung besprüht (Glas-Laborsprüher). Die Blätter der Kontrollansätze wurden mit entsprechend mit Wasser behandelt. Die Boxen wurden nach der Behandlung mit geöffnetem Deckel im Laborabzug platziert. Nach ca. 2-3 Stunden, wenn die Blattoberfläche weitgehend abgetrocknet war, wurde die Inokulation durchgeführt. Hierzu wurde auf jedes Blatt eine Scheibe Wasseragar (5 mm Durchmesser) gesetzt, die dazu diente, den anschließend aufgebracht 50- $\mu$ l-Tropfen einer *P. infestans* Sporangiensuspension (ca. 5 Sporangien/  $\mu$ l) festzuhalten und so für gleichmäßige Infektionsbedingungen zu sorgen, selbst wenn die applizierten Präparate die Oberflächeneigenschaften des Blattes verändern sollten. Die Anwendungskonzentrationen der jeweiligen Präparate richteten sich nach den Angaben der Hersteller bzw. den in der Literatur angegebenen Daten und sind in Tabelle 3 angegeben. Jeder Einzeltest bestand aus 10-15 Blättern je getestetem Mittel. Die Blätter wurden dann bei 15°C für 6 Tage in geschlossenen Plastikboxen bei hoher Luftfeuchte inkubiert (10 h Licht, 14 h Dunkelheit). Die Symptomausprägung wurde als Zahl erfolgreich infizierter Blätter (Befallshäufigkeit) und Anteil befallener Blattfläche (Befallsstärke) bonitiert. Für die Bonitur der Befallsstärke kam ein von Lobato et al. (2008) beschriebene Index zum Einsatz: 1 = kein Befall; 2 = einzelne punktuelle Infektionen; 3 = <5% ; 4 = 5–10%; 5 = 11–25%; 6 = 26–50%; 7 = 51–75%; 8 = 76–85%; 9 = 86–95%; 10 = 96–100% der Blattfläche nekrotisiert. Es wurden mit jedem einzelnen Mittel mindestens 3 und bis zu 25 Einzelversuche in zwei großen Testreihen durchgeführt. Dabei wurde bei der 2. Testreihe die Konzentration einzelner Mittel gegenüber der ursprünglichen erhöht (s. Tabelle 3)

In einer weiteren Testreihe, in der die Inokulation der Blätter der Blattbehandlung vorausging, wurde ein potentieller "kurativer" Effekt ausgewählter Präparate getestet, während in den zuvor beschriebenen Versuchen die Blätter nach der Behandlung inokuliert worden waren. Es sollte untersucht werden, inwieweit auch sich bereits auf dem Blatt befindliche, bzw. gerade ins Blatt eindringende Sporen von *P. infestans* mit den Mitteln bekämpft werden können. Hierzu wurden die im Gewächshaus gesammelten, unbehandelten Blätter zunächst wie oben beschrieben inokuliert. Nach 6 h bei 20°C (wobei davon ausgegangen wurde, dass nach dieser Zeit bereits erste Infektionen der Blattoberfläche erfolgt waren, d.h. erste Keimschläuche die Blattoberfläche durchdrungen haben) wurden die Agarscheiben entfernt und die Blätter mit den jeweiligen Mitteln (siehe Tabelle 3) behandelt (siehe oben). Inkubation und Auswertung erfolgten ebenfalls wie oben beschrieben. In dieser Testreihe wurden mit jedem Mittel 7 Einzelversuche mit je 10-14 Blättern durchgeführt.

### 2.2.1.2 Phytotronversuche an ganzen Pflanzen

Diejenigen Produkte, die sich in den zuvor beschriebenen Blattversuchen als besonders wirksam erwiesen hatten, wurden anschließend an ganzen, getopften Kartoffelpflanzen getestet. Kartoffelpflanzen (Sorte Agria) wurden in Einheitsrede im Gewächshaus für einige Wochen in Töpfen herangezogen. Gut entwickelte Pflanzen (ca. BBCH 25-29) wurden in die Klimakammer (Phytotron) verbracht und dort vollständig mit dem jeweiligen Präparat besprüht, bis zur einheitlichen Benetzung der Blattoberfläche (ca. 5-10 ml pro Pflanze). Kontrollpflanzen wurden mit Wasser behandelt. Die Inokulation erfolgte nach einigen Stunden, wenn die Blätter weitgehend abgetrocknet waren mit einer Sporangiensuspension (ca. 5 Sporangien/  $\mu\text{l}$ ), mittels Laborsprühflasche. Auf jede Pflanze wurden ca. 1,5-2 ml Suspension direkt von oben aufgesprüht. Unmittelbar nach der Inokulation wurde eine ausreichend große, transparente PE-Tüte über jede Pflanze gestülpt, um die für eine erfolgreiche Infektion nötige Luftfeuchtigkeit zu erzeugen (Abb. 1). Nach 24-36 Stunden wurden diese Tüten wieder entfernt, da sonst durch die entstehende Feuchtigkeit Blattschäden entstanden wären. Nach 7 Tagen (21°C, 14h Licht) wurde die Zahl der infizierten Blätter (n) sowie der Prozentsatz infizierter Blattmasse pro Pflanze (%) festgehalten. Jedes Präparat wurde in 3-11 Einzelversuchen getestet, wobei jeder Einzelversuch aus 3 oder 4 Pflanzen pro Mittel bestand.



Abb. 1: *Phytotron-Versuche: Hohe Luftfeuchte an den inokulierten Pflanzen wird durch übergestülpte Plastiktüten erreicht.*

## 2.2.2 Feldversuche

### 2.2.2.1 Kleinparzellenversuch

Im Versuchsjahr 2014 wurde am Standort Freising auf Versuchsfeldern der LfL ein Kleinparzellenversuch mit 6 vielversprechenden Präparaten (und Kontrolle und Kupfer, siehe Tabelle 3) als randomisierte vollständige Blockanlage durchgeführt. Jede Kleinparzelle bestand aus 6 Pflanzen (je 3 in 2 Reihen), Sorte Agria, gepflanzt am 5. Mai 2014,

wobei innerhalb der Reihen zwischen den Parzellen je eine Pflanzposition freigelassen wurde. Ab dem Zeitpunkt des Auflaufens ca. 4 Wochen später wurden wöchentliche Befallsbonituren auf *Phytophthora*-Befall durchgeführt, und der Befall wurde in Prozent befallene Blattmasse pro Pflanze bonitiert. Ab Ende Juni wurden Behandlungen gegen *Phytophthora* durchgeführt. Die Präparate wurden mittels Handsprühflaschen in den in der Tabelle angegebenen Aufwandmengen aufgebracht. Die Anwendungsintervalle lagen zwischen 6 und 12 Tagen, je nach Befallsdruck. Insgesamt wurden zwischen 26. Juni und 6. August 6 Behandlungen durchgeführt. Die Wassermengen stiegen dabei von ca. 400 l/ha bei noch kleineren Pflanzen auf etwa 600-700 l/ha für ausgewachsene Pflanzen, um eine möglichst vollständige Benetzung der Blattoorgane zu erzielen.

#### 2.2.2.2 Standard-Feldversuche

Feldversuche zu alternativen Blattbehandlungsmitteln wurden 2012, 2013 und 2014 an zwei Standorten in Bayern als randomisierte vollständige Blockanlage mit 6 bzw. 8 Versuchsgliedern und 4 Wiederholungen durchgeführt. Ein Versuchsstandort lag auf den Flächen des Versuchsgutes Puch (FFB, 48.188565, 11.210106), der andere auf einer Fläche des Öko-Betriebes Huber (FFB, Olching, 48.199741, 11.341705). Die Parzellengröße betrug je nach Standort und Versuchsjahr ca. 20-30 qm, mit 6 bzw. 4 Reihen. In Puch wurde die Sorte Ditta gepflanzt, in Olching die Sorte Nicola. Es wurden unterschiedliche Alternativmittel getestet (Tabelle 3), wobei an den beiden Standorten jeweils dieselben Mittel getestet wurden.

**2012** kamen neben der unbehandelten Kontrolle und dem Kupfer-Präparat (Cuprozin Progress) in maximaler Aufwandmenge (500g Cu/ ha je Ausbringung bei 6 Anwendungen) Chitosan (0,1%), Zitrusextrakt ‚V‘, das Bacillus-Produkt sowie eine alternierende (abwechselnde) Anwendung von Chitosan und Kupfer zum Einsatz. Pflanztermin Puch: 27.04.2012, Auflauftermin Puch: 28.05.2012, Spritzbeginn Puch: 12.06.2012, Behandlungsende Puch: 30.07.2012, Ernte Puch: 17.09.2012; Pflanztermin Olching: Anfang April, Auflauftermin Olching: Mitte Mai, Spritzbeginn Olching: 12.06.2012, Behandlungsende Olching: 30.07.2012, Ernte Olching: 07.09.2012.

**2013** wurde neben Kontrolle und der maximalen Kupferaufwandmenge eine reduzierte Kupferaufwandmenge (250g/ ha), eine Tankmischung aus Knöterich-Präparat und Kupfer (250g/ ha), das Knöterich-Präparat alleine sowie ein Knoblauch-Produkt getestet. Pflanztermin Puch: 27.04.2013, Auflauftermin Puch: 04.06.2013, Spritzbeginn Puch: 21.06.2013, Behandlungsende Puch: 14.08.2013, Ernte Puch 24.09.2013; Pflanztermin Olching: 30.04.2013, Auflauftermin Olching: 05.06.2013, Spritzbeginn Olching: 21.06.2013, Behandlungsende Olching: 14.08.2013, Ernte Olching: 01.10.2013.

**2014** wurden die Feldversuche auf 8 Versuchsglieder erweitert. Es kamen neben der unbehandelten Kontrolle Chitosan in erhöhter Aufwandmenge (0,4%), Zitrusextrakt ‚B‘, volle und reduzierte Kupfer-Aufwandmenge, Kupfer-Blattdünger in zwei Konzentrationen (0,1 und 0,05%) und eine Tankmischung aus Chitosan und reduzierter Kupfer-Aufwandmenge zum Einsatz. Pflanztermin Puch: 24.04.2014, Auflauftermin Puch: 05.06.2014, Spritzbeginn Puch: 25.06.2014, Behandlungsende Puch: 30.07.2014, Ernte Puch: 17.09.2014; Pflanztermin Olching: 31.03.2014, Auflauftermin Olching: 05.05.2014, Spritzbeginn Olching: 12.06.2014, Behandlungsende Olching: 31.07.2014, Ernte Olching: 15.09.2014.

Der Spritzbeginn richtete sich nach dem Öko-Simphyt Prognosemodell, behandelt wurde in Abhängigkeit vom Befallsdruck in ca. wöchentlichem Abstand (6-12 Tage), im Falle der Kupfer 500g-Variante bis zur maximal zulässigen Kupfermenge (3 kg/ ha). Die Ausbringung erfolgte mittels Rückenspritze, die Wassermenge entsprach jeweils etwa der praxisüblichen Menge von ca. 400 l/ha.

## 2.3 Versuche zur Reduktion der Tochterknolleninfektion

### 2.3.1 Feldversuche

Zur Ermittlung des Einflusses von bestimmten ackerbaulichen Methoden auf den (latenten) *Phytophthora*-Befall von geernteten Kartoffelknollen wurden Feldversuche durchgeführt. Hierbei sollte insbesondere der Einfluss von gezielten Maßnahmen zur Reduktion des Krautes bzw. zur Sporenabtötung gegen Ende der Saison untersucht werden. Die Feldversuche zur Reduktion der Tochterknolleninfektion wurden 2012, 2013 und 2014 an zwei Standorten in Bayern (Puch und Olching) als randomisierte vollständige Blockanlage mit 6 Versuchsgliedern und 4 Wiederholungen angelegt. Gelegt wurde die Sorte Nicola (Olching), bzw. Ditta (Puch). Die Krautfäule-Behandlung (Blatt) während der Saison erfolgte mit Kupfer in Öko-Praxis-üblichen Mengen und nach Berechnungen der Prognosemodelle mit Cuprozin progress.

Der Versuch **2012** wurde in Puch am 27. April gelegt (Auflauf 28.05.), in Olching Anfang April (Auflauf Mitte Mai). Während der Vegetationsperiode 2012 wurden folgende Maßnahmen zur Reduktion der Sporenverfrachtung auf die Tochterknollen bzw. zur Sporenabtötung durchgeführt: Schlegeln (Anbau-Krautschläger) (25.7.), Schlegeln und Abflammen (tragbares gasbetriebenes Abflammgerät) (25.7.), Schlegeln und Cuprozin Progress (25.7.), Cuprozin ‚spät‘ (20.8.), ‚spätes‘ Abflammen (20.8.). Die Ernte erfolgte in Puch am 17.09.2012, in Olching am 07.09.2012.

Während der Vegetationsperiode **2013** wurden aufgrund des ausbleibenden Krautfäulebefalls keine Maßnahmen zur Reduktion der Sporenverfrachtung auf die Tochterknollen bzw. zur Sporenabtötung durchgeführt. Entsprechend wurden auch keine Ertragsdaten erhoben, bzw. keine Proben für die Laboranalysen (Kap. 3.3.2) gezogen.

Der Versuch **2014** wurde in Puch am 24. April gelegt (Auflauf 05.06.), in Olching am 31. März (Auflauf 05.05.). Während der Vegetationsperiode 2014 wurden folgende Maßnahmen zur Reduktion der Sporenverfrachtung auf die Tochterknollen bzw. zur Sporenabtötung durchgeführt: Schlegeln (Anbau-Krautschläger) (12.8.), Schlegeln und Abflammen (tragbares gasbetriebenes Abflammgerät) (12.8.), Schlegeln und Cuprozin Progress (12.8.), Cuprozin ‚spät‘ (27.8.), ‚spätes‘ Abflammen (27.8.). Die Ernte erfolgte in Puch am 17.09., in Olching am 15.09.2014.

### 2.3.2 Ermittlung der Braunfäule-Infektionsrate

Die latente *Phytophthora*-Infektionsrate der aus dem Versuch „Reduktion der Tochterknolleninfektion“ (Kap. 3.3.1) stammenden Knollen (Erntegut) wurde im Versuchsjahr 2012 gemäß etablierter Methoden mittels PCR-Methodik analysiert (vgl. Zellner *et al.* 2011).

Von jedem Versuchsglied wurden 30 zufällig dem Erntegut entnommene Knollen untersucht. Knollen mit äußerlich sichtbaren Fäulnissymptomen oder anderen offensichtlichen Schädigungen wurden nicht verwendet. Auf diese Weise sollte sichergestellt werden, dass

nur Knollen analysiert werden, die tatsächlich latent mit *Phytophthora* infiziert sind. Die Knollen wurden vor der Analyse gründlich mit einer Bürste unter fließendem Wasser gewaschen und anschließend mittels einer Edelstahl-Reibe zerkleinert und aufgeschlossen. Die Reibe wurde nach jeder Knolle gründlich mit Spülmittel unter fließendem Wasser gewaschen und mit 70%igem Ethanol nachgereinigt.

Etwa 150 mg des entstandenen Knollenbreis wurden in ein Eppendorf-Reaktionsgefäß (2,0 ml) überführt und bis zur DNA-Extraktion bei -20°C eingefroren. Die Extraktion erfolgte mittels DNeasy Plant Mini Kit (Qiagen GmbH, Hilden), gemäß den Angaben des Herstellers. Die DNA-Lösungen wurden bis zur PCR-Analyse bei -20°C gelagert. Die PCR-Detektion von *P. infestans* erfolgte mit den von Lees et al. (2012) beschriebenen spezifischen Primern PinfTQF (5'-AAC CCA ATA GTT GGG GGT CTT AC-3') und PinfTQR (5'-TCG TCC CCA CAG TAT AAT CAG TAT TAA-3'), die für *P. infestans* ein diagnostisches 167 bp-Amplikon ergeben. Der 25 µl PCR-Reaktionsansatz enthielt je 1 µl Template-DNA, 1x PCR Puffer (PeqLab), je 0,4 µM von beiden Primern, je 200 µM dNTP-Mix (dATP, dGTP, dTTP, dCTP), 1,5 mM MgCl<sub>2</sub> und 1 Unit HotStarTaq (PeqLab). Ein Reaktionsansatz enthielt zur Kontrolle der Reinheit der Reagenzien und der Pipetten keine Template-DNA, ein Ansatz enthielt Rein-DNA aus *P. infestans* (Positivkontrolle). Die PCR-Reaktion wurde bei folgenden Bedingungen in einem Eppendorf Master-Cycler Gradient durchgeführt:

Taq-Aktivierung und Denaturierung 2 min bei 95°C, gefolgt von 35 Zyklen Denaturierung 20s bei 95°C, Primer-Annealing 25s bei 55°C und Elongation 1 min bei 72°C, sowie einer abschließenden Elongation für 5 min bei 72°C.

Zehn µl des Amplifikates wurden mit 4µl Bromphenolblau zur Überprüfung der erfolgreichen Amplifizierung und der Größe des entstandenen PCR-Produktes auf ein 1,5%iges Agarose-Gel, versetzt mit Ethidium-Bromid, aufgetragen und nach Elektrophorese (1h, 80V) in 1x TBE-Puffer im UV-Licht sichtbar gemacht.

Im Versuchsjahr 2013 wurde aufgrund des ausbleibenden *Phytophthora*-Befalls keine Untersuchung auf latenten Knollenbefall durchgeführt. Im Versuchsjahr 2014 wurde lediglich eine visuelle Bonitur des Erntegutes aus dem Versuch „Reduktion der Tochterknolleninfektion“ auf Braunfäulebefall durchgeführt. Diese erfolgte an einer Teilprobe von 50 zufällig ausgelesenen Knollen je Versuchsglied nach einer 3-monatigen Lagerung bei 15°C, d.h. unter „schlechten“ Lagerbedingungen. Die Knollen wurde zur Bonitur in zwei Ebenen mit einem Messer halbiert, um auch im Inneren liegenden Braunfäulebefall bonitieren zu können.

Auf die oben beschriebene Weise wurden auch die in den 3 Versuchsjahren an den beiden Standorten in Bayern und in Nordrhein-Westfalen ausgepflanzten Knollen mittels PCR auf möglichen latenten *Phytophthora*-Befall untersucht.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Versuche zur Knollenbeizung

#### 3.1.1 Labor- und Phytotronversuche

##### 3.1.1.1 Lagerversuch

In diesen Laborversuchen wurden die in Tabelle 1 genannten Mittel in kontrollierten Lagerversuchen als Beizmittel an ausgesuchten, gesunden, gewaschenen Knollen eingesetzt. Um die Wirkung der Präparate auf latent infizierte Knollen untersuchen zu können, wurden die Knollen vorher einheitlich künstlich mit *P. infestans* inokuliert und anschließend mit den alternativen Beizmitteln bzw. Kupfer behandelt. Eine weitere Variante bestand in einer Warmwasserbehandlung der infizierten Knollen. Es wurden gute (5°C) und schlechte (15°C) Lagerbedingungen getestet. Der Versuch wurde in insgesamt 6 zeitversetzten Wiederholungen mit jeweils 10 bzw. 30 Knollen pro Testpräparat angesetzt. Die Auswertung der Versuchsansätze nach 6 Wochen zeigte zunächst, dass die Knollen (behandelte und unbehandelte) unter guten Lagerbedingungen (5°C) trotz massiver künstlicher Inokulation keine Symptome zeigten, und somit als latent infiziert gelten können. Dies zeigt einerseits die Problematik, die solche symptomlosen, aber Erreger-tragenden Knollen mit sich bringen können, andererseits wurde somit deutlich, dass die angewandte Methodik grundsätzlich geeignet war, alternative Mittel zur Beizung im Lager zu testen. Die bei 5°C gelagerten Knollen konnten jedoch nicht bonitiert und so hinsichtlich der Testung von Beizmitteln nicht ausgewertet werden.

Unter schlechten Lagerbedingungen bei 15°C zeigte sich nach 6-wöchiger Lagerung aufgrund der notwendigen künstlichen Infektion der Knollen ein hohes Maß an Braunfäule, sowie eine insgesamt schlechte kurative Wirkung der getesteten Präparate, inklusive Kupfer. Einige Behandlungen konnten den Knollenbefall dennoch zu einem gewissen Grad reduzieren. Insbesondere waren dies das Meerrettich/Senf-Extrakt (Tillecur), Nelkenöl, Phosphonat, Chitosan und das Knöterich-Präparat Regalia. Diese Behandlungen hatten sowohl den mittleren Befall der Knollen deutlich reduziert (Abb. 2), als auch die Gesamtzahl der befallenen Knollen (z.B. Abb. 3). Während das Senf-Präparat dabei eine Reduktion um etwa 60% erzielte, konnten die übrigen Präparate nur eine Befallsreduktion von etwa 20-30% bewirken. Statistisch absicherbare Unterschiede konnten aufgrund der zu geringen Probenzahlen nicht festgestellt werden.

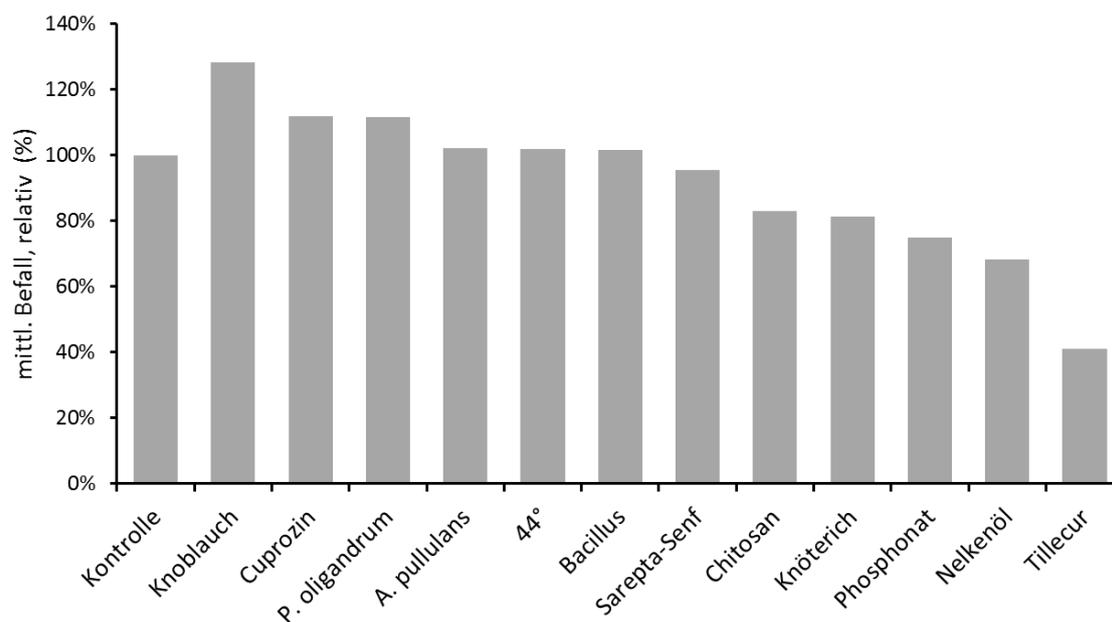


Abb. 2: *Beizung - Lagerversuch: Mittlerer Knollenbefall (in %, relativ zur unbehandelten Kontrolle) nach künstlicher Inokulation, Beizung und 6-wöchiger Inkubation bei 15°C. Mittelwerte aus 6 Einzelversuchen mit je n = 10 oder 30 Knollen.*



Abb. 3: *Beizung – Lagerversuch: Braunfäulebefall bei wasserbehandelter Kontrolle (oben, 57% der Knollen) und mit Knöterich-Produkt behandelten Knollen (unten, 27%). Jeweils befallene Knollen rechts, gesunde Knollen links.*

### 3.1.1.2 Pflanzversuch

Während die oben beschriebenen Versuche eher auf die längere Lagerung latent infizierter Kartoffelknollen abzielten (also entsprechend einer Pflanzgut-Beizung im Herbst), wurde in diesen Versuchen der Effekt einer Beizung auf infizierte Pflanzknollen kurz vor der Pflanzung untersucht (entsprechend einer Beizung im Frühjahr). Hierzu wurden die zuvor künstlich infizierten Knollen wenige Tage nach der Beizbehandlung einzeln getopft, um die Entwicklung der wachsenden Pflanzen untersuchen zu können.

Der Versuch wurde in insgesamt 6 zeitversetzten Wiederholungen mit jeweils 10 Knollen pro Testpräparat im Gewächshaus (20-25°C) angesetzt. Insgesamt zeigte sich aufgrund der notwendigen künstlichen Infektion der Knollen wiederum eine insgesamt eher schlechte kurative Wirkung der getesteten Präparate, inklusive Kupfer (Abb. 4 und 5), und hohe Ausfallraten. Die gute Wirkung des konventionell-synthetischen Präparates Curzate und das schlechte Abschneiden der Kontrollpflanzen zeigte jedoch die grundsätzlich Eignung auch dieses Tests für die Untersuchung alternativer Mittel zur Knollenbeizung. Anders als im oben beschriebenen Test waren hier praktisch alle eingesetzten Mittel in der Lage, verbesserte Auflafraten zu erzielen. Eine Ausnahme stellte hierbei das Senf-/ Meerrettich-Produkt Tillecur dar, bei dem in allen Versuchsansätzen nahezu alle Knollen in der Erde abgestorben waren. Nur wenige der Mittel, insbesondere Phosphonat, *A. pullulans* (Boniprotect) und Chitosan, konnten deutlich verbesserte Auflafraten erzeugen (Abb. 4 und 5). Da wegen der großen Zahl der Mittel und dem hohen Aufwand nur mit relativ geringen Knollenzahlen gearbeitet werden konnte, ergaben sich auch bei diesen Versuchen keine statistisch absicherbaren Unterschiede zwischen den Varianten. *Phytophthora*-Befallssymptome (wie z.B. Stängelbefall) konnten an keiner der auswachsenden Pflanzen beobachtet werden.

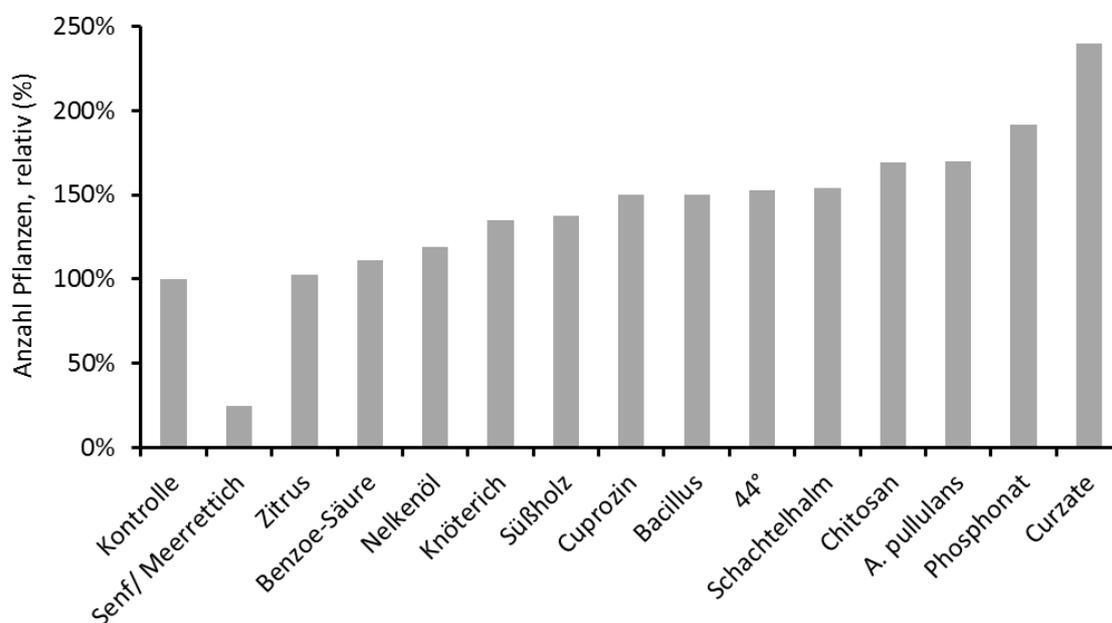


Abb. 4: Beizung - Pflanzversuch: Mittlere Anzahl gesund auswachsender Pflanzen (in %, relativ zur unbehandelten Kontrolle), 4-6 Wochen nach künstlicher Inokulation, Beizung und Auspflanzung der Knollen im Topf. Mittelwerte aus 6 Einzelversuchen mit je  $n = 10$  Knollen.

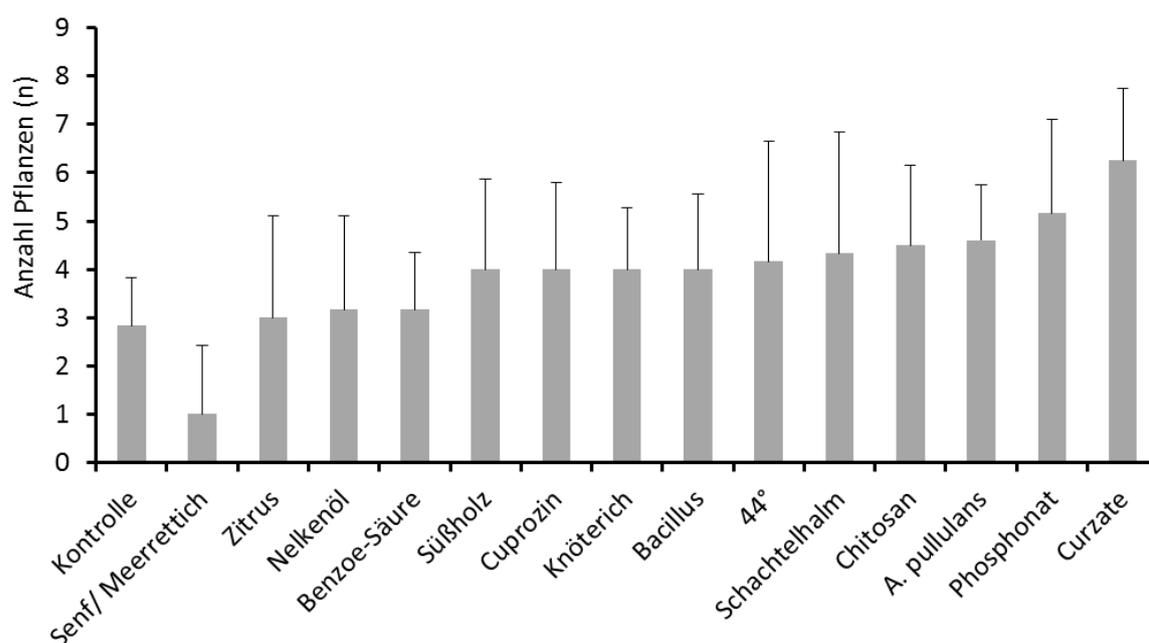


Abb. 5: *Beizung - Pflanzversuch: Mittlere Anzahl gesund auswachsender Pflanzen, 4-6 Wochen nach künstlicher Inokulation, Beizung und Auspflanzung der Knollen im Topf. Mittelwerte und Standardabweichung aus 6 Einzelversuchen mit je n = 10 Knollen.*

### 3.1.2 Feldversuche

#### 3.1.2.1 Versuche 2012

Die Auflaufbonituren ergaben unabhängig von der Behandlung nur geringe Ausfallraten an beiden bayerischen Standorten. Nur zwischen 0 und 9 % der Pflanzen beider Sorten waren unabhängig von der Beizung durchschnittlich nicht aufgelaufen. Dabei waren tendenziell immer etwas mehr Pflanzen der infizierten Sorte Gala bzw. Laura ausgefallen, was auf eine erfolgreich verlaufene künstliche Infektion mit *P. infestans* schließen lässt (Agria 0-2,8%; Gala/ Laura 2,5-8,8%). Im Folgenden sind nur die (Blatt-) Befallsdaten der gebeizten Sorte Agria angegeben.

Da 2012 an den bayerischen Standorten witterungsbedingt kaum primärer Stängelbefall auftrat, der außerdem vom später einsetzenden Blattbefall überlagert wurde, ließ sich ein direkter Effekt der Beizung auf den primären Befall nicht unmittelbar zeigen. Allerdings war zu beobachten, dass die Beizungen Auswirkungen auf den Blattbefall im Verlauf der Saison 2012 zu haben schienen. In Puch betrug die Befallsreduktion aller Beizungsvarianten im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle im Mittel etwa 15-20% (Abb. 6); in Straß wies die Variante ‚Kupfer Frühjahr‘ eine Befallsreduktion von etwa 20-25% , die Variante ‚Phosphonat (= Phosphit) Herbst‘ von etwa 20% auf (Abb. 7).

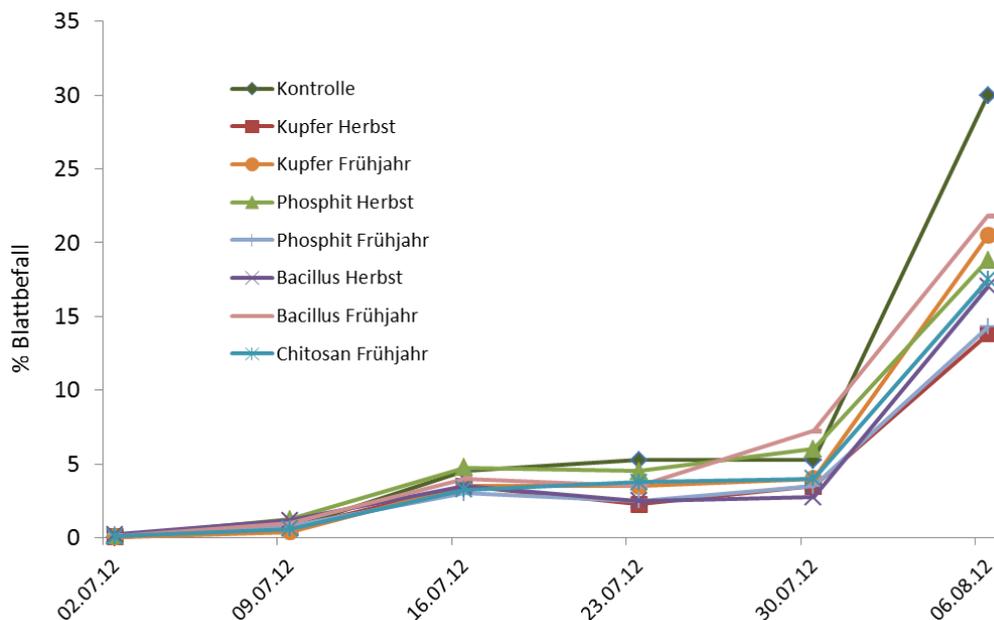


Abb. 6: Beizversuch 2012, Standort Puch. Mittlerer Phytophthora-Blattbefall während der Vegetationsperiode (Sorte Agria).

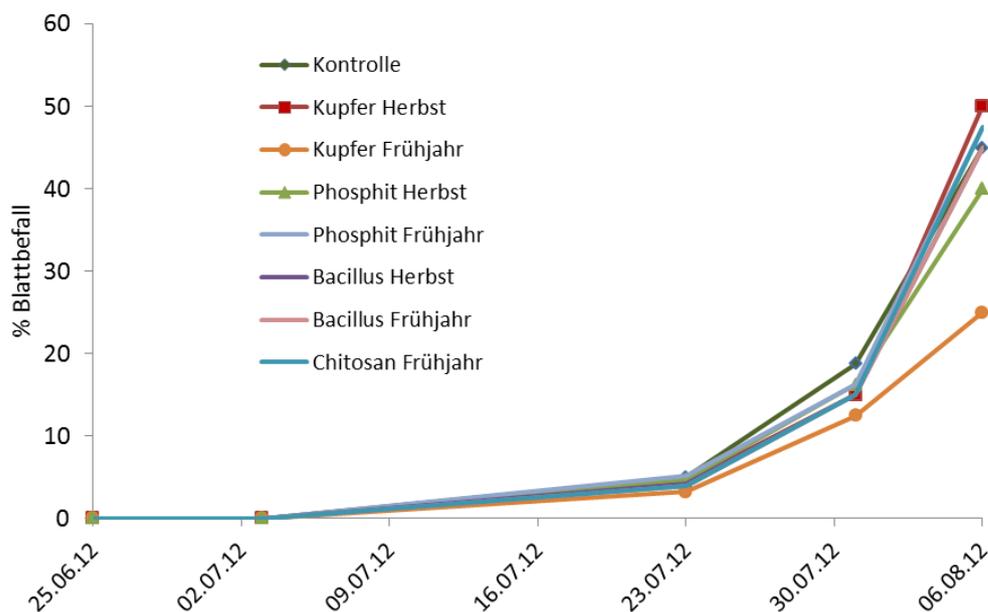


Abb. 7: Beizversuch 2012, Standort Straß. Mittlerer Phytophthora-Blattbefall während der Vegetationsperiode (Sorte Agria).

Der Effekt der Beizungen auf den Blattbefall schlug sich am Standort Puch in einer tendenziell erhöhten Ertragsleistung der gebeizten Varianten nieder, die jedoch nicht statistisch absicherbar war. Am Standort Straß war ein signifikant positiver Ertragseffekt der Frühjahrs-Kupferbeizung nachweisbar.

Bei dem parallel in Nordrhein-Westfalen von der LWK angelegten Versuch trat witterungsbedingt ebenfalls nur geringer primärer Stängelbefall auf. Frühzeitiger Blattbefall überlagerte zudem den Stängelbefall und verhinderte auch hier eine Auswertung möglicher Beizeffekte auf den primären Stängelbefall. Jedoch war auch hier zu beobachten, dass die Beizungen Auswirkungen auf den (sekundären) Blattbefall im Verlauf der Saison 2012 zu haben schienen. Die Befallsreduktion der Beizungsvariante ‚Chitosan Frühjahr‘ im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle betrug etwa 50% (Abb. 8); auch die Varianten ‚Phosphonat Frühjahr‘ sowie ‚Kupfer‘ (Herbst und Frühjahr) bewirkten eine Reduktion des Blattbefalls von etwa 30% (Abb. 8).

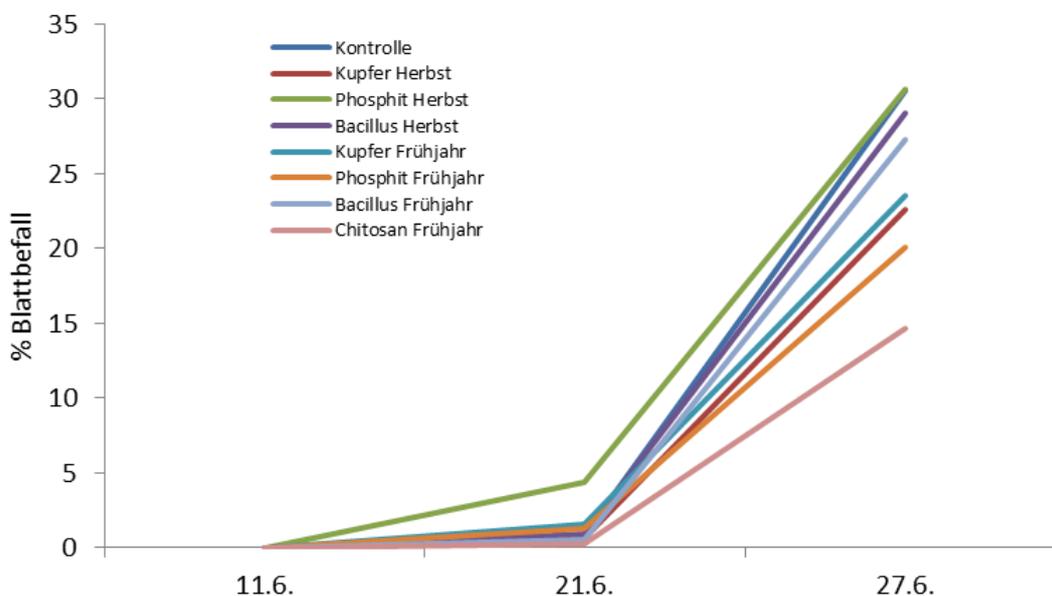


Abb. 8: Beizversuch 2012, Standort Troisdorf, NRW. Mittlerer *Phytophthora*-Blattbefall während der Vegetationsperiode (Sorte Agria).

### 3.1.2.2 Versuche 2013

Die Auflaufbonituren ergaben unabhängig von der Behandlung wieder nur geringe Ausfallraten an beiden bayerischen Standorten. Nur zwischen 0 und 9 % der Pflanzen beider Sorten waren unabhängig von der Beizung durchschnittlich nicht aufgelaufen. Dabei waren tendenziell immer etwas mehr Pflanzen der infizierten Sorte Gala bzw. Laura ausgefallen, was wieder auf eine erfolgreich verlaufene künstliche Infektion schließen lässt (Agria 0-4,2%; Gala/ Laura 2,5-8,3%). Im Jahr 2013 blieb ein Krautfäulebefall an den beiden bayerischen Standorten allerdings ganz aus, so dass keine Krautfäule-Boniturdaten und Daten zur Wirkung der Beizvarianten gewonnen werden konnten. Die Ertragsdaten ergaben keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten.

Bei dem parallel in Nordrhein-Westfalen von der LWK in gleicher Weise angelegten Versuch trat ebenfalls kein *Phytophthora*-Befall auf. Es konnten keine Boniturdaten zur Wirkung einer Pflanzgutbeizung auf Krautfäule-Befall gewonnen werden.

## 3.1.2.3 Versuche 2014

Die Auflaufbonituren ergaben unabhängig von der Behandlung für die Saison 2014 extreme Ausfallraten bei der inokulierten Sorte Gala bzw. Laura an beiden bayerischen Standorten. Zwischen 90 und 100 % der Pflanzen dieser Sorten waren unabhängig von der Beizung durchschnittlich nicht aufgelaufen, d.h. die Inokulation war in diesem Falle zu intensiv verlaufen bzw. hatte unter den gegebenen Bedingungen zu einem zu starkem Befall geführt. Dies hat sich auch auf die Auflaufraten der danebengelegten, gebeizten Agria ausgewirkt, bei der im Durchschnitt 0-17,5% der Pflanzen, also deutlich mehr als in den vorangegangenen Jahren, nicht aufgelaufen waren. Auffällig waren die geringen Ausfallraten der Variante ‚Kupferbeizung Frühjahr‘ an beiden Standorten (0 bzw. 1,7%, siehe Abb. 9). Im Folgenden sind nur die (Blatt-) Befallsdaten der gebeizten Sorte Agria angegeben.

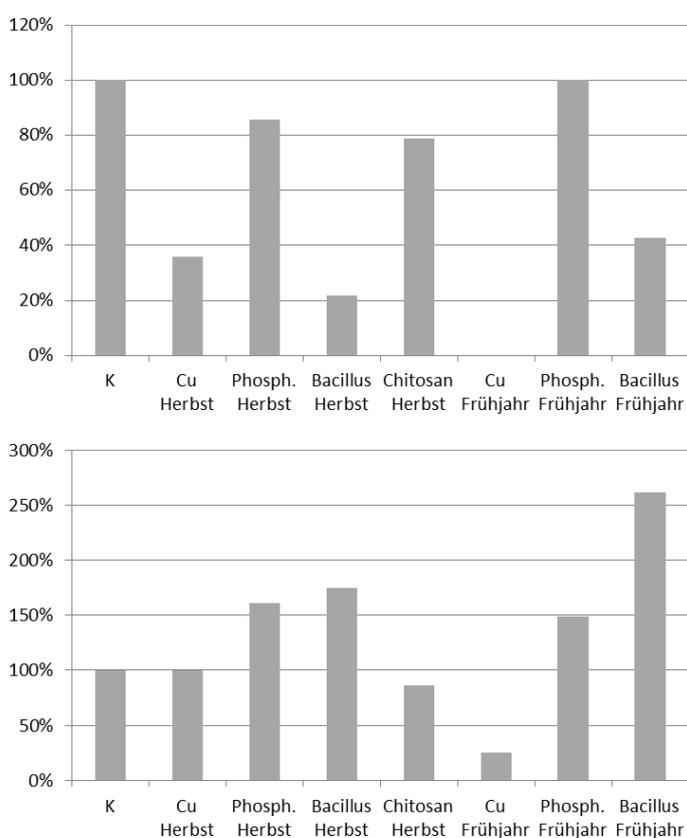


Abb. 9: Ausfallraten (relativ, Kontrolle = 100%) der Sorte Agria (gebeizt) an den Standorten Puch (oben) und Strass (unten) im Beizversuch 2014.

Auch 2014 war an den bayerischen Standorten witterungsbedingt kaum primärer Stängelbefall zu verzeichnen. Erst ab Anfang August traten Witterungsbedingungen ein, die einen Epidemiebeginn möglich machten (siehe Abb. 10, Wetterdaten 2014 für den Standort Puch). Wenn vorhanden, wurde der Stängelbefall wiederum vom später einsetzenden Blattbefall (2014 erst ab Anfang August) überlagert. Daher ließ sich ein direkter Effekt der Beizung auf den primären Befall nicht unmittelbar zeigen. Auch ein etwaiger positiver Effekt auf den (sekundären) Blattbefall ließ sich 2014 aufgrund des späten Befallsbeginns nicht feststellen (Abb. 11 und 12).

Effekte auf den Ertrag ließen sich an beiden Standorten nicht feststellen. Alle Beizvarianten wiesen tendenziell minimal bis schwach reduzierte Ertragswerte im Vergleich zur Kontrolle auf.

Bei dem in Nordrhein-Westfalen von der LWK angelegten Versuch trat ebenfalls erst sehr spät *Phytophthora*-Befall auf. Es konnten keine Boniturdaten zur Wirkung einer Pflanzgutbeizung auf Krautfäule-Befall gewonnen werden, da der Bestand aufgrund der raschen und einheitlichen Entwicklung der *Phytophthora*-Epidemie abgetötet wurde.

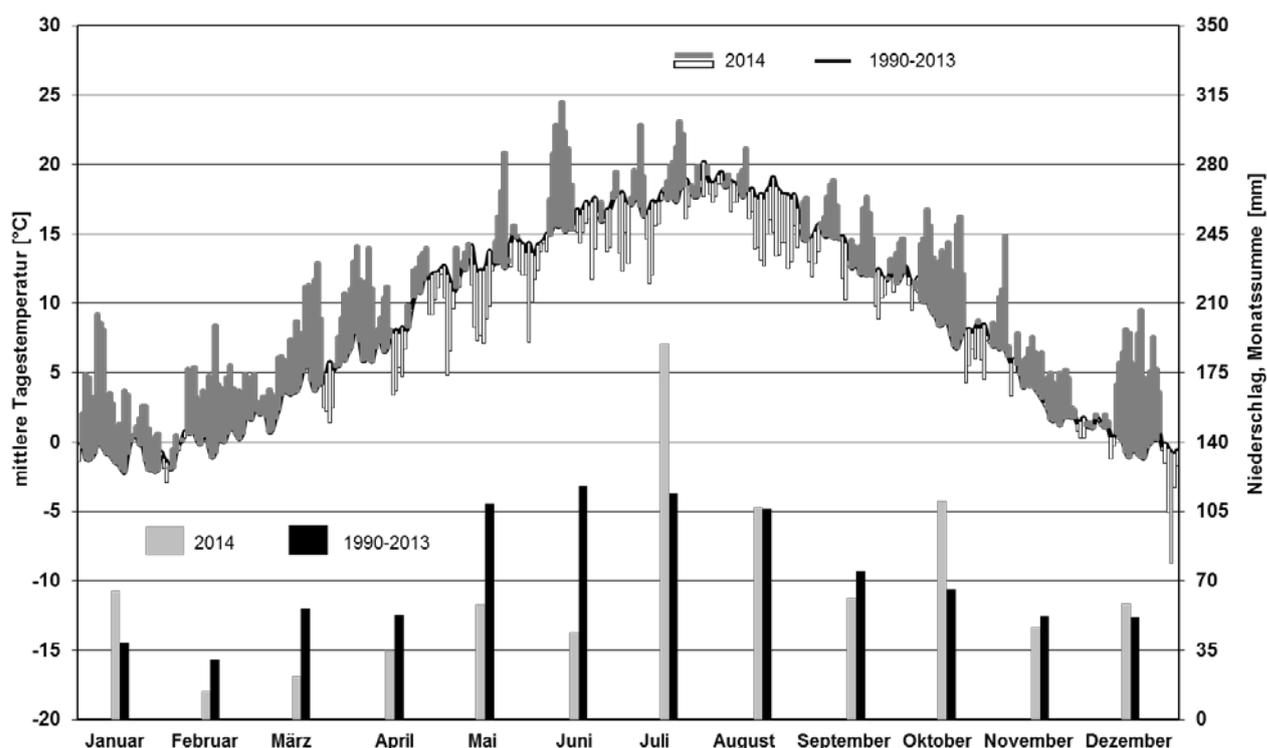


Abb. 10: Wetterdaten Standort Puch. Mittlere Tagestemperatur und Niederschlagssummen 2014, im Vergleich zum langjährigen Mittel.

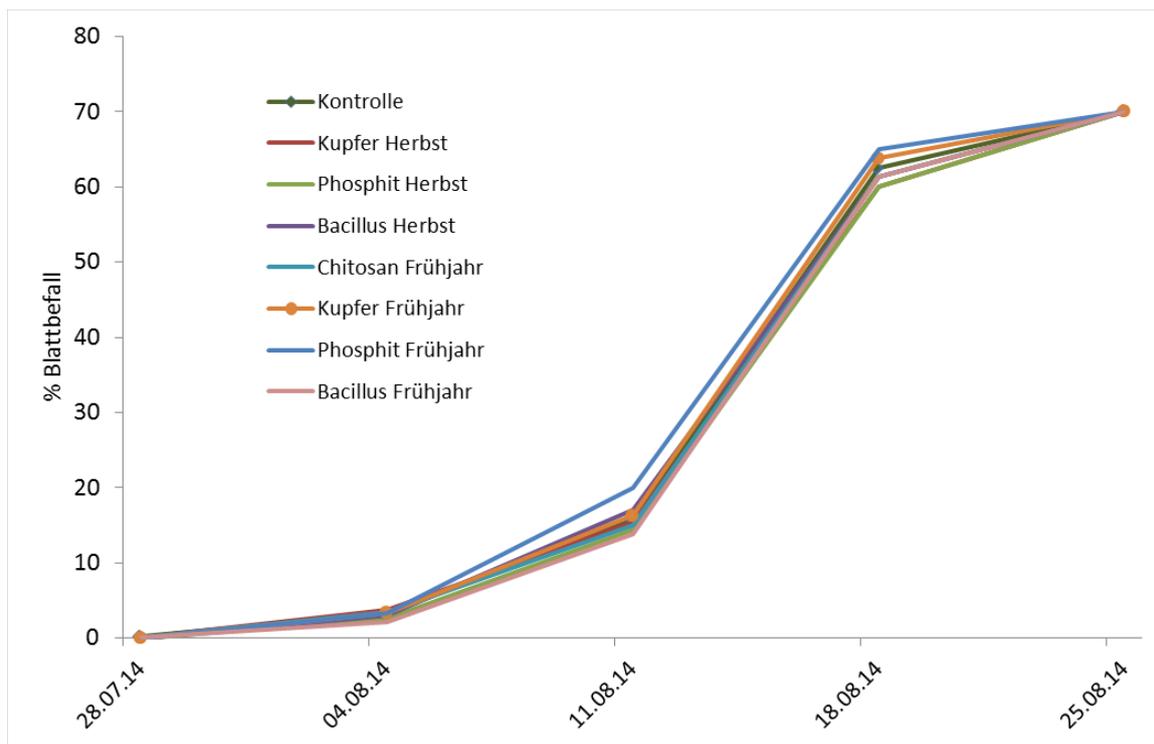


Abb. 11: Beizversuch 2014, Standort Puch. Mittlerer Phytophthora-Blattbefall während der Vegetationsperiode (Sorte Agria).

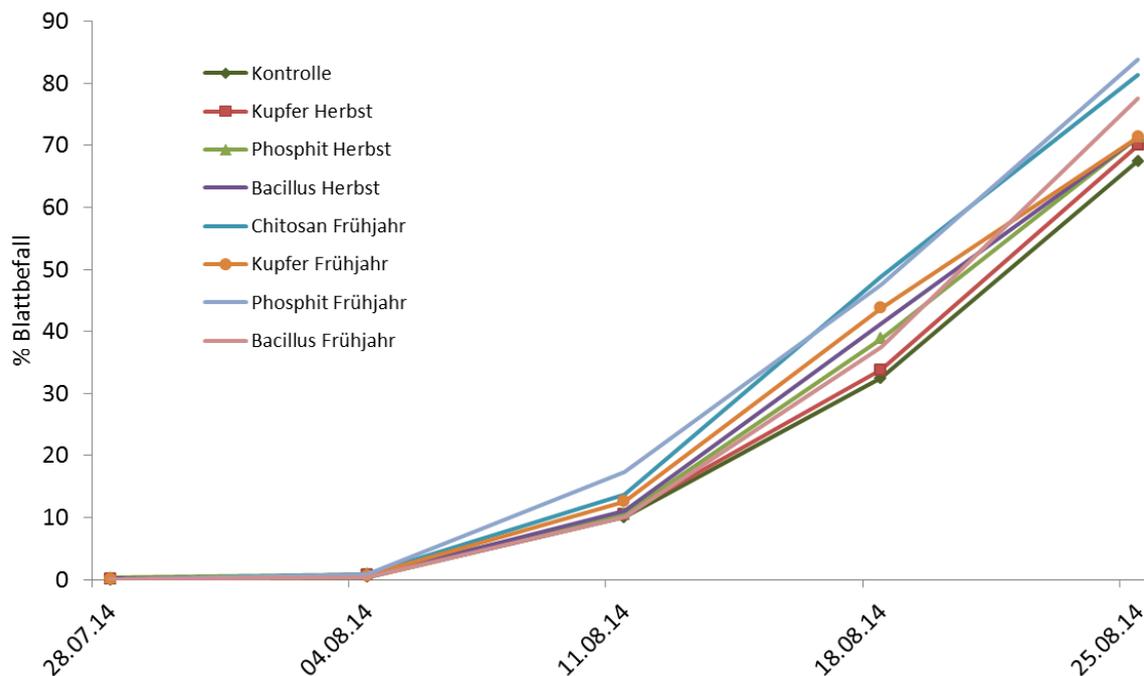


Abb. 12: Beizversuch 2014, Standort Straß. Mittlerer Phytophthora-Blattbefall während der Vegetationsperiode (Sorte Agria).

## 3.2 Versuche zu alternativen Blattbehandlungsmitteln

### 3.2.1 Labor- und Phytotronversuche

#### 3.2.1.1 Laborversuche an Einzelblättern

Während das Kupferfungizid erwartungsgemäß in allen Versuchen nahezu vollständigen Schutz vor *Phytophthora*-Befall bot, konnten nur wenige der getesteten anderen Produkte signifikante Effekte gegen Krautfäule-Infektionen erzielen (Tabelle 4). Bei den meisten getesteten Substanzen waren Befallshäufigkeit (Zahl der befallenen Blätter) und Befallsstärke (Nekrosengröße) nicht oder nur unwesentlich reduziert. Unter den vielversprechendsten Präparaten waren Chitosan, ein kommerzielles Knöterich-Produkt (Regalia), ein kommerzieller Blattdünger mit geringem Kupfergehalt (Sergomil, siehe Abb. 13), sowie die Extrakte aus Süßholz, Schachtelhalm und Zitrus (alles Testprodukte). Insbesondere bei Anwendung in höheren Konzentrationen konnten diese in Hinblick auf Befallsstärke und –häufigkeit jedoch teilweise Wirkungen erzielen, die denen des Kupferfungizids nahekommen (siehe Tabelle 4, 2. Testreihe). Der Kupferblattdünger (mit 5,5% Gesamt-Kupfer) brachte fast vollständigen Schutz, sogar in geringen Konzentrationen von 0,1% (Abb. 13). Das kommerzielle Knoblauchprodukt war nur als gebrauchsfertige Mischung („EnviRepel“) wirksam (mit einer Wirkstoff-Konzentration von etwa 10%, laut Angaben des Herstellers). In geringer dosierten Verdünnungen (1% und 4%) eines ebenfalls kommerziellen Konzentrats (AMN Biovit) war keine ausreichende Wirkung mehr zu verzeichnen. Natriumphosphonat war zwar hochwirksam, ist allerdings aufgrund der möglichen Rückstandsproblematik (siehe z.B. Speiser et al., 2000) derzeit im Kartoffel-Ökolandbau nicht einsetzbar und nicht erwünscht. Es wurde daher in weiteren Tests nicht eingesetzt. Ein weiteres kommerzielles Zitrusprodukt (ViCare) war zwar wirksam, ist aber im Verlauf unserer Versuche aufgrund von Kontaminationen mit Desinfektionsmitteln vom Markt genommen worden und wurde daher ebenfalls nicht mehr weiter eingesetzt.



*Abb. 13: Einzelblattversuche, nach 6 Tagen Inkubation bei 18°C. Links: Cu-Blattdünger (0,1%), rechts: Kontrolle (mit Wasser behandelt).*

Die sechs gemäß der oben beschriebenen Versuche wirksamsten Präparate wurden auch hinsichtlich einer möglichen kurativen Wirkung untersucht, also nach Inokulation (und initiierten Infektion) der Blätter eingesetzt. Vier davon (Schachtelhalm, Zitrus, Süßholz und der Kupferdünger Sergomil) konnten, ebenso wie das Kupferfungizid, Befallshäufigkeit und Befallsstärke der Blätter signifikant reduzieren (Tabelle 4). Chitosan fiel hinsichtlich der Befallshäufigkeit deutlich ab, das Knöterich-Produkt Regalia zeigte in diesen Versuchen keine Wirkung. Keines der Mittel (inklusive Kupfer) konnte die Infektion ganz verhindern, eine Tatsache, die zeigt, dass die Infektion im hier beschriebenen Versuchsaufbau (nach 6 Stunden) tatsächlich bereits gesetzt bzw. initiiert war. Die wirksamsten Alternativmittel und Kupfer hatten hierbei in etwa dieselbe Wirkung, mit einer Reduktion von Befallsstärke und Befallshäufigkeit von etwa 60% im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle.

Tab. 4: Ergebnisse der Blatttests im Labor mit 23 verschiedenen kupferfreien Alternativmitteln, angegeben als mittlere Befallshäufigkeit (% befallene Blätter) und mittlere Befallsstärke (befallene Blattfläche, Index 1-10).

Aktiver Bestandteil , Wirkstoff	Blattversuch, 1. Versuchsreihe		Blattversuch, 2. Versuchsreihe		Blattversuch, kurativ	
	Befalls- häufigkeit	Befalls- stärke	Befalls- häufigkeit	Befalls- stärke	Befalls- häufigkeit	Befalls- stärke
Wasser (Kontrolle)	96,1%	6,2	100%	6,8	94,1%	6,0
Kupferhydroxid (Cuprozin progress)	11,2%*	1,2*	2,7%*	1,1*	29,6%*	2,1*
<i>Aureobasidium pullulans</i> (BoniProtect)	98,1%	5,8	-	-	-	-
<i>A. pullulans</i> (BoniProtect forte)	100%	5,9	-	-	-	-
<i>Pythium oligandrum</i> (Polyversum)	92,7%	6,5	-	-	-	-
<i>Bacillus subtilis</i> (Serenade)	82,5%	6,2	-	-	-	-
Knoblauchextrakt	61,2%*	3,7*	-	-	-	-
Knoblauchprodukt (EnviRepel AF)	20,8%*	1,4*	-	-	-	-
Knoblauchprodukt (AMN Biovit)	83,3%	4,7*	95,9%	4,8	-	-
Knöterichprodukt (Regalia)	72,2%*	3,9*	55,4%*	3,2*	100%	5,9
Zitrusextrakt (ViCare)	49,6%*	2,6*	-	-	-	-
Süßholzextrakt	-	-	18,6%*	1,6*	29,4%*	2,1*
Koniferen-Rindenextrakt (Vie-Up) (unbekannt) ,I'	96,4%	5,5	-	-	-	-
	96,5%	6,3	-	-	-	-
Schachtelhalmextrakt 'F'	79,0%*	3,8*	40,9%*	2,1*	41,2%*	2,2*
Zitrusextrakt 'B'	68,9%*	3,8*	29,3%*	1,9*	32,9%*	2,2*
Aktiviertes' Wasser + Zeolith/ Clioptilolith	100%	6,8	-	-	-	-
Dolomit-Ton-Suspension	100%	7,0	-	-	-	-
Dolomit-Ton-Suspension + 10% Calciumhydroxid	100%	6,8	-	-	-	-
Dolomit-Ton-Suspension + 20% Calciumhydroxid	100%	7,6	-	-	-	-
Na-Phosphonat	23,6%*	1,8*	-	-	-	-
Chitosan (Chitoplant)	73,4%*	4,3*	38,3%*	2,0*	65,8%	3,5*
Silikat	-	-	93,9%	5,4	-	-
Neemöl + NaHCO <sub>3</sub>	98,5%	5,2	-	-	-	-
Cu Blattdünger (Sergomil)	-	-	2,8%*	1,2*	13,5%*	1,5*
Ca Mg (OH) <sub>2</sub>	98,0%	5,4	-	-	-	-

\* signifikante Unterschiede zur Kontrolle ( $p \leq 0.05$ ) nach Dunnett's Multiple Comparison Test.

### 3.2.1.2 Phytotronversuche an ganzen Pflanzen

Die 6 gemäß der oben beschriebenen Versuche wirksamsten Präparate wurden ferner in einem Phytotron-Versuch an ganzen, getopften Pflanzen geprüft. Alle getesteten Präparate konnten den *Phytophthora*-Befall an den Pflanzen im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle signifikant reduzieren, wobei der Kupferdünger Sergomil hier sogar bessere Wirkungsgrade zeigte als das Kupferfungizid. Auch Chitosan, Süßholz und Zitrus erreichten Wirkungsgrade ähnlich dem des Kupferfungizids (Tabelle 5, Abb. 14).

*Tab. 5: Ergebnisse der Pflanzentests im Phytotron mit 6 verschiedenen kupferfreien Alternativmitteln, angegeben als mittlere Zahl befallener Blätter und mittlere Befallsstärke in %. Mittelwerte aus 3 bis 11 Einzelversuchen mit je 3 oder 4 Pflanzen je Präparat.*

Aktiver Bestandteil , Wirkstoff	Inf. Blätter (n)	Befallsstärke (%)
Wasser (Kontrolle)	17,2	21,7%
Kupferhydroxid	1,2*	2,3%*
Knöterichextrakt (Regalia)	5,6*	14,7%*
Süßholzextrakt	2,2*	2,4%*
Schachtelhalmextrakt F	7,5*	12,6%*
Zitrusextrakt B	2,3*	3,1%*
Chitosan (Chitoplant)	3,5*	4,5%*
Cu Blattdünger (Sergomil)	1,0*	1,5%*

\* signifikante Unterschiede zur Kontrolle ( $p \leq 0.05$ ) nach Dunnett's Multiple Comparison Test.



Abb. 14: Phytotronversuch, Versuchsende: rechts Kontrolle, links Chitosan-behandelte Pflanze

### 3.2.2 Feldversuche

#### 3.2.2.1 Kleinparzellenversuch

Im Jahr 2014 wurde am Standort Freising zusätzlich zu den Standard-Feldversuchen (s.u.) ein Kleinparzellenversuch zur intensiven Testung einer Auswahl vielversprechender Alternativmittel angelegt. Die Wetterbedingungen nach dem Auflaufen der Pflanzen (Ende Mai) waren für die Entstehung einer *Phytophthora*-Epidemie zunächst ungünstig, so dass bis Ende Juli kaum Krautfäulebefall auftrat. Erst dann wurden erste Befallsstellen festgestellt. Im Lauf des August entwickelte sich die Epidemie dann rasch weiter (Abb. 15), so dass die Wirksamkeit der Präparate auf den Erreger nur an bereits relativ alten Pflanzen getestet werden konnte.

Im Gegensatz zu den Daten aus den Blatt- und Topfversuchen konnte keines der getesteten Alternativmittel Wirksamkeiten erreichen, die denen des Kupferhydroxid-Präparates nahekamen. Dennoch konnten zwei Gruppen von Präparaten unterschieden werden: während das Knöterich- und das Zitrusprodukt sowie der Kupferdünger Sergomil keine Wirkung auf den Krautfäule-Befall hatten, bewirkten Chitosan, das Süßholz- und das Schachtelhalmprodukt eine Reduktion des Blattbefalls, die am deutlichsten zu Beginn der Epidemie erkennbar ist (Abb. 15). Zu diesem Zeitpunkt wird durch die Alternativmittel eine Reduktion des Befalls um ca. 25-40% im Vergleich zur Kontrolle erreicht. Diese Reduktion ist beim Schachtelhalm- und Süßholz-Präparat auch am 11. August noch erkennbar. Gegen Ende August weisen jedoch alle mit Alternativpräparaten behandelten Pflanzen Be-

fallsgrade von etwa 100% auf, während bei der Kupfervariante noch ca. 50% grüne Blattmasse vorhanden war. Aufgrund des späten Befallsbeginns hatte keine der Behandlungsvarianten einen Einfluss auf den Ertrag (Daten nicht gezeigt).

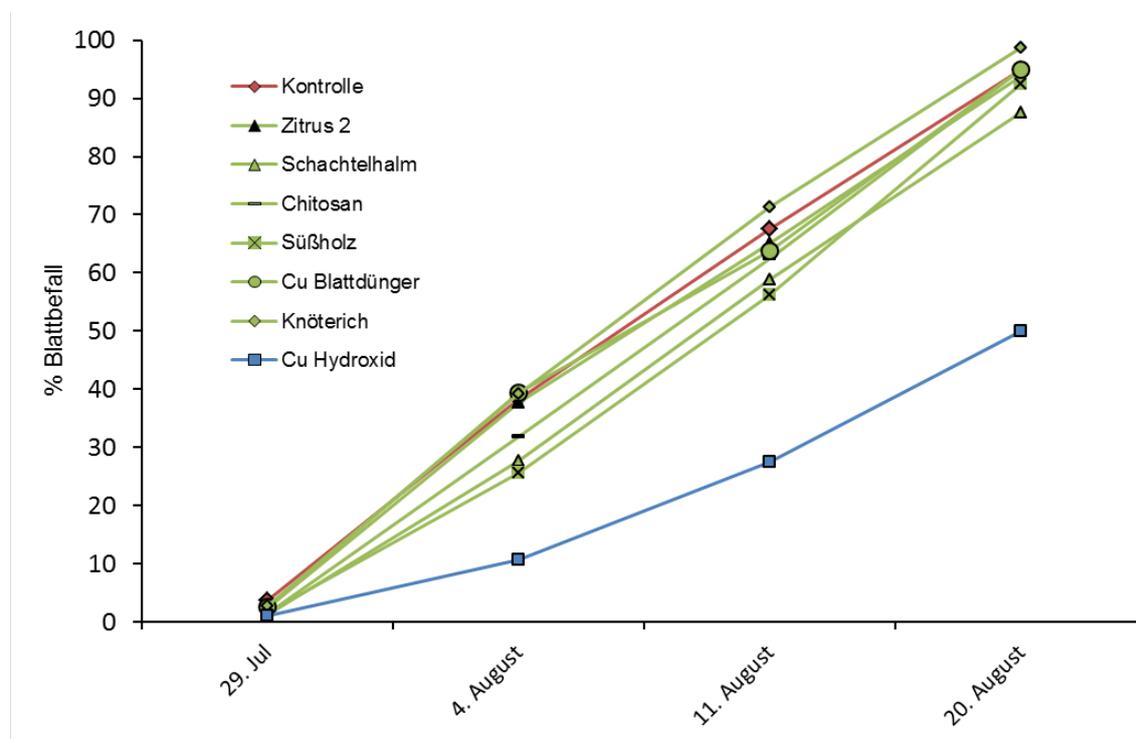


Abb. 15: Kleinparzellenversuch Freising 2014: Mittlerer *Phytophthora*-Blattbefall während der Vegetationsperiode (Sorte Agria). Mittelwerte aus 4 Kleinparzellen pro Versuchsglied mit je 6 Pflanzen.

### 3.2.2.2 Standard-Feldversuche

2012 kamen neben der unbehandelten Kontrolle und dem Kupfer-Präparat (Cuprozin Progress) in maximaler Aufwandmenge (500g Cu/ ha je Ausbringung bei 6 Anwendungen) Chitosan (0,1%), Zitrusprodukt ViCare, das *Bacillus*-Produkt Serenade sowie eine alternierende (abwechselnde) Anwendung von Chitosan und Kupfer zum Einsatz. Die Abbildungen 16 und 17 zeigen den Befallsverlauf (Blattbefall) während der Vegetationsperiode an den Versuchsstandorten Puch und Olching. An beiden Standorten wurde die erste Behandlung aller Varianten am 12. Juni durchgeführt, der Befallsbeginn (Blattbefall) wurde in Puch am 25. Juni und in Olching am 18. Juni verzeichnet. Eine Reduktion des *Phytophthora*-Blattbefalls konnte in beiden Versuchen nur in den Varianten mit Kupfer erreicht werden, die alternierende Anwendung mit dem Zitrus-Präparat ViCare brachte dabei am Standort Olching eine ähnliche Wirkung wie Kupfer alleine (Befallsreduktion um ca. 50% bis zum 16. Juli, Abb. 17). Am Standort Puch konnte durch die Kombinationsanwendung eine Befallsreduktion um etwa 40% zu Saisonende erreicht werden (Abb. 16). Alle anderen 2012 getesteten Alternativmittel wie auch das Zitrus-Produkt alleine konnten keine nennenswerte Befallsreduktion bewirken.

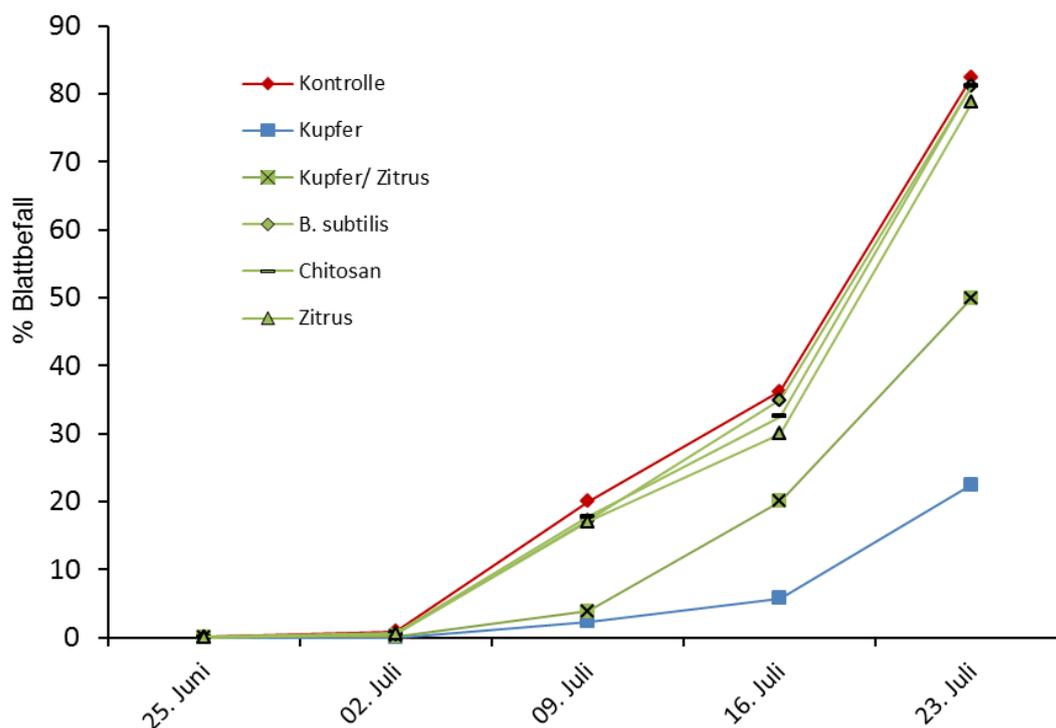


Abb. 16: Feldversuch Puch 2012: Mittlerer Phytophthora-Blattbefall während der Vegetationsperiode (Sorte Ditta). Mittelwerte aus 4 Versuchspartzellen je Versuchsglied.

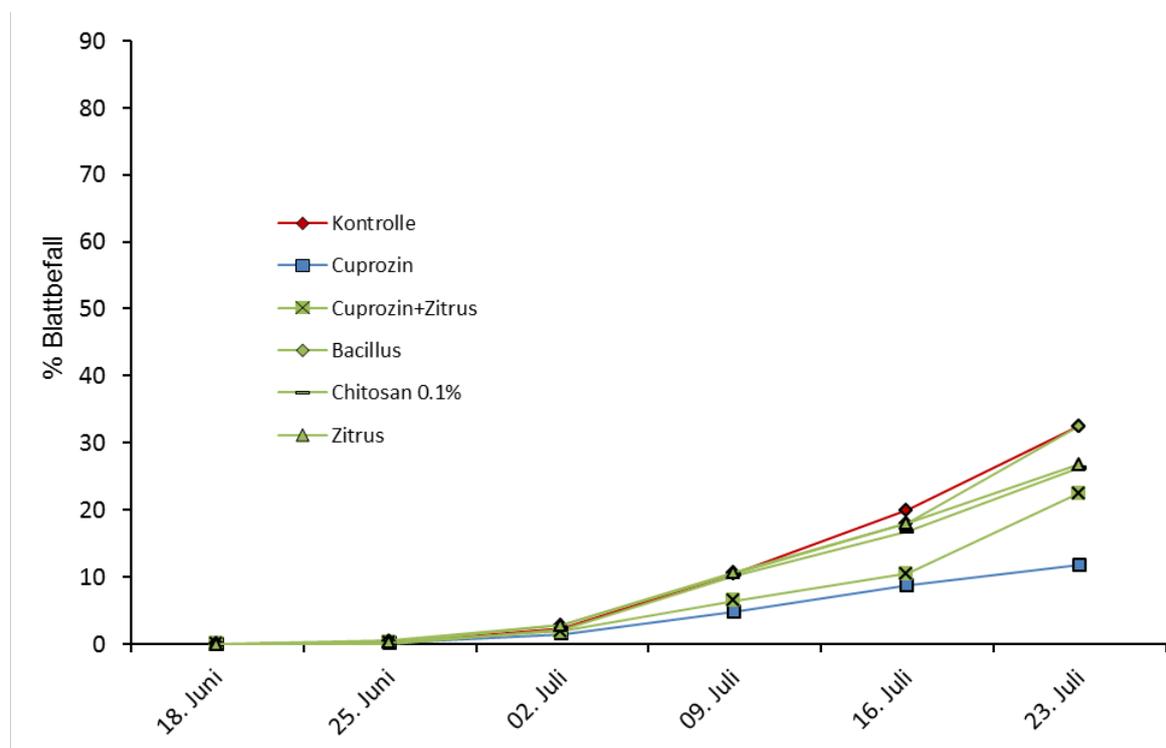


Abb. 17: Feldversuch Olching 2012: Mittlerer Phytophthora-Blattbefall während der Vegetationsperiode (Sorte Nicola). Mittelwerte aus 4 Versuchspartzellen je Versuchsglied.

Auch beim Ertrag zeigten nur die beiden Varianten mit Kupfer einen (nicht signifikant) positiven Effekt, während die getesteten Alternativmittel alleine keinen Effekt auf den Ertrag hatten (Abb. 18 und 19).

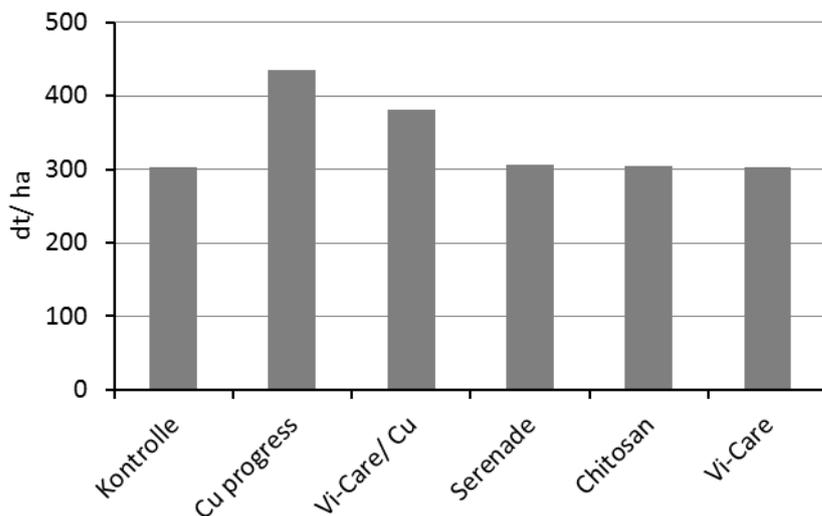


Abb. 18: Feldversuch Puch 2012, Ertrag. Mittelwerte aus 4 Versuchspartzen je Versuchsglied, hochgerechnet auf Hektar.

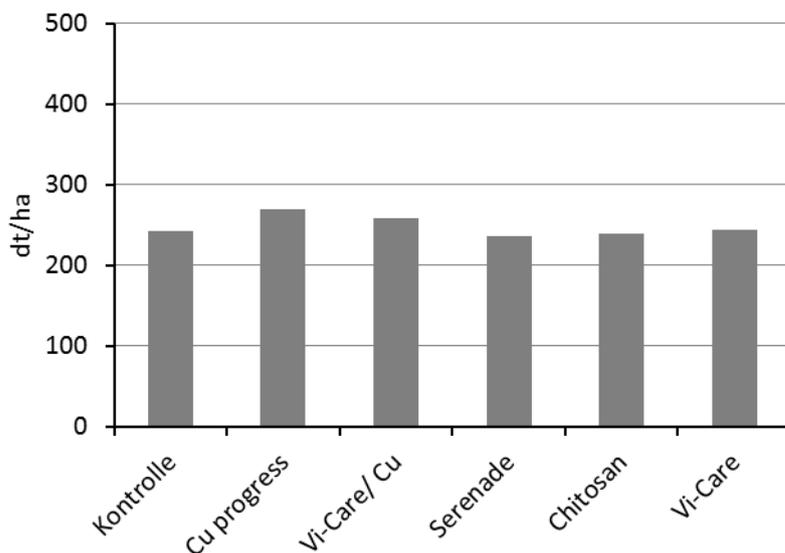


Abb. 19: Feldversuch Olching 2012, Ertrag. Mittelwerte aus 4 Versuchspartzen je Versuchsglied, hochgerechnet auf Hektar.

2013 wurde neben Kontrolle und der maximalen Kupferaufwandmenge eine reduzierte Kupferaufwandmenge (250 g/ ha), eine Tankmischung aus Knöterich-Präparat und Kupfer (250 g/ ha), das Knöterich-Präparat alleine sowie das Knoblauch-Produkt AMN Biovit getestet. Allerdings war in diesem Versuchsjahr an beiden Versuchstandorten kein Krautfäu-

le-Befall zu beobachten, so dass keine Daten zur möglichen Wirkung dieser Präparate gewonnen werden konnten.

2014 waren die Versuche auf 8 Versuchsglieder vergrößert worden. Es kamen Chitosan in erhöhter Aufwandmenge (0,4%), Zitrusextrakt 'B', volle und reduzierte Kupfer-Aufwandmenge, Kupferblattdünger in zwei Konzentrationen (0,1 und 0,05%) und eine Tankmischung aus Chitosan und reduzierter Kupfer-Aufwandmenge zum Einsatz. Die erste Behandlung wurde am Standort Olching am 12. Juni, und am Standort Puch am 25. Juni durchgeführt. Erster *Phytophthora*-Befall wurde an beiden Standorten am 25. Juli beobachtet. Wie beim Kleinparzellenversuch bereits beschrieben, waren die Wetterbedingungen nach dem Auflaufen der Pflanzen für die Entstehung einer *Phytophthora*-Epidemie 2014 zunächst ungünstig (siehe Abb. 10), so dass bis Ende Juli kein Krautfäulebefall auftrat. Erst dann wurden erste Befallsstellen festgestellt. Im Lauf des August entwickelte sich die Epidemie dann wieder rasch weiter, so dass auch hier die Wirksamkeit der Präparate gegen den Erreger nur an bereits relativ alten Pflanzen getestet werden konnte.

Keines der Alternativ-Mittel konnte unter den Bedingungen im Versuchsjahr 2014 Wirkungsgrade ähnlich dem des Kupfer-Präparates erreichen. Am Standort Puch konnte zu Beginn der Epidemie (4. August) beobachtet werden, dass alle getesteten Mittel den Befall zunächst verringerten. Dieser Effekt verschwand jedoch im weiteren Verlauf der Saison, so dass nur noch Anwendungen, die das Kupferfungizid enthielten, nennenswerte Wirkung zeigten (Abb. 20).

Am Standort Olching konnte beobachtet werden, dass zusätzlich zu den Anwendungen, die das Kupfer-Fungizid enthielten, auch die beiden Behandlungen mit dem Blattdünger und die Chitosan-Behandlung eine gewisse Reduktion des Blattbefalls bewirkten (um ca. 10% bzw. 20%). Auch dieser Effekt verschwand im weiteren Verlauf der Saison weitgehend (Abb. 21).

Die simultane Anwendung von reduzierter Kupfermenge und Chitosan (0,4%) in Tankmischung brachte an beiden Standorten keine Verbesserung im Vergleich zur reduzierten Kupfermenge allein. Gegen Ende August hatten alle Versuchsglieder, inklusive der mit dem Kupfer-Fungizid behandelten, Nekrotisierungsgrade von etwa 100% erreicht. Aufgrund des späten Befallsbeginns hatte auch 2014 keine der Behandlungsvarianten einen Einfluss auf den Ertrag (Daten nicht gezeigt).

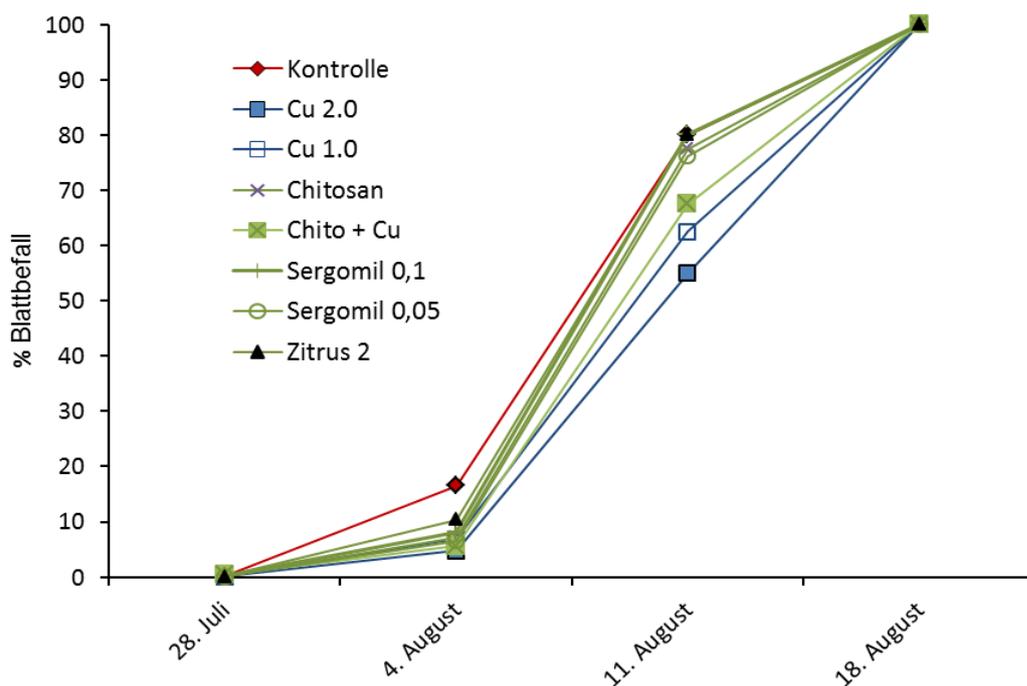


Abb. 20: Feldversuch Puch 2014: Mittlerer Phytophthora-Blattbefall während der Vegetationsperiode (Sorte Ditta). Mittelwerte aus 4 Versuchspartzellen je Versuchsglied.

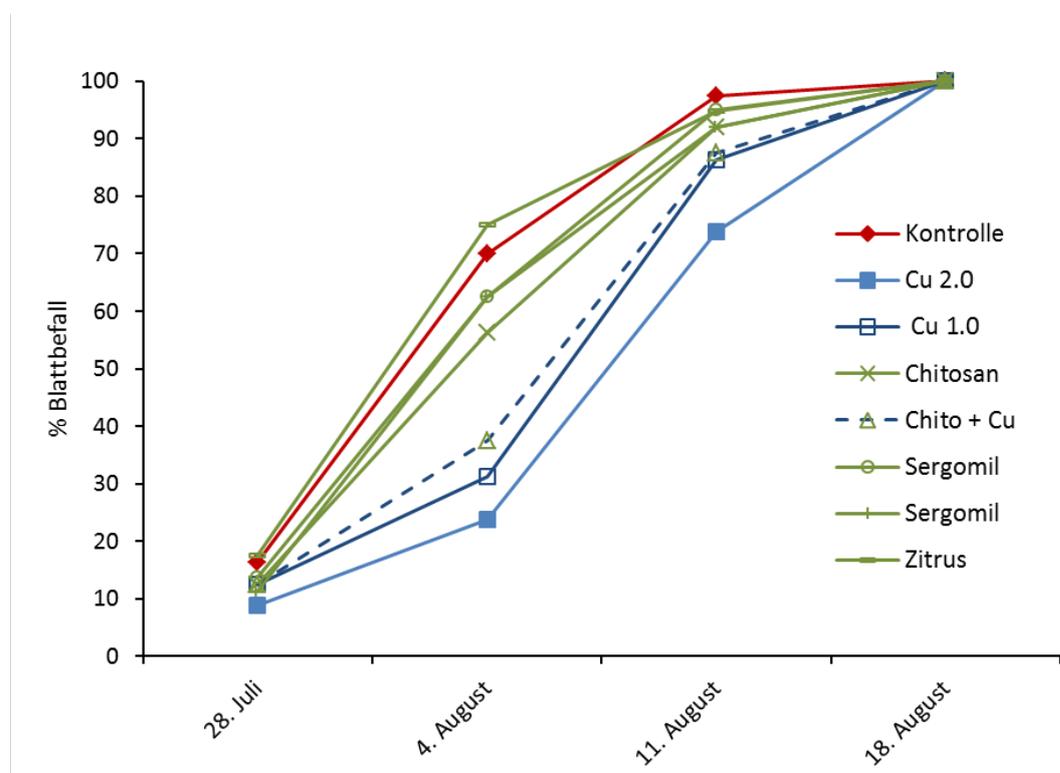


Abb. 21: Feldversuch Olching 2014: Mittlerer Phytophthora-Blattbefall während der Vegetationsperiode (Sorte Nicola). Mittelwerte aus 4 Versuchspartzellen je Versuchsglied.

### 3.3 Versuche zur Reduktion der Tochterknolleninfektion

#### 3.3.1 Feldversuche

Zum Zeitpunkt der ersten Krautminimierungsmaßnahmen 2012 lag der Krautfäule-Befall an beiden Standorten (Puch und Olching) bei etwa 20-30% (Blattbefall). Die Maßnahme Schlegeln brachte eine fast vollständige Entfernung des grünen Laubes, wobei austriebsfähige (grüne) Stängel erhalten blieben. Beim Abflammen wurde ebenfalls fast die gesamte Blattmasse zerstört, wobei einzelne Stängel in reduziertem Maße austriebsfähig geblieben waren. Beim Schlegeln mit anschließendem Abflammen wurde die weitreichendste Entfernung bzw. Abtötung des Krautes erreicht, bei nur noch geringer Austriebsfähigkeit der verbliebenen Stängelreste (Abb. 22). Deutlich erkennbar ist der stark ertragsmindernde Effekt der frühen Krautabtötungsmaßnahmen (Schlegeln, Abflammen bzw. Schlegeln und Abflammen am 25. Juli 2012), der beim späten Termin (20. August) nicht mehr (Puch) oder nur noch in abgeschwächtem Maße (Olching) feststellbar war (siehe Abb. 23 und 24).



Abb. 22: *Feldversuch zur Reduktion der Tochterknolleninfektion Puch 2012: verbleibende Stängelreste nach Schlegeln und Abflammen (Juli 2012).*

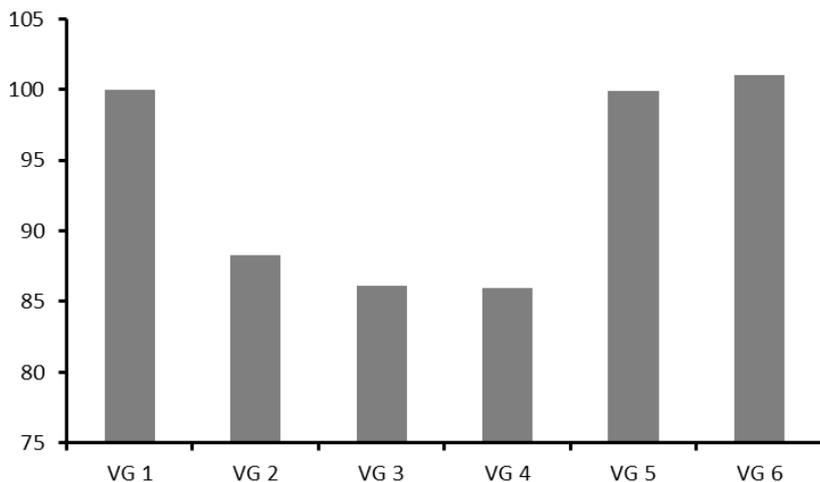


Abb. 23: Feldversuch zur Reduktion der Tochterknolleninfektion Puch 2012. Relativer Ertrag (Kontrolle = 100% = 438 dt/ ha). VG 1: Kontrolle, VG 2: Schlegeln 25.7., VG 3: Schlegeln und Abflammen 25.7., VG 4: Schlegeln und Cuprozin Progress 25.7., VG 5: Cuprozin Progress spät 20.8., VG 6: spätes Abflammen 20.8.

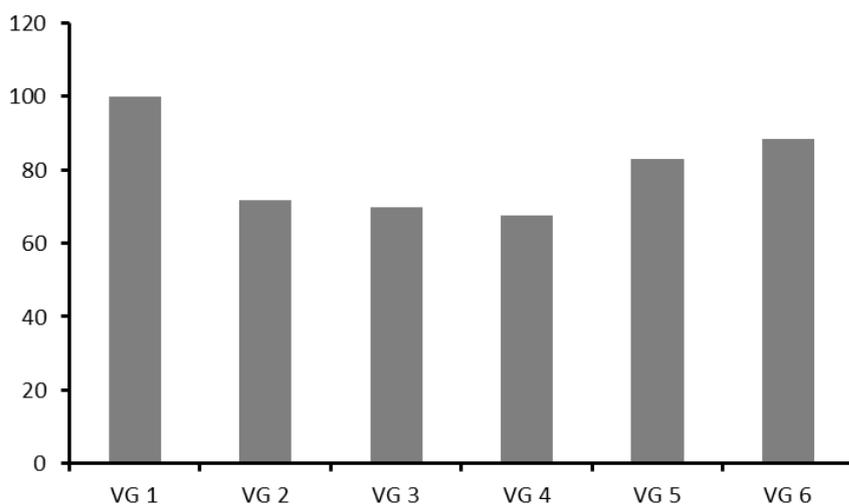


Abb. 24: Feldversuch zur Reduktion der Tochterknolleninfektion Olching 2012. Relativer Ertrag (Kontrolle = 100% = 339 dt/ ha). VG 1: Kontrolle, VG 2: Schlegeln 25.7., VG 3: Schlegeln und Abflammen 25.7., VG 4: Schlegeln und Cuprozin Progress 25.7., VG 5: Cuprozin Progress spät 20.8., VG 6: spätes Abflammen 20.8.

Während der Vegetationsperiode 2013 wurden an den Standorten Puch und Olching aufgrund des ausbleibenden Krautfäulebefalls keine Maßnahmen zur Reduktion der Sporenverfrachtung auf die Tochterknollen bzw. zur Sporenabtötung durchgeführt. Entsprechend wurden auch keine Ertragsdaten erhoben, bzw. keine Proben für die Laboranalysen gezogen.

Zum Zeitpunkt der ersten Krautminimierungsmaßnahmen 2014 lag der Krautfäule-Befall an beiden Standorten (Puch und Olching) bei etwa 40% (Blattbefall). Nicht erkennbar ist der im Jahr 2012 beobachtete stark ertragsmindernde Effekt der frühen Krautabtötungsmaßnahmen. Teilweise weisen auch die späten Krautminderungsvarianten geringere Erträge auf als die früheren (Abb. 25 und 26).

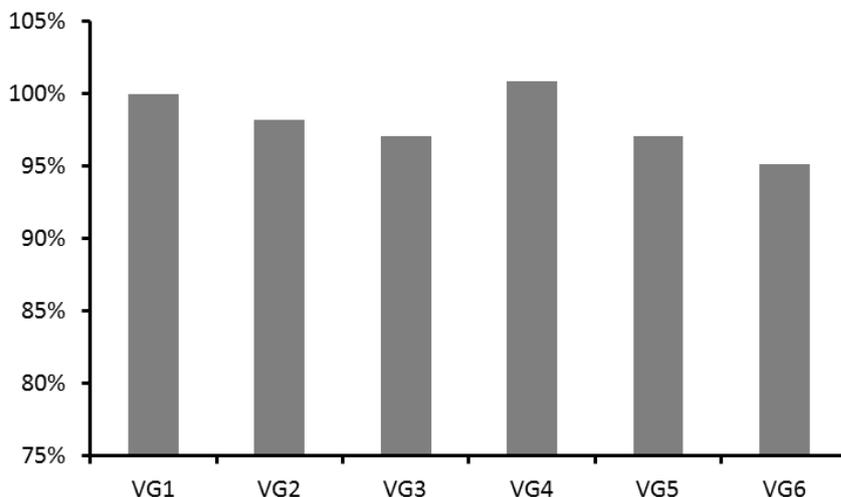


Abb. 25: Feldversuch zur Reduktion der Tochterknolleninfektion Puch 2014. Relativer Ertrag (Kontrolle = 100% = 379 dt/ ha). VG 1: Kontrolle, VG 2: Schlegeln 12.8., VG 3: Schlegeln und Abflammen 12.8., VG 4: Schlegeln und Cuprozin Progress 12.8., VG 5: Cuprozin Progress spät 27.8., VG 6: spätes Abflammen 27.8.

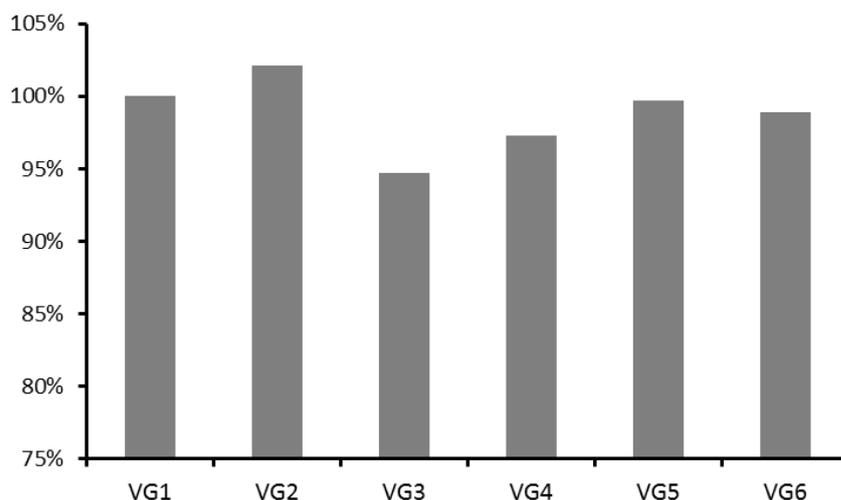


Abb. 26: Feldversuch zur Reduktion der Tochterknolleninfektion Olching 2014. Relativer Ertrag (Kontrolle = 100% = 219 dt/ ha). VG 1: Kontrolle, VG 2: Schlegeln 12.8., VG 3: Schlegeln und Abflammen 12.8., VG 4: Schlegeln und Cuprozin Progress 12.8., VG 5: Cuprozin Progress spät 27.8., VG 6: spätes Abflammen 27.8.

### 3.3.2 Ermittlung der Braunfäule-Infektionsrate

Die molekularbiologische Untersuchung der aus den geernteten Knollen des Versuchsteils „Reduktion der Tochterknolleninfektion“ entnommenen Stichproben aus der Saison 2012 erfolgte mittels PCR-Methodik. Es wurde je Versuchsglied aus den in 3.3.1 beschriebenen Feldversuchen eine Stichprobe von 30 Knollen auf *Phytophthora*-Befall untersucht. Es ergab sich insgesamt in 3 Versuchsgliedern je ein einzelner positiver Nachweis, was zwar die grundsätzliche Eignung der Methodik zum Nachweis latenten Knollenbefalls zeigt, aber aufgrund der geringen Zahl der Nachweise keine Rückschlüsse auf die Wirksamkeit der durchgeführten Maßnahmen zulässt.

Ausgehend von der Tatsache, dass sich ein zunächst latenter Knollenbefall bei längerer Lagerung unter für den Erreger günstigen Bedingungen zu tatsächlich visuell bonitierbarer Knollen- (Braun-) fäule entwickeln würde, wurden die Stichproben aus dem Feldversuch 2014 für drei Monate bei 15°C gelagert und anschließend nur noch visuell auf Braunfäule bonitiert. Es ergab sich hierbei bei keiner der untersuchten Knollen ein Hinweis auf Braunfäulebefall.

Alle in den Versuchen zur Knollenbeizung eingesetzten Pflanzgutchargen wurden ebenfalls mit der beschriebenen PCR-Methode auf latenten Befall mit *Phytophthora* untersucht. In allen Fällen ergab sich eine (latente) Infektionsrate deutlich unter 10%. Daher wurde in allen Fällen bei der Pflanzung mit der 2-Knollen-Strategie gearbeitet, bei der zur Erhöhung des Infektionsdruckes eine künstlich infizierte Knolle zur Pflanzknolle dazugelegt wurde (Keil et al., 2010, siehe Kap. 3.1.2).

## 4 Diskussion

Früher primärer *Phytophthora*-Stängelbefall, der von (latent) infizierten Kartoffelknollen ausgeht, stellt im konventionellen wie im ökologischen Anbau von Kartoffeln einen der wichtigsten Ausgangspunkte für frühe und massive Krautfäule-Epidemien auf dem Schlag dar (Andrivon, 1995; Powelson *et al.*, 2002; Johnson, 2010; Zellner *et al.* 2011; Wharton *et al.* 2012). Im Gegensatz zum sekundären Blattbefall, der von über die Luft und über Wassertröpfchen verbreiteten (sekundären) Sporen ausgeht, tritt diese Form des Befalls sehr früh in der Saison auf und ist dementsprechend entscheidend für die weitere Befallsentwicklung eines Kartoffelschlages (Zellner *et al.*, 2011). Somit sind gerade im ökologischen Anbau Primärinfektionen der entscheidende Faktor für die Entwicklung und die ökonomische Bedeutung der Krautfäule, da diese den Beginn einer Epidemie bestimmen und somit großen Einfluss auf Menge und Qualität der geernteten Ware haben. Da im ökologischen Anbau keine systemischen Fungizide zur Verfügung stehen, ist der Zeitpunkt des Epidemiebeginns also von entscheidender Bedeutung.

Darüber hinaus ist der zeitliche Beginn einer Epidemie entscheidend für die Anzahl der in einer Saison durchzuführenden Blatt-Fungizidbehandlungen. Je später der Befall einsetzt, desto weniger Behandlungen sind innerhalb einer Saison notwendig. Im ökologischen Anbau sind Kupferverbindungen derzeit die einzig verfügbaren, wirksamen Mittel für solche Blattbehandlungen. Durch die Anreicherungsproblematik von Kupfer im Boden und den möglichen negativen Auswirkungen auf Nicht-Ziel-Organismen ist jedoch eine Reduktion des Kupfereinsatzes dringend erforderlich (Anonymus, 2009). Daher kommt Methoden zur Verringerung des primären Befalls besondere Bedeutung bei der Reduktion der im ökologischen Landbau ausgebrachten Kupfermengen zu.

Im Rahmen dieses Projektes sollten Methoden erarbeitet werden, die es ermöglichen, *Phytophthora*-Infektionen zu vermeiden bzw. zeitlich stark hinauszuzögern, so dass einerseits eine direkte Behandlung des Pathogens in der Häufigkeit und Mitteleinsatz reduziert werden kann, andererseits die Auswirkungen einer Krautfäule-Epidemie in einem für den Betrieb wirtschaftlich vertretbaren Rahmen bleiben.

## 4.1 Knollenbeizung

Ein Ansatzpunkt für eine Verringerung des primären Infektionsdruckes auf die Pflanzknolle (und somit die Pflanze) ist eine Beizung der Knollen mit Kupfer bzw. kupferfreien, alternativen Behandlungsmitteln vor der Einlagerung bzw. vor der Pflanzung. Ähnlich wie auch im konventionellen Anbau können Pflanzgutbehandlungen Teil eines Behandlungskonzeptes gegen Krautfäule im ökologischen Anbau sein (Benker *et al.*, 2006; Caldiz *et al.*, 2007; Wharton *et al.*, 2012) und zu einer Reduzierung des Einsatzes von (Kupfer-) Fungiziden beitragen.

### 4.1.1 Labor- und Phytotronversuche

Zur Evaluierung der zu testenden Präparate mussten zunächst Systeme entwickelt werden, die die kontrollierte Testung der unterschiedlichen Mittel in Labor und Gewächshaus erlaubten. Es wurden schließlich zwei Methoden angewendet, die entweder eine Herbst- (Lagerversuch) oder eine Frühjahrsbeizung (Pflanzversuch) simulieren sollten. In beiden Varianten wurden Knollen zuvor künstlich inokuliert. Dem Erreger wurde vor der anschließenden Behandlung mit den Beizmitteln Zeit gegeben, sich im Bereich des Periderms der Knolle zu etablieren, ähnlich wie es auch bei einer natürlichen Infektion der Fall wäre.

Der *Lagerversuch* sollte zeigen, dass die getesteten Beizmittel in der Lage sind, gegen den (als gekeimte bzw. keimfähige Spore) auf dem und im Periderm sitzenden Erreger zu wirken, bzw. seine weitere Ausbreitung ins Knollengewebe bzw. auch auf Nachbarknollen zu verhindern. Die relativ hohen Infektionsgrade der Knollen zeigten, dass die Beizmittel im Lagerversuch offensichtlich gegen eine bereits etablierte Infektion relativ wenig ausrichten konnten, also wie erwartet keine oder nur geringe kurative Wirkung hatten. Dennoch ließen die Versuche aufgrund der Vergleiche mit den unbehandelten Kontrollen den Schluss zu, dass bestimmte alternative Produkte trotz des hohen Infektionsdruckes wirksam sein und den Knollenbefall in Häufigkeit und Stärke reduzieren können, vermutlich indem sie gegen die Sporen wirken, die noch nicht gekeimt waren bzw. deren Keimschlauch nicht weit genug ins Innere der Knolle eingedrungen war. Insbesondere waren dies das kommerzielle Meerrettich/Senf-Extrakt, Nelkenöl, Phosphonat und die thermische Behandlung – also solche Mittel, deren gute Wirksamkeit gegen *Phytophthora*-Arten bereits bekannt ist (Phosphonate) bzw. deren „aggressive“ Kontaktwirkung vermutet werden konnte (Senfölglykoside, Eugenol bzw. Hitze). Bei der Beurteilung der möglichen Wirkung solcher Mittel in der Praxis ist zu bedenken, dass natürlich infizierte Knollen mit deutlich weniger Sporen besetzt sein dürften als es in diesem Versuch der Fall war, und so die Wirksamkeit der Mittel gegen natürliche Infektionen höher sein dürfte als in den Versuchsansätzen mit künstlicher Inokulation.

Auch beim *Pflanzversuch* zeigte sich aufgrund der durchgeführten künstlichen Infektion der Knollen wiederum eine insgesamt schlechte kurative Wirkung der getesteten Präparate, inklusive Kupfer. Dies zeigt, dass auch in diesen Versuchen die Beizmittel gegen eine

bereits etablierte Infektion wenig ausrichten konnten. Nur wenige der Mittel, insbesondere Phosphonat, das Hefe- (*Aureobasidium*-) Präparat und Chitosan konnten verbesserte Auflaufraten bewirken, d.h. konnten eine Etablierung des Befalls auf den Knollen (der sich in ausbleibendem Auflaufen manifestiert hätte) verhindern oder verzögern. Beim Pflanzversuch konnte durch das unmittelbare Einpflanzen in feuchte Erde auch untersucht werden, ob sich das Beizmittel u.U. auch ins umgebende Bodenmilieu ausbreitet, und so möglicherweise die Bildung von weiteren Sporen an der Knolle verhindern kann. Die starke Schadwirkung des Senf-Meerrettich-Präparates auf die sich entwickelnden Pflanzen zeigte deutlich, dass die Wirkung der Beizmittel in den beiden Versuchsreihen unterschiedlich war (da im Lagerversuch keine Knollenschäden aufgetreten waren), und beim Pflanzversuch durch die Feuchtigkeit der Erde eine Wirkung in der unmittelbaren Umgebung der Knolle wahrscheinlich war. Dadurch konnte auch gezeigt werden, dass „aggressive“ Mittel wie das Senf-Meerrettich-Präparat ungeeignet für eine Anwendung als Beizmittel sind. Auch das sehr „scharfe“ Nelkenöl, das im Lagerversuch ebenfalls gute Wirkung gezeigt hatte, erwies sich im Pflanzversuch als wenig wirksam, möglicherweise, weil es ebenfalls zu aggressiv gegenüber den auswachsenden Trieben war. Allerdings ist auch beim Pflanzversuch zu beachten, dass – wie oben erwähnt – unter natürlichen Bedingungen die Infektion der Knollen deutlich schwächer sein dürfte als in den hier beschriebenen Versuchen und somit jede festgestellte Verbesserung des Auslaufens einen Hinweis auf die potentielle Wirkung der Alternativmittel darstellt.

#### 4.1.2 Feldversuche

Ein direkter Effekt der Pflanzgutbehandlungen (sowohl Herbst- als auch Frühjahrsbehandlung) auf den Primärbefall der Pflanzen im *Feldversuch* konnte im Rahmen der hier dargestellten Untersuchungen nicht eindeutig festgestellt werden. Obwohl künstlich infizierte Knollen verwendet wurden, um den Befallsdruck zu erhöhen (Keil et al., 2010), konnten nur selten Fälle von primärem Stängelbefall beobachtet werden. Dies deckt sich mit Beobachtungen bzw. Berechnungen und Hypothesen in anderen Studien, die davon ausgehen, dass bei einer angenommenen latenten Befallsrate von 10% latent infizierten Knollen (siehe auch Zellner et al., 2011) und einer angenommenen Rate von nur 1% daraus hervorgehenden primär infizierten Pflanzen nur bei 0,1% der Pflanzen mit primärem Stängelbefall gerechnet werden kann (Powelson et al., 2002). Da die tatsächliche Entstehung von primärem Stängelbefall außerdem in hohem Maße von den klimatischen Bedingungen abhängig ist, ist die künstliche Herbeiführung dieses Befallsbildes nicht immer leicht erreichbar. So traten in der Saison 2012 wohl aufgrund der relativ trockenen Witterung im Frühsommer sowohl in Bayern als auch in NRW kaum primäre Stängelbefälle auf. Daher ließ sich der Versuch hinsichtlich der Wirkung von Pflanzgutbeizungen auf diese Art des Primärbefalls nicht auswerten. In der Saison 2013 trat wohl aufgrund der zu kalten Witterung trotz hoher Bodenfeuchte im Frühsommer sowohl in Bayern als auch in NRW kein primärer Stängelbefall (wie auch kein Blattbefall) auf und auch 2014 war aufgrund des sehr späten Epidemiebeginns (der dann i.d.R. nicht von Stängelbefällen seinen Ausgang nimmt) trotz hohem Ausmaß des Knollenbefalls kein primärer Stängelbefall festgestellt worden (vgl. Abb. 10).

Im Versuchsjahr 2014 konnte jedoch beobachtet werden, dass die im Frühjahr applizierte Kupferbeizung sich günstig zumindest auf die Auflaufrate ausgewirkt hatte. In diesem Jahr war die Infektion der dazugelegten (inokulierten) Knollen sehr intensiv bzw. sehr erfolgreich verlaufen, so dass fast alle diese Knollen nicht aufgelaufen waren. Auch die gebeizten (nicht inokulierten) Knollen hatten deutlich höhere Ausfallraten als in den anderen

beiden Jahren gezeigt. Das günstige Abschneiden der ‚Kupfer Frühjahr‘ Variante in diesem Versuch (mit sehr geringen Ausfallraten) zeigt, dass Beizungen die Knollen vor einer Infektion durch danebenliegende, infizierte Knolle schützen könne. Dass speziell Kupferbeizungen einen solchen Schutz bewirken können, wurde bereits in früheren Studien gezeigt (z.B. Zellner et al., 2007).

Die beobachteten Effekte auf den (sekundären) Blattbefall und den Ertrag (wie im Versuch 2012 in Bayern und in NRW) lassen außerdem den Schluss zu, dass die Beizungen (insbesondere die Cu-Frühjahrs-Beizung an beiden bayerischen Standorten, sowie Chitosan- und Phosphit-Beizung in NRW und Bayern) den Blattbefall mit *Phytophthora* in einem Kartoffelschlag verzögern bzw. mindern konnten. Dass diese Befallsreduktion ein unmittelbarer Effekt der Knollenbeizung auf den primären Stängelbefall war, ließ sich nicht eindeutig zeigen, da dieser Befallstyp selten beobachtet wurde bzw. auch selten auftrat. Dennoch bleibt denkbar, dass dieser Effekt auf einer Verzögerung des Befalls beruht, der u.U. indirekt durch die Beizungen ausgelöst wurde: die Behandlungen könnten eine Verringerung der Sporulation auf der Knolle bewirkt haben, was wiederum zu einer geringeren Sporenfracht im Boden führen würde, die ebenfalls Auslöser für eine beginnende Epidemie sein können, was sich häufig an der Tatsache erkennen lässt, dass frühe Blattbefälle an unteren Blättern auftreten (Andrivon, 1995). Auch eine Stärkung der pflanzeigenen Abwehr durch die Beizbehandlung ist denkbar, da z.B. Chitosan und Phosphit bekanntermaßen auf diese Weise wirken. So könnte auch eine Wirkung gegenüber anderen Schaderregern bzw. eine Ertragssteigerung auftreten.

In den insgesamt untypischen Krautfäule-Jahren 2013 und 2014 konnte ein solcher Effekt auf den Blattbefall nicht beobachtet werden. 2013 war insgesamt kein Befall festzustellen gewesen, 2014 setzte der Befall sehr spät ein und war somit deutlich weniger von Vorgängen und Sporenmengen im Boden beeinflusst als 2012.

### 4.1.3 Ausblick

Das in beiden Labor-Versuchsreihen zur Knollenbeizung (Lager- und Pflanzversuch) sowie teilweise auch in Feldversuchen positive Abschneiden des Phosphonat-Produktes zeigt erneut das Potential dieser Mittel als Kupferalternativen und bestätigt frühere Berichte über positive Wirkungen von Phosphonaten an Kartoffel (Lobato et al., 2008, 2010). Da jedoch die Rückstandsproblematik insbesondere bei dieser Anwendungsform bislang nicht endgültig geklärt ist, ist ein Einsatz von Phosphonaten im ökologischen Kartoffelanbau derzeit nicht wahrscheinlich (siehe auch Kap. 5.2). Eher wahrscheinlich wäre ein testweiser Einsatz der anderen Mittel in weiteren Feldversuchen oder Praxis-Testreihen, insbesondere des Chitosan-Produktes, das ebenfalls in beiden Labor-Versuchsreihen und Teilen der Feldversuche vielversprechende Ergebnisse brachte. Hier scheint die Möglichkeit zu bestehen, dass positive Erfahrungen aus anderen Bereichen, in denen gelagerte Früchte durch Chitosan-Behandlung vor Pilzbefall geschützt werden konnten (z.B. Romanazzi, 2010), auch auf Kartoffeln übertragen werden können. Darüber hinaus scheinen auch ertragssteigernde Effekte durch Chitosan beobachtet worden zu sein (s. auch Kowalski et al., 2009; Kurzwawska & Mazur, 2009). Das gute Abschneiden des Hefepräparates im Pflanzversuch wurde durch die Ergebnisse des Lagerversuchs nicht bestätigt. Dennoch wären auch bei diesem (kommerziellen) Produkt weitere Versuche notwendig bzw. wünschenswert. Da das Produkt gegen pilzliche Lagerfäule bei Äpfeln eingesetzt wird, wäre auch hier denkbar, dass tatsächlich auch Effekte gegen *Phytophthora* auf Kartoffelknollen auftreten.

Auch die Kupferbeizung hatte zumindest im Feldversuch 2014 positive Effekte gezeigt (in diesem Fall auf die Auflaufrate), während Kupfer in den Laborversuchen weniger gut abgeschnitten hatte. Die bereits früher gezeigte Wirkung von Kupfer als Beizmittel (Zellner et al., 2007) konnte also teilweise bestätigt werden. Die schlechte Wirkung im Laborversuch ist möglicherweise auf die dort noch zu hohen Anwendungsmengen (durch die intensivere Aufbringung) und die damit verbundene Phytotoxizität zurückzuführen. Dies zeigt auch, dass bei Versuchen in Labor und Gewächshaus die tatsächlichen Aufwandmengen einer Behandlung in der Praxis oft schlecht simuliert werden können, und u.U. in der Tendenz oft zu hoch liegen, da eine „sorgfältigere“ Aufbringung erfolgt. Hier besteht also hinsichtlich der oben genannten Alternativ-Produkte mit aggressiver Wirkung (z.B. Senf, Nelkenöl) noch Entwicklungspotenzial hin zu verträglicheren Anwendungsmengen.

## 4.2 Blattbehandlung

Entscheidender Baustein einer Kupfer-Minimierungsstrategie für den ökologischen Kartoffelbau wäre eine zumindest teilweise Substitution von Kupfer-Fungiziden durch andere, kupferfreie Präparate (BÖLW, 2010). Zur Evaluierung dafür in Frage kommender Produkte wurden im Rahmen der hier beschriebenen Studien zahlreiche kommerzielle, nicht-kommerzielle sowie Versuchs-Produkte in einem dreistufigen Verfahren, von Labor- über Phytotron- bis hin zu Feldversuchen für eine Blattbehandlung gegen *P. infestans* getestet.

### 4.2.1 Labor- und Phytotronversuche

Im Verlauf der Labor-Untersuchungen wurde deutlich, dass weder ein Blattscheibentest noch ein Test mit Einzelblättern, auf die ein Tropfen Sporangiensuspension aufgebracht wird, wie in vielen anderen Studien praktiziert (z.B. Stephan et al. 2005; Hadwiger & McBride 2006; Sharma et al. 2012) geeignet war für unsere Zwecke. Grund dafür war die Tatsache, dass die unterschiedlichen Blattbehandlungsmittel die Oberflächeneigenschaften der Blätter in unterschiedlicher Weise veränderten. Dies führte in manchen Fällen zu einem sofortigen Ablaufen bzw. Zerfließen des Tropfens, während der Tropfen in anderen Fällen stabil blieb. Beim Einsatz eines Blattscheibentests (mit ausgestanzten Blattstücken einheitlicher Größe) würde ersteres unmittelbar zu einer Infektion über die Schnittfläche der Blattscheibe führen, also über eine Blattverletzung. In ähnlicher Weise würde bei einem Einzelblatttest der angeschnittene Blattstiel u.U. als Eintrittspforte für die Infektion dienen. Beide Fälle würden eine Aussage über die Wirksamkeit eines Produktes auf unbeschädigten, gesunden Blattoberflächen verhindern. Das von uns entwickelte Verfahren mit einer auf die Blätter aufgelegten Agar-Scheibe konnte das Ablaufen der Tropfen weitgehend verhindern und so einheitliche Infektionsbedingungen unabhängig vom eingesetzten Mittel schaffen.

In der ersten Phase der Versuche wurden alle Mittel unter relativ hohem Infektionsdruck mit großen Sporenmengen in Einzelblatttests getestet, um potentiell wirksame Kandidaten für weitere Tests selektieren zu können. Hierbei zeigten – wie schon in anderen Studien – nur vergleichsweise wenige Alternativmittel signifikante Effekte gegen *Phytophthora*-Befall (z.B. Krebs et al., 2013).

Phosphonate sind seit langem als Mittel gegen *Phytophthora*-Befall in vielen Pflanzenarten bekannt (z.B. Guest & Grant, 1991; Jackson et al., 2000; Lobato et al., 2008) und waren auch in unseren Versuchen hochwirksam. Zwar werden Phosphonate innerhalb der Bio-Anbauverbände immer wieder als potentielle Alternativen zu Kupferpräparaten diskutiert (BÖLW, 2010), die Möglichkeit bzw. die Tatsache, dass nachweisbare Rückstände in

der Pflanze verbleiben, machen diese Alternative derzeit jedoch ungeeignet, da nicht vereinbar mit den Anforderungen des ökologischen Anbaus (Speiser et al., 2000; Speiser & Tamm, 2007). Aus diesem Grund wurde trotz der guten Ergebnisse im Einzelblattversuch auf einen weiteren Einsatz des Na Phosphonat-Produktes als Blattbehandlungsmittel im Verlauf unserer Versuche verzichtet.

Auch einige der pflanzlichen Mittel schnitten im Blattversuch relativ gut ab, so das Schachtelhalm-, das Süßholz- und das Zitrus-Testmittel, alles Versuchsmittel kommerzieller Hersteller, die noch in Entwicklung befindlich bzw. noch nicht auf dem Markt sind. Insbesondere hinsichtlich der Befallsstärke erreichten diese Mittel z.T. sehr gute Werte, die sich nur unwesentlich von denen des Kupferfungizids unterschieden. Auch wirksam, wenn auch etwas weniger, war ein kommerzielles Knöterich-Produkt, das laut Hersteller auf der Induktion pflanzlicher Abwehrreaktionen basiert (Su et al., 2012). Die gute Wirkung von Knoblauch gegen pilzliche Schaderreger wurde bereits intensiv wissenschaftlich untersucht (Portz et al., 2008). Ein kommerzielles Knoblauch-Präparat schnitt dementsprechend erwartungsgemäß zwar gut ab, allerdings nur in einer AF-Formulierung (,anwendungsfertig‘) mit ca. 10% Wirkstoffgehalt, die darüber hinaus an einzelnen Kartoffelblättern deutliche Blattschäden verursachte. In wirtschaftlich sinnvolleren und phytotoxisch unbedenklichen Konzentrationen (1-4%) fiel es stark ab. Ein weiteres Zitrus-Produkt, das in ersten Versuchsreihen gute Erfolge erzielen konnte und auch im Feldversuch 2012 zu Einsatz gekommen war, ist im Verlauf des Projektes aufgrund von festgestellten Verunreinigungen mit Desinfektionsmitteln vom Markt genommen worden und wurde daher nicht weiter getestet bzw. eingesetzt.

Zwei weitere kommerzielle Produkte – nicht auf pflanzlicher Basis – Chitosan und ein Blattdünger mit sehr niedrigem Kupfergehalt, zeigten im Einzelblattversuch gute Resultate. Chitosan wurde bereits vielfach als Substanz mit hohem Potential gegen Pilzbefall bei Pflanzen identifiziert (z.B. El Gaouth et al., 1994; Falcon-Rodriguez et al., 2007) und wurde auch in Kartoffeln schon erfolgreich eingesetzt (O’Herlihy et al., 2003; Kowalski et al., 2009; Kurzawinska & Mazur, 2009). Allerdings scheint die Wirkung auch hier stark vom Befallsverlauf abhängig zu sein, da auch Studien existieren, in denen im Feldversuch keine Wirkung festgestellt wurde (z.B. Almohamad et al., 2011). Der Kupfer-Blattdünger war in unseren Versuchen praktisch so effektiv wie das Kupfer-Fungizid und kann somit als das aus den Einzelblattversuchen als vielversprechendstes hervorgehende Produkt gelten. Auf den Blättern entwickelten sich trotz hoher Sporenmengen praktisch keine Symptome. Das Produkt hat sich in anderen Versuchen bereits als wirksam gegen Apfelschorf (*Venturia inaequalis*) im ökologischen Apfelanbau erwiesen (Kunz & Hinze, 2014). Laut Herstellerangaben sind möglicherweise die enthaltenen Säuren dafür verantwortlich, dass das Produkt eine gewisse Tiefenwirkung im Blatt hat. Dies wird auch durch die auftretende Phytotoxizität bestätigt, die bei höheren Anwendungskonzentrationen (so den empfohlenen 0,5%) auftrat. Die hier eingesetzte Konzentration von 0,1 % erwies sich jedoch als nicht phytotoxisch und ausreichend wirksam. Bei dieser Anwendungskonzentration ergäbe sich für den Blattdünger eine etwa 20-fach geringere ausgebrachte Reinkupfermenge als beim Einsatz des Standard-Kupferfungizides in voller Aufwandmenge.

Überraschenderweise konnte ein kommerzielles *Bacillus*-Produkt, das sich in verschiedenen anderen Studie bereits als wirksam herausgestellt hatte (e.g. Olanya & Larkin, 2006; Elliott et al., 2009), in unseren Einzelblattversuchen nicht überzeugen, und wurde nicht in weitere Testreihen miteinbezogen. Auch andere Präparate, die auf der Wirkung antagonistischer Mikroorganismen beruhen (Mycoparasitismus, Nährstoffkonkurrenz oder Modifi-

zierung des Mikrohabitats) zeigten in unseren Versuchen kaum Wirkung (*Pythium oligandrum*, *Aureobasidium pullulans*). Solche Produkte haben – mehr noch als die, die auf anderen Wirkmechanismen beruhen – u.U. sehr spezifische Anforderungen an äußere Gegebenheiten, die in unseren Blattversuchen möglicherweise nicht vollständig simuliert werden konnten. Eine mögliche Wirksamkeit solcher Präparate unter bestimmten Umweltbedingungen kann daher nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden.

Verbleibende Kandidaten nach der ersten Stufe der Versuche waren somit die zwei pflanzlichen Testmittel (Zitrus und Schachtelhalm), das Knöterich-Produkt, Süßholzextrakt sowie Chitosan und der Kupferdünger. Diese wurden in zusätzlichen Topfversuchen, die die Situation im Feld etwas besser simulieren sollten, entsprechend intensiver untersucht. Hierbei stellten sich insbesondere das Testmittel Zitrus, das Süßholzextrakt, Chitosan und der Blattdünger als hochwirksam heraus. Anders als in den Blattversuchen konnte hier selbst mit Kupfer zwar eine sehr deutliche Befallsminderung, jedoch keine vollständige Befallsfreiheit der Pflanzen erreicht werden (wohl aufgrund der Überdeckung der verschiedenen Blattetagen). Die getesteten Ersatzprodukte waren also in diesen Versuchen dem Kupferpräparat ebenbürtig.

Die genannten Alternativ-Mittel wurden in zusätzlichen Versuchen auch auf eine mögliche kurative Wirkung hin untersucht, wobei einige dabei ein gewisses Maß an Wirkung zeigten. Aufgrund der erwarteten eher geringen Wirkung der Präparate wurde der Versuch mit einer nur 6-stündigen Inkubation vor der Behandlung durchgeführt, ein Zeitraum, bei dem jedoch davon ausgegangen werden kann, dass erste Infektionsstellen durch Zoosporen bereits gesetzt sind (Cox & Large, 1960). Die Präparate konnten also Befallshäufigkeit und –stärke auch nach der Initiation der Infektion noch reduzieren. Dies bedeutet, dass diese Mittel theoretisch auch dann noch Schutz bieten könnten, wenn im Feld die ersten Infektionen bereits gesetzt sind, d.h. die Epidemie bereits begonnen hat. Diese Situation wird in der praktischen Anwendung im Feld mit hoher Wahrscheinlichkeit öfter auftreten als eine rein präventive Anwendung (mit strikt nach der Behandlung einsetzender Infektion). Das Standard-Kupferfungizid, der Kupfer-Dünger und drei pflanzenbasierte Präparate (Süßholz, Zitrus und Schachtelhalm) waren nahezu gleich wirksam, Chitosan und Knöterich dagegen wirkten hier nur unzureichend (obwohl sich für Chitosan immer noch ein statistisch signifikanter Effekt ergab). Die Steigerung der pflanzlichen Abwehr, die als Wirkmechanismus wohl beiden Präparaten zugrunde liegt, scheint nicht auszureichen, um unter *in vitro*-Bedingungen eine etablierte Infektion zu stoppen. Der Effekt der anderen Präparate allerdings ist umso überraschender, als bei diesen Mitteln als nicht-systemisch wirkenden Substanzen (inklusive Kupfer) grundsätzlich keine kurative Wirkung vermutet werden konnte. Vermutlich beruht die Wirkung auf keinem „echten“ kurativen Effekt, sondern eher auf einer Wirkung gegen die Sporen, die noch nicht gekeimt waren bzw. deren Keimschlauch nicht weit genug ins Innere des Blattes eingedrungen war. Die vermutete Tiefenwirkung des Blattdüngers (s.o.) könnte hierbei zusätzlich von besonderer Bedeutung sein.

#### 4.2.2 Feldversuche

Basierend auf den Erkenntnissen aus den verschiedenen Stufen der Labor- und Phytotron-tests wurden diverse Alternativmittel auch in Feldversuchen getestet. Die Feldversuche von 2012, die nicht auf dem letzten Kenntnisstand hinsichtlich potentieller Ersatzmittel (sondern vor Projektbeginn) geplant worden waren, beinhalteten noch keines der letztlich vielversprechendsten Präparate aus den Labor- und Phytotron-tests, bzw. ein solches (Chitosan) in nicht ausreichender Konzentration (0,1%). Keines der in diesem Feldversuch

eingesetzten Mittel konnte nennenswerten Schutz vor Krautfäule bieten. Das *Bacillus*-Präparat bestätigte im Feld die wenig erfolgreichen Vorversuche an Einzelblättern, und das Zitrus-Produkt ViCare alleine zeigte trotz passabler Labordaten im Feld keine Wirkung gegen Krautfäule.

Die gesamte Breite der vielversprechenden Alternativmittel wurde, nach einem befallsfreien Jahr 2013, erst 2014 in einem Kleinparzellenversuch an einem Standort sowie in einem Standard-Feldversuch an zwei Standorten abgedeckt. Obwohl die Ergebnisse dieser Tests noch nicht vollständig überzeugen konnten, bestätigten sie einige der aus den Labor- und Phytotronversuchen gewonnenen Erkenntnissen: ein Teil der Mittel, die auch nach den Vorversuchen in Labor und Klimakammer zu den wirksamsten gehört hatten, konnten auch im Feld zumindest tendenziell wirken. In den Standard-Feldversuchen konnten Chitosan (0,4%) und der Kupferblattdünger ein gewisses Maß an Schutz bieten, im Kleinparzellenversuch das Schachtelhalm- und das Süßholzpräparat, auch unter den 2014 vorherrschenden Bedingungen mit einem sehr späten Epidemiebeginn (vgl. Abb. 10). Der Infektionsdruck blieb bis zum Einsetzen der Abreife der Pflanzen im August sehr gering, so dass deutliche Unterschiede in den Behandlungen aufgrund der beginnenden Seneszenz der Pflanzen nicht wahrscheinlich waren. Dementsprechend wurden die Effekte hauptsächlich während der frühen Phasen der Epidemie beobachtet, zu einer Zeit als die Pflanzen erst am Beginn der Abreife standen. Bei einem anderen (früheren) Epidemieverlauf hätten sich also unter Umständen stärker ausgeprägte Unterschiede zur unbehandelten Kontrolle gezeigt.

Ähnlich wie in früheren Studien bestätigten unsere Feldversuche, dass auch Präparate, die in Labor und Gewächshaus guten oder vollständigen Schutz bieten konnten, unter Freiland- bzw. Praxisbedingungen nicht notwendigerweise gleichermaßen wirksam sind. Keines der getesteten Mittel alleine kann daher kurz- oder mittelfristig als Ersatz für Kupfer angesehen werden. Die Effizienz solcher Produkte ist möglicherweise stark beeinträchtigt durch ein geringes Maß an Regenfestigkeit und UV-Stabilität, wie bereits z.B. von Dorn et al. (2007) und Stephan et al. (2005) vermutet. Auch die Ausbringungseffizienz (also der Grad der Blattbenetzung) bei der Anwendung kann bei solchen nicht-systemisch wirkenden Mitteln eine entscheidende Rolle spielen, da nur die Blattbereiche geschützt werden können, die tatsächlich mit den Mittel benetzt wurden, was bei weiter unten oder innerhalb der Pflanze liegenden Blattbereichen schwer erreichbar ist. Ähnliches gilt auch für Kupferpräparate als reine Kontaktfungizide (Bangemann et al., 2014). Der „systemische“ Effekt einer Anregung der pflanzlichen Abwehr, der bei vielen alternativen Mitteln vorliegt, war zumindest unter den gegebenen Infektionsbedingungen nicht ausreichend, um die Pflanze vor Befall zu schützen. Dies zeigt auch, dass die für die Applikation eingesetzte Wassermenge bzw. die damit zusammenhängende Wirkstoffkonzentration in der Spritzbrühe u.U. von großer Bedeutung für die Wirksamkeit alternativer Pflanzenschutzmittel sein kann. Im Kleinparzellenversuch hatte sich gezeigt, dass zur vollständigen Benetzung der Pflanzen mehr als die oft üblichen 400 l/ha verwendet werden mussten. Die nicht vollständige Benetzung war u.U. auch Grund für das im Vergleich zu den Laborversuchen relativ schlechte Abschneiden des Kupferdüngers im Feldversuch. Die vom Hersteller empfohlenen 0.5 % waren zwar im Einzelblattversuch phytotoxisch, hätten sich aber im Feldeinsatz (bei nicht vollständiger Benetzung) möglicherweise als geeignet herausgestellt.

### 4.2.3 Ausblick

Insgesamt erwies sich keines der getesteten Mittel alleine als potentieller kurz- oder mittelfristiger Ersatzstoff für Kupferfungizide. Alternierende Anwendungen oder Anwendungen in Tankmischung mit Kupfer jedoch scheinen nach unseren Erfahrungen ein vielversprechender Weg zu sein, der allerdings weiterer Versuche bedürfte.

Was z.B. 2012 gezeigt werden konnte, war die Möglichkeit einer signifikanten Eindämmung der Krautfäule durch eine alternierende Anwendung von Kupfer und einem potenten Alternativmittel (in diesem Fall ViCare, inzwischen vom Markt). Ähnliches wurde z.B. auch von Krebs et al. (2013) beobachtet. Die Wirksamkeit einer solchen Strategie ist jedoch in hohem Maß vom Befallsverlauf abhängig, da es mit großer Wahrscheinlichkeit entscheidend ist, ob ein Alternativmittel während Phasen mit hohem oder niedrigem Befallsdruck angewendet wird. So ließe sich eine solche Konzeption verbessern, indem das verwendete Mittel dem Krautfäuledruck entsprechend ausgewählt wird. In Phasen mit niedrigerem Krautfäuledruck ließe sich so eine Kupferbehandlung u.U. leichter durch eine Behandlung mit einem Alternativ-Mittel ersetzen. In den vorliegenden Versuchen wurde dies aus logistischen Gründen nicht praktiziert und lässt sich somit nicht abschließend beurteilen. Eine entsprechende Strategie müsste in weiteren Feldstudien mit einer genau auf den jeweiligen Infektionsdruck abgestimmten Spritzfolge (unter Einbeziehung witterungsgestützter Prognosemodelle) getestet werden.

Auch Anwendungen von Kupfer und Alternativmitteln in Tankmischung könnten sich als geeignet für eine hinreichende Eindämmung der Krautfäule herausstellen. Zwar war dieser Ansatz in den Versuchen 2014 nicht erfolgreich (keine Unterschiede zwischen halber Kupferaufwandmenge und halber Kupferaufwandmenge + Alternativmittel), wurde aber noch nicht in ausreichendem Maße getestet (sowohl hinsichtlich Kombinationsmöglichkeiten als auch Aufwandmengen bzw. Wirkstoffkonzentrationen). Gute Ergebnisse wurden von Hadwiger & McBride (2006) mit einer Kombination aus gering-formuliertem Kupfer (Kupfersulfat-Pentahydrat) und Chitosan als „Haftsubstanz“ zur Erhöhung der Regenfestigkeit erzielt. Ähnliches wäre auch für den hier getesteten Blattdünger interessant, der lt. Angaben des Herstellers u.U. eine eher geringe Regenfestigkeit aufweist, was ebenfalls dessen schlechtes Abschneiden in den Feldversuchen erklären könnte. Auch in konventionellen Spritzstrategien wurde Chitosan bereits als mögliche Zumischung zum Fungizid vorgeschlagen (O'Herlihy et al. 2003). Diese Herangehensweise, die nicht auf einen vollständigen Kupferersatz abzielt, sondern eine Reduzierung durch zusätzlichen Einsatz gut wirkender Alternativmittel beinhaltet, sollte in zukünftigen Versuchen mehr Aufmerksamkeit erhalten. Zusammen mit weiteren ackerbaulichen und technischen Maßnahmen wie Krautreduzierung und Knollenbeizung könnten Blattbehandlungen mit alternativen Mitteln so in Ergänzung zu Kupfer Teil einer Krautfäule-Behandlungsstrategie für den ökologischen Kartoffelbau sein.

### 4.3 Reduktion der Tochterknolleninfektion

Im Rahmen einer solchen Krautfäule-Behandlungsstrategie sollte nicht nur das Ausmaß der Knollenkontamination und des Blattbefalls durch Anwendung von Kupfer bzw. kupferfreien Präparaten reduziert werden, sondern – im Sinne einer Vorbeugung – auch die Menge der während der Saison auf die neuen Knollen gelangenden Sporen. Dieser Kontakt zwischen Knolle und Pilz führt letztlich zu den beobachteten, relativ hohen latenten Durchseuchungsgraden in Pflanzkartoffel-Chargen (Zellner et al., 2011). Solche Knolle-

ninfektionen sind der Haupt-Eintragsweg von *Phytophthora*-Inokulum ins Feld und so Ausgangspunkte für nachfolgende Krautfäule-Epidemien (Wharton et al., 2012). Im Rahmen der hier durchgeführten Untersuchungen zur Reduktion der Tochterknolleninfektion konnten aufgrund der in den Versuchsjahren herrschenden Infektionsbedingungen und Epidemieverläufe keine Ergebnisse gewonnen und keine zusätzlichen Erkenntnisse gewonnen werden. Es ist in der ökologischen Kartoffelanbau-Praxis üblich, mithilfe einer richtig terminierten Krautreduktion eine starke Infektion der geernteten Knollen zu vermeiden und so das Braunfäule-Risiko im Lager zu minimieren (Kühne et al., 2013). Dies geschieht im Idealfall so, dass die Ertragsverluste durch die Krautreduktion minimal bleiben, bzw. die Pflanzen bzw. Knollen sich hinsichtlich Ertragsbildung, Stärkegehalt und Sortierung in einem für solche Maßnahmen geeigneten Stadium befinden. Im Rahmen des Projektes sollte mithilfe molekularbiologischer Nachweismethoden (PCR) die tatsächliche Wirkung unterschiedlicher Krautreduktionsmethoden genauer analysiert werden. Es war geplant, mithilfe solcher sehr sensitiver Nachweisverfahren unterschiedlich terminierte bzw. unterschiedlich durchgeführte Krautreduktionen in ihrer Wirkung auf den Kontaminationsgrad der Knollen unterscheiden zu können. Ausgehend von der Vermutung, dass ca. 10% der Pflanzknollen latent mit *Phytophthora* infiziert sind (Zellner et al., 2011) sollte überprüft werden, ob frühere Krautreduktionen zu insgesamt geringeren Werten bzw. zu geringeren Werten als bei späteren Terminen bzw. als in der nicht-krautreduzierten Kontrolle führen.

In der Saison 2012 konnten nur sehr wenige positive Nachweise für *Phytophthora*-Befall geführt werden, so dass hinsichtlich der Versuchsfrage keine Aussage gemacht werden konnte. 2013 trat kein Befall auf und es wurden keine Krautreduktionsmaßnahmen durchgeführt. Im Jahr 2014 schließlich, mit relativ starkem, aber spätem Befall, wurde die PCR-Analyse nicht durchgeführt. Es wurde davon ausgegangen, dass latenter Knollenbefall sich nach längerer Lagerungszeit bei „schlechten“ Bedingungen auch in Form von sichtbarer Braunfäule äußern würde. Allerdings konnte an den Knollen in keiner der Behandlungen Braunfäule-Befall festgestellt werden.

Die hier durchgeführten Untersuchungen waren also nicht in der Lage, die Reduktion des Kontaminations-Risikos durch Krautentfernung mit festen Zahlen weiter zu untermauern. Die Wirksamkeit solcher Methoden zur Infektionsreduktion ist jedoch unbestritten und wird in der Öko-Praxis bereits vielfach angewandt. Eine zahlenmäßige Unterfütterung solcher Maßnahmen wäre geeignet gewesen, der Praxis zumindest ansatzweise bessere Handlungsempfehlungen im Spannungsfeld zwischen Ertragsreduktion und Infektionsrisikominimierung an die Hand zu geben. Dies war aufgrund der im Projektzeitraum herrschenden Infektionsbedingungen nicht möglich, da das Ausmaß und die Bedeutung der Knolleninfektion (wie auch das der primären Stängelbefälle) in hohem Maße witterungsabhängig ist. Die Öko-Beratung jedoch wird hier – aufgrund bereits existierender Daten – weiterhin auf die zu Saisonende fälligen Maßnahmen zur Krautminimierung und zur Reduktion der Tochterknolleninfektion hinweisen können.

## 5 Zusammenfassung

Die Kraut- und Knollenfäule der Kartoffel (*Phytophthora infestans*) kann im ökologischen Kartoffelanbau hohe wirtschaftliche Einbußen verursachen. Sie kann bislang nur durch die Anwendung von Kupfer-Präparaten effektiv reguliert und bekämpft werden. Die Anreicherungsproblematik im Boden und mögliche negative Auswirkungen auf Nicht-Ziel-Organismen machen jedoch eine Reduktion des Kupfereinsatzes erforderlich.

Ausgangspunkt der Epidemie ist in vielen Fällen die infizierte Pflanzknolle, von der aus sich primäre Infektionsstellen bilden. Vom infizierten Kraut in die Dämme gespülte Sporen infizieren wiederum die neuen Knollen und somit das Pflanzgut für die nächste Saison. Im Rahmen eines Projektes zur Reduzierung des Kupfereinsatzes sollen Wege zur Reduktion des Primärbefalls im ökologischen Kartoffelbau gefunden werden. Dies soll einerseits über eine Krautbehandlung mit kupferfreien Alternativmitteln und andererseits über eine Knollenbeizung mit Kupfer bzw. Alternativmitteln erreicht werden.

In zahlreichen Labor-, Gewächshaus- und Freilandversuchen wurden diverse kommerzielle und nicht-kommerzielle Präparate auf ihre Eignung als Kupferalternativen getestet. Laborergebnisse mit künstlich infizierten, behandelten Einzelblättern liegen für über 20 alternative Präparate vor. Hier konnten bei einigen Mitteln Wirkungsgrade ähnlich wie bei Kupferhydroxid erreicht werden. Diese Ergebnisse konnten auch an ganzen, künstlich infizierten Pflanzen in Topfversuchen unter kontrollierten Bedingungen bestätigt werden. Die wirksamsten Präparate (Chitosan, ein Knöterich-Präparat, je ein Süßholz-, ein Schachtelhalm- und ein Zitrus-Testmittel sowie ein Blattdünger mit niedrigem Kupfergehalt) zeigten z.T. auch kurative Wirkung und wurden auch in Feldversuchen unter Praxisbedingungen getestet. Süßholz, Chitosan, das Schachtelhalm-Mittel und der Kupferdünger zeigten in den Versuchen eine gewisse Wirkung gegen Blattbefall, trotz eines teilweise sehr späten Epidemiebeginns. Andere Alternativmittel zeigten keine Wirkung im Feldversuch. Die Kombination von reduzierten Kupfermengen mit Alternativmitteln brachte in Abhängigkeit vom Befallsverlauf z.T. eine der Standard-Kupfermenge fast ebenbürtige Wirkung, jedoch ist diese Strategie – ebenso wie die Wirksamkeit der Kupfer-Alternativen insgesamt – stark vom Befallsverlauf abhängig.

Auch Knollenbeizungen vor der Lagerung bzw. vor der Pflanzung können Schutz vor *Phytophthora*-Infektionen bieten. In Labor- und Gewächshausversuchen mit künstlich infizierten Knollen brachten viele Alternativmittel sowie eine Warmwasserbehandlung eine Erhöhung der Überlebensrate der Pflanzen, bzw. eine Verringerung der Fäule an gelagerten Knollen. Dies deutet darauf hin, dass die Mittel gegen den auf der Knolle sitzenden Erreger wirken können. Phosphonat, Chitosan und ein Hefe-Präparat zeigten die beste Wirkung. In Feldversuchen konnte eine Wirkung auf den Primärbefall noch nicht eindeutig nachgewiesen werden, jedoch zeigten 2012 die gebeizten Parzellen geringere Krautfäule-Befallsraten. 2014 konnten durch Kupferbeizungen deutlich verbesserte Auflaufraten erzielt werden. Zusammen mit weiteren ackerbaulichen und technischen Maßnahmen wie mechanischer oder thermischer Krautreduktion könnten Blattbehandlungen und Beizungen mit bestimmten alternativen Mitteln im Austausch für oder in Ergänzung zu Kupfer Teil einer Krautfäule-Behandlungsstrategie für den ökologischen Kartoffelbau werden und so der angestrebten weiteren Reduktion der Kupfereinsatzmengen dienen. Allerdings müssten hierzu weitere Feldversuche unter unterschiedlichem *Phytophthora*-Befallsdruck durchgeführt werden. Außerdem müssten die Mittel hinsichtlich ihrer UV- und Regenstabilität optimiert werden.

## Literaturverzeichnis

- 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.). vTI Agriculture and Forestry Research 2, 101-114.
- Andrivon D, 1995: Biology, ecology, and epidemiology of the potato late blight pathogen *Phytophthora infestans* in soil. Phytopathology 85, 1053-1056.
- Anonymous, 2009: Richtlinie der Kommission 2009/37/EC vom 23. April 2009. Amtsblatt der Europäischen Union, L104/ 23-32.
- Appel R, Adler N, Habermeyer J, 2001: A method for the artificial inoculation of potato tubers with *Phytophthora infestans* and polymerase chain reaction assay of latently infected sprouts and stems. Journal of Phytopathology 149, 287-292.
- Bangemann LW, Westphal A, Zwerger P, Sieling K, Kage H, 2014: Copper reducing strategies for late blight (*Phytophthora infestans*) control in organic potato (*Solanum tuberosum*) production. Journal of Plant Diseases and Protection 121, 105-116
- Bäßler R, Habermeyer J, Zellner M, 2002: Krautfäule-Befall durch Pflanzgutbeizung verzögern. Kartoffelbau 53, 126-129.
- Benker M, Zellner M, Wagner S, 2006: Neue Ansätze zur Optimierung der Kraut- und Knollenfäulebekämpfung im ökologischen Kartoffelanbau. Gesunde Pflanzen 58, 18-27.
- Bowers JH, Locke JC, 2004: Effect of formulated plant extracts and oils on population density of *Phytophthora nicotianae* in soil and control of *Phytophthora* blight in the greenhouse. Plant Disease 88, 11-16.
- Bund Ökologische Lebensmittelwirtschaft (BÖLW), 2010: Strategiepapier zu Kupfer als Pflanzenschutzmittel unter besonderer Berücksichtigung des Ökologischen Landbaus. Berlin. 73 S.
- Caldiz DO, Rolon DA, Di Rico J, Andreu AB, 2007: Performance of Dimethomorph + Mancozeb applied to seed potatoes in early management of Late Blight (*Phytophthora infestans*). Potato Research 50, 59-70.
- Cox AE, Large EC, 1960: Potato blight epidemics throughout the world. US Department of Agriculture Handbook No. 174, 230 S.
- 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.
- Elliott M, Shamoun SF, Sumampong G, James D, Masri S, Varga A, 2009: Evaluation of several commercial biocontrol products on European and North American populations of *Phytophthora ramorum*. Biocontrol Science & Technology 19, 1007-1021.

- 
- Forrer H-R, Dorn B, Krebs H, Musa T, 2010: Kupferminimierung und Einsatz kupferfreier Präparate in der Krautfäulebekämpfung. *Kartoffelbau* 61, 176-181.
- Guest D, Grant B, 1991: The complex action of phosphonates as antifungal agents. *Biological Reviews* 66, 159-187.
- Hadwiger LA, McBride PO, 2006: Low-level copper plus chitosan applications provide protection against late blight of potato. *Plant Health Progress*. doi:10.1094/PHP-2006-0406-01-RS.
- Inglis DA, Powelson ML, Dorrance AE, 1999: Effect of registered potato seed piece fungicides on tuber-borne *Phytophthora infestans*. *Plant Disease* 83, 229-234.
- Jackson TJ, Burgess T, Colquhoun I, Hardy GESTJ, 2000: Action of the fungicide phosphite on *Eucalyptus marginata* inoculated with *Phytophthora cinnamomi*. *Plant Pathology* 49, 147-154.
- Johnson DA, 2010: Transmission of *Phytophthora infestans* from infected potato seed tubers to emerged shoots. *Plant Disease* 94, 18-23.
- Johnson DA, Cummings TF, 2009: Latent infection of potato seed tubers by *Phytophthora infestans* during long-term cold storage. *Plant Disease* 93, 940-946.
- Keil S, Zellner M, 2009: Neue Erfahrungen zur Krautfäulebekämpfung im ökologischen Kartoffelanbau. *Angewandte Forschung und Beratung für den ökologischen Landbau in Bayern – Öko-Landbau-Tag 2009, Freising, LfL-Schriftenreihe 7/2009*, 99-103.
- Keil S, Benker M, Zellner M, 2010: Double setting of potato seed tubers as a new approach to research primary stem blight (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary). *American Journal of Potato Research* 87, 27-31.
- Kowalski B, Jimenez Terry F, Köppen D, Agramonte Penalver D, 2009: Soluble chitosan applied as potato seed tuber treatment and foliar sprays under subtropical and temperate conditions – effect on yield parameters and disease incidence. In: ISTRC (Hrsg.) Proceedings of the 15th Triennial ISTRC Symposium, 2.-6. November 2009. Lima, 224-233.
- Krebs H, Musa T, Vogelgsang S, Forrer H-R, 2013: Kupferfreie Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule im Bio-Kartoffelbau? *Agrarforschung Schweiz* 4, 238-243.
- Kühne S, Bieberich L, Piorr H-P, Landzettel C, 2013: Möglichkeiten zur Reduktion kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel für den Öko-Kartoffelanbau. *Kartoffelbau* 64 (6), 31-33.
- Kunz S, Hinze M, 2014: Assessment of biocontrol agents for their efficacy against apple scab. In: FÖKO e.V. (Hrsg.) Proceedings of the 16th International Conference on Organic Fruit-Growing. 17.-19. Februar 2014, Hohenheim. FÖKO e.V., Weinsberg, 65-71.

- Kurzawińska H, Mazur S, 2009: The evaluation of *Pythium oligandrum* and chitosan in control of *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary on potato plants. *Folia Horticultura* 21, 13-23.
- Lees AK, Sullivan L, Lynott JS, Cullen DW, 2012: Development of a quantitative real-time PCR assay for *Phytophthora infestans* and its applicability to leaf, tuber and soil samples. *Plant Pathology* 61, 867-876.
- Lobato MC, Olivieri FP, González Altamiranda EA, Wolski EA, Daleo GR, Caldiz DO, Andreu AB, 2008: Phosphite compounds reduce disease severity in potato seed tubers and foliage. *European Journal of Plant Pathology* 122, 349-358.
- Lobato MC, Olivieri FP, Daleo GR, Andreu AB, 2010: Antimicrobial activity of phosphites against different potato pathogens. *Journal of Plant Diseases and Protection* 117, 102-109.
- Nechwatal J, Wagner S, Zellner M, 2014: Pflanzenschutz-Rückblick 2014, Süddeutschland. *Kartoffelbau* 65 (12), 8-13
- O'Herlihy EA, Duffy EM, Cassells AC, 2003: The effects of arbuscular mycorrhizal fungi and chitosan sprays on yield and late blight resistance in potato crops from microplants. *Folia Geobotanica* 38, 201-207.
- Olanya OM, Larkin RP, 2006: Efficacy of essential oils and biopesticides on *Phytophthora infestans* suppression in laboratory and growth chamber studies. *Biocontrol Science & Technology* 16, 901-917.
- Platt HW, Peters RD, Medina M, Arsenault W, 1999: Impact of seed potatoes infected with *Phytophthora infestans* (US-1 or US-8 Genotypes) on crop growth and disease risk. *American Journal of Potato Research* 75, 67-73.
- Portz D, Koch E, Slusarenko AJ, 2008: Effects of garlic (*Allium sativum*) juice containing allicin on *Phytophthora infestans* and downy mildew of cucumber caused by *Pseudoperonospora cubensis*. *European Journal of Plant Pathology* 122, 197-206.
- Powelson ML, Ludy R, Partipilo H, Inglis DA, Gundersen B, Derie M, 2002: Seed borne late blight of potato. *Plant Health Progress*. doi:10.1094/PHP-2002-0129-01-HM.
- Powelson ML, Inglis DA, 1999: Foliar fungicides as protective seed piece treatments for management of late blight of potatoes. *Plant Disease* 83, 265-268.
- Romanazzi G, 2010: Chitosan treatment for the control of postharvest decay of table grapes, strawberries and sweet cherries. *Fresh Produce* 4 (Special Issue 1), 111-115.
- Sharma K, Bruns C, Butz AF, Finckh MR, 2012: Effects of fertilizers and plant strengtheners on the susceptibility of tomatoes to single and mixed isolates of *Phytophthora infestans*. *European Journal of Plant Pathology* 133, 739-751.
- Speiser B, Berner A, Häseli A, Tamm L, 2000: Control of downy mildew of grapevine with potassium phosphonate: effectivity and phosphonate residues in wine. *Biological Agriculture & Horticulture* 17, 305-312.

- 
- Speiser B, Tamm L, 2007: Could phosphite be a new fungicide for organic farming? New AG International, September 2007, 26.
- Stephan D, Schmitt A, Martins Carvalho S, Seddon B, 2005: Evaluation of biocontrol preparations and plant extracts for the control of *Phytophthora infestans* on potato leaves. European Journal of Plant Pathology 112, 235-246.
- Su H, Blair R, Johnson T, Marrone P, 2012: REGALIA® Bioprotectant in plant disease management. Outlooks on Pest Management 23, 30-34.
- Sunseri MA, Johnson DA, Dasgupta N, 2002: Survival of detached sporangia of *Phytophthora infestans* exposed to ambient, relatively dry conditions. American Journal of Potato Research 79, 443-450.
- Wharton PS, Kirk WW, Schafer RL, Tumbalam P, 2012: Evaluation of biological seed treatments in combination with management practices for the control of seed-borne late blight in potato. Biological Control 63, 326-332.
- Wilbois K-P, Kauer R, Fader B, Kienzle J, Haug P, Fritzsche-Martin A, Drescher N, Reiners E, Röhrig P, 2009: Kupfer als Pflanzenschutzmittel unter besonderer Berücksichtigung des Ökologischen Landbaus. Journal für Kulturpflanzen 61, 140-152.
- Zellner M, Keil S, Benker M, Kleinhenz B, Bangemann L, 2007: Entwicklung, Überprüfung und Praxiseinführung des Prognosesystems ÖKO-SIMPHYT zur gezielten Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*) im ökologischen Kartoffelanbau mit reduzierten Kupferaufwandmengen. Abschlussbericht Forschungsprojekt im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau, 125 S.
- Zellner M, Keil S, Benker M, 2011: Latent infection rate of potato seed tubers with *Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary – an underestimated problem. Journal für Kulturpflanzen 63, 13-16.

## **Danksagung**

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) und der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) für die finanzielle Förderung im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft (BÖLN). Die Autoren danken außerdem Johann Hofbauer, Ute Jaedtke, Adél Varga, Steffen Wagner und Bernhard Weber (LfL-IPS 3c), Eberhard Heiles (LfL-Versuchsstation Puch), Rudolf Beck (LfL-Versuchsstation Strassmoos) sowie Andreas Hatzl und Martin Huber (Bio-Landwirte Olching) für die technische Unterstützung bei der Durchführung des Projekts.