

Kupferminimierungsstrategien im ökologischen Kartoffelbau -Versuche 2002 bis 2007 Einfluss von Mitteleinsatz, Prognose und Nährstoffversorgung

Christian Bruns, Elmar Schulte-Geldermann, Frank Hayer, Maria R. Finckh
Universität Kassel, Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften
Nordbahnhofstr. 1a, 37213 Witzenhausen, bruns@wiz.uni-kassel.de

Einleitung

Die Kontrolle von *Phytophthora infestans* stellt für den ökologisch wirtschaftenden Kartoffelanbauer stets eine Herausforderung dar. Zur direkten Befallskontrolle stehen nach wie vor nur Kupfermittel zur Verfügung, was jedoch jüngst in der Haltung der Benennungsbehörden und seitens der Europäischen Union zu neuen kritischen Diskussionen Anlass gab. Während im ökologischen Anbau Kupferapplikationen bis 6 kg pro ha und Jahr nach EU-Verordnung zulässig sind, liegen die Obergrenzen in der Schweiz bei 4 kg und in Deutschland für die meisten Anbauverbände bei 3 kg. Beim Demeterverband bzw. in den Niederlanden und Skandinavien ist der Kupfereinsatz vollständig verboten. Aufgrund der Toxizität und der mangelnden Übereinstimmung mit den Grundsätzen des ökologischen Anbaus wird der Kupfereinsatz zur Bekämpfung von *Phytophthora infestans* und zur Bekämpfung anderer Krankheiten allgemein und im ökologischen Anbau im Besonderen von der Öffentlichkeit sehr kritisch betrachtet.

In den letzten Jahren ergaben detaillierte Ertrags-Verlust-Analysen unserer Arbeitsgruppe zu Daten aus dem ökologischen Kartoffelbau, dass der Befall mit *P. infestans* nur rund 30 % der Ertragsvariationen erklären kann. In weitergehenden – bisher nur teilweise veröffentlichten – multivariaten Analysen wurde gezeigt, dass dagegen 85 % der Ertragsvariationen durch die N-Ernährung (N-Angebot und N-Aufnahme) erklärt werden können (Hayer, et al. 2007). Dabei nimmt die N-Aufnahme den stärksten Einfluss für die Modelle ein. Dies ist für die Etablierung von Kontrollstrategien und damit auch zur Frage eines angemessenen Einsatzes von Kupfer entscheidend. Gemeinhin wird der Ertragswirkung von *P. infestans* im ökologischen Kartoffelanbau generell eine hohe Bedeutung zugemessen. Dagegen belegen aber einige Arbeiten, dass neben dem Einfluss der Krankheit, eine Vielzahl von Faktoren und deren Interaktionen eine Rolle spielen wie die Sortenwahl (z. B. Sorten mit hohem, frühen Knollenansatz) und die Ernährung mit Stickstoff (Nährstoffangebot und –aufnahme zu relevanten Zeitpunkten) oder das Vorkeimen, die die Ertragsvariationen erklären können (Finckh et al., 2006; Möller et al., 2006; Möller und Reents, 2007, Haase et al., 2007).

Ziel unseres Beitrages soll ein Überblick über Ergebnisse von Experimenten der Uni Kassel in den Jahren 2002-2007 sein, die die Komponenten Mittelloptimierung, Anwendung von Prognoseverfahren und Ernährung kombiniert haben. Dazu wurden neue Versuchsmittel der Fa Spieß Urania mit Cuprozin flüssig verglichen, zur Prognose und Applikationsoptimierung das Schweizer Verfahren BioPhytoPRE angewendet (Musa und Forrer, 2005) und Verfahren der Reihenapplikation von N-Düngern genutzt.

Material und Methoden

Da ein Großteil der Ergebnisse der Experimente veröffentlicht ist, werden in einem Überblick nur die wichtigsten Informationen angegeben.

Während der Zeit von 2002 bis 2007 erfolgten die Versuche auf den gleichen Standorten (Schläge Teilanger und Meyerbreite, Versuchsbetrieb Neu-Eichenberg/Hebenshausen; 70 – 80 BP; 8.5° C; 650mm Niederschlag); bei den hier behandelten Versuchen wurde die Sorte Nicola verwendet. Die Versuche enthielten meist mehrere Dünge­stufen in Form unterschiedlicher Fruchtfolge­stellungen der Kartoffel nach Klee­gras oder unterschiedlicher Dünge­stufen von N-

Düngern, die in Form von Reihenapplikation als Unterfußdüngung vorgenommen wurden (150, 75 und 40 kg N ha⁻¹). Im Versuch des Jahres 2006 stand die Kartoffel nur nach Klee-gras. 2002-2004 stand die Kartoffel gestaffelt im ersten Jahr bzw. im 2. Jahr nach Klee-gras (Vorfrucht Winterweizen) bzw. in 2004 noch nach Hafer im 3. Jahr nach Klee-gras (Finckh et al., 2006); verglichen wurde die Behandlung mit Kupfer in Form von Cuprozin flüssig mit 500g Cu / Applikation und Gesamtmengen von 1,5 (2003 und 2004) bis 2 kg Cu (2002). Im Jahr 2004 und 2005 wurde das Versuchsmittel SPU 1010 mit 157g Cu / Applikation (insgesamt 1.1 kg Cu bei 7 Anwendungen) und in den Jahren 2006-2007 das Versuchsmittel SPU 2690 mit 200g Cu / Applikation (insgesamt 1kg Cu 2006, 2kg Cu 2007) in 500 l Wasser / ha verwendet.

Das von unserer Arbeitsgruppe verwendete Prognosemodell BioPhytoPre des Agroscope Reckenholz / Tänikon (Schweiz) (Musa und Forrer, 2005) basiert auf einer regionalen Klima- und Wetterbedingten Prognose des Infektionsrisikos durch *P. infestans* (Hauptinfektions- und Sporulationsperioden (HISP), mindestens 6 h Niederschlag > 1mm, Minimal 6 h kontinuierlich rel. Luftfeuchtigkeit > 90%, Tagesmittel-Temperatur > 10° C). Die Empfehlung berücksichtigt darüberhinaus regionale Befallsmeldungen, die Sortenanfälligkeit, das Entwicklungsstadium, den aktuellen Schutz (Dauer des Schutzes aufgrund des Abstandes zur letzten Behandlung) und die ausgebrachte Reinkupfermenge.

Um den Zusammenhang zwischen Ertragsbildung und Befallsgeschehen besser zu verstehen, wurden mehrfach auch Zeiternten an bis zu drei Terminen durchgeführt (75, 85 und 95 Tage nach Pflanzung).

Grundsätzlich wurde der Befallsverlauf ab Befallsbeginn in einem 2-3tägigen Abstand bis zum Absterben der Bestände nach der Boniturskala von James (1971) bewertet. Der Befallsverlauf wurde über die Saison als Fläche unter der Befallskurve zusammengefasst und dieser Parameter genutzt, um mit Hilfe multipler Regressionsverfahren die Ertrags-Verlustbeziehungen zu ermitteln.

Ausgewählte Ergebnisse und Diskussion

Befallsverläufe, Einfluss von Mitteln und Prognose

Zwischen 2002 bis 2007 schwankte der Befallsbeginn zwischen 18.6. (2007) und 18.7. (2006) und verlief im Mittel über einen Zeitraum von 4 – 6 Wochen bis zum Absterben der Bestände. Die Befallsverläufe der Jahre 2006 und 2007 stellen die Extremfälle eines sehr späten und langsamen Verlaufes der Krankheit bzw. eines sehr frühen Befallsbeginns dar. In der Mehrzahl der Fälle lag der Befallsbeginn aber durchschnittlich am 11.7 und eine Befallsstärke von 50% wurde nach 21 Tagen erreicht (Abb.1).

Abb. 2 zeigt den Befallsverlauf im Jahr 2005 von mit Kupfer (SPU 1010) behandelten Beständen in einer ungedüngten und mit 150 kg N/ha (Reihenapplikation) gedüngten Variante. Die Behandlungen begannen zum Auftreten der ersten Spuren der Krankheit im Bestand am 5. Juli und erstreckten sich in in der Saison auf 7 weiteren Behandlungen (157g Cu /Applikation), die auf Basis der o. g. Merkmale des Prognoseverfahrens und der wetterbedingten Angabe der Befallsprognose angewendet wurden. Neben der klaren Wirkung der Kupferbehandlung wurde deutlich, dass zwischen dem Verlauf der gedüngten und ungedüngten Variante in der Kontrolle keine Unterschiede zu verzeichnen waren, während in beiden Kupfervarianten der Einfluss der Düngung deutlich wurde, die sich in Form einer einerseits besseren Bestandsentwicklung und andererseits in einem höheren Befall aufgrund des Kleinklimas bemerkbar machte. Die Behandlung der Bestände fiel zwar in die Phase der Hauptertragsentwicklung, aber 97 Tage nach der Pflanzung war schon etwa 85 % des Endertrages erreicht (siehe Abb. 2, orange Pfeile kennzeichnen die Zeitpunkte und Abb. 3).

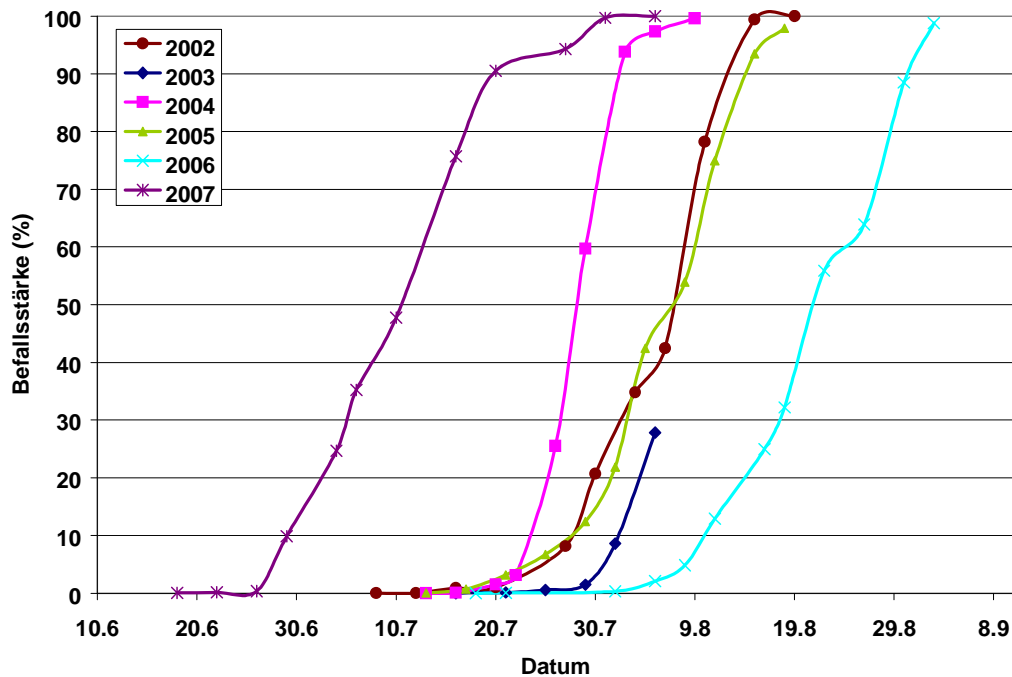


Abb. 1: Befallsverlauf von *P. infestans* in Kartoffeln in den Jahren 2002 bis 2007 am Standort Hebenshausen / Neu Eichenberg; alle Kurven repräsentieren Varianten ohne Behandlungen

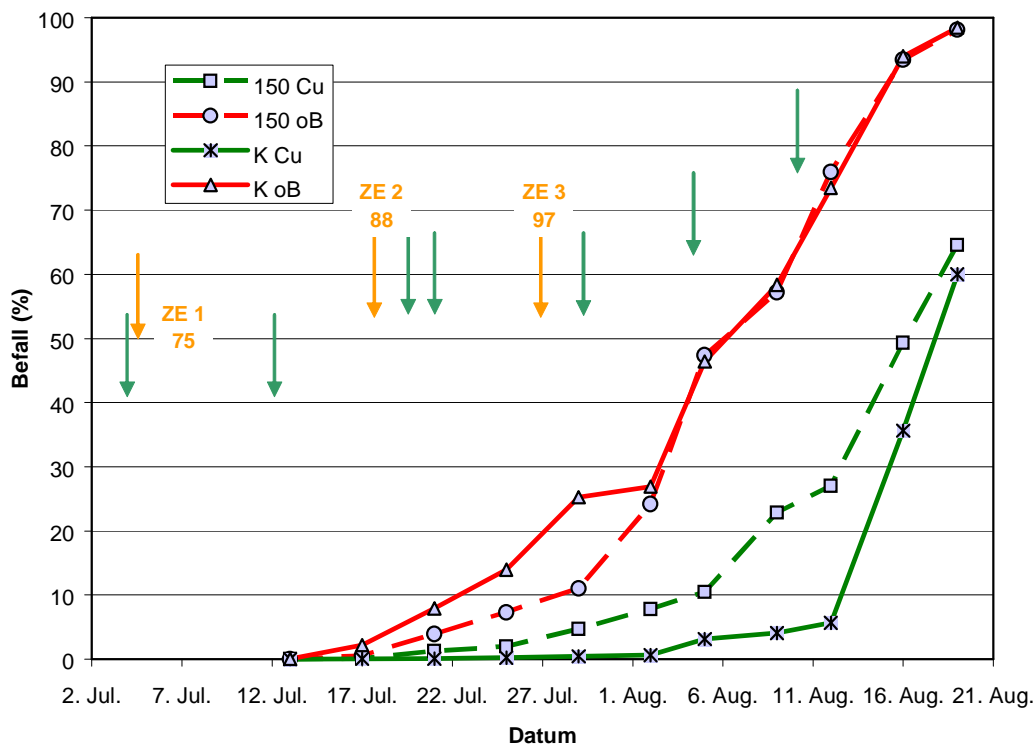


Abb. 2: Befallsverlauf von *P. infestans* im Jahr 2005 in Abhängigkeit von Düngung (ohne und mit 150 kg N (BioFeed Basis als Reihenapplikation) und Kupferbehandlung (SPU 1010, 157 g Cu/ Applikation, grüne Pfeile); orange Pfeile zeigen die Anzahl Tage nach Pflanzung und Zeitpunkte der Erhebungen zur Ertragsdynamik

Vergleicht man die beiden Kurven des Ertragsverlaufes in Abhängigkeit von Düngung und Kupferbehandlung, so zeigte sich (Abb. 3), dass die Düngung infolge des verbesserten Knollenansatzes und Ertragsbildung einen deutlich höherer Einfluss auf den Ertrag hatte als die Kupferbehandlung. Im Mittel über verschiedene Düngungsstufen und –behandlungen (hier nicht alle gezeigt) konnte zwar auch in diesem Versuch eine signifikante Befallsverminderung durch Kupfer von 58 % ermittelt werden, die Ertragswirkung lag aufgrund des Befallsverlaufes und Ertragsdynamik im Mittel bei 11 % (siehe Abb. 4a und 4b). Vergleicht man die Befallsverminderung zu den Jahren vor Anwendung des Prognoseverfahrens, so zeigte sich eine deutliche Steigerung in der Effizienz der Mittel, die auch gerade durch die guten Erfolge im Jahr 2007 mit dem sehr frühen Befall bei einem relativ geringen Aufwand an 2 kg Cu noch unterstrichen wird. In den übrigen Jahren lag der Aufwand bei 1 bis 1,5 kg (Abb. 4a). Die Ertragswirkung der Kupferbehandlung (und Prognose) lagen in den Jahren 2002 bis 2006 zwischen 8 bis 26 % während im Jahr 2007 aufgrund des frühen Befalls die Ertragswirkung bei 96 % lag (Abb. 4 b). Insgesamt trug die Kombination aus der Anwendung des Vorhersagemodells und Kupfer sowohl zu einer Effizienzsteigerung des Kupfereinsatzes als auch zu einer deutlichen Verringerung der Aufwandmengen bei.

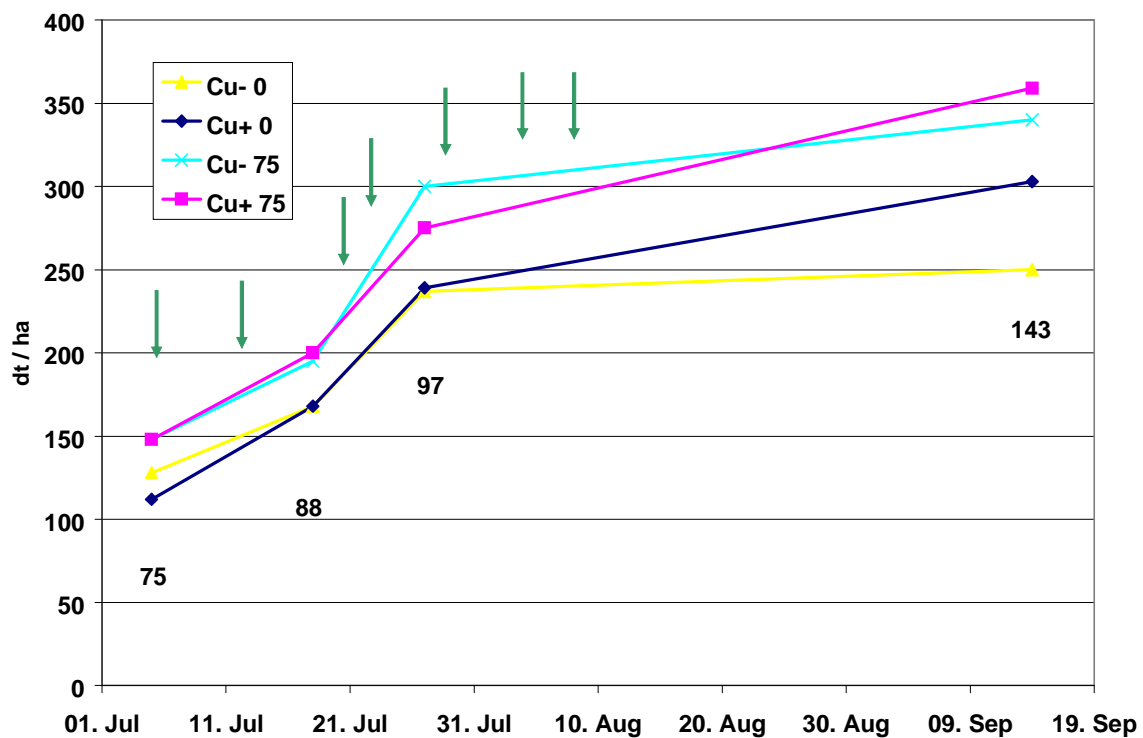


Abb. 3: Ertragsdynamik von Kartoffeln (Sorte Nicola) im Jahr 2005 zum 75., 88. und 97. Tag nach Pflanzung sowie Endertrag nach 143 Tagen in Abhängigkeit von Düngung (ohne und mit 75 kg N mit BioFeed Basis als Reihenapplikation) und Kupferbehandlung (SPU 1010, 157 g Cu/Applikation, grüne Pfeile);

Nicht allein die hohe Anwendungsfrequenz von Kupfermitteln aufgrund des Prognoseverfahrens sondern auch die Effizienzsteigerung der Mittel bei gleichzeitiger Verringerung des Wirkstoffeinsatzes führen zu einer Minimierung des Kupferaufwandes und bergen sicherlich weitere Potentiale wie sich anhand der Ergebnisse aus dem Jahr 2006 darstellen lässt. So konnte im Jahr 2006 mit 1kg Cu des Versuchspräparates SPU 2690 bereits mit der Hälfte des als Referenzprodukt eingesetzten Cuprozin® flüssig eine signifikante Verbesserung des Bekämpfungserfolges erzielt werden (Abb. 5). Aber auch bereits die Applikationsmenge von 200 g Cu ha⁻¹ und Applikation mit Cuprozin flüssig weist auf die hohe Bedeutung des Prognoseverfahrens in Bezug auf das Minimierungspotential hin. Bei optimiertem Einsatz ließ sich die Menge an Cuprozin auf die Hälfte senken. Die Effizienzsteigerung durch das Versuchsmittel führte zusätzlich zu einer verbesserten Befallsverminderung. Eine Ertragsteigerung wurde damit zwar auch erreicht, aber aufgrund des Befallsverlaufes im Jahr 2006 (sehr spät) war diese nicht signifikant.

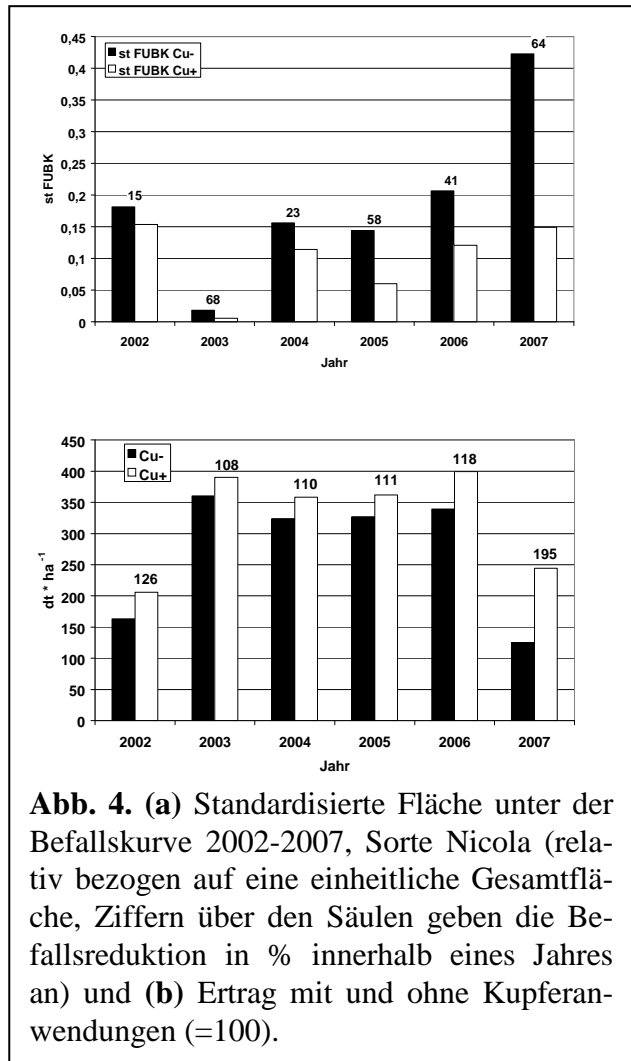


Abb. 4. (a) Standardisierte Fläche unter der Befallskurve 2002-2007, Sorte Nicola (relativ bezogen auf eine einheitliche Gesamtfläche, Ziffern über den Säulen geben die Befallsreduktion in % innerhalb eines Jahres an) und (b) Ertrag mit und ohne Kupferanwendungen (=100).

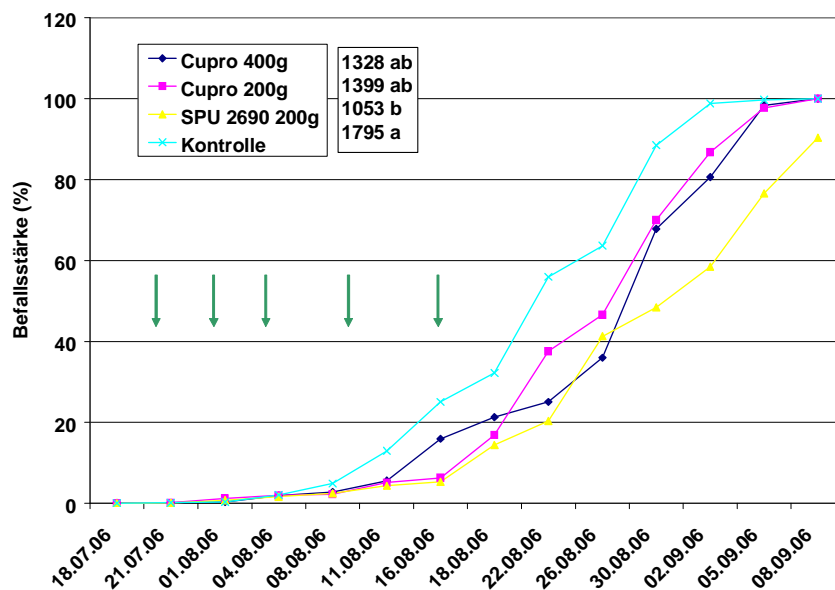


Abb. 5: Befallsverlauf von *P. infestans* im Jahr 2006 in Abhängigkeit von der Behandlung mit Cuprozin flüssig in 2 Aufwandmengen und dem Versuchsmittel SPU 2690 (grüne Pfeile) Kasten mit Ziffern stellt die Fläche unter der Befallskurve der Behandlungen dar; unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede (Bonferoni, $p < 0,05$)

Das Jahr 2007 mit seinem sehr frühen und schnellen Befallsbeginn und -verlauf stellt zwar ein extremes Beispiel dar, ist aber auch ein gutes Beispiel für die Kombination von Prognose und Mitteleffizienz (Abb. 6). Nach einer 10maligen Behandlung mit SPU 2690 (Gesamtaufwand 2kg Cu) bei Anwendung des Prognoseverfahrens wurden eine Befallsverminderung von 64 % und eine Ertragssteigerung von 96 % erzielt. Einschränkend muss aber darauf hingewiesen werden, dass aufgrund der widrigen Witterungsbedingungen im Jahr 2007 an die Grenze der Befahrbarkeit der Flächen gegangen wurde, was ggf. nicht mehr den Praxisbedingungen entsprach.

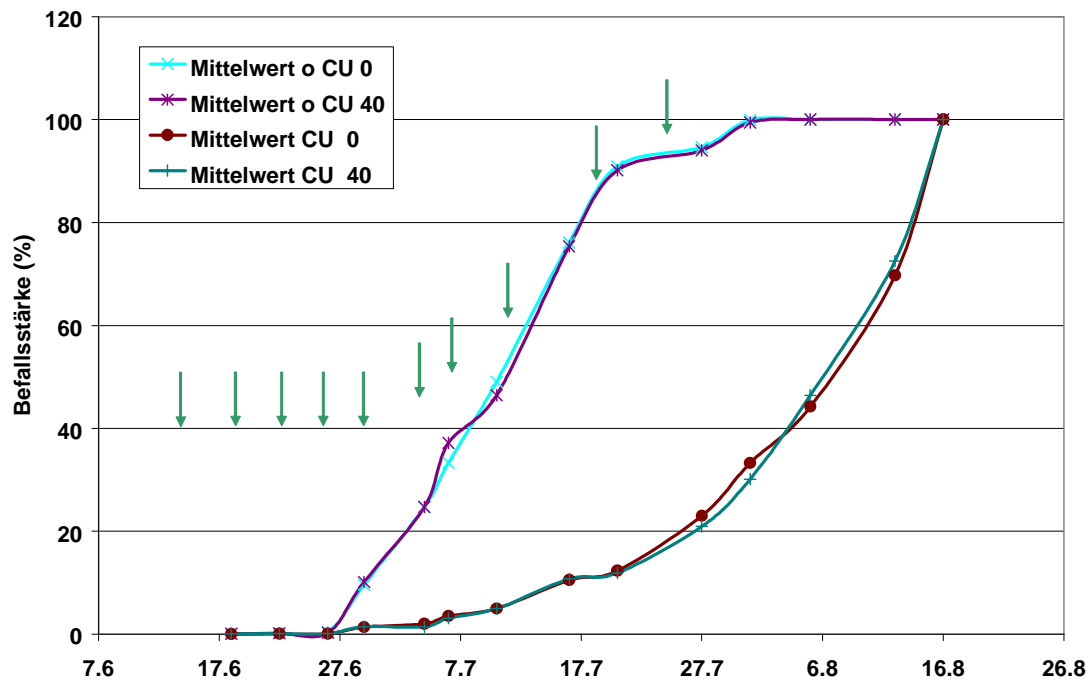


Abb. 6: Befallsverlauf von *Phytophthora infestans* in Kartoffeln (Sorte Nicola) im Jahr 2007 in Abhängigkeit von der Behandlung mit dem Versuchsmittel SPU 2690 (grüne Pfeile) und einer Düngung (ohne und mit 40 kg N mit BioFeed Basis als Reihenapplikation)

Ertragsrelevanz und Nährstoffversorgung

Die oben genannten Einflüsse der Nährstoffversorgung der Kartoffelbestände (siehe Abb. 3) sowie die Bedeutung der Ertragsrelevanz von *P. infestans* ist von unserer Arbeitsgruppe sowie von anderen Autoren mehrfach klar gezeigt worden (Bruns et al., 2007; Finckh et al., 2006). Daher soll hier auf dieses Thema nur kurz eingegangen werden. Jedoch ist dies im Gesamtzusammenhang der Diskussion zur Kupferminimierung im ökologischen Kartoffelbau von großer Bedeutung.

Tabelle 1 zeigt einfache lineare Regressionen zur Beziehung zwischen Ertrag und Fläche unter der Befallskurve aus Versuchen des Jahres 2000 bis 2004. Nur in sieben von 13 Fällen war der Zusammenhang statistisch signifikant. Die R^2 Werte der signifikanten Regressionen geben jeweils an, welcher Anteil der beobachteten Ertragsvariation durch den Befall erklärt werden kann. Dieser Anteil schwankte zwischen 19 und 48 %. Das heißt, neben dem Befall mit *Phytophthora* spielten andere Faktoren eine insgesamt wichtigere Rolle.

Zeiternten ähnlich wie in Abb. 3 in unseren Versuchen zeigten, dass die Ertragsbildung häufig bereits Ende Juli abgeschlossen ist, also zu einem Zeitpunkt, an dem der Befall durch *Phytophthora* meist erst ertragsrelevant wurde (>50-60 % Befallsstärke). Aus diesem Grund werden etwaige Befallsverminderungen durch Kupferapplikationen auch nicht immer in Mehrerträge übersetzt. Ein Vergleich der Ertragsdaten zwischen den Kontrollen (0 % Befallsredukti-

on) und den behandelten Varianten zeigte, dass je nach Jahr und Ort Befallsreduktionen durch Kupferapplikationen nur moderate Auswirkungen auf den Ertrag hatten und z. T. auch in den Kontrollen Höchstserträge erzielt wurden.

Tabelle 1. Einfluss des Befalls mit *Phytophthora infestans* (Fläche unter der Befallskurve) auf den Gesamtertrag verschiedener Kartoffelsorten (Daten von Finckh et al., 2006, Bouws und Finckh, 2008).

Sorte	Jahr	Ertrag (t/ha) ^a	m ^b	R ² ^c
Secura	2000	31	-0,06	0,20 *
Simone	2000	33	-0,19	0,23 *
Linda	2001	30	-0,06	0,24 *
Agria	2001	36	-0,09	0,19 *
Linda	2002	16	-	NS
Agria	2002	20	-	NS
Nicola	2004	30	-	NS
Nicola	2004	37	-0,01	0,33 *
Nicola	2004	26	-0,01	0,30 *
Nicola	2004	29	-0,01	0,48 *
Nicola	2004	35	-	NS
Nicola	2004	31	-	NS
Nicola	2004	23	-	NS

^aGesamtertrag

^bSteigung der Regressionsgerade: Pro Einheit Zunahme der Fläche unter der Befallskurve nimmt der Ertrag entsprechend in t/ha zu oder ab.

^cBestimmtheitsmaß R²: Dieses Maß gibt an, wie hoch der Anteil der beobachteten Variation im Ertrag war, der durch die Fläche unter der Befallskurve erklärt werden konnte.

Im Rahmen von multiplen Regressionsanalysen wurden die Zusammenhänge zwischen Befall und Stickstoffversorgung sowie Klimadaten für die Sorte Nicola in den Experimenten von 2002-2004 genauer untersucht. Letztendlich erwiesen sich Parameter wie das Angebot des Boden-N 10 Tage nach Auflauf, die Temperatursumme von der Pflanzung bis 60% Befall, die Wachstumsdauer bis 60% Befall und die prozentuale Befallsreduktion durch Kupfer als besonders wichtig in ihrem Einfluss auf den Ertrag. Damit konnten 61% der beobachteten Ertragsvariation erklärt werden (Finckh et al., 2006). Wurde zusätzlich auch die N-Aufnahme der Bestände in der Ertragsbildungsphase gemessen, war es möglich, die Erträge noch weitaus genauer und auch ohne Jahreseffekte mit einem Bestimmtheitsmaß von R²=0.86 zu berechnen (Hayer et al., 2007). Dies bestätigt weitgehend die Ergebnisse von Möller et al. (2006) aus Süddeutschland. Die Ergebnisse belegen, dass ohne Einbezug der Nährstoffversorgung und Dynamik eine Einschätzung der Ertragsrelevanz von *Phytophthora* nicht möglich ist.

Schlussfolgerungen

Unsere Ergebnisse zeigten das hohe Potential, dass im ökologischen Kartoffelbau für die Einschränkungen des Kupfereinsatzes bei konsequenter Kombination der pflanzenbaulich zu Verfügung stehenden Maßnahmen, der Anwendung effizienter Mittel sowie von Prognoseverfahren zur Verfügung stehen. Der mengenmäßig und zeitlich optimierte Einsatz von Kupfer verbessert die Ertragsituation nur in Extremsituationen; entscheidender sind das Nährstoffangebot und die Nährstoffaufnahme der Bestände. Alle präventiven Maßnahmen zu einer schnellen Jugendentwicklung der Bestände vermeiden unnötigen Einsatz von Kupfer. Eine konsequente Anwendung von Prognoseverfahren, die die Hauptbefallsperioden vorhersagen, ist ein wichtiger Bestandteil der Kupferminimierungsstrategien. Jedoch fehlen in den Prognosemodellen Informationen, die schlagspezifische Details berücksichtigen. So sollten neben der Klimasituati-

on und der genaue Beobachtung der Befallsituation, die Sortenwahl, das N-Angebot und die N-Aufnahme, Knollenentwicklung und die Wirkungsdauer von Cu-Mitteln verstärkt zur Bemessung des Kupfereinsatzes einbezogen werden, um den spezifischen Bedingungen des Ökologischen Landbaus gerechter werden zu können. Bereits heute aber ist es aufgrund der Datenlage möglich eine deutliche Einschränkung des Kupfereinsatzes auf 1 bis max. 1,5 kg Kupfer zu diskutieren.

Literatur

- Bouws, H. & Finckh, M. R. (2008). Effects of strip-intercropping of potatoes with non-hosts on late blight severity and tuber yield. *Plant Pathology*, *in press*.
- Bruns, C., Schulte-Geldermann, E., Hayer, F. & Finckh, M. R. (2007). Kupferminimierungsstrategien zu Kontrolle von *Phytophthora infestans* vor dem Hintergrund von Befallsprognose und der Nährstoffversorgung von Kartoffeln. In Kühne et al. (Hrsg.) Pflanzenschutz im Ökologischen Landbau – Probleme und Lösungsansätze – 12. Fachgespräch. Anwendung von Pflanzenschutzmitteln und innovativer Verfahren im Ökologischen Landbau neue Wirkstoffe und Applikationstechnik. Berichte aus der BBA, Heft 141. Braunschweig 2007
- Finckh, M. R., Schulte-Geldermann, E., & Bruns, C. (2006). Challenges to organic potato farming: Disease and nutrient management. *Potato Research*, *42*, 28-37.
- Finckh, M. R., Schulte-Geldermann, E., Musa, T., Forrer, H. R., & Bruns, C. (2007). Einfluss von *Phytophthora infestans* auf den Kartoffelertrag in Abhängigkeit von der Nährstoffversorgung und optimierten Kupferapplikationen. *Beiträge zur 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*, 20.-23. März 2007. 353-356. Hohenheim: Universität Hohenheim.
- Haase, T., Schüler, C., Piepho, H. P., Thöni, H. P und J. Heß (2007): The effect of preceding crop and presprouting on crop growth, N uptake and tuber yield of organic maincrop potatoes for processing. *Journal of Agronomy and Crop Science* 193:270-291
- Hayer, F., Benz, J., Finckh, M. R., Schulte-Geldermann, E., & Bruns, C. (2007). Effects of *Phytophthora infestans* on potato yield in organic farming as influenced by nutrient status. *Proceedings of the XVI International Plant Protection Congress, 15-18 October 2007, Glasgow, UK* 124-125. Hampshire, UK: The British Crop Protection Council.
- James, C. (1971): A Manual of Assessment Keys for Plant Diseases. Canada Department of Agriculture, Publication No. 1458
- Möller, K., Habermeyer, J., Zinkernagel, V., & Reents, H.-J. (2006). Impact and interaction of Nitrogen and *Phytophthora infestans* as yield-limiting and yield-reducing factors in organic potato (*Solanum tuberosum* L.) crops. *Potato Research*, *49*, 281-301.
- Möller, K. & Reents, H.-J. (2007). Impact of agronomic strategies (seed tuber pre-sprouting, cultivar choice) to control late blight (*Phytophthora infestans*) on tuber growth and yield in organic potato (*Solanum tuberosum* L.) crops. *Potato Research*, *on-line first*: [DOI: 10.1007/s11540-007-9026-5](https://doi.org/10.1007/s11540-007-9026-5).
- Musa, T. M. & Forrer, H.-R. (2005). Bio-PhytoPRE - ein Warn- und Prognosesystem zur Bekämpfung der Kraut und Knollenfäule im ökologischen Kartoffelanbau in der Schweiz [Bio-PhytoPRE – a decision support system for late blight control in organic potato production in Switzerland]. Ende der Nische, Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. 1.3-4.3.2005 Kassel, Germany: Kassel University Press.