

Pflanzen

Vom Labor ins Feld: Kupferalternativen für den biologischen Kartoffelanbau

Brigitte Dorn, Tomke Musa, Heinz Krebs, Padruot Men Fried und Hans-Rudolf Forrer, Forschungsanstalt Agroscope

Reckenholz-Tänikon ART, CH-8046 Zürich

Auskünfte: Hans-Rudolf Forrer, E-Mail: hans-rudolf.forrer@art.admin.ch, Tel. + 41 44 377 72 30

Zusammenfassung

Zur direkten Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule der Kartoffel im biologischen Anbau stehen als wirksame Produkte zurzeit ausschliesslich Kupferfungizide zur Verfügung. In üblicher Dosierung belasten diese die Umwelt, weshalb ihre Anwendung vermieden oder zumindest die Aufwandmengen stark reduziert werden sollten. Im Rahmen des EU-Projektes Blight-MOP zum Krautfäulemanagement im Bio-Kartoffelanbau ohne Kupfer wurde das krankheitsreduzierende Potential von 53 kupferfreien Produkten in Labor-, Gewächshaus- und Feldversuchen untersucht. Zudem wurde mit dem Warn- und Prognosemodell Bio-PhytoPRE das Potential zur Reduktion der Kupferaufwandmengen abgeklärt. Ein Labor-Screening zeigte, dass rund ein Drittel der kupferfreien Produkte die Keimung der Sporangien und ein Viertel das Myzelwachstum von *Phytophthora infestans* vollständig hemmten. In Gewächshausversuchen mit Tomatenpflanzen reduzierten rund ein Fünftel der Produkte den Krautfäule-Blattbefall um mindestens achtzig Prozent. Mikroplot-Feldversuche zeigten, dass einige der Produkte den Krautbefall der Kartoffeln im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle signifikant verringerten, jedoch die Wirkung der Kupferprodukte nicht erreichten. In Kleinparzellen-Versuchen unter praxisähnlichen Anbaubedingungen war keines der kupferfreien Produkte genügend wirksam. Begleituntersuchungen zeigten, dass das schlechte Abschneiden dieser Produkte vor allem auf die fehlende Regenbeständigkeit und geringe Persistenz zurückzuführen ist. Im Gegensatz zum Kupferersatz erwies sich eine Kupferreduktion als weitgehend praxisreif. Wurden Kupferfungizide gemäss dem Warn- und Prognosemodell Bio-PhytoPRE appliziert, konnten mit geringen Kupfermengen gute Bekämpfungserfolge erzielt werden.

deshalb bereits seit zehn Jahren ein wichtiges Thema des Ökologischen Pflanzenschutzes an der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART (Bassin und Forrer 2001, Cao *et al.* 2003, Musa und Forrer 2005, Krebs *et al.* 2006, Dorn *et al.* 2007, Forrer *et al.* 2009).

Mit Blick auf ein von der Europäischen Union angestrebtes Verbot von kupferhaltigen Fungiziden wurde 2002 ein europaweites Forschungsprojekt initiiert, um die Herausforderung der Kraut- und Knollenfäule im biologischen Kartoffelanbau mit einem umfassenden Systemansatz anzugehen. In der Schweiz wurde im Rahmen dieses EU-Projekts Blight-MOP (Development of a systems approach for the management of late blight in EU organic potato production) an ART nach möglichen Kupferalternativen gesucht (Dorn *et al.* 2007; Krebs *et al.* 2006) und durch Verwendung und Optimierung des an ART entwickelten Warn- und Prognosemodells Phy-

Die Kraut- und Knollenfäule der Kartoffel (Abb. 1), verursacht durch den Algenpilz *Phytophthora infestans*, führt weltweit zu hohen Ernteverlusten. Im biologischen Anbau kann diese Krank-

heit nur mittels Kupferfungiziden bekämpft werden, die insbesondere für Bodenlebewesen schädlich sind. Die Entwicklung von wirksamen Bekämpfungsverfahren für den Bio-Kartoffelbau ist

Abb. 1. Krautfäule-Primärherd in Kartoffelfeld im Schweizer Mittelland, verursacht durch befallenes Pflanzgut (grosses Bild). Eine mit dem Erreger der Kraut- und Knollenfäule, *Phytophthora infestans*, infizierte Knolle kann die Ursache dieses Befalls-Herdes sein. Befallssymptome auf Blättern (kleines Bild links) und auf Kartoffelknollen (kleines Bild rechts). (Fotos: Hans-Rudolf Forrer, Agroscope ART, H.U. Gujer, BUWAL)



Tab. 1. Stoffgruppen, Produktnamen, Inhaltsstoffe, Aufwandmenge sowie Bezugsquelle einer Auswahl¹⁾ der Kupferfungizide (total 5) und der kupferfreien Produkte (total 53), welche in Labor-, Gewächshaus- und Feldversuchen gegen *Phytophthora infestans* getestet wurden. Die Gesamtanzahl der Produkte, welche pro Stoffgruppe getestet wurden, steht in Klammern

Stoffgruppen, Produktnamen	Inhaltsstoffe	Aufwandmenge (pro Applikation)	Bezugsquelle
Kupfer (5)			
Kocide DF	Kupferhydroxid (40 % metallisches Kupfer)	0,938 kg/ha	Burri Agricide , Brügg, Schweiz
Cueva	Kupferoctanoat (2 % metallisches Kupfer)	12 l/ha	Andermatt Biocontrol AG, Grossdietwil, Schweiz
Mineralische Stoffe (11)			
Mycosin	Aluminiumsulfat, Hefe- und Schachtelhalmextrakte	5-10 kg/ha	Dr. Schütte AG, Bad Waldstadt, Deutschland
Napfsteinmehl	Kalk, Silizium- und Aluminiumoxid	400 kg/ha	Andermatt Biocontrol AG, Grossdietwil, Schweiz
Mikroorganismen (7)			
Serenade	<i>Bacillus subtilis</i> Stamm QST 713	25 kg/ha	AgraQuest, Inc. Davis, USA
Trichodex	<i>Trichoderma harzianum</i> var. T-39	25 kg/ha	Feinchemie Schwebda GmbH, Köln, Deutschland
Pflanzliche Stoffe (24)			
<i>Rheum</i> -Extrakt	<i>Rheum rhabarbarum</i> , Blattextrakt in Wasser	25 kg/ha	BBA, Darmstadt, Deutschland
<i>Solidago</i> -Extrakt	<i>Solidago canadensis</i> , Blattextrakt in Wasser	25 kg/ha	BBA, Darmstadt, Deutschland
Phosphonige Säuren (2)			
Robus	Phosphonige Säure	112 l/ha	GIP, Jechtingen, Deutschland
Oekofluid P	Phosphonige Säure, Gesteinsmehl, Pflanzenextrakte, Natriumsalze	75 l/ha	GIP, Jechtingen, Deutschland
Resistenzinduktoren (1)			
Bion	Acibenzolar-S-Methyl	60 g/ha	Novartis Agro, Dielsdorf, Schweiz
Diverse Naturstoffe (10)			
C-2000	Ascorbin-, Milch- und Zitronensäure	2 l/ha	C. Kempenaar, Wageningen, Niederlande
Armcarb 100	Kaliumbikarbonat	25 kg/ha	Church & Dwight Co., Inc. Princeton, USA

¹⁾ Für die restlichen Kupferfungizide und kupferfreien Produkte, sowie deren Wirkung in den Labor-, Gewächshaus- und Feldversuchen siehe Dorn *et al.* 2007.

toPRE (www.phytopre.ch) das Potential zur Reduktion der Aufwandmengen von Kupferfungiziden untersucht (Musa und Forrer 2005). Die hier beschriebenen Versuche stellen eine Zusammenfassung aus der Originalpublikation im European Journal of Plant Pathology (Dorn *et al.* 2007) dar und beschreiben weitere Arbeiten im Bereich Kupferreduktion und -ersatz.

Screening im Labor

Die Wahl der 53 kupferfreien kommerziellen und experimentellen und der fünf kupferhaltigen Produkte erfolgte aufgrund von Literaturangaben sowie auf Emp-

fehlung von Firmen und Fachleuten. Dabei handelte es sich um Produkte bestehend aus Pflanzen, Mikroorganismen, diversen Naturstoffen und Pflanzenstärkungsmitteln (Tab. 1). Das Wirkungspotenzial dieser Produkte zur Bekämpfung der Krautfäule wurde mit einem Sporangienkeimtest (Abb. 2a) und einem Myzelwachstumstest (Abb. 2b) von *P. infestans* untersucht. Da diese Tests ohne Pflanzen durchgeführt werden und nur das Prüfprodukt und den Pathogen beinhalten, geben sie Aufschluss über direkte fungizide Effekte. Die Resultate dieses Screenings wurden jeweils mit der unbehandelten Kontrolle

und einer Behandlung mit dem Kupferfungizid Kocide DF verglichen. Die *in vitro* Versuche zeigten, dass rund ein Drittel der geprüften kupferfreien Alternativen die Keimung der Sporangien und ein Viertel das Myzelwachstum von *P. infestans* gänzlich hemmen. Beispiele für Produktwirkungen im Labor gehen aus Figur 1A und B hervor.

Wirkung auf Tomatenpflanzen im Gewächshaus

Zur Beurteilung von indirekten Wirkungen und Wechselwirkungen kam ein erweitertes Testsystem mit Produkt, Pathogen und Pflanze zur Anwendung, wo-

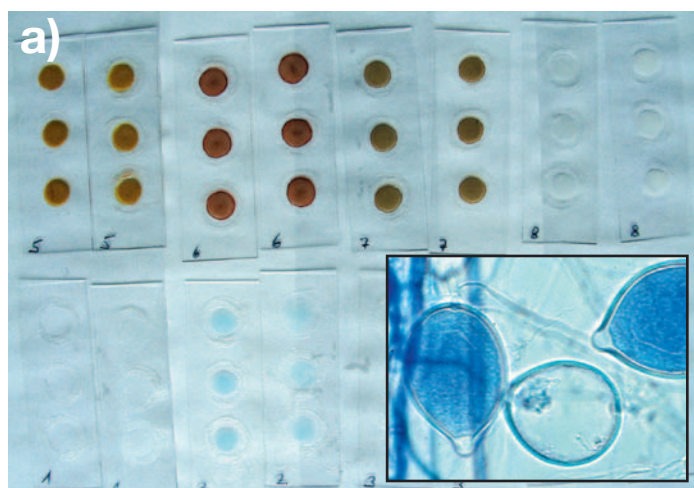
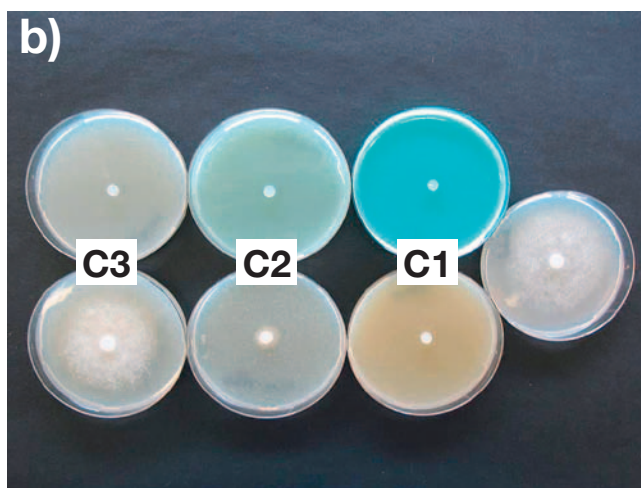


Abb. 2a. Sporangienkeimtest auf Mikroskop-Objektträger, unten links unbehandelte Kontrolle und Kupferkontrolle, kleines Bild rechts: Sporangien von *Phytophthora infestans*. Abb. 2b. Myzelwachstumstest auf Agarplatten, Kupferfungizid (oben) und Pflanzenextrakt (unten) in drei Konzentrationen, rechts: unbehandelte Kontrolle.
(Fotos: Brigitte Dorn, Hans-Rudolf Forrer, Agroscope ART)



bei anstelle von Kartoffelpflanzen mit Tomatensämlingen gearbeitet wurde. Tomaten sind mit Kartoffeln verwandt und werden ebenfalls von *P. infestans* befallen, sie lassen sich jedoch im Gewächshaus leichter und gleichmässiger anziehen. Mit diesem Testsystem lassen sich direkte fungizide Effekte aber auch mögliche induzierte Resistenzen abschätzen. Im Gewächshaus wurde die krankheitsreduzierende Wirkung der 53 kupferfreien Produkte und der fünf Kupferprodukte geprüft (Abb. 3; Abb. 7C). Dazu wurden die Tomatensämlinge mit den vom Hersteller angegebenen Aufwandmengen bis zur Tropfnässe besprüht und 24 Stunden später mit einer Sporangien suspension (1×10^5 Sporangien/ml) von *P. infestans* künstlich infiziert. Die Pflanzen wurden während sieben Tagen inkubiert und

danach die befallene Blattfläche beurteilt. Auf Tomatenpflanzen reduzierten ein Fünftel der kupferfreien Produkte den Blattbefall um mindestens 80 Prozent. Von den sieben wirksamsten Produkten wurde die Wirkungsdauer untersucht. Im Vergleich zu den mit Kupferfungiziden behandelten Kontrollpflanzen, waren diese jedoch selbst bei den besten kupferfreien Alternativen gering.

Wirkung in Mikroplot-Versuchen im Feld

Der Schritt im Auswahlverfahren von Prüfsubstanzen vom Labor und Gewächshaus mit kontrollierten Umweltbedingungen zum Feldversuch mit praxisähnlichen Bedingungen ist sehr gross. Im Freiland sind die Prüfprodukte den ständig ändernden Witterungs- und Umwelteinflüssen, wie zum Beispiel Abwaschung durch Regen und Abbau durch

UV-Licht, ausgesetzt. Um dennoch das Potential der kupferfreien Produkte beurteilen zu können und Schwächen wie Regenbeständigkeit und kurze Wirkungsdauer im Rahmen eines Versuchs auszugleichen, wurden Mikroplot-Versuche mit intensiver Behandlung durchgeführt (Abb. 4). Dazu wurden Kartoffeln der Sorte Agria (mittelfähig) in einer vollständig randomisierten Blockanlage mit zehn Verfahren, vier Pflanzen pro Mikroplot und vier Wiederholungen gepflanzt. Zweimal wöchentlich wurden 16 Prüfprodukte bis zur Tropfnässe mit einer Handspritze mit Druckluftanschluss (Spray-Matic 5S, Teejet XR 11003, Birchmeier, Stetten, Schweiz) behandelt. Alle Versuche enthielten eine unbehandelte Kontrolle und eine Kontrolle mit dem Kupferfungizid Kocide DF. Ebenfalls zweimal wöchentlich wurde die befallene Blattfläche der Kartoffelpflanzen beurteilt. Zwölf dieser Produkte reduzierten den Blattbefall im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle signifikant. Ihre Wirkung lag zwischen neun und 63 Prozent, wobei keines dieser Produkte so wirksam wie die Kupferkontrolle war (Dorn *et al.* 2007; Abb. 7D).

Praxisnahe Anwendung im Feld und mit Bio-PhytoPRE

Die Prüfung der Praxiseignung erfolgte in vollständig randomi-

Abb. 3. Gewächshausversuch mit Tomaten zur Wirkungsprüfung von kupferfreien Produkten gegen *Phytophthora infestans*. Das Bild wurde eine Woche nach der künstlichen Infektion gemacht. Links: unbehandelte Kontrollen, Mitte: kupferfreie Produkte, Rechts: Kupferkontrollen.
(Foto: Brigitte Dorn, Agroscope ART)



sierten Blockanlagen mit Kleinparzellen mit je zehn Verfahren und fünf Wiederholungen. Jede Kleinparzelle enthielt zwei Reihen mit je zehn Pflanzen der mitelanfälligen Sorten Agria und Nicola. Die Parzellen wurden mit einer Reihe der wenig anfälligen Sorte Appell begrenzt. Zwischen den einzelnen Parzellen wurden zwei Reihen der hoch anfälligen Sorte Bintje gepflanzt, die als Infektionsreihen dienten. Nach Befallsbeginn innerhalb der Kleinparzellen wurden die Bintjepflanzen vernichtet (Abb. 5). Die kupferfreien Alternativen wurden einmal wöchentlich gespritzt. Kupferfungizide mit unterschiedlich stark reduzierten Aufwandmengen und die besten kupferfreien Produkte wurden gemäss Indikation des Warn- und Prognosemodells Bio-PhytoPRE appliziert. Die Prüfprodukte wurden mit einer Rückenspritze (Birchmeier, Teejet 11002 VP, 3,5 bar, Stetten, Schweiz) ausgebracht (Abb. 6). Zweimal wöchentlich bis zur Krautvernichtung wurde die Wirksamkeit der Produkte beurteilt und mit der unbehandelten Kontrolle und einer Standard-Kupfervariante verglichen. In den mehrjährigen Kleinparzellenversuchen zeigten die kupferfreien Alternativen nur eine schwache Wirkung von maximal 35 Prozent, die zur Regulierung der Kraut- und Knollenfäule nicht genügt. Die Applikationen der kupferfreien Alternativen waren zudem nicht ertragswirksam. Im Gegensatz dazu konnten mit reduzierten Kupferaufwandmengen und der Nutzung von Bio-PhytoPRE das Blattwerk der Kartoffeln ausreichend geschützt und Ertragsausfälle durch Krautfäulebefall reduziert werden (Dorn *et al.*, 2007; Abb. 7E).

Wie weiter?

In den Labor- und Gewächshausversuchen zeigten zehn der 53 kupferfreien Produkte eine vielversprechende Wirkung. Unter



Abb. 4. Mikroplot-Versuch zur ersten Überprüfung der Wirksamkeit von kupferfreien Produkten gegen *Phytophthora infestans* im Feld. Ein Versuchsplot besteht aus vier Kartoffelpflanzen der Sorte Agria.
(Foto: Hans-Rudolf Forrer, Agroscope ART)

Feldbedingungen war allerdings keines dieser Produkte genügend wirksam. Die Autorinnen und Autoren vermuteten, dass dies an der mangelnden Umweltbeständigkeit der kupferfreien Produkte lag. Deshalb untersuchten sie mit dem Labor-Sporangienkeimtest ihre Regenbeständigkeit und mit dem Krautfäule-Gewächshaus-test mit Tomaten ihre Wirkungs-dauer. Es liess sich nachweisen, dass diese beiden Eigenschaften bei der geprüften, kupferfreien Alternativen im Vergleich zu den Kupferfungiziden in der Tat nur gering ausgeprägt sind (Dorn *et al.* 2007). Auch Beobachtungen von Stephan *et al.* (2005) und Cao *et al.* (2003) deuteten bereits darauf hin, dass die mangelnde Wirksamkeit kupferfrei-

er Alternativen auf ungenügende Wirkungs-dauer und Wetterbeständigkeit zurückzuführen sein könnte.

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass Kupferfungizide noch immer die einzige wirksame direkte Bekämpfungsmassnahme von *P. infestans* im Bio-Kartoffelanbau sind. Zehn Jahre Forschungsarbeit an ART mit Kupferalternativen gegen *P. infestans* haben dazu beigetragen, repräsentative und aussagekräftige Testmethoden für kupferfreie Produkte für Labor-, Gewächshaus- und Feldversuche zu entwickeln. Der Versuchsaufbau mit Labor- und Gewächshaus-Screenings, gefolgt von Mikroplot- und Kleinparzellenversu-

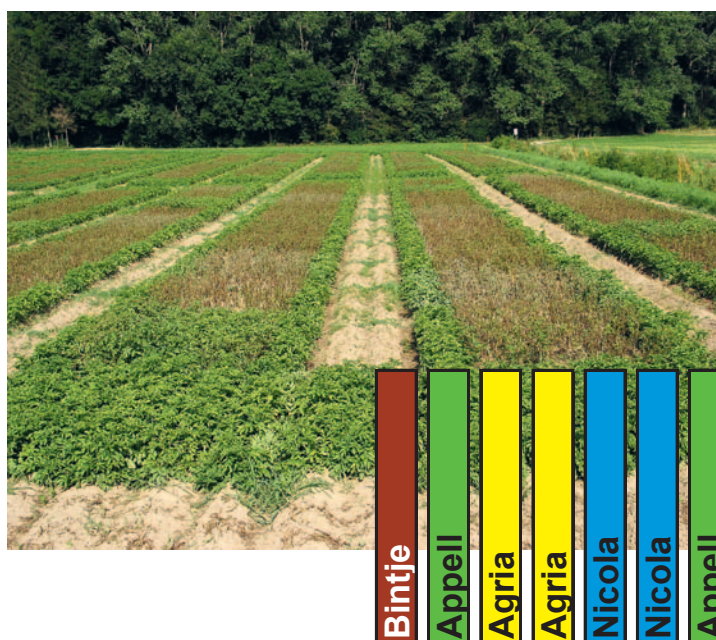


Abb. 5. Kleinparzellen-Versuch zur Beurteilung der Wirksamkeit von kupferfreien Produkten und Kupferfungiziden gegen *Phytophthora infestans* im Feld. Ein Versuchsplot besteht aus zwei Reihen der Sorte Agria und Nicola. Die wenig anfällige Sorte Appell begrenzt die Versuchspartzen, die hochanfällige Sorte Bintje (im Bild wurden die Bintje-Reihen bereits entfernt) diente als Infektionsreihe für die künstliche Infektion der Versuchspartzen.
(Foto: Hans-Rudolf Forrer, Agroscope ART)

Abb. 6. Applikation der Prüfprodukte mit einer Rückenspritze. (Foto: Hans-Rudolf Forrer, Agroscope ART)



chen mit optimiertem Testdesign (Abb. 5) hat sich bewährt. In der Zwischenzeit haben die Autorinnen und Autoren erfolgver-

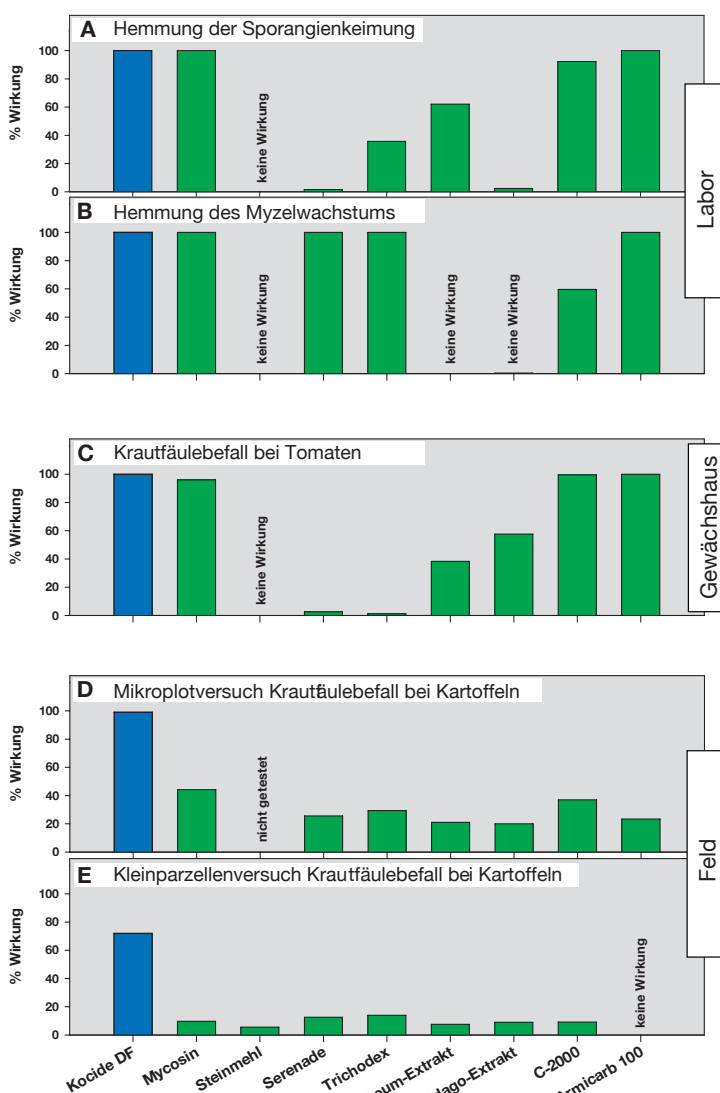
sprechende Pflanzenextrakte und -suspensionen aus Faulbaumrinde (*Frangula alnus*) identifiziert (Krebs *et al.* 2006). Ers-

te erfreuliche Wirkungsergebnisse mit Faulbaumrinde in Feldversuchen liegen vor, müssen aber in den kommenden Jahren noch überprüft und optimiert werden. Die Forschungsgruppe ökologischer Pflanzenschutz konzentriert sich dabei auf wichtige Aspekte wie die Optimierung der Anwendungsform und der Formulierung, um damit mittel- bis längerfristig Alternativen zu Kupferfungiziden zur Verfügung stellen zu können. Zwischenzeitlich kann die Kupferproblematik durch den gezielten Einsatz von niedrig dosierten Kupferpräparaten entschärft werden. Erfolgt die Krautfäulebekämpfung mit einer Gesamtkupfermenge von zwei Kilogramm pro Hektar und Saison und werden gemäss üblicher Praxis höchstens alle vier Jahre Kartoffeln angebaut und Kupfer eingesetzt, so sind negative Umwelteffekte durch den Kupfereinsatz unwahrscheinlich. Erfolg versprechend ist diese oder eine zukünftige Bekämpfungsstrategie mit Kupferalternativen aber nur dann, wenn zusätzlich vorbeugende Massnahmen getroffen werden, wie die Wahl wenig anfälliger Sorten (Hebeisen *et al.* 2009, diese Ausgabe), die Verwendung von gesundem, vorgekeimtem Pflanzgut sowie einem angepassten Stickstoffmanagement (Finckh *et al.* 2008).

Literatur

- Bassin S. & Forrer, H.R. 2001. Suche nach Kupferalternativen gegen die Krautfäule der Kartoffel. *Agrarforschung* 8, 124-129.
- Cao K., Wang S., Kessler P., Fried P.M. & Forrer H.R. 2003. Krautfäulebekämpfung im Bio-Kartoffelanbau ohne Kupfer? *Agrarforschung* 10, 182-187.
- Dorn B., Musa T., Krebs H., Fried P.M. & Forrer H.R. 2007. Control of late blight in organic potato production: evaluation of copper-free preparations under field, growth chamber and laboratory conditions.

Abb. 7. Wirkung (%) relativ zur unbehandelten Kontrolle des Kupferfungizides Kocide DF (blaue Säulen) und verschiedener kupferfreier Produkte (grüne Säulen) im Labor anhand eines Sporangientests (A) und eines Myzelwachstumstests (B), im Gewächshaus anhand eines Tomatentests (C), sowie im Feld anhand eines Mikroplot Versuchs (D) und Kleinparzellenversuchs (E).



European Journal of Plant Pathology **119**, 217-240.

■ Finckh M.R., Hayer F., Schulte G.E. & Bruns, C. 2008. Diversität, Pflanzenernährung und Prognose: ein integriertes Konzept zum Management der Kraut- und Knollenfäule in der ökologischen Landwirtschaft. *Gesunde Pflanzen* **60**, 159-170.

■ Forrer H.R., Dorn B., Krebs H. & Musa T. 2009. Kupferminimierungsstrategie und Alternativen in der Krautfäulebekämpfung. Neue Strategien in Züchtung und Anbau. *Bioland Kartoffelbau Fach-*

und Feldtagung Zellingen-Retzbach, 1.-3.7.2009. Zugang: http://www.bioland.de/fileadmin/bioland/file/bioland/Startseite/Kupferminimierungsstrategie__Hans_Rudolf_Forrer_etal.pdf

■ Hebeisen T., Ballmer T., Dupuis B. & Schwärzel, R. 2009. Schweizerische Sortenliste für Kartoffeln 2010. *Agrarforschung* 11/12, Separata 4.2.1.

■ Krebs H., Dorn B. & Forrer H.R. 2006. Krautfäulebekämpfung mit Suspensionen aus Heilpflanzen? *Agrarforschung* **13**, 16-21.

■ Musa-Steenblock, T. & Forrer H. R. 2005. Bio-PhytoPRE – ein Warn- und Prognosesystem zur Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule im ökologischen Kartoffelanbau in der Schweiz. - Ende der Nische, Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Kassel, 1.-4.3.2005, 133-136.

■ Stephan D., Schmitt A., Carvalho S., Seddon B. & Koch, E. 2005. Evaluation of biocontrol preparations and plant extracts for the control of *Phytophthora infestans* on potato. *European Journal of Plant Pathology* **112**, 235-246.

RÉSUMÉ

Du laboratoire au champ: Des produits exempts de cuivre pour la production biologique des pommes de terre

Les fongicides à base de cuivre sont les seuls produits actuellement disponibles pour lutter directement contre le mildiou de la pomme de terre en production biologique. Avec des dosages habituels, ces préparations nuisent à l'environnement. Il serait donc souhaitable d'éviter l'usage du cuivre ou de réduire sévèrement les quantités utilisées. Dans le cadre du projet Blight-MOP de l'UE consacré à la lutte contre le mildiou dans la production biologique des pommes de terre, 53 produits commerciaux et expérimentaux, exempts de cuivre, ont été testés en laboratoire, en serres et en plein-champ afin d'évaluer leur potentiel de réduction de la maladie. En outre, la possibilité de réduire les quantités de fongicides à base de cuivre en optimisant le calendrier des traitements a été étudiée à l'aide du modèle d'avertissement et de prévision Bio-PhytoPRE, développé chez Agroscope ART. Lors d'un test complet en laboratoire, un tiers des préparations exemptes de cuivre a inhibé la germination des sporanges et un quart a inhibé à 100 % la croissance du mycélium de *Phytophthora infestans*. Lors d'essais réalisés sur des plants de tomates en serre, un cinquième des produits exempts de cuivre a réduit le mildiou au niveau foliaire d'au moins 80 %. Des essais en champ réalisés dans des micro-parcelles ont démontré que quelques-uns de ces produits exempts de cuivre réduisaient de manière significative le mildiou de la pomme de terre en comparaison avec les parcelles témoins non traitées. Ces produits n'ont toutefois pas atteint l'efficacité des fongicides contenant du cuivre. Lors d'essais réalisés dans des petites parcelles et à des conditions proches de la pratique, aucun des produits exempts de cuivre n'a été suffisamment efficace. Le résultat décevant de ces produits utilisés en plein-champ est principalement dû à leur manque de résistance à la pluie et à leur faible persistance. Au lieu de remplacer catégoriquement le cuivre, une réduction de son dosage, telle qu'elle est proposée par le modèle de pronostic et d'avertissement Bio-PhytoPRE, offre une solution prometteuse.

SUMMARY

From laboratory to field: Copper-free preparations for organic potato production

As of yet, effective direct control of potato late blight in organic potato production requires the application of copper fungicides. However, with common dosage, copper is ecologically harmful. Hence, a considerable reduction or replacement of copper compounds in disease control is desirable. In the framework of the EU-project Blight-MOP comprising a systems approach to manage late blight in organic potato production without copper, 53 commercialised and experimental copper-free preparations were evaluated for their potential to control the disease by means of laboratory, greenhouse and field trials. Additionally, the potential to reduce copper fungicide input through optimised timing using the decision support system Bio-PhytoPRE developed at ART was assessed. In the laboratory, one-third of the copper-free preparations completely inhibited germination of sporangia and one-fourth the mycelial growth of *Phytophthora infestans*. In the greenhouse experiment one fifth of the copper-free preparations reduced foliar blight of tomato plants by at least 80 %. In micro-plot field trials, several copper-free preparations significantly reduced foliar blight of potatoes compared with the untreated control. However, the efficacy of the copper fungicides was never obtained. In small-plot field trials using practice-like application strategies, none of the copper-free preparations sufficiently controlled late blight sufficiently. The poor performance of the copper-free preparations under field conditions could be attributed to their low persistence and their lack of rain fastness compared to copper fungicides. In contrast to copper replacement, the strategy of using reduced application rates of copper fungicides according to the decision support system Bio-PhytoPRE proved to be successful.

Key words: Late blight, organic potato production, persistence, rain fastness, copper fungicides, plant extract, decision support system, laboratory trial, field trial, screening