

Kupferfreie Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule im Bio-Kartoffelbau?

Heinz Krebs, Tomke Musa, Susanne Vogelgsang und Hans-Rudolf Forrer
 Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Ränikon ART, 8046 Zürich, Schweiz
 Auskünfte: Heinz Krebs, E-Mail: heinz.krebs@agroscope.admin.ch, Tel. +41 44 377 72 34



Krautfäuleversuch Zürich-Reckenholz 2012; Sorte: Agria.
 Vorne: Unbehandelte Kontrolle, hinten: Phosphor-Behandlung.
 (Foto: ART)

Einleitung

Kupfer hat eine gute Schutzwirkung gegen den Erreger der Kraut- und Knollenfäule der Kartoffel, *Phytophthora infestans*, und darf in der Schweiz im Bio-Kartoffelbau bis maximal 4 kg Cu/ha pro Jahr eingesetzt werden. In der EU ist Kupfer als Pflanzenschutzmittelwirkstoff bis 30. November 2016 mit der Auflage zugelassen, Massnahmen zur Reduktion der Eintragsmenge zu ergreifen (EU 2009). Aufgrund der Akkumulation des Kupfers im Boden besteht ein erhebliches Risiko für Bodenorganismen. Unter Freilandbedingungen wird ab 32 mg Kupfer/kg Boden die Regenwurm-Reproduktion beeinträchtigt und bei einer Belastung von über 100 mg/kg Boden

wurde eine Artenverschiebung der Regenwurmpopulation festgestellt (Kula *et al.* 2002). In mittleren und schweren Ackerböden gelten Kupfergehalte von über 20 mg/kg Boden als hohe Gehaltswerte. Kupfer ist in geringen Mengen für alle Lebewesen aber auch ein essentielles Element. Bei den Pflanzen ist Kupfer an den Prozessen des Eiweissaufbaus massgeblich beteiligt und bei den Tieren ist es notwendig für die Funktion und Synthese einiger Enzyme sowie zur Bildung von Hämoglobin im Blut. Ein Totalverbot von Kupfer wäre daher nicht sinnvoll (Lundsgaard *et al.* 2003).

Die ökotoxikologisch zulässige Eintragsmenge beträgt 360 g Cu/ha pro Jahr (Kratz *et al.* 2009). Bereits bei einer sechsjährigen Fruchtfolge und mit ausschliesslichem Einsatz der erlaubten 4 kg Cu/ha bei Kartoffeln wird die ökotoxikologisch vertretbare Eintragsmenge um beinahe das Doppelte überschritten. Daher prüfen wir bioverträgliche Stoffe, um die Kupfermenge zu reduzieren.

An Agroscope wurden in den letzten Jahren unter Labor- und Feldbedingungen Naturstoffe bezüglich ihrer Wirkung gegen den Erreger der Krautfäule geprüft (Dorn *et al.* 2007). In weiteren Versuchen wurden pflanzliche Präparate mit antimikrobiellen Eigenschaften auf ihre Wirksamkeit gegen *P. infestans* der Kartoffeln untersucht. Zur Kupferminimierung wird in Deutschland und Österreich im ökologischen Weinbau Kaliumphosphonat in Pflanzenstärkungsmitteln gegen den Falschen Mehltau der Reben *Plasmopara viticola* eingesetzt (Kühne 2010). Daher wurde Kaliumphosphonat (alte Bezeichnung: Kaliumphosphit) in den Krautfäuleversuchen mitgeprüft.

Material und Methoden

Zur Extrakt-Herstellung der zu prüfenden Pflanzendrogen (Abb. 1) wurden deren Organe (Wurzeln, Rinden, Blätter oder Blüten) mit einer Zentrifugalmühle (Retsch ZM 200, Haan) stufenweise bis auf eine Siebgrösse von 0,25 mm zerkleinert. Von jeder Prüfsubstanz wurden 3 g in 75 ml einer zehn prozentigen Ethanol-Lösung während zwei Stunden mit einem Magnetrührwerk bei Raumtemperatur suspendiert und anschliessend bei

Unterdruck durch einen Whatmann® Glasfaser Mikrofilter, Cat. No. 1820 060 (VWR, Dietikon) filtriert. Für den Sporangien-Keimtest wurde dieses Filtrat zusätzlich während 10 Minuten mit 6000 Umdrehungen pro Minute zentrifugiert und durch einen Acrodisc® 25 mm Syringe Filter, 0,2 µm HT Tuffryn® Membrane (Pall, Basel), filtriert. Als Standard-Vergleichsprodukt wurde das Kupferhydroxid-Produkt Kocide DF® in einer Dosierung von 0,05 % und das Kaliumphosphonat-Produkt Phosfik® (Biolchim GmbH, Hannover) in einer Konzentration von 1,0 % geprüft.

Myzel-Wachstumstest (Agardiffusionstest)

Die verschiedenen Testsubstanzen wurden in Petrischalen mit einem Roggen-Agar-Nährboden geprüft. In die Mitte jeder Petrischale wurde eine Myzelkultur (Stamm-Nr. 01–001) von 6 mm Ø geimpft. Im Abstand von 1,5 cm um das Impfstück wurden in sechs ausgestanzten Löchern von 6 mm Ø je 70 ml Testextrakt pipettiert. Die Nährbodenplatten wurden bei 18 °C in Dunkelheit inkubiert und nach acht Tagen das Radialwachstum der zentralen Myzelkultur gemessen und daraus die Hemmwirkung berechnet. Jede Testreihe enthielt eine sterile Wasserkontrolle und die Standardvariante mit Kocide DF®.

Sporangienkeimtest

Auf Objektträgern wurden vier Silikonringe mit einem Durchmesser von 1 cm aufgetragen und in die Mitte der Ringe je 40 µl der Testextrakte pipettiert. Nach 24 h Trocknungszeit wurden 40 µl Sporangiensuspension mit einer Sporendichte von $5,7 \times 10^5$ zugegeben und die Objektträger auf feuchtes Filterpapier in einer geschlossenen Box in einem Kühlschrank bei Dunkelheit und 4 °C aufbewahrt. Nach 24 h wurde unter dem Mikroskop die Häufigkeit der gekeimten Sporangien bestimmt und die relative Keimrate berechnet. Die Tests umfassten neben den Prüfextrakten eine sterile Wasserkontrolle und die Standardvariante mit Kocide DF®.

Detached-Leaf-Test

Kartoffelpflanzen der anfälligen Sorte Bintje wurden im Stadium BBCH-14 mit 20 ml Testextrakt mit 0,1 % des Netz- und Haftmittels Nu-Film-17® (Andermatt Biocontrol AG) besprüht. Einen Tag nach der Behandlung wurden von diesen besprühten Pflanzen vier Teilblätter abgeschnitten und in eine 5 × 20 × 30 cm transparenten Box, ausgestattet mit einem Filterpapier und einem Gitternetz, ausgelegt. Die Boxen wurden leicht angewinkelt aufgestellt und zirka 150 ml Wasser zugegeben. So kam der unterste Teil des Filterpapiers in Berührung mit Wasser; damit in der Box eine hohe Luftfeuchtigkeit

Zusammenfassung

Kupfer wird im biologischen Kartoffelanbau gegen den Erreger der Kraut- und Knollenfäule, *Phytophthora infestans*, eingesetzt. Kupfer reichert sich im Boden an und schädigt bei höherem Eintrag die Bodenorganismen. Mit der in der Schweiz erlaubten Kupfermenge von 4 kg pro Hektar und Jahr wird bei nur einem Jahr Kartoffeln in einer sechsjährigen Fruchtfolge die ökotoxikologisch verträgliche Kupfermenge von 360 g pro Hektar und Jahr um rund das Doppelte überschritten.

Agroscope prüfte in den letzten Jahren viele verschiedene Stoffe, um Kupfer im Kartoffelbau zu reduzieren oder zu ersetzen. Gute Wirkungsergebnisse wurden mit Kaliumphosphonat unter Feldbedingungen erzielt. Doch abhängig von der Eintragsmenge bilden sich Rückstände in den Knollen. Aus diesem Grund dürften Phosphonat-Produkte im biologischen Kartoffelbau kaum Anwendung finden. In den Freilandversuchen wurde mit einer Suspension aus fein gemahlener Faulbaumarinde *Frangulae cortex* eine mit 3 kg Kupfer pro Hektar vergleichbare Teilwirkung erreicht. Um die erlaubte Kupfermenge nicht zu überschreiten, könnten die Kartoffeln bei den letzten Behandlungen mit einer geeigneten Formulierung pflanzlicher Stoffe mit antimikrobiellen Eigenschaften vor Krautbefall geschützt werden.

herrschte. Die Teilblätter wurden mit je 70–75 µl Sporensuspension mit einer Sporendichte von $1,4 \times 10^5$ inokuliert und fünf bis sieben Tage nach der Inokulation bei 18 °C und 12 Stunden Licht der Blattbefall bestimmt.

Feldversuche

Testsubstanzen, die im Detached-Leaf-Test eine gute Wirkung zeigten, wurden anschliessend im Feld in Kleinparzellenversuchen (Parzellengrösse: 5 m²) an den Agroscope-Standorten Zürich-Reckenholz und Tänikon geprüft. Dazu wurden im Jahr 2011 die beiden mittelfälligen Sorten Agria und Nicola, im Jahr 2012 zudem die hochanfällige Sorte Bintje angepflanzt. Für jedes Ver- ➤

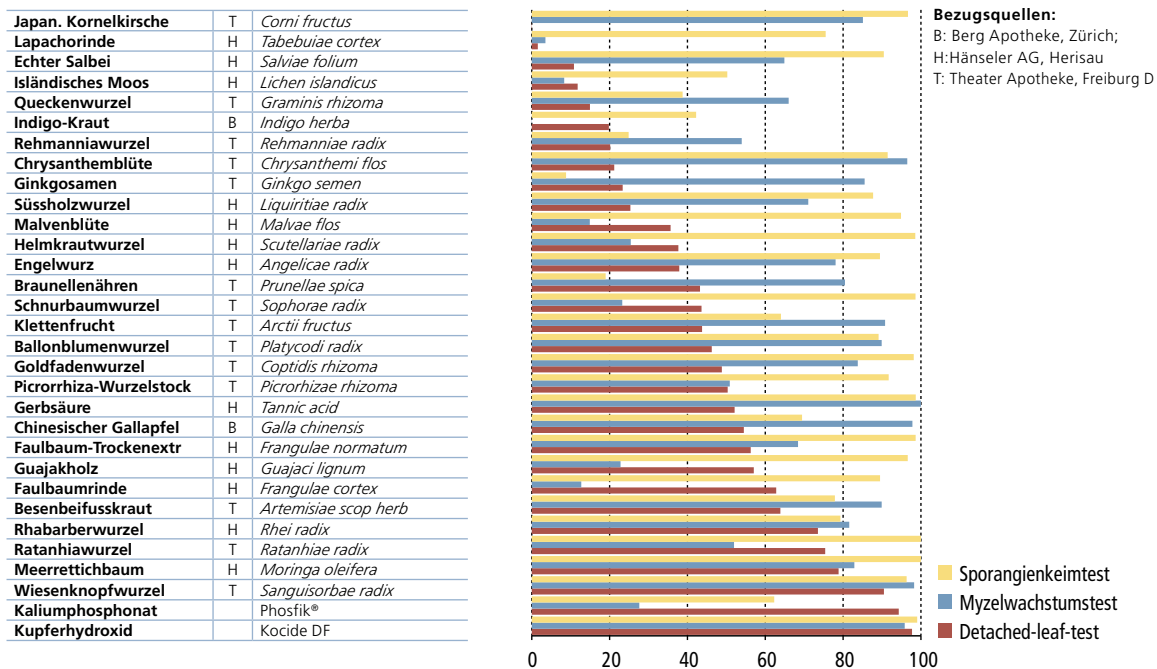


Abb. 1 | Wirkung von Kupfer, Kaliumphosphonat und Pflanzenextrakten auf den Blattbefall (Detached-Leaf-Test) sowie Hemmung des Myzelwachstums und der Sporangienkeimung von *Phytophthora infestans*. Mittelwerte aus zwei Versuchswiederholungen.

fahren wurden vier Wiederholungen in einer randomisierten Blockanlage angelegt. Mit insgesamt sieben Spritzungen pro Versuchsjahr wurden die pflanzlichen Stoffe als wässrige Suspension in einer Konzentration von 4 % unter Zugabe von 0,5 % Nu-Film 17® appliziert. Als Referenzverfahren wurde Kocide DF® mit 300 g Cu/ha eingesetzt. Das Kaliumphosphonat Phosfik®, (Biolchim GmbH, Hannover), wurde im Jahr 2011 mit 1,5 l/ha und im Jahr 2012 unter hohem Infektionsdruck mit 3,0 l/ha angewandt. Im Jahr 2011 wurden die beiden Pflanzendrogen *Frangulae normatum* 4 % und *Sanguisorbae radix* 4 % alternierend mit Phosfik® 3,0 l/ha eingesetzt. Im Jahr 2012 wurden bei den Verfahren 4 und 5 die ersten vier Behandlungen mit Phosfik® 3,0 l/ha und die folgenden vier Spritzungen mit Kocide DF® 300 g/ha respektive *Frangulae cortex* 4 % durchgeführt. Ab Befallsbeginn wurden wöchentlich der Krautbefall bonitiert und nach der Ernte der Knollenertrag ermittelt. Bei den Phosfik®-Varianten wurden die Knollen auf Phosphonsäure-Rückstände untersucht.

Resultate und Diskussion

Die Screeningtests in Labor und Klimakammer dienten zur Auswahl der Substanzen mit einer Wirkung gegen *P. infestans*. In Abbildung 1 sind die Prüfverfahren mit ansteigender Schutzwirkung beim Detached-Leaf-Test im Vergleich zur Hemmwirkung auf das Myzelwachs-

tum und die Sporangienkeimung dargestellt. Daraus ist erkennbar, dass nur Kocide DF® und *Sanguisorbae radix* sich sowohl beim Myzelwachstum und bei der Sporangienkeimung als auch auf den Kartoffelblättern durch eine gute Wirkung auszeichneten. Während sich *Corni fructus* als wirksam gegen das Myzelwachstum und die Sporangienkeimung erwies, war eine Behandlung der Kartoffelblätter völlig unwirksam. Demgegenüber war Phosfik® nur teilweise gegen das Myzelwachstum oder die Sporangienkeimung wirksam. Auf die Pflanze appliziert, wurde jedoch eine gute Wirkung gegen den Blattbefall festgestellt. Dies ist ein Hinweis für die geringe Direktwirkung und für induzierende Effekte der Phosphonsäure in der Kartoffelpflanze gegen *P. infestans*.

Feldversuche

In den zwei Kleinparzellenversuchen der Jahre 2011 und 2012 an den Agroscope-Standorten Tänikon und Zürich-Reckenholz wurde ab Befallsbeginn der Befallsverlauf und schliesslich der Knollenertrag ermittelt. In Abbildung 2 sind die Flächen unterhalb der Befallskurven der verschiedenen Behandlungen des Jahres 2011 am Standort Tänikon als Säulendiagramme dargestellt. Gesicherte Befallseffekte wurden bei den durchgehenden Behandlungen mit Kocide DF®, Phosfik® und *F. cortex* sowie bei den Behandlungen mit *F. normatum* und *S. radix* alternierend mit Phosfik® festgestellt.

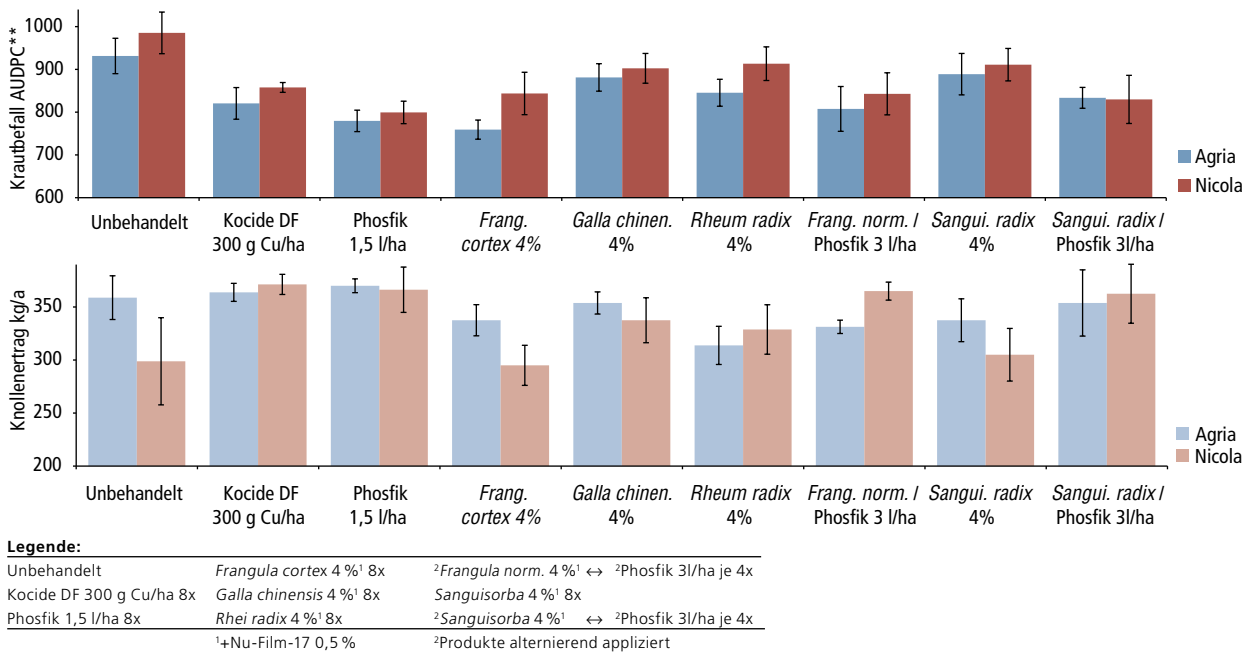


Abb. 2 | Krautbefall und Knollenertrag der Sorten Agria und Nicola, Standort Tänikon, Jahr 2011. **AUDPC = Area Under the Disease Progress Curve.

Bei der Sorte Agria, mit leicht besseren Resistenzeigenschaften, resultierte aufgrund des späteren Befalls bei keiner Behandlung ein Mehrertrag. Demgegenüber wurden bei der Sorte Nicola bei den wöchentlichen Kupfer- und Phosfik®-Behandlungen sowie bei *F. normatum* und *S. radix* – die beiden Letzteren abwechselnd mit Phosfik® eingesetzt – gesicherte Mehrerträge von über 20 Prozent geerntet.

Im Jahr 2012 herrschte witterungsbedingt während der gesamten Vegetationszeit ein hoher Infektionsdruck. Unter diesen Bedingungen hatte bei der anfälligen Sorte Bintje am Standort Zürich-Reckenholz keine der Behandlungen eine ausreichende Wirkung gegen den Krautbefall, um Ertragsverluste zu vermeiden (Abb. 3). Dass die AUDPC-Werte bei der Sorte Bintje tiefer lagen als bei Agria, ist auf den frühen Zusammenbruch des Blattwerks durch den Krautfäulebefall zurückzuführen.

Bei der Sorte Agria ist die gute Wirksamkeit der Phosfik® Behandlungen erkennbar. Aber auch die beiden Verfahren mit den vier Phosfik® Applikationen gefolgt von vier Spritzungen mit Kocide DF® oder *F. cortex* wurde der Krautbefall wirksamer kontrolliert als bei der Variante mit durchgehendem Kupfereinsatz. Mit den acht *F. cortex*-Behandlungen wurde eine mit den acht Kupfer-Spritzungen (8 × 300 g Cu/ha) vergleichbare, wenn auch unter dem vorherrschend hohen Infektionsdruck ungenügende, Wirkung erzielt.

Auch am Standort Tänikon wurden im Jahr 2012 bei den beiden Sorten Agria und Nicola durch Krautfäulebefall bedingte Ertragseffekte festgestellt. Die beste Wirkung und die höchsten Erträge wurden wiederum mit den acht Phosfik®-Behandlungen erreicht. Die beiden Verfahren mit vier Phosfik®-Behandlungen gefolgt von vier Spritzungen mit Kocide DF® oder *F. cortex* waren wiederum wirksamer gegen die Krautfäule als die acht Kupfer-Behandlungen, und es resultierten höhere Knollenerträge. Die Wirkung von acht *F. cortex*-Spritzungen war auch in diesem Versuch mit Kupfer vergleichbar, wenn auch – insbesondere bei der Sorte Nicola – nicht ertragswirksam.

Durch den drei Wochen früheren Befall und dem hohen Infektionsdruck als im Vorjahr wurde bei Phosfik® im Jahr 2012 die höhere der empfohlenen Aufwandmenge (3 l/ha) eingesetzt. So waren die Ertragseffekte zur unbehandelten Kontrolle ausgeprägter als im Jahr 2011. Unter dem hohen Infektionsdruck im Jahr 2012 hatten die protektiv wirkende Kupfer- und Frangula-Behandlungen keinen gesicherten Einfluss auf den Ertrag. Die gute Krautfäulewirkung und die hohen Ertragseffekte der Phosfik® Behandlungen sind auf die gute Regenfestigkeit sowie auf die protektive und kurative Wirkung der Phosphonsäure zurückzuführen.

Phosphonat-Produkte könnten aufgrund ihrer Wirkung eine Alternative darstellen, um Kupfer zu ersetzen oder den Kupfereintrag zumindest zu reduzieren. ➤

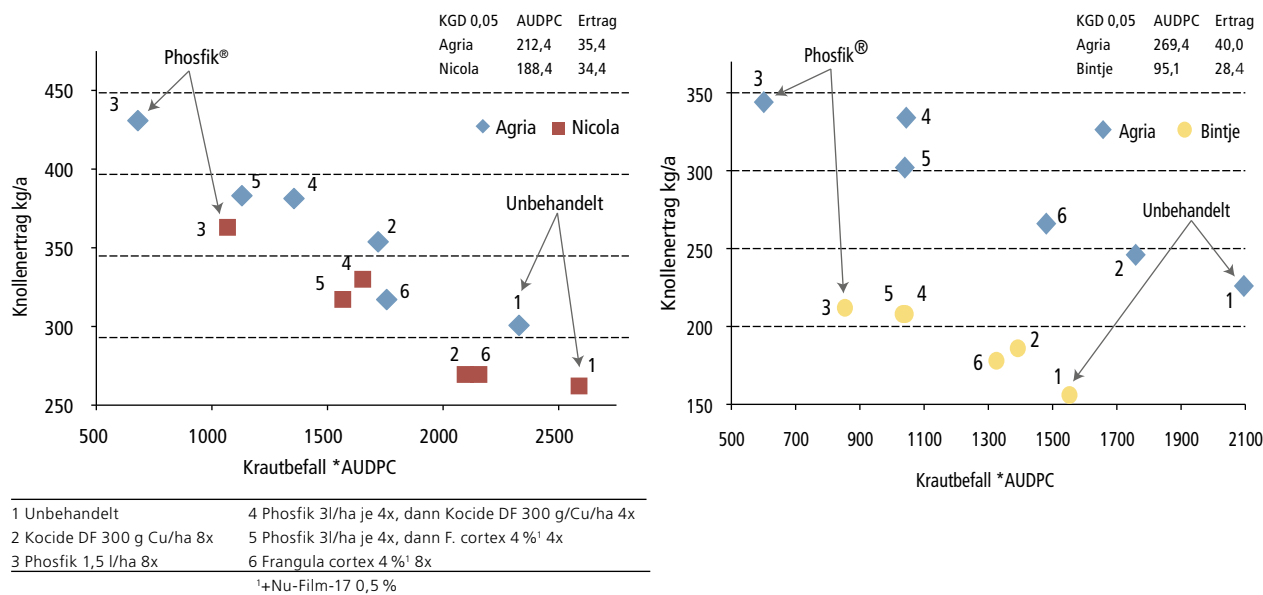


Abb. 3 | Krautbefall und Knollenertrag, Feldversuche Tänikon (links) und Zürich-Reckenholz (rechts), Jahr 2012, *AUDPC = Area Under the Disease Progress Curve.

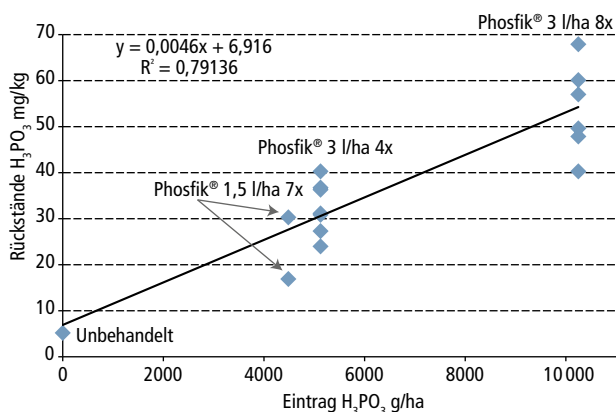


Abb. 4 | Feldversuche 2011 und 2012: Phosphorsäure-Rückstände in Kartoffelknollen in Abhängigkeit zur Eintragsmenge durch Krautbehandlung mit Phosfik®.

Allerdings ist bekannt, dass sich bei dessen Anwendung Rückstände im Erntegut akkumulieren können. Untersuchungen im Obstbau haben jedoch ergeben, dass sich bei Phosphonat-Anwendungen vor der Blüte keine Rückstände in den Früchten bilden (Kelderer *et al.* 2010). Um abzuschätzen, ob sich bei den Kartoffelknollen bei einer Frühbehandlung Rückstände vermeiden lassen, wurden bei den Phosfik®-Varianten die geernteten Knollen analysiert.

Die quantitative Phosphonat-Analyse mittels Ionenchromatographie hat ergeben, dass die Rückstandsmenge in den Knollen im Wesentlichen von der Behandlungsmenge abhängt (Abb. 4). Obschon die

Phosphonsäure toxisch kaum eine Gefährdung darstellt (Michalik 2010), sind deren Rückstände in den Knollen nicht mit den Grundsätzen des biologischen Landbaus vereinbar.

Die ungenügende Wirkung der Kupfervariante dürfte verschiedene Gründe haben:

1. Für das Jahr 2012 war der Spritzbeginn im Versuch für das protektiv wirkende Kupfer gemäss Bio-PhytoPRE deutlich zu spät.
2. Bei Dosierungen von weniger als 400 g Cu/ha und mit Niederschlagsmengen von mehr als 20 mm genügt der Spritzschutz nicht für sieben Tage.
3. Mit dem Prognoseystem Bio-PhytoPRE könnten die Behandlungen optimaler terminiert werden.

Die gute Phosfik®-Wirkung ist im Wesentlichen auf die rasche Aufnahme durch die Pflanze und die gute Regenfestigkeit sowie auf die kurativen Eigenschaften der Phosphonsäure bis kurz nach einer Infektion zurückzuführen. Doch Phosphonate werden wohl wegen der Rückstände in den Knollen kaum zur Kupferreduktion im Bio-Kartoffelbau beitragen können. Doch mit einem integrierten Vorgehen beginnend mit dem Anbau wenig anfälliger Sorten, dem Einsatz von neuen Kupferformulierungen, der Anwendung geeigneter pflanzlicher Stoffe und einem gezielten Einsatz des Prognoseystems Bio-PhytoPRE könnte die Kupfermenge substantiell reduziert werden. ■

Riassunto**Lotta alla peronospora della patata nella coltivazione biologica senza utilizzo di prodotti a base di rame?**

Il rame viene utilizzato nella coltivazione biologica delle patate contro la *Phytophthora infestans*, agente patogeno della peronospora. Esso si accumula nel terreno e in quantità elevate nuoce agli organismi presenti nel suolo. La quantità di rame consentita in Svizzera, ovvero 4 chilogrammi per ettaro e anno, supera di circa il doppio quella ecotossicologicamente sopportabile di 360 grammi l'ettaro e l'anno già con un anno di coltivazione di patate in una rotazione delle colture sessennale. Negli ultimi anni, Agroscope ha esaminato diverse sostanze allo scopo di ridurre o sostituire il rame nella coltivazione delle patate. Sono stati ottenuti buoni risultati con potassio fosfato bibasico anidro in condizioni normali. A seconda, però, delle quantità immesse di tale sostanza, nei tuberi si formano residui. Per tale ragione, i prodotti a base di fosfonati non vengono quasi mai applicati nella coltivazione biologica di patate. Negli esperimenti in pieno campo è stato raggiunta un'efficacia parziale comparabile a quella di 3 chilogrammi di rame per ettaro con una sospensione di corteccia di frangola *Frangulae cortex* finemente macinata. Per non superare le quantità di rame consentite, negli ultimi trattamenti si potrebbero proteggere le patate dall'infezione tramite un'adeguata formulazione di sostanze vegetali con proprietà antimicrobica.

Literatur

- Dorn B., Musa T., Krebs H., Fried P. & Forrer H.-R., 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.
- EU 2009. Amtsblatt der Europäischen Union, Richtlinien der Kommission 2009/37/EG, vom 23. April 2009, Anhang I, 91/414 EWG, Nr. 282.
- Kelderer M. & Gramm D., 2010. K-Phosphonat als Wirkstoff für den Pflanzenschutz. 14. Fachgespräch, Berlin-Dahlem, 09. November 2010: Pflanzenschutz im Ökologischen Landbau – Probleme und Lösungsansätze, 14–16.
- Kratz S., Haneklaus S. & Schnugg E., 2009. Kupfergehalte in Acker- und Grünlandböden und das Verhältnis dieser Gehalte zu den durch Pflanzenschutz ausgebrachten Kupfermengen. *Journal für Kulturpflanzen* **61**, 112–116.
- Kula Ch. & Guske S., 2002. Auswirkungen von Kupfer auf Bodenorganismen bei langjähriger Anwendung. 7. Fachgespräch, Berlin-Dahlem,

Summary**Copper free control of potato late blight in organic potato production?**

Copper is used in organic potato production to control the late blight pathogen *Phytophthora infestans*. A disadvantage of copper is, that it accumulates in the soil and damages soil organisms. In Switzerland, the application of 4 kg of copper per hectare and year is allowed. In a six year crop rotation, the ecotoxicologically acceptable amount of 360 g per hectare and year is exceeded by a factor of around two by just one year of potato cultivation.

Over the past few years, Agroscope has been testing different substances with the aim to reduce or replace copper in potato production. Satisfying results were achieved with potassium phosphonate under field conditions, however, residues are accumulated in the tubers depending on the input quantity. For this reason, phosphonate products will probably not be applied in organic potato farming.

In the field trials, a partial effect comparable to 3 kg copper per hectare was achieved by a suspension of finely ground alder buckthorn bark (*Frangulae cortex*). In order not to exceed the permitted amount of copper, the potatoes could be protected from late blight infestation by using suitable formulations of plant substances with antimicrobial properties in the final treatments.

Key words: late blight, organic potato production, copper fungicides, plant extract, phosphonate, laboratory screening, field trial.

- 06. Juni 2002: Alternativen zur Anwendung von Kupfer als Pflanzenschutzmittel, 11–16.
- Kühne S., 2010. Phosphonate. 14. Fachgespräch, Berlin-Dahlem, 09. November 2010: Pflanzenschutz im Ökologischen Landbau – Probleme und Lösungsansätze, 4
- Lundsgaard K., Prochazka V. & Fuchs N., 2003. Kupfer ist mehr als ein Schwermetall – Kupfer als Pflanzenschutzmittel im biologischen Rebbau. Eine Literaturstudie, 11. http://www.sektion-landwirtschaft.org/uploads/media/Kupfer_ist_mehr_als_ein_Schwermetall_01.pdf
- Michalik S., 2010. Phosphonate: Dünger? Pflanzenstärkungsmittel? Fungizid? 14. Fachgespräch, Berlin-Dahlem, 09. November 2010: Pflanzenschutz im Ökologischen Landbau – Probleme und Lösungsansätze, 10–13.