

Bearbeitet von:
Stefan Kühne, Britta Friedrich
- Institut für Strategien und Folgenabschätzung Kleinmachnow -

14. Fachgespräch: „Pflanzenschutz im Ökologischen Landbau – Probleme und Lösungsansätze“

Phosphonate

Berlin-Dahlem, 09. November 2010



Berichte aus dem Julius Kühn-Institut

158

Kontaktadresse

Dr. Stefan Kühne
Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
Institut für Strategien und Folgenabschätzung im Pflanzenschutz
Stahnsdorfer Damm 81
14532 Kleinmachnow

Telefon +49 (0) 033203 48-307

Telefax +49 (0) 033203 48-424

Der Forschungsbereich des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) hat seit dem 1. Januar 2008 eine neue Struktur.

Die Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA), die Bundesanstalt für Züchtungsforschung an Kulturpflanzen (BAZ) sowie zwei Institute der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) wurden zum Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen zusammengeschlossen. Das Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI) wurde aus der Bundesforschungsanstalt für Fischerei, der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft und aus Teilen der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft errichtet.

The research branch of the Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection (BMELV) has been reorganized. The former Biological Research Centre for Agriculture and Forestry (BBA) has been merged with other institutions. The newly established Julius Kühn-Institut (JKI), Federal Research Centre for Cultivated Plants, is working on plant protection, plant breeding, crop and soil science. The Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI) was created from the German Federal Research Centre for Fisheries, the German Federal Research Centre for Forestry and Forest Products and part of the German Federal Agricultural Research Centre.

Wir unterstützen den offenen Zugang zu wissenschaftlichem Wissen.

Die Berichte aus dem Julius Kühn-Institut erscheinen daher als OPEN ACCESS-Zeitschrift.

Alle Ausgaben stehen kostenfrei im Internet zur Verfügung:

<http://www.jki.bund.de> Bereich Veröffentlichungen – Berichte.

We advocate open access to scientific knowledge. Reports from the Julius Kühn-Institut are therefore published as open access journal. All issues are available free of charge under <http://www.jki.bund.de> (see Publications – Reports).

Herausgeber / Editor

Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Braunschweig, Deutschland
Julius Kühn-Institut, Federal Research Centre for Cultivated Plants, Braunschweig, Germany

Verlag

Eigenverlag

Vertrieb

Saphir Verlag, Gutsstraße 15, 38551 Ribbesbüttel
Telefon +49 (0)5374 6576
Telefax +49 (0)5374 6577

ISSN 1866-590X

© Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, 2011

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrages, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten.

Inhaltsverzeichnis	Seite
Zusammenfassung (S. Kühne)	4
Anorganische <i>Phosphonate</i> (Ca-, Mg-, NH ₄ -, K-,..... HPO ₃ ²⁻) Bausteine des Lebens (I. Scharafat).....	6
Phosphonate: Dünger? Pflanzenstärkungsmittel? Fungizid? und MAC 94700 F – ein neues Produkt von FCS (S. Michalik).....	10
K-Phosphonat als Wirkstoff für den Pflanzenschutz (M. Kelderer, D. Gramm)	14
Wirkung von Phosphonaten gegen <i>Venturia inaequalis</i> , <i>Podosphaera leucotricha</i> und Lagerungsfäulen im Apfelanbau (G. Palm).....	17
Versuche zur Verhinderung von Fäulnis durch <i>Peronospora rubi</i> an Brombeeren mit Phosphonaten (G. Palm).....	21
Schorf- und Lagerkrankheitenregulierung an Apfel mit Phosphonaten – mehrjährige Versuchsergebnisse (Ch. Scheer)	22
Anwendung phosphonathaltiger Pflanzenstärkungsmittel im ökologischen Weinbau - Einsatz in der Praxis und Rückstandsproblematik (R. Kauer).....	25
Molekularbiologische Untersuchungen zur Aufklärung der Wirkung phosphonathaltiger Elici- toren im Pathosystem <i>Vitis vinifera/Plasmopara viticola</i> (B. Berkelmann-Löhnertz, M. Selim, G. Langen, K.-H. Kogel, D. Evers).....	29
Regulierung der Krautfäule (<i>Phytophthora infestans</i>) durch Anwendung phosphonathaltiger Präparate – Wirksamkeitsvergleich mit Kupfer (D. Neuhoff)	34

Zusammenfassung

Stefan Kühne

Institut für Strategien und Folgenabschätzung im Pflanzenschutz

Julius Kühn-Institut, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow

stefan.kuehne@jki.bund.de

Zum Themenkreis „Pflanzenschutz im Ökologischen Landbau – Probleme und Lösungsansätze“ führt das JKI seit 1998 regelmäßig spezielle Fachgespräche durch. Ziel ist es, umfassende Informationen zum Pflanzenschutz anzubieten, geeignete Verfahren des Pflanzenschutzes vorzustellen und die Entwicklung von Mitteln und Methoden für den Ökologischen Landbau zu fördern.

Das 14. Fachgespräch wurde vom Institut für Strategien und Folgenabschätzung im Pflanzenschutz organisiert und ging um die Anwendung von Phosphonaten, insbesondere im Ökologischen Landbau.

Insgesamt 80 Teilnehmer diskutierten das Thema, so Gäste aus Österreich (BIO AUSTRIA) und Italien (Versuchszentrum Laimburg), aus dem Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, dem Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Vertreter der ökologischen Anbauverbände, Beratungsdienste und Landesbehörden aus Berlin, Bayern, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Rheinlandpfalz, Sachsen, Universitäten und Fachhochschulen aus Bonn, Freiburg, Geisenheim, Weinsberg sowie Vertreter von 10 Herstellerfirmen.

Phosphonate (Salze der Phosphonsäure) sind in der Natur weit verbreitete Stoffe und kommen in vielen Organismen natürlich vor. In Deutschland und Österreich sind sie in Pflanzenstärkungsmitteln enthalten und können vorbeugend zur Pflanzenstärkung gegen pilzliche Schaderreger wie z. B. *Phytophthora* spp., *Pythium* spp., *Plasmopara viticola* usw. in Kartoffeln, Obst- und Weinbau angewendet werden. Die Bedeutung dieser Präparate wächst im Zusammenhang mit der weiteren Kupferminimierung bzw. mit der Entwicklung einer Kupferersatzstrategie im Pflanzenschutz. Obwohl phosphonathaltige Pflanzenstärkungsmittel Kupferpräparate nicht vollständig ersetzen können, haben sie eine wichtige Bausteinfunktion nicht nur im Ökologischen sondern auch im integrierten Landbau.

Mit der Neufassung des Pflanzenschutzgesetzes im Jahr 2011 werden mit Sicherheit solche Pflanzenstärkungsmittel aus der Liste gestrichen, deren Wirkstoffe in der Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln und zur Aufhebung der Richtlinien 79/117/EWG und 91/414/EWG des Rates enthalten sind. Dazu gehören phosphonathaltige Produkte. Um die Kupferminimierungsstrategie weiterhin erfolgreich in der Praxis fortzuführen, sollten für gegenwärtig auf dem Markt befindliche Pflanzenstärkungsmittel entsprechende Übergangsfristen verankert werden, bis ein entsprechendes Pflanzenschutzmittel mit diesem Wirkstoff zur Verfügung steht.

Die Firma FCS Feinchemie Schwebda GmbH bereitet die Zulassung eines phosphonathaltigen Pflanzenschutzmittels vor und rechnet im Jahr 2013 mit der Zulassung. Prinzipiell würde damit dem Ökologischen Landbau eine Alternative zur Verfügung stehen. Phosphonate sind jedoch bisher nicht als Wirkstoffe im Anhang II der EG-Ökoverordnung Nr. 889/2008 vom 5.

September 2008 enthalten und dürfen deshalb nicht als Pflanzenschutzmittel im Ökolandbau angewendet werden.

Im Rahmen des Fachgespräches wurde deutlich, dass insbesondere der ökologische Weinbau in Deutschland die Aufnahme der Phosphonate als Wirkstoff in die EU-Ökoverordnung unterstützt. Für ein erfolgreiches Verfahren muss aber noch in anderen EU-Ländern für Zustimmung geworben werden.

Die synthetische Herstellung der Phosphonate als auch der Verbleib von Rückständen im Erntegut entspricht bisher nicht den Kriterien für Betriebsmittel im Ökologischen Landbau. Obwohl es sich um einen naturidentischen Stoff handelt und die Bewertung der Phosphonat-Rückstände völlig offen ist, muss der Meinungsbildungsprozess innerhalb der ökologischen Anbauverbände weiter fortgeführt werden.

Das Fachgespräch hat zum Verständnis der Wirkungsweise und Rückstandsproblematik beigetragen und die aktuelle Zulassungssituation auf europäischer und nationaler Ebene dargestellt. Als weiteres Ergebnis ist der zukünftige Forschungs- und Handlungsbedarf zum Thema Phosphonate aufgezeigt worden.

Anorganische Phosphonate (Ca-, Mg-, NH₄-, K-,..... HPO₃²⁻) Bausteine des Lebens

Iradj Scharafat

TILCO Biochemie GmbH, Holländer Koppel 1 a, 23858 Reinfeld

dr.scharafat@tilco-biochemie.de

Zusammenfassung

Phosphor ist ein essentielles Nährelement, Baustein des Lebens und des Erbguts. Phosphor spielt im Energiestoffwechsel und in den zellulären Signalketten eine entscheidende Rolle. Phosphor kann als Solarzelle des Lebens betrachtet werden, die die Energie durch Oxydation und Reduktion mit Sauerstoff bindet oder (und) abgibt, um den Motor des Lebens in Bewegung zu halten.

Das Leben hätte vor 3,5–4,0 Milliarden Jahren – unter anaeroben Bedingungen – nicht entstehen können, wenn Phosphor in der Ursuppe (im Ozean) nicht als *Phosphonat* vorgelegen hätte, denn Phosphor kam ausschließlich als schwer wasserlösliches Phosphat-Mineral (Fluorapatit und Hydroxyapatit) vor.

Heute werden in der Präbiotischen Chemie *Phosphonsäure* (H₂HPO₃) und *Phosphonate* als Ausgangsmaterial für die Entstehung des Lebens angesehen, nachdem die Chemiker der NASA *Phosphonate und Phosphonsäure* als Phosphor-Bestandteile im Murchison-Meteoriten-Extrakt festgestellt haben. Theorie besagt: Die Umwandlung und Reduktion von Phosphat zu *Phosphonat* benötigt sehr viel Energie, die nur durch Blitz und vulkanische Eruption aus mineralischen Phosphaten entstehen konnte. Die Ozeane wurden durch starken Vulkanismus mit *Phosphonaten* angereichert. Ultraviolette Strahlung hat schließlich die Reaktion der anorganischen *Phosphonate* mit organischen Verbindungen in organische *Phosphonate* begünstigt.

Der Vorgang der oxydativen Phosphorylierung ist nicht ausreichend erforscht. LEMEŠKO (1980) ist der Ansicht, dass Phosphat bei der oxidativen Phosphorylierung im ersten Reaktionsablauf beteiligt ist. „Wesentlich hierbei ist, dass das chemische Element Phosphor des anorganischen Phosphats dabei Reduktion-Oxidations-Umwandlung von $P^{5+} \rightarrow P^{3+} \rightarrow P^{5+}$ erfährt“ (also beim Reaktionsablauf von ATP zu ADP aus Orthophosphonat das Orthophosphat entsteht).

Wenn z. B. ein Mensch mit 70 kg Körpergewicht 72 kg ATP täglich produziert, ist leicht auszurechnen, welche Menge an HPO₃²⁻ im Körper an einem Tag gebildet wird.

GÄRTNER (1796) hat festgestellt, dass die Menge an HPO₃²⁻ und Harnsäure in Human-Harn von den verzehrten Nahrungsmitteln abhängig ist. PREVOST und DAMAS (1828) haben bei Kindern mehr HPO₃²⁻ gefunden als bei erwachsenen Menschen (Grund: das Vorhandensein von Benzoesäure).

HORIGUCHI und KANDATSU (1959) haben zum ersten Mal 2-Aminoethylphosphonsäure in Zellmembranen gefunden. Später entdeckten Biologen *Phosphonate* in 80 verschiedenen Pflanzen, Pilzen, Bakterien und Tierarten. So bestehen beispielsweise 3 % der gesamten Phosphate im Plankton aus *Phosphonaten*.

KIM et al. (1998) und SAKAR (2003) haben für *Phosphoenolpyruvat* zum ersten Mal das Enzym *Phosphoenolpyruvat-Phosphomutase* (Ppm) unter anderem auch aus Miesmuscheln

und Einzellern (*Trypanosoma cruci*) isoliert. Dabei wird durch Ppm PO_4^{3-} in HPO_3^{2-} (in Gegenwart von Mg^{2+}) isomerisiert.

Phosphonopyruvat-Decarboxylase (Enzym) wandelt wiederum *Phosphonopyruvat* in *Phosphono-acetaldehyd* um, aus dem schließlich *2-Aminoethyl-phosphonat* gebildet wird.

Zum ersten Mal wurden von ZHANG et al. (2003) die biochemische und strukturelle Charakterisierung einer *Phosphonopyruvat-Decarboxylase* veröffentlicht.

Drei Jahre davor hatten COYNE et al. (2000) die Existenz der Gene beschrieben, die für die Produktion der Enzyme *Phosphoenolpyruvat-Phosphomutase*, *Phosphonopyruvat-Decarboxylase*, *2-Aminoethylphosphonat-Transaminase* und die Synthese von *2-Aminoethylphosphonat* verantwortlich sind. Die Entdeckung der enzymatischen *Phosphonat-Synthese* aus Phosphat, in jüngster Zeit, untermauert die Bedeutung der *Phosphonate* als Bausteine des Lebens.

HÖHLING (2000) beschreibt, dass 17 % der gesamten Phospholipide der Zellmembran der Pantoffeltierchen, im Pansen der Wiederkäuer, aus mehreren *Phosphonolipiden* (*2-Aminoethylphosphonsäure*-Verbindungen) bestehen. Die *Phosphonolipide* sorgen für die Ca- und Fe-Aufnahme in die Zelle. Kuhmilch und Rinderhirn enthalten *Phosphonate*. Mit Milch und Milchprodukten nehmen wir somit täglich *Phosphonate* in unserem Körper auf, die Ca-Versorgung wird verbessert, folglich wird Osteoporose vorgebeugt.

Nur 3 % des gesamten Phosphors in den lebenden Organismen bestehen aus *Phosphonaten*, eine Überdosierung verursacht Schäden. Eine Substitution des Phosphats durch *Phosphonat* ist nur begrenzt möglich. Bei Phosphatmangel sind immer Schäden zu erwarten (97 % des Phosphors in Organismen sind Phosphate). *Phosphonate* führen in der Kombination mit Phosphaten bei pilzlichen Krankheitserregern wie den *Oomyceten* zu besserem Wachstum (INRA 2010, *Phytophthora capsici* in vitro).

Die *Kaliumphosphonat*-Formulierung des Pflanzenstärkungsmittels *Frutogard* ist für pilzliche Schaderreger doppelt so verträglich wie *Kaliumphosphonat* solo und 10 x verträglicher als *Phosphonsäure* (H_2HPO_3). So führt die Anwendungsmenge von *Kaliumphosphonat* in *Frutogard* (780 g/ha) zu keiner Hemmung des Mycelwachstums bei *Phytophthora capsici*. Dagegen führt die Menge von 1664 g/ha (*Phosfik*) bzw. 2020 g/ha *Kaliumphosphonat* (Fungizid) zur Hemmung des Pilzwachstums.

Die *Kaliumphosphonat-Wirkung* der vorgenannten Produkte ist nach INRA (2010) differenzierter zu betrachten als bis jetzt angenommen wurde. So wird die *Kaliumphosphonat-Wirkung* von *Frutogard* durch den Phosphatanteil für pilzliche Krankheitserreger neutralisiert. Bei *Phosfik* und dem verglichenen Pflanzenschutzmittel auf *Kaliumphosphonat-Basis* – ohne Phosphat-Anteile – tritt diese Wirkung nicht ein.

Schließlich ist darauf hinzuweisen, dass nach der Anwendung von *Frutogard*, auch ohne Pilzbefall oder Inokulation, das Immunsystem der Pflanzen aktiviert wird und die Suppressoren des Pilzes ausschaltet. Reines *Kaliumphosphonat* dagegen wirkt erst dann aktivierend auf das Pflanzen-Immunsystem, wenn die Pflanze mit Pilz befallen ist.

Phosphonate (K-, Ca-, Mg-, NH_4 -*Phosphonate*) sind in geringen Konzentrationen auch für die Krankheitserreger Nährstoff und wachstumsfördernd, wie Cu oder Fe. Höhere Konzentrationen, je nach Formulierung, führen jedoch zu Schäden der Organismen, auch der Pflanzen. Bei einer Phosphatmangel-Situation, die in der Landwirtschaft jedoch nicht vorkommt, würden *Phosphonat-Dünger* ebenfalls Schäden an den Pflanzen verursachen (wie in vitro oder in reiner Sandkultur).

Da der *Phosphonat*-Anteil in *Frutogard* z. B. bei der Bekämpfung von *Bremia lactuca* in Salat bei 780 g/ha (HPO_3^{2-}) und bei den Vergleichsmitteln Phosfik und *Kaliumphosphonat*-Fungizid bei 1664 g/ha (HPO_3^{2-}) bzw. 2020 g/ha (HPO_3^{2-}) liegen, sind die Rückstandsmengen an *Kaliumphosphonat* bei einer *Frutogard*-Anwendung erheblich geringer als bei den verglichenen Produkten. In der EU wurde *Kaliumphosphonat* als Pflanzenschutzmittel-Wirkstoff festgelegt. Die Höchstmenge bezieht sich nach RHmV auf *Kaliumphosphonat* und nicht, wie leider in der Praxis üblich, auf „*phosphorige Säure*“ (IPUAC: *Phosphonsäure*).

Zusammenfassend ist festzuhalten: Das Produkt *Frutogard* ist mit nur 195 g HPO_3^{2-} /Liter selbst noch bei den empfohlenen Aufwandmengen (780 g/ha HPO_3^{2-}) wachstumsfördernd für den Pilz, gleichzeitig aber – bedingt durch die Wirkung der Algen-Extrakte, der Aminosäuren und der Formulierung mit Phosphat – auch ein Elicitor für die Pflanze, also ein Pflanzenstärkungsmittel.

Literatur

- Coyne, M. J., Kalka-Moll, W., Tzianabos, A.O., Kasper, D.L., and Comstock, L.E. (2000). *Bacteroides fragilis* NCTC9343 produces at least three distinct capsular polysaccharides: cloning, characterization, and reassignment of polysaccharide B and C biosynthesis loci. *Infect. Immun.* 68: 6176-6181.
- Gärtner (1796), Johann Samuel Ersch, Johann Gottfried Gruber 1828 -416 Seiten, books.google.de
- Horiguchi, M., and Kandatsu, M. (1959). Isolation of 2-aminoethane phosphonic acid from rumen protozoa. *Nature* 184: 901-902.
- Lemeško, V. V. (1980) Doklady. Akademija nauk Ukrainskoj SSR. Serija B: Geologija, Chimijska, Biologija. Kiev, 1980, Nr 10, S. 78 – 81, Chemical mechanism is suggested for coupling of oxidative phosphorylation in the redox-chain of biomembranes. On non-gem metalloproteids phosphate is reduced electrochemically to phosphite which in subsequent oxidation forms a macroergic bond with one of the disulphide sulphur atoms.
- Kim, A., Kim, J., Martin, B.M., and Dunaway-Mariano, D. (1998). Isolation and characterization of the carbon-phosphorus bond-forming enzyme phosphoenolpyruvate mutase from the mollusk *Mytilus edulis*. *J. Biol. Chem.* 273: 4443-4448.
- Prevost und Damas (1828), Johann Samuel Ersch, Johann Gottfried Gruber 1828 -416 Seiten, books.google.de
- Sandra Johnen (2005). Biosynthese von Phosphonaten: Charakterisierung des rekombinanten Enzyms Phosphonopyruvat-Decarboxylase aus *Streptomyces viridochromogenes* Tü494, Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Lebenswissenschaften / Life Sciences Band / Volume 17, ISSN 1433-5549 ISBN 3-89336-400-5
- Sarkar, M., Hamilton, C.J., and Fairlamb, A.H. (2003). Properties of phosphoenolpyruvate mutase, the first enzyme in the aminoethylphosphonate biosynthetic pathway in *Trypanosoma cruzi*. *J. Biol. Chem.* 278: 22703-22708.

Zhang, G., Allen, K.N., and Dunaway-Mariano, D. (2003a). Enzymatic synthesis of radio-labeled phosphonoacetaldehyde. *Anal. Biochem.* 322: 233-237.

Zhang, G., Dai, J., LU, Z., and Dunaway-Mariano, D. (2003b). The phosphonopyruvate decarboxylase from *Bacteroides fragilis*. *J. Biol. Chem.* 278: 41302-41308.

Höhling, A. (2000) Auswirkungen von verschimmeltem Futter, chronischer Pansenazidose sowie Schwefel-Zulagen auf die Protozoenpopulation im Pansen (in vitro) Aus der Klinik für Rinderkrankheiten (im Richard-Götze-Haus) der Tierärztlichen Hochschule Hannover

Unveröffentlicht: Franck Panabieres 2010 INRA (France)

Tests der Fungizidtoxizität an der *Phytophthora capsici* - Stamm 450 und 552, der *Phytophthora parasitica* - Stamm 179 und 310 der TTF5-Formel versus Kaliumphosphit - Fortsetzung der Vorexperimente (Vorscreening)

Experimente vom April 2010 im Labor Franck Panabieres, Leiter der Forschungsabteilung im UMR IBSV (Biotische Wechselwirkungen und pflanzliche Gesundheit) – IPO-Team (Wechselwirkung Pflanze-Oomycetes) der INRA Sophia-Antipolis

Phosphonate: Dünger? Pflanzenstärkungsmittel? Fungizid? und MAC 94700 F – ein neues Produkt von FCS

Susanne Michalik, Produktmanagement FCS Feinchemie Schwebda GmbH
Edmund-Rumpler-Straße 6, 51149 Köln, Susanne.Michalik@fcs-feinchemie.com

In der landwirtschaftlichen Praxis werden verschiedene Formulierungen des Elements Phosphor eingesetzt. Manche werden als Dünger vertrieben, andere als Pflanzenstärkungsmittel und wieder andere als Fungizide. Der vorliegende Beitrag liefert einen Beitrag zur Klärung der Frage, welche Phosphor-Formen in welchen exemplarisch ausgewählten kommerziell erhältlichen Produkten enthalten sind, welche Wirkung sie in der Pflanze entfalten und wie sie aufgrund ihrer Wirkung in der Pflanze klassifiziert werden sollten. Zusätzlich wird ein neues Phosphonathaltiges Entwicklungsprodukt der Firma FCS vorgestellt.

Die nachfolgende Tabelle liefert einen Überblick über landwirtschaftlich relevante P-Formen und ihre Bezeichnung in Deutsch und Englisch:

Chem. Symbol	Dt. Name	Engl. Name	Was ist es?
P	Phosphor	Phosphorus	Chemisches Element, in der Natur nicht vorkommend
H ₃ PO ₄	Phosphorsäure	Phosphoric acid	Zur Herstellung von Düngern verwendet
MH ₂ PO ₄ M ₂ HPO ₄ M ₃ PO ₄	Salze der Phosphorsäure =Phosphate	Dihydrogen P. Hydrogen P. Phosphate	P wird als Phosphat leicht von der Pflanze aufgenommen
P ₂ O ₅	Phosphoroxid	Phosphor oxide	Chem.Formel um P-Gehalt von Düngern anzugeben
H ₃ PO ₃	Phosphonsäure (Phosphorige Säure)	Phosphorous acid	Nutzung zur Bekämpfung von Oomyceten Pathogenen
MH ₂ PO ₃ M ₂ HPO ₃	Salze der Phosphonsäure =Phosphite	Phosphites* (Phosphonates)	In käuflich erwerbbaaren Produkten enthaltene Salze der Phosphonsäure
RPO(OH) ₂	Ester der Phosphonsäure =Phosphonate	Phosphonates* (organic, C-P)	Vielfältige Nutzung (z.B. Glyphosat), auch industriell

* Der neuesten IUPAC Terminologie zufolge werden als Phosphonate alle anorganischen und organischen Abkömmlinge der Phosphonsäure (ehemals phosphorige Säure genannt) bezeichnet. Im Rahmen dieser Ausführungen wird zur besseren Verständlichkeit jedoch die ursprüngliche Terminologie beibehalten, der zufolge alle anorganischen Salze der Phosphonsäure als Phosphite und alle organischen Abkömmlinge als Phosphonate bezeichnet wurden.

Als Beispiele für Phosphate, die in der Düngerherstellung relevant sind, können Ammoniumhydrogenphosphat (NH₄)₂HPO₄, Superphosphat Ca(H₂PO₄)₂ + CaSO₄ oder Doppelsuperphosphat 3 Ca(H₂PO₄)₂ genannt werden. Beispiele für fungizide Phosphite (Phosphonate) sind Kaliumhydrogenphosphonat bzw. -phosphit K₂HPO₃, KH₂PO₃ und Natriumhydrogenphosphonat bzw. -phosphit Na₂HPO₃, NaH₂PO₃.

In den meisten Produkten, die nicht als Fungizid zugelassen sind, die aber aufgrund ihres Phosphitgehaltes eingesetzt werden, ist Kaliumphosphit enthalten. Kaliumphosphit ist in dem als Pflanzenstärkungsmittel vertriebenen Produkt Frutogard enthalten (ca. 20 % H₃PO₃), in den als Dünger verkauften Produkten Basfoliar, Phosfik, Lebosol-Kalium-Plus, Phos 60 und

PhosFung, während das Düngeprodukt Lebosol-Magnesium-Plus Magnesiumphosphit enthält. Das als Fungizid vertriebene Produkt Mildicut enthält Dinatriumphosphit als Formulierungshilfsstoff und die Fungizide Aliette, Profiler und Verita enthalten das Aluminiumsalz des Monoethylesters der Phosphonsäure als fungiziden Wirkstoff. Die äquivalenten Gehalte an Phosphonsäure all dieser Produkte liegen bei 13 %–50 %.

Während Phosphate unzweifelhaft eine wesentliche Rolle in der Nährstoffversorgung der Pflanze spielen und keine fungizide Wirkung aufweisen, war die Bedeutung der Phosphite oder Phosphonate lange Zeit nicht so klar. Ihre fungizide Wirksamkeit wurde in den 1970er Jahren entdeckt. Seit dieser Zeit gibt es umfangreiche Untersuchungen verschiedenster Forschungseinrichtungen aus den verschiedensten Ländern durch die belegt werden kann, dass Phosphite eine eindeutige fungizide Wirkung auf Oomyceten haben, während eine direkte Düngewirkung nicht nachweisbar ist.

Phosphite werden in der Pflanze sowohl akropetal als auch basipetal transportiert, sowohl im Xylem als auch im Phloem. Die Phosphit Aufnahme in die Pflanze kann sowohl durch spritzen, tauchen, gießen, streichen als auch injizieren erzielt werden. Phosphite haben in der Pflanze keine Düngewirkung und es sind keine Pflanzenenzyme bekannt, die Phosphite in Phosphate umwandeln können. Phosphite können durch bodenbürtige Bakterien ab- und umgebaut werden, der Abbau erfolgt jedoch langsam, so dass eine Düngewirkung auf die Pflanzen höchstens geringfügig ist.

Innerhalb der Pflanzen ist der Ablauf vieler physiologischer Prozesse von einer stabilen Phosphat Konzentration im Cytoplasma abhängig. Pflanzen haben daher komplizierte Mechanismen entwickelt, um diesen ausgeglichen Zustand zu halten. Die Zufuhr von Phosphit führt in Phosphat-Mangelsituationen zu einer starken Repression der Phosphat-Mangelantwort, wodurch an der Pflanze verstärkte P-Mangelsymptome zu beobachten sind. Diese sind reversibel, wenn die Pflanze wieder mit Phosphat versorgt wird. Phosphite können Phosphate in der Pflanze nicht ersetzen oder ergänzen, Phosphite werden in der Pflanze weder ab- noch umgebaut. Sie können über die Wurzeln ausgeschieden und im Boden durch Bakterien abgebaut werden (Quelle: Diss. Frau Ralitz Danova-Alt, Uni Halle Dez. 2008). Daher wird ein Dünger wie Phos 60 EU, der 10 % Gesamtstickstoff und 5 % K_2O enthält, auch nur als NK-Dünger bezeichnet, obwohl er 43 % P_2O_5 aus Phosphonsäure (entspricht 50 % H_3PO_3) enthält, denn die Phosphonsäure entfaltet keine Düngewirkung.

Zu den gartenbaulich relevanten Oomyceten, die durch Phosphite bekämpfbar sein sollten, gehören Pilze der Gattungen *Aphanomyces* (Wurzelfäulen), *Bremia*, *Peronospora*, *Plasmopara*, *Pseudoperonospora*, *Sclerospora* (Falscher Mehltau), *Pythium* (Wurzelfäulen und Auflaufkrankheiten), *Phytophthora* (*Phytophthora* an Kartoffeln und Tomaten, Blattkrankheiten an Paprika und Cucurbitaceae, Wurzel- und Stängelfäulen) sowie *Albugo* (Weißer Rost an Cruciferen).

Die Wirkungsweise der Phosphite auf die pilzlichen Erreger erfolgt prinzipiell auf zwei verschiedenen Wegen: zum einen wirken sie direkt auf den Pathogen durch eine Beeinträchtigung des P-Stoffwechsels des Pilzes und eine Hemmung der oxydativen Phosphorylierung (Abb. 1). Zum anderen wirken Phosphite indirekt durch die Mobilisierung der Abwehrkräfte der Pflanze und die Bildung von Phytoalexinen. Die direkte Wirkung ist von untergeordneter Bedeutung, entscheidend ist die indirekte Wirkung (Abb. 2).

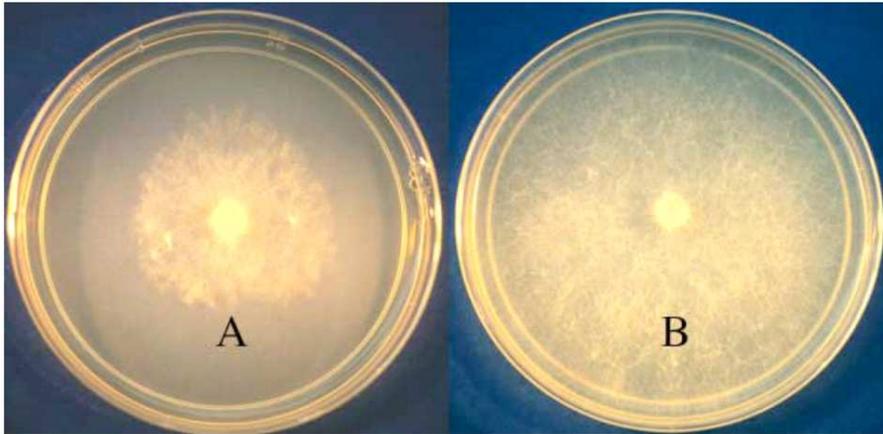


Fig. 1. *Pythium aphanidermatum* growing in cornmeal medium amended with (a) potassium phosphite and (b) potassium phosphate. The potassium phosphite is inhibiting growth of *Pythium* mycelia, whereas the potassium phosphate has no effect on growth.

Quelle: Pennsylvania State University, Dept. of crop and soil sciences, Peter Landschoot, Joshua Cook, 2005

Abb. 1: Direkte Wirkung von Kaliumphosphit auf *Pythium*

Phosphonate-treated interaction

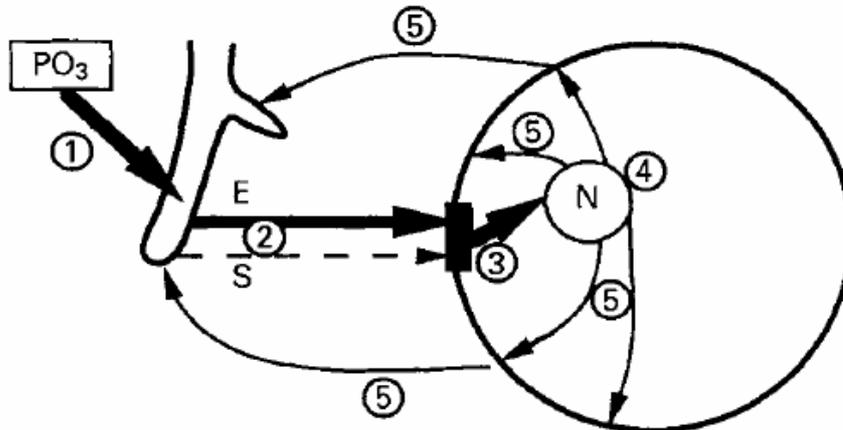


Abb. 2: Wirt-Parasit Beziehung unter Phosphonat Einfluss, schematisch, 1-Pathogen durch direkte fungizide Wirkung der Phosphite unterdrückt, 2-Stressmetaboliten -> Produktion von Elicitoren, unzureichende Produktion von Suppressoren, 3-Erkennung, 4-Abwehrreaktionen erhöht, 5-Phytoalexine, phenolische Verbindungen, lytische Enzyme, hypersensitiver Zelltod und Zellwandverstärkungen, 6-Absterben des Pathogens, Quelle: David Guest, Bruce Grant, University of Melbourne, Australia, Biol.Rev., 1991

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Phosphite in der Pflanze keine Düngerwirkung entfalten und nur über den Boden ein Abbau stattfindet, der langsam und langfristig gesehen eine gewisse Düngerwirkung hervorrufen kann. Phosphite haben eine eindeutige fungizide Wirkung auf Oomyceten, wobei diese Wirkung zu einem geringen Teil über eine direkte Hemmung des Pathogens (ausgeprägter bei Phosphiten als bei Phosphonaten) und zum entscheidenden Teil über eine Aktivierung der pflanzeigenen Abwehrreaktionen hervorgerufen wird. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von SAR = „systemic acquired resistance“. Da Phosphite in der Pflanze weder ab- noch umgebaut, sondern nur langsam über die Wurzeln ausgeschieden werden, können nach Aufnahme von Phosphiten durch die Pflanze auch relativ hohe Rückstände in den Pflanzen gefunden werden. Die Rückstandsdefinition von Phosphiten ist zurzeit allerdings noch nicht endgültig geklärt. Rückstände könnten über die Menge von Phosphit-Anionen (HPO_3^{2-}) definiert werden, wahrscheinlicher ist allerdings, dass die Rückstandsdefinition des bereits als fungizider Wirkstoff gelisteten Fosethyl-Al (Rückstand = Summe aus Fosethyl + Phosphonsäure + Salze der Phosphonsäure) übernommen wird. Aus toxikologischer Sicht sind die Rückstände von Kaliumphosphiten völlig unbedenklich (MRL für Trauben 100 mg/kg, MRL für Kernobst 75 mg/kg).

Zurzeit wird Kaliumphosphit in Weinbau, Obstbau und Gemüsebau bereits in recht großem Umfang eingesetzt – hauptsächlich über den Einsatz von Pflanzenstärkungsmitteln und Düngern. Da der Wirkstoff bisher weder nach Art noch Menge als solcher deklariert ist, er aber deutliche Rückstände hinterlässt, sind Anwender verständlicherweise verunsichert, ob, wie weit und in welchem Umfang Phosphite eingesetzt werden können. Daher hat FCS sich dazu entschlossen, den Wirkstoff als Pflanzenschutzmittel registrieren zu lassen, um die Möglichkeit zu eröffnen, den Wirkstoff mit definierten Aufwandmengen, Applikationshäufigkeiten und Wartezeiten einsetzen zu können (Abb. 3). Auf EU-Ebene befindet sich Kaliumphosphit im Verfahren der Annex I Listung durch den Wirkstoffinhaber. FCS hat die Zulassung als Fungizid zunächst im Weinbau eingereicht. Weitere Indikationen sind geplant.

Wirkstoff:	755 g/l Kaliumphosphit ($\text{K}_2\text{HPO}_3 + \text{KH}_2\text{PO}_3$) = 504 g/l phosphorige Säure
Formulierung:	SL
Kultur:	Weinbau (Keltertrauben) – zunächst - später zusätzliche Indikationen
Schaderreger:	<i>Plasmopara viticola</i>
Anwendung:	Max 5 Applikationen im Abstand von 10 Tagen
Aufwandmenge:	Basisrate: 1,0 l/ha = 504 g/l ab BBCH 61: 3,0 l/ha = 1.512 g/l ab BBCH 71: 4,0 l/ha = 2.016 g/l
Wartezeit:	14 Tage

Abb. 3: MAC 94700 F - ein neues Fungizid von FCS

K-Phosphonat als Wirkstoff für den Pflanzenschutz

Kelderer M. & Gramm D.

Ökologischer Anbau – VZ Laimburg, Laimburg 6, I-39040 Post Auer (BZ), Italien

Markus.Kelderer@provinz.bz.it

Kaliumphosphonat ist ein Wirkstoff, der auf verschiedenen landwirtschaftlichen Kulturen sehr gute Wirkungen gegen diverse Pilzkrankheiten, wie etwa *Plasmopara viticola*, *Pythium* spp. oder *Phytophthora* spp. zeigt (SPEISER B. et al., 2000; COOK P.J. et al., 2009; BELISARIO A. et al., 2007; KELDERER et al., 2010). Als anorganisches Salz der phosphorigen Säure definiert, wird der Wirkstoff von den Pflanzen durch Wurzeln und Blätter auf systemische Weise aufgenommen (GUEST D. et al., 1991). Sowohl einen kurativen als auch einen präventiven Effekt vermag K-Phosphonat auszulösen (GUEST D. et al., 1990). Denn Phosphonate fördern die pflanzeigene Abwehr (HEIBERTSHAUSEN, 2009) und gewährleisten eine relativ lang anhaltende Wirkung (GUEST D. et al., 1991). Zudem verlangsamen Phosphonate in Abhängigkeit ihrer Konzentration das Pilzwachstum und unterbinden die Sporulation (GUEST D. et al., 1991).

Phosphorige Säure gilt generell als verhältnismäßig anwender- und umweltfreundlich (Draft Assessment Report (DAR) on Potassium Phosphite). Im Boden wird sie je nach Aktivität der Mikroorganismen zu pflanzenverfügbarem Phosphat oxidiert (GUEST D. et al., 1991). Bei inkorrekt formuliertem bzw. Einsatz des Mittels besteht die Gefahr von phytotoxischen Reaktionen.

K-Phosphonat wird im Wein-, Gemüse- und Obstbau erfolgreich angewandt. Es ist in der EU-Verordnung 91/414 zum Pflanzenschutz noch nicht als Pflanzenschutzmittel registriert. Das entsprechende Dossier für die Aufnahme als Pflanzenschutzmittel wurde von der israelischen Firma Luxembourg Industries Ltd. bereits vor einigen Jahren zum ersten Mal eingereicht und ist noch in Untersuchung (<http://ec.europa.eu>, 2010). Die Registrierung von K-Phosphonat in die europäische PSM-Liste ist nach Einschätzung verschiedener Experten wahrscheinlich. Aktuell wird K-Phosphonat je nach nationaler Bestimmung als Blattdünger (z. B. Italien) oder Pflanzenstärkungsmittel (Deutschland und Österreich) eingesetzt.

K-Phosphonat im ökologischen Anbau

In der deutschen Liste der Pflanzenstärkungsmittel sind K-Phosphonathaltige Produkte als Algenpräparate verzeichnet. In Deutschland herrscht allgemein die Meinung, dass Pflanzenstärkungsmittel im EU-Bioanbau erlaubt sind, auch wenn die einzelnen Stoffe nicht in der Verordnung zum ökologischen Anbau gelistet sind. Interesse am K-Phosphonat zeigt bisher vor allem der ökologische Weinbau. Der kombinierte Einsatz von Kupfer und K-Phosphonat ermöglicht, die Kupfermengen zu reduzieren (ROSCHE C. et al., 2002). Seit den niederschlagsreichen Monaten in der Vegetationsperiode 2008 in Mitteleuropa, als der Einsatz von K-Phosphonat im Ökoweinbau für so manchen Winzer unumgänglich schien, wurde es um die Legalität der Anwendung der Substanz im Ökolanbau innerhalb der EU laut. Der Einsatz von K-Phosphonat stiftet Verwirrung unter den Ökowitzern nicht nur in Deutschland. In internationalen Meetings (z. B. Rom, 2009) verschiedener Vertreter aus Forschung und Politik, die sich dem ökologischen Anbau widmen, wird und wurde versucht zu erörtern, wie es um die Notwendigkeit aber auch um die Ökocompatibilität der Anwendung von K-Phosphonat bestellt ist. Gleichzeitig erregt die Diskussion rund um eine mögliche gesetzliche Reduktion bzw. Streichung des Kupfers als Pflanzenschutzmittel in einzelnen Ländern aber auch in der EU Aufsehen.

Schwachpunkte von K-Phosphonat für den ökologischen Anbau:

1995 versammelte sich die Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Landbau (AGÖL), der Verbände wie Demeter, Bioland und Naturland angehören, und beschloss, Phosphonate im ökologischen Anbau nicht zuzulassen. 1998 entschied sich IFOAM, der weltweite Dachverband der ökologischen Verbände, gegen die Anwendung von K-Phosphonat im Ökoanbau. In seiner Beurteilung durch das FiBL (Forschungsinstitut für biologischen Landbau) wurde der Wirkstoff 2002 zwar als notwendig gewertet und sein Umweltverhalten und sein Einfluss auf die menschliche Gesundheit für nicht limitierend, genauso wie seine ethischen Aspekte. Seine synthetische Herkunft beurteilte das Institut jedoch nur als bedingt naturidentisch. Zu diesem Thema wäre dringend ein unabhängiges Expertengutachten notwendig. Anzuzweifeln sei auch die Akzeptanz von Rückständen bei den Konsumenten (FiBL, 2002). Denn je nach Aufwandmenge und letztem Anwendungstermin hinterlässt K-Phosphonat mehr oder weniger Rückstände. Untersuchungen durch das Versuchszentrum Laimburg am Apfel haben ergeben, dass Behandlungen mit K-Phosphonat vor der Blüte keine Rückstände in den Früchten hinterließen. Bei Behandlungen nach der Blüte wurden den Früchten bis nach fünf Monaten Lagerung Rückstände nachgewiesen, außerdem noch zum Teil den Früchten im Folgejahr und sogar den Austriebsblättern zwei Jahre nach der Behandlung (KELDERER et al., 2008).

Rückstandsuntersuchungen im Weinbau ergaben hinsichtlich der Behandlungstermine ähnliche Tendenzen wie beim Apfel; sprich bei Spritzungen nach der Blüte konnte ein eindeutiger Rückstandsnachweis bei der Ernte und manchmal sogar im Folgejahr beobachtet werden. Je später und öfter die Spritzung gemacht wird, umso höher die Rückstände. Zudem scheint die Menge an Rückständen auch mit der Sorte und ihrer jeweiligen Beerengröße zusammenzuhängen. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Rückstände von der Traube bis zur Flasche nicht wesentlich verändern (SCHWEIGKOFER W. et al., 2009). In einigen Gemüsearten hinterlässt K-Phosphonat erstaunlich hohe Rückstände, etwa in einigen Kartoffelsorten (FiBL, 2002). Phosphonatrückstände können ihren Ursprung auch in Phosphordüngern durch Verunreinigungen in der Herstellung, in Glyphosat, in Etephon oder im Aluminium-Fosetyl haben. Zur Ermittlung der Rückstände von K-Phosphonat gibt es unter Fachleuten verschiedene Ansichten und Methoden. Auch dazu wären dringend neue Untersuchungen notwendig. Die Nachweisgrenze am Agrikulturchemischen Labor des Versuchszentrums Laimburg verweilt bei 0,5 ppm, andere Labors geben Nachweisgrenzen von 0,01 ppm an. Der aktuelle Höchstwert für Rückstände von phosphoriger Säure in der EU liegt bei 50 ppm in den Trauben und bei 100 ppm im Wein.

Ob und wann K-Phosphonat in die Liste der europäischen Pflanzenschutzmittel aufgenommen wird und ob dem Ökologischen Landbau in Zukunft ein systemisches Mittel, das Rückstände hinterlässt, zur Verfügung steht, wird sich zeigen. Bis dahin wird sich der eine oder andere (Öko)Landwirt in Europa weiterhin guten oder schlechten Gewissens des Blattdüngers bzw. Pflanzenstärkungsmittels auf Basis von Algen oder ähnlichem mit hervorragendem Effekt bedienen.

Literatur

Belisario A., Maccaroni M., Galli M. und Vitale S. (2007). Fosfito di potassio: l'efficacia in vivaio contro *Phytophthora* (Potassium phosphite efficacy against *Phytophthora* species associated with plant decline and death in nurseries). *Colture-Protette*, 36(10), 95-101

Cook P.J., Landschoot P.J. und Schlossberg M.J. (2009). Inhibition of *Pythium* spp. and Suppression of *Pythium* Blight of Turfgrasses with Phosphonate Fungicides. *Plant disease*, Volume 93, Number 8, Pages 809-814

Draft assessment report, April 2005: Initial risk assessment provided by the Rapporteur Member State France for the new active substance Potassium Phosphite.

Guest, D. und Bompeix, G.: The complex mode of action of phosphonates. Australian Plant Pathology, Vol. 19 (4), 1990, S. 113-115

Kelderer M. und Lardschneider E. (2010). Effect of different treatments with oil cakes, plant protection agents and potassium phosphite to control collar rot on Topaz. 14th International Conference in Organic Fruit-Growing – Eco-fruit, Fördergemeinschaft Ökologischer Obstbau e. V. Weinsberg, Stuttgart, Deutschland, 106-109

Kelderer M., Matteazzi A. und Casera C. (2008). Degradation behaviour of potassium K-phosphite in apple trees. 13th International Conference on Cultivation Technique and Phytopathological Problems in Organic Fruit-Growing, Weinsberg, Germany

Roschatt C. und Haas E. (2002). Können phosphithaltige Blattdünger die Bekämpfung von Peronospora verbessern? Obstbau Weinbau, 39(5), 139

Schweigkofler W. Roschatt C. und Haas E. (2009). Experiments using phosphites in the glasshouse and in the field. Expert meeting - Phosphonate use in organic agriculture, Rome 2009

Speiser B., Berner A., Häseli A. und Tamm L. (2000). Control of downy mildew of grapevine with potassium phosphonate: Effectivity and phosphonate residues in wine. Biological agriculture & horticulture, Vol. 17, n°4, pp. 305-312 (14 ref.)

Wirkung von Phosphonaten gegen *Venturia inaequalis*, *Podosphaera leucotricha* und Lagerungsfäulen im Apfelanbau

Gerd Palm

Obstbauversuchsanstalt Jork der Lwk Niedersachsen, Moorende 53, 21635 Jork

gerd.palm@lwk-niedersachsen.de

Die Wirkung der Phosphonate wurden in Versuchen des Obstbau Versuchs- und Beratungszentrums Jork unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus und im Freiland getestet. Nach künstlicher Inokulation mit Schorfkonidien mit einem Titer von 100.000 Sporen/ml und Herstellung von anschließenden Infektionsbedingungen wurden nach erfolgter Infektion (nach MILLS) das Präparat Frutogard jeweils einmal kurativ nach Temperatursummen ($\sum \text{ }^\circ\text{C} > 0 \text{ }^\circ\text{C}$) eingesetzt (**Tab. 1**).

Tabelle 1: Wirkung von Frutogard gegen Apfelschorf nach einer kurativen Behandlung, Versuche an Containerbäumen. Befallsgrad: 0 = ohne, 20 = 1, 40 = 2-5, 60 = 6-10 Infektionen/Blatt

Sorte	Datum Inokulation	Behandlung nach $\sum \text{ }^\circ\text{C}$	Befallsgrad		
			Kontrolle	Frutogard 0,5 %	Syllit 0,125 %
Braeburn	07.06.2007	187	38,88	8,40	--
		418		9,89	2,00
		686		9,17	21,95
Golden Delicious	14.05.2008	160	43,39	34,00	6,92
		320		35,57	33,78
		630		43,57	39,47
Golden Delicious	12.05.2009	469	19,21	9,33	--
		800		8,08	--
Golden Delicious	09.07.2009	296	56,21	25,08	19,34
		610		21,33	30,46
		727		37,85	--

Es konnte eine deutliche befallsreduzierende Wirkung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle festgestellt werden. Syllit (Dodine) als kurzfristig kurativ wirkendes Fungizid war vergleichbar oder besser wirksam. Erhöhte Anwendungskonzentrationen führen zu einer Wirkungssteigerung insbesondere bei einer kürzeren Kurativzeit (**Tab. 2**).

In einem Freilandversuch von 2010 wurden während der stärksten Infektionszeit des Schorfpilzes vom 20.04. bis 09.05.10 jeweils 5 Behandlungen mit Delan WG (Dithianon) durchgeführt. In zwei Versuchsvarianten kam es in Kombination mit 1,5 l bzw. 2,5 l Frutogard /ha m Kronenhöhe zur Anwendung. Der Zusatz von Frutogard reduzierte den Blattschorfbefall erheblich (**Tab. 3**). Die Wirkungssteigerung ist sehr wahrscheinlich vorrangig auf die kurative Wirkung zurückzuführen.

Frutogard führt zur Befallsminderungen durch Infektionen des Schorfpilzes.

Tabelle 2: Wirkung von Frutogard gegen Apfelschorf nach einer kurativen Behandlung, Versuche an Containerbäumen. Befallsgrad: 0 = ohne, 20 = 1, 40 = 2-5, 60 = 6-10 Infektionen/Blatt

Behandlung nach Σ °C	Kontrolle	Befallsgrad		
		0,5 %	0,75 %	1,0 %
296	56,21	25,08	20,92	15,50
610		21,33	17,54	11,00
727		37,85	18,62	24,31
892		26,31	14,67	18,50

Tabelle 3: Bekämpfung von Schorf an 'Gloster' 2010

Versuchsglied	Aufwandmenge kg bzw. l/ha m Kh	Anzahl Behandlungen 20.04. - 09.05.	befallene Blätter [%]	
			26.05.	04.06.
Kontrolle	-----	-----	65,5	74,8
Delan WG	0,25	5	21,1	33,6
Delan WG + Frutogard	0,25 2,5	5	4,1	18
Delan WG + Frutogard;	0,25 1,5	5	5,5	25,0

In zweijährigen Freilandversuchen konnten die Phosphonat-Präparate Frutogard und Phos 60 Mehltauinfektionen erheblich verhindern. 2009 war die Wirkung von Frutogard signifikant besser als die Standardfungizid-Spritzfolge. 2010 war Phos 60 gleich, Frutogard geringer wirksam als der Standard (**Abb. 1 u. 2**). Die Phosphonate können einen wichtigen Beitrag zur Verminderung von Mehltauresistenzen leisten, da der Apfelmehltau eine deutliche Verminderung der Sensitivität gegen die im Kernobstbau zugelassenen Azol-Fungizide zeigt.

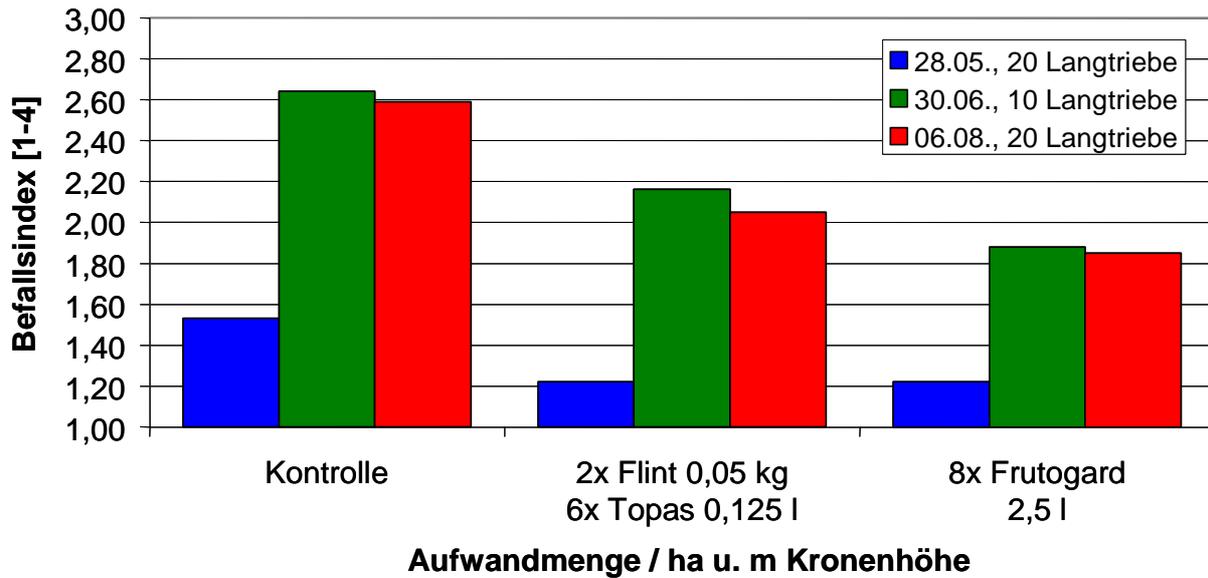


Abb. 1: Wirkung von Frutogard im Vergleich zu einer Standardspritzfolge gegen Apfelmehltau (*Podosphaera leucotricha*) an 'Braeburn' 2009. Index: 1 = keine Infektionen, 2 = einzelne Infektionen, 3 = bis 50 % -, 4 = > 50 % der Blattfläche befallen

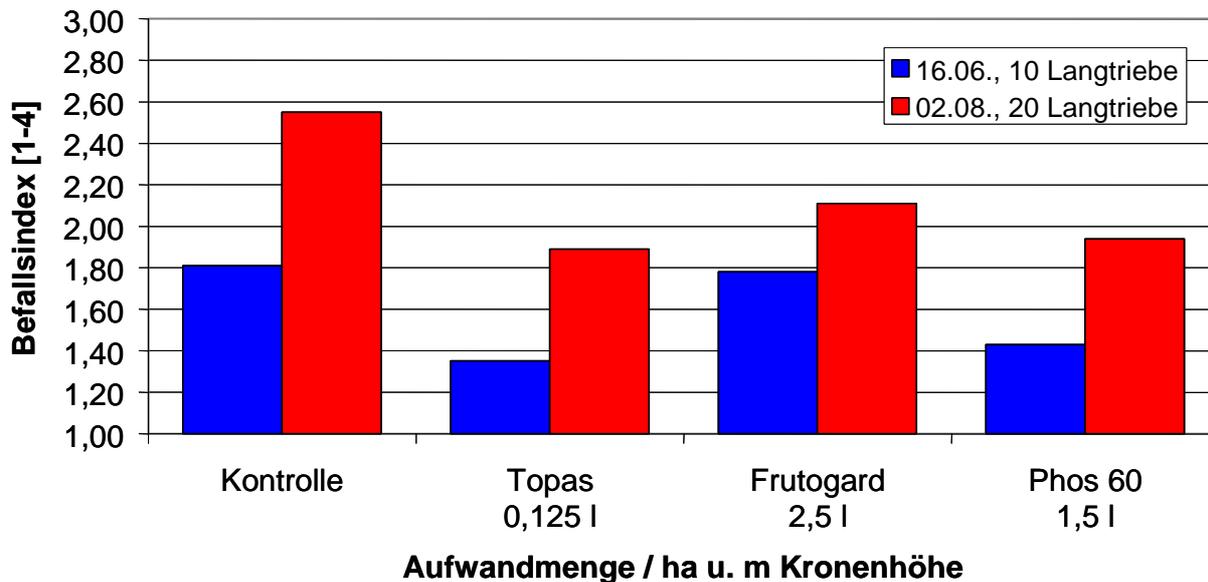


Abb. 2: Wirkung von Frutogard und Phos 60 im Vergleich zu Standardbehandlungen mit Topas gegen Apfelmehltau (*Podosphaera leucotricha*) an 'Elstar' 2010. Index: 1 = keine Infektionen, 2 = einzelne Infektionen, 3 = bis 50 % -, 4 = > 50 % der Blattfläche befallen

In 3jährigen Versuchen konnte nach mehrfachen Behandlungen mit Frutogard (**Tab. 4**) im Abstand von 7 bis 10 Tagen vor der Ernte keine Wirkung gegen Lagerungsfäulen insbesondere gegen *Gloeosporium* sp. festgestellt werden.

Tabelle 4: Wirkung von Frutogard gegen Lagerungsfäulen

	Aufwandmenge l/ha m Kh	Anzahl Behandlungen	befallene Früchte [%]
2004 Elstar			
Kontrolle			29,2
Frutogard	1,0	6	40,1
2008 Elstar			
Kontrolle			2,2
Frutogard	2,5	4	2,2
2009 Pinova			
Kontrolle			23,6
Frutogard	2,5	11	18,2

Versuche zur Verhinderung von Fäulnis durch *Peronospora rubi* an Brombeeren mit Phosphonaten

Gerd Palm

Obstbauversuchsanstalt Jork der Lwk Niedersachsen, Moorende 53, 21635 Jork
gerd.palm@lwk-niedersachsen.de

Der Falsche Mehltau *Peronospora rubi* ist der bedeutendste Fruchtfäuleerreger der Brombeere. Eine wirksame Bekämpfung entscheidet über die Wirtschaftlichkeit des Anbaus. In einem Versuch wurde nach 5maliger Anwendung von Phosfik bei einem Fruchtbefall von 56,7 % in der unbehandelten Kontrolle ein Wirkungsgrad von 85,6 % erzielt. Es konnten ebenfalls Fruchtinfectionen durch *Botrytis cinerea* vermindert werden (**Abb. 1**). Forum Star (Dimethomorph+Folpet) war unwirksam.

Sorte:	Loch Ness					
Handspritzung:	1000 l/ha					
Behandlungstermine:	03.05., 17.05., 08.06., 26.06., 22.07.2006					
Blockanlage:	3 Whlg.					
Bonitur:	10 diesjährige Ruten/Whlg.; 150 reife Früchte/Whlg.					
	Mehltau		Mehltau		Botrytis	
	Blattbefall als Befallswert ¹⁾		Frucht- befall [%]	WG [%]	Frucht- befall [%]	WG [%]
	22.08.	15.09.				
Kontrolle	1,86	2,55	56,7		5,8	
Phosfik 2,5 l/ha	1,21	1,81	8,2	85,6	0,6	89,5
Forum Star ²⁾ 1,2 kg/ha	1,74	2,36	53,1	6,4	5,2	9,8
¹⁾ Befallswert: 1 = ohne Befall, 2 = 1-3 Infektionen / Blatt, 3 = 4-10 Infektionen / Blatt, 4 = 11-25%, 5 = > 25% der Blattfläche befallen ²⁾ Behandlungen am 03.05., 17.05., 08.06.						

Abb. 1: Wirkung von Phosfik gegen Falschen Mehltau (*Peronospora rubi*) an Brombeeren

Schorf- und Lagerkrankheitenregulierung an Apfel mit Phosphonaten – mehrjährige Versuchsergebnisse

Christian Scheer, Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee, Schuhmacherhof 6, 88213 Ravensburg, scheer@kob-bavendorf.de

Nach langen Jahren erfolgreicher Schorfbekämpfung am Bodensee wurde seit dem Jahre 2005 trotz intensiver Regulierungsmöglichkeiten zunehmend Schorf gefunden.

Die vor dem Jahre 2004 erfolgreich praktizierte Strategie („sandwich-Behandlungen“) basierte auf einer Kombination von protektivem und kurativem Einsatz der Schorffungizide: Protektiv, d. h. vorbeugend, wurde vor möglichen Infektionsereignissen vor Niederschlägen eine Belagsspritzung ausgebracht. Ließ die Wirkung des verwendeten Fungizides z. B. aufgrund des Zuwachses bzw. der Niederschlagsmengen nach, konnte „relativ bequem“ durch Einsatz kurativer Wirkstoffe in die Entwicklung des Schorfpilzes auch nach der Infektion eingegriffen werden. Dies führte im Regelfall zu dem gewünschten Effekt, der Schorffreiheit der Bestände. Bequem war diese Spritzfolge auch aus dem Grunde, dass selbst „vergessene“ Belagsspritzungen mit kurativen Wirkstoffen nachgearbeitet werden konnten.

Verschiedene Gründe wie veränderte klimatische Bedingungen und Minderwirkungen bzw. Resistenzen der Schorffungizide (Anilinopyrimidine, Azole und Strobilurine) führten zur dramatischen Schorfsituation am Bodensee und damit notgedrungen zum Umdenken in der Schorfbekämpfung.

Ein ausreichender Bekämpfungserfolg kann am Bodensee nur noch durch protektive Maßnahmen mit entsprechendem Aufwand erzielt werden. Als Standardfungizide stehen hierfür Merpan 80 WDG bzw. Malvin WG, Syllit und Delan WG zur Verfügung. Die mehrjährigen Ergebnisse zeigen, dass das Produkt Delan WG bei ungünstigen Witterungsbedingungen insbesondere in kritischen Phasen mit starkem Ascosporenflug an seine Leistungsgrenze kommen kann. Unzureichende Wirkungsgrade mit daraus resultierendem Schorfbefall sind möglich. Diese Wirkung soll durch Zusätze verbessert werden. In mehrjährigen Versuchen wurden Phosphonate in Tankmischung mit Delan WG appliziert. Hiermit konnte eine teilweise signifikante Wirkungsverbesserung erzielt werden (Abbildungen 1–3).

2007	Variante	Behandlungstermine							Blattschorf-befall	Fruchtschorf-befall
		28.04.	03.05.	04.05.	05.05.	06.05.	07.05.	08.05.		
	<i>BBCH</i>	69	71	71	71	71	71	71	73	
	Unbehandelt								30,4%	88,4%
	Warndienst	Delan	Flint Delan		Merp.		Delan		0,5%	1,0%
	Delan	Delan	Delan				Delan		5,9%	5,6%
	Phosphonat	Fung./ Frut.	Delan /Frut.				Delan/ Frut.		3,7%	2,3%
	Ascosporen	0%	0%	20%	48%	3%	2%	4,3%		
	Niederschlag	0 mm	12,8 mm		33,2 mm		5,9 mm			

Abb. 1: Wirkung von „Phosphonaten“ 2007, Aufwandmengen: Delan WG (0,25 kg/ha u. mKh), Flint (0,05 kg/ ha u. mKh.), Merp.= Merpan 80 WDG (0,625 kg/ ha u. mKh.), Syllit ((0,625 l/ha u. mKh.), Cons. = Consist Plus (0,625 kg/ha u. mKh.), Frut. = Frutogard (2,5 l/ha u. mKh.), Phos = Phos 60 (0,8 l/ha u. mKh.)

2008	Variante	Behandlungstermine								Blattschorf- befall	Fruchtschorf- befall
		18.04.	19.04.	21.04.	22.04.	23.04.	24.04.	28.04.	29.04.		
	<i>BBCH</i>	57	57	57	57	59	59	61	61	71	
	Unbehandelt									33,4%	96,7
	Warndienst	Syllit				Syllit		Flint/ Merp		0%	0,8
	Delan	Delan					Delan	Delan		7%	20,4%
	Phosphonat	Delan / Frut.					Delan/ Frut.	Delan/ Frut.		4,8%	5,7%
	Ascosporen	0%	1%	18%	37%	0,9%	0,7%	3%	7%		
	Niederschlag		0,2mm	9,5mm	58,6mm		0,6mm	8,2 mm			

Abb. 2: Wirkung von „Phosphonaten“ 2008, Aufwandmengen: Delan WG (0,25 kg/ha u. mKh), Flint (0,05 kg/ ha u. mKh.), Merp.= Merpan 80 WDG (0,625 kg/ ha u. mKh.), Syllit ((0,625 l/ha u. mKh.), Cons. = Consist Plus (0,625 kg/ha u. mKh.), Frut. = Frutogard (2,5 l/ha u. mKh.), Phos = Phos 60 (0,8 l/ha u. mKh.)

2010	Variante	Behandlungstermine							Blattschorf- -befall	Fruchtschorf- befall
		25.04.	26.04.	29.04.	30.04.	01.05.	02.05.	03.05.		
	<i>BBCH</i>	57	57	61	61	63	63	63	71	
	Unbehandelt								37,3 %	38,2 %
	Warndienst	Syllit		Cons.			Merp.	Syllit	0 %	0 %
	Delan	Delan			Delan			Delan	4,1 %	5,4 %
	Phosphonat	Delan /Phos			Delan /Phos			Delan/ Phos	1 %	2,7 %
	Ascosporen	0%	6%	0%	3%	44%	17%	3%		
	Niederschlag		5mm		40,4 mm			2mm		

Abb. 3: Wirkung von „Phosphonaten“ 2010, Aufwandmengen: Delan WG (0,25 kg/ha u. mKh), Flint (0,05 kg/ ha u. mKh.), Merp.= Merpan 80 WDG (0,625 kg/ ha u. mKh.), Syllit ((0,625 l/ha u. mKh.), Cons. = Consist Plus (0,625 kg/ha u. mKh.), Frut. = Frutogard (2,5 l/ha u. mKh.), Phos = Phos 60 (0,8 l/ha u. mKh.)

Auch zur Lagerkrankheitenregulierung, insbesondere bei der Regulierung des Gloeosporiumbefalles, zeigen Phosphonate (z. B. Frutogard) teilweise gute Wirkung. Allerdings ist diese Wirkung nicht jedes Jahr zu verzeichnen (Abbildung 4).

Produkt (Anzahl Behandlungen)	2007 (Pi)	2008 (Pi)	2009 (Pi)	2009 (GD)
Flint (3x)	33,8 %	63 %	48 %	
Flint (2x) vorab Merpan (2x)	30,7 %	52,5 %	24%	57%
Frutogard	31,9 % (4x)	0 % (5x)	3 % (6x)	42 % (5x)
unbehandelt (% Befall)	62,1 %	15,1 %	52,8 %	38,7 %

Abb. 4: Lagerkrankheitenbekämpfung 2007 - 2009 (Gloeosporium [%WG]), Applikation an Golden Delicious (PJ:2000) und Pinova (PJ 2002); Wanner Parzellensprüngerät SZA, 260 l/ha *mKh, 25 Bäume/je Wdh., 4 fach wdh., Ernte 250 Früchte/Wdh. Lagerung bei 2–3 °C bis Anfang März, zweite Bonitur ca. 14 Tage später, Bestimmung einzelner Lagerfäulen: Lager-schorf, Gloeosporium, Monillia, Botrytis, u. a. hier: Darstellung des Befalles (unbehandelt) und der Wirkungsgrade (%) bei Golden Delicious (GD) und Pinova (Pi)

Anwendung phosphonathaltiger Pflanzenstärkungsmittel im ökologischen Weinbau - Einsatz in der Praxis und Rückstandsproblematik (Kurzfassung)

Randolf Kauer, Hochschule RheinMain, Fachbereich Geisenheim, Ökologischer Weinbau, Von-Lade-Str. 1, 65366 Geisenheim, randolf.kauer@hs-rm.de

Aktuelle Situation im ökologischen Weinbau

Ökologischer Weinbau mit „klassischen Rebsorten“ ist ohne Kupfereinsatz unmöglich.

Auch bei toleranten Sorten (PIWIs) ist bei Problemen mit Schwarzfäule und Roter Brenner der Einsatz von Kupfer notwendig. In Regionen bzw. in Jahren mit hohem Infektionsdruck durch *Plasmopara viticola* im Vorblütbereich ist bei den derzeit zugelassenen Kupfermengen das Produktionsrisiko in der Praxis extrem hoch.

Auch im Nachblütbereich kann es durch Infektionen des Stielgerüsts der Traube zu Ertragsausfällen kommen und insbesondere durch Laubverlust die Qualität sehr negativ beeinflusst werden.

Diese Gefahr wird durch die veränderten klimatischen Gegebenheiten (Frequenz und Intensität von Niederschlägen) noch verstärkt.

Vor dem Hintergrund zunehmenden Interesses am ökologischen Weinbau (2010: ca. 5000 ha), erschweren die Unsicherheiten im Bereich der Bekämpfung von *Plasmopara viticola* die Empfehlung zur Umstellung erheblich. Die Situation im Bereich der Zulassung von Wirkstoffen auf EU und nationaler Ebene sowie die verbandsabhängigen Sichtweisen und Ausnahmeregelungen behindern den Entscheidungsprozess zur Umstellung.

Erfahrungen und Empfehlungen zum Einsatz von phosphonathaltigen Pflanzenstärkungsmitteln:

Mit dem Ziel der Kupferreduzierung und der Vermeidung von Rückständen wird zurzeit der Einsatz von phosphonathaltigen Pflanzenstärkungsmitteln ab der 1. Vorblütespritzung nur bis zum Entwicklungsstadium 68 (abgehende Blüte) empfohlen. (Beispiel: Frutogard: Aufwandmengen: 3–5 l/ha). Eine „Kurativ“-Behandlung ist nur sinnvoll und bedingt erfolgreich, solange diese, temperaturabhängig, in einem Zeitfenster von ca. 24 h nach der Infektion erfolgt und nach 5 Tagen wiederholt wird. Etablierte Epidemien können nicht gestoppt oder geheilt werden. Aufgrund der systemischen Verteilung ist das frühe Auslösen der Resistenzmechanismen (ab ES 15 bis Ende der vegetativen Hauptwachstumsphase) sinnvoller, sicherer und effektiver als die Behandlung einer bereits deutlich etablierten Epidemie. In vielen Fällen kann damit auf den Einsatz von Kupfer vor der Blüte verzichtet bzw. dieser erheblich reduziert werden (Kupfereinsatzreduzierung: ca. 500 g/ha vor der Blüte). Ein Kupferersatz durch phosphonathaltige Pflanzenstärkungsmittel ist nicht möglich.

Material und Methoden:

Im Zeitraum 2000–2008 wurden in praxisorientierten Exaktversuchen der Forschungsanstalt Geisenheim (u. a. BÖL-Projekt: Optimierung des ökologischen Rebschutzes unter besonderer Berücksichtigung der Rebenperonospora) unter Beachtung der GEP Standards Versuche zur Rückstandsproblematik phosphonathaltiger Pflanzenstärkungsmittel bei der Rebsorte Riesling durchgeführt. Die Analysen wurden am Weinbauinstitut in Freiburg, am Versuchszentrum Laimburg – Südtirol und RCC-Itingen – Schweiz durchgeführt. Analytisch wurde die Methode der Ionenchromatographie (HPIC) nach OUIMETTE and COFFEY (1988) modifiziert nach BERNER (1992) bei folgenden Nachweisgrenzen verwendet:

Nachweisgrenze WBI Freiburg:	2,0 mg/l
Nachweisgrenze VZ Laimburg:	0,5 mg/l
Nachweisgrenze RCC:	0,5 mg/l

Ergebnisse:

In den Tabellen 1–3 sind die wesentlichen Ergebnisse der Untersuchungen wiedergegeben. Es kann festgestellt werden, dass die Höhe der Rückstände abhängig ist vom Zeitpunkt der Applikation und der Menge des ausgebrachten Phosphonats. Die festgestellten Phosphonatrückstände in den Trauben finden sich auch in gleicher Höhe im Most und Wein wieder. Es erfolgt keine Abreicherung im Verarbeitungsprozess. Durch die Rückführung des letzten Applikationstermins auf das Entwicklungsstadium „Abgehende Blüte“ (68) kann eine weitgehende Rückstandsfreiheit erreicht werden. In diesem Zusammenhang wäre es notwendig, die analytische „Schärfe“ (0,5–2,0 mg/l) zu verbessern, um dieses Ergebnis absichern zu können, da sich die gefundenen Werte sehr nahe an der Nachweisgrenze bewegen.

Aus ergänzenden Versuchen kann **vorläufig** festgestellt werden, dass Phosphonate in der Rebe ebenfalls eine gewisse Persistenz von ca. 2–3 Jahren aufweisen und sich aus diesem „Phosphonat-Pool“, auch nach Aussetzen von Applikationen, Rückstände im Wein an der Nachweisgrenze nachweisen lassen. Um diese Ergebnisse zu bestätigen, sind weitere Untersuchungen notwendig.

Table 1:

Ergebnisse zum Rückstandsverhalten phosphonathaltiger Pflanzenstärkungsmittel bei Trauben, Most und Wein aus dem Jahr 2001 bei Applikation zum Stadium abgehende Blüte bis ca. Erbsengröße der Beeren

☐ Variante	Summe der ausgebrachten Menge an Phosphonat in kg / ha (HPO_3^{2-})	Termine	☐ BBCH 68 (abgehende Blüte)	Phosphonatgehalt Trauben (mg/kg) (HPO_3^{2-})	Phosphonatgehalt Most (mg/l) (HPO_3^{2-})	Phosphonatgehalt Wein (mg/l) (HPO_3^{2-})
Öko-Standard (Mykosin /Cu)	0,00	22.6.; 3.7.; 12.7.	27.6.	n.n	n.n.	n.n.
Phosphonatvariante 1 (Ökofluid-P)	1,68	22.6.; 3.7.; 12.7.	27.6.	2,8	2,5	4
Phosphonatvariante 2 (Robus)	5,15	22.6.; 3.7.; 12.7.	27.6.	7,2	7,1	8

(n.n. = nicht nachweisbar; die Untersuchungen bei Trauben und Most wurden durch das Labor RCC Itingen Schweiz, die Weinuntersuchungen im WBI Freiburg durchgeführt)

Tabelle 2:

Ergebnisse zum Rückstandsverhalten und zur Persistenz phosphonathaltiger Pflanzstärkungsmittel bei Weinen aus den Jahren 2000–2004 bei einer zeitlichen Rückführung des letzten Applikationstermins vom Stadium Reifebeginn (ES 80) bis zum Stadium Ende der Blüte (ES 71)

Wein	Variante	Summe der ausgebrachten Menge HPO ₃ pro Jahr	Letzte Behandlung (BBCH Stadium) und Menge	Analyse 2004	Analyse 2003	Analyse 2002	Analyse 2001
Jahrgang				HPO ₃ (mg/l)	HPO ₃ (mg/l)	HPO ₃ (mg/l)	HPO ₃ (mg/l)
2000	Öko-Standart	0		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2000	Integriert	0		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2000	Var.I (HPO ₃ ²⁻)	10520 g/ha	BBCH 80 1608 g/ha	22	27	23	22
2001	Öko-Standart	0		n.n.	n.n.	n.n.	
2001	Var.I (HPO ₃ ²⁻)	1680 g/ha	BBCH 75 672 g/ha	3	n.n.	4	
2001	Var.II (HPO ₃ ²⁻)	5150 g/ha	BBCH 75 2060 g/ha	11	10	8	
2002	Öko-Standart	0		n.n.	n.n.		
2002	Integriert	0		n.n.	n.n.		
2002	Var.I (HPO ₃ ²⁻)	1476 g/ha	BBCH 73 504 g/ha	n.n.	n.n.		
2002	Var.II (HPO ₃ ²⁻)	5356 g/ha	BBCH 73 1545 g/ha	11	13		
2003	Öko-Standart	0		n.n.			
2003	Integriert	0		n.n.			
2003	Var.I (HPO ₃ ²⁻)	3060 g/ha	BBCH 71 1236 g/ha	3			
2003	Var.II (HPO ₃ ²⁻)	2700 g/ha	BBCH 71 1200 g/ha	7			

(n.n. = nicht nachweisbar; die Untersuchungen wurden durch das WBI Freiburg durchgeführt)

Tabelle 3:

Ergebnisse zum Rückstandsverhalten phosphonathaltiger Pflanzenstärkungsmittel bei Weinen aus den Jahren 2004 und 2005 bei einer Applikation bis zum Stadium Ende der Blüte (ES 68)

Wein	Variante	Summe HPO32- [g / ha*a]	letzte Behand- lung ES 68 [g / ha]	Rückstände Phosphonat HPO32- [mg / l]		ausgebrachte Mengen Rein- Cu [g / ha]
				Analyse 2006	Analyse 2005	
2004	Integriert- Standard	0	0	n.n.	n.n.	0
2004	Öko- Standard	0	0	n.n.	n.n.	1999
2004	Phosphit 1	2578	921	4	5	2500
2004	Phosphit 3	921	921	2	3	1601
2005	Integriert- Standard	0	0	n.n.	-	0
2005	Öko- Standard	0	0	n.n.	-	2340
2005	Phosphit 1	7558	2699	2	-	1860
2005	Phosphit 3	2699	2699	n.n.	-	1230

(n.n. = nicht nachweisbar; die Untersuchungen wurden durch das WBI Freiburg durchgeführt)

Zusammenfassung:

Untersuchungen zu Phosphonatgehalten bei Trauben, Most und Wein aus praxisorientierten Exaktversuchen an der Forschungsanstalt Geisenheim belegen die Rückstandsproblematik, insbesondere bei Behandlungen nach dem Stadium „Abgehende Blüte“ (ES 68). Nach derzeitigem Kenntnisstand erfolgt keine Abreicherung im Verarbeitungsprozess (Mostrub, Hefesediment, Filtration). Es ist davon auszugehen, dass Phosphonat in der Rebe über ein bis zwei Jahre persistent ist und sich daher weiter in Trauben, Most und Wein nachweisen lässt. Hierzu sind weitergehende Untersuchungen notwendig.

Die Höhe der Nachweisgrenzen (0,5–1,0 mg/l) und Abweichungen in den Analysewerten der unterschiedlichen Labore gibt einen Hinweis auf die Problematik innerhalb der Analytik.

Molekularbiologische Untersuchungen zur Aufklärung der Wirkung phosphonathaltiger Elicitoren im Pathosystem *Vitis vinifera*/*Plasmopara viticola*

Beate Berkelmann-Löhnertz¹, Moustafa Selim², Gregor Langen³, Karl-Heinz Kogel³ & Danièle Evers²

¹ Forschungsanstalt Geisenheim, Fachgebiet Phytomedizin, Geisenheim (Germany)

² Centre de Recherche Public – Gabriel Lippmann, Department EVA, Belvaux (Luxembourg)

³ Justus-Liebig-Universität Gießen, Institut für Phytopathologie und Angewandte Zoologie, Gießen (Germany)

berkelmann@fa-gm.de

Einleitung

Im ökologischen Weinbau basiert die Bekämpfung von *Plasmopara viticola*, dem Erreger des Falschen Mehltaus der Rebe, auf kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln. Zurzeit wird Kupfer mit verschiedenen Mischungspartnern regelmäßig im Abstand von etwa zehn Tagen appliziert. Hier gilt: Kupfer ist eines der ältesten Fungizide und wird traditionell im Ökologischen Landbau eingesetzt. In Deutschland liegt der Grenzwert der maximal zulässigen Reinkupfermenge derzeit bei 3 kg pro Hektar und Jahr. Aufgrund der vieldiskutierten Problematik „Ökotoxikologie von Kupfer“ sind dringend Kupferreduzierungsstrategien und Kupfer-Alternativen gefordert (Schwarzbach 2008; Berkelmann-Löhnertz et al. 2008).

Neben Gesteinsmehlen sind hier vor allem phosphonathaltige Agenzien zu nennen. Bisher wurden diese Substanzen von den Zulassungsbehörden als so genannte Pflanzenstärkungsmittel gelistet und als solche in der (ökologischen) Praxis eingesetzt.

Ähnlich wie kupferhaltige Pflanzenschutzmittel standen und stehen auch phosphonathaltige Pflanzenstärkungsmittel immer wieder im Fokus der Debatten: so gab es zum einen Diskussionen über mögliche „direkte“ Wirkungen von Phosphonaten auf die Pathogene. Dies hätte unter Umständen den Wegfall dieser Substanzen aus der Liste der Pflanzenstärkungsmittel zur Folge gehabt. Zum anderen wird sich mit Inkrafttreten des neuen Pflanzenschutzgesetzes der Status phosphonathaltiger Agenzien ändern. Die neue Sachlage ist insofern komplex, da bei den verschiedenen ökologischen Anbauverbänden im Falle einer Zulassung der Phosphonate als Pflanzenschutzmittel-Wirkstoff unterschiedliche Standpunkte hinsichtlich des Einsatzes in der ökologischen Anbaupraxis vorliegen. Leidtragende sind auf jeden Fall die Winzer; denn ein solcher Bekämpfungsengpass kann in starken „Peronospora“-Jahren Existenz bedrohende Ausmaße annehmen.

Um auf wissenschaftlicher Ebene zur Aufklärung der Zusammenhänge beizutragen, erfolgen derzeit im Rahmen eines Promotionsvorhabens molekularbiologische Untersuchungen, die sich mit der Wirkung ausgewählter Pflanzenstärkungsmittel im Pathosystem Rebe/*P. viticola* befassen. Von einigen dieser Substanzen ist bekannt, dass sie wirtseigene Resistenzphänomene gegenüber Pathogenen induzieren können (z. B. KESSMANN et al. 1994; VALLAD & GOODMAN 2004). Diese werden als Elicitoren bezeichnet. Im Zentrum stehen Gewächshausversuche an Topfreben der Sorten Riesling und Müller-Thurgau. Für das Fachgespräch wurde ein Teil der bisher erzielten Ergebnisse ausgewählt und vorgestellt.

Material und Methoden

Topfreben der Sorte Riesling wurden im 6- bis 8-Blatt-Stadium im protektiven (einen Tag vor der Inokulation mit *P. viticola*) und im kurativen Verfahren (einen Tag nach der Inokulation mit *P. viticola*) mit verschiedenen Pflanzenstärkungsmitteln und deren Solosubstanzen behandelt (im Folgenden Prüfsubstanzen genannt). Behandlung, Inokulation und Bonitur erfolgten gemäß Standardprotokoll des Fachgebietes Phytomedizin der Forschungsanstalt Geisenheim.

Dieses Standard-Protokoll lehnt sich an die EPPO-Richtlinien PP 1/261 (1) sowie PP 1/17 (2) an. Ein Versuchsglied umfasste drei Topfreben.
Folgende Prüfglieder wurden in den Versuch integriert:

Tabelle 1: Übersicht der untersuchten Prüfglieder

Code	Prüfglied	Erläuterungen
K _{Null}	unbehandelt	keinerlei Behandlung
K _{Wasser}	Lösungsmittel-Kontrolle	Wasser ohne Prüfmittel und ohne <i>P. viticola</i>
1	inokulierte Kontrolle	nur mit <i>P. viticola</i> inokuliert
2	Frutogard®	Pflanzenstärkungsmittel mit Phosphonat
3	Phosphonat + Phosphat	Bestandteile von Frutogard®
4	ALGINURE pilzfrei®	Pflanzenstärkungsmittel ohne Phosphonat
5	Phosphat solo	Bestandteil von ALGINURE pilzfrei® + Frutogard®
6	β-1,3-Glucan	Bestandteil von ALGINURE pilzfrei® + Frutogard®
7	Myco-Sin VIN®	Gesteinsmehl
8	Strobilurin (ohne Zusatz-PSM)	Cabrio® ohne „Top“, d. h. ohne Metiram

Die Entnahme der Blattproben für die molekularbiologischen Untersuchungen orientierte sich an den Zeitpunkten der Applikation der Prüfsubstanzen sowie der Inokulation des Pilzes (d. h. Tage nach Applikation = dat (days after treatment); Tage nach Inokulation = dai (days after inoculation) und erfolgte stets zur gleichen Tageszeit. Die Proben wurden in flüssigen Stickstoff überführt und für die molekularbiologischen Untersuchungen vorbereitet. Methodische Basis für die nachfolgende Aufarbeitung und die real-time RT-PCR waren die Arbeiten von Aziz et al. (2003) und Trouvelot et al. (2008). Genexpressionsanalysen wurden für folgende Enzyme, die im Rahmen der pflanzeigenen Pathogenabwehr eine Rolle spielen, durchgeführt: Lipoxygenase, Chitinase sowie Stilben-Synthase. Die Auswertung der Genexpressionsanalysen erfolgte mittels hierarchischer Clusteranalyse.

Um die biologische Wirksamkeit der Prüfsubstanzen gegenüber *P. viticola* zu erfassen, wurden die behandelten Pflanzen am Ende der Inkubationszeit in eine feuchte Kammer überführt, um die Sporulation auf der Blattunterseite zu induzieren. Die Befallsstärke wurde auf der Basis eines 9er-Schemas an den mittleren fünf Blättern der Topfreben bonitiert.

Ergebnisse und Diskussion

Biologische Wirksamkeit unter Gewächshausbedingungen

Im Versuchsglied „Kontrolle inokuliert“ (1) lag die Befallsstärke im Falle einer protektiven Anwendung bei 25 %. Beim Einsatz von Frutogard® (2), dessen phosphonat- und phosphathaltigen Bestandteilen (3) sowie von ALGINURE pilzfrei® (4) zeigte sich eine mittelstarke biologische Wirksamkeit gegenüber *P. viticola*. Eine vergleichbare Wirkung konnte mit Myco-Sin VIN® (7) erzielt werden. Erwartungsgemäß war die Wirksamkeit des Strobilurins (8) im protektiven Ansatz sehr gut, während bei kurativer Applikation keine Wirkung zu erkennen war. Am besten hat in beiden Ansätzen die Prüfsubstanz „Phosphat solo“ (5) abgeschnitten (jeweils < 1 % Befallsstärke). Untersuchungen im Weinberg haben allerdings gezeigt, dass sich diese Ergebnisse nicht reproduzieren lassen. Vermutlich wird die Wirkung der Phosphate aufgrund ihrer guten Wasserlöslichkeit durch die im Freiland einwirkenden Faktoren Tau und Niederschlag negativ beeinflusst. Im Falle der Prüfsubstanz β-1,3-Glucan (6) war keine biolo-

gische Wirksamkeit gegenüber *P. viticola* zu erkennen: der Befallswert war mit dem des Versuchsglieds Kontrolle gleichauf.

Demgegenüber präsentierte sich ein anderes Befallsbild im Falle des kurativen Einsatzes. Erwähnenswert ist der starke Pilzbefall (75 %) im Versuchsglied „Kontrolle“ (1). Da dieser Teilversuch später im Jahr (Mai/Juni) stattfand, wurden im Vergleich zum protektiven Ansatz deutlich höhere Befallswerte erzielt. Das entspricht den Erfahrungen der letzten Jahre bzgl. der Durchführung von Inokulationen an Topfreben im Gewächshaus.

Ergebnisse aus der Praxis bestätigend zeigte Frutogard® (2) unter diesen Versuchsbedingungen ein sehr hohes Eindämmungspotential gegenüber *P. viticola*. Im vorliegenden Versuch waren beim kurativen Einsatz ca. 15 % der bereits begonnenen Inkubationszeit abgelaufen. Von allen anderen Prüfsubstanzen gingen deutlich geringere Kurativ-Wirkungen aus – das Prüfmittel „Phosphat solo“ (5) ausgenommen, was unter Gewächshausbedingungen auch im Kurativ-Versuch überzeugte.

Genexpression im protektiven und kurativen Ansatz

Da die Darstellung aller Genexpressionsanalysen den Rahmen sprengen würde, wurde beispielhaft das Enzym Lipoxygenase, welches bei der Biosynthese der so genannten Oxylipine eine Rolle spielt, ausgewählt. In der folgenden Abbildung (Abb. 1) sind Zeitpunkte und Prüfglieder mit hohen Genexpressionswerten durch ein intensiv rot gefärbtes Quadrat gekennzeichnet. Entsprechend geringer präsentierte sich diese Rate im Falle dunkelroter Ergebnis-Quadrate. Ein schwarzes Ergebnis-Feld wiederum zeigt an, dass hier kein erhöhtes Genexpressionssignal vorlag. Anhand dieser Farbcodierung können Zeitpunkte und Elicitoren bestimmt werden, die ein hohes Eindämmungspotential gegenüber *P. viticola* erwarten lassen. Dargestellt sind die Ergebnisse des protektiven (Abb. 1 links) sowie des kurativen (Abb. 1 rechts) Einsatzes der Prüfsubstanzen.

Anhand dieser vielfältigen und exakten Genexpressionsdaten ist es im Pathosystem Rebe/*P. viticola* erstmals möglich, für verschiedene Substanzen, die als Elicitoren wirken können, optimale Applikationszeitpunkte zu benennen. Dieser Zusammenhang war bisher für holzige Pflanzen nur ansatzweise untersucht (PERCIVAL 2001).

Um den Einsatz Resistenz induzierender Substanzen exakt an die Entwicklungszyklen der polyzyklischen „Alge“ *P. viticola* anzupassen, bietet sich der Einsatz mathematischer Modelle zur Vorhersage der Krankheit an. Ein solches Modell liegt vor: Das neue Geisenheimer Peronospora-Prognosemodell wurde in den letzten beiden Vegetationsperioden erfolgreich validiert (BERKELMANN-LÖHNERTZ et al. 2010). Auf der Basis dieses Krankheitsmodells lassen sich Infektionszeitpunkte für boden- und blattbürtige Infektionen sowie die individuelle Länge der Inkubationszeiten vorhersagen. Diese Voraussetzungen erlauben eine Verknüpfung von Resistenzinduktion und Krankheitsprognose mit dem Ziel der Optimierung des Rebschutzes im ökologischen Weinbau.

Nur wenn die Zeitpunkte für eine optimale Terminierung der Applikationen bekannt sind und wenn die Wirtspflanze ausreichend Zeit hatte, die pflanzeneigene Abwehr zu aktivieren, ist der Bekämpfungserfolg auch mit deutlich reduzierten Kupfermengen sicher. Auf dieser Basis ist also eine weitere Minimierung des Einsatzes kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel möglich.

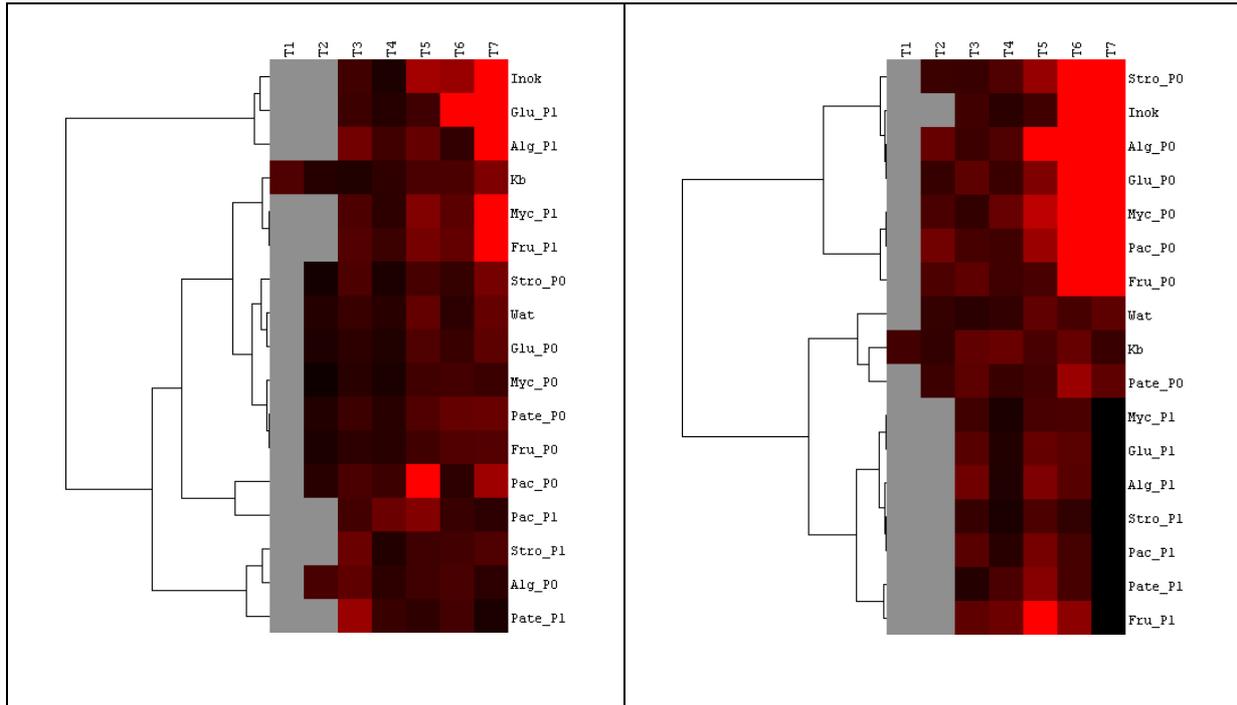
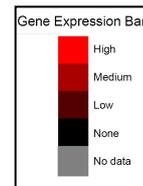


Abb. 1: Genexpressionsanalyse für das Enzym Lipoxigenase durch hierarchische Clusteranalyse; links: protektiv; rechts: kurativ; Jahr: 2009; oberer Rand: Probenahme-Termine bezogen auf den Zeitpunkt der Applikation bzw. Inokulation; rechter Rand: Prüfglieder (PO = Elicitor ohne *P. viticola*; P1 = Elicitor mit *P. viticola*); grau = keine Ergebnisse; schwarz = keine erhöhte Genexpression; dunkelrot = Genexpression gering; mittelrot = Genexpression mittelstark; rot = Genexpression hoch (vgl. Legende rechts)



Der Einsatz Resistenz induzierender Substanzen im Rebschutz ist natürlich auch für integriert wirtschaftende Winzer interessant. Wenn möglicherweise durch die Aktivierung der pflanzeneigenen Abwehr Applikationen anderer Pflanzenschutzmittel eingeschränkt werden können, ist das ein weiterer überzeugender Beitrag zur Umsetzung des „Reduktionsprogramms chemischer Pflanzenschutz“ in der Weinbaulichen Praxis.

Um allerdings den Bedürfnissen der öko Weinbaulichen Praxis gerecht zu werden und Existenz bedrohende Bekämpfungseingänge (von echten „Lücken“ sollte nicht gesprochen werden) zu vermeiden, sollte ein Antrag zur Aufnahme der Phosphonate in die EU-Öko-Verordnung mit Nachdruck verfolgt werden.

Literatur

Aziz A, Poinssot B, Daire X, Adrian M, Bézier A, Lambert B, Joubert J-M, Pugin A (2003): Laminarin Elicits Defense Responses in Grapevine and Induces Protection against *Botrytis cinerea* and *Plasmopara viticola*. MPMI 16 (12), 1118-1128.

Berkelmann-Löhnertz B, Heibertshausen D, Baus-Reichel O, Hofmann U, Kauer R (2008): Ohne Kupfer geht es nicht – Status quo im ökologischen Weinbau nach vier Jahren BÖL-Verbundprojekt. Fachgespräch „Bedeutung von Kupfer für den Pflanzenschutz,

insbesondere für den Ökologischen Landbau – Reduktions- und Ersatzstrategien“. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut 142, 17-20.

Berkelmann-Löhnertz B, Baus O, Hassemer-Schwarz H, Frühauf C (2010): Elaboration and validation of a downy mildew forecast model regarding soilborne infections. Conference PATHOLUX 2010: Impact of plant pathogens on food quality of agricultural crops and wine; Remich (Luxembourg), 23.11.2010. Book of Abstracts, 43-44.

Kessmann H, Staub T, Hofmann C, Maetzke T, Herzog J, Ward E, Uknes S, Ryals J (1994): Induction of systemic acquired disease resistance in plants by chemicals. Ann. Rev. Phytopathol., 32, 439-459.

Percival GC (2001): Induction of systemic acquired disease resistance in plants: Potential implications for disease management in urban forestry. J. of Arboriculture 27 (4), 181-192.

Schwarzbach W (2008): Kupfer als Pflanzenschutzmittel-Wirkstoff: Bewertung der Auswirkungen auf den Naturhaushalt. Fachgespräch „Bedeutung von Kupfer für den Pflanzenschutz, insbesondere für den Ökologischen Landbau – Reduktions- und Ersatzstrategien“. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut 142, 10-14.

Trouvelot S, Varnier A-L, Allègre M, Mercier L, Baillieul F, Arnould C, Gianinazzi-Pearson V, Klarzynski O, Joubert J-M, Pugin A, Daire X. (2008): A β -1,3 Glucan Sulfate Induces Resistance in Grapevine against *Plasmopara viticola* through Priming of Defense Responses, Including HR-like Cell Death. MPMI 21 (2), 232-243.

Vallad GE & Goodman RM (2004): Systemic Acquired Resistance and Induced Systemic Resistance in Conventional Agriculture. Crop Science 44, 1920-1934.

Danksagung

Wir bedanken uns beim „Fonds National de la Recherche Luxembourg“ für die finanzielle Unterstützung des Vorhabens. Bei Helga Findeis, Max Sandmann und Winfried Schönbach sagen wir herzlichen Dank für die exzellente technische Assistenz sowie für die methodische Unterstützung bei der Planung, Durchführung und Auswertung der Gewächshausversuche. Ebenso danken wir für die perfekte fotografische Dokumentation in allen Teilbereichen der Untersuchungen. Bei Sylvain Legay möchten wir uns für die Mitwirkung bei den Laborarbeiten in Luxemburg bedanken.

Regulierung der Krautfäule (*Phytophthora infestans*) durch Anwendung phosphonathaltiger Präparate – Wirksamkeitsvergleich mit Kupfer

Daniel Neuhoff

Landwirtschaftliche Fakultät Universität Bonn, Institut für Organischen Landbau, Katzenburgweg 3, 53115 Bonn, d.neuhoff@uni-bonn.de

Die Verfügbarkeit von Fungiziden im Ökologischen Landbau beschränkt sich aufgrund der restriktiven Mittelzulassung auf wenige Produkte, insbesondere kupferhaltige Stoffe. Eine Reduzierung des Einsatzes bzw. ein finales Verbot der Anwendung kupferhaltiger Präparate wird von verschiedenen Seiten (z. B. UBA) v. a. aus ökotoxikologischen Gründen angestrebt. Alternative Wirkstoffe zu Kupfer müssen zugleich die hohen Anforderungen an PSM als auch die besonderen Ansprüche des Ökologischen Landbaus hinsichtlich der Vertretbarkeit ihres Einsatzes erfüllen. Ein Musterbeispiel für die damit verbundene Problematik und die vielfältigen Implikationen auf kommunikativer und politischer Ebene stellt die Nutzung von Phosphonaten zur Kontrolle pilzlicher Schaderreger dar.

In eigenen Untersuchungen zu deren Wirksamkeit wiesen Kaliumphosphonate partiell eine vergleichbare Wirkung auf den Befall von Kartoffeln mit *P. infestans* auf wie die Anwendung von CuOH. Sowohl die Anwendung von CuOH als auch von Kaliumphosphonat hatte im Mittel von zwei Versuchen bei vergleichbarer Behandlungsintensität (500 g Kaliumphosphonat versus 500 g Cu je Spritzung, insgesamt 5 Spritzungen) eine signifikante Verringerung des Krautfäulebefalls und eine Steigerung des Kartoffel-Rohertrages von etwa 15–20 % zur Folge. Erste Untersuchungen zu Rückständen von Kaliumphosphonaten ergaben keine Unterschiede im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle.

Die bisherigen Befunde weisen eindeutig darauf hin, dass Kaliumphosphonate eine fungizide Wirkung aufweisen. Es stellt sich daher die politische Frage, ob Phosphonate im Ökologischen Landbau über die bereits zulässige Indikation im Weinbau eingesetzt werden sollten. Aus wissenschaftlicher Sicht kann nur empfohlen werden, eine breite Datenbasis für eine künftige Entscheidung einer eventuellen Zulassung zu schaffen. Von besonderem Interesse sind hier die detaillierte Aufschlüsselung des Wirkmechanismus von Phosphonaten gegenüber pilzlichen Schaderregern sowie die systematische Erfassung weiterer physiologischer Effekte auf die Pflanze, die von deren Anwendung ausgehen können. Von hoher Relevanz sind zudem umfassende Kenntnisse zum Ab- und Umbauverhalten von Phosphonaten in der Pflanze und im Boden sowie die sich daraus ergebenden Kontaminationspotentiale für Lebensmittel. Diese Kenntnisse könnten dann als Grundlage für die Entwicklung von Vermeidungsstrategien dienen.

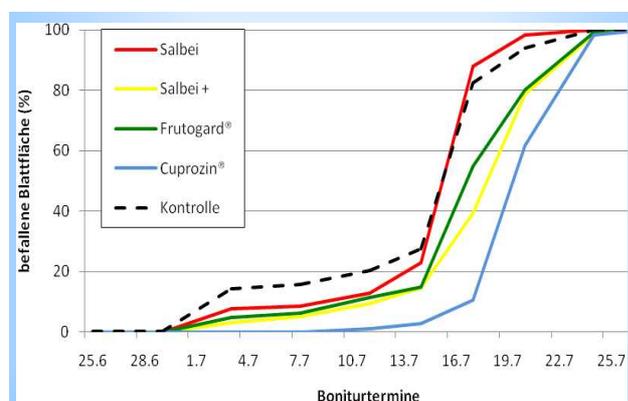


Abb. 1: Einfluss verschiedener Präparate auf den Befallsverlauf mit *P. infestans* an Kartoffeln

„Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft“
erscheinen seit 1995 in zwangloser Folge

Seit 2008 werden sie unter neuem Namen weitergeführt:
„**Berichte aus dem Julius Kühn-Institut**“

- Heft 136, 2006: NEPTUN 2005 – Hopfen. Statistische Erhebung zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis. Dr. Dietmar Roßberg, 17 S.
- Heft 137, 2006: NEPTUN 2005 – Zuckerrüben. Statistische Erhebung zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis. Dr. Dietmar Roßberg, 37 S.
- Heft 138, 2007: NEPTUN 2005 – Zierpflanzenbau. Statistische Erhebung zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis. Dr. Dietmar Roßberg, 18 S.
- Heft 139, 2007: NEPTUN 2005 – Gemüsebau. Statistische Erhebung zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis. Dr. Dietmar Roßberg, 66 S.
- Heft 140, 2007: NEPTUN 2006 – Weinbau. Statistische Erhebung zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis. Dr. Dietmar Roßberg und Roland Ipach, 16 S.
- Heft 141, 2007: Pflanzenschutz im Ökologischen Landbau – Probleme und Lösungsansätze. 12. Fachgespräch am 27. September 2007. Anwendung von Pflanzenschutzmitteln und innovativer Verfahren im Ökologischen Landbau – neue Wirkstoffe und Applikationstechnik. Bearbeitet von PD Dr. Stefan Kühne, Dr.-Ing. Heinz Ganzelmeier und Britta Friedrich, 64 S.
- Heft 142, 2008: Fachgespräch: „Bedeutung von Kupfer für den Pflanzenschutz, insbesondere für den Ökologischen Landbau – Reduktions- und Ersatzstrategien“, Berlin-Dahlem, 29. Januar 2008. Bearbeitet von PD Dr. Stefan Kühne und Britta Friedrich, 94 S.
- Heft 143, 2008: Datensichtung, Unterstützung bei der Problemanalyse, erste Schritte einer Datenanalyse. Dr. Eckard Moll und Thomas Stauber, 66 S.
- Heft 144, 2008: Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz – Jahresbericht 2007. Bearbeitet von Prof. Dr. Bernd Freier, Dr. Bernhard Pallutt, Dr. Marga Jahn, Jörg Sellmann, Dr. Volkmar Gutsche, Dr. Wolfgang Zornbach, 53 S.
- Heft 145, 2008: NEPTUN 2007 – Zuckerrüben. Dr. Dietmar Roßberg, Dr. Erwin Ladewig, Dr. Pavel Lukashyk, 44 S.
- Heft 146, 2009: Chronik zum 75jährigen Jubiläum des Instituts für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland. Dr. Bärbel Schöber-Butin, 47 S.
- Heft 147, 2009: NEPTUN 2007 – Obstbau. Dr. Dietmar Roßberg, 71 S.
- Heft 148, 2009: 21st International Conference on Virus and other Graft Transmissible Diseases of Fruit Crops. July 5 – 10, 2009, Neustadt, Germany, 92 S.
- Heft 149, 2009: Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz – Jahresbericht 2008. Bearbeitet von Prof. Dr. Bernd Freier, Dr. Bernhard Pallutt, Dr. Marga Jahn, Jörg Sellmann, Dr. Volkmar Gutsche, Dr. Wolfgang Zornbach, Dr. Eckard Moll, 64 S.
- Heft 150, 2009: NEPTUN 2008 – Hopfen. Dr. Dietmar Roßberg, 17 S.
- Heft 151, 2010: NEPTUN 2009 – Weinbau. Dr. Dietmar Roßberg, 19 S.
- Heft 152, 2010: NEPTUN 2009 – Zuckerrübe. Dietmar Roßberg, Eike-Hennig Vassel, Erwin Ladewig, 45 S.
- Heft 153, 2010: NEPTUN 2009 – Gemüsebau. Dietmar Roßberg, 72 S.
- Heft 154, 2010: Bewertung der Resistenz von Getreidesortimenten : Planung und Auswertung der Versuche mit Hilfe der SAS-Anwendung RESI 2 ; Assessment of resistance in cereal cultivars, Design and analysis of experiments using the SAS-application RESI 2. Eckard Moll, Kerstin Flath and Ines Tessenow, 109 S.
- Heft 155, 2010: Biofumigation als Pflanzenschutzverfahren: Chancen und Grenzen Beiträge des Fachgespräches vom 5. Mai 2010 in Bonn-Roleber / Biofumigation for plant disease control: chances and limitations Proceedings of the workshop held on May 5th, 2010 in Bonn-Roleber. Bearbeitet von / Compiled by: Johannes Hallmann, Johannes Keßler, Rita Grosch, Michaela Schlathöler, Florian Rau, Wolfgang Schütze, Matthias Daub, 102 S.
- Heft 156, 2010: Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz - Jahresbericht 2009 / Network of Reference Farms for Plant Protection - Annual Report 2009, Analysis of Results 2007 – 2009. Bearbeitet von / Compiled by: Bernd Freier, Jörg Sellmann, Jürgen Schwarz, Marga Jahn, Eckard Moll, Volkmar Gutsche, Wolfgang Zornbach
Unter Mitwirkung von / In collaboration with: Anita Herzer, Merle Sellenriek, Rene Brand, Benita Burghardt, Christiane Seidel, Florian Kluge, Ute Müller, Christina Wagner, Christoph Hoffmann und der Pflanzenschutzdienste der Länder, 83 S.
- Heft 157, 2010: Drittes Nachwuchswissenschaftlerforum 2010; 23.-25. November in Quedlinburg - Abstracts -

