Vol. 13, No. 1, 2018

akademien der wissenschaften schweiz

swiss academies factsheets

www.akademien-schweiz.ch



Neue Ansätze für den Schutz von Kartoffeln gegen die Kraut- und Knollenfäule

Die Kraut- und Knollenfäule führt nach wie vor zu grossen Verlusten und zu hohem Pestizideinsatz im Kartoffelbau. Die Forschung verbessert unter Hochdruck bestehende Bekämpfungsstrategien und entwickelt neue Lösungsansätze. Eine Kombination dieser Ansätze könnte den Kartoffelanbau in der Schweiz entscheidend ertragreicher und ökologischer machen.

Die Kartoffel ist nach Weizen und Zuckerrübe die drittwichtigste Ackerkulturpflanze in der Schweiz. 2016 wurde sie auf knapp 11 000 Hektaren mit einem Ertrag von etwa 30 Tonnen pro Hektar angebaut (Swisspatat, 2017). Der Selbstversorgungsgrad bezüglich Kartoffeln beträgt in der Schweiz über 90 Prozent, so viel wie bei keiner anderen Kulturpflanze. Kartoffeln werden aber nicht nur für die menschliche Ernährung angebaut, sondern sie dienen auch als Tierfutter und als Rohstoff für industrielle Anwendungen.

Eine der grössten Herausforderungen im Kartoffelanbau ist die Kraut- und Knollenfäule, eine Krankheit, die durch den Erreger *Phytophthora infestans* verursacht wird. Obwohl man die Krankheit bereits seit langem kennt und auch gut untersucht hat (Box 1), ist sie nach wie vor in allen Anbaugebieten gefürchtet. Sind die Witterungsbedingungen feucht und warm (d. h. Tagesdurchschnittstemperatur über 10 °C) und somit günstig für die Entwicklung des Erregers, kann dieser ohne Gegenmassnahmen zum vollständigen Verlust der Ernte führen. Überdies steigert bei hoher Luftfeuchtigkeit bereits eine um ein Grad höhere Durchschnittstemperatur das Potenzial des Erregers deutlich (Andrade et al., 1997/98), was mit Blick auf die Klimaerwärmung alarmierend ist. Im Durchschnitt zerstört *Phytophthora* jedes Jahr ca. 16 Prozent der weltweiten Kartoffelproduktion. Die Verluste und die Aufwendungen zur Krankheitsbekämpfung verursachen in der EU jährliche Kosten von bis zu einer Milliarde Euro (Haverkort et al., 2008).

In der Schweiz sind die häufigsten Infektionsquellen befallenes Saatgut, Deponien von alten Kartoffeln und Durchwuchskartoffeln, d. h. Aufwuchs von einzelnen Pflanzen in der Folgekultur (Agroscope, 2017). Da der Entwicklungszyklus des Erregers nur ca. 3–5 Tage beträgt, kann sich die Krankheit bei förderlicher Witterung regional rasant ausbreiten. Seit Beginn der Aufzeichnungen 1990 durch Agroscope war die Schweiz jedes Jahr von Kraut- und Knollenfäule-Epidemien betroffen. Das Ausmass variierte jedoch stark von Jahr zu Jahr, so trat die Kraut- und Knollenfäule 2013 und 2015 zwar auf, die Auswirkungen waren aber nicht gross (Angaben T. Musa-Steenblock, Agroscope).

Box 1: Eine Pflanzenkrankheit, die Geschichte geschrieben hat

Die Kartoffel wurde in der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts nach Europa eingeführt. Das Interesse galt erst den dekorativen Blüten und den (giftigen) Beeren. Erst allmählich rückte der Wert der Knolle in den Blickpunkt. Insbesondere in Irland begann ihr Anbau bereits um 1700, da sie auch auf kargen Böden relativ gut gedeiht. In der Folge wurde die Kartoffel auf der Insel zum dominierenden Grundnahrungsmittel.

Der Erreger der Kraut- und Knollenfäule, *Phytophthora infestans*, wurde irgendwann mit einer befallenen Pflanze aus Mexiko in die USA und nach Europa eingeschleppt. Zum ersten Mal beobachtete man die Krankheit 1843 an der US-Ostküste. Bereits ein Jahr später trat sie in Belgien und England in Erscheinung und breitete sich von dort in ganz Europa aus. Zwischen 1845 und 1852 zerstörte der Erreger in mehreren aufeinander folgenden Jahren praktisch die gesamte Kartoffelernte in Irland, was in Kombination mit anderen Faktoren verheerende Konsequenzen hatte. Die Bevölkerungszahl auf der Insel fiel zwischen 1844 und 1851 von rund 8,4 Millionen auf 6,6 Millionen. Etwa eine Million Menschen starben den Hungertod oder fielen geschwächt dem Typhus oder anderen Krankheiten zum Opfer, eine weitere Million wanderte in die USA aus. Die Katastrophe ging als «Great Famine» in die Geschichtsbücher ein.

Zwar beschäftigten sich Fachleute sehr bald mit der Pflanzenkrankheit und die erste genaue Beschreibung des verursachenden Erregers erfolgte bereits 1845. Doch es dauerte weitere hundert Jahre, bis seine Entwicklungszyklen und die Mechanismen der Krankheit verstanden wurden (Schumann, 1991).

Um die Verluste durch *Phytophthora* im Kartoffelanbau zu reduzieren, bieten sich verschiedene Strategien an. Der Gebrauch von zertifiziertem und nicht befallenem Saatgut, die Entfernung von Durchwuchskartoffeln, verlässliches Befallsmonitoring und Diagnostik zur Früherkennung von Epidemien sind geeignete Massnahmen. Weiter gehören die Züchtung und der Anbau resistenter Sorten und die gezielte, direkte Bekämpfung des Erregers dazu. Dabei gibt es sowohl neue Produkte aus dem Bereich der synthetischen Wirkstoffe als auch Ansätze, die mit den Anforderungen des Biolandbaus vereinbar sind. Damit möchte der Biolandbau den Einsatz von Kupferpräparaten reduzieren.

Züchtung resistenter Sorten als Grundlage

In der Kartoffelzüchtung werden die Saatkartoffeln grundsätzlich auf vegetativem Weg (ungeschlechtlich) vermehrt. Das bedeutet, dass die Saatkartoffeln identisch mit ihrer Mutterpflanze sind und so die Sorte stabil bleibt. Das hat gewisse agronomische Vorteile, da beispielsweise alle Pflanzen gleichzeitig erntereif sind. Jedoch sind auch die Schwächen der Pflanzen identisch, was im Falle einer hohen *Phytophthora*-Anfälligkeit mitverantwortlich für die hohen Ernteverluste ist. Hier kann mit der Züchtung neuer Sorten angesetzt werden: Durch den Anbau von Sorten mit höherer Resistenz gegenüber *Phytophthora* könnten viel Geld und Pflanzenschutzmittel eingespart werden.



Versuchsfeld mit *Phytophthora*-resistenten und nicht-resistenten Kartoffelpflanzen.



Symptome nach *Phytophthora*-Befall an den Blättern, Stängeln und Knollen.

Die meisten europäischen Züchtungsprogramme setzen dabei auf die klassische Kreuzungszüchtung, oft in Kombination mit Marker-gestützter Selektion (Box 2). Dabei wird versucht, mehrere Resistenz-Gene (*R*-Gene) aus bestehenden Sorten zu kombinieren und gleichzeitig die für die *Phytophthora*-Anfälligkeit verantwortlichen Gene (*S*-Gene, von engl. «susceptibility») möglichst zu vermeiden. Es ist auch möglich, zusätzliche *R*-Gene aus Wildkartoffeln in eine Kultursorte einzukreuzen. Dabei gehen allerdings viele erwünschte Eigenschaften der Kultursorte erst einmal verloren und müssen über viele Rückkreuzungsschritte wieder eingebracht werden. Die klassische Züchtung von Kartoffeln ist ein langwieriger Prozess: Werden nur Kultursorten gekreuzt, dauert die Entwicklung einer marktreifen Sorte ca. 12–15 Jahre; bei der Kreuzung mit Wildkartoffeln kann es bis zu 50 Jahre dauern.

Obwohl es bereits resistente Sorten gibt, werden diese nicht grossflächig angebaut. Ein wesentlicher Grund dafür ist die mangelnde Akzeptanz der Sorten auf dem Markt, da ihnen zum Teil Eigenschaften fehlen, die für den Handel und für die Konsumentinnen und Konsumenten wichtig sind. Somit bleibt der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln hoch – sowohl im konventionellen als auch im bio-organischen Kartoffelanbau.

Cisgenese als weiterer Züchtungsansatz

Die Cisgenese (Box 2) ist eine weitere Möglichkeit, um *R*-Gene in bestehende Kultursorten einzubringen. Als Cis-Gene werden arteigene Gene bezeichnet, die innerhalb der gleichen Art bzw. zwischen kreuzbaren Arten übertragen werden können. Sie gehören damit zum traditionellen «Züchter-Genpool». Bei der Cisgenese werden die gewünschten *R*-Gene mit Hilfe gentechnischer Methoden in eine bestehende Kartoffelsorte eingeführt (Jo et al., 2014).

Da sich der Erreger *Phytophthora infestans* im Laufe der Zeit weiter an seine Umwelt anpasst, kann es vorkommen, dass *R*-Gene ihre Resistenzeigenschaften verlieren. Da dies zum Teil bereits der Fall ist und die Anzahl *R*-Gene begrenzt ist, ist es sehr wichtig, keine Kartoffeln anzubauen, die nur ein einzelnes *R*-Gen enthalten. Damit kann die schnelle Anpassung von *Phytophthora* und das Durchbrechen weiterer Resistenzen verhindert oder zumindest verzögert werden. Via Cisgenese ist es möglich, mehrere unterschiedliche *R*-Gene gleichzeitig in eine bestehende Sorte einzubauen, ohne die übrigen Eigenschaften dieser Sorte zu verlieren (Haverkort et al., 2016). Das wurde versuchsweise durchgeführt und die Kartoffeln erwiesen sich daraufhin in Feldstudien, die unter anderem auf der «Protected Site» von Agroscope durchgeführt wurden, als resistent gegenüber den getesteten Formen von *Phytophthora* (Brunner et al., 2017; Haesaert et al., 2015).

In der Schweiz und der EU werden cisgene Kartoffeln als gentechnisch veränderte Organismen (GVO) eingestuft. Das in der Schweiz geltende Gentech-Moratorium verbietet den Anbau von GV-Pflanzen bis 2021. Das bedeutet, dass in der Schweiz cisgene *Phytophthora*-resistente Kartoffelsortern nicht angebaut werden dürfen. In den USA wurden anfangs 2017 drei Sorten cisgener Kartoffeln zum Anbau zugelassen, in die unter anderem ein *R*-Gen eingefügt wurde (FDA, 2017).

Nebst der Cisgenese werden weitere neue Züchtungsverfahren eingesetzt, um Kartoffeln resistent gegenüber *Phytophthora* zu machen. So wird etwa daran gearbeitet, mit RNAi oder CRISPR/Cas9 die für die Anfälligkeit verantwortlichen *S*-Gene auszuschalten (Sun et al., 2016). Im Unterschied zu der Cisgenese befinden sich diese Ansätze aber noch am Anfang der Entwicklung (Box 2).

Synthetische Fungizide

Die konventionelle Landwirtschaft, die den überwiegenden Teil der Schweizer Kartoffelproduktion ausmacht, verwendet heute zur Kontrolle der Kraut- und Knollenfäule in erster Linie synthetische Fungizide. Für die erfolgreiche Bekämpfung der Krankheit wird meistens eine Kombination mehrerer Präparate eingesetzt und sie müssen pro Jahr 7-8 Mal ausgebracht werden. Die Fungizide eignen sich für verschiedene Entwicklungsstadien der Kartoffelpflanze, resp. der Kraut- und Knollenfäule. Die Präparate unterscheiden sich in ihrem Wirkmechanismus, wodurch nicht nur die Wirksamkeit erhöht, sondern auch das Risiko, dass sich *Phytophthora* an die Fungizide anpasst, verzögert wird. Dennoch verminderte sich die Wirksamkeit bei Substanzen der bedeutenden Klasse der Phenylamide. Der Einsatz dieser Pflanzenschutzmittel musste deshalb stark eingeschränkt werden. Es ist wohl nur eine Frage der Zeit, bis sich *Phytophthora* an weitere Wirkstoffgruppen anpasst. Deshalb wird mit Hochdruck an der Erforschung neuer Wirkstoffe und der Entwicklung neuer Präparate gearbeitet. Ähnlich wie die Züchtung neuer Sorten ist aber

Box 2: Techniken zur Züchtung von Kartoffelsorten

In der traditionellen Pflanzenzüchtung mit herkömmlichen Kreuzungsprozessen werden die neu-generierten Pflanzen anhand ihrer Eigenschaften (Phänotyp) selektioniert. Dagegen setzt **Marker-gestützte Selektion** (MAS, für: marker-assisted selection) bei den genetischen Merkmalen (Genotyp) an. Die MAS ermöglicht es, bereits vor der Kreuzung die geeigneten Elternpflanzen zu wählen und bald danach die Keimlinge mit den gewünschten Eigenschaften zu bestimmen, basierend auf ihrem Genotyp. So kann beispielsweise festgestellt werden, ob ein spezifisches *R*-Gen vorhanden ist, ohne dass ein Resistenztest durchgeführt werden muss. Dadurch wird der Züchtungsprozess deutlich beschleunigt.

Bei der **Cisgenese** werden Gene aus derselben oder einer nah verwandten, kreuzungskompatiblen Art übertragen. Dies ist der wesentliche Unterschied zur Transgenese, bei der artfremde Gene eingeführt werden. In Bezug auf *Phytophthora*-Resistenz bei Kartoffeln können mit dieser Methode bekannte *R*-Gene in eine bestehende Sorte eingeführt werden, ohne ihre anderen Eigenschaften zu verändern, was durch eine Kreuzung nicht möglich ist.

Bei der **RNA-Interferenz** (RNAi) werden bestimmte DNA-Sequenzen als Transgene in die Pflanzen eingebracht, um dort die Produktion eines bestimmten Proteins, das durch eine pflanzeneigene mRNA kodiert wird, zu unterdrücken. Bei Kartoffeln könnten mit diesem Mechanismus zum Beispiel Proteine reguliert werden, die für die Anfälligkeit gegenüber *Phytophthora* verantwortlich sind.

Die **CRISPR/Cas9**-Technologie sowie weitere ähnliche Methoden ermöglichen seit wenigen Jahren die gezielte Genom-Editierung. Dabei können spezifische DNA-Sequenzen gelöscht, verändert oder neu hinzugefügt werden. In Bezug auf die Kraut-und Knollenfäule könnten wie mit RNAi die für die Anfälligkeit verantwortlichen *S*-Gene unterdrückt werden. Dass diese Technologie in Kartoffeln funktioniert, wurde Anfang 2017 gezeigt, indem mittels CRISPR/Cas9 die Stärkeproduktion in Kartoffeln verändert wurde (Andersson et al., 2017).

auch die Entwicklung neuer Fungizide ein langer Prozess. So dauert die Entwicklung eines neuen synthetischen Präparats mindestens 10 Jahre.

Synthetische Fungizide müssen regulatorische Bedingungen erfüllen und unterliegen strikten Anwendungsauflagen. Trotz diesen hohen Anforderungen können synthetische Pflanzenschutzmittel negative Effekte auf Nichtzielorganismen haben, entweder durch direkten Kontakt oder durch die Auswaschung in die umliegenden Gewässer. Im «Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln» von 2017 sieht der Bundesrat vor, die Risiken von Pflanzenschutzmitteln langfristig um 50 Prozent zu reduzieren. Dabei sollen auch Massnahmen geprüft werden, um den Einsatz von Fungiziden im Kartoffelanbau zu reduzieren (Der Bundesrat, 2017).

Nicht-synthetische Pflanzenschutzmittel

Im Jahr 2016 wurde auf ca. 5 Prozent der Kartoffeläcker nach bio-organischem Standard produziert (BioSuisse, 2017). Im Biolandbau wird auf den Einsatz von synthetischen Pflanzenschutzmitteln verzichtet. Die Behandlung mit Kupferpräparaten stellt derzeit die einzige wirkungsvolle Methode gegen die Kraut- und Knollenfäule dar. Allerdings reichert sich das Schwermetall im Boden an und ist für viele Organismen giftig. In Jahren mit hohem Befallsdruck durch *Phytophthora* ist die maximal zulässige Einsatzmenge von 4 kg Kupfer pro Hektar schnell erreicht. Eine effiziente Kontrolle der Kraut- und Knollenfäule ist unter solchen Bedingungen nur durch optimierten Einsatz möglich. Die erlaubte Menge an Kupfer vermag die Ausbreitung der Krankheit unter solchen Bedingungen jedoch nur um ein paar Tage zu verzögern. Bis 2018 strebt die EU ein Verbot des Kupfereinsatzes an (EU, 2015). Entsprechend ist der Druck gross, alternative Behandlungsmethoden zu entwickeln, die den Anforderungen des Biolandbaus genügen. Solche neuen Behandlungsmethoden, die sich allenfalls mit synthetischen Pflanzenschutzmitteln kombinieren lassen, wären auch für die konventionelle Landwirtschaft von Interesse.

Nicht-synthetische Wirkstoffe lassen sich zum Beispiel in Pflanzenextrakten finden. Solche «Botanicals» wurden zum Teil bereits vor 4000 Jahren in der Landwirtschaft eingesetzt. Es gibt grundsätzlich zwei Ansätze, um neue Natursubstanzen mit potenzieller Wirksamkeit gegen die Kraut- und Knollenfäule zu identifizieren: Das Experimentieren mit vorhandenem Rohmaterial oder die systematische Analyse von Sammlungen von Natursubstanzen. Eine interessante Rohmaterialquelle sind Forstnebenprodukte wie z.B. Baumrinden, da sie gut verfügbar und reich an Inhaltsstoffen mit antimikrobieller Wirkung sind. Ein erstes Produkt, das auf einem Wirkstoff aus Lärchenrinde basiert, befindet sich bereits auf dem Weg zur Markteinführung. Auch eine Suspension aus der Rinde des Faulbaums zeigte in Feldversuchen eine mit 3 kg Kupfer pro Hektar vergleichbare Schutzwirkung. Der zweite Ansatz, die systematische Analyse ganzer Sammlungen von Wirkstoffen, ist dank moderner Labortechnologien wesentlich einfacher und schneller geworden. Allerdings zeigen Substanzen, die im Labor oder im Gewächshaus vielversprechende Resultate lieferten, unter Freilandbedingungen

oft keine ausreichende Wirkung (Dorn et al., 2007; Krebs et al., 2013).

Interessanterweise vermag die Kombination von gewissen Pflanzenextrakten mit phosphor- und kaliumhaltigen Spezialdüngern deren Wirkung wesentlich zu verstärken. Auch der alleinige Einsatz dieser Spezialdünger zeigte in Feldversuchen gute Ergebnisse. Um eine gute Wirksamkeit zu erreichen, müssten sie wie Kupfer oder andere Fungizide mehrmals ausgebracht werden. Abhängig von der Eintragsmenge finden sich jedoch Phosphonsäure-Rückstände in den geernteten Kartoffeln, weshalb solche Kaliumphosphonat-Präparate im biologischen Kartoffelanbau bisher nicht zugelassen sind. Neue Forschungsresultate geben allerdings Anlass zur Hoffnung, dass sich mit einem austarierten Einsatz von Phosphonaten, allenfalls in Kombination mit pflanzlichen Präparaten, der Einsatz von Kupfer erheblich senken lässt (Krebs et al., 2013).

Nutzung des Kartoffel-Mikrobioms als neuer Ansatz

Ein Ansatz zur *Phytophthora*-Bekämpfung, der bisher relativ wenig Beachtung erhalten hat, ist die Nutzung des Mikrobioms der Kartoffel – also aller Mikroorganismen, die die Pflanze besiedeln. Weil dabei biologische Ressourcen genutzt werden, ist dieser Ansatz auch mit den Richtlinien der Biolandwirtschaft vereinbar (Hunziker et al., 2015). Dabei gibt es grundsätzlich zwei Wirkungsweisen. Einerseits können andere Mikroorganismen gefördert oder gezielt zugesetzt werden, welche mit dem Erreger der Kraut- und Knollenfäule in Konkurrenz treten und dadurch dessen Wachstum oder Reproduktion behindern. Andererseits können einzelne Stoffe, welche die Mikroorganismen abgeben und die Entwicklung von *Phytophthora* beeinträchtigen, identifiziert und als Präparat eingesetzt werden. So ist es gelungen, auf den Blättern und im Wurzelbereich der Kartoffel über 100 Bakterienstämme zu identifizieren und im Labor ihre Wirkung auf *Phytophthora* zu untersuchen. Einige Stämme der Bakteriengattung *Pseudomonas* erwiesen sich als sehr interessant. Sie emittieren Zyanid und vermochten im Versuch die Entwicklung von *Phytophthora* deutlich zu reduzieren. Auch von anderen Bakterien emittierte Stoffe, insbesondere Schwefelverbindungen, sind vielversprechend (Hunziker et al., 2015; DeVrieze et al., 2015; Guyer et al., 2015). Die Nutzung des Mikrobioms hat grosses Potenzial, um die Kraut- und Knollenfäule in Kombination mit Wirkstoffen, die weniger toxisch sind als bisher, effizient zu bekämpfen.

Gezielter Einsatz von Pflanzenschutzmitteln dank Monitoring und Diagnostik

Die meisten heute verwendeten synthetischen Pflanzenschutzmittel wie auch die Kupferpräparate wirken protektiv. Sie werden vorbeugend eingesetzt, um eine Infektion mit *Phytophthora* zu verhindern. Denn tritt ein Befall in einem Bestand auf, ist dieser schwierig zu kontrollieren. Deshalb sind Befallsmonitorings, verfeinerte Diagnostik und das Nutzen von Vorhersagemodellen (in der Schweiz: www.phytopre.ch) wichtig, um die *Phytophthora*-Situation richtig einzuschätzen und frühzeitig Gegenmassnahmen ergreifen zu können.

Wichtig ist auch zu ermitteln, wie lange überhaupt ein Schutz gegen *Phytophthora* notwendig ist, um die Ernte sicherzustellen. Denn wenn gegen Ende der Anbauperiode der Stickstoff von den Blättern in die Knolle übergeht, werden die Blätter anschliessend für die Pflanze wertlos. Ein *Phytophthora*-Befall zu diesem Zeitpunkt hätte keinen Einfluss mehr auf den Ertrag. Die Behandlung könnte deshalb eingestellt und somit Pflanzenschutzmittel eingespart werden (Möller et al., 2006).

Phytophthora-Management: Die Kombination verschiedener Ansätze ist nötig

Trotz weltweit immenser Anstrengungen in Forschung und Entwicklung bleibt *Phytophthora* bis anhin die grösste Bedrohung im Kartoffelanbau. Die diversen Bekämpfungsmöglichkeiten, die zur Verfügung stehen, haben alle ihre Grenzen, sei es in ihrer Wirkung, Toxizität oder Anwendbarkeit. Zudem muss jede Bekämpfungsstrategie auch an die lokalen Bedingungen angepasst werden. Die besten Erfolgsaussichten bestehen, wenn mehrere verschiedene Strategien kombiniert werden, deren Auswahl fallspezifisch getroffen wird. Um rechtzeitig gezielte und adäquate Gegenmassnahmen zu ergreifen, sind jedoch gute Vorhersagemodelle und eine feine Diagnostik im Feld unabdingbare Voraussetzungen.

Aus Sicht vieler Experten ist der Anbau *Phytophthora*-resistenter Kartoffelsorten eine nachhaltigere und erfolgreichere Massnahme als der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln – ob synthetische oder biologische. Neue Züchtungstechniken, wie etwa die Cisgenese oder die CRISPR/Cas9-Technologie, eröffnen neue Ansätze und könnten die Züchtung resistenter Sorten stark beschleunigen. Nebst der rechtlichen Einschätzung (GVO oder nicht) wird hier die Akzeptanz durch die Gesellschaft entscheidend sein. Bei der Züchtung neuer Sorten, wird es aber vor allem wichtig sein, dass sich neue Sorten für alle, den Anbau, den Handel und für die Konsumentinnen und Konsumenten eignen.

Literatur

Agroscope: www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/themen/pflanzenbau/ackerbau/kulturarten/pommes-de-terre/maladies/krautundknollenfule.html (abgerufen am 4. Juli 2017).

Andersson M et al. (2017) Efficient targeted multiallelic mutagenesis in tetraploid potato *(Solanum tuberosum)* by transient CRISPR-Cas9 expression in protoplasts. Plant Cell Reports (36) 117–128.

Andrade JL et al. (1997/98) CIP Program Report, 77–82.

BioSuisse (2017) Marktspiegel Biokartoffeln.

Brunner S et al. (2017) Gentechnisch veränderte Kartoffelpflanzen sind resistent gegen die Krautfäule. Agrarforschung Schweiz 8(6), 208–215.

Bundesamt für Landwirtschaft: www.blw.admin.ch/blw/de/home/nachhaltige-produktion/pflanzenschutz/pflanzenschutzmittel/allgemeine-informationen.html (abgerufen am 4. Juli 2017).

Der Bundesrat (2017) Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln.

DeVrieze M et al. (2015) Volatile organic compounds from native potato-associated *Pseudomonas* as potential anti-oomycete agents. Front Microbiol 23 (6)1295.

Dorn B et al. (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 (2015) Durchführungsverordnung (EU) 2015/232 der Kommission vom 13. Februar 2015 zur Änderung und Berichtigung der Durchführungsverordnung (EU) Nr. 540/2011 hinsichtlich der Bedingungen für die Genehmigung des Wirkstoffs Kupferverbindungen.

FDA: www.fda.gov/Food/IngredientsPackagingLabeling/GEPlants/Submissions/ucm542339 (abgerufen am 30. Oktober 2017).

Guyer A et al. (2015) The anti-*Phytophthora* effect of selected potato-associated *Pseudomonas* strains: from the laboratory to the field. Front Microbiol. 27 (6) 1309.

Haesaert G et al. (2015) Transformation of the potato variety Desiree with single or multiple resistance genes increases resistance to late blight under field conditions. Crop Protection (77) 163–175.

Haverkort AJ et al. (2008) Societal costs of late blight in potato and prospects of durable resistance through cisgenic modification, Potato Research (51) 47–57, doi:10.1007/s11540-008-9089-y.

Haverkort AJ et al. (2016) Durable late blight resistance in potato through dynamic varieties obtained by cisgenesis: Scientific and societal advances in the DuRPh project. Potato Research (59) 35–66.

Hohl HR and Iselin K (1984) Strains of *Phytophthora infestans* from Switzerland with A2 mating type behaviour, Trans. Brit Mycol Soc (83) 529–530.

Hunziker L et al. (2015) *Pseudomonas* strains naturally associated with potato plants produce volatiles with high potential for inhibition of *Phytophthora infestans*. Appl Environ Microbiol 81(3), 821–30.

Jo K-R et al. (2014) Development of late blight resistant potatoes by cisgene stacking. BMC Biotechnology, 14:50.

Krebs H et al. (2013) Kupferfreie Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule im Bio-Kartoffelbau? Agrarforschung Schweiz 4 (5) 238–243.

Möller K et al. (2006) Impact and Interaction of Nitrogen and *Phytophthora infestans* as Yield-limiting and Yield-rducing Factors in Organic Potato *(Solanum tuberosum L.)* Crops. Potato Research, 49 (4) 281–301.

Schöber-Butin B (2001) Die Kraut- und Braunfäule der Kartoffel und ihr Erreger *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. Mitteilungen aus der Biologische Landesanstalt für Landwirtschaft und Forst, Berlin-Dahlem, Heft 384, S. 64.

Schumann GL (1991) Plant Diseases: Their Biology and Social Impact.

Sun K et al. (2016) Silencing of six susceptibility genes results in potato late blight resistance. Transgenic Research 25(5) 731-742. doi:10.1007/s11248-016-9964-2.

Swisspatat: www.kartoffel.ch/fileadmin/redaktion/pdf/Medien/Statistik/Statistische_Angaben_Kartoffeln_2017.pdf (agerufen am 30. Oktober 2017).

IMPRESSUM

HERAUSGEBER UND KONTAKT
Akademien der Wissenschaften Schweiz
SCNAT | Forum Genforschung | Haus der Akademien
Laupenstrasse 7 | Postfach | 3001 Bern
geneticresearch@scnat.ch

REDAKTION
Christoph Lüthi, Lucienne Rey, Luzia Guyer, Franziska Oeschger

EXPERTINNEN UND EXPERTEN
Aurélien Bailly (UZH), Ueli Grossniklaus (Forum Genforschung), Evert Jacobsen (Wageningen UR), Martine Jotterand (Forum Genforschung), Tomke Musa-Steenblock (Agroscope), Didier Reinhardt (Forum Genforschung), Jörg Romeis (Forum Genforschung), Olivier Sanvido (Forum Genforschung), Helge Sierotzki (Syngenta), Bruno Studer (Forum Genforschung), Marcel van der Heijden (Forum Genforschung)

LAYOUT: Olivia Zwygart
FOTOS: agrarfoto.com; Plant breeding, Wageningen University and Research; Agroscope; Thomas Weightman/Alamy Stock Foto

Dieses Faktenblatt basiert auf den Präsentationen und Diskussionen von Aurélien Bailly (UZH), Brice Dupuis (Agroscope), Evert Jacobsen (Wageningen UR), Tomke Musa-Steenblock (Agroscope), Helge Sierotzki (Syngenta) und Lucius Tamm (FiBL) an der Tagung «Kraut- und Knollenfäule im Kartoffelbau» am 30. November 2016. Die Resultate wurden von den AutorInnen zusammengefasst, aktualisiert und von den ExpertInnen begutachtet.

Ein Projekt der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT)

sc | nat

Zitiervorschlag: Akademien der Wissenschaften Schweiz (2018) Neue Ansätze für den Schutz von Kartoffeln gegen die Kraut- und Knollenfäule. Swiss Academies Factsheet 13 (1)

www.akademien-schweiz.ch

ISSN (print): 2297–1580
ISSN (online): 2297–1599

DOI: 105281/zenodo.1168422