

Kartoffelfäule:

Resistenz gegen den Algenpilz *Phytophthora* bei Kartoffeln und wie ihr abgeholfen werden kann mit modernen Zuchtmethoden

Klaus Ammann, klaus.ammann@ips.unibe.ch

Spanische Forscher brachten im 16. Jahrhundert die Kartoffel aus Amerika nach Europa. Die Kartoffel konnte sich in Europa lange Zeit nicht als Nahrungsmittel durchsetzen, weil die Europäer glaubten, dass sie unnatürlich und giftig sei. Friedrich der Grosse musste sogar zu listigen Massnahmen greifen, um seine Bauern von den Vorteilen des Kartoffelanbaus zu überzeugen. Heute produzieren die europäischen Landwirte 44 Milliarden Kilogramm Kartoffeln auf 1,16 Millionen Hektar im Wert von 5 Milliarden Euro. (Ottenjann, 1992). Mit den riesigen Kulturen machten sich leider auch Schädlinge breit, hier soll nur von der Kartoffelfäule die Rede sein. Die Kartoffel (*Solanum tuberosum*) gehört zur Familie der Nachtschattengewächse. In der Schweiz werden auf einer Fläche von 14'000 Hektaren über 20 Sorten angebaut, Der Flächenertrag liegt bei durchschnittlich rund 4 kg pro Quadratmeter. Der Verbrauch liegt bei etwa 45 kg pro Kopf und Jahr.

Die Kartoffelfäule

Die Kartoffelfäule wird durch den Algenpilz *Phytophthora infestans* verursacht und ist somit keine typische Pilzkrankheit. Die befallene Kartoffel fällt durch einen unangenehmen Fäulegeruch auf, hervorgerufen durch den schnellen Zerfall des Pflanzengewebes. Die Sporen dieses Algenpilzes werden zwar auch durch den Wind verbreitet, aber ihre Verbreitungs-Biologie ist grundverschieden von jenen der Schimmelpilze. So sind diese eigenartigen Organismen in der Lage, ihre Sporen auf der Blattoberfläche in bewegliche Einzeller zu verwandeln, die die Spaltöffnungen der Blattoberflächen finden, um in sie eindringen. Dann senden sie nach kurzen Vermehrungsstadien im Blatt-Inneren verzweigte Sporenstände durch die Spaltöffnungen, um darauf viele Myriaden neuer Sporen zu verbreiten. Bei feuchtem Wetter und Temperaturen um 12 Grad kann sich so die Krankheit buchstäblich in Windeseile verbreiten und grosse Schäden anrichten. Zu allem Übel werden die Sporen von den Blättern und den Boden und damit auch auf die Knollen gewaschen, wo sie dann nach der Ernte ihr Zerstörungswerk effizient fortsetzen können – sie bleiben auch im Boden bis in das nächste Jahr ansteckend. Im Boden befallen sie dann die Kartoffelknollen, die hässlich braun und ungeniessbar werden. Die jährlichen Ernteschäden sind auf viele Millionen Pfund allein in England zu beziffern.



Fig. 1 Stengel-Nekrosen, verursacht durch Kartoffelfäule (Wohlleben, 2004)



Fig. 2 Blatt-Nekrosen an Kartoffelblättern durch Kartoffelfäule (Wohlleben, 2004)



Fig. 3 Braunfäule, verursacht durch Kartoffelfäule, Pilzbefall im Boden (Wohlleben, 2004)

Diese Algenpilze haben sich, im Gegensatz zu vielen Pilzkrankheiten mit einer äusserst flexiblen Vererbungsbiologie, immer wieder der klassischen Resistenzzucht entzogen.

Die Kartoffelfäule trat in Europa erstmals 1845 auf: Bereits im ersten Jahr fielen ihr 40% der Kartoffelernte zum Opfer, im zweiten Jahr 1846 waren es dann katastrophale 100%, damit löste sie die schwerste Hungersnot der neueren Geschichte Europas aus: In Irland z.B. sind ihr damals 1 Millionen Einwohner zum Opfer gefallen, die irische Bevölkerung hat sich bis heute davon nicht erholt. Historiker sind sich einig, dass die revolutionären Vorgänge um 1840 mit Klimarückschlägen und gewaltigen Missernten auch im Kartoffelanbau zusammenhängen.

Situation in der Schweiz:

Mit rund 12'000 Hektaren Anbaufläche zählt die Kartoffel zu den wichtigsten Kulturpflanzen in der Schweizer Landwirtschaft. (Rüsch, 2004): Tabelle nach Sorten. In Sommern mit normalem Niederschlag ist die Kartoffelfäule unter Kontrolle zu behalten, nicht aber in feuchten Sommern: Hier hilft oft nur verfrühte Ernte – und – in Zukunft auch dauerhaft resistente Sorten.

Die Anwendung verschiedener problematischer Pilzgifte heute noch unumgänglich

Die Kartoffelerzeuger in Europa sprühen acht bis vierzehn Mal pro Jahr künstliche chemische Pilzgifte für 322 Euro pro Hektar, die Kartoffelfäule zu bekämpfen. Trotz dieser Sprühungen vernichtet der Pilz ungefähr zwei Prozent der europäischen Feldfrüchte, in nassen Sommern aber wesentlich mehr.

Verschiedene der im konventionellen und integrierten Kartoffelbau verwendeten Pilzgifte sind problematisch für Fische und Wasserinsekten (Liesivuori & Savolainen, 1994). Deshalb ist es besonders wichtig, dass Kartoffelfelder, in denen diese Stoffe angewendet werden, nicht in der Umgebung von Gewässern angelegt werden, weil sonst die Gefahr einer Gewässerverschmutzung besteht. Wegen der hohen Anfälligkeit der Kartoffelpflanze ist ein genereller Verzicht auf Fungizide bei den heutigen Anbauformen (wenige Sorten, Monokulturen) kaum möglich. Weitere Informationen kann man den Fact Sheets der amerikanischen Landwirtschaftsbehörde USDA entnehmen: Z.B. <http://infoventures.com/e-hlth/pesticide/mancozeb.html>. Selbst im biologischen Kartoffelanbau ist der Einsatz von Fungiziden, nämlich Kupferpräparaten, nach der FIBL-Hilfsstoffliste 2005 mit höchstens 4kg Reinkupfer pro Hektare zugelassen (Speiser et al., 2005). Da sich Kupfer im Boden anreichert, wollte die Europäische Union dessen Verwendung im biologischen Kartoffelbau ab 2002 verbieten. Dieser Beschluss musste jedoch wieder zurückgenommen werden. Obwohl Kupfer unter die Schwermetalle fällt, ist seine Ökotoxizität im Vergleich zu jener der typischen Schwermetalle Blei, Cadmium und Quecksilber viel geringer, jedoch bleibt die grosse Sorge der Anreicherung. Es wurden deshalb auch Biotests entwickelt, um diese Problematik zu verfolgen (Pedersen et al., 2000) Trotzdem sind solche Präparate vorläufig noch zulässig und deren Anwendung bislang mangels wirksamer Alternativen unumgänglich.

(Gianessi et al., 2003) haben abgeschätzt, was sich mit der Einführung von Gentech-Resistenzen bei der Kartoffelfäule einsparen liesse, die Zahlen gelten für ganz Europa:

Die Kartoffelerzeuger in Europa sprühen acht bis vierzehn Mal pro Jahr künstliche chemische Fungizide für € 322 pro Hektar, um den Kartoffelfäule verursachenden Pilz zu bekämpfen. Trotz dieser Sprühungen vernichtet der Pilz ungefähr zwei Prozent der europäischen Feldfrüchte.

Durch die erfolgreiche Einführung einer biotechnologischen, gegen Fäule resistenten Kartoffel auf 100 % der europäischen Anbauflächen würde sich der Bedarf an Fungiziden um 7,5 Millionen Kilogramm verringern und die Produktion um 858 Millionen Kilogramm erhöhen. Das Nettoeinkommen der Erzeuger würde sich um € 417 Millionen vergrößern.

Zur Resistenzfrage bei Kartoffeln

Wir können davon ausgehen, dass wir mit den molekularen Einsichten, spätestens seit der Entschlüsselung wichtiger Pflanzengenome, entscheidende Fortschritte im jahrhundertealten Kampf der Landwirtschaft gegen Schädlinge machen werden (Holub, 2001).

Der Kartoffelfäule-Erreger hat mit seinem Wirt einen gemeinsamen Ursprung in den Anden, dies konnte vor vier Jahren dank genauer molekulargenetischer Analyse nachgewiesen werden (Ristaino et al., 2001) .

Neue, sehr ansteckende Kartoffelfäule-Erreger haben sich logischerweise in der Zwischenzeit vieler Jahrzehnte der Massenkultur entwickelt, sie machen den heutigen Bauern das Leben schwer, sie haben die Resistenzen bisheriger Sorten, wie sie von traditionellen Züchtern mit Fleiss entwickelt wurden, immer wieder in kurzer Zeit durchbrochen und richteten dann erneut grossen Schaden an. Einzel-Gene sind zwar gefunden, sollten jedoch angesichts der bisherigen Erfahrungen kombiniert werden zu schwer durchbrechbaren Mehrfach-Resistenzen. Ob diese angestrebte und komplizierte Mehrfachresistenz ohne molekular genau gesteuerte Methoden erreicht werden kann, muss mit Fug bezweifelt werden.

Es soll aber hier ausdrücklich vermerkt werden, dass ohne eine vernünftige und ökologischer ausgerichtete Anbaumethode, in Kombination mit modernen Sorten, kein dauerhafter Erfolg beschieden sein wird. (Speiser et al., 2004).

Dennoch bereitet den Ökobauern die Kraut- und Knollenfäule erhebliche Schwierigkeiten. Es können mit einer starken Infektion in feuchten Sommern große Teile der Ernte im Ökolandbau vernichtet werden, so dass die Versorgung mit heimischen Ök kartoffeln gefährdet wird. Während der Erreger heutzutage im konventionellen Landbau durch entsprechende synthetische Pflanzenschutzmittel in Schach gehalten werden kann, wurden im ökologischen Landbau lange Zeit Kupferpräparate verwendet. Kupfer wirkt dabei zwar recht gut gegen die Ausbreitung des Pilzes, es reichert sich aber langfristig im Boden an. Eine Forschergruppe der Universität Kassel zeigt, dass die Kraut- und Knollenfäule durch eine Kombination von gezielter Sortenwahl und durch die richtige Anlage des Feldes mindestens teilweise verhindert werden kann (Andrivon et al., 2003). Damit stellt sich die Frage, ob nicht auch die Anwender von gentechnisch veränderten Pflanzen sich ernsthaft mit den Methoden der Mischkulturen der Ökolandwirtschaft auseinandersetzen sollten. Umgekehrt gilt sicher auch, dass die Biolandwirtschaft ihre ablehnende Haltung gegenüber der Gentechnologie überdenken sollte. Hier wäre auch das EU-Projekt Blight-MOP zu erwähnen, das in einer systemischen Vorgehensweise alle Aspekte des ökologischen Kartoffelanbaus auf seine Nachhaltigkeit in der Bekämpfung der Kartoffelfäule evaluiert. Konkrete Erfolge sind allerdings noch nicht erkennbar, die neuesten Berichte sind direkt erhältlich über (Anonymous, 2005).

Neue resistente Kartoffel-Sorten

Kartoffelfäule-resistente Sorten sind leicht zu haben, man kann sie aus einigen Wildarten der Anden einkreuzen – das Resultat ist allerdings ernüchternd: Oft sind dann die Knollen nur erdnussgross oder die Resistenzen werden in kurzer Frist wieder überspielt (Grunwald et al., 2002a; Grunwald et al., 2002b). Die Erklärung ist ganz einfach: Beim traditionellen Kreuzen hat man nur sehr wenig Kontrolle über den Mix der Gene in den neuen Hybriden und der Selektionsdruck ist bei diesen grossflächigen Kulturen einfach zu gross.

Es ist auch möglich, dass mit anderen neueren Verfahren resistente Kartoffelsorten erzeugt werden können, so z.B. über Methoden, die die natürliche Resistenz verstärken (Gu et al., 2002; Zhinong et al., 2002).

Forscher der Cornell Universität haben in jahrelanger geduldiger klassischer Zuchtarbeit eine braunfäule-resistente Kartoffelsorte entwickelt. Sie sollte Russland aus der drohenden Kartoffelkrise helfen. (Nach China ist Russland der zweitgrößte Kartoffelproduzent). Die Sorte mit dem Namen New York 121, die vom Cornell-Eastern Europe-Mexico (CEEM)-Programm gezüchtet wurde, ist neben Braunfäule auch gegen Nematoden, Schorf sowie einen weiteren Kartoffelvirus resistent. "Kartoffeln mit einer Resistenz gegen Braunfäule zu züchten ist äußerst schwierig, ebenso wie die Entwicklung einer Kombination, die gegen drei Erkrankungen widerstandsfähig ist", erklärte der Entwickler Robert Plaisted von der Cornell Uni. ‚New York 121‘ sollte zunächst in St. Petersburg und Moskau kultiviert werden. Wären die Versuche erfolgreich gewesen, hätten sie nach der Registrierung grossflächig angebaut werden können. Dies sollte Millionen Kleinbauern zugute kommen, die von der eigenen Kartoffelproduktion abhängig sind. Auf kürzliche Nachfrage hin hat aber dieses Vorhaben bis heute nicht den durchschlagenden Erfolg gebracht, die Details bei (Friedlaender, 2001).

Die Lösungswege

Ein wichtiger Weg, nachhaltige Resistenz zu erzeugen, wird über eine generelle Multi-Gen-Strategie ablaufen: Langjährige Erfahrung spricht dafür, dass die Einzel-Gen-Resistenz früher oder später von den raffinierten und sehr flexibel reagierenden Algenpilzen überwunden werden kann, das wird sehr viel schwieriger bei einer Gen-Kombination. (Stuthman, 2002). Auch wird ein integriertes Schädlings-Management eine immer wichtigere Rolle spielen (Mundt et al., 2002).

Dennoch besteht die Hoffnung, dass auch einzelne Gene eine wichtige Rolle im Resistenzmanagement spielen können: So ist ein RB-Gen aus *Solanum bulbocastanum* isoliert worden, das eine Breitband-Resistenz gegen Kartoffelfäule auslöst (Song et al., 2003; Staples, 2004).

Ausführliche, durch viele experimentelle Daten gestützte Analysen vorhandener und vermuteter Resistenzgene lässt hoffen, dass bereits in absehbarer Zeit eine multigene Resistenz mit Hilfe gentechnologischer Methoden entwickelt werden kann. (Randall et al., 2005; Visker et al., 2005; Visker et al., 2004)

Es existieren bereits zahlreiche einschlägige Publikationen, hervorzuheben sind insbesondere (Ballvora et al., 2002; Ballvora et al., 1995; Ercolano et al., 2004; Gebhardt et al., 2004). Allein in den Jahren 2000-2004 wurden insgesamt über 100 Artikel in wissenschaftlich erstklassigen Zeitschriften veröffentlicht. Es ist dabei klar zu erkennen, dass sich die Erkenntnisse immer präziser auf definierte Gengruppen konzentrieren. Das Verständnis der Wirkungsweise vieler Resistenzgene, auch bezüglich ihrer Herkunft und Verbreitung hat entscheidend zugenommen. Der Weg bis zu Kartoffelsorten, die über Jahre weg ihre Resistenz aufrechterhalten, ist somit nicht mehr weit. Es wäre töricht, diese rasant fortschreitende Forschung durch ein lähmendes Moratorium zu hindern, dies wird, mit der zu erwartenden Flut negativer Argumente im Abstimmungskampf ein schlechtes Signal setzen. Da heisst es, deutliche positive Zeichen zu geben, wissenschaftlich untermauert. Ein Forscherteam an der Universität Lausanne hat herausgefunden, dass der Stoffhaushalt der Blätter fäuleresistenter Sorten deutlich mehr von bestimmten Fettsäuren enthält als der für seine Anfälligkeit bekannte Bintje. (Weber et al., 1999). Vielleicht liesse sich hier auch noch mehr lernen über zukünftige Abwehrstrategien.

Ein eigentlicher Durchbruch ist nun einer Forschergruppe in Kanada gelungen: Sie fanden heraus, wie man mittels Gentech ein sehr wirksames natürliches Pilzgift (Hancock & Lehrer, 1998) verschiedenster Natur-Herkunft in Kartoffeln einfügen kann. Es wird den Pflanzen eine sehr hohe Resistenz verliehen, die in Versuchen bereits seit zwei Jahren unvermindert wirkt (Osusky et al., 2004; Osusky et al., 2005).

Diese Kartoffelsorten könnten bald vermarktet werden, denn das eingefügte Abwehrmittel stammt aus der Natur und hat keine nachteiligen Wirkungen auf Ertrag und Vitalität der Sorte. Studien zur Wirkungsweise und zur Nahrungsmittelsicherheit sind bereits unterwegs (Zhao, 2003), z.B. an der Universität Helsinki, Department of Applied Chemistry and Microbiology. Eine neueste Studie belegt, dass der Unterschied im Stoffwechsel und in der Zusammensetzung der GV- und Nicht-GV-Kartoffeln nur minim sein können (Catchpole et al., 2005)

Zusammenfassend: Verschiedene molekulare Zuchtsstrategien werden in den nächsten 3-4 Jahren zum Ziel führen, andere brauchen noch mehr Entwicklungszeit. Es ist abzusehen, dass die Kommerzialisierungs-Phase mit all den notwendigen Sicherheitsforschungen bald beginnen kann. Es wäre zu wünschen, dass hier die traditionelle Zuchtwahl und die molekulare Forschung, ob öffentlich oder privat, in guter Zusammenarbeit mit einem innovativen ökologisch orientierten Anbaumanagement bald zum Ziel führen.

Allgemeine Schlussbemerkungen

Für Forschung, Feldversuche und Kommerzialisierung existieren genügend sichere Gesetze in der Schweiz, eine weitere Verschärfung durch ein 5-jähriges Moratorium setzt die falschen Signale und hindert auch die Entwicklung massiv. Die Moratoriumsinitiative wirkt undifferenziert, wirft mit Pauschalargumenten um sich (Natürlichkeit, Marktchancen, Koexistenz), die, und das ist auch in der Schweiz die landwirtschaftliche Realität, nach Kulturpflanzen und Region differenziert werden müssten. So ist es zum Beispiel klar, dass für den Kartoffel-Anbau eine Koexistenz aller landwirtschaftlichen Strategien problemlos zu erreichen ist. Auch ist das Ausgangsmaterial, die bereits sehr hoch gezüchteten gängigen Kartoffelsorten, die in der Schweiz angebaut werden, alle gleichermassen weit entfernt davon sind, noch als natürliche Sorten gelten zu können – daran wird auch ein oder mehrere Transgene nichts ändern.

Zitierte Literatur

Andrivon, D., Lucas, J.M., & Ellisseche, D. (2003)

Development of natural late blight epidemics in pure and mixed plots of potato cultivars with different levels of partial resistance. *Plant Pathology*, 52, 5, pp 586-594
<Go to ISI>://000185825600007 and <http://www.botanischergarten.ch/Potatoe/Andrivon-Mixed-2003.pdf>

Anonymous (2005),

Electronic Source: Development of a systems approach for the management of late light in EU organic potato production, Quality of life and management of Living Resources, published by: European Union, accessed: 2005
<http://www.ncl.ac.uk/tcoa/producers/research/blightmop/report1.html> and <http://www.ncl.ac.uk/tcoa/files/ta6ecc.pdf>

Ballvora, A., Ercolano, M.R., Weiss, J., Meksem, K., Bormann, C.A., Oberhagemann, P., Salamini, F., & Gebhardt, C. (2002)

The R1 gene for potato resistance to late blight (*Phytophthora infestans*) belongs to the leucine zipper/NBS/LRR class of plant resistance genes. *Plant Journal*, 30, 3, pp 361-371
<Go to ISI>://000175531600009

- Ballvora, A., Hesselbach, J., Niewohner, J., Leister, D., Salamini, F., & Gebhardt, C. (1995)**
Marker Enrichment and High-Resolution Map of the Segment of Potato Chromosome-Vii Harboring the Nematode Resistance Gene Gro1. *Molecular & General Genetics*, 249, 1, pp 82-90
<Go to ISI>://A1995TG13700011
- Catchpole, G.S., Beckmann, M., Enot, D.P., Mondhe, M., Zywicki, B., Taylor, J., Hardy, N., Smith, A., King, R.D., Kell, D.B., Fiehn, O., & Draper, J. (2005)**
Hierarchical metabolomics demonstrates substantial compositional similarity between genetically modified and conventional potato crops. *PNAS*, pp 0503955102
<http://www.pnas.org/cgi/content/abstract/0503955102v1>
- Ercolano, M.R., Ballvora, A., Paal, J., Steinbiss, H.H., Salamini, F., & Gebhardt, C. (2004)**
Functional complementation analysis in potato via biolistic transformation with BAC large DNA fragments. *Molecular Breeding*, 13, 1, pp 15-22
<Go to ISI>://000188281100002
- Friedlaender, B.P. (2001),**
Electronic Source: Cornell-bred, blight-resistant potato variety -- New York 121 -- is sent to Russia for testing to stave off potato crisis, *Cornell News*, 2005
<http://www.news.cornell.edu/releases/June01/PolandRussia.bpf.html>
- Gebhardt, C., Ballvora, A., Walkemeier, B., Oberhagemann, P., Ballvora, A., Walkemeier, B., Gebhardt, C., Schäumler, K., & Oberhagemann, P. (2004)**
Assessing genetic potential in germplasm collections of crop plants by marker-trait association: a case study for potatoes with quantitative variation of resistance to late blight and maturity type. *Molecular Breeding*, 13, 1, pp 93-102
<http://dx.doi.org/10.1023/B:MOLB.0000012878.89855.df>
- Gianessi, L.P., Sankuka, S., & Reigner, N. (2003).**
Pflanzenbiotechnologie: Potenzielle Wirkung bei der Verbesserung der Schädlingsbekämpfung in der europäischen Landwirtschaft, Eine Zusammenfassung von drei Fallstudien Juni 2003, The National Center for Food and Agricultural Policy 1616 P Street, NW Suite 100 Washington, DC 20036
Vollständiger Bericht: www.ncfap.org; see <http://www.ncfap.org/whatwedo/pdf/2004finalreport.pdf> pp 18
NCFAP Study Washington, DC 20036.
http://www.europabio.org/documents/300603/Study_DE.pdf and www.ncfap.org
- Grunwald, N.J., Hinojosa, M.A.C., Covarrubias, O.R., Pena, A.R., Niederhauser, J.S., & Fry, W.E. (2002a)**
Potato cultivars from the Mexican National Program: Sources and durability of resistance against late blight. *Phytopathology*, 92, 7, pp 688-693
<Go to ISI>://000176399400001 and <http://www.botanischergarten.ch/Pipeline/Gruenwald-Mexico-Potato-2003.pdf>
- Grunwald, N.J., Montes, G.R., Saldana, H.L., Covarrubias, O.A.R., & Fry, W.E. (2002b)**
Potato late blight management in the Toluca Valley: Field validation of SimCast modified for cultivars with high field resistance. *Plant Disease*, 86, 10, pp 1163-1168
<Go to ISI>://000178170300017
- Gu, Y.-Q., Wildermuth, M.C., Chakravarthy, S., Loh, Y.-T., Yang, C., He, X., Han, Y., & Martin, G.B. (2002)**
Tomato Transcription Factors Pti4, Pti5, and Pti6 Activate Defense Responses When Expressed in Arabidopsis. *Plant Cell*, 14, 4, pp 817-831
<http://www.plantcell.org/cgi/content/abstract/14/4/817>
- Hancock, R.E.W. & Lehrer, R. (1998)**
Cationic peptides: a new source of antibiotics. *Trends in Biotechnology*, 16, 2, pp 82-88
<Go to ISI>://000071965700009
- Holub, E.B. (2001)**
The arms race is ancient history in Arabidopsis, the wildflower. *Nature Reviews Genetics*, 2, 7, pp 516-527
<Go to ISI>://000169681600012
- Liesivuori, J. & Savolainen, K. (1994)**
Dithiocarbamates. *Toxicology*, 91, 1, pp 37-42
<Go to ISI>://A1994PC35100006
- Mundt, C.C., Cowger, C., & Garrett, K.A. (2002)**
Relevance of integrated disease management to resistance durability. *Euphytica*, 124, 2, pp 245-252
<Go to ISI>://000175805500010
- Osusky, M., Osuska, L., Hancock, R.E., Kay, W.W., & Misra, S. (2004)**

Transgenic potatoes expressing a novel cationic peptide are resistant to late blight and pink rot. *Transgenic Research*, 13, 2, pp 181-190
<Go to ISI>://000221121900009 and <http://www.botanischergarten.ch/Pipeline/Osusky-Blight-Resistance-2004.pdf>

Osusky, M., Osuska, L., Kay, W., & Misra, S. (2005)

Genetic modification of potato against microbial diseases: in vitro and in planta activity of a dermaseptin B1 derivative, MsrA2. *Theoretical and Applied Genetics*, 111, 4, pp 711-722
<Go to ISI>://000231313100011 and <http://www.botanischergarten.ch/Pipeline/Osusky-Blight-Resistance-2005.pdf>

Ottensmeyer, H. (1992)

Die Kartoffel, Geschichte und Zukunft einer Kulturpflanze Band 1 Stiftung Museumsdorf Cloppenburg, Niedersächsisches Freilichtmuseum, Cloppenburg, IS: 3-923675-30-5, pp 396

Pedersen, M.B., Kjaer, C., & Elmegaard, N. (2000)

Toxicity and Bioaccumulation of Copper to Black Bindweed (<E5>Fallopia convolvulus</E5>) in Relation to Bioavailability and the Age of Soil Contamination. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 39, 4, pp 431-439
<http://www.springerlink.com/openurl.asp?genre=article&id=doi:10.1007/s002440010124> and <http://www.botanischergarten.ch/Organic/Pedersen-Coppertest-Soil-2000.pdf>

Randall, T.A., Dwyer, R.A., Huitema, E., Beyer, K., Cvitanich, C., Kelkar, H., Fong, A., Gates, K., Roberts, S., Yatzkan, E., Gaffney, T., Law, M., Testa, A., Torto-Alalibo, T., Zhang, M., Zheng, L., Mueller, E., Windass, J., Binder, A., Birch, P.R.J., Gisi, U., Govers, F., Gow, N.A., Mauch, F., van West, P., Waugh, M.E., Yu, J., Boller, T., Kamoun, S., Lam, S.T., & Judelson, H.S. (2005)

Large-scale gene discovery in the oomycete *Phytophthora infestans* reveals likely components of phytopathogenicity shared with true fungi. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 18, 3, pp 229-243
<Go to ISI>://000227162400006

Ristaino, J.B., Groves, C.T., & Parra, G.R. (2001)

PCR amplification of the Irish potato famine pathogen from historic specimens. *Nature*, 411, 6838, pp 695-697
<Go to ISI>://000169112500046 and <http://www.botanischergarten.ch/Pipeline/Ristaino-Blight-Origin.Nature-411-2001.pdf>

Rüsch, A. (2004)

Electronic Source: Kartoffelanbau Schweiz nach Sorten (ed Strickhof), published by: Strickhof, accessed: 2004
<http://www.strickhof.ch/beratung/unterlagen/chsorten.pdf>

Song, J., Bradeen, J.M., Naess, S.K., Raasch, J.A., Wielgus, S.M., Haberlach, G.T., Liu, J., Kuang, H., Austin-Phillips, S., Buell, C.R., Helgeson, J.P., & Jiang, J. (2003)

Gene RB cloned from *Solanum bulbocastanum* confers broad spectrum resistance to potato late blight. *PNAS*, 100, 16, pp 9128-9133
<http://www.pnas.org/cgi/content/abstract/100/16/9128>

Speiser, B., Amsler, T., & Tamm, L. (2004)

Versuche 2003 mit neuen Kartoffelsorten für den Biolandbau, Forschungsinstitut für den Biologischen Landbau, FiBL pp 11 Frick, Switzerland.
<http://orgprints.org/00003324>

Speiser, B., Weidmann, G., & Rölli, N. (2005)

FiBL Hilfsstoff-Liste FiBL, Frick, IS: 3-906081-43-5, pp 68
<http://www.botanischergarten.ch/Pipeline/FiBL-Hilfsstoffe-2005.pdf>

Staples, R.C. (2004)

Race nonspecific resistance for potato late blight. *Trends in Plant Science*, 9, 1, pp 5-6
<Go to ISI>://000188757600002

Stuthman, D.D. (2002)

Contribution of durable disease resistance to sustainable agriculture. *Euphytica*, 124, 2, pp 253-258
<Go to ISI>://000175805500011

Visker, M., Heilersig, H., Kodde, L.P., Van de Weg, W.E., Voorrips, R.E., Struik, P.C., & Colon, L.T. (2005)

Genetic linkage of QTLs for late blight resistance and foliage maturity type in six related potato progenies. *Euphytica*, 143, 1-2, pp 189-199
<Go to ISI>://000230932500021 and <http://www.botanischergarten.ch/Potatoe/Visker-Euphytica-2005.pdf>

Visker, M., van Raaij, H.M.G., Keizer, L.C.P., Struik, P.C., & Colon, L.T. (2004)

Correlation between late blight resistance and foliage maturity type in potato. *Euphytica*, 137, 3, pp 311-323
<Go to ISI>://000223738800004 and <http://www.botanischergarten.ch/Potatoe/Visker-Euphytica-2004.pdf>

Weber, H., Chetelat, A., Caldelari, D., & Farmer, E.E. (1999)

Divinyl ether fatty acid synthesis in late blight-diseased potato leaves. *Plant Cell*, 11, 3, pp 485-493
<Go to ISI>://000079506600015 and <http://www.botanischergarten.ch/Pipeline/Weber.phytophthora.pdf>

Wohlleben, S. (2004),

Electronic Source: Auftreten und Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*) unter besonderer Berücksichtigung des ökologischen Kartoffelanbaus, published by: Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland Braunschweig, accessed: 2004
<http://www.bba.de/oekoland/oeko3/phytophthora.htm#stengelback>

Zhao, H. (2003)

Mode of Action of Antimicrobial Peptides. Academic Dissertation, University of Helsinki, Helsinki Thesis, pp 99
<http://ethesis.helsinki.fi> and <http://www.botanischergarten.ch/Pipeline/Zhao-Mode-Diss-2003.pdf>

Zhinong, Y., Reddy, M., Choong-Min, R., & John, A. (2002)

Induced Systemic protection Against Tomato Late Blight Elicited by Plant Growth-Promoting Rhizobacteria. *Phytopathology*, 92, pp 1329-1333
<http://www.botanischergarten.ch/Pipeline/Zhinong-Systemic-Prot.pdf>

Klaus Ammann, Entwurf 20. Oktober 2005