

Empfindlichkeit der Kartoffel gegenüber der durch *Dickeya* spp. verursachten Stängelfäule

Jérémie Rouffiange¹, David Gerardin², Isabelle Kellenberger³, Santiago Schaerer³ und Brice Dupuis³

¹Institut supérieur industriel agronomique Huy-Gembloux, 4500 Huy, Belgien

²UFR PEPS, Université de Haute Alsace, 68000 Colmar, Frankreich

³Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, 1260 Nyon, Schweiz

Auskünfte: Brice Dupuis, E-Mail: brice.dupuis@agroscope.admin.ch, Tel. +41 22 363 47 48



Abb. 1 | Gesamtansicht des Versuchs über die Aggressivität der Isolate von *Dickeya* spp. (Foto: J. Rouffiange)

Einleitung

Die pektinolytischen Bakterien, welche die Kartoffel befallen, sind für zahlreiche Krankheiten sowohl im Feld wie auch im Lager verantwortlich. Diese Bakterien gehören zu den Gattungen *Pectobacterium* und *Dickeya*. Bei der Kartoffel unterscheidet man grundsätzlich vier pathogene Arten: *Pectobacterium atrosepticum*, *Pectobacterium carotovorum*, *Dickeya dianthicola* und '*Dickeya solani*' (Toth et al. 2011). '*Dickeya solani*' wird zwischen Anführungszeichen aufgeführt, da dieser Name von der Wissenschaft noch nicht offiziell bestätigt worden ist (Toth et al. 2011). Ihre Verbreitung wird im Wesentlichen von den Umweltbedingungen (Temperaturansprüche) und der Anwesenheit oder dem Fehlen empfindlicher Wirte wie etwa der Kartoffel bestimmt. *P. atrosepticum* kommt in Regionen mit gemässigten Temperaturen vor. Die Entwicklung dieser Art verläuft optimal im Temperaturbereich zwischen 15 °C und 25 °C. *P. carotovorum* gedeiht hingegen in einem weiteren Temperaturbereich von 20 °C bis 40 °C. Die *Dickeya*-Arten

stammen aus subtropisch-tropischen Klimaregionen oder aus einem warmen gemässigten Klima. Das Temperatur-optimum dieser Arten liegt zwischen 25 °C und 40 °C, und so können sich Krankheitssymptome während heissen Perioden in gemässigten Klimaregionen Westeuropas entwickeln (Hélias und Gaucher 2007; Pasco et al. 2005). Unterschiedliche Populationsentwicklungen gibt es überdies auch in Abhängigkeit von der Umgebungsfuchtigkeit. Diese Populationen treten in trockenen Böden global schwach auf, sind hingegen unter feuchten Bedingungen oder in bewässerten Böden stark vertreten (Pérembelon und Lowe 1974). Die an oberirdischen Pflanzenteilen verursachten Symptome von *Dickeya* spp. unterscheiden sich von jenen, die durch *P. atrosepticum* verursacht werden (Toth et al. 2011). *P. carotovorum* verursacht üblicherweise keine Symptome an oberirdischen Pflanzenteilen (Bartz et Kelman 1984), es sei denn, es liegen aussergewöhnliche Bedingungen vor wie zum Beispiel nach Hagelschlägen (persönliche Beobachtungen), oder beim Auftreten von virulenten Stämmen (Johan Van Vaerenbergh, persönliche Mitteilung).

Bei Infektionen durch *Dickeya* spp. können die Fäulnis-symptome an höher gelegenen Pflanzenteilen auftreten, während die Basis der Stängel gesund bleibt (Abb. 2; Laurila et al. 2010). Die typischen oberirdischen Symptome, welche von *P. atrosepticum* herrühren, sind wassergetränkte Läsionen mit einer dunkelbraunen Fäulnis auf den untersten Abschnitten der Stängel (Abb. 3; Laurila et al. 2010). Allerdings sind diese Symptome recht variabel und die Identifizierung des Krankheitserregers erfordert eine Untersuchung im Labor. Unter trockenen Bedingungen löst *Dickeya* spp. weniger Stängelfäulnis aus als *P. atrosepticum*. Im Gegensatz dazu löst bei erhöhten Temperaturen *Dickeya* spp. mehr Fäulnis auf den Knollen aus, welche sich aber nicht systemisch auf die Stolonen und die Stängel ausbreitet (Toth et al. 2011). Auf 718 Proben kranker Pflanzen, die in der Schweiz von 1986 bis 2010 untersucht wurden (Stängel und Knollen), isolierte man im Mittel 66% *Dickeya*-Arten und 34% *Pectobacterium*-Arten (Cazelles und Schwaerzel 1992; Dupuis et al. 2010). Die vorliegende Studie befasst sich daher mit den oberirdischen Symptomen, welche durch *Dickeya* spp. verursacht werden.

Ist das Bakterium in der Mutterknolle vorhanden, kann es direkt in die Stängel, in die Stolonen und in die Tochterknollen transportiert werden, und dies mittels des Saftstromes in den Gefässen, angetrieben von der Evapotranspiration (Czajkowski et al. 2010). Falls das Inokulum im Boden vorhanden ist, können infizierende

Zusammenfassung *Dickeya dianthicola* und '*D. solani*' sind die Bakterien, welche bei der Kartoffelproduktion in der Schweiz am meisten Probleme verursachen. Sie lösen an den Stängeln (oberirdische Triebe) Fäulnissymptome aus, was mit dem allgemein üblichen Begriff der Schwarzbeinigkeits umschrieben wird. Die vorliegende Studie verfolgt zwei Hauptziele: einerseits soll die Empfindlichkeit der Sorten Agria, Victoria, Charlotte, Innovator, Arinda und Lady Claire gegenüber *Dickeya* spp. geprüft werden, andererseits soll die Aggressivität von je drei Isolaten von *D. dianthicola* und von '*D. solani*' gegenüber der Sorte Agria geprüft werden. Für diese Untersuchungen wurden Topfversuche im Gewächshaus angelegt. Die Sorte Agria scheint in Bezug auf die Schwarzbeinigkeits anfälliger zu sein als die übrigen geprüften Sorten. Die aggressivsten Isolate von '*D. solani*' sind nicht virulenter als die aggressivsten Isolate von *D. dianthicola*. Die Aggressivität der Isolate von *D. dianthicola* scheint variabler zu sein als jene von '*D. solani*'. Schliesslich scheinen die Isolate von *Dickeya* spp. wichtiger für das Risiko der Entstehung von Schwarzbeinigkeits zu sein als die Sorte. In der Tat entwickelt die empfindlichste Sorte sechs Mal mehr Symptome als die unempfindlichste Sorte, während jedoch das aggressivste Isolat vierzig Mal mehr Symptome hervorruft als das am wenigsten aggressive Isolat.



Abb. 2 | Symptome hervorgerufen durch *Dickeya* spp. (Photo: G. Riot)



Abb. 3 | Symptome hervorgerufen durch *Pectobacterium atrosepticum*. (Photo: B. Dupuis)

Konzept der integrierten Bekämpfung der pektinolytischen Bakterien in der Kartoffelproduktion.

Im Rahmen eines internationalen Projektes (2010–2014) wird ein Konzept der integrierten Bekämpfung von *Dickeya* spp., *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* und *Pectobacterium atrosepticum* entwickelt. Dieses Projekt wird von der Kommission für Technologie und Innovation KTI unterstützt.

Ziele des Projektes:

- Entwicklung einer Standardanalysemethode zur Feststellung latenter Infektionen der Knollen während des Zertifizierungsprozesses der Kartoffelpflanzgut.
- Identifizierung und Quantifizierung der hauptsächlichsten Faktoren, die für die Kontamination von Kartoffelposten verantwortlich sind.
- Entwicklung eines integrierten Bekämpfungskonzeptes in Zusammenarbeit mit allen Vertretern aus den verschiedenen Bereichen der Kartoffelbranche.

Partner des Projektes:

- Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, Zollikofen (Leitung des Projektes in der Schweiz)
- Agroscope Changins-Wädenswil ACW, Changins
- BIOREBA AG, Reinach
- Swissem, Dachorganisation der Saatgutvermehrung für die ganze Schweiz
- Swisspatat, Branchenorganisation der Kartoffelwirtschaft
- Institut National de la Recherche Agronomique INRA, Rennes (Leitung des Projektes in Frankreich)
- Interprofessionelle Nationale Gruppierung für Samen und Pflanzen (Groupement National Interprofessionnel des Semences et plants – GNIS)
- Nationale Vereinigung der Produzenten von Kartoffelpflanzen (Fédération Nationale des Producteurs de Plants de Pomme de Terre – FN3PT)

Bakterien auch über die Wurzeln eintreten und via das Gefäßsystem der Pflanze in die Stängel transportiert werden (Czajkowski *et al.* 2009; Helias *et al.* 2000a, 2000b). In einer ersten Phase können hauptsächlich unter trockenen Bedingungen Welkesymptome sowie Chlorosen des Blattwerkes auftreten (Czajkowski *et al.* 2010; Laurila *et al.* 2010). Man geht davon aus, dass die Bakterien das Gefäßsystem der Pflanze verstopfen. In einer zweiten Phase, sofern feuchte Bedingungen herrschen, können sich die Symptome zu Fäulnis der Stängel weiterentwickeln, was sich in einem Zerfall der Leitbündelgewebe durch die pektinolytischen Enzyme der Bakterien äussert (Czajkowski *et al.* 2010; Laurila *et al.* 2010). Verschiedene Hypothesen versuchen die unterschiedliche Symptomausprägung der Schwarzbeinigkeit bei den diversen Sorten zu erklären. Eine erste Hypothese geht davon aus, dass diese Unterschiede auf einer Suberineinlagerung in den Lentizellen der Mutterknolle beruht (Suberin = pflanzliches Biopolymer, das in den Zellwänden eingelagert ist). Diese Lentizellen sind die Eintrittspforten für die durch *Dickeya* spp. ausgelösten Infektionen (Pérembelon und Lowe 1974; Scott *et al.* 1996). Diese Eintrittspforten weisen mehrere Zellschichten auf, die mit Suberin imprägniert sind. Die Dicke dieser Zellschichten, welche wie Barrieren gegen das Eindringen von Bakterien wirken, ist von Sorte zu Sorte unterschiedlich (Scott *et al.* 1996). Es ist bewiesen worden, dass die Aktivität der pektinolytischen Enzyme vom Grad der Veresterung der Pektine in den Zellwänden abhängt (Pagel und Heitefuss 1990), wobei sich der Veresterungsgrad von Sorte zu Sorte verändern kann (McMillan *et al.* 1993). Auch eine bedeutsame Menge von Kalziumpektat in den Zellwänden oder eine geringe Konzentration von freien Kalziumionen könnten die unterschiedliche Anfälligkeit der Sorten erklären (McGuire und Kelman 1984; Pagel und Heitefuss 1990). Schliesslich könnten die Unterschiede in der Sortenanfälligkeit auch mit einer unterschiedlichen Produktion von Proteaseninhibitoren und Phytoalexinen in den Stängeln im Zusammenhang stehen (Yang *et al.* 1992). Auch wenn die Resistenzmechanismen bekannt sind, gibt es bis heute wenig Daten zur Anfälligkeit der Sorten gegenüber *Dickeya* spp. in Bezug auf die Entwicklung oberirdischer Symptome (Toth *et al.* 2011). Unterschiede in der Aggressivität der Isolate sind auch beobachtet worden. Im Allgemeinen verursacht '*D. solani*' die gewichtigeren Schäden als *D. dianthicola* (Toth *et al.* 2011). Die Entwicklung von '*D. solani*' kann sowohl bei tiefen wie bei hohen Temperaturen (>39 °C) ablaufen, und die optimale Wachstumstemperatur ist höher als jene von *D. dianthicola* (Czajkowski *et al.* 2012; Tsror *et al.* 2009). Im Rahmen eines Projektes zur integrierten Bekämpfung der Schwarzbeinigkeit (Information im Kasten)

haben wir uns auf die Bedeutung der Interaktion Pflanze-Krankheitserreger konzentriert sowie auf die Sortenanfälligkeit der Kartoffel bei Infektion durch diverse Bakterienisolate. Im ersten Teil dieser Studie wird versucht, allfällige Unterschiede in der Anfälligkeit der wichtigsten in der Schweiz angebauten Kartoffelsorten herauszuarbeiten. Der zweite Teil der Studie befasst sich mit der Aggressivität mehrerer Isolate von *Dickeya* spp. gegenüber der Sorte Agria, welche die in der Schweiz am häufigsten angebaute Sorte ist (Swisspatat 2013).

Material und Methoden

Es wurden zwei verschiedene Versuche durchgeführt. Der erste Versuch (A) befasste sich mit der Anfälligkeit von sechs Sorten: Agria, Victoria, Charlotte, Innovator, Arinda und Lady Claire. Dieser Versuch wurde im Gewächshaus durchgeführt und zweimal wiederholt (Versuch A1 und A2). Von jeder Sorte wurden zwanzig Knollen inokuliert. Die Inokulation erfolgte durch Eintauchen in eine Bakteriensuspension mit einer Konzentration von 10^6 kbE/ml (koloniebildende Einheit) mit dem Isolat *Dickeya dianthicola* 8823. Anschliessend wurde jede Knolle in einen Topf gepflanzt. Für jede Sorte standen 20 Kontrollpflanzen zur Verfügung, welche in Wasser eingetaucht wurden.

Der zweite Versuch (B) befasst sich mit der Aggressivität der *Dickeya* spp. Isolate. Für diesen Versuch wurden sechs Bakterienisolate auf der Kartoffelsorte Agria in einer Konzentration von 10^6 kbE/ml getestet; *Dickeya dianthicola* 980, *Dickeya dianthicola* 8823, *Dickeya dianthicola* 12, *Dickeya solani* 2222, *Dickeya solani* 05026 und *Dickeya solani* 07044. Dieser Versuch wurde ebenfalls zweimal im Gewächshaus durchgeführt (Versuch B1 und B2). Für jedes Isolat sowie für die Kontrolle standen je 20 Töpfe zur Verfügung (Abb. 1).

Die Inokulation der Knollen läuft während 48 h in vier Etappen ab: Eintauchen in Wasser während zwei Stunden, Öffnen der Lentizellen während 22 Stunden (Relative Luftfeuchtigkeit nah bei 100 % und 25 °C), Eintauchen in die Bakteriensuspension während zwölf Stunden und anschliessendes Trocknen während zwölf Stunden. Diese Methode hat den Vorteil, dass eine grosse Zahl von Knollen in relativ kurzer Zeit inokuliert werden kann. Ab Beginn des sichtbaren Auftretens von Symptomen der Schwarzbeinigkeit werden wöchentlich zwei Beobachtungen vorgenommen. Bei jeder Beobachtung wird der Anteil infizierter Stängel als prozentuelle Häufigkeit berechnet. Schliesslich wird die Fläche unter der Kurve berechnet (Bonierbale *et al.* 2007), welche die Entwicklung der Krankheit aufzeichnet (AUDPC.rel). Wir haben die Winkeltransformation verwendet, damit die Prozentangaben zum Anteil infizierter Triebe die Bedingungen erfüllen, um eine Varianzanalyse durchführen zu können (ANOVA) (Dagnelie 1975). Für die statistische Analyse wurde das Softwarepaket Statistica verwendet (Statsoft, Tulsa, USA). Für jeden Versuch wurde eine zwei-faktorielle Varianzanalyse (ANOVA) vorgenommen. Der erste Faktor entspricht der Wiederholung des Versuches über die Zeit. Der zweite Faktor entspricht der Sorte im ersten Versuch und dem Isolat von *Dickeya* spp. im zweiten Versuch. Die Interaktion zwischen den beiden Faktoren wurde auch geprüft. Falls sich ein signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) ergab, wurde zusätzlich ein Test nach Newman und Keuls durchgeführt (Vergleich von Mittelwerten).

Resultate

Versuch A: Sortenempfindlichkeit

Die Pflanzen in den Kontrolltöpfen entwickelten keine Stängelfäule. Dies belegt, dass die für die Versuche ver-

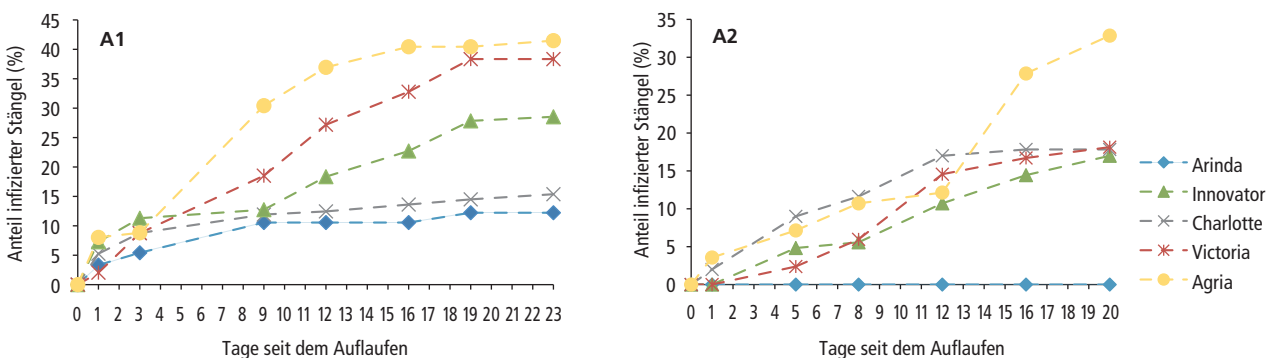


Abb. 4 | Entwicklung des Anteils infizierter Stängel mit Symptomen von Fäulnis in den Versuchen A1 und A2, in welchen die Anfälligkeit der Sorten gegenüber *Dickeya* spp. geprüft wurde.

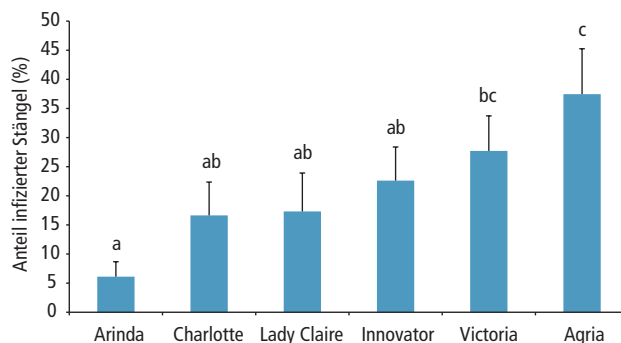


Abb. 5 | Am Ende des Versuches festgestellte Häufigkeit infizierter Stängeln bei den verschiedenen Sorten (Mittelwerte der Versuche A1 und A2). Als Mass für die Streuung ist der Standardfehler als T-Balken über den Säulen eingezeichnet. Statistisch gesicherte Unterschiede sind durch unterschiedliche Kleinbuchstaben gekennzeichnet.

wendeten Knollen gesund waren und die Entwicklung von Krankheitssymptomen aufgrund natürlicher Infektionen ausgeschlossen war. Aufgrund der Analyse der Fläche unter der Entwicklungskurve der Krankheit (AUDPC. rel: Abb. 4) konnten zwischen den Sorten keine Unterschiede ($p > 0,05$) in der Anfälligkeit festgestellt werden. Dies bedeutet, dass über die gesamte Dauer des Versuches betrachtet die Unterschiede in der Symptombildung bei den Sorten zu gering waren, um entdeckt zu werden. Beobachtet man jedoch die Kurven der Symptomentwicklung entlang der Zeitachse (Abb. 4), stellt man fest, dass einige Sorten die Symptome spät ausbilden. Dies ist insbesondere bei Agria im Versuch A2 der Fall (Abb. 4). Diese späte Entwicklung der Symptome hat wenig Einfluss auf die Fläche unter der Kurve (AUDPC. rel), aber sie führt zu wichtigen Unterschieden zwischen den Sorten gegen Ende des Versuches. Daher treten die grössten Abweichungen zwischen der anfälligsten und der am wenigsten anfälligen Sorte am letzten Beobach-

tungstag auf (Abb. 5) 23 Tage nach dem Auflaufen im Versuch A1 beziehungsweise 20 Tage nach dem Auflaufen im Versuch A2. Der Statistiktest ANOVA, der an diesen Daten vorgenommen wurde, erlaubt es, Unterschiede in der Anfälligkeit zwischen den Sorten herauszuarbeiten ($p < 0,001$). Hingegen wurden zwischen dem Versuch und den geprüften Sorten keinerlei Interaktionen festgestellt ($p > 0,05$).

Arinda mit 6,1% Anteil infizierter Stängel erwies sich als sechs Mal weniger anfällig als Agria mit 37,4% Anteil infizierter Stängel. Zwischen diesen beiden Extremen liegen Charlotte (16,6% infizierte Stängel), Lady Claire (17,3%), Innovator (22,6%) und Victoria (27,7%) (Abb. 5).

Versuch B: Aggressivität der Isolate

Untersucht man die Daten von AUDPC.rel, so stellt man einen Unterschied in der Aggressivität der geprüften Isolate von *Dickeya* spp. fest ($p < 0,001$). Indessen trat zwischen der Sorte und der Wiederholung des Versuches eine Interaktion auf ($p < 0,001$). Es scheint, dass das Isolat *D. dianthicola* 8823 für diese Interaktion verantwortlich ist, denn wird es vom ANOVA-Test ausgeschlossen, verschwindet die Interaktion ($p > 0,05$). Dieses Isolat hat in der Tat signifikant weniger Symptome im Versuch B1 erzeugt als im Versuch B2 (Abb. 6). Ursache für den beobachteten Unterschied könnte eine schlechte Aufbewahrung der Probe des verwendeten Stammes im Versuch B1 sein. Dieses Isolat wurde daher für die statistische Analyse nicht weiter berücksichtigt.

Wenn man, wie im Versuch zur Sortenanfälligkeit, die Daten analysiert für welche die Abweichungen zwischen den Isolaten am grössten sind (15 Tage nach dem Auflaufen), so beobachtet man ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen den Isolaten ($p < 0,001$). Die Isolate *D. dianthicola* 980, '*D. solani*' 2222 und *D. dianthicola* 05026 sind weniger aggressiv als die Isolate '*D. solani*' 07044 und *D. dianthicola* 12 (Abb. 7). Der Unterschied in der Aggressivität zwischen den Isolaten derselben Art ist

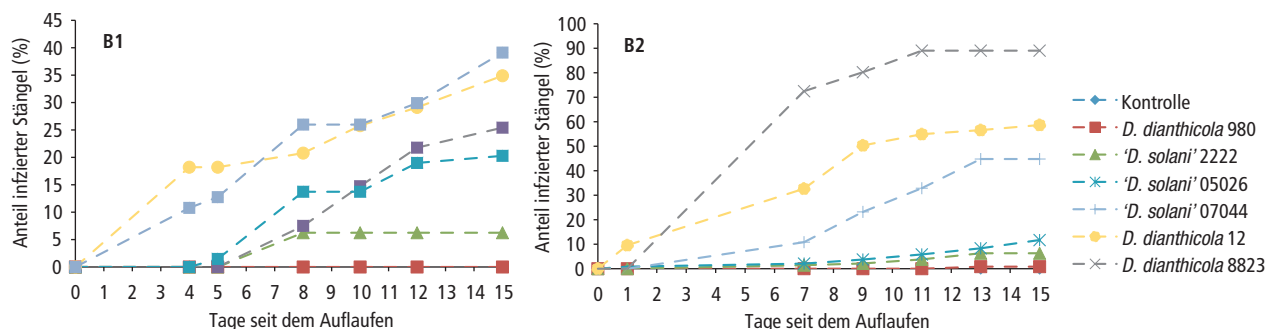


Abb. 6 | Versuch B1 und B2: Entwicklung der Befallshäufigkeit von Schwarzbeinigkeit auf oberirdischen Trieben, hervorgerufen durch die verschiedenen geprüften Isolate.

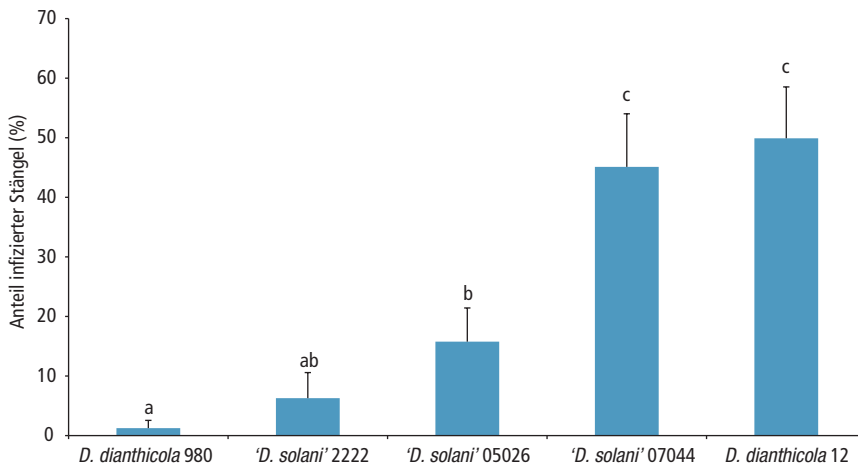


Abb. 7 | Am Ende des Versuches festgestellte Häufigkeit infizierter Stängel bei Infektion durch diverse Isolate (Mittelwerte der Versuche B1 und B2). Als Mass für die Streuung ist der Standardfehler als T-Balken über den Säulen eingezeichnet. Statistisch gesicherte Unterschiede sind durch unterschiedliche Kleinbuchstaben gekennzeichnet.

grösser für die Isolate von *D. dianthicola* (*D. dianthicola* 12 ist 40 mal aggressiver als *D. dianthicola* 980) als jener für die Isolate von '*D. solani*' ('*D. solani*' 07044 ist sechsmal aggressiver als '*D. solani*' 2222).

Diskussion

Diese Studie hat aufgezeigt, dass es Unterschiede in der Sortenanfälligkeit gegenüber der Schwarzbeinigkeit gibt, welche durch *Dickeya* spp. hervorgerufen wird. Die gegenüber dieser Krankheit anfälligste Sorte dürfte zugleich auch die in der Schweiz am häufigsten angebaute Sorte sein. 2012 wurde auf 22 % der Kartoffelanbaufläche die zum Frittieren geeignete Sorte Agria kultiviert. Victoria und Innovator, die sich ebenfalls zum Frittieren eignen, belegten 6 % respektive 7 % der Kartoffelanbaufläche in der Schweiz. Während Innovator weniger anfällig scheint als Agria (40 % weniger infizierte Stängel), erweist sich Victoria als ebenso anfällig. Die Sorten Charlotte und Lady Claire rangieren in unseren Versuchen unter den am wenigsten anfälligen Sorten. Charlotte ist die führende festfleischige Sorte in der Schweiz. Sie wird auf 14 % der Anbaufläche kultiviert. Lady Claire ist die erste Sorte des Typs «Chips» mit einem Anteil an der Anbaufläche von 4 % (Hebeisen *et al.* 2012; Swisspatat 2013). Die Versuche haben auch gezeigt, dass es Unterschiede in der Aggressivität der Isolate von *Dickeya* spp. gibt. Im Gegensatz zur Literatur (Toth *et al.* 2011) fanden wir, dass die Isolate von '*D. solani*' nicht systematisch virulenter waren als die Isolate von *D. dian-*

thicola. Tatsächlich finden sich unter den aggressivsten Stämmen in unseren Versuchen Isolate von *D. dianthicola* und von '*D. solani*'. Andererseits beobachtet man bei den Isolaten von *D. dianthicola* eine grössere Variabilität als bei den Isolaten von '*D. solani*'. Dieser Unterschied mag sich damit erklären, dass '*D. solani*' im Verhalten einen «klonalen» Eindruck macht, das heisst eine eingeschränkte genetische Variabilität aufweist als dies bei *D. dianthicola* der Fall ist (Bourget 2012; Czajkowski *et al.* 2012; Pritchard *et al.* 2012). Diese bei den Isolaten von *D. dianthicola* beobachtete höhere genetische Variabilität könnte auch die Gene betreffen, welche bei den Entwicklungsmechanismen der Fäulnissymptome mitspielen. Dies könnte die beobachteten, nicht unerheblichen Unterschiede in der Aggressivität erklären. Vergleicht man schliesslich die Resultate aus den Versuchen zur Sortenanfälligkeit und zur Aggressivität der Isolate, so stellt man fest, dass die Unterschiede in der Aggressivität zwischen den Isolaten wesentlich wichtiger sind als die Anfälligkeitsunterschiede zwischen den Sorten. Betrachtet man die maximal erhaltenen Häufigkeiten (%) an Stängelfäulnis, so zeigen sich bei der anfälligsten Sorte sechsmal mehr Stängelsymptome als bei der robustesten Sorte. Das aggressivste Isolat indessen führt zu 40 Mal mehr Symptomen auf den Stängeln als das am wenigsten aggressive Isolat. Dies deutet darauf hin, dass das sortenbedingte Risiko für Krankheitssymptomentwicklung tiefer ist als jenes, das durch das Bakterienisolat bedingt ist. Aus der vorliegenden Studie leiten sich neue Fragen und Aspekte ab. Es wäre wichtig zu

wissen, ob die Reaktion der Sorten und der Isolate unter Feldbedingungen gleich ausfallen würde wie in der präsentierten Gewächshausstudie. Ebenso wäre es interessant zu bestimmen, ob zwischen Sorte und Aggressivität des Isolats eine Interaktion besteht. Die oben dargestellten Resultate erlauben es, die guten Sorten und die besten Kandidaten von Isolaten zu bestimmen, welche für solche Interaktionsstudien geeignet wären.

Schlussfolgerung

Es ist selbstredend, dass nicht der Produzent den Typ von Bakterienisolat auswählt, der seine Pflanzen kontaminiert. Der Produzent hat jedoch einen gewissen Einfluss auf die Wahl der Kartoffelsorte, die er anbaut. Er kann also das Risiko einer Aberkennung seiner Kartoffelkultur beim Expertenbesuch minimieren, in dem er

bei der Sortenwahl die Empfindlichkeit gegenüber der Schwarzbeinigkeit, welche durch *Dickeya* spp. hervorgerufen wird, berücksichtigt. Falls die Resultate, welche in Feldversuchen erzielt werden, mit jenen aus den Gewächshausversuchen vergleichbar sind, könnten letztere eine schnellere und billigere Alternative darstellen, um die Anfälligkeit der Sorten gegenüber *Dickeya* spp. zu prüfen. ■

Dank

Die Autoren sind folgenden Organisationen zu grossem Dank verpflichtet: Swisssem, Swisspatat, Bioreba und der Kommission für Technologie und Innovation, welche zur Finanzierung dieser Studie beigetragen haben. Unser Dank gilt auch Andreas Keiser und Patrice de Werra von der Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL) Zollikofen für ihre beratenden Kommentare bei der Abfassung dieser Publikation.

Literatur

- Bartz J. & Kelman A., 1984. Infiltration of lenticels of potato tubers by *Erwinia carotovora* pv. *carotovora* under hydrostatic pressure in relation to bacterial soft rot. *The American Phytopathological Society* **69** (1), 69–74.
- Bonierbale M., de Haan S. & Forbes A., 2007. Procedures for standard evaluation trials of advanced potato clones. An International Cooperators' Guide. I. P. C. (CIP). International Potato Center (CIP), Lima. 126 S.
- Bourget D., 2012. Pectobactérium et *Dickeya*: Un point européen sur l'évolution des souches. *Potato Planet Mai* **2012**.
- Cazelles O. & Schwaerzel R., 1992. Enquête sur les bactérioses causées par *Erwinia* dans les cultures de plants de pommes de terre en Suisse romande. *Revue suisse Agric.* **24** (4), 215–218.
- Czajkowski R., van Veen J. A. & van der Wolf J. M., 2009. New biovar 3 *Dickeya* spp. strain (syn. *Erwinia chrysanthemi*) as a causative agent of blackleg in seed potato in Europe. *Phytopathology* **99** (6), 134–142.
- Czajkowski R., de Boer W. J., Velvis H. & van der Wolf J. M., 2010. Systemic Colonization of Potato Plants by a Soilborne, Green Fluorescent Protein-Tagged Strain of *Dickeya* sp Biovar 3. *Phytopathology* **100** (2), 134–142.
- Czajkowski R., de Boer W. J., Van der Zouwen P. S., Kastelein P., Jafra S., De Haan E. G., Van den Bovenkamp G. W. & Van der Wolf J. M., 2012. Virulence of *Dickeya solani* en *Dickeya dianthicola* biovar-1 end -7 strains on potato (*Solanum tuberosum*). *Plant Pathology* **62**, 597–610.
- Dagnelie P., 1975. Théorie et méthodes statistiques. Band 2. Les Presses Agronomiques de Gembloux ASBL, Gembloux. 363 p.
- Dupuis B., Schaerer S., Gilliland H. & Cazelles O. (2010) The *Dickeya* and Pectobacterium situation in Switzerland. in *Dickeya Workshop*, in Emmeloord, The Netherlands.
- Hebeisen T., Ballmer T., Musa T., Torche J. M. & Schwarzel R., 2013. Schweizerische Sortenliste für Kartoffeln 2013. *Agrarforschung Schweiz* **3** (11–12), 1–8.
- Helias V., Andrivon D. & Jouan B., 2000a. Development of symptoms caused by *Erwinia carotovora* ssp *atroseptica* under field conditions and their effects on the yield of individual potato plants. *Plant Pathology* **49** (1), 23–32.
- Helias V., Andrivon D. & Jouan B., 2000b. Internal colonization pathways of potato plants by *Erwinia carotovora* ssp *atroseptica*. *Plant Pathology* **49** (1), 33–42.
- Hélias V. & Gaucher D., 2007. *Erwinia*, un risque phytosanitaire toujours d'actualité. La pomme de terre française März 2007.
- Laurila J., Hannukkala A., Nykyri J., Pasanen M., Helias V., Garland L. & Pirhonen M., 2010. Symptoms and yield reduction caused by *Dickeya* spp. strains isolated from potato and river water in Finland. *European Journal of Plant Pathology* **126** (2), 249–262.
- McGuire G. & Kelman A., 1984. Reduced severity of *Erwinia* soft rot in potato tubers with increased calcium content. *Phytopathology* **74**, 1250–1256.
- McMillan G. P., Hedley D., Fyffe L. & Perombelon M. C. M., 1993. Potato resistance to soft rot *Erwinias* is related to cell-wall pectin esterification. *Physiological and Molecular Plant Pathology* **42** (4), 279–289.
- Pagel W. & Heitefuss R., 1990. Enzyme activities in soft rot pathogenesis of potato tubers - Effects of calcium, pH and degree of pectin esterification on the activities of polygalacturonase and pectate lyase. *Physiological and Molecular Plant Pathology* **37** (1), 9–25.
- Pasco C., Andrivon D., Bozec M. & Ellisseche D., 2005. Pourritures molles dues aux *Erwinia*. *Pomme de Terre Magazine* September 2005.
- Pérebelon M. C. M. & Lowe R., 1974. Studies on the initiation of bacterial soft rot in potato tubers. *Potato Research* **18**, 64–82.
- Pritchard L., Humphris S., Saddler G., Parkinson N. M., Bertrand V., Elphinstone J. G. & Toth I. K., 2013. Detection of phytopathogens of the genus *Dickeya* using a PCR primer prediction pipeline for draft bacterial genome sequences. *Plant Pathology* **62** (3), 587–596.
- Scott R. I., Chard J.M., Hocart M.J., Lennard J.H. & Graham D.C., 1996. Penetration of potato tuber lenticels by bacteria in relation to biological control of blackleg disease. *Potato Research* **39**, 333–344.
- Swisspatat (2013) Flächenaufteilung nach Sorten 2012. Zugang: <http://www.kartoffel.ch> [8. Juli 2013].
- Toth I. K., van der Wolf J. M., Saddler G., Lojkowska E., Helias V., Pirhonen M., Tsror L. & Elphinstone J. G., 2011. *Dickeya* species: an emerging problem for potato production in Europe. *Plant Pathology* **60** (3), 385–399.
- Tsror L., Erlich O., Lebiush S., Hazanovsky M., Zig U., Slawiak M., Grabe G., van der Wolf J.M. & van de Haar J. J., 2009. Assessment of recent outbreaks of *Dickeya* sp (syn. *Erwinia chrysanthemi*) slow wilt in potato crops in Israel. *European Journal of Plant Pathology* **123** (3), 311–320.
- Yang Z., Cramer C. L. & Lacy G. H., 1992. *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* pectic enzymes - In planta gene activation and roles in soft rot pathogenesis. *Molecular Plant-Microbe Interactions* **5** (1), 104–112.

Riassunto**Sensibilità della patata ai marciumi dello stelo provocati da *Dickeya* spp.**

Dickeya dianthicola e '*Dickeya solani*' sono i batteri che causano la maggior parte dei problemi nella produzione di piante di patate in Svizzera. Essi provocano in campo dei sintomi di marciumi aerei degli steli comunemente chiamati gambe nere. Lo studio qui presentato ha due obiettivi principali: da un lato studiare la sensibilità a *Dickeya* spp. delle varietà Agria, Victoria, Charlotte, Innovator, Arinda e lady Claire e dall'altro di studiare l'aggressività di tre isolati di *D. dianthicola* e di tre isolati di '*D. solani*' sulla varietà Agria. A questo scopo si sono condotte delle prove in vaso sotto serra. La varietà Agria sembra essere più sensibile allo sviluppo di marciume degli steli delle altre varietà testate. Gli isolati più aggressivi di '*D. solani*' non risultano essere più virulenti di quelli più aggressivi testati di *D. dianthicola*. Infine, il rischio di sviluppo di sintomi sugli steli legati agli isolati di *Dickeya* spp. sembra più importante di quello legato alla varietà. In effetti, la varietà più sensibile sviluppa sei volte più sintomi della varietà meno sensibile, mentre l'isolato più aggressivo sviluppa 40 volte più sintomi dell'isolato meno aggressivo.

Summary**Potato susceptibility to aerial stem rot caused by *Dickeya* spp.**

Dickeya dianthicola and '*Dickeya solani*' are the most problematic bacteria in the Swiss seed-potato production. They are responsible for aerial stem rot symptoms in the field, usually named «blackleg». This study has two main objectives. On the one hand, to study the susceptibility of five cultivars, namely Agria, Victoria, Charlotte, Innovator, Arinda and Lady Claire, to *Dickeya* spp. On the other hand, to study the aggressiveness of three *D. dianthicola* and 3 '*D. solani*' isolates on the cultivar Agria. Trials using plants in pots were managed in the greenhouse to achieve both objectives. Agria appears to be the most susceptible cultivar to *Dickeya* spp. The most virulent '*D. solani*' are not more aggressive than the most virulent *D. dianthicola* isolates tested. The aggressiveness of the *D. dianthicola* isolates seems to be more variable compared to that of the '*D. solani*' isolates. Finally, the risk of developing stem rots appears to be more closely correlated to the isolate used than to the cultivar tested. Indeed, the most susceptible cultivar presents a six-fold increase in symptoms, compared to the least susceptible one, while the most aggressive isolate causes a 40-fold increase in symptoms, compared to the least aggressive one.

Key words: *Dickeya*, blackleg, potato, aerial stem rot, *Pectobacterium*.