

Anfälligkeit der Kartoffel gegenüber durch *Dickeya* spp. verursachte Schwarzbeinigkeit

Jérémie Rouffiange¹, David Gerardin², Gaétan Riot¹, Etienne Thévoz¹, Isabelle Kellenberger¹, Santiago Schaerer¹ und Brice Dupuis¹

¹Agroscope, Institut für Pflanzenbauwissenschaften IPB, 1260 Nyon, Schweiz

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

Auskünfte: Brice Dupuis, E-Mail: brice.dupuis@agroscope.admin.ch



Abb. 1 | Gesamtansicht des Versuchs zur Anfälligkeit ausgewählter Kartoffelsorten gegenüber *Dickeya* spp. (Foto: Jérémie Rouffiange)

Einleitung

Die pektinolytischen Bakterien der Gattungen *Pectobacterium* und *Dickeya*, früher unter der Gattung *Erwinia* zusammengefasst, können die Ausprägung mehrerer Krankheiten der Kartoffelpflanze auslösen. Dazu gehören oberirdische Fäulnis der Stängel, gemeinhin als «Schwarzbeinigkeit» bezeichnet, und Fäulnis der Knollen, meist mit «Nassfäule» bezeichnet (CIP 2007). Diese Krankheiten sind für bedeutende Verluste in der Mehrheit der Saatgut produzierenden Länder verantwortlich (Laurila *et al.* 2010; Pritchard *et al.* 2013; Rousselle *et al.* 1996).

Nach Infektion der Pflanze via Wurzeln, Stolonen oder Lentizellen der Knollen (Czajkowski *et al.* 2010; Pérombelon und Lowe 1974; Scott *et al.* 1996) können die Bakterien das ganze Gefässbündelsystem der Pflanze besiedeln (Pérombelon *et al.* 1988). Dadurch beginnt die Pflanze bei relativ geringer Bodenfeuchtigkeit (Pérombelon *et al.* 1988) zu welken, was in den schwersten Fällen zu einem Eintrocknen der Blätter führt (Laurila *et al.* 2010). Diese Welke wird durch eine Reduktion des gesamten Saftstromes im Xylem hervorgerufen (Helias *et al.* 2000b). Bei Ansteigen der relativen Feuchtigkeit können die Bakterien ins Parenchymgewebe vordringen und in der Folge Stängelfäulen

verursachen, die gemeinhin als Schwarzbeinigkeit bezeichnet werden (Helias *et al.* 2000a; Laurila *et al.* 2010). Davon ist der Pflanzgutproduzent am meisten betroffen, da die Schwarzbeinigkeit zu einer Abweisung von Pflanzgutparzellen während der Feldbesichtigung führen kann. In der Schweiz ist die Schwarzbeinigkeit die hauptsächliche Ursache für eine Deklassierung von Pflanzkartoffelposten im Feld (Tab. 1).

Die Feldkontrolle auf Welke und Schwarzbeinigkeit erfolgt visuell. Dabei sind Verwechslungen möglich, da andere Krankheiten (z.B. Fusarien) und abiotische Faktoren z.B. Wassermangel) ähnliche Symptome hervorrufen können (FNPPPT *et al.* 2008).

Vorangehende Studien haben gezeigt, dass das Ausmass der durch pektinolytische Bakterien ausgelösten Verluste in hohem Masse von der Anfälligkeit der Sorte abhängt (Helias *et al.* 2000a). Unterschiede wurden vor allem auf Knollenscheiben im Labor (Gerardin *et al.* 2013) und auf Stängeln in Topfversuchen festgestellt (Rouffiange *et al.* 2013). Um das Risiko der Abweisung von Pflanzkartoffelparzellen zu begrenzen, wäre es interessant, den Anbau wenig anfälliger Sorten zu fördern. Bis anhin sind wenig Daten über die Sortenanfälligkeit während dem Anbau im Feld vorhanden.

Unterschiede in der Aggressivität von verschiedenen Bakterienisolaten sind in diversen Studien beobachtet worden, welche auf Knollenscheiben und auf ganzen Pflanzen durchgeführt worden waren (Gerardin *et al.* 2013; Haynes *et al.* 1997; Laurila *et al.* 2010; Rouffiange *et al.* 2013). In Europa finden sich heute vorwiegend zwei Arten der Gattung *Dickeya*, nämlich *Dickeya dianthicola* und *Dickeya solani*. Eine Studie auf Knollenscheiben hat gezeigt, dass vor allem die Isolate von *D. solani* besonders aggressiv sind (Gerardin *et al.* 2013). Andererseits hat ein Pathogenitätstest mit denselben Isolaten

Zusammenfassung

Die pektinolytischen Bakterien der Gattungen *Pectobacterium* und *Dickeya* können zur Entwicklung mehrerer Krankheiten der Kartoffel führen wie Fäulen an den Stängeln, die gemeinhin als «Schwarzbeinigkeit» bezeichnet werden, und Fäulen an den Knollen, die «Nassfäulen» genannt werden. Schwarzbeinigkeit ist in der Schweiz die hauptsächliche Ursache für die Abweisung von Pflanzkartoffelposten. Die in dieser Studie durchgeführten Versuche setzten sich zum Ziel, allfällige Unterschiede in der Anfälligkeit der Sorten Agria, Victoria, Charlotte und Innovator gegenüber *Dickeya* spp zu identifizieren. Andererseits sollte auch die Aggressivität von drei Isolaten von *D. solani* und von zwei Isolaten von *D. dianthicola* bei der Sorte Agria studiert werden. Es wurden Feldversuche mit vorgängig durch die Bakterien infizierten Knollen angelegt, um die Entwicklung der Welkesymptome und der Schwarzbeinigkeit bei Pflanzen im Feld zu verfolgen. Es wurden Unterschiede in der Anfälligkeit der Sorten festgestellt. Die Sorte Agria erwies sich als anfälliger als die übrigen geprüften Sorten. Bei Agria entwickelten sich doppelt so viele Pflanzen mit Schwarzbeinigkeit als bei der Sorte Charlotte. Unter all den getesteten Isolaten erwies sich eines der beiden Isolate von *D. dianthicola* als das aggressivste und das andere als das am wenigsten aggressive Isolat. Letzteres war 26 mal weniger aggressiv als das erstgenannte. Die drei Isolate von *D. solani* wiesen eine Aggressivität auf mittlerem Niveau auf. Das Risiko für die Entwicklung von Krankheitssymptomen im Feld dürfte somit eher im Zusammenhang mit dem Bakterienisolat als mit der Kartoffelsorte stehen. Zwischen den Welkesymptomen und der Schwarzbeinigkeit im Feld konnte eine lineare Korrelation ermittelt werden.

Tab. 1 | Ursachen für die Ablehnung von Kartoffelparzellen während der Feldbesichtigung und entsprechende Flächen (in ha). Daten aus der Schweiz von 2005 bis 2012 (Henri Gilliland, persönliche Mitteilung)

| | Blattroll- und Mosaik-symptome | Schwarzbeinigkeit | Falscher Mehltau (Krautfäule) des Blattwerkes | Isolationsabstand | Durchwuchs | Verschiedenes |
|-------------------|--------------------------------|-------------------|---|-------------------|------------|---------------|
| 2005 | 11 | 48 | 0 | 0 | 0 | 11 |
| 2006 | 8 | 39 | 0 | 0 | 0 | 56 |
| 2007 | 68 | 85 | 2 | 3 | 1 | 8 |
| 2008 | 10 | 31 | 3 | 0 | 0 | 13 |
| 2009 | 16 | 13 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| 2010 | 0 | 72 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| 2011 | 2 | 21 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 2012 | 2 | 39 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| Mittelwert | 14,6 | 43,5 | 0,6 | 0,4 | 0,2 | 13,0 |

Kasten 1 | Konzept der integrierten Bekämpfung von pektinolytischen Bakterien in der Kartoffelproduktion

Im Rahmen eines internationalen Projektes wurde ein Konzept zur integrierten Bekämpfung von *Dickeya* spp., *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* und *Pectobacterium atrosepticum* erarbeitet. Dieses Projekt wird von der Kommission für Technologie und Innovation KTI unterstützt.

Ziele:

- Entwicklung einer Routineanalysemethode zur Feststellung von latenten Infektionen der Knollen während dem Zertifizierungsprozess von Pflanzkartoffeln.
- Identifizieren und quantifizieren der hauptsächlichsten Faktoren, welche für die Kontamination von Kartoffelposten verantwortlich sind.
- Entwicklung eines Konzeptes für die integrierte Bekämpfung in Zusammenarbeit mit Vertretern aus allen Bereichen der Kartoffelbranche

Partner:

- HAFL-Zollikofen Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (Leitung des Projektes für die Schweiz)
- Agroscope, Institut für Pflanzenbauwissenschaften IPW
- BIOREBA AG – Reinach
- Swissem, Interessenvertretung der Saat- und Pflanzgutproduzenten für die ganze Schweiz
- Swisspatat, Branchenorganisation, verantwortlich für die Kartoffelwirtschaft
- Institut national de la recherche agronomique INRA - Rennes (Leitung des Projektes für Frankreich)
- Groupement National Interprofessionnel des Semences et plants (GNIS)
- Fédération Nationale des Producteurs de Plants de Pomme de Terre (FN3PT)

auf Topfpflanzen die Resultate aus der Studie mit Kartoffelknollenscheiben (Rouffiangue *et al.* 2013) nicht bestätigen können, da sich ein Isolat von *D. dianthicola* als das aggressivste Isolat herausstellte.

Die in dieser Studie vorgestellten Feldversuche hatten zwei Hauptziele: a) Feststellen von Unterschieden in der Anfälligkeit gegenüber *Dickeya* spp. bei den wichtigsten in der Schweiz angebauten Kartoffelsorten und b) Untersuchung der Aggressivität mehrerer Isolate von *Dickeya dianthicola* und *Dickeya solani*, damit ihre Pathogenität im Feld charakterisiert werden kann. Das erarbeitete Pathogenitätsprofil kann dann mit jenem verglichen werden, das mit denselben Isolaten in Versuchen auf Kartoffelknollenscheiben (Gerardin *et al.* 2013) sowie auf Topfpflanzen (Rouffiangue *et al.* 2013) erarbeitet wurde.

Material und Methoden

In einem ersten Versuch (A) wurde die Anfälligkeit der Sorten Agria, Charlotte, Innovator und Victoria untersucht. Diese vier Sorten wurden mit dem Isolat *D. dianthicola* 8823 inokuliert. In einem zweiten Versuch (B) wurde die Aggressivität der nachfolgenden fünf Isolate von *Dickeya* gegenüber der Sorte Agria geprüft: *D. dianthicola* 980, *D. dianthicola* 8823, *D. solani* 2222, *D. solani* 05026 und *D. solani* 07044. Die Inokulation der Knollen wird in einer Bakteriensuspension von 10^5 Kbe/ml während 48 Stunden in vier Etappen vorgenommen (Rouffiangue *et al.* 2013). Jeder Versuch enthält ein Kontrollverfahren ohne Inokulation (nur Eintauchen in Wasser) wodurch der Grad der Kontamination des Ausgangspostens festgestellt werden kann. Der im Kontrollverfahren festgestellte Befall an Schwarzbeinigkeit wird vom Befall an Schwarzbeinigkeit abgezogen, welcher am Ende des Versuchs festgestellt wird; somit können die Sorten unabhängig von der Anfangskontamination miteinander verglichen werden. Der Versuch zur Sortenanfälligkeit wurde dreimal wiederholt (in den Jahren 2011 bis 2013), während der Versuch zur Aggressivität der Isolate je einmal in den Jahren 2012 und 2013 durchgeführt wurde. Die beiden Versuche wurden in zufällig angeordnetem Blocklayout (Dagnelie 2003) mit vier Wiederholungen angelegt, wobei jede Parzelle aus vier Pflanzlinien mit je 25 Pflanzen bestand (33 cm Distanz zwischen den Pflanzen und 75 cm zwischen den Furchen). Nach Auftreten der ersten Welkesymptome wurden jede Woche zwei Beobachtungen bis zum Ende des Versuchs durchgeführt. Es wurden die Anzahl welker Pflanzen sowie die Anzahl der Pflanzen mit Symptomen der Schwarzbeinigkeit gezählt. Schliesslich wurde der Flächeninhalt unter der Kurve des Krankheitsverlaufes (AUDPC_{rel}) berechnet (Bonierbale *et al.* 2007). Dieser Flächeninhalt ermöglicht eine Betrachtung der Symptomentwicklung über die ganze Vegetationsperiode. Die statistische Analyse der Daten wurde mit dem Software-

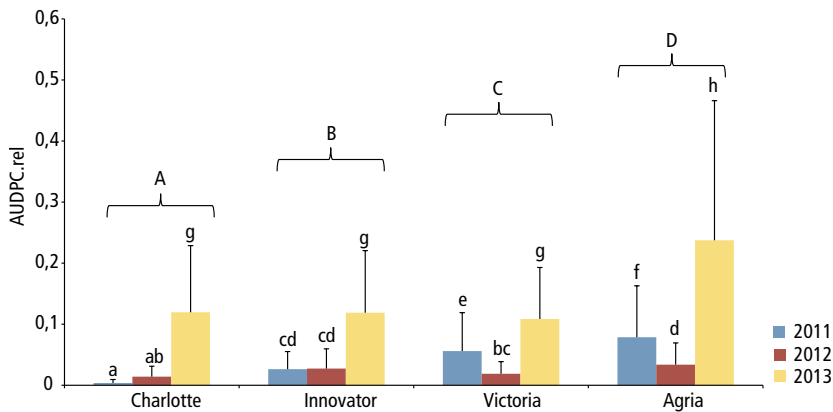


Abb. 2 | Fläche unter der Kurve der zunehmenden Welke (AUDPC.rel) für die vier geprüften Sorten und die Jahre 2011, 2012 und 2013. Die Variabilität wird durch den Standardfehler angegeben. Gruppen von Sorten mit der gleichen Anfälligkeit sind für jedes Jahr mit Kleinbuchstaben über den T-Balken markiert, welche die Standardfehler angeben. Mit Grossbuchstaben sind Gruppen von Sorten mit derselben Anfälligkeit für das Mittel der drei Jahre markiert.

paket STATISTICA® (StatSoft, Tulsa, USA) durchgeführt. Für jeden Versuch wurde eine Varianzanalyse (ANOVA) vorgenommen ($\alpha=0,05$). Der erste Faktor bezieht sich auf die Wiederholung des Versuches über die Zeit. Der zweite Faktor bezieht sich auf die Versuchsfrage, das heisst auf das Bakterienisolat für den Versuch zur Aggressivität der Isolate von *Dickeya* oder auf die Sorte für den Versuch zur Sortenanfälligkeit. Die Interaktion zwischen den verschiedenen Faktoren wurde ebenfalls geprüft. Falls sich für einen der untersuchten Faktoren ein signifikanter Unterschied ergab, wurde ein Test zum Vergleich der Mittelwerte vorgenommen (Test von Newman & Keuls).

Resultate

Versuch A: Sortenanfälligkeit

Die Analyse des Flächeninhaltes unter der Kurve der Entwicklung der Welkesymptome (Abb. 2) zeigt einerseits, dass das Ausmass der Symptome von Jahr zu Jahr variiert ($p<0,001$), wobei eine grössere Zahl welker Pflanzen für die Gesamtheit der Sorten im Jahr 2013 auftrat. Andererseits zeigt die Analyse, dass es zwischen den geprüften Sorten Unterschiede gibt ($p<0,001$). Für die Sorte Agria wurden im Durchschnitt dreimal mehr welke Pflanzen festgestellt als für die Sorte Charlotte.

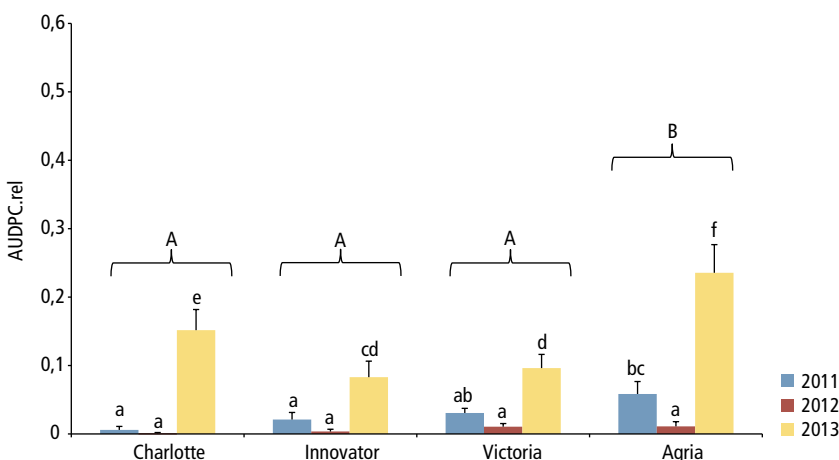


Abb. 3 | Fläche unter der Kurve der progressiven Welke (AUDPC.rel) für die vier getesteten Sorten in den Jahren 2011, 2012 und 2013. Die Variabilität wird durch den Standardfehler angegeben. Gruppen von Sorten mit der gleichen Anfälligkeit sind für jedes Jahr mit Kleinbuchstaben über den T-Balken markiert, welche die Standardfehler angeben. Mit Grossbuchstaben sind Sorten mit derselben Anfälligkeit für das Mittel der drei Jahre markiert.

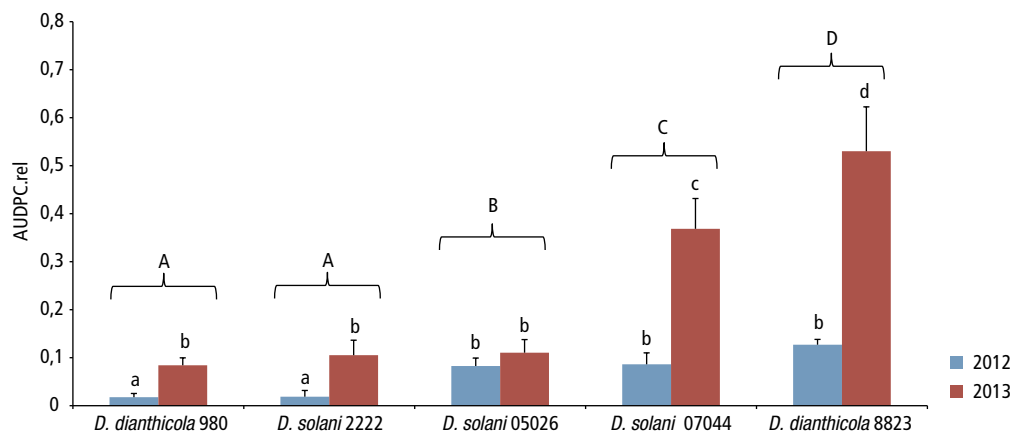


Abb. 4 | Fläche unter der Kurve der progressiven Welke (AUDPC.rel) für die fünf geprüften Isolate in den Jahren 2012 und 2013. Die Variabilität wird durch den Standardfehler angegeben. Gruppen von Isolaten mit derselben Aggressivität sind für jedes Jahr mit Kleinbuchstaben über den T-Balken markiert, welche die Standardfehler angeben. Mit Grossbuchstaben sind Gruppen von Isolaten derselben Aggressivität für das Mittel der zwei Jahre markiert.

Zwischen den Faktoren Jahr und Sorte hat man eine Interaktion festgestellt ($p < 0,001$), was belegt, dass sich bei jeder Sorte die Ausprägung der Welkesymptome von Jahr zu Jahr ändert.

Die Analyse der AUDPC.rel - Werte bezüglich der Symptome der Schwarzbeinigkeit (Abb. 3) weist einen signifikanten Effekt des Jahres ($p < 0,001$) aus. 2013 zeigten sich mehr Symptome von Schwarzbeinigkeit als in den beiden andern Jahren. Es wurden Unterschiede in der Anfälligkeit der Sorten beobachtet ($p < 0,001$) und es haben sich zwei Anfälligkeitsgruppen herausgestellt. Die eine Gruppe besteht aus der Sorte Agria und die zweite Gruppe aus den übrigen geprüften Sorten. Die Sorte Agria hat dreimal mehr Symptome ausgebildet als die Sorte Charlotte. Die statistische Analyse hat eine Interaktion zwischen den Jahren und den Sorten ergeben ($p < 0,001$). Diese Interaktion kommt vor allem wegen einer höheren Ausbildung von Symptomen der Schwarzbeinigkeit bei der Sorte Charlotte im Jahre 2013 zustande.

Betrachtet man den Prozentsatz an Schwarzbeinigkeit über alle Sorten, so ergibt sich im Jahr 2013 ein Wert von 27,5 %, während dieser Wert 2011 nur 13,2 % und 2012 lediglich 4,6 % betrug. Schliesslich liess sich zwischen den Welkesymptomen und der Schwarzbeinigkeit eine lineare Beziehung errechnen ($r^2 = 0,94$; $p < 0,001$).

Versuch B : Aggressivität der Isolate

Die Analyse der AUDPC.rel - Werte für die Welkesymptome (Abb. 4) ergab Unterschiede zwischen den beiden Versuchsjahren ($p < 0,001$) sowie zwischen den geprüften

Isolaten ($p < 0,001$). Es wurden vier Gruppen von Aggressivität identifiziert. Die erste Gruppe enthält die am wenigsten aggressiven Isolate, nämlich *D. dianthicola* 980 und *D. solani* 2222. Am andern Ende findet sich mit *D. dianthicola* 8823 das aggressivste Isolat, welches zu sechs Mal mehr Pflanzen mit Welkesymptomen führte als das am wenigsten aggressive Isolat *D. dianthicola* 980. Zwischen diesen beiden Extremen befinden sich die Isolate *D. solani* 05026 und *D. solani* 07044. Zwischen den Faktoren, Jahren und Isolaten wurde eine Interaktion berechnet ($p < 0,001$). Diese kommt in erster Linie zustande, weil das Isolat *D. solani* 05026 zwischen den beiden Versuchsjahren einen kleineren Unterschied hervorrief als jener, der für die übrigen Isolate beobachtet wurde.

Betrachtet man die AUDPC.rel - Werte der Symptome von Schwarzbeinigkeit (Abb.5) so zeigen sich sowohl zwischen den Jahren ($p < 0,01$) als auch zwischen den Isolaten ($p < 0,001$) Unterschiede. *D. dianthicola* 8823 hat sich als das aggressivste Isolat erwiesen, während *D. dianthicola* 980 das Isolat mit der geringsten Aggressivität war, indem dieses sechsundzwanzig Mal weniger Symptome von Schwarzbeinigkeit hervorrief. Zwischen den Jahren und den Isolaten wurde eine Interaktion festgestellt ($p < 0,001$). *D. dianthicola* 980 und *D. solani* 05026 verursachten im Jahr 2013 weniger Schwarzbeinigkeit als die übrigen Isolate.

Auch in diesem Falle konnte zwischen Welke und Erscheinen der Schwarzbeinigkeit eine lineare Beziehung berechnet werden ($r^2 = 0,86$; $p < 0,001$).

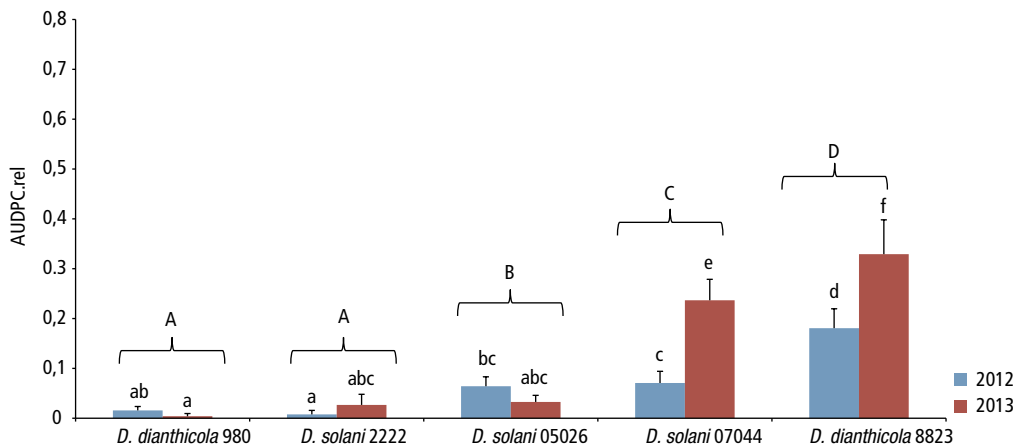


Abb. 5 | Flächeninhalt unter der Kurve der progressiven Welke (AUDPC.rel) für die fünf getesteten Isolate in den Jahren 2012 und 2013. Die Variabilität wird durch den Standardfehler angegeben. Gruppen von Isolaten mit derselben Aggressivität sind für jedes Jahr mit Kleinbuchstaben über den T-Balken markiert, welche die Standardfehler angeben. Mit Grossbuchstaben sind Gruppen von Isolaten derselben Aggressivität für den Durchschnitt beider Jahre markiert.

Diskussion

Die vorgestellten Versuche haben Unterschiede in der Sortenanfälligkeit gegenüber *Dickeya* spp. aufgezeigt. Innerhalb der vier Sorten erwies sich die Sorte Agria als die anfälligste mit einer durchschnittlichen Befallshäufigkeit durch Schwarzbeinigkeit von 27 %. Bei Charlotte lag dieser Wert bei lediglich 10 %, was die vorangehenden Versuche auf Kartoffelknollenscheiben im Gewächshaus bestätigt (Gerardin *et al.* 2013; Rouffiange *et al.* 2013). Das Verhalten der Sorte Charlotte im Jahr 2013 war aussergewöhnlich, denn diese Sorte erwies sich als anfälliger als die Sorten Innovator und Victoria, was im Gegensatz zu den Beobachtungen in den Jahren 2011 und 2012 stand.

Es wurden Unterschiede in Bezug auf die Aggressivität der Isolate festgestellt. Die Isolate liessen sich nicht entsprechend der Art einordnen, im Gegensatz zur Literatur (Toth *et al.* 2011), welche die Isolate von *D. solani* als aggressiver als jene von *D. dianthicola* beschreibt. Unsere Versuche auf Kartoffelknollenscheiben (Gerardin *et al.* 2013) schienen diesen Umstand zu belegen, aber die Versuche auf Topfpflanzen widerlegten diese Resultate (Rouffiange *et al.* 2013). Bei diesen letzten Versuchen sowie bei den hier beschriebenen Feldversuchen erwies sich das Isolat *D. dianthicola* (8823) als das aggressivste, während das am wenigsten aggressive Isolat *D. dianthicola* 980 ebenfalls zu dieser Art gehört.

Zwischen den beiden erwähnten Isolaten von *D. dianthicola* befinden sich die drei Isolate von *D. solani*. Die relative Einheitlichkeit der Pathogenität bei den Isolaten von *D. solani* ist wahrscheinlich auf deren klonalen

Charakter zurückzuführen (Czajkowski *et al.* 2012; Pritchard *et al.* 2012; Pritchard *et al.* 2013). Die Interaktionen Isolat x Jahr könnten in einer unterschiedlichen Aggressivität der Isolate begründet sein. Diese Variabilität kann von einem wiederholten Überimpfen der Bakterienstämme herrühren, welche darauf empfindlich mit einem Verlust an Virulenz reagieren.

Diese Zusammenhänge unterstreichen einmal mehr die Bedeutung von Feldversuchen, welche punkto Flächen und Handarbeit einen beträchtlichen Aufwand erfordern. Sie sind jedoch nötig, um die in Gewächshaus oder Labor mit weniger Aufwand ermittelten Zusammenhänge zu bestätigen oder zu widerlegen. Vergleicht man die mit denselben Sorten und Isolaten erreichten Resultate aus Versuchen mit Topfpflanzen (Gerardin *et al.* 2013) und Kartoffelknollenscheiben mit jenen aus Feldversuchen ergeben sich deutliche Unterschiede. Der Test im Feld erweist sich dabei als sensibler als jener bei Topfpflanzen (Rouffiange *et al.* 2013). Die Entwicklung von Welkesymptomen und Schwarzbeinigkeit ist von Jahr zu Jahr äusserst variabel. Die Ausprägung der Symptome von Schwarzbeinigkeit variiert in Abhängigkeit von Temperatur und Bodenfeuchtigkeit (Scott *et al.* 1996; Toth *et al.* 2002). Diese Unterschiede können auf bedeutende Schwankungen in der Bodenfeuchtigkeit und der Temperatur in der Saison 2013 zurückgeführt werden. Das Jahr 2013 war gekennzeichnet durch einen feuchten und kühlen Frühling gefolgt von einem heissen und trockenen Sommer. Wahrscheinlich haben diese Bedingungen die Pflanzen geschwächt und gestresst, wodurch sie gegenüber bakteriellen Infektionen anfälliger wurden.

Zwischen den Welkesymptomen und der Schwarzbeinigkeit konnte eine lineare Beziehung ermittelt werden, was den engen Bezug zwischen den beiden Ausprägungen der Krankheit bestätigt. Die Welke resultiert aus einer Besiedlung und partiellen Blockierung des Gefäßbündelsystems der Pflanze durch die Bakterien (Czajkowski *et al.* 2013; Helias *et al.* 2000b). Nachdem die Bakterien in die Stängel eingewandert sind und sich dort vermehrt haben, werden in der Folge die oberirdischen Stängelfäulen sichtbar. Unter gewissen Boden- und Klimabedingungen kann die Welke als Vorbote der nachfolgenden Schwarzbeinigkeit betrachtet werden. Werden zahlreiche Welkesymptome in einem Feld der Pflanzgutproduktion beobachtet, so ist diese Entwicklung genau zu verfolgen. Tritt die Schwarzbeinigkeit auf, ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass der gepflanzte Posten durch Bakterien der Gattung *Dickeya* oder *Pectobacterium* infiziert war.

Literatur

- 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 p.
- Czajkowski R., De Boer W.J. & Van der Wolf J.M., 2013. Chemical disinfectants can reduce potato blackleg caused by *Dickeya solani*. *Plant Pathology* **136**, 419–432.
- 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. In *Phytopathology*.
- 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., 2003. Principes d'expérimentation. Les Presses Agronomiques de Gembloux ASBL, 397.
- FNPPPT, GNIS & ARVALIS, 2008. Maladies, ravageurs et désordres de la pomme de terre p.
- Gerardin D., Rouffiangé J., Kellenberger I., Schaerer S. & Dupuis B., 2013. Sensibilité de la pomme de terre à la pourriture molle provoquée par *Dickeya* spp. *Recherche Agronomique Suisse* **4**, 288–295.
- Haynes K.G., Potts M.J.E. & Goth R.W., 1997. Evaluation of the reliability of determining soft rot resistance in potatoes by the tuber slice method. *American Potato Journal* **74** (4), 265–275.
- 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*. In *Plant Pathology*.
- 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. In *European Journal of Plant Pathology*.

Schlussfolgerungen

- Sortenbedingte Unterschiede in der Anfälligkeit gegenüber *Dicheya* spp. sind nachgewiesen und Agria erwies sich in diesen Versuchen als die anfälligste Sorte.
- Die Aggressivität der Isolate von *D. dianthicola* scheint variabler zu sein als jene von *D. solani*. Ein Isolat von *D. dianthicola* war deutlich aggressiver als alle andern geprüften Isolate.
- Die Entwicklung von Welkesymptomen und Schwarzbeinigkeit ist von Jahr zu Jahr sehr unterschiedlich.
- Unter Feldbedingungen gibt es eine lineare Beziehung zwischen Welkesymptomen und Schwarzbeinigkeit. ■

Dank

Die Autoren danken Swissem, Swisspatat, Bioreba und der Kommission für Technologie und Innovation für die finanzielle Unterstützung dieser Studie sowie dem Projekt-Partner, der Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL-Zollikofen).

- Pérombelon M.C.M. & Lowe R., 1974. Studies on the initiation of bacterial soft rot in potato tubers. *Potato Research* **18**, 64–82.
- Pérombelon M.C.M., Lopez M.M., Carbonell E. & Hyman L.J., 1988. Effects of contamination by *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* and *E. carotovora* subsp. *atroseptica* of potato seed tubers and of cultivar resistance on blanking or non-emergence and blackleg development in Valencia, Spain. *Potato Research* **31**, 591–599.
- Pritchard L., Humphris S., Saddler G., Parkinson N.M., Bertrand V., Elphinstone J.G. & Toth I.K., 2012. Detection of phytopathogens of the genus *Dickeya* using a PCR primer prediction pipeline for draft bacterial genome sequences. *Plant Pathology*, 587–596.
- Pritchard L., Humphris S., Saddler G.S., 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.
- Rouffiangé J., Gerardin D., Kellenberger I., Schaerer S. & Dupuis B., 2013. Sensibilité de la pomme de terre aux pourritures de tiges provoquées par *Dickeya* spp. *Recherche Agronomique Suisse* **4**, 432–439.
- Rousselle P., Robert Y. & Crosnier J.C., 1996. La pomme de terre. Vol. 1. INRA, Paris 606 p.
- 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.
- 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.
- Toth I.K., Sullivan L., Brierley J.L., Avrova A.O., Hyman L.J., Holvea M., Broadfoot L., Pérombelon M.C.M. & McNicol J., 2002. Relationship between potato seed tuber contamination by *Erwinia carotovora* ssp. *atroseptica*, blackleg disease development and progeny tuber contamination. *Plant Pathology* **52**, 119–126.

Riassunto**Sensibilità della patate alla malattia della gamba nera causata da *Dickeya* spp.**

I batteri pectinolitici del genere *Pectobacterium* e *Dickeya* possono portare allo sviluppo di diverse malattie della patata, come, p. es., i marciumi degli steli comunemente chiamati «gambe nere» e dei marciumi dei tuberi definiti «marciumi molli». Il sintomo della gamba nera è la prima causa di rifiuto dei lotti di piante di patate in Svizzera. Le prove realizzate durante questo studio miravano da un lato a identificare eventuali differenze di sensibilità verso *Dickeya* spp. mediante le varietà Agria, Victoria, Charlotte e Innovator e, dall'altro, a studiare l'aggressività di tre isolati di *D. solani* e di due isolati di *D. dianthicola* sulla varietà Agria. Si sono realizzate delle prove per seguire lo sviluppo in campo dei sintomi di avvizzimento e di gamba nera su delle piante ottenute da tuberi precedentemente inoculati con i batteri. Si sono constatate delle differenze di sensibilità varietale. La varietà Agria si è mostrata più sensibile delle altre varietà testate, sviluppando due volte più sintomi di gamba nera della varietà Charlotte. Tra tutti gli isolati testati, uno dei due di *D. dianthicola* è risultato 26 volte più aggressivo del secondo. I tre isolati di *D. solani* presentavano dei livelli d'aggressività intermedi. Il rischio di sviluppo di sintomi in campo legati a l'isolato sembra dunque più importante di quello legato alla varietà. Infine, si è potuto stabilire una relazione lineare tra i sintomi d'avvizzimento e quelli della gamba nera in campo.

Summary**Potato susceptibility to blackleg disease caused by *Dickeya* spp.**

Pectinolytic bacteria belonging to the genera *Pectobacterium* and *Dickeya* can cause several diseases on potato, such as stem rots, commonly named «blacklegs», and tuber rots, which are referred to as «soft rots». The blackleg symptom is the primary cause for the rejection of potato seed lots in Switzerland. The field trials conducted in this study had two main objectives. On the one hand, to identify potential differences in the susceptibility of the cultivars Agria, Victoria, Charlotte and Innovator to *Dickeya* spp. and, on the other hand, to study the aggressiveness of three isolates of *D. solani* and two isolates of *D. dianthicola* on cv. Agria. For these purposes, the development of blackleg symptoms was followed in the fields, on plants whose mother tubers had been previously inoculated with the bacteria. Differences in susceptibility were recorded between cultivars, Agria being the most susceptible and producing twice as many blackleg symptoms as Charlotte. Of the two *D. dianthicola* isolates tested, one was the most aggressive of all isolates tested, while the other was the least aggressive: the latter being twenty six times less aggressive than the former. *D. solani* isolates presented intermediate aggressiveness. The risk of developing symptoms in the field seems therefore more closely related to the isolates than to the cultivars. Furthermore, a linear relationship was found between plant wilting and blackleg symptoms in the fields.

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