

Umwelt

TuberPro optimiert Krautvernichtungstermin in Pflanzkartoffeln

Thomas Hebeisen und Thomas Nemecek, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL), CH-8046 Zürich-Reckenholz

Auskünfte: Thomas Hebeisen, e-mail: thomas.hebeisen@fal.admin.ch, Fax +41 (0)1 377 72 01, Tel. +41 (0)1 377 74 50

Zusammenfassung

Aufgrund der ungünstigen Blattlaussituation im schweizerischen Mittelland müssen die Pflanzgutproduzierenden bei der Produktion von virusanfälligen Sorten immer wieder mit einer zu hohen Virusinfektion rechnen. Bei einer Abweisung entstehen bedeutende finanzielle Einbussen. Um einer Ableitung des Virus in die Knollen und weiteren Infektionen zuvorzukommen, sind alle Produzentinnen und Produzenten verpflichtet, in ihren Beständen die Krautvernichtung vor dem Sommerflug der Blattläuse durchzuführen. Die Blattlauskontrolldienste der beiden Forschungsanstalten FAL und RAC sind verantwortlich für die Festlegung der Krautvernichtungstermine. Die Vermehrungsorganisationen werden mit Bulletins über die aktuelle Blattlaussituation informiert. Das Prognosemodell TuberPro berechnet die Entwicklung des Virusbefalls (PVY, PLRV) und des Pflanzgutertrages. Es quantifiziert die Gefährdung für eine Virusübertragung durch Blattläuse. Tägliche Blattlausfangzahlen (Saugfallen) und Witterungsdaten werden in aussagekräftige Prognosen umgesetzt. In der Ausbildung der Feldbesichtiger dient es der Evaluation von Bewirtschaftungsmassnahmen. Mit TuberPro konnte der Virusbefall bei Sorten mit geringer Virusanfälligkeit in allen Jahren gut geschätzt werden. Bei hochanfälligen Sorten wurde der Virusbefall 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1996 und 1999 mit TuberPro recht gut geschätzt, während er 1994 und 1995 überschätzt wurde. 1997, 1998 und 2000 wurde der Virusbefall eindeutig unterschätzt. Die möglichen Ursachen und allfälligen Konsequenzen werden diskutiert. Die Anwendung von TuberPro in der Ausbildung wird vorgestellt.

Kartoffelviren verursachen beträchtliche Ertrags- und Qualitätseinbussen. Nachbauversuche an der FAL bestätigen, dass im mehrjährigen Durchschnitt über alle in der Schweiz zugelassenen Kartoffelsorten pro Prozent Virusbefall ein Ertragsverlust von 0,7 % resultiert. Daher dürfen in der Pflanzgutzertifizierung Posten mit zu hohem Virusbefall nicht anerkannt werden. Für die Pflanzgutproduzierenden entstehen dabei bedeutende finanzielle Einbussen.

Blattläuse sind hauptverantwortlich für die Übertragung von Kartoffelviren. Die Blattlaussituation ist in der Schweiz für die Produktion von Pflanzkartoffeln deutlich weniger günstig als in den Küstengebieten Nordeuropas. Windoffene Lagen und Regionen mit aus-

schliesslicher Pflanzgutproduktion sind praktisch nur in den Hügel- und Voralpengebieten anzutreffen. Die flächenmässig weitaus bedeutenderen Anbaugebiete für Speise- und Pflanzkartoffeln liegen im zentralen Mittelland, welches bezüglich der Blattlaussituation ungünstiger ist. Eine erfolgreiche Pflanzgutproduktion setzt verschiedene Massnahmen voraus wie i) Auswahl von geeigneten Anbaugebieten und Produktionsbetrieben, ii) Auswahl des besten Vermehrungspflanzgutes (< 1 % PVY), iii) Vertragsanbau mit Absatz- und Preisgarantie, iv) frühe Säuberung, zweimalige Feldbesichtigung, zeitgerechte Krautvernichtung sowie v) Überprüfung aller Posten im Labortest (ELISA) und durch eine Nachbaukontrolle (Saatprobenanbau). Die Gesamtheit dieser

Massnahmen bewirkte eine stetige Verbesserung der Qualität des inländischen Pflanzgutes. Der durchschnittliche Flächenanteil der abgewiesenen Posten liegt deutlich unter 3 % der feldanerkannten Fläche. Im Vergleich zu den süddeutschen Bundesländern ist dieser Wert sehr tief. Das Vertrauen manifestiert sich denn auch in einer hohen Pflanzguterneuerungsrate von mehr als 70 %.

Im Gegensatz zum Ausland sind Aphizide in der Schweiz zur Verhinderung von Virusübertragungen durch Blattläuse in Pflanzkartoffeln nicht zugelassen. Aphizide verhindern die nichtpersistente Übertragung (sofortige Weitergabe des Virus) des Mosaikvirus (PVY) durch Blattläuse nicht genügend (Häni und Winiger 1987). In den kleinräumigen Strukturen der Schweiz muss immer mit einem Zuflug von infizierten Blattläusen aus anderen Kartoffelbeständen gerechnet werden. Die Pflanzgutproduzierenden sind aber seit 1948 verpflichtet, eine frühe und konsequente Krautvernichtung durchzuführen und in ihren Beständen wiederaus-treibende Pflanzen sofort zu eliminieren. Die Blattlauskontrolldienste der Eidgenössischen Forschungsanstalten Zürich-Reckenholz (FAL) und Nyon-Changins (RAC) erarbeiten die nötigen Grundlagen für die Festlegung der verbindlichen Krautvernichtungstermine. Das Auftreten der geflügelten Blattläuse wird mit Saugfallen (Typ Rothamsted, Standorte Recken-

holz und Nyon) und Gelbschalen erhoben. Die ungeflügelten Blattläuse werden mit Brettkontrollen erfasst. Die Virusübertragungsaktivität der Blattläuse wird mit Tabakpflanzen (Fangpflanzenversuch) untersucht.

TuberPro simuliert Virusbefall und Ertragsentwicklung

TuberPro berechnet die Entwicklung des Virusbefalls (PVY, PLRV) und des Ertrages und prognostiziert die Wahrscheinlichkeit einer Deklassierung oder Abweisung als Folge einer zu hohen Virusinfektion. Bei der Festlegung der Krautvernichtungstermine entsteht ein Zielkonflikt zwischen der Verhinderung der Virusübertragung und dem Erreichen des optimalen Knollenertrages. In dieser Situation bietet das Prognosesystem TuberPro eine wertvolle Unterstützung.

TuberPro steht für *Solanum tuberosum* - Prognose. Das System wurde an der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) in Zürich und der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Pflanzenbau (RAC) in Nyon-Changins entwickelt (Nemecek 1993; Nemecek *et al.* 1994a). Das Kernstück von TuberPro beinhaltet ein Simulations-Modell. Es setzt sich aus mehreren Untermodellen zusammen (Abb. 1):

■ das **epidemiologische Modell** berechnet den Virusbefall der Knollen mit dem Mosaikvirus Y (PVY) und dem Blattrollvirus (PLRV) in Abhängigkeit vom Auftreten der Blattläuse, deren artspezifische Übertragungsfähigkeit für Viren (Derron und Goy 1990), der im Feld vorhandenen Virusquellen und der Altersresistenz der Pflanzen.

■ das **Pflanzenwachstumsmodell** simuliert die Entwicklung der Blätter, Stängel, Wurzeln und Knollen unter Berücksichtigung der Witterung und des Bo-

denwassergehaltes. Es berechnet den Knollenertrag und die Knollengrößenverteilung. (Nemecek und Derron 1994b).

■ das **Boden-Wasserhaushaltsmodell** simuliert den Bodenwassergehalt und berechnet den Wasserstress der Pflanzen.

Das Prognosemodell benötigt tägliche Blattläuserhebungen und Witterungsdaten. In den Saugfallen (Reckenholz und Changins) werden neun Blattlausarten beziehungsweise Artengruppen unterschieden. Langjährige Gelbschalenfangdaten dienen zur Berechnung von regionalspezifischen Umrechnungsfaktoren der verschiedenen Anbaubereiche im Verhältnis zu den Blattlausfangzahlen der Saugfalle Reckenholz. Diese Umrechnungsfaktoren wurden über die Untersuchungsperiode als konstant angenommen.

Bei den Witterungsdaten werden tägliche Messungen der Lufttemperatur (Tagesminimum/-maximum), die mittlere relative Luftfeuchtigkeit, die Niederschlagsmenge, die Globalstrahlung und die mittlere Windgeschwindigkeit benötigt. Diese Werte werden von der nächstgelegenen Messstation der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt entnommen. Die maximale Tagestemperatur, die Niederschlagsmenge und die relative Luftfeuchtigkeit werden aufgrund der Höhenlage korrigiert (Nemecek *et al.* 1995a). Es

werden weitere Angaben über die Bodenart des Feldes, die Sorte, den Virusbefall des Ausgangspflanzgutes, das Auflaufdatum und durchgeführte Säuberungen des Pflanzgutfeldes benötigt.

Die Gefährdung für Virusübertragungen durch Blattläuse (potenzieller Vektordruck) wird aufgrund der Blattlausfangzahlen in der Saugfalle Reckenholz geschätzt. Der Vektordruck berechnet sich aus der Anzahl der Fänge der wichtigsten Blattlausarten pro Tag und einem Faktor, der die einzelnen Arten entsprechend ihrer Übertragungsfähigkeit gewichtet. Die relative Häufigkeit einer bestimmten Blattlausart in den Kartoffelbeständen im Vergleich zur Saugfalle wird in die Berechnung miteinbezogen. Die Grüne Pfirsichblattlaus ist mit Abstand die wichtigste Virusüberträgerin und wird daher entsprechend stark gewichtet (Harrington *et al.* 1986; Derron und Goy 1990). Da sie im Frühjahr aber erst relativ spät auftritt, trägt sie im langjährigen Durchschnitt nur mit einem Anteil von 24 % zum Vektordruck bei. Von 1989 bis 1997 wurde der Vektordruck zu 59 % durch die verschiedenen Aphis-Arten dominiert.

Virusprognose

Das Ziel besteht darin, um Mitte Juni eine Prognose der Entwicklung des Virusbefalls und des Knollenertrags für die folgenden drei bis vier Wochen zu berech-

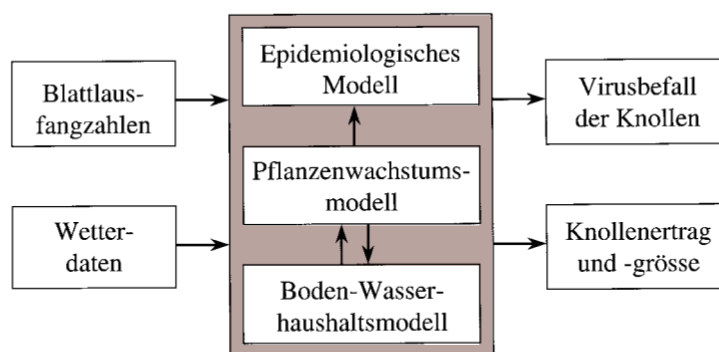
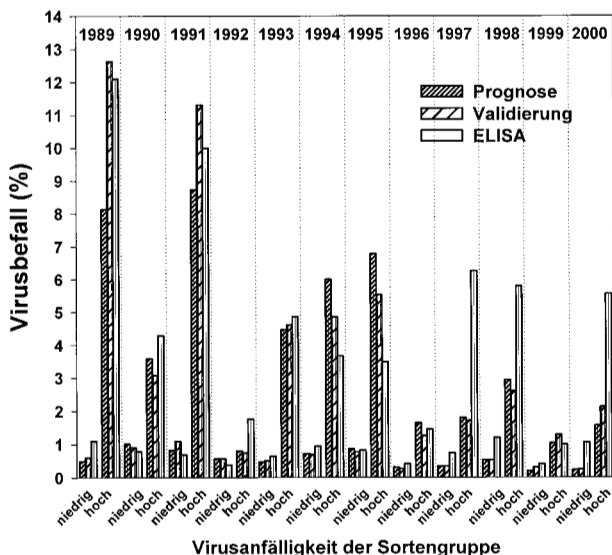


Abb. 1. Schematische Darstellung des Simulationsmodells im Prognosesystem TuberPro.

nen. Dafür würden Blattlausfangzahlen und Witterungsdaten für diese Periode benötigt, die zu diesem Zeitpunkt noch nicht verfügbar sind. Da es kaum möglich ist, diese Werte für mehrere Wochen zu prognostizieren, wird für die Prognose auf Daten vergangener Jahre abgestellt (10-jährige Mittelwerte). Bis zum Prognosezeitpunkt werden aber die Daten des aktuellen Jahres verwendet. Je später die Prognose durchgeführt wird, um so präziser wird sie.

Mit einer Validierung werden die Simulationen mit den tatsächlichen Witterungs- beziehungsweise Blattlausdaten über die ganze Beobachtungszeit geprüft. Im Prinzip handelt es sich um eine «retrospektive Prognose». Der tatsächliche Virusbefall des Pflanzgutes (Labortest) muss für die praktische Anwendung mit genügender Präzision geschätzt werden können. Eine aussagekräftige Beurteilung der Prognose bedingt einen Vergleich unter verschiedensten Umweltbedingungen. Flächen- und Virusbefallsdaten aus der Zertifizierung in der deutschsprachigen Schweiz von 1989 bis 2000: sie umfasst etwa 65 % der gesamten Pflanzgutproduktion und eignet sich daher gut zur Überprüfung der Prognosen.

Abb. 2. Vergleich zwischen dem prognostizierten (Prognose Mitte Juni; Validierung) und dem tatsächlichen Virusbefall (Herbsttest) bei den Sortengruppen mit niedriger und hoher Virusanfälligkeit (1989-2000).



Mit TuberPro werden die folgenden Prognosen berechnet:

- erwarteter Befall mit Mosaikvirus (PVY) und Blattrollvirus (PLRV);
- Wahrscheinlichkeit der Anerkennung in den Kategorien Basis (Vermehrpflanzgut = 0 - 2 % Virusbefall, davon < 1 % PVY), Zertifiziert A (2 - 10 % Virusbefall) beziehungsweise Abgewiesen (> 10 % Virusbefall);
- Knollenertrag des Pflanzgutes und Sortieranteile.

Um den Pflanzgutproduzenten Informationen über die möglichen Risiken in ihrem Bestand zu liefern, werden die verschiedenen Ausgangssituationen gruppiert:

- Drei Sortengruppen mit unterschiedlicher Virusanfälligkeit. Die Einteilung erfolgt vor allem aufgrund der Anfälligkeit gegenüber dem PVY:
 - **Hohe Anfälligkeit:** Bintje, Sirtema;
 - **Mittlere Anfälligkeit:** Aula, Charlotte, Christa, Désirée, Eba, Hertha, Iroise, Matilda, Saturna, Stella, Ukama, Urgenta;
 - **Niedrige Anfälligkeit:** Agria, Erneststolz, Granola, Hermes, Nicola, Ostara, Panda;
- Drei Regionen mit unterschiedlich starkem Blattlausdruck (z.B. ungünstige Lagen < 600 m ü.M.; günstige Lagen > 600 m ü.M.);
- Drei Klassen des Virusbefalls des Ausgangspflanzguts (0 bis 0,3 %; 0,3 bis 0,7 %; 0,7 bis 1,7 %).

Dies ergibt insgesamt 27 mögliche Situationen, für die je eine Prognose erstellt wird. Aufgrund dieser Informationen können die Pflanzgutproduzierenden ihre spezifische Situation beurteilen.

Evaluation von Bewirtschaftungsmassnahmen und Ausbildung

TuberPro eignet sich gut, um den Einfluss von Bewirtschaftungs-

massnahmen und anderen Einflussgrössen zu schätzen. Nemecek *et al.* (1995b) zeigten in ihren Untersuchungen in der Westschweiz, dass der Virusbefall vor allem durch die unkontrollierbaren Faktoren wie Blattlausflug und Witterung sowie die längerfristig strategischen Massnahmen (Wahl der Region, der Sorte und des Ausgangspflanzguts) bestimmt wird. Der Virusbefall kann aber durch taktische Massnahmen (z.B. Vorkeimung, frühe und regelmässige Säuberung, frühe Krautvernichtung) günstig beeinflusst werden. TuberPro ermöglicht eine illustrative Darstellung der Wirksamkeit von strategischen und taktischen Massnahmen.

Validierung der TuberPro-Prognosen

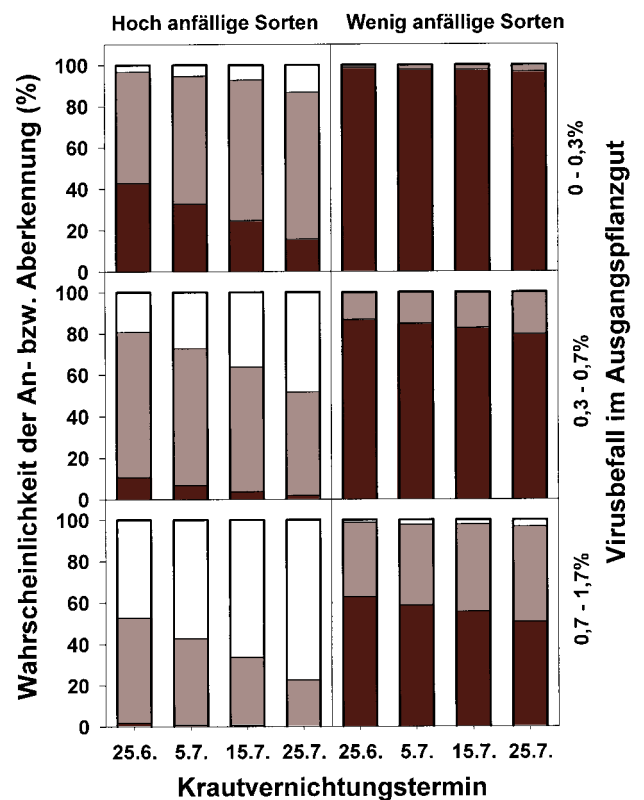
In den Jahren 1989, 1991, 1993, 1998 und 2000 wurden in der Saugfalle Reckenholz überdurchschnittlich viele Blattläuse beobachtet (Hebeisen *et al.* 1999). Ideale Witterungsbedingungen, vor allem milde Winter und günstige Temperaturverhältnisse im Frühjahr, führten in diesen Jahren zu starken Frühjahrs- und Sommerflügen. 1996 und 1999 wurden jeweils nur sehr wenige Blattläuse beobachtet. Mit TuberPro konnte der effektive Virusbefall bei den Sorten mit geringer Virusanfälligkeit in allen Jahren gut geschätzt werden (Abb. 2). Die aufgetretenen Abweichungen haben wegen des geringen Virusbefalls dieser Sorten keine praktische Relevanz. Bei der hochanfälligen Sortengruppe wurde der effektive Virusbefall 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1996 und 1999 mit TuberPro recht gut geschätzt, während er 1994 und 1995 überschätzt beziehungsweise 1997, 1998 und 2000 eindeutig unterschätzt wurde (Abb. 2). Als mögliche Ursachen der Überschätzung können der sehr frühe Blattlausflug, eine ungleiche Niederschlagsverteilung

(nasser Mai, relativ trockener Juni und Juli) sowie eine Zunahme von PLVR im Verhältnis zum Mosaikvirus in den Beständen angeführt werden. Unterschätzungen können durch eine ungenaue Schätzung des Virusbefalls im Ausgangspflanzgut, ein ungleiches Auftreten der Blattläuse in den Regionen sowie durch Wiederaustrieb mit Neuinfektionen nach der Krautvernichtung verursacht werden. 1997 konnte die Blattlausituation des zentralen Mittellandes mit der Saugfalle im Reckenholz nur ungenügend abgeschätzt werden, da eine ausgeprägte Abnahme der Blattläuse von Westen gegen Osten beobachtet wurde. Dies wurde durch eine verbesserte Validierung mit gemittelten Blattlausdaten aus den beiden Saugfallen Reckenholz und Changins klar bestätigt. Die grosse Differenz zwischen dem Virusbefall in der Prognose (Tagennummer 165) und demjenigen in der Validierung der Jahre 1989 und 1991 (Abb. 2) ist durch den Sommerflug bedingt, der stärker war als im langjährigen Mittel. Die Simulation muss in kurzen Abständen wiederholt werden, um allfällige Veränderungen in der Prognose sofort zu erfassen. Werden auch die Sorten der mittelanfälligen Sortengruppe im Vergleich berücksichtigt, ist die Übereinstimmung bei geringem ($\leq 2\%$) beziehungsweise hohem Virusbefall ($> 10\%$) gut (Daten nicht gezeigt). Im Durchschnitt der Jahre 1989 bis 2000 beträgt die absolute Abweichung über alle Sortengruppen 0,9 Virus-%. Die relative Abweichung zum tatsächlichen Mittelwert ($\bar{\varnothing} 2,4\%$) beträgt 38%. Bei einem ähnlichen Vergleich (1989-1994) wurde in der Westschweiz eine relative Abweichung von 21% zum tatsächlichen Mittelwert ($\bar{\varnothing} 3,3\%$) beobachtet (Nemecek *et al.* 1995a). Die absolute Abweichung vom prognostizierten (Mitte Juni) zum tatsächlichen

Virusbefall vergrössert sich auf 1,1 Virus-%. Die relative Abweichung beträgt 46% zum tatsächlichen Mittelwert ($\bar{\varnothing} 2,4\%$). Diese Abweichungen erscheinen recht gross. Für die praktische Anwendung genügt diese Übereinstimmung, denn die überdurchschnittliche Gefährdung der Bestände in der hochanfälligen Sortengruppe konnte in den kritischen Jahren frühzeitig aufgezeigt werden (Abb. 2). Bei den Sorten mit niedriger Virusanfälligkeit konnte in jedem Jahr unabhängig vom Blattlausdruck genügend Vermehrungspflanzgut anerkannt werden.

TuberPro optimiert den Krautvernichtungstermin

TuberPro liefert dem Pflanzgutproduzierenden Informationen über den optimalen Krautvernichtungstermin. Es kombiniert das sortentypische Risiko einer Deklassierung beziehungsweise einer Abweisung aufgrund des Virusbefalls mit dem Erreichen des optimalen Pflanzgutertrages. Aufgrund der langjährigen Blattlausituation in ihrer Region, der Virusanfälligkeit der angebauten Sorte und dem Virusbefall des Ausgangspflanzgutes (ELISA Herbsttest) können die Landwirtinnen und Landwirte die Gefährdung ihrer Bestände abschätzen. Als Beispiel (Abb. 3) wurde das Jahr 1989 zur Simulation verwendet. Obwohl es sich bezüglich Blattlausituation um eine günstige Anbaulage handelt, und der Virusbefall des Ausgangspflanzgutes gering war (0 - 0,3%), verringert sich die Wahrscheinlichkeit der Anerkennung als Vermehrungspflanzgut bei der hochanfälligen Sortengruppe bei einer Verschiebung des Krautvernichtungstermins vom 25. Juni auf den 5. Juli von 43% auf unter 33% (Abb. 3). Bei einem höheren Virusbefall des Ausgangspflanzgutes (0,3 - 0,7% resp. 0,7 - 1,7%) betrug die Wahrscheinlichkeit der Anerkennung als



Vermehrungspflanzgut zum selben Zeitpunkt weniger als 7% beziehungsweise 1%. Das Risiko einer Abweisung vergrössert sich von 5% auf mehr als 50%. Diese Prognosen entsprachen weitgehend der erzielten Ausbeute beim Vermehrungspflanzgut und dem Anteil an abgewiesenen Flächen der Sorten Bintje und Sirtema. Bei der wenig anfälligen Sortengruppe betrug die Wahrscheinlichkeit der Anerkennung als Vermehrungspflanzgut zum selben Zeitpunkt mehr als 90% bei geringer beziehungsweise 80% bei mittlerer Virusinfektion des Ausgangspflanzgutes. Erst bei starkem Virusbefall des Ausgangspflanzgutes sank die Wahrscheinlichkeit auf 60% (Abb. 3). TuberPro schätzte den Rohertrag am 5. Juli für die Sorte Bintje auf 167 ± 38 dt/ha. 80% der Bintje-Bestände sollten ertragsmässig innerhalb dieses Grenzbereiches liegen. Dieser Rohertrag zeigt, dass bei einer solchen Blattlausituation das Ertragspotenzial nicht ausgenutzt werden kann, weil das

Abb. 3. Prognose der Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmter Pflanzgutposten der Sortengruppe mit hoher beziehungsweise niedriger Virusanfälligkeit als Vermehrungspflanzgut (schwarz) oder als Zertifiziert Klasse A (grau) anerkannt beziehungsweise aberkannt wird (weiss). Es wird eine günstige Anbaulage (> 600 m ü.M.) angenommen. Der Virusbefall des Ausgangspflanzgutes wird als gering (0-0,3%), mittel (0,3-0,7%) beziehungsweise hoch (0,7-1,7%) angenommen (Risiko-Bulletin für den Produzenten, Prognosezeitpunkt 15. Juni 1989).

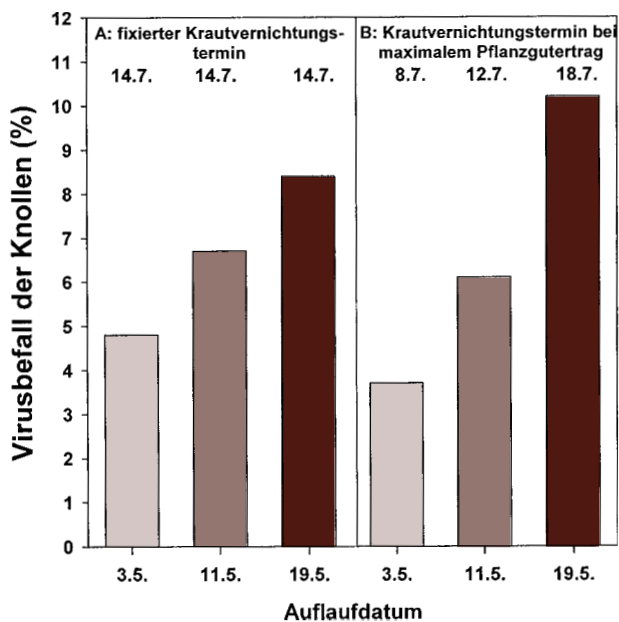


Abb. 4. Einfluss des Auflaufzeitpunktes von Pflanzkartoffeln auf den Virusbefall bei fixiertem Krautvernichtungstermin (A) beziehungsweise beim Erreichen des maximalen Pflanzgutertrages (B).

Risiko einer zu hohen Virusinfektion überwiegt.

Statistisch gesehen kann der Virusbefall des Ausgangspflanzgutes aufgrund der zu kleinen Stichprobengrösse im ELISA-Test (300 Knollen) nur ungenügend geschätzt werden. Die Produzentinnen und Produzenten müssen daher die Anzahl der gesäuberten Pflanzen in ihren Entscheidungen mitberücksichtigen. Nemecek *et al.* (1995b) zeigten in ihren Versuchen, dass im Mittel nur zirka 50 % der sekundär virusinfizierten Pflanzen durch die Säuberung entfernt werden. Unter Berücksichtigung der gesäuberten Pflanzen können die Produzierenden den Virusbefall des Ausgangspflanzgutes besser abschätzen und die für ihren Bestand zutreffende Ausgangssituation in der Prognose bestimmen. Bei verzögerter Ertragsentwicklung, aber günstiger Blattlausituation, könnten sie künftig den Krautvernichtungstermin allenfalls um einige Tage hinausschieben, um den zu diesem Zeitpunkt hohen Ertragszuwachs besser auszunützen. Dabei ist es unerlässlich, dass sie in ihren Beständen regelmässige Probegrabungen

durchführen, um das Erreichen des optimalen Pflanzgutertrages nicht zu überschreiten. Im Rahmen eines Versuches konnten die Pflanzgutproduzierenden in der Westschweiz auf einer beschränkten Fläche ihre Krautvernichtungstermine aufgrund der TuberPro-Prognosen selbst bestimmen. Es zeigte sich, dass bei den hochanfälligen Sorten Bintje, Sirtema, Charlotte und Stella bei einem späteren Krautvernichtungstermin mit einem höheren Virusbefall gerechnet werden muss. Bei den wenig bis mittelanfälligen Sorten waren die Risiken bedeutend kleiner. Seit 1998 können die Produzentinnen und Produzenten den Krautvernichtungstermin für die Produktion von Zertifiziertem Pflanzgut (Klasse A) bei den wenig und mittelanfälligen Sorten selbst bestimmen. Die ersten Erfahrungen zeigen, dass sie die Krautvernichtung meistens vor dem empfohlenen Termin durchführen, da bei diesen Sorten der Ertragsanteil der Übergrössen sehr rasch zunimmt.

Die Blattlausituation und die Prognosen werden den Vermehrungsorganisationen und ihren Produzentinnen und Produzenten mit Bulletins und auch auf dem Internet zur Verfügung gestellt.

TuberPro in der Ausbildung

TuberPro kann sehr gut eingesetzt werden, um Sachverhalte anschaulich darzustellen. Da Zufallseffekte und Störungen ausgeschaltet sind, werden Zusammenhänge oft klarer sichtbar als in einem Feldversuch. Im Beispiel (Abb. 4) zeigt sich, dass ein früheres Auflaufen zu einem niedrigeren Virusbefall führt. Dies ist hauptsächlich auf die Altersresistenz der Pflanzen gegenüber den Viren zurückzuführen. Zum Zeitpunkt, in welchem ein starker Blattlausflug einsetzt, sind die früh aufgelaufe-

nen Pflanzen bereits weniger anfällig. Die später gepflanzten sind aber noch jünger und deshalb anfälliger (Abb. 4). Die Produzentinnen und Produzenten können mit der Säuberung der sekundär-infizierten Pflanzen bereits früher beginnen und damit die Wahrscheinlichkeit von Virusübertragungen durch Blattläuse (Primärinfektionen) vermindern. Bei einer Krautvernichtung zum selben Zeitpunkt lässt sich der Virusbefall durch frühes Auflaufen bereits deutlich vermindern (Abb. 4A). Da sich der Bestand früher entwickelt, kann die Krautvernichtung zudem früher durchgeführt werden, was zu einer weiteren Reduktion des Virusbefalls führt (Abb. 4B).

Ausblick

Die im Modell eingesetzten Parameter müssen kontinuierlich auf Veränderungen untersucht werden (z.B. regionale klimatische Veränderungen, Veränderungen in den Anbaugebieten, Anbau von neuen Sorten, Vektoreigenschaften von Blattläusen, neue Virusstämme) und längerfristig im Modell angepasst werden. Der Aufwand der Blattlaushebungen könnte zukünftig dank TuberPro noch stärker reduziert werden. Dabei setzen jedoch die regionalspezifischen Besonderheiten (Kammerung) in den Produktionsgebieten der deutschsprachigen Schweiz gewisse Grenzen.

Dank

Für die Blattlausauszählungen und die Ergebnisse aus der Zertifizierung bedanken wir uns ganz herzlich bei Frau Anna Valenta und den Herren Dr. Jan Rek, Heinrich Baltensberger, Theodor Ballmer und Roger Wüthrich.

Literatur

■ Derron J.O. et Goy G., 1990. Importance relative des pucerons ailés les plus fréquemment rencontrés sur

la pomme de terre comme vecteurs du virus Y (PVY^N), compte tenu de leur mobilité. *Revue Suisse d'Agriculture* **22**, 277-281.

■ Häni A. und Winiger F.A., 1987. Wie produziert die Schweiz Pflanzkartoffeln ohne Blattlausbehandlung? *Der Kartoffelbau* **38**, 273-276.

■ Harrington R., Katis N. and Gibson R.W., 1986. Field assessment of the relative importance of different aphid species in the transmission of potato virus Y. *Potato Research* **29**, 67-76.

■ Hebeisen T., Nemecek T. and Winiger F.A., 1999. TuberPro - a computer model for forecasting yield and virus infection in seed po-

tatoes. Zusammenfassungen der 14. Dreijahrestagung der Europäischen Gesellschaft für Kartoffelforschung, Sorrento, Italien, 424-425.

■ Nemecek T., 1993. The role of aphid behaviour in the epidemiology of potato virus Y: a simulation study. PhD thesis ETH Zürich, 232 p.

■ Nemecek T., Derron J.O. et Schwärzel R., 1994a. Un modèle de simulation au service des producteurs de plants de pommes de terre. *Revue Suisse d'Agriculture* **26**, 17-20.

■ Nemecek T. et Derron J.O., 1994b. Validation et application d'un modèle de croissance de la pomme de terre. *Revue Suisse d'Agriculture* **26**, 311-315.

■ Nemecek T., Derron J.O., Schwärzel R., Goy G. et Fivaz C., 1995a. Modèle épidémiologique des virus de la pomme de terre: validation et application pour la prévision. *Revue Suisse d'Agriculture* **27**, 351-356.

■ Nemecek T., Schwärzel R. et Derron J.O., 1995b. Quels facteurs déterminent l'infection virale des pommes de terre? - Une analyse de système de la production de plants. *Revue Suisse d'Agriculture* **27**, 73-77.

RÉSUMÉ

Prise de décision concernant la date de défanage optimale avec TuberPro dans les plantons de pommes de terre

En raison du risque élevé de transmission de virus par les pucerons qui abondent sur le plateau Suisse, les producteurs de plantons de pommes de terre des variétés sensibles au virus courent un risque important d'infections virales de leurs plantons. Celles-ci peuvent être détectées à l'aide d'un test ELISA. Pour le producteur, le refus d'un lot a de graves conséquences financières. La destruction précoce des fanes, avant le vol d'été des pucerons, reste une méthode efficace pour lutter contre les contaminations de virus. Les Stations de recherches agronomiques de Zurich-Reckenholz et Nyon-Changins sont responsables du comptage des pucerons et de la fixation des dates de défanage pour chaque variété. TuberPro est un système de décision efficace qui combine l'évolution des maladies virales et la croissance des plantes de différentes variétés de pommes de terre. Le modèle calcule les risques d'infections virales en se basant sur l'abondance des pucerons (piège à aspiration) et les conditions météorologiques. Il considère aussi les capacités vectorielles des différentes espèces, la sensibilité variétale au virus et l'infection initiale du lot de départ. TuberPro est informatif dans la formation des producteurs de plantons et lors des visites de cultures, parce qu'il visualise bien les effets de différentes pratiques culturales sur le taux de virus.

Les validations ont montré que le taux de virus effectif était bien estimé par les prévisions de TuberPro dans le groupe de variétés peu sensibles au virus pendant toute la période. Pour le groupe des variétés très sensibles au virus, les prévisions étaient bonnes pour les années 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1996 et 1999, mais trop optimistes pour les années 1997, 1998 et 2000. Les raisons de cette divergence et les conséquences sont discutées.

SUMMARY

Determination of optimal haulm destruction dates in seed potatoes with TuberPro

Due to the high risk of virus transmission by aphids in the midlands of Switzerland, seed potato growers of virus susceptible varieties run the risk of high virus infections in their lots detected by ELISA test. The rejection of seed lots causes considerable economic losses. Early haulm destruction is an effective measure to prevent virus dissemination during the summer flights of aphids. The Swiss Agricultural Research Stations at Zurich-Reckenholz and Nyon-Changins are responsible for aphid monitoring and determination of the haulm destruction dates. TuberPro is an effective decision supporting system to optimise haulm destruction dates in respect to virus infection and yield development for different potato varieties. It calculates the risk of virus infection based on aphid abundance (suction trap) and meteorological data. It further considers aphid specific virus transmission efficiency, varietal virus susceptibility and initial virus infection within planted fields. It provides very instructive information for the training of seed growers and field visiting inspectors, since it clearly visualises the causes of different cultural practises on virus infection. Within the low virus susceptibility variety group, TuberPro virus infection forecasts closely corresponded in all years to the effective virus infection measured with ELISA technique. For the high virus susceptibility variety group, TuberPro virus infection forecasts were in conformity in 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1996 and 1999. Virus infection was overestimated in 1994 and 1995 respectively. However, in 1997, 1998 and 2000, virus infection forecasts were too optimistic. Possible reasons for the differences and consequences are discussed.

Key words: seed potatoes, virus infection, aphid, infection forecast