



# Ereignisorientierte Krautfäuleprognose mit PhytoPRE+2000

Keqiang CAO\*, Padruot Men FRIED, Markus RUCKSTUHL und Hans-Rudolf FORRER, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Reckenholz (FAL), CH-8046 Zürich

**In der Schweiz wurden in fünf der letzten sieben Jahre erste Krautfäuleherde in Kartoffelfeldern bereits Anfang bis Mitte Mai entdeckt. Gegenüber den achtziger Jahren müssen die Produzenten rund drei Wochen früher mit der Applikation von Fungiziden beginnen, gleichzeitig werden kürzere Spritzintervalle gewählt. Ereignisorientierte Prognosemodelle sollen künftig die lokale Infektionsgefahr schätzen und eine gezielte Bekämpfung ermöglichen.**

Vor 150 Jahren suchte die Kraut- und Knollenfäule der Kartoffel in einem beispiellosen Seuchenzug die Kartoffelfelder weiter Teile Europas heim. Die Krautfäuleepidemie hatte - nicht zuletzt auch bei uns - Hungersnöte und Auswanderungswellen zur Folge. Besonders verheerend waren die Auswirkungen für Irland, dessen Bevölkerung sich weitgehend von Kartoffeln ernährte. In nur zwei Jahren fiel die Kartoffelanbaufläche von 800'000 ha auf 120'000 ha, und die Bevölkerung nahm zwischen 1845 und 1880 von acht auf fünf Millionen Einwohner ab.

Trotz 150jähriger Forschung gilt die von *Phytophthora infestans* verursachte Kraut- und Knollenfäule weltweit auch heute noch als wichtigste Kartoffelkrankheit. Die Ausgaben für Fungizide im Kartoffelbau stiegen von 1991 bis 1994 von 1,8 auf 4,0 Milliarden US\$ (Anonym 1995, Pictipapa-Projekt). Auch bei uns hat sich die Situation verschärft: Der Einsatz von systemischen Fungiziden ist von wechselhaftem Erfolg, da immer und überall mit Resistenzproblemen gerechnet werden muss. Die Epidemien begannen in den letzten Jahren nicht erst im Juni oder Juli, sondern bereits im Mai oder gar Ende April. Infolge der frühen Epidemien und den Resistenzen hat sich nicht nur der Spritzbeginn um drei bis vier Wochen verfrüht, auch die Behandlungsintervalle wurden von vielen Produzenten verkürzt - notabene in einer Zeit, in der der Pestizideinsatz in den meisten Kulturen rückläufige Tendenz aufweist.

## Die Phytophthora-Population passt sich an

Noch sind die Gründe für die überraschende Rückkehr der Krautfäule nicht vollständig verstanden. Seit Hohl (1981) das erst-

malige Auftreten des A2-Mating-Typen in Europa beschrieb, haben verschiedene Forschungsarbeiten aufgezeigt, dass sich die genetische Diversität der Pathogenpopulation in Europa seit Ende der siebziger Jahre verbreitert hat. Es gibt klare Hinweise, dass der Pilz seither in Europa in mehreren Migrationsschüben eingeführt worden ist. Mit dem gleichzeitigen Auftreten der beiden Mating-Typen A1 und A2 muss angenommen werden, dass die *Phytophthora* auch in unseren Feldern den vollständigen sexuellen Zyklus durchlaufen und dabei genetisch fixierte Charakteren wie Virulenzen und Fungizidresistenzen neu kombinieren kann.

Möglicherweise spielen aber auch produktionstechnische Änderungen im Kartoffelbau eine wesentliche Rolle bei der Erklärung der frühen Epidemien: Eine stetig wachsende Zahl von Produzenten baut Frühkartoffeln unter Folien an, die als potentielle Infektionsquellen für Kartoffeln im Normalanbau in Frage kommen. Trotz kühler Witterung im Frühjahr kann sich die Krautfäule unter den Folien entwickeln. Beim Abdecken sind dann Infektionen der auflaufenden Kartoffeln kaum vermeidbar. Unter derart verschärften Bedingungen wird es - für einen umweltmässig vertretbaren Pflanzenschutzmitteleinsatz - immer wichtiger sein, die Krautfäulefungizide im optimalen Zeitpunkt zu applizieren. Nur so wird es bei gleichem oder gar reduziertem Fungizideinsatz möglich sein, die Krautfäule im Griff zu halten. Dies gilt nicht nur für den konventionellen und den IP-Kartoffelbau, sondern erst recht für den Anbau von Bio-Kartoffeln: Da Bio-Präparate meist relativ schwach wirken, ist ein genü-

\* akademischer Gast der FAL der Hebei Agricultural University, China

gender Schutz nur dann gewährleistet, wenn diese optimal eingesetzt werden.

## Krautfäuleprognosen mit PhytoPRE

Mit dem am Reckenholz entwickelten PhytoPRE-Prognosesystem (Forrer *et al.* 1993) haben wir wesentliche Schritte in Richtung gezielter Anwendung von Fungiziden gemacht. Von vier der bekanntesten Phytophthora-Prognosesystemen erwies sich PhytoPRE als zuverlässigstes Modell für die Vorhersage des Epidemiebeginns und damit des ersten Behandlungszeitpunktes (Gujer *et al.* 1995). Im Gegensatz zu den andern Modellen, die anhand der Witterungsentwicklung den Befallsbeginn voraussagen, wird bei PhytoPRE der Applikationszeitpunkt für die erste Spritzung aufgrund der Meldung des ersten Befallsherdes in der Schweiz festgelegt. Somit ist bei PhytoPRE das Ereignis «erster Befall» massgebend für die erste Behandlung.

Im Gegensatz zum Prognosemodul für die erste Behandlung, spielen im bisherigen PhytoPRE-Modell Befalls- und Wetterereignisse für die Folgebehandlungen nur eine zweitrangige Rolle: Die Applikationszeitpunkte werden aufgrund von minimalen bis maximalen Spritzintervallen, Niederschlägen, Sortenanfälligkeiten und der Befallsituation in der Region festgelegt. PhytoPRE gewährleistet damit zwar eine sichere Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule, wegen der verfrühten Epidemien und des eher konservativen Ansatzes sind Fungizideinsparungen mit der aktuellen PhytoPRE-Version aber eher gering.

Mit dem Ziel, den Fungizidaufwand um 50 % zu reduzieren und befalls- und wetterereignisbezogene Modelle zur Krautfäulebekämpfung zu entwickeln, versuchen wir seit 1995 epidemiologisch entscheidende Infektionsereignisse und die hierzu erforderlichen Witterungsbedingungen zu identifizieren. Dies sollte die Entwicklung eines Krautfäuleereignis-Modells ermöglichen.

## Epidemiologie-Studie mit Charlotte

Die Erhebungen hierzu führten wir von Mitte Mai bis anfangs August in einem Kartoffelfeld bei Rümlang ZH durch. Als Versuchsflächen dienten vier, über das Feld verteilte, 40 bis 100 m<sup>2</sup> grosse Parzellen (I bis IV) mit der hochanfälligen Sorte Charlotte. Die Befallsituation der vier Parzellen wurde täglich untersucht: Erhoben wurde die Zahl der befallenen Teilblätter. Danach wurden diese aus den Parzellen (Parzellen II bis IV) entfernt. Klimadaten wurden von einer SMA-Meteostation erhoben und mit Daten eines Thermohydrographen im Feld verglichen.

### Verlauf des Befalls

Der erste Befall wurde am 9. Juni 1995 in der Parzelle I entdeckt. Vier Tage später zeigten sich erste Symptome in den benachbarten Flächen II und III. In der Fläche IV wurden erste Krautfäulesymptome am 16. Juni gefunden. Der Befallsverlauf in den Parzellen I bis III geht aus Abbildung 1A hervor. Die Befallskurve von

Parzelle I zeigt den für eine ungestörte Epidemie charakteristischen S-Kurvenverlauf. In den Parzellen II und III entwickelte sich die Epidemie mit Verzögerung, da befallene Blätter entfernt wurden.

### Tägliche Befallszunahme

Um die tägliche Zunahme an neu befallenen Blättern ermitteln zu können, wurden in drei Parzellen (II bis IV) Tag für Tag alle Blätter mit Krautfäulesymptomen entfernt und gezählt oder geschätzt (bei  $N > 5000$ ). Die Kurven über die tagbezogenen Zuwachsraten zeigen zum Teil sehr deutliche Befallsmaxima (Abb. 1B): Die höchsten Befallszunahmen wurden zwischen dem 18. und 20. sowie dem 26. und 27. Juni gemessen. Am 27. Juni wurden in den Parzellen II und III 24'000 beziehungsweise 8'000 neu befallene Blätter registriert. Da es vom Arbeitsaufwand nicht mehr möglich war, alle Blätter mit Befall zu entfernen, erfolgten die weiteren Kontrollen und Zählungen in der später befallenen Parzelle IV. Die Befallskurve der Parzelle IV weist drei deutliche «Peaks» auf und gibt damit den Hinweis, dass in der Periode vom 28. Juni bis 21.

Juli günstige Infektionsbedingungen nur dreimal erfüllt waren.

### Von Latenz- und Infektionsperioden...

Die Periode von der Sporenablagerung auf einer anfälligen Pflanze bis zum Beginn der Sporulationsphase wird als Latenzperiode bezeichnet und in Tagen gemessen. Zur Ermittlung der Latenzperioden wurden alle drei Tage gesunde Charlotte-Kartoffelblätter künstlich infiziert. Die Latenzperioden betragen bis Mitte Juni sechs bis sieben Tage und gegen Ende Juli nur noch vier bis fünf Tage (Abb. 1C). Bei günstigen Bedingungen können in einem Monat so vier bis sieben aufeinanderfolgende Krautfäule-Generationen gebildet werden. Mit Hilfe der Länge der Latenzperiode konnten sodann von den Tagen mit hoher Befallshäufigkeit («Peaks» in Abb. 1B) die Tage errechnet werden, an denen die Infektionsbedingungen für einen massiven Neubefall erfüllt gewesen sein mussten. Nehmen wir zum Beispiel die vom 26. bis 27. Juni beobachteten Befallspeaks als Ausgangspunkt und ziehen die dann gemessene Latenzperiode von fünf Tagen (Abb. 1C) ab, so ergibt sich, dass die Infektionen am 21. und 22. Juni erfolgten. Die so vermuteten und für die Befallspeaks massgebenden acht Infektionstage oder -perioden sind in der Abbildung 1B mit einem Punkt markiert. Da an diesen Tagen beziehungsweise Perioden nicht nur die Infektionsbedingungen, sondern auch die Bedingungen für Sporulation und Sporenverbreitung günstig sein mussten, bezeichnen wir diese Tage als «Krautfäuleperiode».

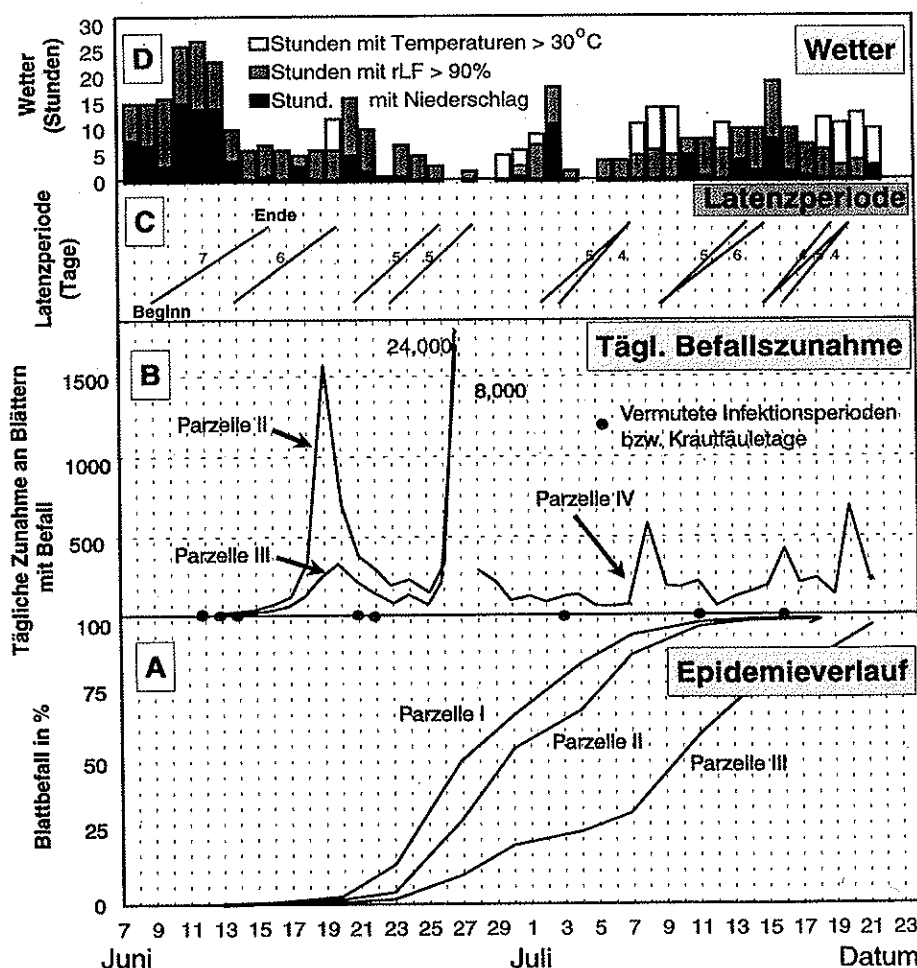


Abb. 1. Erfassung der Krautfäule-Epidemie in Charlotte in Rümlang 1995.

### ... zur Krautfäuleperiode

In Abbildung 1D sind Tagesdaten von drei für eine Krautfäuleepidemie relevanten Wetterparametern graphisch dargestellt: 1. Anzahl Stunden mit Temperaturen über 30 °C (befalls-hemmend), 2. Anzahl Stunden mit relativen Luftfeuchten über 90 % sowie 3. Anzahl Stunden mit Niederschlag (beide Parameter sind befalls-fördernd). Beachten wir die Wetterdaten an den acht Tagen mit Krautfäuleperioden, so fällt auf, dass an diesen Tagen mehrere Stunden mit Niederschlag und einer relativen Luftfeuchtigkeit von über 90 % gemessen wurden. Temperaturen über 30 °C wurden an diesen Tagen nicht beobachtet. Für die Charakterisierung der Krautfäuleperiode wurde weiter auch der Tempera-

turverlauf berücksichtigt. Aufgrund des empirischen Ansatzes werden die Witterungsbedingungen für eine Krautfäuleperiode wie folgt charakterisiert:

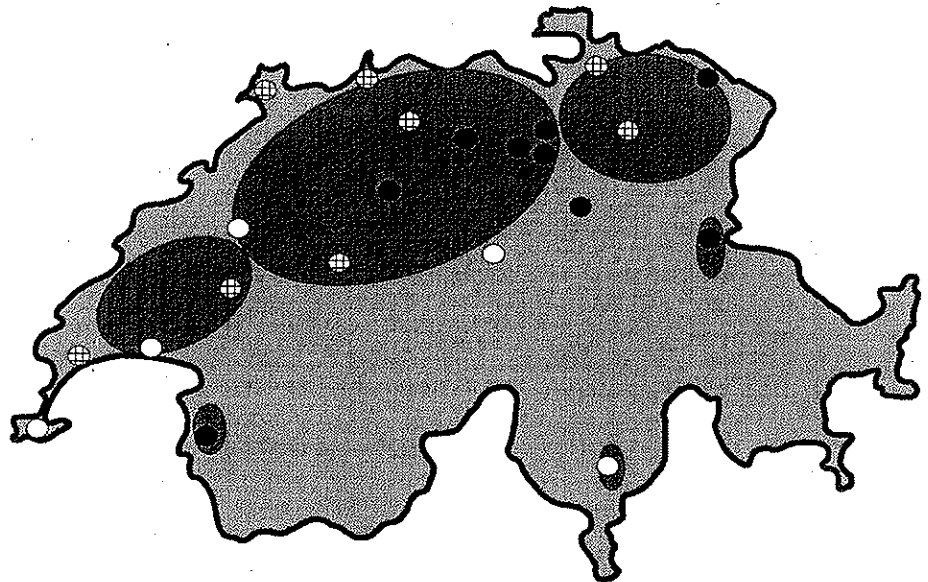
1. Innerhalb von 24 Stunden mindestens 6 Stunden mit Niederschlag bei einer Temperatur von 10 bis 20 °C.
2. Während oder kurz nach dem Regen mindestens 6 Stunden mit einer ununterbrochenen relativen Luftfeuchte von mehr als 90 %.

## Das Krautfäuleperioden-Modell

Um Hinweise über die Brauchbarkeit dieses Modells als Krautfäule-Prognosewerkzeug zu erhalten, wurden mit Wetterdaten der Jahre 1990 bis 1995 die Krautfäuleperioden für 22 SMA-Wetterstationen berechnet. Die Berechnungen erfolgten für die Zeitperiode vom 1. Mai bis zum 10. August. Die Anzahl Tage mit Krautfäuleperioden bei jeder Meteostation wurden über sechs Jahre gemittelt und zur Beurteilung der Gefährdung der Region durch die Kraut- und Knollenfäule verwendet (Abb. 2). Die so erhaltene Karte weist für die Stationen Genf, Pully, Locarno-Magadino und Neuenburg eine niedrige bis mittlere Gefährdung aus. Für andere Stationen wurde eine mittlere bis hohe Gefährdung berechnet. Zu diesen gehören neben Wynau, Beznau, Kloten, Reckenholz, Zürich und Wädenswil auch die Stationen Aigle und Vaduz. Von den PhytoPRE-Beobachtungen her wissen wir, dass es im Kanton Neuenburg, in Genf und Luzern im allgemeinen nur wenig Krautfäuleprobleme gibt. Andererseits ist auch bekannt, dass erste Herde und heftige Epidemien oft im Chablais (Aigle) und im St. Galler Rheintal (Vaduz) zu beobachten sind. Bei beiden Stationen wurden Krautfäuleperioden früher als in andern Regionen errechnet. Im Chablais kommt dazu, dass mit dem hohen Anteil an Frühkartoffeln schon sehr früh grossflächige Infektionsquellen vorhanden sind.

## Modellprüfung mit Daten aus dem Thurgau

Eine detailliertere Überprüfung des Modells erfolgte mit Wetter- und Befallsdaten des Kantons Thurgaus. Für die Befallsdaten stützten wir uns auf Befallsmeldungen aus der Praxis und auf PhytoPRE-Erhebungen: Seit 1990 werden in den wichtigsten Kartoffelanbaugebieten die Krautfäuleepidemien mit einem «Krautfäuleraster» erfasst. Rasterflächen sind - meist kleine -



Beurteilungsbasis: mittlere Anzahl Krautfäuletage pro Saison berechnet für 22 SMA-Meteostationen der Jahre 1990-1995 für die Periode vom 1. Mai bis zum 10. August.

(●) = Kartoffel-Hauptanbaugebiet; ○ = 0-9 Krautfäuletage pro Saison (KTS); ⊕ = 10-19 KTS; ● = 20-29 KTS)

Abb. 2. Charakterisierung von Kartoffelanbaugebieten bezüglich der Gefährdung durch die Kraut- und Knollenfäule.

unbehandelte Kartoffelflächen, die mindestens einmal wöchentlich auf Befall kontrolliert werden (Gujer 1991). Bezüglich der Wetterdaten stützten wir uns auf die SMA-Station Güttingen und berechneten damit modellmässig alle Tage mit Krautfäuleperioden von 1990 bis 1995 vom 1. Mai bis zum 10. August.

1990 wurde der erste Befall in Muhen (AG) am 16. Mai entdeckt (Abb. 3). Erst ab der ersten Befallsmeldung aus der Schweiz sind Krautfäuleperioden gefährlich, da sich eine Epidemie - auch bei noch so günstigem Wetter - nur beim Vorhandensein von infektiösem Material aufbauen kann. In der Grafik sind deshalb ab diesem Zeitpunkt die Säulen, welche Tage mit Krautfäuleperioden markieren, dunkel angefarbt.

Nach fünf derartigen Perioden wurde im Thurgau am 7. Juni der erste Befall (Pfeil TG) in einem Praxisfeld gefunden. Dass ein erster Befall nicht schon einige Tage nach der ersten Periode entdeckt wurde, ist naheliegend, da sich eine Epidemie anfänglich sehr langsam entwickelt und wohl zuerst drei bis vier Vermehrungszyklen durchlaufen muss, bis erste beziehungsweise deutliche Symptome entdeckt werden können. Am 20. Juni wurden weitere Befälle aus der Praxis und von einer Rasterfläche gemeldet. Am 5. Juli waren schon über 60 % der Rasterflächen befallen (Kurve in Abb. 3). Ähnliche Verhältnisse wie im Jahr 1990 zeigten sich auch von 1992 bis 1995. Im Kanton Thurgau korrelierte so in fünf von sechs Jahren das Auftreten von Krautfäule-

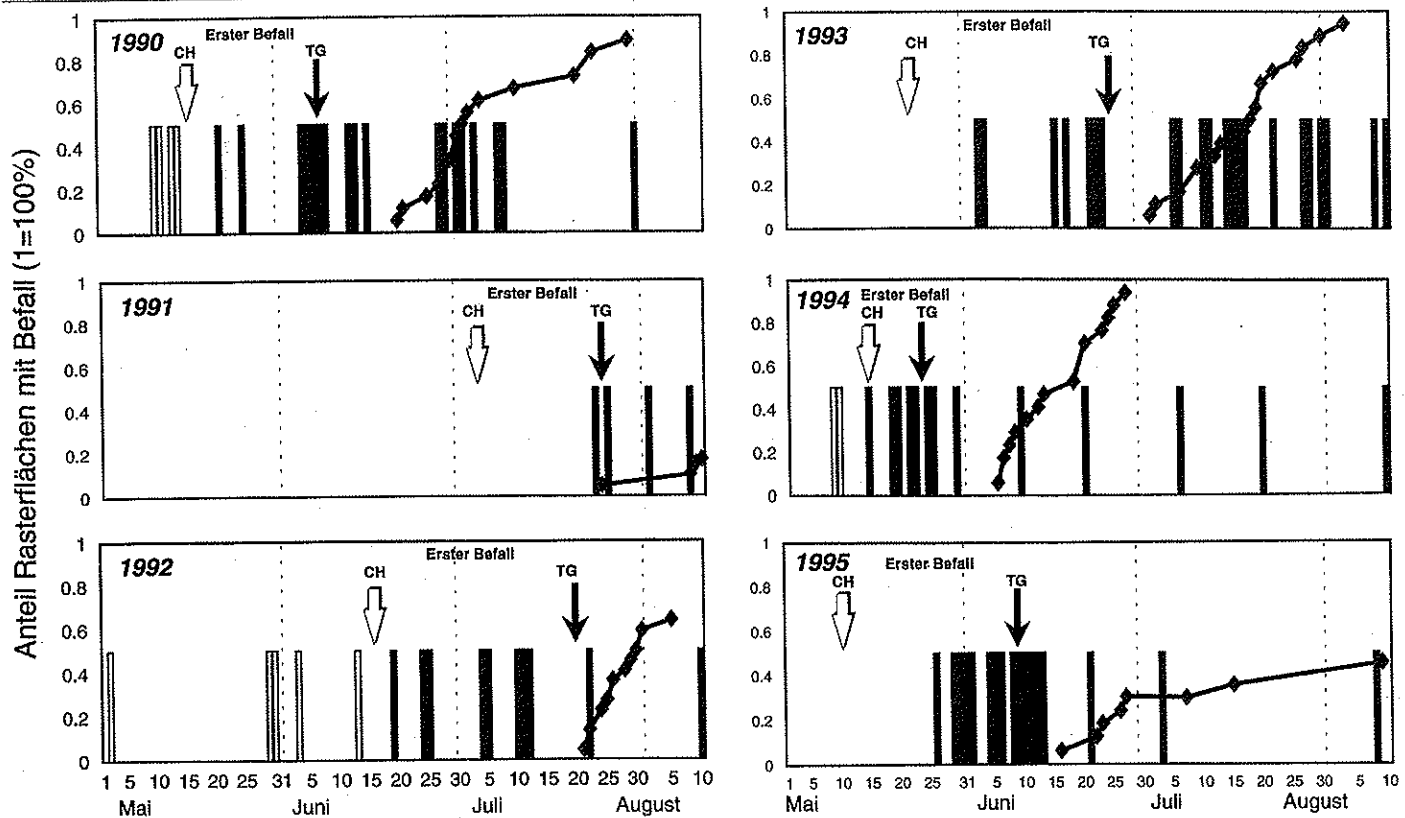
perioden nach dem schweizerischen Erstbefall gut mit Epidemiebeginn und -verlauf. Einzig im Jahr 1991 scheint die Beziehung nicht zu bestehen. Dies bedeutet nun aber nicht zwangsläufig, dass das Modell versagte. Es wäre zum Beispiel auch möglich, dass die Witterungsbedingungen in Weinfeldern zu stark von den Wetterdaten der Station Güttingen abwichen.

## Wozu Krautfäuleperioden?

Hauptziel unserer Untersuchungen ist die Modellprüfung und nicht die modellmässige Bewertung verschiedener Regionen und vergangener Jahre bezüglich Krautfäulegefährdung. Obwohl zwischen modellmässig berechneten Gefährdungen und realen Beobachtungen im Feld gute Beziehungen bestehen, haben wir damit aber noch keinen Beweis, dass das Modell immer richtig ist oder dass nicht auch bei anderen Witterungskonstellationen Krautfäuleereignisse möglich sind.

## Wie weiter?

Strenge Prüfungen und Eichungen des Modells können nur durch eine Wiederholung der epidemiologischen Erhebungen wie im Versuch Rümliang 1995 erfolgen. 1996 sollen solch arbeitsintensive Erhebungen mit täglichen Befallsauszählungen an mindestens zwei Standorten wiederholt werden.



(Die Pfeile markieren die Meldung des ersten Befalles aus dem schweiz. Mittelland (CH) bzw. dem Kanton Thurgau (TG). Die Säulen markieren die Tage, an denen die Witterungsbedingungen für einen Krautfäuletag bei der SMA-Station Güttingen erfüllt wurden. Ab Meldung des ersten CH-Befalles sind die Säulen dunkel gekennzeichnet, da von da an Inokulum vorhanden sein kann).

**Abb. 3. Beziehung zwischen modellmässig bestimmten Krautfäuletagen und dem Verlauf der Rasterbefallskurven des Thurgaus, 1990-1995.**

Parallel dazu wird das Krautfäuleperioden-Modell erstmals in Versuchen in Praxis-schlägen als Entscheidungsgrundlage für eine strikt ereignisbezogene Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule eingesetzt. Wie eine derartige Spritzfolge aussehen könnte, erläutern wir am Beispiel der Krautfäuleepidemie von 1995 im Thurgau (Abb. 3): 1995 wurde der für die Deutschschweiz massgebende erste Krautfäulebefall am 9. Mai in Glattfelden (ZH) entdeckt. Erst am 26. Mai wurde bei der SMA-Station Güttingen die erste Krautfäuleperiode (Säule in Abb. 3) registriert. Am 27. Mai wäre danach die erste Spritzung nötig gewesen. Da die Witterung bis zum 13. Juni sehr günstig für die Krautfäule war, hätte bereits am 3. Juni die zweite und am 13. Juni die dritte Behandlung appliziert werden müssen. Im folgenden wären Behandlungen nur noch um den 21. Juni, den 3. Juli und den 8. August nötig gewesen. Wären die Behandlungen gemäss einem konventionellen Spritzintervall von acht bis zehn Tagen appliziert worden, so wären anstelle von sechs, zehn bis zwölf Spritzungen ausgebracht worden. Da die sechs Modell-Behandlungen epidemiologisch optimal plaziert wurden, dürfen wir davon ausgehen, dass diese einen mindest ebenso guten Schutz gewährleisten, wie zehn bis zwölf

kalendermässige Spritzungen. Die Feldversuche in diesem Jahr werden zeigen, inwiefern diese Annahme richtig ist und was wir noch optimieren müssen. Gemäss unserem Plan sollte unser neues Krautfäule-Beratungs- und Prognosesystem mit Namen PhytoPRE+2000 schon vor der Jahrhundertwende für alle Kartoffelproduzenten verfügbar sein.

#### LITERATUR

Das Literaturverzeichnis ist bei den Autoren erhältlich.

#### RÉSUMÉ

#### PhytoPRE+2000 contre le mildiou de la pomme de terre

En 1995, un modèle a été développé qui permet le pronostic des périodes importantes des épidémies du mildiou de la pomme de terre. Une période de mildiou est caractérisée par six heures de pluie et une température de 10 à 20 °C pendant 24 heures, avec ou suivie de six heures avec une humidité relative de l'air de 90 %. Le modèle se base sur des observations épidémiologiques détaillées en plein champ. Les premiers tests indiquent qu'il y a une forte relation entre les périodes de mildiou et les épidémies enregistrées entre 1990 et

1995. Avec notre modèle, il devrait être possible d'épargner à peu près 50 % des traitements. Cette année, le modèle sera testé en pratique. Avant l'an 2000, un nouveau système de pronostic basé sur les périodes mildiou, nommé PhytoPRE+2000, devrait être accessible à tous les producteurs de pommes de terre.

#### SUMMARY

#### A new strategy to control potato late blight

Daily disease observations and inoculations with *Phytophthora infestans* allowed the identification of eight epidemiologically critical days in a field experiment with potatoes near Zurich in 1995 from May 1 to August 10. The crucial weather conditions of these eight days with „late blight periods“ are characterized as follows: Six hours of rain within 24 hours at a temperature of 10 to 20 °C. During the rain or right after the rain at least six hours of a continuous period with a relative humidity of 90 % or more is necessary. Data of late blight epidemics in Switzerland from 1990 to 1995 served to check the late blight model. In 1996 the model will be evaluated as a forecast tool for the Swiss late blight information system PhytoPRE.

**KEY WORDS:** late blight, *Phytophthora infestans*, forecast, epidemiology, potato