

Die Braunfäule der Kartoffel (*Phytophthora infestans* [Mont.] de Bary)*

Von Johannes Ullrich, Biologische Bundesanstalt, Institut für Botanik, Braunschweig

[Nachrichtenbl. Deutsch. Pflanzenschutzd. (Braunschweig) 19. 1967, 55–59]

Die Kartoffelkrautfäule gehört zu den am meisten studierten Pflanzenkrankheiten. In Anbetracht unseres umfangreichen Wissens dient sie neben den Getreiderosten bei Darstellung und Interpretation der Epidemiologie pilzlicher Pflanzenkrankheiten als Modellbeispiel. Anders steht es jedoch mit unseren Kenntnissen über die durch den gleichen Erreger hervorgerufene Braunfäule der Kartoffelknollen. Das liegt nicht zuletzt daran, daß es sich hier um eine Krankheit handelt, die durch zahlreiche, vielfältig miteinander verknüpfte Faktoren bedingt wird; die Kartoffelkrautfäule stellt dabei nur einen Teil des Komplexes dar. Heute findet aber die Braunfäule ein erhöhtes Interesse, weil ihre Bekämpfung einige Probleme aufwirft und mit der Einführung der mechanischen Vollernte die Verluste durch Knollenfäule zugenommen haben.

I. Ätiologie und Bekämpfung

Zwei verschiedene Wege führen zum Befall der Kartoffelknollen durch den Braunfäuleerreger. Während der Vegetationszeit können die Knollen infiziert werden, wenn im Verlaufe der Krautfäuleepidemie Sporangien, vom Regen abgespült, in den Boden gelangen. Bei der Rodung werden Knollen befallen, wenn diese, mehr oder weniger verletzt, mit Sporangien, die dem noch nicht völlig abgestorbenen Laub entstammen, oder mit infektiösem Boden in Berührung kommen. Beide Vorgänge sind stets miteinander verknüpft, sie können aber ganz nach den jeweiligen Verhältnissen von unterschiedlicher Bedeutung sein.

Genauere Erhebungen über das Befallsausmaß vor der Ernte sind in England durch Proberodungen in mehr als 8000 Kartoffelschlägen von 4 Sorten in den Jahren 1953–1956 durchgeführt worden (L a r g e 1958). In den drei Krautfäulejahren betrug der mittlere Befall 1,5 bis 1,7 % und erreichte im Maximum 17 %. Fehlt hingegen Krautfäule in einem größeren Gebiet, so fehlen naturgemäß auch die Voraussetzungen für die Braunfäule. So erntet man in der ariden, von Krautfäule stets freien Negevregion Israels mit Jahresniederschlägen unter 100 mm völlig gesundes Pflanzgut, das in krautfäulegefährdeten Regionen des Landes zur Sanierung verwendet werden kann (W a h l u. Mitarb. 1966).

Angesichts dieser Verhältnisse muß es überraschen, wenn seit etwa 100 Jahren immer wieder einmal berichtet wird, man habe Knollenfäule ohne einen gleichzeitigen Krautbefall beobachtet. F e h r m a n n (1963) ist derartigen Meldungen nachgegangen. Bei den vier einigermaßen sicheren Fällen war die Infektion offenbar von unmittelbar benachbarten Feldern ausgegangen. Ungeklärt blieb hierbei die Frage, wieso die benachbarten Felder befallen waren, während die zur Rede stehenden Schläge selbst angeblich keinen Befall aufwiesen. In diesem Zusammenhang ist eine Beobachtung von H ä n n i (1949) interessant. Die Knollen eines völlig abgereiften Bestandes der Sorte 'Bintje' waren nachträglich im Boden von Sporangien infiziert worden, die von Feldern mit befallenen Spätkartoffelsorten stammten. Meldungen über Braunfäule bei fehlender Krautfäule sollten stets darauf geprüft werden, ob

tatsächlich die von *Phytophthora infestans* hervorgerufene Fäule vorliegt und ob nicht doch Krautfäule vorhanden war, aber wegen des geringen Befallsmaßes übersehen wurde. Wie wir aus den älteren Untersuchungen von B o y d und H e n d e r s o n (1953) wissen, kann bereits bei einem Laubbefall von 1 %** eine relativ hohe Knollenverseuchung auftreten, die ihr Maximum bei einem Krautbefall von 5 % erreicht. Selbst bei 0,1 % Befall, d. h. bei 1 bis 2 Läsionen im Umkreise von etwa 10 m, wurden in 3 von 6 Parzellen 1–5 % Knollenbefall festgestellt. Ein derart geringer Krautfäulebefall kann bei oberflächlicher Betrachtung des Bestandes durchaus übersehen werden.

Ein anderes in den letzten Jahren oft diskutiertes Problem ist der Einfluß der chemischen Krautfäulebekämpfung auf den Knollenbefall; oft genug wurde über einen höheren Braunfäulebefall in gespritzten Feldern beim Vergleich mit ungespritzten berichtet. Hierfür bietet sich folgende Erklärung an: Durch die chemische Bekämpfung wird der Erreger nicht völlig vernichtet, vielmehr schreitet die Ausbreitung des Pilzes im Bestande weiter fort, sie ist nur je nach der Wirksamkeit des Mittels und der Zahl der Spritzungen mehr oder weniger stark gehemmt. Es werden also ständig weiter Sporangien des Pilzes gebildet, die in den Boden gelangen und die Knollen infizieren können. Im Gegensatz dazu kann bei rascher Krautfäuleentwicklung infolge fehlender Bekämpfung das Laub rasch absterben; damit wird auch der Erreger vernichtet, und die Zufuhr von Sporangien aus dem Bestande selbst hört auf. Dementsprechend wurde oft durch eine chemische Krautabtötung ein guter Bekämpfungserfolg erzielt und diese Maßnahme auch immer wieder zur Bekämpfung der Knollenfäule empfohlen (z. B. L a r g e 1954, v a n d e r Z a a g 1954). Der Erfolg einer solchen Bekämpfung hängt jedoch davon ab, wieweit diese termingerecht ist oder sein kann. Für die Kombination von Krautfäule-spritzung mit Krautabtötung geben H i r s t u. Mitarb. (1965) an, daß die größte Ernte an gesunden Knollen erhalten wird, wenn man das Kraut abtötet, ehe der Befall im gespritzten Bestand mehr als 5 % erreicht.

Zur Frage des Einflusses der Krautfäulespritzung auf den Braunfäulebefall berichteten H i r s t u. Mitarb. 1965 über 20jährige Versuche mit der Sorte 'King Edward'. Der durchschnittliche Befall betrug in gespritzten Parzellen 4,9 % gegenüber 7,2 % bei unbehandelten. Nach holländischen Erfahrungen von de L i n t und M e y e r s, die bereits 1956 veröffentlicht wurden, war der Befall in unbehandelten Parzellen je nach Sorte verschieden hoch, jedoch stets höher als in behandelten Parzellen. Bei gegenteiligen Angaben handelt es sich mehr um Einzelbeobachtungen, ich erwähne hier besonders G r a y (1958), weil nach ihren Beobachtungen diese Erscheinungen bevorzugt auf schweren Böden auftreten. Für einen Bekämpfungserfolg gegenüber der Braunfäule durch die Krautfäulespritzung ist entscheidend, ob tatsächlich die Krautfäule wirksam niedergehalten werden kann. E v a n s u. Mitarb. haben 1965 über die Zusammenhänge zwischen Spritztermin, Zahl der Spritzungen, Zeitpunkt des ersten Krautfäulebefalles und Wirksamkeit der Bekämpfung gegenüber der Kraut-

* Gekürzte Fassung eines Vortrages, gehalten bei der Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Kartoffelzüchtung und Pflanzguterzeugung am 23. November 1966 in Würzburg.

** Die prozentualen Befallsangaben beziehen sich in diesem Vortrag stets auf die englische Bonitierungsskala (Trans. Brit. Mycol. Soc. 31. 1947, 140–141).

fäule berichtet. Spritzungen unmittelbar vor Beginn der Epidemie waren am wirksamsten, betrug der Laubbefall bereits mehr als 1 %, so war der Bekämpfungserfolg weitgehend in Frage gestellt. Das deckt sich mit den älteren Angaben von L a r g e (1952), wonach Spritzungen nach Überschreiten der 0,1 %igen Befallsgrenze die Massenausbreitung des Erregers nicht mehr aufzuhalten vermögen. Diese Beobachtungen zeigen, wie entscheidend der Termin der Krautfäulebekämpfung ist. Wenn z. B. kürzlich G r a y (1965) berichtet, daß Spritzungen nach der Prognoseregulierung von B e a u m o n t den Knollenbefall nicht reduzieren, ja, der Befall schon auftrat, ehe die Bedingungen der Prognoseregulierung erfüllt waren, so besagt das nichts über die chemische Krautfäulebekämpfung, sondern mit diesen Beobachtungen wird nur etwas über die geringe Treffsicherheit der Prognoseregulierung ausgesagt. Aus diesen Erfahrungen ist zu folgern, daß eine treffsichere Krautfäuleprognose für die Bekämpfung der Braunfäule mindestens genau so wichtig ist wie für die Krautfäulebekämpfung selbst.

Das Ausmaß des Befalls der Knollen durch den Braunfäuleerreger ist abhängig von der Zahl der Sporangien und dem Zeitraum, in dem diese in den Boden gelangen. Hierbei spielen die Anfälligkeit des Laubes, der Ablauf der Krautfäuleepidemie, ihre eventuelle Bekämpfung und schließlich die Menge und Frequenz des Regens, der die Sporangien von den Blättern abspült, eine Rolle. Nach H i r s t u. Mitarb. (1965) haben mehr als 5 mm Niederschlag Knollenfäule zur Folge. Andererseits finden diese Autoren keine enge Korrelation zwischen Befallsstärke und Niederschlag. Das wird durchaus verständlich, wenn wir bedenken, wovon Wanderung und Weg der Sporangien im Boden abhängen. Hier sind die räumliche Lage der Knollen, der Grad der Bodenbedeckung, Bodentyp und Bodenfeuchtigkeit zu nennen. Bezüglich der Knollenlage stellte L a c e y (1966) kürzlich fest, daß der Knollenbefall bei Sorten mit kurzen Stolonen, bei denen die Knollen nicht nur eng beieinander, sondern auch nahe der Bodenoberfläche liegen, am größten ist. Das aber ist bekanntlich ein für die Rodung erstrebenswertes Zuchtziel. Mit zunehmender Tiefenlage der Knollen nahm übrigens, wie zu erwarten, der Befall ab.

Der Niederschlag spielt natürlich nicht nur während der Vegetationszeit, sondern besonders auch bei der Ernte eine Rolle. H ä n n i (1949) hat hierzu vor bald 20 Jahren einen instruktiven Versuch durchgeführt. Gesunde Knollen waren bei regnerischem Erntewetter nach eintägigem Liegen unter infiziertem Laub zu 80 % befallen.

Für die Infektion der Knollen an der Staude oder nach der Rodung durch anhaftende Erde kann die Infektiosität, ganz besonders der schweren Böden, bedeutsam sein. Diese kann nach der Kontamination mit den Sporangien des Pilzes mehr als 70 Tage andauern (Z a n 1962). L a c e y (1965) stellte fest, daß die Oberflächenschicht des Bodens 32 Tage nach der Krautabtötung noch infektiös war, wenn auch die Zahl der lebensfähigen Sporangien stark abgenommen hatte. G o a n g - C h e n g u. Mitarb. (1965) nehmen an, daß der Pilz im Boden chlamydosporenartige Dauerformen bildet. Dieses Ausdauern des Pilzes im Boden hat zweifellos für die Knolleninfektion eine Bedeutung, eine Überwinterung des Pilzes auf diesem Wege kann jedoch verneint werden.

Wie tritt der Pilz in die Knolle ein? Zunächst einmal durch die Epidermis der sehr jungen Knollen, eine zunehmende Ausbildung der Korkschale verhindert jedoch bald Infektionen auf diesem Wege. Dabei bleiben zunächst noch die Lentizellen als Eintrittspforten erhalten. Bei der reifenden Knolle sind diese aber im allgemeinen verschlossen. Weiterhin kann der Pilz über die Stolonen eindringen, bei abgelösten

Knollen über den Nabel und schließlich über die Augen, deren Anfälligkeit jedoch von der des Knollengewebes verschieden sein kann (D a v i l a 1964). Weitere und praktisch bedeutsame Eintrittspforten werden bei der Rodung geschaffen, indem je nach dem Rodungsprozeß mehr oder weniger zahlreiche Schalenrisse und Wunden entstehen. Als Wunden in der Schale sind auch die Infektionen durch den Pulverschorferreger *Spongospora subterranea* anzusehen, dessen Sporenlager keine Korksicht haben. Schon H ä n n i (1949) konnte feststellen, daß in einem bestimmten Falle in der Schweiz mehr als 50 % der kranken Knollen auf diesem Wege infiziert worden waren. Besonders in schlecht drainierten tonigen Böden besteht eine enge Beziehung zwischen Pulverschorf und *Phytophthora*-Befall (B o n d e 1955).

II. Wundverschluß und sekundäre Fäulen

Wie wir aus den Untersuchungen von A r t s c h w a g e r (1927) wissen, wird im Bereich von etwa 15–30° C, unmittelbar vor der Bildung eines eigentlichen Wundkorkes, in den Wänden der peripheren Zellen der Wunde zunächst Suberin eingelagert. Bei 7° C wird kein Wundkork mehr gebildet, der Wundverschluß durch Suberinbildung dauert dann 5–8 Tage. Die Auswirkungen von Wundverschluß und Wundkorkbildung auf die Infektion haben wir u. a. an ungewaschenen, also mit Erdresten behafteten Kartoffelknollen kurz nach der Ernte untersucht. Infizierten wir sofort nach der Verwundung mit *P. infestans*, so trat nur bei einem sehr geringen Prozentsatz der Knollen reine Braunfäule auf, die überwiegende Zahl der Knollen war gleichzeitig mit Bakterien infiziert. Inokulierten wir zu einem späteren Termin, so nahm der Anteil an bakterieller Fäule stark ab, weil die Suberinbildung in den peripheren Zellen in zunehmendem Maße das gleichzeitige Eindringen von Bakterien verhinderte. Infizierten wir mehr als 48 Stunden nach der Verwundung, so wurde durch die fortschreitende Wundkorkbildung auch in zunehmendem Maße dem Pilz der Eintritt verwehrt, die Infektionsrate nahm schnell ab (Abb. 1). Wir haben hier ein eindrucksvolles Beispiel für die zwar wirtschaftlich bedeutsamen, bisher aber wenig untersuchten sekundären Fäulen. Das rasche Verfaulen von mit *P. infestans* befallenem Kartoffelgewebe durch das Auftreten anderer Mikroorganismen ist so lange bekannt, wie man die Braunfäule kennt. 1956 findet sich in einer Arbeit von W a l l i n und P o l h e m u s ein kurzer Hinweis darauf, daß der *Phytophthora*-Befall nicht nur Bakterien und *Rhizoctonia* begünstigt, sondern auch das Eindringen von Nematoden. Experimentell beschäftigte sich bis zum Jahre 1943 G r a d i n a r o f f an der Biologischen Reichsanstalt in Berlin mit dieser Frage und berichtete 1957 noch einmal über diese Untersuchungen. Danach ist der Braunfäuleerreger ein Schrittmacher für eine Reihe pilzlicher und bakterieller Fäuleerreger, die für sich allein Wunden nicht zu infizieren vermögen.

Als Erreger von Folgefäulen wies G r a d i n a r o f f eine Reihe von Pilzen nach: *Fusarium culmorum*, *F. sambucinum*, 2 Formen von *F. solani*, *Aspergillus niger*, *Penicillium glaucum* und *Rhizopus nigricans*. Für sich allein verursachten diese Pilze keine Fäule, in einigen Fällen wurde auf der Wunde lediglich Luftmyzel gebildet und allenfalls das Wirtsgewebe in der obersten Schicht nekrotisiert. In Kombination mit *P. infestans* vermochten sie jedoch tiefer in die Knolle einzudringen und Fäulen hervorzurufen. Mit Bakterienaufschwemmungen aus faulen Knollen konnte G r a d i n a r o f f niemals Wundinfektionen durchführen, eine Wiederholung dieser Versuche an unserem Institut verlief ebenfalls negativ. Im Gefolge einer *Phytophthora*-

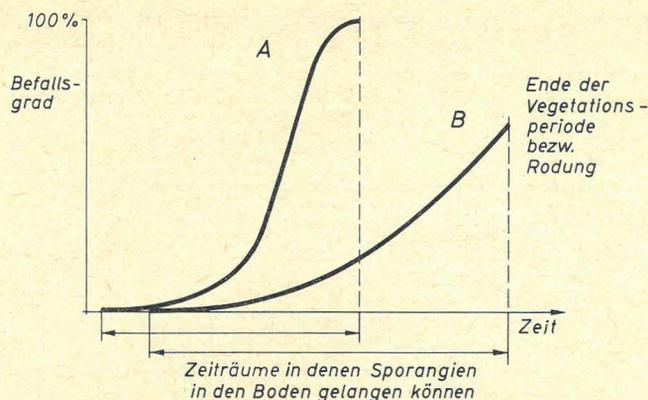


Abb. 1. Ablauf der Krautfäuleepidemie und Zeitraum der Sporangienbildung. A = rascher Ablauf der Epidemie, begünstigt durch fehlende Bekämpfung, optimale Witterungsbedingungen oder hohe Anfälligkeit der Sorte. B = langsamer Ablauf der Epidemie, begünstigt durch Bekämpfung, für den Pilz ungünstige Witterungsbedingungen oder Resistenz der Sorte.

Infektion jedoch schreitet die bakterielle Fäule rasch voran. Bei der Verjauchung des kranken Gewebes durch die Bakterien geht schließlich der primäre Fäulniserreger selbst zugrunde. Der Anteil an auf diesem Wege entstehender bakterieller Fäule kann, wie Abb. 1 zeigt, sehr hoch sein, während Infektionen durch andere Pilze im allgemeinen eine weit geringere Rolle spielen.

III. Resistenz und Resistenzprüfung

Bekanntlich haben wir bei der Kartoffel zwischen der rassenspezifischen Überempfindlichkeitsresistenz und der in gewissen Grenzen rassunenabhängigen relativen

Resistenz zu unterscheiden. Im ersten Falle geht der eingedrungene Erreger durch eine nekrotische Reaktion der Wirtszellen zugrunde. Bei Sorten mit relativer Resistenz hingegen dringt der Pilz schwerer ein, seine Entwicklung im Wirtsgewebe ist gehemmt und die Sporulationsintensität verringert.

Über das Verhalten von 15 deutschen Sorten mit Überempfindlichkeitsresistenz gegenüber den wichtigsten Rassen von *P. infestans* wurde 1965 in dieser Zeitschrift berichtet (Ullrich 1965). Die Resistenz des Laubes stimmte nicht in allen Fällen mit der Resistenz der Knollen überein. Bei einigen Sorten vermochten verschiedene Erregerassen auf der Knollenschnittfläche zu sporulieren, obwohl auf dem Blatt nur Nekrosen als Folge einer Überempfindlichkeitsreaktion auftraten. Derartige Beobachtungen sind schon vor 30 Jahren an den sog. W-Typen gemacht worden (Müller 1933, Meyer 1939, Müller und Börger 1943). Weitere Ergebnisse liegen auch aus anderen Ländern an entsprechenden Sorten vor (Takase 1957, Lapwood und McKee 1961, Davila u. Mitarb. 1962, Davila 1964).

Bonde u. Mitarb. (1940) haben bereits vor 25 Jahren gefunden, daß hohe Krautfäuleanfälligkeit mit einer gewissen Resistenz der Knollen gekoppelt sein kann und umgekehrt. Sie schlossen daraus auf eine unterschiedliche genetische Grundlage von Kraut- und Knollenresistenz. 1961 geben Lapwood und McKee an, daß die Sorten 'Orion' und 'Reaal' eine gewisse Knollenresistenz besitzen, das Kraut jedoch hochanfällig sei. Einwandfrei lassen sich derartige Unterschiede nur im Laboratorium feststellen. Bei Feldbeobachtungen darf nicht vergessen werden, wie sehr Verlauf der Krautfäuleepidemie und Krautfäuleresistenz der Sorte den Knollenbefall bestimmen; daher braucht der mehr oder weniger starke Knollenbefall keineswegs ein Merkmal unterschiedlicher Resistenz zu sein. Die Krautfäuleresistenz einer Sorte hat nämlich eine

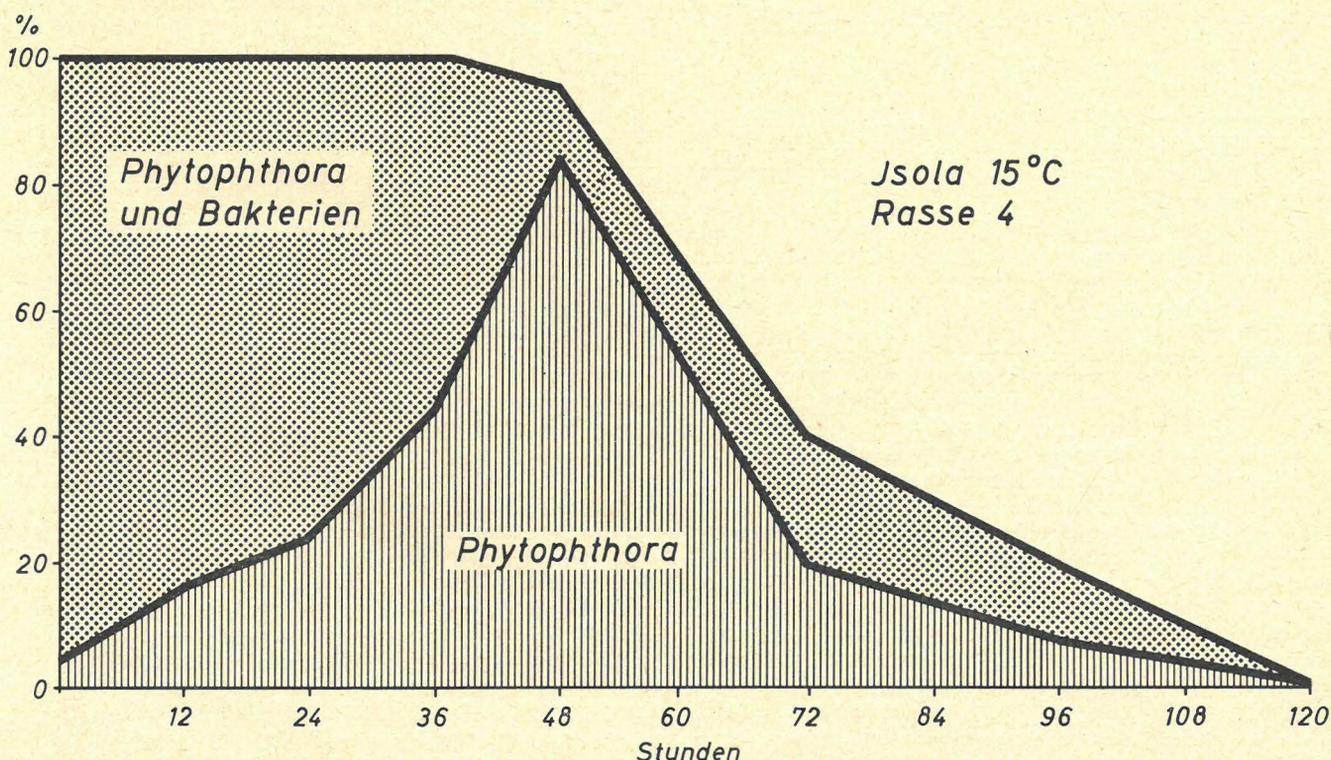


Abb. 2. Infektionsrate in % und Anteil an bakterieller Fäule bei Inokulation zu verschiedenen Zeiten nach Verwendung der Kartoffelknolle (Näheres s. Text).

ähnliche Auswirkung auf den Ablauf der Epidemie wie die chemische Bekämpfung. Hohe Anfälligkeit kann ein schnelles Absterben des Laubes und damit Vernichtung des Erregers bedeuten. In Beständen resistenter Sorten jedoch wird sich der Erreger im allgemeinen langsamer ausbreiten, damit können über einen längeren Zeitraum Sporangien in den Boden gelangen (Abb. 2). Dieses allein ist jedoch noch nicht entscheidend. Denn die Zeit, die der Pilz benötigt, um ein Kartoffelfeld völlig zu durchseuchen, hängt nicht nur von der Resistenz einer Sorte oder der Bekämpfungsmaßnahme ab. Wohl noch einflußreicher sind die äußeren Bedingungen, d. h. die Zahl primärer Infektionsquellen, Temperatur, Niederschlag usw. Daher kann es je nach Anbauort und Jahr bei ein und derselben Sorte unterschiedlich lange dauern, bis die Bestände vollständig befallen sind. Diese Unterschiede können in einzelnen Fällen durchaus größer sein als Differenzen zwischen Sorten verschiedener Resistenz, die im gleichen Jahre am gleichen Ort angebaut werden (Lapwood 1961). Welchen Einfluß die Wechselwirkung von Krautfäulebekämpfung, Krautfäule-resistenz und Witterung auf den Knollenbefall haben kann, ergibt sich aus folgender Übersicht:

Knollenfäule kann begünstigt werden durch:

- langsame Krautfäuleausbreitung bei fehlender Krautfäule-resistenz
- Krautfäule-resistenz bei fehlender oder verspäteter Bekämpfung

Knollenfäule kann vermindert werden durch:

- rasche Krautfäuleausbreitung oder chemische Krautabtötung bei fehlender oder geringer Krautfäule-resistenz
- Krautfäule-resistenz und optimale Bekämpfung

Knollenfäule fehlt oder ist gering durch:

- fehlendes „*Phytophthora*-Wetter“
- Krautfäule-resistenz, optimale Bekämpfung und Krautabtötung
- extrem hohe Krautfäule-resistenz.

Diese Verhältnisse zeigen, wie schwierig es ist, die Braunfäule-resistenz einer Sorte im Felde zu beurteilen. Um eine entsprechende Prüfung unabhängig vom Krautbefall durchführen zu können, ist es notwendig, durch die Versuchsanordnung einen weitgehend gleichen Infektionsdruck herbeizuführen. Deshalb schlägt Kostrowicka (1965) vor, Kleinparzellen mit je 4 Pflanzen in 12facher Wiederholung anzulegen, die durch künstlich infizierte Reihen einer stark anfälligen Sorte getrennt werden.

Natürlich haben auch Laboratoriumsprüfungen ihre Schwierigkeiten. Wir können hierbei nur die Resistenz gegenüber dem eigentlichen Braunfäuleerreger *P. infestans* feststellen, nicht aber gegenüber sekundären Fäuleerregern. Da diese Fäulen aber eine ausschließliche Folge der gleichzeitigen oder vorangehenden *Phytophthora*-Infektion sind, ist es durchaus von Wert, über die Resistenz der Sorten gegenüber dem Braunfäuleerreger allein informiert zu sein. Bei der Infektion der zu prüfenden Knollen sind verschiedene Wege beschritten worden. Das Tauchen ganzer Knollen in Schwärmer- oder Sporangiensuspensionen dürfte sich allein schon deshalb verbieten, weil hierfür je nach Zahl der Proben große Mengen an Pilzmaterial erforderlich sind. Daher sind bei Resistenzprüfungen die Proben meist infiziert worden, indem man die Knollen entweder mit einer Schwärmersuspension übersprühte oder künstliche Wunden bzw. Schnittflächen infizierte,

wobei ein Tropfen einer Suspension direkt oder in einem Filtrierpapierscheibchen aufgesaugt aufgebracht wurde.

Beim Übersprühen ganzer Knollen wurde nach entsprechender Inkubationszeit der Prozentsatz kranker Knollen ermittelt. Nach Howard (1965) ist dieser Test nicht empfindlich genug, um feinere Sortenunterschiede zu differenzieren, es kann nur zwischen den Stufen „Resistent“ und „Hochanfällig“ unterschieden werden. Er empfiehlt, kleine Wunden vorher ausheilen zu lassen und den Nabel abzudecken. Mooi (1964) hat dagegen nach Übersprühen ganzer Knollen mit konzentrierter Suspension und einer Inkubationszeit von 14 Tagen bei 15° C eine gute Korrelation mit Feldbefunden festgestellt. Je Test verwendete er 12–14 Knollen, mehrfache Wiederholungen sind erforderlich. Davila (1964) übersprühte ebenfalls ganze Knollen, beurteilte aber die Menge des vom Pilz durchwucherten Knollengewebes. Diese war bei Übersprühen von ganzen Knollen übrigens geringer als bei Infektion von Wunden, auch hing der Infektionserfolg von der Konzentration der zur Infektion verwendeten Sporangiensuspension ab. Lapwood (1965) hat Untersuchungen an 55 Sorten durchgeführt und mit dem Sortenverhalten im Felde verglichen. Die beste Übereinstimmung mit Feldbeobachtungen brachte ein Knollenscheibentest, weniger gut war die Übereinstimmung mit Feldbeobachtungen nach Infektion ganzer Knollen über eine künstlich mit einem Korkbohrer hergestellte Wunde. Die für den Test verwendeten jeweils 12 Knollenscheiben sollen 11 mm dick sein und werden mit einem Tropfen einer Schwärmersuspension beimpft. Die Konzentration der Suspension ist bei Beimpfung von Schnittflächen von untergeordneter Bedeutung, da nach unseren Erfahrungen mit wenigen Schwärmern bereits ein 100%iger Infektionserfolg erzielt wird. Nach zwei Tagen werden die Scheiben umgedreht und der Zeitpunkt notiert, an dem auf der anderen Seite der Scheibe Luftmyzel erscheint. Natürlich wird bei diesem Verfahren weit weniger Material benötigt als bei Verwendung ganzer Knollen, wo man für einen zuverlässigen Test mit 40–50 Knollen zu rechnen hat. Aus jeder Knolle können nach gründlichem Waschen und Abflammen mit Alkohol, je nach Größe, mehrere Scheiben geschnitten werden, wozu wir eine Brotschneidemaschine verwenden. Zur Ausschaltung von Fremdfektionen werden die Scheiben zunächst 24 Stunden liegen gelassen. Es empfiehlt sich, zur Infektion eine Rasse zu verwenden, die in der Lage ist, die Resistenz der verschiedenen eventuell vorhandenen Gene für Überempfindlichkeitsresistenz zu überwinden. Da in unseren Sorten bisher wohl nur mit den Genen 1–4 und deren Kombinationen zu rechnen ist, würde hierfür die Rasse 1.2.3.4. ausreichen.

Abschließend sei darauf hingewiesen, daß Lapwood auch gezeigt hat, warum sich bei Infektion über flache, künstliche Wunden Abweichungen von anderen Testen oder Feldbeobachtungen ergeben können. Es gibt Sorten, wie 'Record', bei denen der Befall nach oberflächlicher Verletzung kaum in das Innere der Knolle fortschreitet, während bei tieferer Verwundung rasch die ganze Knolle von der Fäule erfaßt wird. Danach gibt es bei einigen Sorten Resistenzunterschiede zwischen Rinden- und Markgewebe, wie es auch Unterschiede zwischen der Anfälligkeit des Knollengewebes von Kronen- und Nabelende gibt. Dem entspricht übrigens auch eine unterschiedliche Verteilung von verschiedensten Stoffen in der Knolle, wie sie z. B. kürzlich von Baijal und van Vliet (1966) festgestellt wurde. Natürlich wird die Krankheitsbereitschaft des Knollengewebes davon unabhängig auch von äußeren Faktoren beeinflusst, wie Temperatur oder Stickstoffernährung.

Summary

Losses from blight in the tubers comprise losses caused by infection in the ground and losses caused by infection at lifting favoured by the modern lifting technics. The amount of blight in tubers caused by infection before lifting depends on the time during which blight was actively sporing on the haulm. This time can be prolonged by chemical control, resistance of varieties or weather conditions unfavourable to the fungus, whereas biological or chemical haulm destruction reduces the amount of blight in tubers. If more than 0.1 per cent disease is present in the crop, the spraying tends to be ineffective against tuber blight. The fungicide is primarily effective against the incoming inoculum. These facts suggest the importance of forecast the onset of blight epidemics in due time.

Before the wounds of tubers caused during harvest are closed with suberine in the outer cell layer, the infection with *Phytophthora infestans* induces a high percentage of bacterial rot. The methods for testing tuber resistance are discussed. The tuber-slice test according to Lapwood gives the best results. This method is based on the assessment of the development of surface mycelium after the fungus had grown through a slice of standard thickness.

Literatur

- Artschwager, E.: Wound periderm formation in the potato as affected by temperature and humidity. *J. agric. Res.* **35**. 1927, 995-1000.
- Baijal, B. D., and Vliet, W. F. van: The chemical composition in different parts of the potato tuber during storage. *Europ. Potato J.* **9**. 1966, 179-192.
- Bonde, R.: The effect of powdery scab on the resistance of potato tubers to late blight rot. *Maine Agric. Expt. Stat. Bull.* **538**. 1955. 11 pp.
- Bonde, R., Stevenson, F. J., and Clark, C. F.: Resistance of certain potato varieties and seedling progenies to late blight in the tubers. *Phytopathology* **30**. 1940, 733-748.
- Boyd, A. E. W., and Henderson, J. M.: Susceptibility of immature potato tubers to blight. *Plant Pathol.* **2**. 1953, 113-116.
- Davila, E.: Late blight infection of potato tubers. *Amer. Potato J.* **41**. 1964, 103-104, 106-112.
- Davila, E., Monson, A., and Eide, C. J.: Late blight infection of potato tubers. *Amer. Potato J.* **39**. 1962, 390. (Abstr.).
- Evans, E., Couzens, B. J., and Griffiths, W.: Timing experiments on the control of potato blight with copper fungicides in the United Kingdom. *World Rev. Pest Control* **4**. 1965, 84-92.
- Fehrmann, H.: Untersuchungen zur Pathogenese der durch *Phytophthora infestans* hervorgerufenen Braunfäule der Kartoffelknolle. *Phytopath. Ztschr.* **46**. 1963, 371-408.
- Goang-Cheng, C., and Kuo-Kwang, L.: (On the infectivity and morphogenesis of *Phytophthora infestans* in water and soil.) *Acta phytopath. Sinica* **8**. 1965, 11-15. [Chines. m. engl. Summ.].
- Gradinaroff, L.: Über die Ätiologie komplexbedingter Knollenfäulen bei der Kartoffel. *Arb. Biol. Reichsanst.* **23**. 1943, 405-428.
- Gradinaroff, L.: (Über die Pathogenität von *Phytophthora infestans*, einiger Fusariumarten und *Rhizopus nigricans* bei Kartoffelknollen.) *Izv. Inst. Biol. „Metodij Popov“* **8**. 1957, 223-242. [Bulg. m. deutsch. Zusfassg.].
- Gray, E. G.: The control of blight in potato crops. *Scott. Agric.* **38**. 1958, 46-47.
- Gray, E. G.: The problem of tuber blight in North Scotland. *Europ. Potato J.* **8**. 1965, 185-186. (Abstr.).
- Hänni, H.: Beitrag zur Biologie und Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule der Kartoffel, verursacht durch *Phytophthora infestans* (Mont.) de By. *Phytopath. Ztschr.* **15**. 1949, 209-332.
- Hirst, J. M., Stedman, O. J., Lacey, J., and Hide, G. A.: The epidemiology of *Phytophthora infestans*. IV. Spraying trials in 1959 to 1963 and the infection of tubers. *Ann. appl. Biol.* **55**. 1965, 373-395.
- Howard, H. W.: Testing for resistance of potato tubers to infection with *Phytophthora infestans*. *Europ. Potato J.* **8**. 1965, 184. (Abstr.).
- Kostrowicka, M.: Field resistance of potato tubers to *Phytophthora infestans*. *Europ. Potato J.* **8**. 1965, 184. (Abstr.).
- Lacey, J.: The infectivity of soils containing *Phytophthora infestans*. *Ann. appl. Biol.* **56**. 1965, 363-380.
- Lacey, J.: The distribution of healthy and blighted tubers in potato ridges. *Europ. Potato J.* **9**. 1966, 86-98.
- Lapwood, D. H.: Potato haulm resistance to *Phytophthora infestans*. I. Field assessment of resistance. *Ann. appl. Biol.* **49**. 1961, 140-151.
- Lapwood, D. H.: Laboratory assessments of the susceptibility of potato-tuber tissue to blight (*Phytophthora infestans*). *Europ. Potato J.* **8**. 1965, 215-229.
- Lapwood, D. H., and McKee, R. K.: Reaction of tubers of R-gene potato clones to inoculation with specialized races of *Phytophthora infestans*. *Europ. Potato J.* **4**. 1961, 3-13.
- Large, E. C.: Trials of substitutes for sulphuric acid for potato haulm killing. II. Blight in tubers. *Plant Path.* **1**. 1952, 56-59.
- Large, E. C.: Trials of substitutes for sulphuric acid for potato haulm killing, 1952 and 1953. *Plant Path.* **3**. 1954, 90-99.
- Large, E. C.: Losses caused by potato blight in England and Wales. *Plant Path.* **7**. 1958, 39-48.
- Lint, M. M. de, en Meyers, C. P.: Resultaten van de enquête over het optreden van de aardappelziekte (*Phytophthora infestans* [Mont.] de Bary) in 1955. *Versl. en Meded. Plantenziektenkund. Dienst Wageningen* **129** (Jaarboek 1955). 1956, 116-133.
- Meyer, G.: Zellphysiologische und anatomische Untersuchungen über die Reaktion der Kartoffelknolle auf den Angriff der *Phytophthora infestans* bei Sorten verschiedener Resistenz. *Arb. Biol. Reichsanst.* **23**. 1939, 97-132.
- Mooi, J. C.: A laboratory method for testing tubers of potato varieties for "field resistance" to late blight. *Proc. 2. Triennial Conf. of the European Association for Potato Research, Pisa 1963* (1964), 195. (Abstr.).
- Müller, K. O.: Bemerkungen zur Frage der „biologischen Spezialisierung“ von *Phytophthora infestans*. *Angew. Botanik* **15**. 1933, 84-96.
- Müller, K. O., und Börger, H.: Experimentelle Untersuchungen über die *Phytophthora*-Resistenz der Kartoffel. *Arb. Biol. Reichsanst.* **23**. 1943, 189-231.
- Takase, N.: An additional report on the difference in phenotypic expressions between genes, R₁ and R₄, controlling resistance to *Phytophthora infestans* in potatoes. *Euphytica* **6**. 1957, 189-192.
- Ulrich, J.: Die Überempfindlichkeitresistenz von 15 deutschen Kartoffelsorten gegenüber dem Erreger der Kraut- und Braunfäule, *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. *Nachrichtenbl. Deutsch. Pflanzenschutzd. (Braunschweig)* **17**. 1965, 36-40.
- Wahl, I., Lev, I., and Szejnberg, A.: Effect of sowing healthy tubers on potato late blight incidence. *Scripta Hierosolymitana* **18**. 1966, 171-208.
- Wallin, J. R., and Polhemus, D. N.: The growth and development of *Phytophthora infestans* from potato tubers in steamed soil. *Plant Dis. Repr.* **40**. 1956, 534-537.
- Zaag, D. E. van der: Looftrekken of doodspuiten van aardappelen? *Tijdschr. Plantenziekten* **60**. 1954, 256-258.
- Zan, K.: Activity of *Phytophthora infestans* in soil in relation to tuber infection. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* **45**. 1962, 205-221.

Eingegangen am 27. Dezember 1966.