

# Phytophthora-Resistenz der Kartoffel

## Das Wunschmerkmal für den ökologischen Kartoffelbau

Ulrich Darsow (Groß Lüsewitz)

**W**er sich über Züchtung von Nutzpflanzen für den ökologischen Anbau informiert, findet vielfältige Aktivitäten bei Gemüse und Getreide, jedoch nur wenig bei Kartoffeln. Ursache dafür ist die Kraut- und Braunfäule. Diese Krankheit macht im konventionellen Anbau Schwierigkeiten, aber stellt für den ökologischen Kartoffelbau das Hauptproblem dar. Bislang wird der Krankheitserreger im Öko-Anbau mit Kupferpräparaten bekämpft. Da die Zulassung dieser kupferhaltigen Pflanzenschutzmittel aber 2003 ausläuft, sind die betroffenen Landwirte in Sorge. Zwar gibt es Sorten mit besserer Widerstandsfähigkeit, diese eignen sich aber kaum als Speisekartoffeln. Gibt es mittelfristig Hilfe durch Resistenzzüchtung? Eindeutig ja! In der Bundesanstalt für Züchtungsforschung an Kulturpflanzen (BAZ) trägt eine mehr als 30-jährige Züchtungsarbeit erfreuliche Früchte, die für die konventionelle wie die ökologische Kartoffelsortenzüchtung, die Landwirte und Verbraucher von hohem Interesse sein sollten.

Seit langem gehört die Kartoffel zu den Kulturen mit dem höchsten Einsatz an chemischen Pflanzenschutzmitteln. Der Hauptanteil davon richtet sich gegen *Phytophthora infestans*, den Erreger der Kraut- und Braunfäule (Abb. 1). Dieser Mikroorganismus gehört zur Gruppe der Oomyzeten, die früher als Pilze betrachtet wurden, heute aber eher den Algen der Abteilung Heterokonta zugeordnet wer-

den. Im europäischen Kartoffelanbau erfolgen bis zu 16 Fungizidbehandlungen in einer Vegetation, in außereuropäischen Gebieten mit ganzjährigem Anbau liegt die Zahl pro Jahr noch höher. Die chemische Bekämpfung beansprucht beispielsweise in den Niederlanden 8–10 % der gesamten Produktionskosten der Kartoffel. Bekämpfungskosten und verbleibende Schädigung belaufen sich in Deutsch-

land auf etwa 470 Euro/ha (150 Euro für die chemische Bekämpfung, 250 Euro Ertragseinbuße, 70 Euro Verlust durch Braunfäule). Im Laufe der letzten 20 Jahre ist der Miteinsatz durch verbesserte Prognoseverfahren und eine verfeinerte Bekämpfungssteuerung zurückgegangen. Einige Fungizide sind unwirksam geworden, weil sich der sehr wandlungsfähige Erreger an den wiederholten Einsatz angepasst hat. Auch das in den letzten Jahren beobachtete frühere Auftreten der Krautfäule wird durch eine Anpassung – das bessere Überleben von *Phytophthora* im Lager oder der Oosporen-Überwinterung im Boden – erklärt. Deshalb ist die Kraut- und Braunfäule nach fast 160 Jahren Forschung noch immer die wichtigste Kartoffelkrankheit. Das Schädigungspotenzial von *Phytophthora infestans* ist so hoch, dass grundsätzlich alle bekannten und bewährten Bekämpfungsmaßnahmen voll ausgenutzt werden müssen.

land auf etwa 470 Euro/ha (150 Euro für die chemische Bekämpfung, 250 Euro Ertragseinbuße, 70 Euro Verlust durch Braunfäule). Im Laufe der letzten 20 Jahre ist der Miteinsatz durch verbesserte Prognoseverfahren und eine verfeinerte Bekämpfungssteuerung zurückgegangen. Einige Fungizide sind unwirksam geworden, weil sich der sehr wandlungsfähige Erreger an den wiederholten Einsatz angepasst hat. Auch das in den letzten Jahren beobachtete frühere Auftreten der Krautfäule wird durch eine Anpassung – das bessere Überleben von *Phytophthora* im Lager oder der Oosporen-Überwinterung im Boden – erklärt. Deshalb ist die Kraut- und Braunfäule nach fast 160 Jahren Forschung noch immer die wichtigste Kartoffelkrankheit. Das Schädigungspotenzial von *Phytophthora infestans* ist so hoch, dass grundsätzlich alle bekannten und bewährten Bekämpfungsmaßnahmen voll ausgenutzt werden müssen.



Abb. 2: Auslese von Kartoffelsämlingen auf Krautfäuleresistenz. Links anfällige Population. Rechts Familie mit hohem Anteil hoch resistenter Pflanzen.

### Resistenzzüchtung als schwierige Alternative

Wirtsresistenz gegen *Phytophthora* wurde in keiner Phase der letzten 150



Abb. 1: Kraut- und Braunfäule der Kartoffel, verursacht durch *Phytophthora infestans*.

von Kreuzungsnachkommen, um gute Zuchtklone herauszufinden. Tabelle 1 zeigt die Gegenüberstellung beider Resistenzformen der Kartoffel gegenüber *Phytophthora infestans*. Aus dem Vergleich geht auch hervor, dass die relative Resistenz arbeitsaufwändigere Bewertungsmethoden und mehrjährige Prüfungen voraussetzt. Doch dies wird in Kauf genommen für die lang andauernde Wirkung gegen alle Pathotypen oder Rassen. Das BAZ-Institut für landwirtschaftliche Kulturen kann auf diesem Gebiet Erfolge vorweisen, die für die Züchtung unempfindlicher Kartoffelsorten von großer Bedeutung sind.

Jahre so vernachlässigt wie in den letzten 35 Jahren. Dies trifft insbesondere für die Industrieländer und deren Sortenzüchtung zu. Die Resistenzzüchtung auf der Basis der Überempfindlichkeit, so genannter R-Gene, war gescheitert. Diese Resistenzform wirkte nur gegen bestimmte Rassen oder Pathotypen des Erregers. Die chemische Bekämpfung hatte ihre hohe Zeit und erwies sich als erfolgreich. So verzichtete man darauf, die schwierig zu handhabende so genannte relative Resistenz in der Sortenzüchtung zu nutzen. Die relative (oder auch quantitative, horizontale, unspezifische) Resistenz zeichnet sich durch eine lange Wirkdauer und große Wirkungsbreite aus. An ihrer Nutzung arbeiten Züchtungsforscher derzeit weltweit. Ihr Wirkprinzip ist bisher noch unklar. Zur Resistenz tragen vermutlich viele Gene bei. Dadurch braucht man eine größere Zahl

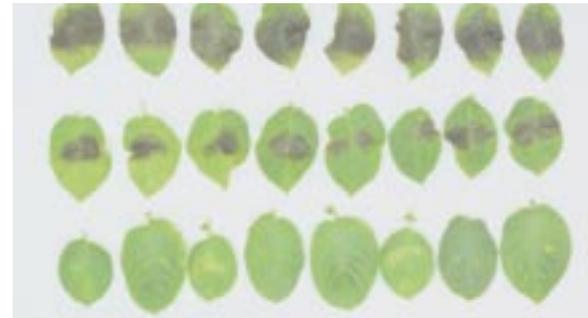


Abb. 3: Einzelblatttest von Kartoffeln auf relative Krautfäule-resistenz. Obere Reihe: anfällige Sorte. Mitte und untere Reihe: mittlere bzw. hohe Resistenz.

### Prüfungsmethoden auf Krautfäuleresistenz

Es ist durchaus möglich, grobe Unterschiede in der Resistenz von Pflanzen im Reagenzglas festzustellen. Je näher aber die Testverfahren den Anbaubedingungen



Abb. 4: Feldprüfung auf relative Krautfäuleresistenz mit Ausbringung des Erregers und Beregnung. Mittelefrüher hoch resistenter Zuchtstamm, umgeben von anfälligen bis mittel resistenten Klonen.

Tab. 1: Vergleich der bekannten Resistenzformen der Kartoffel gegenüber *Phytophthora infestans*

Merkmale	Überempfindlichkeit = R-Gen-Resistenz = vertikale Resistenz	relative Resistenz = quantitative Resistenz = horizontale Resistenz
wirkt gegenüber Rassen:	gegen bestimmte	gegen alle
Dauerhaftigkeit:	etwa 5 Jahre	ca. 25 Jahre oder länger
Umweltabhängigkeit:	gering	hoch
Abwehrreaktion:	vollständig	später, langsamer Befall möglich
Bewertung:	ja/nein	quantitativ
Vererbung:	einfach	quantitativ, polygen bedingt
Resistenzprüfung:	1 Jahr, 1–2 Methoden	6 Jahre, System von Methoden
Nutzungsdauer	1914–1975	1850–1925, 1953–heute

im Feld kommen, desto besser wird das Resistenzverhalten in der Praxis erfasst. Temperatur, Luftfeuchte, Sonnenscheindauer und Pflanzenalter sind die wichtigsten Faktoren, die über den Erfolg einer Infektion entscheiden. Bei der Resistenzprüfung werden Temperatur und Feuchte gesteuert, die Sporendichte auf einen Sollwert eingestellt und die verwendeten *Phytophthora*-Isolate nach ihrer Pathogenität ausgewählt.

Abbildung 2 zeigt zwei unterschiedliche Kreuzungsnachkommenschaften fünf Tage nach Besprühen mit *Phytophthora*-Suspension. Jede der jungen Pflanzen ging



Abb. 5: Braunfäuleresistenzprüfung im Scheibentest 6 Tage nach Tropfinokulation.

aus einem anderen Samen hervor und ist genetisch anders als ihre Nachbarn. Während die linke Familie fast nur anfällige Pflanzen enthält, zeichnen sich die Nachkommen in der rechten Kiste weitgehend

durch hohe bis sehr hohe Krautfäuleresistenz im Jugendstadium aus. In diesem frühen Sämlingsstadium verwerfen wir alle anfälligen Pflanzen, im Mittel 69 %.

Eine andere Methode der Krautfäuleresistenzprüfung stellt der Einzelblatttest dar (Abb. 3). Jede Reihe enthält die Blätter eines Klons. Während die obere Reihe das anfällige Sortenniveau repräsentiert, zeigen die beiden anderen ein unterschiedliches Niveau quantitativer Resistenz. In der dritten Stufe, der 3-jährigen Auslese auf Krautfäuleresistenz durch Feldprüfung, werden die besten Zuchtstämme als Kreuzungseltern ausgelesen. Abbildung 4 zeigt einen kleinen Ausschnitt Ende August nach rund sechswöchiger Einwirkung von *Phytophthora*, unterstützt durch Beregnung. Hier zeigt



Abb. 6: Test erntefrischer unverletzter Knollen 18 Tage nach dem Tauchen. Oben hoch anfälliger Klon, unten hoch resistenter Zuchtstamm der BAZ.



ein mittelfrüher Zuchtstamm sogar in fortschreitender Abreife fast keinen Befall bei hohem Ertrag und Speiseeignung. Durch exakte Reifezeitbewertung und reifeabhängige Resistenzberechnung gelang es uns, die Verbindung von Resistenz und Spätreife zu brechen. Das ist ein internationales Novum. Aufgrund dieses Erfolges wird es in Zukunft mittelfrühe und wahrscheinlich auch frühe Sorten mit relativer Krautfäuleresistenz geben.

Dieser Züchtungsfortschritt ist mühevoll und zeitaufwändig. So werden jährlich im Institut mehr als 36.000 aus Samen gezogene Kartoffelpflanzen auf Krautfäuleresistenz überprüft. Rund zwei Drittel davon werden als zu anfällig verworfen. Ausichtsreiche Stämme werden vermehrt und im Laufe von sechs Jahren auf rund 35–40 Einzelmerkmale untersucht. Kreuzungen folgen im Abstand von 7 Jahren. Dadurch ergeben sich lange Zeiträume der Bearbeitung.

## Prüfungsmethoden auf Braunfäuleresistenz

Wenn der Erreger nicht das Kartoffelkraut, sondern die Knolle befällt, spricht man von Braunfäule. Aus Sicht der Züchtung ist Braunfäuleresistenz ein selbstständiges, von der Krautfäuleresistenz unabhängiges Merkmal. Auch hier beginnt die Resistenzprüfung im Jahr der Aussaat an kleinen Knollen, die in Töpfen im Gewächshaus gebildet werden. Nach Abschneiden am Nabelende, Tauchen in Zoosporensuspension und sechstägiger

Tab. 2: Zuchtweg und Merkmalsbewertung in der *Phytophthora*-Resistenzzüchtung (Note 1: sehr spät, sehr gering, Note 9: sehr früh, sehr gut)

Kreuzung	Reifezeit	Krautfäuleresistenz	Braunfäuleresistenz	Speiseeignung
Wildart	1	9	9	1
Artkreuzung	1–2	8–9	8–9	1
1. Rückkreuzung	1,5–2,5	7–8	7–8	1–2
2. Rückkreuzung	2–3	6–8	6–8	1,5–2,5
3. Rückkreuzung	2,5–4	5–8	4–7,5	3–4
4. Rückkreuzung	2,5–6	4–7,5	3,5–7	3–6
Sorte	3–6	2–6	2–6	4–7

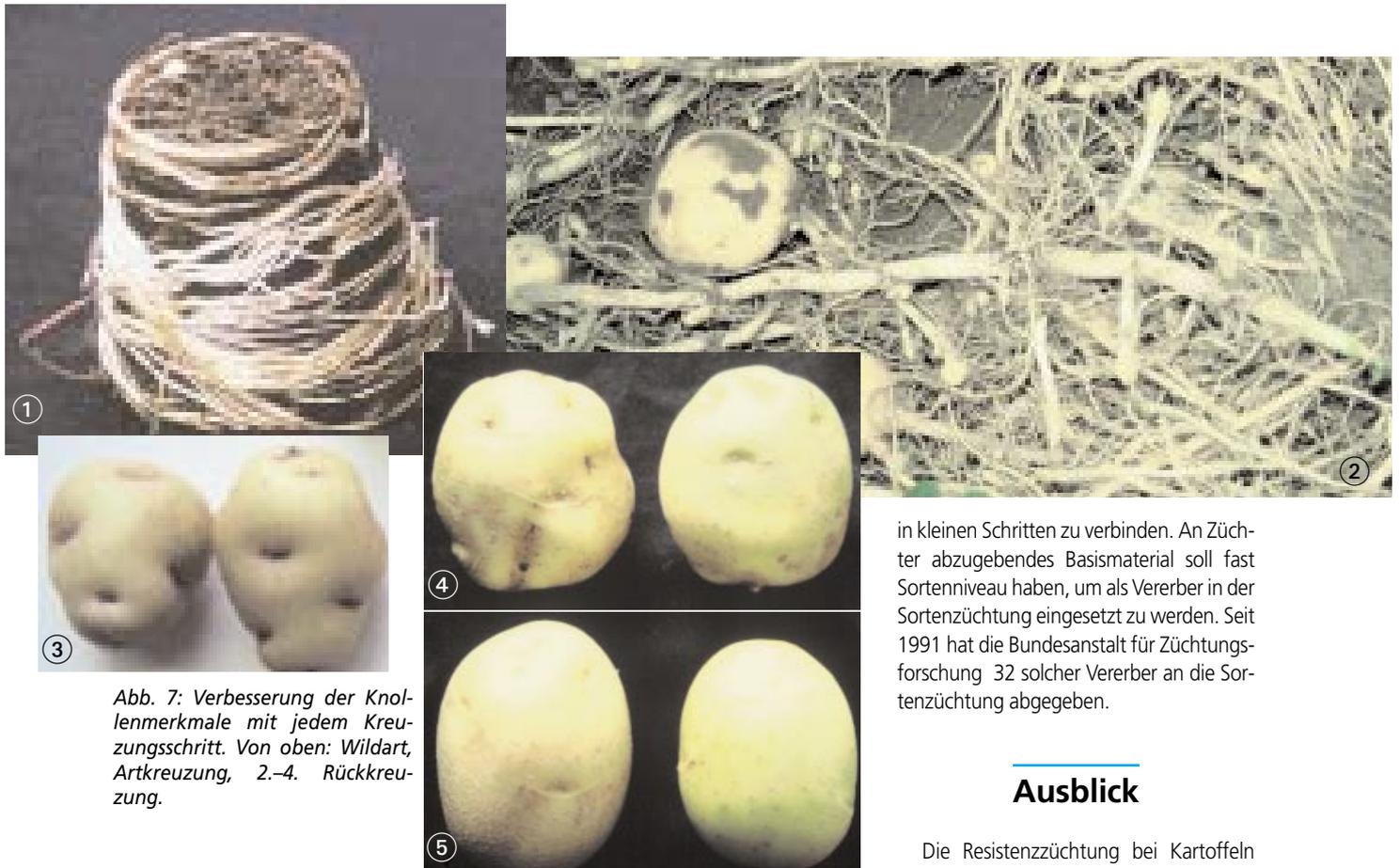


Abb. 7: Verbesserung der Knollenmerkmale mit jedem Kreuzungsschritt. Von oben: Wildart, Artkreuzung, 2.–4. Rückkreuzung.

Inkubation bei 16–17 °C erfolgt die visuelle Bewertung. An Knollen aus Feldanbau läßt sich der Scheibentest durchführen (Abb. 5). Je Zuchtstamm werden acht Scheiben geprüft. Nur befallsfreie oder gering befallene Klone kommen weiter. In einer nächsten, drei Jahre dauernden Testsstufe werden jeweils 30 erntefrische und unverletzte Knollen der besten Klone durch Tauchen in Sporensuspension auf Resistenz geprüft. Abbildung 6 zeigt zwei extreme Beispiele. Der Zuchtstamm in der rechten Schale zeichnet sich durch sehr hohe Braunfäuleresistenz, sehr gute Knollenform und flache Augen aus. Darüber hinaus hat er auch eine gute Krautfäuleresistenz. Er gilt als Beispiel für gute Zuchtklone, die fast Sortenniveau erreichen und als Vererber für *Phytophthora*-Resistenz in der Sortenzüchtung gefragt sind.

### Quellen der Phytophthora-Resistenz

Untersuchungen von *Solanum*-Arten in Genbanken haben ergeben, dass unter

den knollentragenden Wildarten der Kartoffel ausreichend resistente Ausgangsformen zur Verfügung stehen. Dabei sollte sehr hohe Resistenz an Kraut und Knollen kombiniert vorliegen und möglichst weitere günstige Merkmalsausprägung vorhanden sein. Die Resistenz wird durch 6–8 Kreuzungsschritte in Kulturkartoffeln übertragen, wobei der erste Schritt durch Kreuzung oder Protoplastenfusion erfolgen kann.

Ein Beispiel für eine Resistenzquelle aus der Wildart *Solanum demissum* zeigt Abbildung 7: Anhand der Knollengröße und -form wird die fortschreitende Verbesserung des Kulturmerkmals von Kreuzung zu Kreuzung dargestellt. Parallel sinkt das Niveau der Kraut- und Braunfäuleresistenz von der Wildart bis zur Sorte, weil jede Kreuzung eine Verteilung der Resistenzgene im Sinne einer Verdünnung bewirkt (Tab. 2). Dies ist bei polygener Vererbung der Preis für die notwendige Verbesserung der Kulturmerkmale wie Speisewert oder Ertrag. Die Lösung liegt darin, durch Kreuzung ‚resistent‘ x ‚resistent‘ einen möglichst geringen Verlust an Resistenz mit Zuchtfortschritt in den anderen Merkmalen

in kleinen Schritten zu verbinden. An Züchter abzugebendes Basismaterial soll fast Sortenniveau haben, um als Vererber in der Sortenzüchtung eingesetzt zu werden. Seit 1991 hat die Bundesanstalt für Züchtungsforschung 32 solcher Vererber an die Sortenzüchtung abgegeben.

### Ausblick

Die Resistenzzüchtung bei Kartoffeln gegenüber *Phytophthora infestans* hat im Rahmen einer nachhaltigen Landwirtschaft und im Kampf gegen den Hunger weltweit hohe Priorität. Es gibt heute gute Aussichten dafür, durch Resistenzzüchtung etwa 30 % des derzeitigen Fungizideinsatzes zu ersetzen. Die Aufnahme der Merkmale relative Kraut- und Braunfäuleresistenz in Programme der Sortenzüchtung erfordert wegen des ungünstigen Erbgangs mehr als eine Verdopplung der Sämlingspopulationen, um geeignete Nachkommen selektieren zu können.

Die nötigen Resistenzprüfungen verlangen hohen Arbeitsaufwand und hohe fachliche Qualifikation. Der züchterische Schwierigkeitsgrad und der erhebliche zeitliche Vorlauf machen die Bearbeitung dieses für Verbraucher, Landwirtschaft und Umwelt bedeutsamen Merkmals zu einer Herausforderung, der sich die Ressortforschung des BMVEL erfolgreich stellt. ■



Dr. Ulrich Darsow, Bundesanstalt für Züchtungsforschung an Kulturpflanzen, Institut für landwirtschaftliche Kulturen, 18190 Groß Lüsewitz