

GESUNDE PFLANZEN

Resistenzforschung und -züchtung als ein Schlüssel für die Landwirtschaft der Zukunft

Die Auswirkungen der Klima- und Biodiversitätskrise bedrohen die Stabilität der globalen Agrar- und Ernährungssysteme. Die Landwirtschaft der Zukunft muss dem Anspruch der Ernährungssicherung für eine wachsende Weltbevölkerung weiterhin gerecht werden. Gleichzeitig gilt es, Ressourcenschonung und einen wirtschaftlich tragfähigen Anbau miteinander zu vereinen. Während Pflanzenkrankheiten die Erträge im Acker- und Gartenbau bedrohen, setzt der Green Deal klare Zielvorgaben in Richtung einer drastischen Reduzierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes. Die Pflanzenzüchtung hält Lösungen bereit, um die Ernten vor diesem Hintergrund zu sichern. Investitionen in eine konsequente Resistenzforschung verknüpft mit der Weiterentwicklung der Resistenzzüchtung sind ein wichtiger Schlüssel für einen umweltschonenden Pflanzenbau.

Bedeutung krankheitsresistenter Kulturpflanzen

Die Krankheitserreger (Pathogene) landwirtschaftlicher Kulturpflanzen sind vielfältig: Viren, Pilze, Bakterien und tierische Schaderreger gefährden die Pflanzenbestände von der Saat bis zur Ernte. Auftreten und Ausmaß der Schäden sind stark abhängig vom Standort und den sich stetig verändernden Wetterbedingungen. Resistente und tolerante Kulturpflanzensorten sind daher ein zentrales Element des integrierten Pflanzenschutzes und tragen wesentlich zur Vorbeugung von Ertrags- und Qualitätsverlusten durch Befall mit Schadorganismen bei.

Klimawandel begünstigt Krankheitserreger

Die prognostizierten Änderungen durch den Klimawandel werden sowohl zu milderem und feuchteren Wintern als auch zu wärmeren und trockeneren Sommern führen. Eine höhere Umgebungstemperatur bewirkt auch ein vermehrtes Auftreten von Insekten. Diese verursachen durch Fraß direkte Schäden an den Pflanzen, übertragen aber beispielsweise auch Viren und Bakterien als Krankheitserreger. **Dadurch ausgelöste Erkrankungen spielen im Pflanzenanbau eine besondere Rolle, da keine chemischen Pflanzenschutzmittel für die Behandlung der Pflanzenbestände verfügbar sind. Resistente Sorten sind daher von besonderer Bedeutung.**



Pflanzenkrankheiten treten zum Teil kulturartenübergreifend auf. Zu nennen sind hier Schäden durch Gerstengelbverzwergungsviren (*Barley yellow dwarf virus*) an Getreide und das Wasserrübenvergilbungsvirus (*Turnip yellows virus*) an Raps, die beide durch Insekten übertragen werden. Bei Zuckerrüben infiziert die neu nach Deutschland eingewanderte Schilf-Glasflügelzikade Pflanzen mit einer Bakteriose, die starke Vergilbung und Ertragsverluste von bis zu 25 Prozent auslöst (*Syndrome des Basses Richesses*). Aber auch pilzliche Erreger profitieren von wärmeren Temperaturen: Das vermehrte Auftreten von *Ramularia* Blattflecken (*Ramularia collo-cygni*) in europäischen Gerstenbeständen wird in einem klaren Zusammenhang mit dem Klimawandel gesehen. Resistente Sorten sind ein entscheidender Faktor, um diesen negativen Folgen des Klimawandels für die Landwirtschaft zu begegnen.

Das Gelbverzwergungsvirus der Gerste (*Barley yellow dwarf virus*) wird durch Blattläuse übertragen.

Gemeinschaft zur Förderung
von Pflanzeninnovation e. V. (GFPI)

GFPI
Lebensbasis Pflanze



Ramularia Blattflecken an Gerste treten aufgrund des Klimawandels verstärkt in Europa auf.

Der Erfolg von Forschung und Züchtung zeigt sich in neu entwickelten gegen das Wasserrübenvergilbungsvirus resistenten Rapsorten. Die Blattlaus hatte als Überträger durch den Wegfall insektizider Beizung und mildere Winter Vorteile und konnte das Virus leichter verbreiten. Die resistenten Sorten zeigen deutlich weniger Befall.

Reduktion von Pflanzenschutzmitteln durch Anbau resistenter Sorten

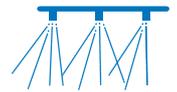
Durch den Anbau von resistenten Sorten wird die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln verringert. Dies zeigen beispielsweise neue Rebsorten mit ver-



Die Schilf-Glasflügelzikade ist ein neuer Schädling, der insbesondere Zuckerrüben bedroht und zu hohen Ertragsverlusten führt.

besserer Resistenz gegen die Pilzkrankheiten Echter und Falscher Mehltau (pilzwiderstandsfähige Sorten – PIWI). Während im Jahr 2021 viele Weinanbauflächen mit nicht resistenten Sorten erhebliche Ertragsverluste aufgrund der feuchten Witterung aufwiesen, zeigten PIWI deutlich geringere Verluste. Im Durchschnitt können 50 bis 70 Prozent der benötigten Fungizidmenge eingespart werden. Auch in Parzellenversuchen mit multi-resistenten Sorten des Winterweizens konnte eine Fungizideinsparung von bis zu 82 Prozent realisiert werden.

Dringenden Forschungsbedarf gibt es bei Kartoffeln, bei denen der pilzliche Erreger der Kraut- und



Mit multi-resistenten Sorten des Winterweizens konnte eine Fungizideinsparung von bis zu

82 % realisiert werden.



Das Wasserrübenvergilbungsvirus an Raps wird durch die Grüne Pfirsichblattlaus und die Mehligke Kohlblattlaus übertragen und führt zu Ertragsverlusten von 5 bis 15 Prozent.



Falscher Mehltau an Blatt (links) und Beeren (rechts) einer Weinrebe. Mit pilzwiderstandsfähigen Rebsorten (PIWI) lassen sich mehrere Fungizidanwendungen einsparen.

Knollenfäule regelmäßig große Schäden verursacht. Ökologischer und konventioneller Landbau sind gleichermaßen auf den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln angewiesen, um Ertragsverluste von 20 Prozent und mehr zu verhindern. Im Getreideanbau werden dringend resistente Sorten gegen den Befall mit Brandkrankheiten (u. a. Weizensteinbrand, Zwergsteinbrand) gebraucht. Die samenbürtige Verbreitung dieser Erreger ist gleichfalls für den ökologischen wie auch den konventionellen Landbau ein Problem, wenn Saatgut nicht gebeizt wird. Ein Befall kann die gesamte Ernte unbrauchbar für die menschliche und tierische Ernährung machen.

Voraussetzungen für erfolgreiche Resistenzforschung und -züchtung

Die drei wichtigsten Voraussetzungen, um gezielt Züchtung auf Resistenz betreiben zu können, sind (1) eine zuverlässige Methode zur Bestimmung der Resistenz bzw. Anfälligkeit (Phänotypisierung), (2) Pflanzenmaterial mit genetischer Variation hinsichtlich der Anfälligkeit bzw. Resistenz und (3) die Übertragung der Resistenz in adaptiertes Zuchtmaterial.

1 Exakte Bestimmung des Krankheitsbefalls

Ohne zuverlässige Methoden zur Resistenzbestimmung ist eine erfolgreiche Resistenzforschung und -züchtung nicht möglich. Es muss gewährleistet sein, dass die zu vergleichenden Pflanzen einem ähnlichen Krankheitsdruck ausgesetzt sind, der in Feldversu-

chen jedoch stark von den jeweiligen Witterungsbedingungen abhängt. Zu diesem Zweck wurden bereits Methoden entwickelt, um künstlich einen hohen Befallsdruck für wichtige Krankheiten zu erzeugen. Dazu werden zusätzlich zu den Prüfgliedern Infektionsstreifen gedrillt bzw. künstlich mit dem jeweiligen Erreger inokuliert. Anschließend muss die Ausprägung der Resistenz bestimmt werden (Phänotypisierung). Für neu auftretende Krankheiten und Krankheitserreger und insbesondere für Schäden durch Insekten sind in der Regel keine verlässlichen Methoden zur Resistenzbestimmung verfügbar.

Es besteht Bedarf für die Weiterentwicklung von Methoden, die bisher auf der visuellen Beurteilung durch technisches Personal beruhen. Innovationen in der Sensorentwicklung und bei Analysemethoden aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz bieten hier vielversprechende Ansatzpunkte.

DIE RESISTENZFORSCHUNG PROFITIERT VON DER REVOLUTION IN DER ENTSCHLÜSSELUNG DER ERBSUBSTANZ VIELER KULTURPFLANZEN.



Krautfäule (links) und Knollenfäule (rechts) wird durch den Erreger *Phytophthora infestans* ausgelöst und ist die bedeutendste Kartoffelkrankheit weltweit.

Darüber hinaus müssen Hochdurchsatzmethoden entwickelt werden, die die Untersuchung von Resistenzreaktionen in hohem Durchsatz und ohne externe Einflüsse objektiv quantifizierbar ermöglichen.

2 Identifikation von Pflanzenmaterial mit genetischer Variation in der Resistenz- ausprägung

Die Resistenzzüchtung stützt sich auf Resistenzgene, die entweder in den aktuellen Sorten mit hohem Ertragspotenzial oder in pflanzengenetischen Ressourcen unserer Kulturpflanzen (alten Sorten, Landrassen, Wildformen) vorhanden sind. Während die Herausforderungen bei der Nutzung von Resistenzgenen aus Zuchtmaterial oder aktuellen Sorten moderat sind, entsteht bei pflanzengenetischen Ressourcen ein enormer Aufwand. Dies liegt an der riesigen Datengrundlage: Etwa 7 Millionen Pflanzenakzessionen werden in über 1.700 Genbanken weltweit erhalten. Zum einen müssen in diesem Pflanzenmaterial die resistenten Pflanzen identifiziert werden. Dies gleicht der Suche nach der Nadel im Heuhaufen, da meist nur wenige pflanzengenetische Ressourcen vorteilhafte Resistenzgene tragen. Zum anderen müssen die der Resistenz zugrunde liegende Genetik aufgeklärt und entsprechende Gene identifiziert werden, damit sie in der Züchtung möglichst frei von gekoppelten nachteiligen Genen verwendet werden können. So ist es zum Beispiel bei Raps und Kartoffel für die Verwendung als Lebensmittel besonders wichtig, darauf zu achten, dass bei der Kreuzung keine Gene für qualitäts-

mindernde Eigenschaften oder ungenießbare Inhaltsstoffe eingekreuzt werden.

Um zusätzlich Variation erzeugen zu können, stellen neben chemischer oder physikalischer Mutagenese auch zielgerichtete und zeitsparende Methoden der Genomeditierung wichtige Werkzeuge für die Pflanzenzüchtung und Züchtungsforschung dar. Die Analyse pflanzengenetischen Materials mit Blick auf Resistenzeigenschaften muss im Rahmen gezielter Forschungsprogramme unterstützt werden.

3 Integrieren der Resistenz in adaptiertes Zuchtmaterial

Werden bei der systematischen Analyse von genetischen Ressourcen die gesuchten Resistenzträger gefunden, muss deren Kreuzbarkeit mit adaptiertem Zuchtmaterial gewährleistet sein.

Ist dies nicht unmittelbar der Fall, sind Methoden erforderlich, mit denen diese Kreuzungsbarrieren überwunden werden können (z. B. Brückenkreuzungen, Protoplastenfusion, Embryo Rescue). Die resultierenden Vorzüchtungsaktivitäten können Jahrzehnte in Anspruch nehmen.

Je besser die für eine Resistenz verantwortliche Gensequenz identifiziert und lokalisiert werden kann, desto effizienter kann sie in Züchtungsprogramme eingebracht werden. Das hängt sowohl von der Quelle der Resistenz als auch von der Verfügbarkeit der Methoden in der Pflanzenzüchtung ab. Die Re-



ZIEL

ist eine effiziente und nachhaltige Resistenzzüchtung. Dazu ist ein besseres Verständnis von Pflanze-Pathogen-Interaktionen erforderlich, um dauerhafte Resistenzen zu entwickeln.



Insbesondere bei der Verwendung von ungebeiztem Saatgut treten Steinbrände vermehrt in der Praxis auf. Zwergsteinbrand an Weizen (links) und Steinbrand an Weizenkörnern (rechts)

sistenzforschung profitiert hierbei von der Revolution in der Entschlüsselung der Erbsubstanz vieler Kulturpflanzen. Die Erstellung detailreicher Genom- und Pangenomsequenzen bietet neue Möglichkeiten, pflanzen genetische Ressourcen gezielter zu screenen oder erfolgversprechende Sequenzvarianten zu identifizieren, die dann in geeignetes Zuchtmaterial eingebracht werden können.

Die Entwicklung diagnostischer molekularer Marker und deren breiter Einsatz vereinfachen und beschleunigen die markergestützte Introgression der Resistenzen in adaptiertes Zuchtmaterial erheblich. Die Kombination von Informationen über die Erbsubstanz und den Krankheitsbefall ermöglicht, neue Resistenzgene aufzuspüren. Dieses Wissen ist der Schlüssel zum langfristigen Schutz von Kulturpflanzen gegen Krankheiten durch geeignete Kombinationen von qualitativen Resistenzen in Sorten. **Die aufwendigen Züchtungsaktivitäten, zum Beispiel die Identifikation von Resistenzträgern in genetischen Ressourcen und die Entwicklung von molekularen Markern, müssen durch kontinuierliche Förderung öffentlich finanziert werden.**

Ziel: Dauerhaftigkeit der Resistenzen erhöhen

Eine effiziente und nachhaltige Resistenzzüchtung erfordert sowohl ein vertieftes Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Pflanze und Krankheitserreger als auch die Kenntnis der Mechanismen, die zu einem geringeren Auftreten von

Krankheiten führen. Das gilt nicht nur für neue Resistenzquellen, sondern auch für Resistenzgene, die bereits im aktuellen Zuchtmaterial verwendet werden.

Pathogene passen sich fortlaufend an neue Umweltbedingungen, einschließlich der Veränderungen der Wirtspflanze, an. Die Wirksamkeit von Resistenzgenen kann innerhalb kurzer Zeit gebrochen werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn nur wenige Gene – im Extremfall nur eines – für die Resistenz verantwortlich sind und diese qualitativen Resistenzgene (R-Gene) in großem Umfang einge-

Welche Arten von Resistenzen gibt es?

Quantitative Resistenzen: Diese beruhen zumeist auf mehreren bis vielen Genen der Wirtspflanze und bedingen keine vollständige Resistenz. Der Selektionsdruck ist dadurch nicht so hoch und diese Resistenzen sind dauerhafter. Allerdings ist über die Art der Wirt-Pathogen-Interaktion weniger bekannt und die Züchtung von Sorten mit diesen dauerhafteren Resistenzen ist aufwendiger.

Qualitative Resistenz: Die Wirksamkeit der sogenannten R-Gene beruht auf der spezifischen Interaktion von einzelnen Resistenzgenen mit korrespondierenden Genen auf der Erregerseite. Bei einem breiten Einsatz einzelner R-Gene im Anbau werden diese jedoch aufgrund des damit erzeugten hohen Selektionsdrucks auf Pathogeneseite früher oder später durch neu auftretende, virulente Pathogenmutanten überwunden.

setzt werden. Das Problem kann verringert werden, indem mehrere verschiedene qualitative Resistenzgene durch eine mit DNA-Markern gestützte Selektion gezielt in einer Sorte kombiniert werden (Pyramidisierung). Bei diesem zeitaufwendigen Prozess kann das Einbringen von qualitativ nachteiligen Genen nicht ausgeschlossen werden (Linkage drag). Eine quantitative Resistenz wird von vielen interagierenden Genen kontrolliert und ist so schwieriger zu entschlüsseln, wirkt aber dauerhafter. Um in dem Wettlauf zwischen Wirt und Pathogen zu bestehen und Resistenzzusammenbrüche zu vermeiden, müssen die aktuellen Pathotypen bestimmt und die Informationen den Züchtungsunternehmen zeitnah bereitgestellt werden.

Grundsätzlich sollte die Virulenz aller wirtschaftlich bedeutenden Schadorganismen kontinuierlich überwacht werden (Monitoring).

In systematischen Studien müssen die genetischen Grundlagen der quantitativen Resistenz unter Verwendung moderner, hochauflösender Methoden der Populationsgenetik in Verbindung mit der Genomik wei-

terhin untersucht werden. Solche Studien versprechen ein erhöhtes Verständnis und eine verbesserte Nutzbarkeit der quantitativen Resistenzen. Beides kann dazu beitragen, dauerhafte Resistenzen in aktuellen Sorten zu etablieren.

Entwicklung resistenter Sorten braucht langfristige Förderung

Resistente Pflanzensorten sind ein wichtiger Schlüssel, um die gesamtgesellschaftlichen Herausforderungen wie einen reduzierten Pflanzenschutzmitteleinsatz und eine ausreichende Versorgung mit pflanzlichen Rohstoffen zu ermöglichen. Ihre Entwicklung erfordert kontinuierliche Investitionen in Forschung und Züchtung, denn der Weg von der Identifizierung der Resistenzquellen bis zum Einsatz in Sorten ist ein langwieriger Prozess, der mindestens ein Jahrzehnt dauert. Langfristige, aufeinander aufbauende Forschungsprogramme sind dabei eine wichtige Voraussetzung, um den Auswirkungen der Klima- und Biodiversitätskrise zu begegnen und die Ziele des Green Deal in der landwirtschaftlichen Praxis umzusetzen.

Forschungsförderung im Bereich der Resistenzforschung und -züchtung muss sich auf die folgenden Bereiche fokussieren:

- Breites und regelmäßiges Monitoring der Virulenz aller wirtschaftlich bedeutenden Schadorganismen
- Screeningverfahren für eine effizientere Phänotypisierung
- Entwicklung diagnostischer Marker, um eine schnellere Sortenentwicklung mit neuen Resistenzen/Toleranzen zu gewährleisten
- Analyse und Identifikation von Resistenzdonoren in pflanzen genetischen Ressourcen
- Entwicklung von Verfahren zur schnelleren Übertragung der Resistenzeigenschaften in angepasstes Zuchtmaterial
- Besseres Verständnis von Pflanze-Pathogen-Interaktionen, um die Dauerhaftigkeit der Resistenzen zu erhöhen

Datenschutzhinweis: Die GFPi e. V. nimmt den Datenschutz sehr ernst. Unsere Datenschutzerklärung finden Sie unter <https://www.bdp-online.de/de/GFPi/Datenschutz/>

Gemeinschaft zur Förderung von Pflanzeninnovation e. V. (GFPi)
Kaufmannstraße 71–73 | 53115 Bonn
Tel.: +49 228 98581-40 | Fax: +49 228 98581-19
gfp@bdp-online.de | www.gfpi.net

