

Wozu brauchen wir in diesem Lande noch Züchtungsforschung?

Prof. Dr. Christian Jung, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Olshausenstr. 40, 24098 Kiel, c.jung@plantbreeding.uni-kiel.de

Die aktuelle Situation der Landwirtschaft in Deutschland ist im Wesentlichen durch weiterhin sinkende Erzeugerpreise, teilweise Überproduktion und sich oft widersprechende politische Zielvorgaben gekennzeichnet. Dabei ist die politische Vorgabe des BmVEL klar: Anstelle einer effizienten, auf Ertragsmaximierung orientierten Landwirtschaft wird die organische Wirtschaftsweise propagiert, um die o.g. Probleme zu lösen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf einer möglichst naturnahen Nutzung von Boden, Pflanzen und Tieren und weitgehendem Verzicht auf Mineraldünger, Pflanzenschutzmittel und Biotechnologie. Dabei stellt sich die Frage, ob unter diesen Bedingungen die weitere Erforschung der Grundlagen der Vererbung züchterisch wertvoller Eigenschaften überhaupt noch nötig ist. Kann man nicht, wie vielfach zu hören, mit den Pflanzen, die bereits seit Jahrhunderten in der Landwirtschaft verwendet wurden, die Vorgaben viel besser erfüllen? Sind überhaupt Investitionen in die Züchtung leistungsfähiger Sorten unter Einschluss gentechnischer Verfahren im Lichte der gesellschaftspolitischen Debatte sinnvoll? Gerne berufen sich Politiker dabei auf die angeblich einhellige Ablehnung der Verbraucher gegenüber der Nutzung gentechnisch veränderter Pflanzen in der Landwirtschaft. Im Folgenden sollen die gesellschaftlichen und wissenschaftlichen Rahmenbedingungen für die Züchtungsforschung beleuchtet werden. Dabei werden Beispiele aus der landwirtschaftlichen Pflanzenzüchtung gezeigt. Die Aussagen über die zukünftige Entwicklung der Züchtungsforschung gelten prinzipiell aber auch für Zierpflanzen und Forstpflanzen.

Politische und gesellschaftspolitische Rahmenbedingungen für die Pflanzenzüchtung

Tatsache ist, dass die Pflanzenzüchtung bis in die achtziger Jahre hinein in der Gesellschaft kaum wahrgenommen wurde. Danach setzte mit der Debatte um gentechnische Veränderungen in Nutzpflanzen eine heftige gesellschaftliche Debatte ein, die bis heute nichts an Intensität verloren hat. Diese Debatte war von Anfang an von unsachlich und nicht-wissenschaftlich argumentierenden Interessengruppen dominiert. Daran hat sich leider bis heute nichts geändert. Mit dem dramatischen Zuwachs an Wissen über die Vererbung erfolgte leider keine entsprechende Weiterbildung der Bevölkerung, so dass es den interessierten Gruppen immer noch gelingt, Ängste zu schüren. In diesem Klima fällt es Wissenschaftlern aber auch den praktischen Pflanzenzüchtern sehr schwer, sich Gehör zu verschaffen und die Bürger, aber auch die Politiker, vom Nutzen der Pflanzenzüchtung im Allgemeinen und der Gentechnik im Speziellen zu überzeugen.

Züchterische Praxis in Deutschland

Die Züchtung neuer Sorten ist in Deutschland von wenigen Ausnahmen abgesehen vollständig in der Hand privatwirtschaftlicher Unternehmen. Etwa 130 Züchtungsunternehmen, die mit einer Ausnahme zu den klein- und mittelständischen Unternehmen zählen, betreiben praktische Sortenzüchtung bzw. sind an der Vermarktung von Sorten beteiligt. Unter Einschluss von Saatgutproduktion und Vermarktung sind etwa 13.000 Arbeitskräfte in diesem Bereich beschäftigt. Hinsichtlich Saatgutexporte liegt Deutschland international auf Rang 5. Dabei gehört die Pflanzenzüchtung zu den forschungsintensivsten Wirtschaftsbereichen. Nach Angaben des Bundesverbandes der Pflanzenzüchter liegt die FuE-Quote bei 17 %. Schon vor langer Zeit haben sich Pflanzenzüchter in Anbetracht des hohen Forschungsbedarfs und der beschränkten Möglichkeiten kleiner und mittlerer

Unternehmen zusammengetan, um Gemeinschaftsforschung zu finanzieren. Pflanzenzüchter sind auch wesentlich am nationalen deutschen Pflanzengenomforschungsprogramm GABI (Genomanalyse im biologischen System Pflanze) beteiligt, welches seit 1998 aus Mitteln des BMBF und der Wirtschaft gespeist wird. Pflanzenzüchterische Grundlagenforschung wird an 11 Hochschulstandorten, zwei Max-Planck-Instituten sowie einer Bundesanstalt im Bereich des BmVEL betrieben. Alle arbeiten auch mit privaten Pflanzenzüchtern zusammen, welches sich beispielsweise durch Kooperationen innerhalb von GABI manifestiert. Die praktischen Pflanzenzüchter waren und sind bereit, auch risikoreiche Projekte der Grundlagenforschung mitzufinanzieren, die möglicherweise erst nach sehr langer Zeit in die Züchtung praktischer Sorten umsetzbar sind. Dabei ist es erwähnenswert, dass die Sortenzüchtung ein sehr langwieriger Prozess ist. Bis zu 15 Jahre kann es, abhängig von der Nutzpflanzenart, dauern, bis eine Sorte nach Züchtung und Zulassungsverfahren vermarktet werden kann. Das bedeutet auch, dass Entscheidungen beispielsweise über die Nutzung gentechnisch veränderter Pflanzen, die heute gefällt werden, langfristige Auswirkungen haben.

Ziele der Pflanzenzüchtung

Es ist meiner Meinung nach aus wissenschaftlicher Sicht völlig unbestritten, dass Deutschland auch in Zukunft eine leistungsfähige und an internationalen Standards sich orientierende Züchtungsforschung braucht. Die deutsche Züchtungsforschung hat international nach wie vor einen sehr guten Ruf, jedoch besteht die große Gefahr, dass durch falsche politische Signale die Leistungsfähigkeit dieser Grundlagenwissenschaft auf Dauer beschädigt wird. Warum ist es aber wichtig, auch in Zukunft Züchtungsforschung zu betreiben?

In der Pflanzenproduktion wird man auch in Zukunft immer wieder vor neuen Herausforderungen stehen. Die Sorte als ein wichtiger Produktionsfaktor kann manchmal entscheidend mithelfen, Probleme zu lösen oder überhaupt erst einen Anbau zu ermöglichen. An erster Stelle steht nach wie vor die Erhöhung des Ertragspotentials zur Steigerung der realisierbaren Ernteerträge sowie der Ertragssicherheit durch verbesserte Resistenzen gegen Schaderreger und gegen abiotischen Stress. Daneben stehen die Verbesserung von Qualitätseigenschaften sowie veränderte Wuchseigenschaften im Vordergrund. Hier hat die Züchtungsforschung in den vergangenen Jahrzehnten herausragende Leistungen erbracht:

- Die Veränderung der Pflanzenarchitektur durch die Einführung von Kurzstrohgenen einhergehend mit einer Erhöhung der Kornzahl pro Ähre hat zu deutlichen Leistungssteigerungen in der Getreideproduktion geführt.
- Die Züchtungsforschung hat die quantitativ-genetischen und biologischen Grundlagen für die Züchtung von Hybridsorten gelegt. Dadurch konnten Hybridsorten nicht nur bei „klassischen“ Kulturen wie Mais und Zuckerrüben, sondern in den letzten Jahren auch bei Roggen und Raps erzeugt werden. Für alle Arten hat die Einführung von Hybriden zu deutlichen Leistungssteigerungen geführt.
- Die Tatsache, dass in Deutschland auf über 1,3 Millionen Hektar Raps angebaut wird, ist im Wesentlichen der Züchtungsforschung zu verdanken. Die Erstellung entsprechender züchterischer Prototypen mit neuartigen Qualitätseigenschaften war die Grundlage für die Nutzung von Rapsöl für die menschliche Ernährung.
- Der existenziellen Bedrohung des Zuckerrübenanbaus in weiten Teilen Deutschlands durch das Rhizomania-Virus konnte durch die Züchtung Rhizomania-resistenter Sorten erfolgreich begegnet werden.

Die Beispiele erfolgreicher Züchtungsforschung lassen sich beliebig fortsetzen. Und es ist absehbar, dass auch in Zukunft neue Herausforderungen an die Pflanzenzüchtung gestellt werden. Dies gilt übrigens auch für die organische Wirtschaftsweise. Als Beispiel sei die

Züchtung auf Resistenz gegen Brandpilze genannt. Diese Krankheitserreger spielten in den letzten Jahrzehnten in der Getreideproduktion in Deutschland keine Rolle mehr, weil sie durch die umfassende Saatgutbeizung hervorragend kontrolliert werden. Da die Beizung mit chemischen Pflanzenschutzmitteln im ökologischen Landbau nicht erlaubt ist, traten dort diese Krankheiten wieder in verstärktem Maße auf. Daher musste das neue Ziel Brandresistenz definiert werden, welches inzwischen durch die Züchtungsforschung angegangen wird. Weitere Beispiele vor allem im Bereich Krankheitsresistenz aber auch bei der wichtigen Eigenschaft Nährstoffaneignungsvermögen ließen sich hier anführen. In diesem Zusammenhang sei auf zwei Publikationen über die Zukunft agrarwissenschaftlicher Forschung hingewiesen; die Denkschrift „Perspektiven der agrarwissenschaftlichen Forschung“ der DFG und „Plants for the Future“ der Europäischen Kommission (EUR 21359 EN). Beide befassen sich auch ausführlich mit der Zukunft der Züchtungsforschung.

Biotechnologische Methoden in der Pflanzenzüchtung

Seit über 30 Jahren werden biotechnologische Methoden in der Pflanzenzüchtung eingesetzt. Pflanzen werden aus Sproßmeristemen oder Einzelzellen *in vitro* vermehrt, doppelhaploide Pflanzen können durch Kultivierung von Antheren gewonnen werden und molekulare Marker werden als Selektionshilfen eingesetzt. Während diese Methoden in der Öffentlichkeit mehr oder weniger unbeachtet blieben, richtet sich nach wie vor massive Kritik gegen den Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen (GvP). Seitdem es vor mehr als 20 Jahren zum ersten Mal gelungen ist, fertile gentechnisch veränderte Pflanzen zu erzeugen, hat diese Methode seit Ende der achtziger Jahre Einzug in die praktische Sortenzüchtung gehalten. Seitdem 1996 zum ersten Mal gentechnisch veränderte Pflanzen in nennenswertem Maße angebaut worden sind, hat sich deren Fläche auf über 80 Millionen ha im Jahr 2004 ausgeweitet. In zahlreichen Ländern werden gentechnisch veränderte Mais-, Soja-, Baumwoll- und Rapspflanzen angebaut. In der Europäischen Union ist allerdings von wenigen Ausnahmen abgesehen kein nennenswerter Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen zu verzeichnen.

Es fällt auf, dass trotz erheblicher Bemühungen der Züchtungsforschung bisher nur zwei gentechnische Veränderungen den Weg in den praktischen Anbau gefunden haben, nämlich Herbizidtoleranzen und Insektenresistenz. Obwohl zahlreich GvP mit alternativen Eigenschaften bis zur Sortenreife gezüchtet worden sind, werden diese, von wenigen Ausnahmen abgesehen, nicht kommerziell genutzt. Dies ist zum einen durch politische Restriktionen und mangelnde Akzeptanz der Konsumenten bedingt. Zum anderen haben Züchtungsforschung und praktische Züchtung alternative Wege gefunden, um die gleichen Zuchtziele mit nicht-gentechnisch veränderten Pflanzen zu erreichen. Ein Beispiel stellt die Virusresistenz bei Zuckerrüben dar, die einerseits durch gentechnische Veränderungen, andererseits aber auch durch Einführung von Resistenzen aus Wildarten erreicht werden konnte. Ein weiterer Grund liegt darin, dass zahlreiche wichtige Eigenschaften bisher einer gentechnischen Veränderung nicht zugänglich waren. Das liegt daran, dass diese Eigenschaften durch das Zusammenwirken mehrerer oder vieler Gene bedingt sind. Es ist nach wie vor nicht möglich, derartige polygen bedingte Eigenschaften gentechnisch zu verändern. Zum anderen aber waren die entsprechenden Gene überhaupt noch nicht verfügbar, so dass an eine gentechnische Veränderung nicht zu denken war. Dies änderte sich in den letzten Jahren durch die Ergebnisse der Genomforschung, die die gezielte Veränderung von ertragsbestimmenden Eigenschaften ermöglicht.

Ziele und Methoden der der Genomforschung

Große Hoffnungen werden seitens der Züchter in die Pflanzengenomforschung gesetzt. Seit über 10 Jahren gibt es Projekte zur systematischen Erforschung von Pflanzengenomen mit

dem Ziel, die Anordnung der Gene auf den Chromosomen zu bestimmen und Gene zu identifizieren, die an der Ausprägung züchterisch wertvoller Eigenschaften beteiligt sind. Heute wird zwischen struktureller und funktioneller Pflanzengenomforschung unterschieden. Die strukturelle Pflanzengenomforschung hat das Ziel, auf verschiedenen Ebenen die Struktur eines Pflanzengenoms zu erforschen. Das Endprodukt ist die vollständige Sequenz des Kerngenoms. Das Ziel der funktionellen Genomforschung besteht darin, die Funktion und Aktivität der beschriebenen Gene zu analysieren.

Die molekulare Analyse von Nutzpflanzengenomen beginnt i.d.R. mit der Erstellung umfangreicher genetischer Karten, die das Genom vollständig abdecken. Dafür werden in zunehmenden Maße molekulare Marker genutzt, die auf der Detektion von Einzelbasenpolymorphismen („single nucleotide polymorphisms“, SNPs) beruhen und somit bestimmte, genau definierte Abschnitte eines Genoms markieren. Sie ermöglichen eine rasche und kostengünstige Genotypisierung von Populationen und erfüllen damit eine wichtige Voraussetzung für den Einsatz in der Pflanzenzüchtung. Es gibt heutzutage umfangreiche Markerkarten von allen wichtigen Nutzpflanzengenomen. Als nächster Schritt erfolgt die Identifizierung von Genomregionen, in denen sich Gene befinden, die für die Vererbung einfach oder komplex (quantitativ) vererbter Eigenschaften verantwortlich sind. Im ersten Fall spricht man auch von mendelnden Genen, im zweiten von „quantitative trait loci“ (QTL), die lediglich einen Teil der genetischen Varianz eines Merkmals erklären. Marker, die mit derartigen Genen eng assoziiert sind, können später in der Sortenzüchtung als selektierbare Marker eingesetzt werden. Ein weiteres Ziel besteht in der umfassenden Klonierung von Genomen in geeignete Vektoren, die sehr große Sequenzabschnitte aufnehmen können („bacterial artificial chromosomes“, BACs). Mit Hilfe dieser Klonbibliotheken können physische Karten bestimmter Genomabschnitte oder gar ganzer Chromosomen erstellt werden und es können einzelne Gene kloniert und analysiert werden. Schließlich wurden in den letzten Jahren die abgelesenen (transkribierten) Genomabschnitte, die lediglich einen kleinen Teil des Genoms einer Nutzpflanze ausmachen, systematisch kloniert und sequenziert. Die Sequenzen werden als „expressed sequence tags“ (ESTs) bezeichnet. Sie ermöglichen den direkten Zugriff auf einzelne Gene, die eine bestimmte Funktion in einer Pflanze erfüllen. Es gibt umfangreiche EST-Kollektionen von allen wichtigen Nutzpflanzen, die öffentlich verfügbar sind. Darüber hinaus schätzt man, dass alleine für den Mais mehrere Millionen ESTs in privatwirtschaftlichen Züchtungsunternehmen erzeugt worden sind und nicht für die öffentliche Forschung zur Verfügung stehen. Die Sequenz alleine ist dabei von geringem Wert. Erst die Zuordnung der Sequenz zu einer bestimmten Funktion des sie kodierenden Proteins macht sie zu einer wertvollen Ressource für die Identifizierung von Kandidatengenen.

Nutzung von Ergebnissen der Genomforschung

Die Ergebnisse der Pflanzengenomforschung lassen sich hinsichtlich einer Nutzung in der Pflanzenzüchtung in zwei Gruppen einteilen. Zum einen werden molekulare Marker und Kandidatengensequenzen erzeugt, die für die gezielte Selektion von Pflanzen verwendet werden können. Sie dienen außerdem dazu, Verwandtschaftsverhältnisse zu bestimmen und können dem Züchter so als wertvolle Hilfe bei der Auslese von Elterntypen dienen. Die daraus gezüchteten Pflanzen sind nicht gentechnisch verändert, d. h. sie unterliegen nicht den Regelungen des Gentechnikgesetzes. Die Erkenntnisse aus der Pflanzengenomforschung können aber auch dazu genutzt werden, gezielt Gene zu verändern, um neue Eigenschaften in Nutzpflanzen hervorzurufen. Dabei kann die Expression von Genen erhöht oder verringert werden oder wenn notwendig sogar völlig abgeschaltet werden. Neue Gene können in Pflanzen eingeführt werden und zu neuartigen Eigenschaften führen. Derartige Pflanzen sind gentechnisch verändert und damit Bestandteil der aktuellen gesellschaftspolitischen Debatte.

Interessanterweise wird die Pflanzengenomforschung in diesem Lande mit erheblichen finanziellen Mitteln des BmBF unterstützt, während gleichzeitig die Anwendung von gentechnisch veränderten Pflanzen durch das BmVEL mit allen Mitteln verhindert wird.

Die vergleichende Analyse von Genkarten nicht-verwandter Arten hat eine zum Teil überraschend hohe Ähnlichkeit bei der Reihenfolge der Gene auf den Chromosomen erbracht (Syntenie). Dies gilt für die Gräserartigen, zu denen u.a. unsere Getreidearten, Mais, Zuckerrohr und Hirse gehören, sowie für Nachtschattengewächse. Mit diesen Erkenntnissen wird die Klonierung von Genen über die Artgrenzen hinweg erleichtert. Ein Paradebeispiel ist die Klonierung des *Rht1*-Gens aus Weizen. Es handelt sich um das Gen für Kurzstrohigkeit, welches zu einer drastischen Veränderung des Erscheinungsbildes (Idiotyps) moderner Weizensorten geführt hat und eine Grundlage der grünen Revolution war. Zunächst war im Modellorganismus *Arabidopsis thaliana* ein Gen des Gibberellinsäurestoffwechsels kloniert worden (*GAI*), welches eine ähnliche Funktion wie das Weizengen zu haben schien. Daraufhin wurde auf Grund der Sequenzhomologie zu einer Reissequenz ein homologes Gen aus dem Reis kloniert. Diese Sequenz diente schließlich zur Klonierung entsprechender homologer Gene (orthologs) aus Weizen und Mais. Später wurde auf dieselbe Weise auch das Kurzstrohgen aus Gerste kloniert. Alle Gräsergene kartierten auf syntenen Regionen und zeigten damit an, dass das entsprechende Gen schon im Urahn aller Gräser vor 60 Mio. Jahren existiert haben musste.

Wie kann man sich eine Nutzung von Ergebnissen der Pflanzengenomforschung in der Pflanzenzüchtung vorstellen? Da viele wichtige Eigenschaften durch das Zusammenwirken mehrerer oder vieler Gene bedingt sind, sind diese einer gentechnischen Veränderung nicht zugänglich. Molekulare Marker können jedoch auch die Selektion auf polygen vererbte Eigenschaften deutlich effizienter gestalten. Der Einsatz von Markern ist immer dann sinnvoll, wenn die phänotypische Selektion schwierig oder teuer ist wie im Fall von Virus-, Insekten- und Nematodenresistenz oder bei Qualitätseigenschaften, die sich nicht durch einen Routinetest bestimmen lassen (z.B. Vitamin E-Gehalt im Rapsamen). Marker werden ebenfalls angewendet, wenn die Eigenschaft eine niedrige Heritabilität aufweist, so dass der Genotyp der Pflanze durch hohe Umwelteffekte und Genotyp-Umwelt-Interaktionen maskiert wird. Weiterhin können Marker die Auswahl von Kreuzungseltern erleichtern, indem sie die genotypische Selektion überlegener Elterntypen ermöglichen.

Die Pflanzengenomforschung hat in den letzten Jahren wesentliche Erkenntnisse über die Ursache der Resistenz von Pflanzen gegenüber Schaderregern geliefert. So wissen wir heute, dass Pflanzen über quasi universelle Abwehrmechanismen und -gene verfügen, die über Artgrenzen konserviert sind und gegen sehr unterschiedliche Schaderreger wirksam sein können. Dieses Wissen wird genutzt, um systematisch Gene zu identifizieren, die an der Resistenzreaktion beteiligt sind („resistance gene analogs“, RGA). Die großen Fortschritte auf diesem Gebiet lassen direkte Auswirkungen auf die Züchtung resistenter Nutzpflanzen erwarten.

Mit Hilfe von Markern können mehrere Gene oder Allele, die den gleichen Phänotyp bedingen, in einer Pflanze angehäuft werden. Dies ist von Interesse, wenn es darum geht Resistenzgene, die gegen verschiedene Pathotypen eines Erregers wirksam sind, in einer Pflanze zu akkumulieren. Phänotypisch könnte man derartige Pflanzen nur sehr schwer von Pflanzen unterscheiden, die lediglich nur über ein Resistenzgen verfügen. Mit Hilfe der Markeranalyse ist eine derartige Unterscheidung aber möglich, so dass durch fortgesetzte Selektion nach der Kreuzung unterschiedlich resistenter Elterntypen mehrfach resistente Pflanzen erzeugt werden können. Von diesen kann erwartet werden, dass ihre Resistenz

dauerhafter als die einfach resistenter Pflanzen ist, d. h. sie kann von dem Erreger nur sehr schwer oder gar nicht mehr durchbrochen werden.

Die wiederholte Rückkreuzung stellt eine wichtige Methode zur Einlagerung von Genen aus Exoten in Elitematerial dar. Sie ist allerdings zeitaufwendig, da eine mehrfache Rückkreuzung mit dem Eliteelter notwendig ist, um möglichst viele Exotenallele aus dem Genom zu verdrängen. Molekulare Marker werden vielfach für die direkte Selektion erwünschter Genotypen in frühen Generationen genutzt, um so Zeit und Kosten zu sparen.

Die Verfügbarkeit von ESTs ermöglicht ihre Nutzung als molekulare Marker, die im Idealfall Kandidatengene für bestimmte Eigenschaften darstellen können. Dabei sind EST-Marker und Gen ein und dieselbe Sequenz, die eine bestimmte Eigenschaft alleine oder im Zusammenwirken mit anderen Genen bedingt. Immer mehr Kandidatengene (beispielsweise RGA) werden identifiziert und ermöglichen die exakte Bestimmung eines Genotyps. Darüber hinaus eröffnen sie Wege für die gezielte Veränderung züchterisch erwünschter Eigenschaften durch gentechnische Methoden. Ein weiteres Beispiel ist das im Rahmen von GABI geförderte Projekt zur Identifizierung von Genen für Kühletoleranz bei Mais. Dabei wurden mehrere QTL im Maisgenom lokalisiert und Kandidatengene, die laut Sequenzvorhersage eine Rolle bei der Kühletoleranz spielen könnten, in der Nähe einiger QTL platziert.

Ein anderes Beispiel stellt die Erforschung der genetischen Grundlagen der Hybridwüchsigkeit (Heterosis) dar, die im Rahmen eines Schwerpunktprogramms der DFG gefördert wird. Die Heterosis ist die Grundlage der Hybridzüchtung und damit von überragender Bedeutung für die Pflanzenzüchtung. Es gibt mehrere Hypothesen, die ihre Ursachen erklären sollen, jedoch gibt es nach wie vor keine allgemeingültige Erklärung. Die oben beschriebenen Werkzeuge der Genomforschung im Verbund mit Methoden der quantitativen Genetik dienen nun dazu, die molekularen Ursachen der Heterosis zu untersuchen. Dabei wird *A. thaliana* als Modell genutzt, um gezielt Gene und Genomregionen zu identifizieren, die an der Heterosis beteiligt sind. Der Vorteil von *A. thaliana* besteht darin, dass umfangreiche Populationen sehr schnell und auf engstem Raum phänotypisch beurteilt werden können und dass die vollständige genomische Sequenz für die Bestimmung von Kandidatengenen zur Verfügung steht. Selbstverständlich hat *A. thaliana* eine völlig andere Ertragsstruktur, - wenn man davon bei dieser Pflanze überhaupt sprechen kann, - als die untersuchten Nutzpflanzen Mais, Raps oder Sonnenblume, aber es gibt Grund zu der Annahme, dass die Übertragung der bei *A. thaliana* gefundenen Mechanismen auf andere Pflanzen möglich ist. Ein Ziel besteht darin, Eltern mit optimaler Kombinationseignung mit einer reduzierten Zahl von Testkreuzungen anhand ihres Genotyps identifizieren zu können und so die Züchtung effizienter zu gestalten. Dies ist gerade bei der Hybridzüchtung von Interesse, denn sie ist zwar die Grundlage für die höchsten Ertragssprünge, ist aber gleichzeitig auch besonders aufwendig.

Fazit

Die Züchtungsforschung eröffnet Visionen für eine leistungsfähige und ressourcenschonende Pflanzenproduktion unter Einschluss aller biotechnologischer Verfahren. Das genetische Potential unserer Nutzpflanzen ist noch lange nicht ausgeschöpft. Allerdings sind in Zukunft auch gentechnische Verfahren notwendig, um neuartige genetische Variation in die Pflanzenzüchtung einzuführen. Eine vorurteilsfreie Erörterung der Potentiale dieser Technologie aber auch denkbarer Risiken ist notwendiger denn je. Soll die deutsche Landwirtschaft in Zukunft nicht vollständig am Subventionstropf hängen, muss sie sich mit innovativen und konkurrenzfähigen Produkten auch am Weltmarkt behaupten. Die Pflanzenzüchtung legt dafür eine wichtige Grundlage. Als Beispiel kann der

Zuckerrübenanbau in Europa nach Auslaufen der Zuckermarktordnung im nächsten Jahr dienen. Die deutliche Absenkung der Zuckerpreise wird die Vorteilhaftigkeit des Zuckerrübenanbaus in weiten Teilen Europas stark verringern oder gar ganz aufheben. Natürlich könnte man sagen: Wozu brauchen wir überhaupt Zuckerrübenanbau in Europa, wenn Brasilien alleine den Weltzuckerbedarf decken könnte? Tatsache ist, dass der Zucker dort zu einem Drittel des europäischen Preises erzeugt werden kann. Doch dazu muss man erstens sagen, dass dies für viele andere Produkte auch gilt (übrigens nicht nur landwirtschaftliche) und dass der Zucker nirgends unter vergleichbar hohen Umwelt- und Sozialstandards produziert wird. Trotzdem müssen Züchter, Erzeuger und Verarbeiter reagieren, denn es steht außer Frage, dass Rüben beispielsweise auch wegen ihrer positiven Vorfruchtwirkung auch in Zukunft bei uns angebaut werden müssen. Die Züchtung kann dabei eine wichtige Rolle spielen, unter anderem durch Erzeugung von Sorten, die vor dem Winter gesät werden können und damit über ein deutlich höheres Ertragspotential verfügen. Die Züchtung derartiger Sorten ist aber nur unter Nutzung von Ergebnissen der Genomforschung und unter Einschluss gentechnischer Veränderungen möglich, denn die Sorten müssten ein völlig verändertes Vernalisationsbedürfnis haben. Inzwischen sind zahlreiche Gene aus anderen Pflanzen kloniert worden, die das Blüh- und Vernalisationsverhalten einer Pflanze kontrollieren. Diese Gene können zum gezielten An- und Abschalten des Vernalisationsbedürfnisses in Zuckerrüben genutzt werden. Dazu sind gemeinsame Anstrengungen von Züchtungsforschung und privater Pflanzenzüchtung nötig.

Neue Herausforderungen entstehen auch im Bereich nachwachsender Rohstoffe. Ein immer größerer Teil der ackerbaulichen Nutzfläche in Deutschland wird mit Pflanzen bebaut, die als nachwachsende Rohstoffe oder zur Energieproduktion genutzt werden. Die Züchtungsforschung hat Nutzpflanzen mit maßgeschneiderten Qualitätseigenschaften erzeugt, die entweder bereits jetzt in der Landwirtschaft genutzt werden oder im Falle von GvP noch auf ihre Vermarktung warten müssen. Ein Beispiel ist die Züchtung von Kartoffeln, die im Gegensatz zu herkömmlichen Kartoffeln nur noch über eine Stärkeart verfügen. An diesen Amylose-freien Kartoffeln besteht seitens der Stärkeindustrie großes Interesse, weil auf die aufwendige Trennung von Amylose und Amylopektin in der Stärkefabrik verzichtet werden kann. Die Verarbeitung ist damit energie- und umweltschonender im Vergleich zu Kartoffeln, die natürlicherweise über ein Gemisch beider Stärkearten verfügen. Daneben können Pflanzen als Bioreaktoren zu Produktion von Enzymen oder therapeutisch wirksamen Stoffen genutzt werden.

Viele Länder stehen vor großen Herausforderungen an die zukünftige Pflanzenproduktion. Dort wird die Züchtungsforschung mit bemerkenswerter staatlicher Unterstützung vorangetrieben. Eine wachsende Bevölkerung, geänderte Ernährungsgewohnheiten, sich ändernde Klima- und Bodenverhältnisse und neue Anbau- und Nutzungsformen erfordern angepasste Sorten. Es ist klar, dass dafür alle Entwicklungen der Züchtungsforschung genutzt werden müssen, soweit ihr Einsatz unter Risikogesichtspunkten vertretbar ist. Dazu gehören auch gentechnisch veränderte Pflanzen, die die genetische Variabilität, welche die wesentliche Grundlage aller Züchtungsverfahren ist, deutlich erweitern. Die Züchtungsforschung trägt dazu bei, Pflanzen mit geänderten metabolischen Eigenschaften, verbesserten Resistenzen und höherer Qualität sowie geänderter Architektur zu erzeugen, die zum Erreichen bekannter aber auch völlig neuer Zuchtziele genutzt werden können. Auch wenn die Landwirtschaft in Deutschland nicht den Stellenwert wie in anderen Ländern hat, muss die Züchtungsforschung in Zukunft noch stärker unterstützt werden, damit wir nicht den Anschluss an die internationale Entwicklung verlieren.