



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Pflanzen als Rohstoffe für die Zukunft

Neue Wege für Landwirtschaft, Ernährung, Industrie und Energie



Impressum

Herausgeber

Bundesministerium
für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat „Ernährung und erneuerbare Rohstoffe“
11055 Berlin

Bestellungen

Schriftlich an den Herausgeber
Postfach 30 02 35
53182 Bonn

Tel.: 01805 - 262 302
Fax: 01805 - 262 303
(0,14 Euro/Min. aus dem deutschen Festnetz)

E-Mail: books@bmbf.bund.de
Internet: <http://www.bmbf.de> oder <http://www.biotechnologie.de>

Redaktion und Gestaltung

biotechnologie.de, Berlin

Druckerei

DruckVogt GmbH, Berlin

Bonn, Berlin 2008

Bildnachweise

Umschlag: Fotolia
Rohstoff Pflanze: Max-Planck-Institut für Entwicklungsbiologie (S. 6); biotechnologie.de (S. 7); BASF (S. 8); pixelio.de (S. 9); Landwirtschaft: pixelio.de (S. 10, 11, 12, 13, 14); Lebensmittel: pixelio.de (S. 15, 16, 17); Energie: pixelio.de (S. 19); Choren Industries GmbH (S. 20, 21); Deutsche BP AG (S. 22); Industrie: pixelio.de (S. 23, 24); Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (S. 25); Medizin: pixelio.de (S. 26, 28); greenovation Biotech GmbH (S. 27); Wirtschaftliche Bedeutung: Syngenta (S. 30, 32, 34); pixelio.de (S. 31); biotechnologie.de (S. 31); Herausforderungen für die Zukunft: pixelio.de (S. 33, 35); Dartmouth Electron Microscope Facility (S. 35); Kurzüberblick: Syngenta (S. 37), pixelio.de (S. 37)



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Pflanzen als Rohstoffe der Zukunft

Neue Wege für Landwirtschaft, Ernährung, Industrie und Energie

Vorwort



Pflanzen stehen heutzutage im Mittelpunkt vieler drängender Probleme, die sich durch den globalen Klimawandel und schwindende Rohstoffreserven ergeben. Aus diesem Grund haben sich die Ansprüche an den Rohstoff Pflanze im Vergleich zu früher deutlich verändert. Um diesen Herausforderungen gerecht zu werden, müssen exzellente Forscher Hand in Hand mit innovativen Unternehmen gemeinsam an Problemlösungen arbeiten.

Die Bundesregierung hat sich mit der Hightech-Strategie das Ziel gesetzt, die Potenziale des Innovationsfeldes Pflanze zu erschließen. Mit der „Zukunftsinitiative für Bioenergie und

gesunde Ernährung“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) wird dieses Ziel jetzt konkret umgesetzt. Hierbei bündeln wir alle Forschungsprogramme, in deren Zentrum Pflanzen stehen: Angefangen bei der Pflanzengenomforschung, den Agrar- und Ernährungswissenschaften bis hin zur Bioenergieforschung. In all diese Bereiche fließen in den kommenden fünf Jahren insgesamt bis zu 200 Millionen Euro.

Ein Schwerpunkt wird dabei der Wettbewerb „BioEnergie 2021“ sein. Hiermit wollen wir innovative Konzepte unterstützen, die Wirtschaftlichkeit, Klimaschutz, die Sicherung der Energieversorgung und Nachhaltigkeit in Einklang bringen – beispielsweise durch eine bessere Verwertung von Biomasse für die Gewinnung von Bioenergie und Rohstoffen für die Industrie. Angesichts von knappen Anbauflächen gilt es zudem, die Züchtung von Energiepflanzen zu optimieren. Das entspricht den Zielen des integrierten Energie- und Klimaschutzprogramms der Bundesregierung und setzt die Hightech-Strategie zum Klimaschutz um.

Diese Broschüre gibt einen Einblick in die Welt der modernen Forschung am Rohstoff Pflanze. Lassen Sie sich anhand der vorgestellten Projekte faszinieren.

Dr. Annette Schavan, MdB
Bundesministerin für Bildung und Forschung

Inhalt

Rohstoff Pflanze: Neue Wege in die Zukunft	6	Industrie: Rohstofflieferanten vom Feld	23
Forschung als Basis für Innovationsfähigkeit	6	Mehr Stärke für die Kartoffel	23
Was nützt der Blick ins Pflanzengenom?	7	Rapsöle in der Industrie gefragt	24
200 Millionen Euro für Zukunftsinitiative	8	Biomaterialien aus Pflanzen	25
Nachhaltige Konzepte für Bioenergie	9	Gesucht: Intelligente Bioraffinerie-Modelle	25
Forschung für gesunde Ernährung	9	Medizin: Grüne Arzneiproduzenten	26
Landwirtschaft: Mehr Effizienz auf dem Acker ...	10	Vorteile durch evolutionäre Distanz	26
Suche nach Kältegenen im Mais	10	Herausforderung: Hoher Ertrag, hohe Qualität	28
Pflanzen mit Fitness für Dürrezeiten ausstatten	12	Wirtschaftliche Bedeutung	29
Ertrag von Pflanzen steigern	13	GVO-Anbau in Deutschland	29
Widerstandskraft gegen Krankheiten erhöhen	13	Herausforderung: Verlässliche Datenbasis	30
Lebensmittel: Mehr Qualität auf dem Teller	15	Deutschland: Tradition der Pflanzenzüchter	31
Siegeszug des Rapses durch Züchtung	15	Bioenergie mit Wachstumschancen	32
Biologische Sicherheitsforschung zu Raps	17	Herausforderungen für die Zukunft	33
Der Bierqualität auf der Spur	17	Rechtlicher Rahmen für Grüne Gentechnik	36
Giftstoffe im Weizen reduzieren	18	Kurzüberblick: Vermehrung und Auskreuzung	37
Energie: Pflanzen für den Klimaschutz	19	Glossar	38
Biomasse hat großes Potenzial	19	Weiterführende Informationen	40
Flächenkonkurrenz und Rohstoffknappheit	19	Weitere Publikationen des BMBF	41
Forschung für Energieeffizienz	20		
Bioethanol aus Stroh	21		

Rohstoff Pflanze: Neue Wege in die Zukunft

Pflanzen sind der nachwachsende Rohstoff der Zukunft. Ob Biokraftstoff, Arzneimittel oder Biokunststoff – längst dienen Pflanzen zu mehr als nur der Nahrungsmittelherstellung. Biotechnologische Verfahren können dazu beitragen, den gestiegenen Ansprüchen gerecht zu werden, effizienter zu wirtschaften und gleichzeitig ökologisch nachhaltige Wege zu verfolgen.

Die neuen Herausforderungen in der Welt sind nicht zu übersehen: Angesichts schwindender Rohstoffreserven und des globalen Klimawandels sind nachhaltige Lösungen gefragt. Die Ansprüche an den Rohstoff Pflanze sind dabei ganz vielfältig: Eine stark wachsende Weltbevölkerung verlangt nach hohen Erträgen aus der Landwirtschaft, die ausreichend Nahrung und Futtermittel sicherstellen. Sich stetig verändernde Klimabedingungen verlangen immer mehr nach angepassten Pflanzensorten, damit extreme Witterungsbedingungen die Ernten nicht vernichten. Chemie- und Nahrungsmittelkonzerne verlangen nach nachwachsenden Rohstoffen, um umweltschonender zu arbeiten und unabhängiger von knappen sowie teuren Erdölvorräten zu werden. Umweltbewusste Autofahrer verlangen nach Biokraftstoffen, die eine ökologisch verträgliche



Für die moderne Landwirtschaft spielt die Pflanzengenomforschung eine essentielle Rolle.

Treibhausgasbilanz aufweisen. Gleichzeitig können die hierzu erforderlichen Anbauflächen der Pflanzen – insbesondere in den westlichen Industrienationen – nur noch in begrenztem Umfang erweitert werden. Eine Steigerung der Effizienz ist also sowohl aus ökonomischer als auch ökologischer Sicht unbedingt notwendig. Gerade ein Land wie Deutschland steht in der Pflicht, nach neuen Ansätzen zu suchen, wie sich die vielfältigen Anforderungen zu einer nachhaltigen Gesamtstrategie für eine wissensbasierte Bioindustrie von morgen vereinigen lassen.

Forschung als Basis für Innovationsfähigkeit

Die Wissenschaft kann hierbei die Basis für intelligente Wege schaffen. Deshalb nimmt die Agrar- und Ernährungsforschung schon seit jeher einen zentralen Schwerpunkt in der Förderpolitik der Bundesregierung ein. Dabei konzentriert sich das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in Abstimmung mit dem Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) insbesondere auf die Förderung neuer Ansätze aus der molekularbiologischen Forschung. Ohne diese wäre die hohe Innovationsfähigkeit der Agrar- und Forstwirtschaft, des Nahrungsmittelsektors, der Medizin, des Umweltschutzes und anderer nachgelagerter Wirtschaftsbereiche kaum denkbar.

Für die moderne Landwirtschaft spielt insbesondere die Pflanzengenomforschung eine essentielle Rolle. Aus diesem Grund hat das BMBF bereits im Jahr 1999 das Forschungsförderprogramm „Genomanalyse im biologischen System Pflanze“, kurz GABI, gestartet. In zwei vierjährigen Förderphasen wurden bis 2007 mehr als 160 Vorhaben an deutschen Forschungseinrichtungen, Hochschulen und Unternehmen finanziell unterstützt – mehr als 70 Millionen Euro sind in diese Projekte geflossen. Unter dem Dach dieses Programms hat sich dabei im Laufe der Jahre eine gut funktionierende, intensive Zusammenarbeit zwischen der öffentlichen Forschung und den auf diesem Feld tätigen Unternehmen entwickelt. Eine an GABI assoziierte Patent- und Lizenzagentur (PLA_{für GABI}) unterstützt darüber hinaus kommerziell interessante Projekte bei einer tatsächlichen Anwendung in der Praxis. Eingerichtet und finanziell unterstützt wurde und wird die PLA_{für GABI} vom Wirtschaftsverbund Pflanzengenomforschung GABI e.V. (WPG), in dem sich alle Unternehmen der Pflanzenzüchtung, des Pflanzenschutzes und der verarbeitenden Industrie zusammengeschlossen haben, die an GABI-Forschungsprojekten beteiligt sind. Der WPG wiederum steht in engem Kontakt mit der Gemeinschaft zur Förderung der privaten deutschen Pflanzenzüchtung e.V. (GFP), die sicherstellen soll, dass sich die wissenschaftlichen Arbeiten im Kontext anwendungsorientierter Forschungsvorhaben an den tatsächlichen Bedürfnissen der Züchtungsunternehmen

orientieren. Im Netzwerk des übergeordneten Bundesverbandes Deutscher Pflanzenzüchter e.V. stellt die GFP die wichtigste Interessenvertretung der privaten Pflanzenzuchtbetriebe in Deutschland dar und feiert im März 2008 ihr hundertjähriges Bestehen.

Die enge akademisch-industrielle Zusammenarbeit unterstreicht aber auch, dass molekularbiologische Verfahren nicht nur in der Wissenschaft zum Alltag gehören, sondern auch aus der modernen Agrarindustrie nicht mehr wegzudenken sind – gleiches gilt im Übrigen für die Ernährungswirtschaft, die chemische Industrie, die pharmazeutische Industrie und angrenzende Bereiche wie Umwelt- oder Bioprozesstechnik.

Was nützt der Blick ins Pflanzengenom?

Die Biotechnologie – verstanden als Anwendung von Naturwissenschaft und Technologie an lebenden Organismen, deren Teilen, Produkten oder Modellen – spielt hierbei eine wesentliche Rolle und lässt sich nicht allein auf ‚Gentechnik‘ reduzieren, die nur einen Teil der Biotechnologie darstellt. Während unter

gentechnischen Verfahren die Analyse und gezielte Veränderung des Erbguts von Organismen oder Zellen verstanden wird, gehen *biotechnologische Verfahren* darüber hinaus – angefangen bei der Analyse von Eiweißen und Stoffwechselprodukten bis hin zu deren gezielter Herstellung und funktioneller Nutzung. Genomforschung und Biotechnologie sind dabei sehr eng verknüpft. Der entschlüsselte Bauplan von Organismen liefert den Biotechnologen quasi erst das nötige Handwerkszeug für ihre Arbeiten. Einen großen Innovationsschub leistete daher die vollständige Erbgut-Sequenzierung der Modellpflanze Ackerschmalwand (*Arabidopsis thaliana*), bei der dies im Jahr 2000 gelang, sowie die Entschlüsselung des Reisgenoms im Jahr 2002.

Aber was nützt konkret der Blick ins Pflanzengenom? Sehr viel. Indirekt war die genetische Veränderung von Pflanzen seit Anbeginn der Landwirtschaft oberstes Ziel der Menschen, auch wenn es damals noch nicht so bezeichnet wurde: Schon vor Jahrtausenden haben Bauern solche Pflanzen ausgewählt, die im äußerlichen Erscheinungsbild wünschenswerte Eigenschaften zeigten, und sie weiter vermehrt. Sorgsames Kreuzen

Wer am Rohstoff Pflanze in Deutschland forscht

Mit Pflanzen beschäftigen sich in Deutschland diverse Wissenschaftsgebiete, angefangen bei der Pflanzengenom- und Agrarforschung, den Ernährungswissenschaften, der Umwelt- und Prozesstechnik sowie der Bioenergieforschung. Die auf diesen Gebieten tätigen Einrichtungen sind über das ganze Land verteilt und umfassen dabei etwa 50 Universitäten und 10 Fachhochschulen, 25 außeruniversitäre Einrichtungen aus den Forschungsgesellschaften (Max Planck, Helmholtz, Leibniz, Fraunhofer) sowie fünf Bundesforschungsinstitute, die dem Bundeslandwirtschaftsministerium bzw. dem Bundesumweltministerium zugeordnet sind. Die jüngste Einrichtung ist das Deutsche Biomasseforschungszentrum (DBFZ), das im Jahr 2008 seine Arbeit in Leipzig aufgenommen hat.

Von besonderer Bedeutung ist das Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK) in Gatersleben bei Magdeburg. Mit der bundeszentralen *ex situ*-Genbank verfügt das IPK über eine einzigartige Sammlung pflanzengenetischer Ressourcen aus über 3.000 botanischen Arten von ca. 800 verschiedenen Gattungen. Der Gesamtbestand beträgt gegenwärtig etwa 148.000 Kulturpflanzenmuster. In Gatersleben arbeiten darüber hinaus exzellente Wissenschaftler, die nicht nur in nationale, sondern auch in internationale Aktivitäten stark eingebunden sind – beispielsweise im 2007 gestarteten Gerstengenom-Sequenzierungsprojekt (GABI-BARLEX). Hier sind deutsche Arbeitsgruppen unter Leitung des IPK erstmals federführend an der Entschlüsselung des Erbguts einer Kulturpflanze beteiligt (vgl. Seite 17).



Forschungslandschaft auf einen Blick: Universitäten (dunkelgrün), Fachhochschulen (hellgrün), außeruniversitäre Einrichtungen (rot) und Bundesforschungsinstitute (orange).

und Rückkreuzen hat dabei die genetische Zusammensetzung der Pflanzen so verändert, dass sie süße Äpfel oder riesige Maiskolben produzierten. Was beim Kreuzen und Rückkreuzen auf genetischer Ebene passiert, blieb indes lange Zeit im Verborgenen – bis Gregor Mendel schließlich im 19. Jahrhundert mit seiner Vererbungslehre die Grundlage für die heutige moderne Genetik legte. Seitdem wurde das Geheimnis der Pflanzengene immer mehr gelüftet. Der Vorteil dieses Wissens liegt auf der Hand: Früher mussten sich die Züchter allein auf die Beobachtung und Analyse äußerlicher Merkmale sowie ihre Erfahrung verlassen, ob es sich bei der durch Kreuzung geschaffenen Pflanze um ein Objekt mit den gewünschten Eigenschaften handelt oder nicht. Wie mühsam diese Prozesse waren und auch in der heutigen Züchtung noch immer sind, zeigen die mitunter jahrzehntelangen Entwicklungszeiten neuer Pflanzensorten.

Erst der Erkenntnisfortschritt der Genomforschung und der Einsatz biotechnologischer Verfahren setzte einen Wandel in Gang – in seinen Ausmaßen vergleichbar mit dem Einzug der Computer in die moderne Arbeitswelt. Sind bestimmte nützliche Eigenschaften von Pflanzen nämlich auf genetischer Ebene

verstanden, die verantwortlichen Gene im Erbgut lokalisiert und kartiert, lässt sich damit in der modernen Züchtung enorm viel Zeit und Geld sparen, beispielsweise über die sogenannte *Marker gestützte Selektion (MAS)*. Hierbei können schon sehr früh im Züchtungsprozess diejenigen Pflanzen zielgerichtet aussortiert werden, die auf molekularer Ebene das gewünschte Merkmal aufweisen. Damit müssen – im Vergleich zur klassischen Züchtung – nicht mehr so viele Nachkommen der Pflanzen angebaut und im Testanbau auf ihre Praxistauglichkeit überprüft werden. Gleichzeitig ist eine viel tiefergehende Analyse hinsichtlich von Wechselwirkungen verschiedener Eigenschaften möglich. Werden Sorten auf diese Weise gezüchtet, wird inzwischen auch vom *Smart breeding* (Präzisionszüchtung) gesprochen – und kaum ein Pflanzenzüchter verzichtet mehr auf dieses Instrument.

200 Millionen Euro für Zukunftsinitiative

Wie sehr moderne Verfahren gebraucht werden, machen die eingangs beschriebenen Anforderungen an den Rohstoff Pflanze deutlich. Um hier bei der Vielfalt der Ansprüche zu wirt-

Biologische Sicherheitsforschung: Zwei Jahrzehnte Erfahrung mit Grüner Gentechnik

Die Grüne Gentechnik – also die gezielte Veränderung des Erbguts von Pflanzen – ist das Teilgebiet der Biotechnologie, welches in der Öffentlichkeit am kontroversesten diskutiert wird. Mit ihrer Hilfe lassen sich Pflanzen mit Eigenschaften ausstatten, die durch herkömmliches Züchten nicht möglich sind. Dabei wird von *transgenen* Pflanzen gesprochen, wenn dem Erbgut der jeweiligen Pflanzenart mindestens ein Gen einer anderen Art hinzugefügt wird. Hingegen sind *cisgene* Pflanzen solche, deren Erbgut mit gentechnischen Verfahren mindestens ein Gen der eigenen Art – beispielsweise von wilden Verwandten – hinzugefügt wurde. Ganz allgemein bezeichnen Wissenschaftler derartige Pflanzen als *gentechnisch verändert (gv)*. In Deutschland ist derzeit nur eine gv-



Seit 1979 laufen in Deutschland Projekte zur biologischen Sicherheit von gentechnisch veränderten Pflanzen.

Pflanze für den kommerziellen Anbau zugelassen – nämlich Mais, der ein zusätzliches Gen aus dem Bodenbakterium *Bacillus thuringiensis (bt)* enthält. Dadurch ist er in der Lage, einen Eiweißstoff zu produzieren, der spezifisch die Larven des Schädlings Maiszünsler bekämpft. Inzwischen wird an gv-Pflanzen mit komplexeren Eigenschaften gearbeitet, um sie beispielsweise gegen umweltbedingte Stressfaktoren wie extreme Trockenheit oder Kälte zu stärken. Darüber hinaus lassen sich nur mit gentechnischen Verfahren Pflanzen züchten, die etwa Komponenten für abbaubare Kunststoffe herstellen können. Ähnliches gilt für Pflanzen, die medizinische Wirkstoffe produzieren – ohne Gentechnik würde auch dies nicht gelingen.

Bevor eine gv-Pflanze auf den Markt kommt und angebaut werden darf, gehen jahrelange Forschungsbemühungen ins Land, um ihre Auswirkungen auf die Umwelt zu testen (zum *Prozedere vgl. Seite 14*). Das BMBF fördert solche Forschungsarbeiten bereits seit Ende der 80er Jahre. Bis heute wurden 308 Forschungsvorhaben zur Biologischen Sicherheitsforschung vom BMBF in Höhe von 93 Millionen Euro unterstützt. Die letzte Bekanntmachung wurde Mitte 2007 veröffentlicht. Sie hat ein Fördervolumen von zehn Millionen Euro und bezieht sich, wie die beiden vorherigen Bekanntmachungen auch, allein auf die Sicherheitsforschung zur Grünen Gentechnik.

Details zur Sicherheitsforschung: www.biosicherheit.de

schaftlich effektiven und ökologisch nachhaltigen Lösungen zu kommen, hat das BMBF Anfang 2008 die „Zukunftsinitiative Bioenergie und gesunde Ernährung“ gestartet. Unter diesem Dach sind alle Förderprogramme gebündelt, in deren Zentrum die innovative Verwertung von Pflanzen steht. Das Fördervolumen dieser Maßnahmen beträgt dabei bis zum Jahr 2012 insgesamt bis zu 200 Millionen Euro. Thematisch ist die Zukunftsinitiative in drei große Felder untergliedert: Bioenergie, biomedizinische Ernährungsforschung sowie die Verknüpfung von Agrar- und Ernährungswissenschaften auf infrastruktureller Ebene. All diese Felder erfordern heutzutage eine interdisziplinäre Herangehensweise, ohne die sich die aktuellen Herausforderungen nicht bewältigen lassen.

Nachhaltige Konzepte für Bioenergie

Angeheizt durch die Klimadiskussion ist die zunehmende Nutzung erneuerbarer Energien gesellschaftlicher Konsens und – ausgedrückt in ehrgeizigen Klimazielen – auch politischer Wille, wie sich im integrierten Energie- und Klimaschutzpaket der Bundesregierung ebenso zeigt wie in den Klimavorgaben der Europäischen Kommission. Um den angestrebten Anteil der Bioenergie am Gesamtenergieverbrauch zu erreichen, sind jedoch auf Forschungsseite noch erhebliche Anstrengungen vonnöten – insbesondere was effizientere Umwandlungsprozesse von Biomasse und die züchterische Optimierung von Energiepflanzen angeht. Unter allen erneuerbaren Energien ist die Biomasse schon jetzt die mit Abstand erfolgreichste, sowohl in der Nutzung als auch hinsichtlich der mit ihr verbundenen Arbeitsplätze. Mit der Förderinitiative „BioEnergie 2021“, für die bis zu 50 Millionen Euro bis 2012 zur Verfügung gestellt werden, will das BMBF diese Entwicklung weiter unterstützen und die Technologieführerschaft Deutschlands auf diesem Gebiet ausbauen. Die hier geförderten Konsortien aus Wissenschaft und Wirtschaft sollen dabei auf den Erfahrungen bereits bestehender Netzwerke aufbauen, die beispielsweise unter dem Dach anderer BMBF-Förderprogramme entstanden sind. Dies gilt etwa für die Pflanzengenomforschung, die als GABI-FUTURE ebenfalls bis 2012 weiter finanziell mit mindestens 60 Millionen Euro unterstützt wird. Angesichts einer künftig enger zu erarbeitenden Kopplung der energetischen und stofflichen Nutzung von Biomasse ist aber auch eine Anbindung an die fünf zentralen Netzwerke der industriellen Biotechnologie erwünscht, die sich im Rahmen der BMBF-Clusterinitiative „BioIndustrie 2021“ im Jahr 2007 gebildet haben und bis 2012 mit 60 Millionen Euro gefördert werden.

Forschung für gesunde Ernährung

Im Bereich der biomedizinischen Ernährungsforschung geht es darum, die Wirkungsweisen von Nahrungsmitteln und ihren Bestandteilen auf den menschlichen Organismus zu analysieren. Ziel ist es, den Ursachen von großen Volkskrankheiten wie Diabetes, Fettleibigkeit und Herz-Kreislauf-Erkrankungen auf die Spur zu kommen, dabei die Rolle der Nahrung zu identifizieren



Bioenergie der Zukunft: Die energetische Nutzung von faserhaltiger Biomasse wie Stroh. Noch besteht hier großer Forschungsbedarf.

ren und dieses Wissen in die Entwicklung gesünderer Lebensmittel umzusetzen. So steuert ein komplexes genetisches Regelwerk, wie unser Körper Nahrung verarbeitet und Fettspeicher anlegt. Darüber hinaus gibt es direkte ernährungsbedingte Erkrankungen wie Lebensmittelallergien, wo ein Verständnis der molekularen Zusammenhänge ebenfalls zu Therapieansätzen und Produkten führen kann. Bereits seit Ende der 90er Jahre unterstützt das BMBF Forschungskonsortien aus Wissenschaft und Wirtschaft, die sich solchen Fragen stellen – unter anderem im Rahmen von Verbundprojekten der molekularen Ernährungsforschung. Darüber hinaus wurde der Aufbau von Netzwerken auf diesem Forschungsfeld initiiert, ein eigener Schwerpunkt zur funktionellen Ernährungsforschung gefördert sowie ein Nachwuchswettbewerb „Molekulare Grundlagen der humanen Ernährung“ ausgelobt. Im Rahmen der Zukunftsinitiative werden nun bis 2012 bis zu 10 Millionen Euro für die Initiative „Biomedizinische Ernährungsforschung“ vom BMBF bereitgestellt. Parallel zu diesen Forschungsschwerpunkten hat sich das BMBF in Absprache mit den Bundesländern zum Ziel gesetzt, die bestehenden Einrichtungen und Unternehmen aus Agrarforschung und Ernährungswissenschaften stärker miteinander zu vernetzen. Viele Forschungsinstitutionen sind zwar in ihrem Gebiet exzellent aufgestellt, doch aufgrund ihrer Zersplitterung international oft nicht sichtbar (*siehe Forschungslandkarte S. 7*). Die internationale Präsenz sowie die praktische Ausrichtung dieser Forschungskapazitäten soll mit der Bildung von Kompetenznetzen verbessert werden. Für diesen dritten großen Bereich der Zukunftsinitiative stellt das BMBF deshalb ein Fördervolumen von 40 Millionen Euro zur Verfügung. Nur eine solche Bündelung von universitären und außeruniversitären Einrichtungen aus verschiedenen Disziplinen sowie von auf diesem Feld tätigen Unternehmen kann innovative anwendungsorientierte Forschungs- und Entwicklungsprojekte mit hoher Relevanz für die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands hervorbringen. Darüber hinaus bieten solche Kompetenznetze die Chance, auch Ansätze zur stofflichen Nutzung aller Pflanzenbestandteile zu integrieren.

Landwirtschaft: Mehr Effizienz auf dem Acker

Der Blick ins Pflanzengenom und die Nutzung biotechnologischer Verfahren liefern die Basis dafür, dass Landwirte und Züchter von heute effizienter arbeiten können. Im Mittelpunkt stehen hierbei vor allem Möglichkeiten, bei Pflanzen die Widerstandskraft gegen extreme klimatische Bedingungen zu stärken und den Ertrag zu erhöhen.

Wer im Supermarkt nach Gemüse oder Obst greift, geht vor allem nach äußeren Merkmalen. Äpfel, Tomaten oder Kartoffeln sollen aber nicht nur lecker aussehen, sondern auch gut schmecken. Für den Landwirt sind diese Produkte die Grundlage seiner wirtschaftlichen Existenz. Aus seiner Sicht sind Pflanzen vor allem Hersteller von Rohstoffen, die mit möglichst robusten Eigenschaften ausgestattet sein sollten, damit sie am Ende die erwarteten Erträge liefern. Demnach müsste die perfekte Nutzpflanze mit wenig Wasser auskommen, kalten und warmen Temperaturen ohne Ertragsverlust standhalten, sich selbständig gegen gefährliche Schädlinge wehren, ohne mit chemischen Pflanzenschutzmitteln behandelt zu werden und im Zweifel auch salzige Böden überleben. Die Realität sieht jedoch anders aus. Wie wir Menschen auch reagieren Pflanzen auf all diese



Reagiert auf Kälte mit Stress: Der aus Mexiko stammende Mais.

Umweltbedingungen natürlicherweise mit Stress. Dieser Stress ist Teil eines normalen Abwehrprogramms und dient im Grunde dem Selbstschutz. Pflanzen können sich schließlich nicht vom Fleck bewegen und müssen sich notgedrungen ihrer Umgebung anpassen, wenn sie überleben wollen. Diese Anpassung äußert sich auf ganz unterschiedliche Art und Weise: Die Zellen verändern u. a. die Zusammensetzung ihrer Zellwände und damit ihre Durchlässigkeit für überlebenswichtige Moleküle. Die Pflanze kann sich aber auch mit der Produktion von Entgiftungsstoffen vor schädlichen Einflüssen schützen. Mitunter sondern sie auch spezielle Duftstoffe ab, um damit wiederum die Feinde ihrer Feinde anzulocken oder andere Pflanzen zu „warnen“. Was für die Pflanze ein nützliches Schutzprogramm ist, bedeutet für den Landwirt jedoch meist Ertragsverlust, den es aus seiner Sicht möglichst gering zu halten gilt. Denn oft gehen diese Abwehrmechanismen mit verringertem Wachstum, verschobenem Blühzeitpunkt oder ähnlichen Eigenschaften einher, die den Ertrag der Ernte senken. Auf dem Acker haben daher Elite-Zuchtpflanzen oberste Priorität, die angepasst an die jeweiligen Anbau- und Klimaverhältnisse ganz spezielle Eigenschaften aufweisen. Die Zielsetzungen der Züchter haben sich dabei in den vergangenen Jahren immer wieder verändert und gewinnen durch neueste Erkenntnisse in der Pflanzengenomforschung ganz neue Dimensionen. Was mit den Verfahren der klassischen Züchtung bislang zu aufwendig und teuer war, ist heute machbar. Darüber hinaus erzwingen heutzutage etwa durch den Klimawandel bedingte extreme Witterungsverhältnisse sowie der stetig steigende Nahrungsbedarf einer wachsenden Weltbevölkerung die Entwicklung neuer Sorten. Die Stärkung von Pflanzen gegen abiotischen Stress – also klimabedingter Faktoren – steht deshalb inzwischen ganz oben auf der Tagesordnung der Züchter.

Suche nach Kältegenen im Mais

Beispiel Temperatur: Bei einem an Wärme gewöhnten Gewächs wie Mais, der ursprünglich aus Mexiko stammt, gerät das Energiesystem schon bei zwölf Grad Celsius aus dem Rhythmus. In Nordeuropa sind solche Temperaturen nach der Aussaat nicht selten und führen daher regelmäßig zu Ernteaussfällen. Nun ist auch dem ambitioniertesten Züchter klar, dass aus dieser lateinamerikanischen Pflanze kein Hochalpengewächs wird. Doch lässt sich die Fitness steigern, wie in den Anden zu beobachten ist: Dort gibt es Maissorten, die auch in über 3.000 Meter Höhe angebaut werden – offenbar kann der prinzipiell wärmeliebende Mais also auf natürliche Weise durch seine Sortenvielfalt mit Kälte umgehen. Dies war der Ausgangspunkt für ein Forschungsprojekt unter dem Dach des vom BMBF bereits Ende der 90er Jahre gestarteten Förderprogramms „Genomanalyse im biologischen System Pflanze“ (GABI). Im Jahr 2004 hat sich

ein Team von Wissenschaftlern der Universitäten Hohenheim und Düsseldorf sowie des Max-Planck-Instituts für molekulare Physiologie in Golm gemeinsam mit der in Niedersachsen ansässigen KWS Saat AG zum Ziel gesetzt, dem in hiesigen Breitengraden großflächig angebauten Mais eine größere Fitness für kühlere Tage zu verleihen. Die enge Zusammenarbeit von Wissenschaft und Wirtschaft geschieht nicht ohne Grund, denn der erste Schritt zu einer neuen Sorte ist stets mit erheblicher Grundlagenforschung verbunden. Zunächst muss Klarheit darüber herrschen, von welchen Abschnitten im Genom der Umgang mit Kälte eigentlich reguliert wird. Dem Forscherteam war dabei bewusst, dass es sich bei einer komplexen Eigenschaft wie Kältetoleranz nicht um einzelne überschaubare Gene handeln würde, sondern um ein ganzes Netzwerk an relevanten Genregionen. Diesem Zusammenspiel auf die Spur zu kommen, war das Ziel des als GABI-COOL bezeichneten Projekts. 2007 haben die Forscher erste Ergebnisse auf den Tisch gelegt. Sie konnten sogenannte *quantitative trait loci* (QTL) für

Kältetoleranz beim Mais kartieren – also Abschnitte im Erbgut, in denen besonders viele relevante Gene für dieses Merkmal liegen. Gefunden haben die Wissenschaftler diese Abschnitte durch die Kombination von klassischen Züchtungsmethoden mit molekularbiologischen Verfahren wie z. B. der *Genexpressionsanalyse*. Als Basis hierzu dienten zwei Maislinien, die ganz unterschiedlich mit Kälte umgehen. Diese wurden nun auf der einen Seite hinsichtlich sichtbarer – also *phänotypischer* – Merkmale untersucht. Auf diesem Weg haben die Forscher versucht, durch äußere Eigenschaften auf wertvolle Gene zu stoßen und diese als QTL zu kartieren. Diese Daten wurden auf der anderen Seite mit molekularbiologischen Analysen verglichen, bei denen die Aktivitäten der Gene beider Maislinien bei kalten und warmen Witterungsverhältnissen beobachtet und ausgewertet wurden. Auf diese Weise haben die Forscher phänotypische und *genotypische* Merkmale miteinander abgeglichen. Stück für Stück konnten die Wissenschaftler dadurch den Kreis an verdächtigen und besonders in Frage kommenden Regionen im

Dem Weizen das Single-Dasein abgewöhnen

Um Pflanzen mit neuen Eigenschaften zu erzeugen, nutzen Landwirte schon seit Jahrzehnten die *Hybridzucht*. Hierunter wird die Kreuzung von genetisch unterschiedlichen Pflanzenlinien verstanden – entweder der gleichen oder einer anderen Art. Dies führt in der Regel zum sogenannten *Heterosis-Effekt*, also verbesserten Eigenschaften wie optimiertem Wuchs, erhöhter Fruchtausbeute oder Stresstoleranz.

Mit Hybridansätzen konnte der Ertrag bei Mais, Raps und Roggen bereits deutlich erhöht werden, allerdings gilt es stets, eine Selbstbefruchtung der Pflanzen zu verhindern. Ein natürlicher Selbstbestäuber wie Weizen stellt die Züchter nun vor ein Problem: Hier erfolgt die Selbstbefruchtung schon vor Öffnung der Blüten. Eine Kastration auf mechanischem Wege, etwa durch die Entfernung der Fortpflanzungsorgane, fällt aus wirtschaftlichen Gründen aber aus. Um dem Weizen dennoch sein Single-Dasein abzugewöhnen, wurden stattdessen diverse chemische und genetische Ansätze der Sterilisation verfolgt, aber sie funktionieren entweder nur unzureichend oder beruhen auf dem Einsatz giftiger Reagenzien. Unter dem Dach des GABI-FUTURE-Projektes „HYBWHEAT“ haben sich Wissenschaftler des IPK in Gatersleben nun gemeinsam mit der Nordsaat GmbH in Böhnshausen zum Ziel gesetzt, die chemische Kastration des Weizens durch einen gentechnologischen Ansatz zu ersetzen.

Der Weg zu einem pollensterilen Weizen verläuft dabei in mehreren Schritten, bei dem die Pflanze am Ende zwei Fragmente eines Fremdgens aufweist, die durch eine molekularbiologische Kopplung zusammen für die Sterilität des



Weizen ist normalerweise ein Selbstbestäuber.

Pollens sorgen. Dieses Vorgehen hat einen großen Vorteil: Wird eine derart veränderte Pflanze gekreuzt, erben die ertragreichen Nachkommen jeweils nur eines der beiden Genfragmente, also eine Art halbes Fremdgen. Damit bleiben die Nachkommen weiterhin fruchtbar.

Das bedeutet, die Forscher schlagen zwei Fliegen mit einer Klappe: Die Nachkommen sind fruchtbar und die Ausbreitung eines funktionsfähigen Fremdgens ist per se ausgeschlossen. Für dieses System soll nun ein *Proof of concept* im Labormaßstab etabliert werden.

Projekt im BMBF-Programm GABI-FUTURE:

„HYBWHEAT: Die Etablierung eines neuartigen transgenen Systems zur Erzeugung von Hybridweizensaatgut“

Partner: Leibniz-Institut für Pflanzen-genetik und Kulturpflanzenforschung (IPK) Gatersleben; Nordsaat GmbH Böhnshausen

Erbgut auf zwei offenbar besonders bedeutende Abschnitte eingengen, die nun tiefer auf einzelne wichtige Gene hin untersucht werden müssen.

Pflanzen mit erhöhter Fitness für Dürrezeiten

Beispiel Trockenheit: Wasser ist mitunter ein knappes Gut, doch ohne ausreichend Wasser kommt keine Landwirtschaft aus. Auf Niederschläge allein können sich Landwirte dabei angesichts des Klimawandels nicht immer verlassen. Zudem ist künftig mit noch größeren Schwankungen und Unsicherheiten zu rechnen, so dass auch bestimmte Gebiete in Deutschland, etwa am Oberrhein oder an der Oder, mit immer geringeren Niederschlagsmengen und steigenden Temperaturen umgehen müssen. Solche Bedingungen stellen Landwirte vor große Herausforderungen, bei denen veränderte Bewässerungsstrategien nur eine kurzfristige Lösung sein können.

Wissenschaft und Wirtschaft versuchen nun, diesem Problem mit der Entwicklung trockenoleranter Sorten zu begegnen. Ähnlich wie Kältetoleranz ist eine Widerstandsfähigkeit gegenüber Dürrezeiten aber ein ziemlich komplexes Problem: Zeitpunkt, Dauer und Intensität der Trockenheit spielen eine

ebenso große Rolle wie der Wasserhaushalt des Bodens, Luftfeuchtigkeit, Temperatur und Windgeschwindigkeit. Um damit umgehen zu können, brauchen Pflanzen zum einen ein gutes Wasseraufnahmevermögen: Das wenige vorhandene Wasser sollte von der Pflanze möglichst reichlich gebunden werden. Zum anderen ist der Faktor Wassernutzungseffizienz von hoher Bedeutung: Das erhaltene Wasser muss so effektiv wie möglich weiterverarbeitet werden. Jede Pflanzenart geht damit natürlicherweise anders um. Wasserbedürftige Arten wie Reis, die quasi im Wasser stehen müssen, um zu gedeihen, haben andere Ansprüche als eine Kartoffel- oder Tomatenpflanze. Um zu verstehen, wie die Pflanzen in Trockenperioden auf genetischer Ebene reguliert werden, verfolgt die Forschung zwei Strategien. Zum einen werden generell trockenheitsunempfindliche Arten wie etwa Kakteen molekularbiologisch untersucht, um artunabhängig nach bedeutenden Kandidatengenen für Trockentoleranz zu suchen, die sich für eine spätere Züchtung nutzen lassen. Auf der anderen Seite stützen sich Wissenschaftler und Saatgutfirmen auf jene Wildtypen der entsprechenden zu bearbeitenden Kulturart, die sich natürlicherweise als robust gegenüber Dürreperioden erweisen. Die Molekularbiologie hilft, bei der Suche nach relevanten Genen Zeit und Kosten zu

Kampf gegen Pilzkrankungen im Weinbau: Dilemma mit neuen Sorten

Zu den größten Problemen im Weinbau gehören Pilz- und Viruserkrankungen, die die Winzer selbst mit Pflanzenschutzmitteln nur schwer in den Griff bekommen. Nur fünf Prozent der landwirtschaftlichen Kulturfläche in Europa sind mit Reben bepflanzt, aber im Weinbau werden siebzig Prozent der Fungizide – organische Präparate, Schwefel und Kupfer – eingesetzt. Mit der Züchtung neuer Sorten können Weinbauern dieses Problem nicht angehen, denn neue Sorten können dem Verbraucher nur schwer vermittelt werden, wie das Beispiel Regent zeigt. Diese Rotweinsorte ist in jahrzehntelanger klassischer Züchtungsarbeit entstanden, wobei pilzresistente



Die moderne Forschung und Nutzung biotechnologischer Verfahren stecken beim Wein noch in den Kinderschuhen.

amerikanische Rebsorten mit qualitativ hochwertigen europäischen Sorten gekreuzt wurden. Seit 1997 ist Regent nun auf dem Markt, fristet aber trotz hoher Qualität immer noch ein Nischendasein. Der langwierigen und kostenintensiven klassischen Züchtung sind also aus wirtschaftlicher Sicht die Hände gebunden. Ein Ausweg aus diesem Dilemma könnte die Pflanzenbiotechnologie bieten. Denn wenn ein Gen für eine Pilzresistenz in eine Sorte wie Riesling eingebracht wird, ist es danach immer noch ein Riesling. Die Forschung an solchen Verfahren steckt jedoch noch in den Kinderschuhen, die meisten Unternehmen wagen sich angesichts der Verbraucherskepsis noch nicht in dieses Gebiet vor. Dabei konnte in einem vom BMBF geförderten Projekt zur Sicherheitsforschung festgestellt werden, dass gentechnisch veränderte pilzresistente Weinreben keine negativen Effekte auf die Umwelt haben. Experten gehen jedoch davon aus, dass zunächst Ansätze zur Unterlagenzüchtung umgesetzt werden, die mittels gentechnischer Verfahren resistent gegen Viren gemacht werden. Auf diese Weise wären die Trauben selbst unbehandelt, aber die Gefahr von Infektionen reduziert.

Auf diesem Gebiet tätige Forschungseinrichtungen in Deutschland: AlPlanta Institut für Züchtungsforschung in Neustadt; Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinland-Pfalz; Institut für Rebenzüchtung in Geilweilerhof
Mehr Informationen zum Thema: www.biosicherheit.de

sparen und ist zudem ein nützliches Werkzeug des klassischen Kreuzens und Rückkreuzens zur Entwicklung neuer Sorten. Ist ein besonders wertvolles Merkmal gefunden, können anhand von speziellen Genmarkern entsprechende Nachkommen zielgerichtet entwickelt und weiter untersucht werden. Dies beschleunigt den sonst über Jahre dauernden Prozess erheblich, da der Anbau von Nachkommenpflanzen deutlich reduziert werden kann. Auf diese Weise entwickelte trocken-tolerante Sorten befinden sich inzwischen weltweit in der Pipeline aller großen Saatgutkonzerne und werden in drei bis sieben Jahren auf dem Markt erwartet. So wurde beispielsweise in den USA eine Maissorte entwickelt, die trotz Wassermangels eine Ertragssteigerung von 50 Prozent aufweist. Auch ein trocken-toleranter Weizen, der 10 Prozent mehr Ertrag liefert (Australien) und eine Kichererbse, die schneller reift und somit vor Trockenperioden geerntet werden kann (Indien), wurden gezüchtet. Auch für deutsche Unternehmen ist Trockenheit ein wichtiges Thema: BASF arbeitet seit März 2007 unter anderem genau an diesem Thema mit dem US-Agrarunternehmen Monsanto zusammen. Aber auch im GABI-Programm haben ertragssteigernde Eigenschaften wie der geringere Bedarf an Wasser und Dünger eine hohe Relevanz: So werden etwa im Projekt GABI-IMPROVE Strategien zur Entwicklung von Nutzpflanzen gesucht, mit der sich unter anderem der Bedarf an Wasser und Dünger bei Raps und Reis signifikant reduzieren lässt. Dabei setzen die Wissenschaftler unter Koordination der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen, u. a. in Zusammenarbeit mit der Bayer CropScience AG, auf einen Ansatz, die sogenannte Photorespiration zu reduzieren. Diese energieverbrauchende Reaktion bedeutet wörtlich übersetzt „Lichtatmung“, mit der sich Pflanzen vor allem bei hohen Temperaturen vor speziellen Schädigungen schützen. In ersten Untersuchungen konnten die Forscher bereits zeigen, dass eine Reduktion dieses Vorgangs durch die Aktivierung eines speziellen Enzyms bei den Pflanzen zu verbesserten Erträgen führt.

Ertrag von Pflanzen steigern

Die erhöhte Robustheit einer Pflanze gegenüber klimatischen Umweltbedingungen ist allerdings nur eine Art und Weise, der Pflanze zu mehr Ertrag und Qualität zu verhelfen. Dank der immer besseren Kenntnis der Genome von Nutzpflanzen streben Züchter auch danach, andere ertragsrelevante Merkmale wie etwa Blüh- und Reifezeitpunkt, Wuchshöhe oder Fruchtqualität gezielt zu verbessern. Im Fokus der deutschen Forscher stehen hier insbesondere Getreidearten wie Weizen, Roggen und Gerste. Diese Pflanzen bilden nicht nur die Grundlage für die Nahrungsproduktion für große Teile der Welt, sondern rücken auch hinsichtlich ihrer Nutzung als Energiepflanze zunehmend in den Fokus der Landwirtschaft. Eine ganze Reihe von GABI-Projekten beschäftigt sich deshalb mit der Suche nach möglichen Kandidatengenen, die sich als Basis einer Ertragsverbesserung nutzen lassen. Ein Großteil der Forschungsarbeiten betrifft auch hier die Kartierung der Genome, die Lokalisierung potenziell relevanter Genregionen und die Speicherung dieser

Zukunftsvision: Anspruchslöse Zierpflanzen

Balkonpflanzen, die längere Perioden ohne Gießen auskommen, oder solche, die auch bei plötzlichem Frost nicht gleich eingehen, sind derzeit noch fern der Realität. Ein kleiner Kreis an Firmen beschäftigt sich jedoch inzwischen mit biotechnologischen Ansätzen, solche trocken- und kälteresistenten Zierpflanzen zu entwickeln. Darüber hinaus könnten mittels Gentransfer Züchterträume wie blaue Nelken oder blaue Rosen verwirklicht werden, die sich mit klassischen Methoden nicht erzeugen lassen.



Daten in für Züchter zugänglichen Datenbanken. So konnten in großangelegten Gen-Screenings bereits die genetischen Grundlagen für Ährenschieben, Tausendkorngewicht, Pflanzenhöhe, Rohprotein- und Stärkegehalt hunderter Sorten aufgedeckt und zwischen verschiedenen Getreidearten verglichen werden.

Auf der anderen Seite führen die Forscher aber auch gezielte Analysen einzelner Eigenschaften wie der genetischen Regulierung der Stoffwechselprozesse bei der Entwicklung des Gerstenkorns durch. In welchen Dimensionen solche Untersuchungen ablaufen, zeigt ein Blick auf die Zahlen: So wurden im GABI-SEED-Projekt in einer ersten Beobachtungsrunde über 1.300 signifikante Genregionen (QTLs) bei der Gerstenkornentwicklung identifiziert, von denen 700 in einem zweiten Schritt bestätigt wurden. Die Analyse von löslichen Eiweißen aus dem reifen Korn lieferte zudem mehr als 1.500 unterschiedliche Eiweiße. Ein anderes Projekt (GABI-WHEAT) hat sich wiederum zum Ziel gesetzt, züchterisch interessante Gene in Weizen-Wildtypen zu identifizieren und diese für die Einkreuzung in deutsche Elite-Weizensorten zu nutzen.

Widerstandskraft gegen Krankheiten erhöhen

Beispiel Krankheiten: Hinter so klangvollen Namen wie *Phytophthora infestans*, *Uromyces necator*, *Plasmopara viticola* oder *Venturia inaequalis* verbergen sich Pilze, die für Pflanzen ziemlich gefährlich werden können. So ist allein *Phytophthora*, der Erreger der Kraut- und Knollenfäule bei Kartoffeln, weltweit für Ernteeinbußen von etwa 20 Prozent verantwortlich. Der

kleine Schadpilz ist so flexibel, dass er bislang noch jede gegen ihn gerichtete Bekämpfungsstrategie überlebt und mit neuen, entsprechend angepassten Formen in relativ kurzer Zeit beantwortet hat. Die klassische Züchtung ist dem Krankheits-erreger stets hintergeht: Keine der über jahrzehntelanges Einkreuzen entwickelten resistenten Sorten hat dauerhaften Erfolg gebracht, weil der Erreger diese Barriere immer wieder durchbrechen konnte. Den Landwirten bleiben bislang vor allem chemische Bekämpfungsmittel, um die Pilzkrankheit in Schach zu halten.

Pflanzenbiotechnologen am Max-Planck-Institut für Züchtungsforschung in Köln haben nun ein Verfahren entwickelt, das den natürlichen Abwehrmechanismus der Kartoffeln gegen den Pilz unterstützt. Die Pflanze bildet nämlich rund um den Infektionsherd einen Schutzwall aus abgestorbenen Pflanzenzellen, der den Pilz daran hindern soll, weiter vorzudringen. Diese so genannte hypersensitive Reaktion ist aber meistens nicht ausreichend, um die Pflanze effektiv zu schützen. Aus diesem Grund haben die Forscher das natürliche Abwehrsystem mit einem Fremdgen aufgerüstet: Es stammt aus dem Bodenbakterium *Bacillus amyloliquifaciens*, das ein für den Pilz giftiges Enzym (Barnase) produziert. Damit dieses Enzym allerdings nur bei einem Pilzangriff gebildet wird und auch nur dort, wo der Infektionsherd auftritt, haben die

Forscher einen Trick angewandt und das fremde Gen mit der regulatorischen Sequenz eines pflanzeigenen Abwehrgens ausgestattet. Wird die Pflanze nun vom Pilz befallen, so sorgt dieser molekulare Schalter dafür, dass das fremde Gen zur Enzymproduktion am Ort des Geschehens aktiviert wird. Diese gentechnische Stärkung der Widerstandskraft der Kartoffel hat sich in ersten Testversuchen als möglicher Weg herausgestellt, mit *Phytophthora* umzugehen.

Es gibt aber auch andere Ansätze. Der Ausgangspunkt hierfür war die Entdeckung zweier bedeutender Resistenzgene in der wilden, in Mexiko vorkommenden Kartoffelart *Solanum bulbocastanum*, die von US-Wissenschaftlern der Universität Wisconsin aufgespürt und mithilfe molekularbiologischer Verfahren isoliert wurde. Da diese wilde Art jedoch mit heutigen Kulturkartoffeln nicht kreuzbar ist, bot die Gentechnik den einzig möglichen Ansatz, die zwei Gene in heutige Linien zu übertragen. Diese Sorte befindet sich beim deutschen Großunternehmen BASF nun im Testprozess: Nach erfolgreichen Gewächshausversuchen wird sie seit 2006 in Schweden, den Niederlanden, Großbritannien, Irland und Deutschland auch im Freiland auf Effizienz und Sicherheit geprüft. Sollte sich die Kartoffel tatsächlich bewähren, ist nach Abschluss der Freisetzungversuche eine Markteinführung geplant.

Sicherheit geht vor: Neue gentechnisch veränderte Sorten auf dem Prüfstand

Wenn ein Agrarunternehmen eine neue gentechnisch veränderte Pflanze als Futter- oder Lebensmittel auf den Markt bringen will, braucht es dafür zwei Zulassungen: eine Genehmigung des Inverkehrbringens nach der EU-Freisetzung-Richtlinie 2001/18 (Schwerpunkt: Umweltverträglichkeitsprüfung) und eine Genehmigung nach der EU-Verordnung für gv-Lebens- und Futtermittel (1829/2003) (Schwerpunkt: gesundheitliche Unbedenklichkeit für Mensch und Tier). Ohne diese Zulassungen darf kein Produkt auf den Markt gebracht werden. Die Prüfung eines Antrags erfolgt bei der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA), die im italienischen Parma angesiedelt ist. Dort erarbeitet ein für Gentech-



Gentechnisch veränderter Mais wurde 2007 in Deutschland auf einer Fläche von mehr als 2.000 Hektar angebaut.

nik zuständiges Gremium (GMO Panel) ein wissenschaftliches Gutachten auf der Basis der vom Unternehmen eingereichten Daten. Als Vergleichsmaßstab dient dabei stets das vergleichbare konventionelle Produkt. Die Sicherheitsbewertung erfolgt hinsichtlich des neu eingeführten Genprodukts und seinen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit sowie auf Tiere und andere Pflanzen. Darüber hinaus werden die Folgen von Wechselwirkungen des neuen Genprodukts mit anderen Genprodukten der Pflanze betrachtet. Für all diese Effekte muss der Antragsteller Studien vorlegen. Aber auch in der Wissenschaft werden schon frühzeitig in der Entwicklung neuer transgener Ansätze begleitende Sicherheitsforschungsprojekte durchgeführt. Allein in Deutschland laufen derzeit 24 Projekte unter dem Dach des aktuellen BMBF-Programms „Biologische Sicherheitsforschung“. Eines der am meisten untersuchten Objekte ist der in der Öffentlichkeit stark diskutierte Bt-Mais, der ein Gen des Bakteriums *Bacillus thuringiensis* enthält. Seit 1999 wurden dazu 34 Projekte durchgeführt, die sich mit Auswirkungen von Bt-Mais auf sogenannte „Nicht-Zielorganismen“ beschäftigt haben.

Ausführliche Informationen über Ergebnisse aus der biologischen Sicherheitsforschung: www.biosicherheit.de

Lebensmittel: Mehr Qualität auf dem Teller

Die Qualität von Lebensmitteln ist ganz wesentlich von deren Inhaltsstoffen abhängig. Pflanzenforscher können den genetischen Ursprung dieser Inhaltsstoffe im Erbgut der Pflanzen aufspüren und der Züchtung wertvolle Hinweise zur Entwicklung qualitativ besserer und gesünderer Produkte liefern. Gleichzeitig finden Ernährungswissenschaftler heraus, wie wir Menschen Nahrung eigentlich verwerten.

Aus Raps (*Brassica napus*) hergestelltes Speiseöl ist besonders wertvoll und aus dem Supermarktregal inzwischen nicht mehr wegzudenken. Im Vergleich zu anderen Pflanzenölen weist Rapsöl den höchsten Gehalt an gesunden mehrfach ungesättigten Fettsäuren und den niedrigsten Anteil an gesättigten Fettsäuren auf. Dass Rapsöl aber überhaupt auf dem Speiseplan aufgetaucht ist, dafür mussten Pflanzenzüchter über Jahrzehnte – und zu Beginn noch ohne Hilfe der Genomforschung – harte Arbeit leisten. Natürlicherweise enthält Rapsöl nämlich sehr viel Erucasäure – und diese verleiht dem Pflanzensaft einen extrem bitteren Geschmack. Aus diesem Grund galt Öl aus Rapsamen lange Zeit als ungenießbar und landete nur in Notfällen auf dem Tisch.

Siegeszug des Rapses durch Züchtung

Dies änderte sich jedoch, als es der Forschung in den 60er Jahren gelang, in einer deutschen Rapssorte einen geringen Gehalt an Erucasäure zu identifizieren. Es dauerte jedoch gut zehn Jahre, bis die ersten Erucasäure-freien Rapssorten mit guten Ertrags- und Anbaueigenschaften auf den Markt kamen. Das allein hat dem Rapsöl aber noch nicht zum Durchbruch verholfen, denn noch weitere Inhaltsstoffe – die Glucosinolate – verhinderten eine aus wirtschaftlicher Sicht attraktive Verwertung von Rapspflanzen. Ist dem Gewächs das Öl durch Kaltpressung entzogen, bleibt ein sogenannter Presskuchen übrig. Die Glucosinolate sorgen nun dafür, dass in der Pflanze bestimmte Abbauprodukte entstehen, die in giftigen Konzentrationen im Presskuchen enthalten sein können. So ließ sich der Rapsabfall noch nicht einmal zur Verwendung als Tierfutter nutzen. Es dauerte wiederum ein Jahrzehnt, bis es mithilfe klassischer Züchtungsmethoden gelang, die Erucasäure-freien Sorten auch mit einem reduzierten Glucosinolat-Gehalt auszustatten. Erst

mit diesem als „00“-Sorten bezeichnetem Raps hielt die Ölpflanze Einzug in die Nahrungsmittelindustrie und wird heutzutage sowohl in Margarine als auch als Speiseöl verwendet. Dies hat auch den Anbau in Deutschland nachhaltig beeinflusst: Im Jahr 2006 wurden mehr als eine Million Hektar deutscher Ackerflächen mit Raps bestellt. Heute besteht die Herausforderung in der Rapszüchtung darin, die Wirtschaftlichkeit der großen Anbauflächen weiter zu erhöhen, den Landwirten eine bessere Verwertbarkeit aller anfallenden Pflanzenteile zu sichern und gleichzeitig für den Verbraucher nützliche Rapsprodukte zu entwickeln. Die noch vergleichsweise ‚junge‘ Industriepflanze Raps bietet dabei enormes Potenzial, denn in ihr schlummern Fähigkeiten, die derzeit nur ansatzweise genutzt werden. Um diese besonderen Eigenschaften zu identifizieren, hat das BMBF in den Jahren 1999 bis 2005 das Verbundvorhaben „NAPUS 2000“ als eines von drei Leitprojekten der molekularen Ernährungsforschung gefördert, das von der Universität Gießen und der Norddeutschen Pflanzenzucht Hans-Georg-Lembke KG koordiniert wurde. Gemeinsam mit zehn Universitäten und Forschungseinrichtungen, drei Saatgutunternehmen und sechs Unternehmen der verarbeitenden Industrie konnte dadurch die Basis für die unterschiedlichsten Wege der besseren Verwertung von Raps geschaffen werden. Eines der Projekte beschäftigte sich beispielsweise mit den für Kreuzblütlern typischen phenolischen Bitterstoffen, die nicht nur im Samen, sondern in der ganzen Pflanze vorkommen. Diese Substanzen haben bislang eine Nutzung des bei der Ölherstellung anfallenden



Erst dank umfangreicher Pflanzenzüchtung ist Öl aus Rapspflanzen überhaupt als Speiseöl auf unseren Tellern gelandet.

Pressrückstands in der Lebensmittelindustrie ebenfalls stark behindert. Sie sorgen dafür, dass sowohl der Pressrückstand als auch daraus hergestelltes Mehl bitter schmecken und sich zudem durch Oxidation dunkel verfärben – beides keine guten Voraussetzungen, um den Pressrückstand weiter für die menschliche Ernährung zu verarbeiten. Dabei enthält gerade der Presskuchen einen hohen Anteil an Eiweißen aus wichtigen Aminosäuren. Diese brauchen den Vergleich mit Soja nicht zu scheuen und weisen eine ähnlich hohe Qualität auf.

Um die Rapsproteine als Ersatz für Sojaprodukte in der Nahrungsmittelindustrie stärker zu etablieren, hat sich ein NAPUS-Teilprojekt nun mit dem Bitterstoff Sinapin beschäftigt. Dabei wählten die Wissenschaftler verschiedene Wege: Auf der einen Seite galt es die Gene zu identifizieren, die bei der Herstellung der Sinapine eine entscheidende Rolle spielen und darauf aufbauend Wege zu etablieren, diese Mechanismen gezielt zu blockieren. Auf der anderen Seite haben die Forscher mithilfe klassischer Züchtungsmethoden Rapsorten mit natürlich vorkommenden niedrigen Sinapin-Gehalten sowie Pflanzen mit gelbem statt schwarzem Samen entdeckt. Beide Wege haben sich letztlich gelohnt. So konnten die Wissenschaftler die zwei wichtigsten Enzyme der Sinapin-Produktion im Erbgut des

Rapses aufspüren, im Genom lokalisieren und dort kartieren. Auf dieser Basis sind erste transgene Rapslinien entwickelt worden, in denen weniger als zwei Milligramm (mg) Sinapin pro Gramm Samen erzeugt wird. Dies ist sechsmal weniger als bei herkömmlichen Pflanzen. Aber auch der klassische Weg hat zu positiven Ergebnissen geführt: Gemeinsam mit den beteiligten Unternehmen gelang es, mit einem ausgetüftelten Selektionsprozess solche Rapspflanzen herauszufiltern, die einen Sinapin-Gehalt von weniger als fünf mg/g Samen aufweisen, um diese mit Pflanzen zu kreuzen, die einen gelben Samen besitzen. Ihrem Ziel sind Wissenschaft und Wirtschaft damit schon ein gutes Stück näher gekommen. Doch jetzt gilt es, diese Ansätze noch zu optimieren und auf ihre Praxistauglichkeit zu testen. Dies geschieht u.a. unter dem Dach von YellowSin, einem im BMBF-Programm GABI angesiedelten deutsch-kanadischen Kooperationsprojekt, das noch bis 2010 laufen wird.

Eine andere Fragestellung, deren grundlegende Erforschung ebenfalls im Rahmen von NAPUS 2000 stattgefunden hat, drehte sich um die Gewinnung von Omega-3-Fettsäuren. Solche auch als langkettige, mehrfach ungesättigte Fettsäuren (LCPUFA) bezeichneten Substanzen können vom menschlichen Körper selbst nicht in ausreichender Menge produziert werden.

Kartoffeln auf ihre Eignung als Pommes frites prüfen

Wie Kartoffelchips und Pommes frites schmecken – darüber entscheidet unter anderem der Zuckergehalt in den Knollen. Trauben- und Fruchtzucker reagieren beim Frittieren nämlich mit Aminosäuren und sorgen so in der so genannten Maillard-Reaktion für die Bildung von schwarz-braunen Phenolen. Diese sehen nicht nur unappetitlich aus, sondern vermindern auch erheblich den Geschmack. Eine Kartoffelsorte ist demnach umso weniger für die Kartoffelchips- und Pommes-Produktion geeignet, je mehr Trauben- und Fruchtzucker sie in den Knollen enthält. Dieser Effekt verstärkt sich noch zusätzlich, wenn Kartoffeln bei Kühlschranktemperaturen gelagert werden, wie dies üblicherweise nach der Ernte geschieht. Daher spielt diese Eigenschaft schon bei der Züchtung neuer Sorten eine wichtige Rolle. Die klassischen Methoden haben jedoch einen Nachteil: Um eine neue Kartoffelva-

riante zuverlässig auf ihre „Chips-Eignung“ zu prüfen, müssen ausreichend Knollen zum Frittieren auf Probe vorhanden sein. Dieses Problem haben Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für Züchtungsforschung in Köln gemeinsam mit den Kartoffelzüchtern BNA, Bioplant und Norika GmbH zum Anlass genommen, genetische Marker aufzuspüren, mit denen sich die Eignung von Kartoffeln schon im frühen Entwicklungsstadium mit kleinsten Pflanzenproben testen lässt. Im Laufe des Projekts GABI-CHIPS, das im Jahr 2006 abgeschlossen wurde und bei dem noch weitere zahlreiche wissenschaftliche Fragestellungen bei Kartoffeln untersucht worden sind, wurde eine Population von 243 Kartoffelsorten auf genetische Eigenschaften untersucht, die den Züchtern einen Hinweis auf die Eignung als Kartoffelchips geben können. Für zehn Kandidatengene konnte ein solcher Einfluss auf die Eignung schließlich nachgewiesen werden. Eines dieser Gene trägt beispielsweise den Bauplan für das zucker spaltende Enzym Invertase. Pflanzen, die eine bestimmte Ausprägung dieses Gens in sich tragen, bilden mit hoher Wahrscheinlichkeit weniger Zucker und haben demnach eine größere Chance, später als Kartoffelchips oder Pommes frites auf unseren Tellern zu landen.



Ob sich Kartoffeln für eine Verwertung als Pommes frites eignen, lässt sich in ihren Genen ablesen.

Projekt im BMBF-Programm GABI:

„GABI-CHIPS: Assoziations-Kartierung in Kartoffeln zur genetischen Verbesserung der Chipseignung“; Partner: Max-Planck-Institut für Züchtungsforschung in Köln; BNA; Bioplant und Norika GmbH

Mehrere Studien haben inzwischen belegt, dass sie neben physiologischen Funktionen auch gesundheitsfördernde Wirkungen haben, beispielsweise zur Unterstützung des Herz- und Kreislaufsystems. Aus diesem Grund wird der Verzehr von Omega-3-Fettsäuren seit Jahren empfohlen. Die natürlichen Quellen sind jedoch auf Seefische und Algen begrenzt, gleichzeitig steigt aber stetig der Bedarf an derartigen Nahrungsmitteln. Deshalb gibt es inzwischen verstärkte Bemühungen auf Seiten der Wissenschaft, Wege zu finden, wie sich Omega-3-Fettsäuren, z. B. Eicosapentaensäure, in ganz normalen Lebensmitteln wie Margarine anreichern lassen. Ziel von NAPUS 2000 war es daher, über die Produktion der langkettigen Omega-3-Fettsäuren in Raps und Lein diese Versorgungslücke zu schließen und damit gleichzeitig eine nachhaltige und ökologisch sinnvolle Quelle zu erschließen.

Raps und Lein verfügen bereits über einen hohen Gehalt einer Omega-3-Fettsäure, der Alpha-Linolensäure. Diese Substanz ist üblicherweise der Ausgangspunkt für die Herstellung langkettiger Omega-3-Fettsäuren. Anders als bei Fischen und Algen fehlen Raps und Lein allerdings die nötigen Werkzeuge, also die entsprechenden Enzymsysteme, um sie auch tatsächlich zu produzieren. Auf Wegen der klassischen Züchtung lassen sich solche Enzyme nicht in Ölpflanzen einbringen, deshalb blieb den Wissenschaftlern hier allein der biotechnologische Ansatz. In einem ersten Schritt isolierten sie hierzu alle für die Herstellung der Omega-3-Fettsäuren wichtigen Gene aus Algen und transferierten diese in Raps- und Leinpflanzen. Parallel dazu spürten sie mithilfe klassischer Selektionszüchtung Raps- und Leinlinien auf, die natürlicherweise einen hohen Ausgangsgehalt an Alpha-Linolensäure aufwiesen. In der Kombination beider Wege konnten die Wissenschaftler schließlich transgene Lein- und Rapspflanzen mit erhöhtem Gehalt der Omega-3-Fettsäuren Eicosapentaensäure und Arachidonsäure entwickeln. Gleichzeitig wurde neben den züchterischen Maßnahmen versuchsweise eine an mehrfach ungesättigten Fettsäuren reiche Margarine erzeugt, um die ernährungsphysiologischen Wirkungen eines solchen Produktes zu testen.

Biologische Sicherheitsforschung zu Raps

Begleitend zu all diesen verschiedenen Raps-Forschungsarbeiten wurde in der biologischen Sicherheitsforschung des BMBF ein groß angelegtes Projekt (GenEERA) unter Koordination der Universität Bremen verfolgt, das sich mit der Ausbreitung von gentechnisch veränderten Rapspflanzen in großflächigen Regionen beschäftigt hat. Ziel war es, ein methodisches Instrumentarium zu entwickeln, mit dem sich die Ausbreitungsdynamik von Raps abschätzen lässt. Ein Anbau von gentechnisch verändertem Raps auf deutschen Äckern ist in den nächsten Jahren noch nicht absehbar, doch das Projekt sollte – gemessen an deutschen Verhältnissen und hiesigen Anbauerfahrungen – erstmals empirische Daten erfassen, die bei der Gestaltung möglicher Koexistenzregeln als Basis dienen könnten. Eines der zentralen Ergebnisse des Projektes ist die Tatsache, dass enorme Abweichungen zwischen den einzel-

Das Gerstengenom im Visier

Die Wissenschaft will nun ganz genau wissen, wie das Erbgut der Gerste im Detail aussieht. Im August 2007 hat sich ein internationales Konsortium gebildet, das sich die komplette Entschlüsselung des Gerstengenoms zur Aufgabe gesetzt hat. Erstmals übernimmt Deutschland mit dem Verbundvorhaben GABI-BARLEX in einem solchen internationalen Sequenzierungsprojekt eine koordinierende Rolle. Vom BMBF fließen insgesamt sechs Millionen Euro in erste Arbeiten. Das tieferegehende Wissen um die genaue genetische Ausstattung der Gerste soll langfristig dazu beitragen, die Züchtung neuer Sorten deutlich zu erleichtern.



nen untersuchten Regionen bestehen. Ein möglicher Anbau gentechnisch veränderter Rapspflanzen muss daher ganz anderen Ansprüchen genügen als beispielsweise Mais. Rapspollen können vom Wind und von Insekten über weite Strecken transportiert werden. Zudem besitzt Raps in Europa, anders als Mais oder Kartoffeln, viele Kultur- und Wildverwandte, so dass eher unerwünschte Auskreuzungen möglich sind. All diese Probleme zeigten sich auch in den Untersuchungen der Wissenschaftler – allerdings je nach Region und Anbauverhältnissen mit sehr unterschiedlichem Ausgang. Aus diesem Grund, so das Fazit der Forscher, sei eine Koexistenz prinzipiell möglich, müsste aber mit großer Sorgfalt geplant und anderen Auflagen unterliegen, als diese derzeit für Mais vorgesehen sind.

Der Bierqualität auf der Spur

Die Wissenschaft beschränkt sich natürlich nicht nur auf Raps, wenn es darum geht, Qualitätsverbesserungen bei Lebensmitteln zu erreichen. Auch der Deutschen liebste Getränk, das Bier, steht inzwischen auf der Arbeitsagenda der Genomforschung. Für den Geschmack des beliebten Gerstensafts ist unter anderem die Qualität des verwendeten Malzes verantwortlich, welches in ausreichender Menge und mit optimal zusammengesetzten Inhaltsstoffen produziert werden muss. Um züchtungsrelevante Eigenschaften bei Gerstenpflanzen bestimmen zu können, müssen normalerweise mehrere Pflanzengene-

rationen herangezüchtet werden, damit für entsprechende Testanalysen genügend Körnermaterial zur Verfügung steht. Mithilfe biotechnologischer Markerverfahren lässt sich diese Vermehrung jedoch auf ein Minimum reduzieren, weil hierfür nur eine geringe Menge an biologischem Material für die Selektion notwendig wäre. Dazu müssen die genetischen Grundlagen des Merkmals Malzqualität aber zunächst auf Genomebene analysiert und entsprechend bestätigt werden. Diesem Ziel haben sich mehrere Forschungsprojekte im GABI-MALT-Verbund gewidmet. Forscher des Leibniz-Instituts für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK) in Gatersleben konnten beispielsweise mit Unterstützung der Saaten-Union Resistenzlabor GmbH eine umfangreiche Datenbank entwickeln, in denen sich rund 120 Parameter mit Einfluss auf die Malzqualität mit Ergebnissen aus der Genomforschung koppeln lassen. Auf dieser Basis können nun für die Züchtung besonders interessante Kandidatengene herausgefiltert werden, mit denen sich die Qualität einer Gerstenlinie schon im frühen Stadium der Sortenentwicklung abschätzen lässt. Ein anderes Projekt an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Freising-Weißenstephan hat einen solchen Weg bereits beschritten und zwei Kandidatengene für den Einsatz als molekularer Marker für Malzqualität etablieren können.

Giftstoffe im Weizen reduzieren

Beim Weizen wiederum will die Pflanzenforschung Wege zu einer Reduzierung unerwünschter Inhaltsstoffe aufzeigen. So stellt sich den Züchtern ein ähnliches Problem wie beim Raps, allerdings wird dieses nicht durch die Pflanze selbst, sondern durch den Befall mit Pilzen ausgelöst. Von *Fusarium*-Pilzen angegriffene Weizenpflanzen produzieren in ihren Ähren nicht

nur kleine Kümmerkörner, sondern können auch die Bildung verschiedener Gifte (Mykotoxine) auslösen. Bei der Weiterverarbeitung des Getreides ist es nicht ausgeschlossen, dass diese dann in die Nahrung gelangen und zu chronischen oder akuten Vergiftungserscheinungen führen. Bislang wehren sich Landwirte gegen Fusarien, indem sie möglichst wenig anfällige Sorten nutzen, spezielle Anbaumaßnahmen treffen und chemische Fungizide einsetzen. Bei starkem Befall, vor allem bei feucht-warmem Wetter, bieten diese Maßnahmen jedoch nur einen unzureichenden Schutz.

Mithilfe der Genomforschung suchen Züchter deshalb nach Ansätzen, wie sich Weizenpflanzen vor Fusariumbefall besser schützen lassen und somit die Produktion giftiger Stoffe eingedämmt wird. In Deutschland werden inzwischen mehrere Wege verfolgt, *Fusarium*-resistenten Weizen zu entwickeln. In einem GABI-Projekt, das im Verbund mit kanadischen Arbeitsgruppen erfolgt, sind Forscher etwa exotischen Resistenzquellen auf der Spur, um diese auf Basis einer Marker gestützten Selektion mit hiesigen Eliteweizenlinien zu kreuzen.

So haben sich in chinesischen und brasilianischen Weizensorten höchst interessante Genregionen nachweisen lassen. Ein Vergleich mit europäischen Weizensorten zeigt jedoch, dass die Pilzresistenz bei hiesigen Pflanzen offenbar noch komplexeren Mechanismen auf Genebene folgt. Die Wissenschaftler wollen nun bereits bekannte *quantitative trait loci* (QTL) auf ihre Relevanz in den hiesigen zentraleuropäischen Sorten prüfen. Außerdem wollen sie neue Kandidatengene sowohl im Weizen als auch in anderen Getreidearten identifizieren, die sich für Züchtung resistenter Weizenpflanzen nutzen lassen – ohne dabei anderweitige Nebeneffekte mit sich zu bringen. All diese Arbeiten erfordern einen Mix klassischer Zuchtverfahren mit unterschiedlichsten molekularbiologischen Methoden.

Biomedizinische Ernährungsforschung: Neue Wege im Kampf gegen Volkskrankheiten

Was steckt eigentlich hinter dem Begriff „gesunde Ernährung“? Wissenschaftlich fundierte Antworten auf diese Frage sind noch immer rar gesät, dabei spielt die Ernährung bei vielen Krankheiten oft eine zentrale Rolle. erinnert sei dabei nicht nur an Allergien, die auf Abwehrreaktionen des Körpers gegen bestimmte Nahrungsbestandteile zurückzuführen sind, sondern auch an Volkskrankheiten wie Fettleibigkeit, Diabetes oder Herz-Kreislauf-Erkrankungen.

So kontrolliert ein komplexes genetisches Regelwerk unseren Ernährungszustand und steuert Empfindungen wie Hunger und Sättigung, Nahrungszufuhr und Fettspeicherung. Das Verwickelte daran: Nicht bei allen Menschen funktioniert dieses Regelwerk offenbar auf die gleiche Weise. Störungen dieser Mechanismen führen zu Ungleichgewichten und begünstigen die Entstehung der oben genannten Krankheiten. Eine Reihe von BMBF-Projekten ist diesen Fragen bereits auf den Grund

gegangen – unter anderem im BioProfile-Netzwerk Nutrigenomik Berlin-Brandenburg, das Forschungseinrichtungen und Unternehmen der Region unter einem Dach zusammenführt. Allianzen wie diese sollen künftig noch stärker bestehende Wissenslücken schließen.

Aus diesem Grund hat das BMBF Anfang 2008 im Rahmen der Zukunftsinitiative „Bioenergie und gesunde Ernährung“ einen der Schwerpunkte auf die biomedizinische Ernährungsforschung gelegt. Ziel dieses Schwerpunktes ist es, Wechselwirkungen zwischen Nahrungsbestandteilen und dem menschlichen Organismus aufzuklären und den Einfluss der Ernährung auf die Krankheitsentstehung bzw. ihre vorbeugenden Eigenschaften zu untersuchen. Insgesamt bis zu 10 Millionen Euro Fördermittel werden für neue Projekte zur Verfügung gestellt.

Mehr Informationen: www.bmbf.de/foerderungen/12082.php

Energie: Pflanzen für den Klimaschutz

Die Energiegewinnung aus pflanzlichen Rohstoffen wird in den kommenden Jahren eine immer größere Rolle spielen.

Die biotechnologische Forschung kann dazu beitragen, dass Bioenergie effizienter als bisher genutzt wird.

Gefragt sind vor allem neue Wege zur besseren Verwertung von Biomasse.

Energie aus nachwachsenden Rohstoffen gewinnt immer mehr an Bedeutung. Zwar nutzen deutsche Verbraucher noch immer vor allem fossile Energieträger wie Erdöl und Kohle, doch der Anteil erneuerbarer Energieträger wie Biomasse, Wind- und Wasserkraft an der Erzeugung von Wärme, Elektrizität oder Treibstoff nimmt stetig zu. Allein in den letzten sechs Jahren konnte der Anteil an Bioenergie verdoppelt werden und liegt heute bei ca. 6 Prozent am gesamten primären Energieverbrauch. Mit ihrem Energie- und Klimaschutzprogramm will die Bundesregierung diesen Trend auch in Zukunft unterstützen. Die Ziele sind ehrgeizig: Bis zum Jahr 2010 sollen sich die Nutzungszahlen verdoppeln. Bis zum Jahr 2050 wird angestrebt, dass mindestens die Hälfte des deutschen Energieverbrauchs aus regenerativen Quellen stammt.

Ein Vergleich aller regenerativen Energieträger zeigt, dass Biomasse – also die Verwertung ganzer Pflanzen sowie pflanzlicher und tierischer Abfälle – innerhalb der Bioenergie eine



Langfristige Vision: Alle Pflanzenteile – auch Stroh – für die Bioenergieverwertung nutzen.

zentrale Rolle spielt. Im gesamten Bioenergie-Sektor entfallen die meisten Arbeitsplätze auf den Bereich Biomasse, gleichzeitig wird hier der meiste Umsatz erwirtschaftet. Sowohl bei der Wärmeerzeugung als auch bei der Strom- und Treibstoffgewinnung zählt Biomasse zu den am häufigsten eingesetzten Bioenergieträgern. (vgl. Kapitel Wirtschaftliche Bedeutung).

Biomasse hat großes Potenzial

Ein Blick auf die Zahlen der vergangenen Jahre zeigt zudem ein deutliches Wachstum: So hat sich nach Angaben des Bundesverbandes BioEnergie e. V. beispielsweise der Anteil der Biomasse an der Stromerzeugung seit 2005 um ein Drittel gesteigert. Darüber hinaus ist die Biomasse die derzeit einzige regenerative Quelle, aus der sich Biotreibstoff herstellen lässt, der bei existierenden Verbrennungsmotoren funktioniert. Der größte Vorteil von aus Pflanzen gewonnener Bioenergie liegt auf der Hand: Es wird prinzipiell immer nur soviel CO₂ freigesetzt, wie die Pflanzen zuvor aus der Atmosphäre aufgenommen haben. Die Nutzung von Biomasse kann demnach helfen, den sich verstärkenden Treibhauseffekt abzumildern und globalen Klimaveränderungen entgegenzuwirken. Mit der 2001 in Kraft getretenen Biomasseverordnung und den Verbesserungen der Vergütungen im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) aus dem Jahr 2004 ist in Deutschland zudem der Weg für die Stromgewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen maßgeblich geebnet worden. Seit 2007 gilt zusätzlich das Biokraftstoffquotengesetz, wonach dem Treibstoff ein gesetzlich vorgeschriebener Anteil von Biokraftstoffen beigemischt werden muss.

Nicht jede Biomassenutzung genügt jedoch den gleichen Ansprüchen an Nachhaltigkeit und Klimaschutz. Aus diesem Grund haben sich BMU und BMELV Ende 2007 in einer „Roadmap Biokraftstoffe“ darauf geeinigt, dass langfristig nur solche Biotreibstoffe steuerlich gefördert werden, die gewisse Mindestanforderungen bei der Erzeugung der Energieträger einhalten. Auf diese Weise soll der Schutz natürlicher Lebensräume gesichert und Anreize zur effizienten Verminderung der Treibhausgase geschaffen werden.

Flächenkonkurrenz und Rohstoffknappheit

Nach Angaben der Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (FNR) werden derzeit in Deutschland auf rund 1,75 Millionen Hektar Energiepflanzen angebaut. Dies entspricht ungefähr 17 Prozent der derzeit vorhandenen Ackerflächen in Deutschland. Zusätzlich liefern die 11,1 Millionen Hektar Wald – die immerhin ein Drittel der bundesdeutschen Fläche ausmachen – Holz für die Industrie und die Energieversorgung. An oberster Stelle der Kulturpflanzen steht hierzulande Raps, gefolgt von Mais, Getreide und Zuckerrüben. So werden derzeit bereits etwa 70%

des angebauten Winterrapses für die Produktion von Biokraftstoffen eingesetzt. Experten gehen davon aus, dass eine Ausweitung des Energiepflanzenanbaus in Deutschland auf 3,5 bis 4 Millionen Hektar möglich ist. Die vollständige Abdeckung des deutschen Energiebedarfs ist damit aber kaum möglich, zudem steht die energetische Nutzung der Pflanzen in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion – ein Konflikt, der sich künftig eher verschärfen als entspannen wird.

Forschung für Energieeffizienz

Im Mittelpunkt der Forschungsanstrengungen im BMBF-Programm GABI-FUTURE stehen deshalb unter anderem Projekte, die eine genombasierte Produktivitätssteigerung der bislang eingesetzten Energiepflanzen ausloten. So arbeitet beispielsweise ein von der Norddeutschen Pflanzenzucht Hans-Georg Lembke KG koordiniertes Konsortium an einem Raps, dessen Öl nicht nur in der Margarine Anwendung findet, sondern hierzulande auch in der Biodiesel-Produktion angewendet werden kann. Biodiesel ist der in Deutschland am meisten genutzte Biokraftstoff: Über drei Millionen Fahrzeuge sind in

Deutschland für den Biodieselbetrieb zugelassen, zudem ist Biodiesel an bundesweit rund 1.900 Tankstellen erhältlich und ist dem herkömmlichen Diesel beigemischt. Die Herstellung von Biodiesel erfolgt unter Zugabe von Methanol, wodurch das Rapsöl in sogenannten Rapsöl-Methylester (RME) umgewandelt wird (siehe Grafik S. 22).

Um nun pro Hektar Anbaufläche Raps mehr Biodiesel nutzen zu können, soll die Ölausbeute beim Rapsanbau signifikant gesteigert werden. Das Projekt GABI-OIL will dazu neueste Verfahren der Genomforschung nutzen, um der molekularbiologischen Steuerung des Ölgehalts im Raps auf die Spur zu kommen. Dabei setzen die Forscher auf eine Kombination klassischer und biotechnologischer Verfahren sowie einem Genomvergleich zwischen Raps und der bereits sehr gut charakterisierten Modellpflanze Ackerschmalwand (*Arabidopsis thaliana*). Letzlich sollen auf diese Weise die wesentlichen Genregionen für Ölgehalt und Ölstoffwechsel identifiziert und im Erbgut lokalisiert werden. Darauf aufbauend können dann molekulare Marker entwickelt werden, die den Züchtern im späteren Selektionsprozess helfen, die ‚richtigen‘ Pflanzenlinien mit hohem Ölertrag herauszufiltern. Ein anderes Projekt im

BioEnergie 2021: BMBF investiert in die Energieforschung der Zukunft

Die Bioenergieforschung der kommenden Jahre steht vor großen Herausforderungen: Die Nutzung der Biomasse zu energetischen Zwecken muss nicht nur möglichst effizient, sondern auch nachhaltig erfolgen. Die Herausforderungen an die Landwirtschaft sind also vielseitig. Darüber hinaus muss langfristig eine Wirtschaftlichkeit der genutzten Biomasse-Verwertung gesichert sein. Noch liegen die Kosten deutlich über denen vergleichbarer erdölbasierter Anlagen und nicht alle gewählten Biomassewege eignen sich für eine tatsächliche Nutzung in Deutschland. Im Einzelfall müssen zudem sogenannte Bioraffinerie-Konzepte stärker berücksichtigt werden, deren geschlossener Energiekreislauf durch die Kopplung von stofflicher und energetischer Biomassenutzung zu einer Effizienzsteigerung beitragen kann. Darüber hinaus werden Landwirte über kurz oder lang immer stärker mit Konkurrenzsituationen zwischen dem Nahrungs- und Energiesektor umgehen müssen. Diese lassen sich nur entschärfen, wenn – aufbauend auf den Erkenntnissen der Pflanzengenomforschung – der Nettoenergieertrag pro Flächeneinheit gesteigert und neue Konzepte zur Ganzpflanzennutzung entwickelt werden. Zudem muss die Wissenschaft verstärkte Wege aufzeigen, wie sich alternative Energiepflanzen, die nicht als Lebensmittel gebraucht werden, zur Biomassenutzung eignen. In all diesen Forschungsfeldern will die neue Förderinitiative „BioEnergie 2021“ des BMBF Impulse setzen. Bis zum Jahr 2012 werden hierzu bis zu 50 Millionen Euro zur Verfügung gestellt, um Konsortien



Das BMBF will Forschungsansätze für Bioraffinerie-Konzepte fördern, die auf einen geschlossenen Energiekreislauf setzen.

zwischen Wissenschaft und Wirtschaft finanziell zu unterstützen. Diese sollen auf der Basis eines effizienten Technologietransfers aus der Grundlagenforschung in die Praxis dazu beitragen, dass Deutschland eine international wettbewerbsfähige Nutzung pflanzlicher Biomasse ermöglicht wird und eine Technologieführerschaft in den verschiedenen Wertschöpfungsketten aufbaut. Gefördert werden Projekte in den drei Modulbereichen „Bioraffinerie“, „Energiepflanzen“ und „Ideenwettbewerb BioEnergie“.

Mehr Informationen: www.bioenergie2021.de

BMBF-Programm GABI-FUTURE will wiederum die Grundlagen dafür schaffen, Mais effizienter als Energiepflanze zu nutzen, indem seine Wirtschaftlichkeit als Biomasseprodukt spürbar erhöht wird. Dies soll durch eine signifikante Steigerung der Trockenmasse-Erträge erreicht werden. Das Konsortium unter Federführung der KWS Saat AG kann bereits auf Ergebnisse aus anderen Projekten zurückgreifen, wo erste wichtige Kandidatengene für die Ertragssteigerung beim Mais aufgedeckt werden konnten. Nun soll dafür gesorgt werden, dass diese genetische Basis mithilfe einer Marker-gestützten Selektionsstrategie möglichst schnell Eingang in die praktische Züchtung findet. Energiemais wird in Deutschland überwiegend bei der Herstellung von Biogas eingesetzt, dessen Nutzung in den vergangenen Jahren enorm zugenommen hat. So existieren derzeit rund 3.500 Biogasanlagen mit einer ungefähren elektrischen Leistung von 1.100 Megawatt. Biogas entsteht durch Vergärung von organischen Reststoffen wie Klärschlamm oder Deponiegasen. Mais wird dabei als Koferment zugesetzt. (siehe Grafik S. 22)

Ein ganz anderes Konzept wird hingegen bei Treibstoffen verfolgt, die als BtL (Biomass to Liquid)-Treibstoffe bezeichnet werden und eine neuartige Form von Biodiesel darstellen. Die Produktion von BtL basiert auf der Anfang des letzten Jahrhunderts in Deutschland entwickelten Fischer-Tropsch-Synthese, der Herstellung und Verflüssigung von Synthesegas aus Kohle oder Biomasse zu einem flüssigen Kraftstoff. Die komplexen Moleküle der Biomasse werden dazu zunächst bei hohen Temperaturen und gegebenenfalls unter Druck in ihre Bestandteile zerlegt. (siehe Grafik S. 22) Dieser Prozess ahmt damit im Zeitraster nach, was bei der Bildung fossiler Brennstoffe über Jahrmillionen Jahre stattfand. Aus den einzelnen Bestandteilen wird dann das Synthesegas, eine Mischung von CO und H₂ gebildet. Die für die Kohlenwasserstoff-Resynthese nicht benötigten Elemente wie Stickstoff oder Schwefel bilden eigene Verbindungen, die sich vom Synthesegas abtrennen lassen. Der Vorteil dieser zweiten Generation von Biokraftstoff besteht darin, dass potenziell die gesamte Pflanze genutzt werden kann. So wird beispielsweise BtL in Deutschland von der Firma Choren Industries im sächsischen Freiberg hergestellt – in der weltweit ersten industriellen BtL-Anlage. Die Rohstoffe für die Produktion bezieht Choren derzeit von örtlichen Landwirten, vom sächsischen Staatsforst und von Sägewerken. Für einen Liter BtL-Kraftstoff benötigt das Unternehmen vier Kilogramm Holz. Gemeinsam mit der Volkswagen AG wird nun daran gearbeitet, sowohl das Verfahren als auch die Logistik der Biomasse-Zulieferung zu verfeinern.

Bioethanol aus Stroh

Bioethanol wiederum ist ein Alkohol und wird aus zucker- und stärkehaltigen Pflanzen durch alkoholische Gärung, anschließende Destillation und Absolutierung gewonnen. Noch hat Bioethanol einen vergleichsweise geringen Anteil an der Biokraftstoffnutzung in Deutschland, doch Experten gehen davon aus, dass sich ohne eine Erweiterung des Kraftstoffportfolios

Laufleistung von Biokraftstoffen*

Kraftstoff	Laufleistung
Biomethan/ Biogas (Mais, Getreide)	67.000 Kilometer
Biomass-to-Liquid (BtL), (Stroh)	64.000 Kilometer
Pflanzenöl (Raps)	23.300 Kilometer
Biodiesel (Raps)	23.300 Kilometer
Bioethanol (Getreide)	22.400 Kilometer

Quelle: Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR);

*Berechnet für einen Hektar Anbaufläche, bei einem Pkw-Kraftstoffverbrauch von 6,1 l/100km (Diesel) bzw. 7,4 l/100km (Otto)

um Bioethanol die ehrgeizigen Klimaziele langfristig nicht erreichen lassen. Während in den USA und im europäischen Ausland insbesondere Mais zum Einsatz kommt, setzt der größte Bioethanol-Hersteller Brasilien auf Zuckerrohr. In Deutschland wiederum werden derzeit vor allem Weizen, Roggen und Zuckerrüben hierzu verwertet. Forschungsanstrengungen zielen nun darauf ab, biotechnologische (v.a. enzymatische) Verfahren zu entwickeln, mit denen sich auch Holz oder Stroh vergären lassen. So ließe sich mit der Gewinnung von Ethanol aus Cellulose die doppelte Energiemenge aus etwa der gleichen Anbaufläche erwirtschaften, und zugleich das Spektrum der nutzbaren Biomasse auf vergleichsweise günstige Pflanzen und Pflanzenreste wie Stroh, Chinaschilf (Switchgrass) und Landwirtschaftsabfälle erweitern. Die Nutzung von Lignocellulose als Treibstoff ist allerdings kompliziert und erfordert prinzipiell zwei Umwandlungsschritte, nämlich die Aufspaltung der langen Zellulosemolekülketten in die einzelnen Zuckermoleküle und die darauf folgende Fermentation des Gemisches aus Glukose, Xylose und Arabinose zu Ethanol. Noch befinden sich diese Ansätze in der Erforschung und es muss sich zeigen, ob dieses Prinzip auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten zufriedenstellend funktioniert. Derartige Arbeiten werden etwa bei der Südzucker AG durchgeführt, die bereits eine Bioethanol-Anlage auf der Basis von Zuckerrüben in Zeitz etabliert hat und dort ein Bioraffineriekonzept verfolgt.



Biomass to Liquid ist eine neuartige Form von Biodiesel und wird bereits im sächsischen Freiberg produziert.

Wie Biokraftstoffe hergestellt werden



Überblick über die Herstellungswege von Biokraftstoffen: Biodiesel, Bioethanol, Biomass to Liquid und Biogas.

Industrie: Rohstofflieferanten vom Feld

Fossile Rohstoffe sind endlich, Pflanzen wachsen jedoch immer wieder nach. Kein Wunder, dass sie damit für die Industrie als alternative Rohstoffquelle zunehmend interessant werden. Ob als Lieferant einzelner Inhaltsstoffe oder Biokunststoff-Produzent – die Palette der möglichen Anwendungen wächst kontinuierlich.

Fossile Rohstoffe wie Erdöl, Erdgas und Kohle sind endlich. Die Natur hingegen erzeugt jährlich mittels Photosynthese 170 bis 180 Milliarden Tonnen nachwachsende Biomasse. Von dieser werden vier Prozent für die Ernährung und die Gewinnung von Energie, Chemierohstoffen und Werkstoffen (z. B. Verpackungen, Dämmstoffe) genutzt. Beispiel Stärke: Dieser biologische Rohstoff wird nicht nur in der Lebensmittelindustrie geschätzt. Aufgrund ihrer Fähigkeit, bestimmte Substanzen zu verbinden und zu verdicken, wird Stärke unter anderem in der Klebstoffherstellung gebraucht, aber auch in der Papierproduktion, der Textilstoffherstellung, bei Reinigungsmitteln und Kosmetika. 4,5 Milliarden Tonnen Stärke werden jährlich in Deutschland verarbeitet. Anders als in anderen Teilen der Welt stammt die meiste in Europa industriell verwendete Stärke aus Kartoffeln und nicht aus Weizen oder Mais. Gegenüber ihren Konkurrenten liefert die Kartoffel höhere Erträge pro Hektar, hat eine höhere Quellkraft und Viskosität als die anderen pflanzlichen Stärkelieferanten und besitzt die größten Stärke-



Die in Europa industriell genutzte Stärke stammt zum größten Teil aus Kartoffeln.

körner. In der Kartoffel liegen allerdings normalerweise zwei verschiedene Formen von Stärke vor: Amylose und Amylopektin. Letzteres ist dabei häufiger gefragt, weil es über besondere Verdickungs- und Bindungseigenschaften verfügt. Mit Amylopektinstärke beschichtetes Papier erhält mehr Glanz. Beton und Klebstoffe bleiben durch den Zusatz dieser Stärkeform länger verarbeitungsfähig. Eine Trennung von Amylopektin und Amylose ist prinzipiell möglich, jedoch mit einem hohen Energieaufwand verbunden und unwirtschaftlich. Bisher wird daher die gelierende Wirkung der Amylose verringert, indem man sie vor der Anwendung chemisch modifiziert. Das wiederum geht mit erhöhtem Verbrauch von Energie und Wasser einher.

In Europa ist das Interesse an Kartoffeln also sehr groß, die nur die für die Industrie attraktive Stärkeform Amylopektin herstellen. Mit bisherigen Züchtungsverfahren ließ sich eine solche Knolle jedoch nicht entwickeln. Dies liegt unter anderem daran, dass Kartoffeln vier Chromosomensätze haben und deshalb sehr komplizierte Vererbungsmuster aufweisen. Aus diesem Grund ist es ausgesprochen schwierig, eine oder gar mehrere gewünschte Eigenschaften über klassische Verfahren einzukreuzen – zumal für eine Eigenschaft in der Regel mehrere Gene bzw. Genfunktionen zuständig sind.

Mehr Stärke für die Kartoffel

Vor diesem Hintergrund haben Pflanzenbiotechnologen der in Rheinland-Pfalz ansässigen BASF Plant Science einen gentechnischen Ansatz entwickelt, um die Bildung der nicht erwünschten Amylose in der Kartoffel zu unterbinden. Im Mittelpunkt steht dabei das Enzym Stärkesynthase, das für die Amylose-Produktion eine essentielle Rolle spielt und dessen normaler Herstellungsweg in der Kartoffel mithilfe der Antisense-Technik gestört wird. Um dies zu erreichen, wurde ein künstliches Gen als Gegenstück zum Stärkesynthase-Gen in die Zellen eingeschleust. Es sorgt dafür, dass die Erbinformation zur Herstellung des Enzyms von einem speziellen Botenmolekül einfach abgefangen wird – das Stärkesynthase-Gen also inaktiviert wird. Somit gelangt die Enzym-Bauanleitung gar nicht erst bis in die Ribosomen, den Eiweißfabriken der Zelle, und kann nicht gebildet werden. Im geschilderten Fall hat die Entwicklung dieses Ansatzes von der Forschung bis zur Anwendungsreife gut zehn Jahre in Anspruch angenommen. So lange hatten die Entwickler in Labor- und Feldversuchen die molekulare Zusammensetzung der Kartoffel analysiert, mit herkömmlichen Knollen verglichen und ihre Wechselwirkung mit der Umwelt unter die Lupe genommen.

Auch unter dem Dach des BMBF-Programms für Biologische Sicherheitsforschung wurde die derart entwickelte gentechnisch veränderte Kartoffel auf mögliche Umweltauswirkungen untersucht. Bereits 1998 haben Forscher der Biologischen Bun-

Praxistest für Stärkekartoffel

Bei Kartoffeln ist eine unkontrollierte Ausbreitung aus mehreren Gründen unwahrscheinlich: Die Vermehrung erfolgt über die Knolle und die Pollen der Blüte fliegen nur etwa zwanzig Zentimeter weit (vgl. S. 37). Zudem gelingt eine Einkreuzung mit Wildpflanzen nur mit verwandten Arten, die in Europa größtenteils fehlen. Dennoch gelten beim Anbau der Stärkekartoffel strenge Auflagen. Sie wird nicht frei verfügbar auf dem Markt zu kaufen sein, sondern nur an Vertragsbauern abgegeben. Diese müssen vertraglich festgelegte Regeln beachten, das dabei genutzte Konzept nennt sich *Identity Preservation-System*, das alle Stufen von der Saatgutherstellung bis zur Stärkeproduktion einschließt. Es beginnt mit einem Training für die Mitarbeiter, geht über eine durchgehende Kennzeichnung bis hin zum Transport in geschlossenen Behältern. Alle verwendeten Pflanz- und Erntemaschinen, Sortieranlagen, aber auch Hänger müssen gereinigt werden. Es gibt geregelte Abstände zu benachbarten Kartoffelfeldern und eine getrennte Lagerung der Kartoffeln. In der Stärkefabrik werden die Kartoffeln getrennt aufgearbeitet und vom Landwirt immer die komplette Ernte abgenommen, damit nichts beim Bauern liegen bleibt. Seit 2005 wurde dieses System mehrmals als Probeanbau mit einer roten Testkartoffel durchgeführt, seit 2006 auch jedes Jahr an zwei Standorten in Deutschland. Das Ergebnis war eindeutig: Die getrennte Ernte und Lagerung funktioniert. Die farblich auffälligen Knollen waren nicht unter konventionelle Ware geraten.

desanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA) gemeinsam mit Kollegen des Forschungszentrums für Umwelt und Gesundheit (GSF) – beide wurden inzwischen unbenannt in Julius-Kühn-Institut bzw. Helmholtz-Zentrum München – die Wechselwirkungen der Kartoffel auf Bodenmikroorganismen in einem dreijährigen Projekt untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass durch verschiedene Sorten sowie unterschiedliche Witterungs- und Bewirtschaftungsbedingungen weitaus größere Unterschiede bei der Bakterien- und Pilzzusammensetzung festzustellen waren als zwischen den transgenen und konventionellen Kartoffeln. In darauffolgenden Projekten wurden gv-Stärkekartoffeln hinsichtlich etlicher anderer Parameter untersucht: u. a. ihre Anfälligkeit für Kartoffelviren, die Auswirkung auf andere Stoffwechselforgänge in der Pflanze sowie ihre Stresstoleranz. In keiner der Untersuchungen konnten im Vergleich mit konventionellen Sorten für die transgenen Pflanzen signifikante Unterschiede festgestellt werden.

Damit die Kartoffel im Markt eingesetzt werden kann, muss sie von der Europäischen Union zugelassen werden. Bereits im Jahr 2003 hatte BASF einen entsprechenden Antrag gestellt.

Von der europäischen Sicherheitsbehörde EFSA kam dabei ein positives Votum: Sie hat der Europäischen Kommission aus wissenschaftlicher Sicht eine Zulassung empfohlen. Im Jahr 2007 stand eine Zusage mehrmals kurz bevor. Aufgrund politischer Unstimmigkeiten in den zuständigen Gremien hat sich eine Entscheidung jedoch immer wieder vertagt. Jetzt wird eine Zulassung im Jahr 2008 erwartet.

Rapsöle in der Industrie gefragt

Neben der Kartoffel als Stärkelieferant spielen Ölpflanzen in der Industrie ebenfalls eine große Rolle. Für Deutschland gilt dies insbesondere für Raps (*Brassica napus*). Eingesetzt werden Rapsöle in der Seifen-, Waschmittel-, kosmetischen oder pharmazeutischen Industrie ebenso wie bei der Herstellung von Gummi, Kunststoffen und Schmierölen. Aber auch im chemischen Bereich, etwa bei der Herstellung von Tensiden, kommt Rapsöl zum Einsatz und hat dabei in den vergangenen Jahren die Produktion auf Mineralölbasis ersetzt. Für die Kunststoff-Industrie oder für andere technische Hilfsstoffe ist dabei die in Raps natürlicherweise vorkommende Erucasäure – anders als in der Lebensmittelbranche (vgl. S. 15) – von großem Interesse. Aus diesem Grund arbeiten Pflanzenzüchter schon seit einigen Jahren daran, Rapspflanzen mit einem hohen Gehalt an Erucasäure zu entwickeln. An den Universitäten Gießen und Göttingen wird beispielsweise gemeinsam mit verschiedenen Zuchtunternehmen aus der Gemeinschaft zur Förderung der privaten deutschen Pflanzzüchtung e. V. (GFP) an der Erschließung neuer genetischer Ressourcen gearbeitet. Dazu werden sogenannte Resynthesen durchgeführt, also die Neuherstellung von Raps aus den beiden Elternarten Rüben und Kohl.

Noch verfügen solche Kreuzungen nicht über die für eine industrielle Nutzung geforderten Qualitätsstandards, insbesondere hinsichtlich ihres Gehaltes an Glucosinolaten. Diese sollten möglichst nur in geringen Konzentrationen vorkommen. Mithilfe molekularer Marker lassen sich die dafür wichtigen Gene im Erbgut der Resynthesen aufspüren. Gleichzeitig werden zurzeit umfangreiche Feldversuche durchgeführt, um in den neu erzeugten Resynthesen noch nicht bekannte Gene für hohen Ölgehalt und wichtige agronomische Eigenschaften zu identifizieren. Darüber hinaus wird daran gearbeitet, Resynthesen mit bisher eher selten oder noch gar nicht verwendete-



Rapsöl wird u. a. bei der Herstellung von Waschmitteln eingesetzt.

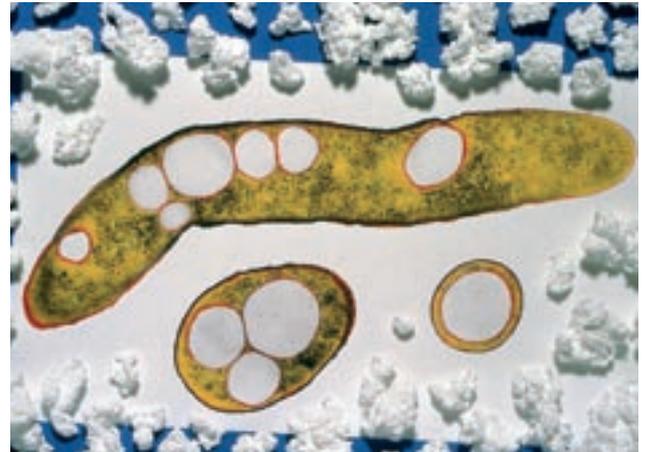
ten Wildformen des Kohls zu erstellen, um auf neue interessante Genkombinationen zu stoßen, die sich durch die bisher benutzten Gemüsekohlarten nicht entwickelt haben.

Biomaterialien aus Pflanzen

Ein noch relativer neuer Forschungszweig beschäftigt sich zudem mit der Möglichkeit, Rohstoffe für Biomaterialien aus Pflanzen zu gewinnen. Davon versprechen sich Experten eine Entlastung der Umwelt, die Schonung fossiler Brennstoffe und die Schaffung neuer Absatzmärkte für die Landwirtschaft. Im Gegensatz zu chemisch hergestellten Kunststoffen wie Propylen sind Biopolymere biologisch abbaubar und verrotten daher von selbst. Sie eignen sich also idealerweise zur Produktion von kompostierbaren Folien oder neuen Verpackungsmaterialien. Die Forschung an Pflanzen zur Produktion von Biopolymeren ist noch ein sehr junges Arbeitsfeld. Als Ausgangspunkt dienen Bakterien, die Biopolymere wie Polyhydroxyfettsäuren (PHFs) oder Polyhydroxyalkanoate (PHA) auf natürliche Weise als Speicherstoff herstellen – ähnlich kleinen Vorratskügelchen (siehe Bild rechts). In den vergangenen Jahren konnte die Genomforschung nun die ersten für diese Produktion zuständigen Gene identifizieren. In Pflanzenzüchtungsprojekten wurden solche Gene zudem in Pflanzen wie Kartoffeln und Zuckerrüben eingebracht, um zu testen, ob ein Transfer vom Bakterium zur Pflanze überhaupt Effekte erzielt. Die Versuche konnten eine prinzipielle Eignung nachweisen, allerdings steckt diese Art der Biomaterialien-Erzeugung noch in der Grundlagenforschung. Bis zu einer tatsächlichen industriellen Nutzung müssen noch etliche Fragen geklärt werden. So gilt es beispielsweise Wege zu finden, wie sich ein möglichst hoher Ertrag von PHFs oder PHAs mit möglichst wenig störenden Nebeneffekten bei den Pflanzen unter einen Hut bringen lassen.

An der Universität Rostock wird etwa an Kartoffeln gearbeitet, die Polyaspartat produzieren. Polyaspartat ist eine biologisch abbaubare Substanz, die als Ersatz für Polyacrylcarboxylate zur Kunststoffproduktion verwendet werden kann. Dazu schleusten die Forscher der Kartoffel ein Gen aus einem Cyanobakterium ein, welches das polyaspartathaltige Cyanophycin als Speichersubstanz herstellt. Inzwischen konnte in den entsprechenden Kartoffelknollen eine Trockenmasse von fünf Prozent erreicht werden. Noch ist man allerdings nicht am Ziel. Was die Pflanzen in die Aspartat-Produktion stecken, fehlt ihnen derzeit noch an anderen Stellen.

Am Leibniz-Institut für Agrartechnik in Potsdam arbeiten Wissenschaftler wiederum daran, in einer biotechnologischen Pilotanlage Milchsäure für die industrielle Verwertung aus Roggen zu gewinnen. Milchsäure findet als Basischemikalie Verwendung für Verarbeitungsstufen im Non-Food-Sektor, z. B. in der Kunststoffproduktion oder als Lösungsmittel sowie als Ausgangsstoff für die Synthese von weiteren Verbindungen. In den klassischen Anwendungen der Industrie dient Milchsäure zudem als Säuerungsmittel, Geschmacksstoff und Konservierungsmittel – vor allem in der Lebensmittelbranche, aber auch in der pharmazeutischen, kosmetischen, Textil- und Lederin-



Bakterien können Plastik – in diesem Fall Polyhydroxyalkanoate (PHA) – als kleine Vorratskügelchen speichern, im Bild als eine 25.000-fache Vergrößerung zu sehen. Daneben liegt Plastik in gereinigter, unveränderter Form als lockere Klumpen.

dustrie. Eine erste Pilotanlage für die Milchsäure-Produktion aus Roggen wurde 2006 in Betrieb genommen und soll zur Erarbeitung eines Gesamtkonzeptes führen, um langfristig alle anfallenden Rest-, Neben- und Abfallströme möglichst komplett zu verwerten.

Gesucht: Intelligente Bioraffinerie-Modelle

Die Entwicklung solcher ganzheitlichen Ansätze zur stofflichen Verwertung möglichst aller Pflanzenteile – idealerweise auch gekoppelt mit einer energetischen Nutzung – stecken größtenteils noch in den Kinderschuhen. Angesichts von begrenzten Anbauflächen werden solche Konzepte allerdings dringend benötigt. Um diese Entwicklung für Deutschland gezielt in Gang zu setzen, hat das BMBF im Rahmen der Zukunftsinitiative „Bioenergie und gesunde Ernährung“ das Themenfeld Bioenergieforschung zu einem Schwerpunkt der Förderung erhoben: mit der Initiative „BioEnergie 2021“. Gefragt sind hier Konsortien aus Wissenschaft und Wirtschaft, die sich mit Umwandlungsprozessen von Biomasse und deren Einbettung in hocheffiziente Bioraffinerie-Modelle beschäftigen, die eine breite Palette von Branchen als Abnehmer integrieren. Ein Aufbau auf bestehende Partnerschaften, die sich z. B. unter dem Dach der 2006 gestarteten BMBF-Clusterinitiative „BioIndustrie 2021“ gebildet haben, ist explizit erwünscht. So konzentrieren sich zwei der fünf vom BMBF geförderten Cluster der industriellen Biotechnologie auf die Entwicklung von Biomaterialien. Das Münchner Cluster „Industrielle Prozesse mit Biogenen Building Blocks“ will etwa die Verwertung von Lignocellulose-haltiger Biomasse verbessern. Sie soll nicht in einem einzigen Produktionsschritt, sondern mit spezifischen Enzymen sukzessive behandelt werden, so dass technisch sortenreine Einzelbestandteile und Reststoffe entstehen, die sich – so die Idee – in ihrer gesamten Bandbreite parallel weiter verwerten lassen, z. B. als biologische Basischemikalien (biogene Building Blocks).

Medizin: Grüne Arzneiproduzenten

Dank biotechnologischer Verfahren können heutzutage nicht nur Mikroorganismen oder tierische Zellen für die Produktion therapeutischer Eiweiße eingesetzt werden. Auch Pflanzen bieten sich als Arzneimittelhersteller an und können mit etlichen Vorteilen aufwarten.

Die Bedeutung biotechnologisch hergestellter Medikamente hat in den vergangenen zwanzig Jahren stetig zugenommen. Heute sind weltweit rund 200 Medikamente aus Biotechnologielaboren auf dem Markt, davon sind nach Recherchen des Verbandes Forschender Arzneimittelhersteller (VFA) 127 in Deutschland zugelassen (Stand: 12/2007). Diese therapeutischen Eiweiße – ob Antikörper, Wachstumsfaktor oder Hormon – werden heutzutage mithilfe gentechnisch veränderter Mikroorganismen, Pilze oder tierischer Zellen in Bioreaktoren hergestellt. Die Nutzung von Mikroorganismen wie Bakterien stößt jedoch an Grenzen, denn diese Lebewesen sind zwar in der Produktion robust, können aber bestimmte biochemische Reaktionen nicht durchführen – so sind sie nicht in der Lage, an Eiweißmoleküle Zuckerbausteine anzuhängen. Dieser Prozess der Glykosylierung ist den Eukaryonten vorbehalten, die über bestimmte Zellorganellen (endoplasmatisches Retikulum und Golgi-Apparat) verfügen. Um die Arzneien mit solchen Zuckerbausteinen auszustatten, setzen viele Medikamentenhersteller derzeit auf Säugetierzellen. Diese Systeme sind jedoch hoch komplex und der Aufbau entsprechender Bioreaktoren, in denen diese Zellen kultiviert werden, ist dementsprechend teuer.

Eine Alternative dazu könnten Pflanzen bieten. Mithilfe biotechnologischer Verfahren lassen sie sich ebenfalls zu Produzenten therapeutischer Eiweiße umprogrammieren. Diese Technologie wird auch als *Molecular Pharming* bezeichnet, die Produkte nennen sich *Plant made Pharmaceuticals (PMP)*. Dieser Ansatz ist aber eigentlich nicht mehr ganz neu. Bereits 1986 wurde von Wissenschaftlern an der Universität Wien in transgenen Tabakpflanzen menschliches Wachstumshormon hergestellt. 1989 konnten Forscher am Institut für Molekularbiologie in La Jolla, Kalifornien, zum ersten Mal Antikörper aus Pflanzen gewinnen und 1992 gelang es einer Gruppe um Charles Arntzen von der Texas University in Houston sogar, einen experimentellen Impfstoff gegen das Hepatitis B-Virus herzustellen. Schwieriger war es, den Pflanzenzellen eine menschenähnliche Glykosylierung beizubringen. Von Natur aus heften Pflanzen nämlich eher Mannose, Fukose und Xylose an die entsprechenden Stellen der Eiweiße, während man in Säugern Galaktose und N-Acetylneuraminsäure vorfindet. Inzwischen konnte auf der

Basis molekularbiologischer Verfahren jedoch auch dieses Hindernis überwunden werden. Noch gibt es allerdings keine in Pflanzen hergestellten Medikamente für den Menschen auf dem Markt. Anders sieht es bei Tieren aus: Im Januar 2006 hat die US-Veterinärbehörde zum ersten Mal ein aus gentechnisch veränderten Pflanzenzellen gewonnenes Tiermedikament zugelassen – einen Impfstoff gegen den Geflügelpesterreger „Newcastle Disease Virus“.

Vorteile durch evolutionäre Distanz

Gegenüber herkömmlichen Produktionsverfahren bieten pflanzliche Systeme einige Vorteile, die sich aus der evolutionären Distanz zwischen Pflanzen- und Tierreich begründen. So besitzen Pflanzen zwar alle Komponenten der Proteinbiosynthese höherer Eukaryonten, verfügen aber über einen doch sehr unterschiedlichen Stoffwechsel. So können sich beispielsweise Produkte, die für tierische Expressionssysteme giftig wären – zum Beispiel bestimmte Zytokine – in Pflanzen problemlos anreichern. Zudem ist das Verunreinigungsrisiko bei Pflanzen gering. Die bei tierischen Zellen oftmals nötigen Reinigungsschritte, um tierische Eiweiße von den menschlichen zu trennen, entfallen bei Pflanzen. Die biologische Distanz zwischen Produzent (Pflanze) und Verbraucher (Mensch) birgt noch einen weiteren Vorzug. Bei der Produktion im pflanzlichen System ist die Gefahr einer Verunreinigung durch mikrobielle Endotoxine oder krebsauslösende Sequenzen und Krankheitserreger nicht gegeben. Herkömmlich hergestellte pharmazeutische Produkte werden zwar seit Jahren in diesen Systemen sicher produziert, müssen allerdings hinsichtlich möglicher Kontaminationen



Tabak dient vielen Forschern als Modellpflanze.

aufwändig getestet werden. Pflanzliche Krankheitserreger hingegen sind für den Menschen von Natur aus ungefährlich. Darüber hinaus können pharmakologische Substanzen in den Samen oder Früchten der Pflanze quasi „steril“ verpackt und konserviert werden. Demnach wären Lagerungen und Transporte einfacher möglich, als dies bei den bisherigen Herstellungswegen üblich ist.

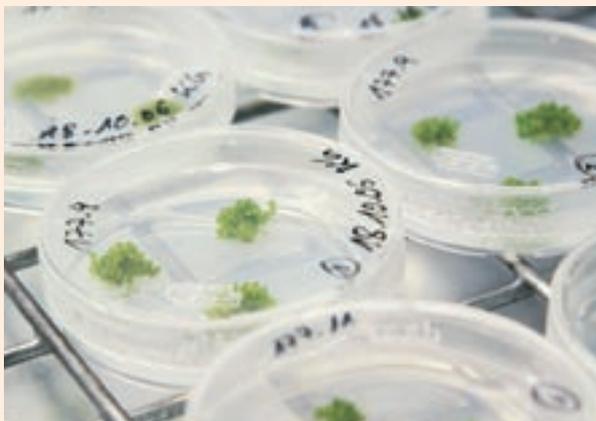
Das *Molecular Pharming* bietet grundsätzlich zwei verschiedene Möglichkeiten zur Produktion: zum einen den Anbau intakter ganzer Pflanzen im Gewächshaus beziehungsweise auf dem Feld, zum anderen die Kultivierung von Pflanzenzellen als Suspensionskulturen in Bioreaktoren unter Einhaltung pharmazeutischer Richtlinien. Derzeit werden beide Varianten prinzipiell in Betracht gezogen, allerdings steht ein Praxistest – insbesondere was die tatsächlichen Kosten betrifft – noch aus. Die Art des Anbaus der Pflanzen hat zudem Auswirkungen auf entsprechende Fragen der biologischen Sicherheit. Experten sind sich darüber einig, dass ein Anbau auf freiem Feld schon aus Gründen der Sicherheit und der Einhaltung von Qualitäts-

standards nicht praktikabel ist. Aus diesem Grund gelten Strategien des *Confinement* und *Containment* als Mittel der Wahl.

Unter dem Begriff *Confinement* werden Forschungsansätze verstanden, die bei den Pflanzen eine Ausbreitung von Transgenen verhindern. So wird unter anderen daran gearbeitet, die gentechnisch veränderten Pflanzen so zu entwickeln, dass sie ihre rekombinante Erbinformation nicht verbreiten und an andere Pflanzen abgeben können, indem beispielsweise eine Sterilität von Samen und Pollen gezielt herbeigeführt wird. Unter dem Begriff *Containment* werden wiederum eine Reihe von Maßnahmen verstanden, die für ein geschlossenes Anbausystem spezielle Regeln für Pflanzen vorsehen, um eine Ausbreitung gentechnisch veränderter Pflanzen durch die Luft, durch Tiere und über den Boden zu verhindern. Noch gibt es allerdings keine speziellen Vorgaben, wie solche Maßnahmen in der Praxis auszusehen haben. Experten gehen davon aus, dass sie den Vorgaben ähneln werden, die derzeit bei der Arzneimittelproduktion in Fermentern gelten. Forschungsprojekte zum *Molecular Pharming* gibt es auf der ganzen Welt. Dabei

Ein kleines Moos kommt groß raus: Medikamente im Photobioreaktor

Als sich Ralf Reski vor zwanzig Jahren zum ersten Mal mit dem Kleinen Blasenmützenmoos (*Physcomitrella patens*) zu beschäftigen begann, galten seine Arbeiten als Nischenforschung. Inzwischen steht das Moos kurz davor, in der industriellen Arzneimittelproduktion eingesetzt zu werden. Es lässt sich nämlich leicht kultivieren und leicht genetisch verändern. Dies war für Reski und seine Kollegen an der Universität Freiburg der Ausgangspunkt, *Physcomitrella patens* als Arzneiproduzent in den Blick zu nehmen. Ende der 90er Jahre erkannte BASF das Potenzial dieser Arbeiten und investierte einen zweistelligen Millionenbetrag. 1999 gründete Reski gemeinsam mit Kollegen das Unternehmen



Vom Nischenforschungsdasein zur pharmazeutischen Anwendung: Das Kleine Blasenmützenmoos kann Arzneien produzieren.

greenovation Biotech, um mit den Moosen eiweißbasierte Medikamente herzustellen. In jahrelanger Tüftelarbeit ist es den Forschern dabei gelungen, menschliche Genkonstrukte in das Moosgenom zu transferieren und die dadurch hergestellten Eiweiße mit den erforderlichen Zuckerstrukturen auszustatten. Da der Zuckercode von Eiweißen für immer mehr therapeutische Ansätze eine wichtige Rolle spielt, ist diese sogenannte Glykosylierung inzwischen in der Medikamentenproduktion ein wichtiges Thema. Mit dem Glykodesign in Moosen haben die Freiburger Forscher eine Nische besetzt, die inzwischen ihren Weg in erste Anwendungen gefunden hat. Ein gutes Dutzend Kooperationen hat das Unternehmen bereits aufgebaut – sowohl mit anderen Biotechnologie-Unternehmen als auch mit Pharmakonzernen. Ziel ist, sich schon früh im Entwicklungsstadium einer Arznei als neues Produktionssystem zu etablieren. Bis zu einer klinischen Phase II will greenovation dabei die Produktion selbst übernehmen, die dritte klinische Prüfungsphase ist dann in Kooperation mit anderen Produktionspartnern geplant. Bis 2010 soll der erste Photobioreaktor im Industriemaßstab in Heilbronn fertiggestellt sein.

Derweil gehen die Forschungsarbeiten weiter: Im Dezember 2007 hat Reski gemeinsam mit amerikanischen und japanischen Wissenschaftlern die vollständige Genomsequenz des Kleinen Blasenmützenmooses vorgestellt. Die daraus resultierenden Erkenntnisse sollen nun u. a. zur weiteren Optimierung des Photobioreaktors genutzt werden. Diese Arbeiten werden im Rahmen des BMBF-Programms BioChancePlus finanziell unterstützt.

wird an den unterschiedlichsten Pflanzenspezies gearbeitet wie Tabak, Reis, Weizen, aber auch Kartoffeln, Moose und Erbsen. In Deutschland gibt es sowohl akademische Arbeitsgruppen, die sich aus dem Blickwinkel der Grundlagenforschung mit möglichen pflanzlichen Expressionssystemen beschäftigen, aber auch Unternehmen, die auf diesem Feld kommerzielle Aktivitäten verfolgen – entweder, indem sie selbst in Pflanzen produzierte Wirkstoffe auf den Markt bringen wollen oder ein pflanzliches System als Plattformtechnologie für Medikamentenentwickler zur Verfügung stellen.

Herausforderung: Hoher Ertrag, hohe Qualität

Allen Ansätzen ist gemeinsam, dass sie verschiedenste Ansprüche unter einen Hut bekommen müssen. So sollten die gewünschten therapeutischen Eiweiße in hohen Mengen in den Pflanzen produziert werden können, zugleich stabil vorliegen und natürlich leicht zu ernten sein. Gleichzeitig dürfen die Pflanzen selbst in ihrem Stoffwechsel nicht so stark verändert werden, damit ihre normale Entwicklung und ihr Wachstum nicht gestört wird. Viele Forschungsarbeiten konzentrieren sich auf Tabak, da dieser bereits als Nutzpflanze in der Landwirtschaft etabliert ist, dort hohe Biomasse-Erträge erwirtschaftet und nicht als Futter- oder Nahrungsmittel verwendet wird. Gleichzeitig ist diese Pflanze auf genetischer Ebene gut charakterisiert und lässt sich leicht genetisch verändern. Ein Problem mit den Tabakblättern und Früchten zumindest für den Masseneinsatz ist jedoch, dass in ihnen die Proteine nur in instabiler Form vorliegen, und sie lange Zeit nicht in ausreichender Quantität produziert werden konnten. An diesem Problem arbeiten in Deutschland sowohl akademische Forschungsgruppen – beispielsweise Forscher am Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie in Aachen – aber auch Biotech-Unternehmen, wie die im Jahr 1999 gegründete Icon Genetics, welche seit 2006 zum Bayer-Konzern gehört. Icon Genetics hat inzwischen ihre Plattformtechnologie derart optimieren können, dass eine hohe Aktivität der in Tabak zur Antikörper-Produktion eingeschleusten Gene gleichzeitig in allen ausgewachsenen Blättern sichergestellt ist.

Andere Forschungsgruppen widmen sich hingegen der Kartoffel als Arzneiproduzent. So arbeiten Wissenschaftler der schleswig-holsteinischen Firma Planton an gentechnisch veränderten Kartoffeln, die antibiotische Substanzen herstellen. Diese Stoffe werden natürlicherweise auf der menschlichen Haut zum Schutz vor Infektionen produziert und haben aufgrund des breiten antimikrobiellen Spektrums und der extrem hohen Wirksamkeit gegen bakterielle, pilzliche sowie virale Erreger ein großes therapeutisches Potenzial als neuartige, innovative Antibiotika. Im Rahmen des BMBF-Programms BioChancePlus arbeiten die Wissenschaftler der 2001 gegründeten Firma derzeit daran, ihr Bioreaktor-System zur Produktion der antimikrobiellen Wirkstoffe zu optimieren. Das angewendete Verfahren besteht dabei aus mehreren Schritten. Dazu werden aus den angebauten gv-Kartoffeln die

Medikamente für die dritte Welt

Das Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie (IME) gehört in Deutschland zu den Pionieren in der Forschung an *Plant made Pharmaceuticals*. Die Fraunhofer-Wissenschaftler haben sich zum Ziel gesetzt, Pflanzen als Produzenten für günstige Medikamente und Impfstoffe zu nutzen, die in Entwicklungsländern dringend gebraucht werden. Seit 2004 leiten die Deutschen ein Konsortium aus 38 europäischen Instituten und Firmen, die sich unter dem Dach von „Pharma Planta“ zu diesem Zweck zusammengefunden haben. Die Europäische Kommission fördert das Netzwerk fünf Jahre lang mit insgesamt rund zwölf Millionen Euro. Im Fokus stehen beispielsweise Medikamente aus Tabakpflanzen gegen das HI-Virus.



wertvollen therapeutischen Substanzen extrahiert – und zwar in einem eigens von der Firma entwickelten System, das im Labormaßstab bereits funktioniert.

An der Universität Rostock arbeiten Wissenschaftler wiederum an Erbsen, die einen Impfstoff gegen die haemorrhagische Kaninchenkrankheit (rabbit haemorrhagic disease, RHD) bilden sollen. Diese Tierkrankheit ist auch als Chinaseuche bekannt und kann sowohl Haus- als auch Wildkaninchen treffen. Da es keine Behandlungsmöglichkeit gibt und die Tiere nach spätestens drei Tagen sterben, ist eine Impfung die einzige Vorbeugungsmaßnahme. Bisherige Impfstoffe müssen in aufwändigen Verfahren hergestellt werden. Die Rostocker Forscher hoffen nun, mit ihren Erbsen einem günstigeren Weg auf der Spur zu sein. An Erbsen zur Produktion von Tiermedikamenten arbeitet auch die in Gatersleben ansässige Biotech-Firma Novoplant. Dort wird derzeit an Antiinfektiva geforscht, die bei Schweinen beispielsweise eine Magen-Darm-Infektion mit *Enterotoxigenic Escherichia coli* (ETEC) entgegenwirkt – über in Erbsen hergestellte Antikörper, die als Futtermittelzusatz angewendet werden könnten.

Wirtschaftliche Bedeutung

Die Anwendung biotechnologischer Methoden ist in Landwirtschaft, Agrar- und Ernährungsindustrie zum Alltag geworden. Mit der wachsenden Bedeutung der Bioenergie zeichnet sich zudem weiteres wirtschaftliches Potenzial für Deutschland ab.

Mit dem Siegeszug der Genomforschung hat die Nutzung molekularbiologischer Methoden in der Agrarindustrie in den letzten zwanzig Jahren stetig zugenommen und gehört für eine Vielzahl der Unternehmen zum Alltag. Welche Rolle sie im Gesamtprozess der Wertschöpfung einnehmen, lässt sich jedoch nur schwer in ökonomischen Kennzahlen ausdrücken. Einen ersten Hinweis für die wachsende Bedeutung biotechnologischer Anwendungen in der Landwirtschaft geben die Angaben über die weltweite Nutzung gentechnisch veränderter (gv) Pflanzen. Nach Angaben des International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Application (ISAAA), der seit zehn Jahren jährlich die weltweite kommerzielle Anbaufläche von gv-Pflanzen erfasst, ist ein stetes Wachstum unübersehbar: Im Jahr 2006 wurden erstmals mehr als 100 Millionen Hektar gv-Pflanzen weltweit angebaut. Dieser Trend hat sich auch im Jahr 2007 fortgesetzt. Nach ISAAA-Angaben lag die Fläche bei 114 Millionen Hektar. Dabei konzentriert sich der weltweite GVO-Anbau vor allem auf Sojabohnen (58,6 Millionen ha), Mais (35,2 Millionen ha), Baumwolle (15 Millionen ha) sowie Raps (5,5 Millionen ha). In kleinerem Maßstab pflanzten US-Farmer auch gentechnisch veränderte Papaya, Zucchini und Alfalfa an, eine Hülsenfrucht, die als Viehfutter verwendet wird. Erstmals wurden im Jahr 2007 gv-Pappeln zur Aufforstung in China angebaut. Die von der Rockefeller-Stiftung, der Spanischen Großbank Ibercaja und durch die italienische Bussolera-Branca-Stiftung gesponserte

ISAAA-Studie für das Jahr 2007 lieferte auch zum ersten Mal Daten zum Anteil von Biotech-Pflanzen, die zur Produktion der Treibstoffe Biodiesel und Bioethanol eingesetzt wurden. Rund neun Prozent (11,2 Mio. Hektar) der weltweit gentechnisch veränderten Mais, -Soja und -Rapspflanzen waren es 2007, so die Schätzung der ISAAA. Der Großteil (Mais: 7 Mio. Hektar; Soja: 3,4 Mio. Hektar; Raps: 10.000 Hektar) wurde demnach in den USA angebaut. In Brasilien, wo rund 90% aller Fahrzeuge mit aus konventionell gepflanztem Zuckerrohr gewonnenem Bioethanol fahren, wurden rund 750.000 Hektar gv-Sojapflanzen und in Kanada 45.000 Hektar gv-Raps angebaut.

Geografisch verteilt sich der gesamte GVO-Anbau auf insgesamt 23 Länder, darunter 12 Entwicklungsländer. Flächenmäßig stehen die USA, Argentinien, Brasilien, Kanada, Indien und China weit an der Spitze. Diese Länder sind zusammen für rund 109 Millionen Hektar verantwortlich. Im Vergleich dazu ist die Anbaufläche von gentechnisch veränderten Pflanzen in Europa mit insgesamt 110.000 Hektar auf vergleichsweise niedrigem Niveau. Gegenüber 2006 (62.200 ha) ist sie nur leicht gestiegen. In Europa steht Spanien eindeutig an der Spitze: Hier wird auf 75.000 Hektar gv-Mais angebaut. Die Fläche hatte sich hier im Vergleich zum Vorjahr um 40 Prozent vergrößert. Aber auch in anderen EU-Ländern zeichnet sich ein Trend zu immer mehr GVO-Anbauflächen ab: In Frankreich stieg der Anbau von gv-Mais im Jahr 2007 um das Vierfache (21.200 ha), in Tschechien wuchs die Fläche von 1.200 auf 5.000 Hektar, in Portugal von 1.250 auf 4.500 Hektar und in der Slowakei von 30 auf 900 Hektar. Zum ersten Mal ist Polen in die GVO-Statistik aufgenommen worden, mit einer Fläche von 320 Hektar.

GVO-Anbau in Deutschland

Wie in den anderen europäischen Ländern auch, ist in Deutschland bislang allein der Anbau von Maispflanzen erlaubt, die ein zusätzliches Gen aus dem Bodenbakterium *Bacillus thuringiensis* (bt) enthalten (vgl. Tabelle). Dadurch sind sie in der Lage, einen

Tabelle: Entwicklung des Anbaus gentechnisch veränderter Pflanzen in Deutschland

	2005	2006	2007
Kommerzieller Anbau von gv-Pflanzen:			
- Fläche in Hektar	342	945 (+176%)	2684 (+184%)
- Anzahl der Standorte	58	106 (+83%)	174 (+64%)
Forschungsfreisetzung von gv-Pflanzen:			
- Fläche in Hektar	25	9 (-64%)	68 (65%)
- Anzahl der Standorte	52	53 (+2%)	81 (+52%)
Gesamte Fläche in Hektar	367	954 (+160%)	2752 (+188%)
Gesamtzahl der Standorte	110	159 (+44%)	255 (+60%)

Quelle: Standortregister des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (Stand 1/2008)

Eiweißstoff zu produzieren, der spezifisch die Larven des Schädling Maiszünsler bekämpft. Im Dezember 2005 hatte das deutsche Bundessortenamt erstmals drei Sorten dieses sogenannten Bt-Maises für den Anbau in Deutschland zugelassen. Vorher wurde er außerhalb von wissenschaftlichen Freisetzungsvorversuchen lediglich im Rahmen eines Praxis- oder Erprobungsanbaus oder bei Sortenversuchen angebaut. Mit der Zulassung hatte sich die Anbaufläche kommerzieller gv-Pflanzen für Deutschland im Jahr 2006 nach Angaben des Standortregisters des Bundesamts für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) verdreifacht: von etwa 340 Hektar im Jahr 2005 auf rund 950 Hektar mit insgesamt 106 Standorten. Im Jahr 2007 gab es nun erneut eine deutliche Steigerung auf 2685 Hektar verteilt auf 174 Standorte. (vgl. Tabelle) In Europa steht Deutschland damit an fünfter Stelle. Die größte Fläche weist im Bundesländervergleich dabei Brandenburg auf. Hier wurden im Standortregister des BVL für 2007 an 61 Standorten rund 1340 Hektar mit gentechnisch veränderten Maispflanzen registriert. An zweiter Stelle folgte Mecklenburg-Vorpommern, dann Sachsen und Sachsen-Anhalt.

Allerdings lässt sich die Bedeutung der Biotechnologie bei weitem nicht auf gentechnisch veränderte Pflanzen reduzieren. Dies hat 2007 eine umfassende Studie des Joint Research Centre (JRC) der Europäischen Kommission belegt. Demnach kann der Einfluss aller biotechnologischer Methoden auf den Agrar- und

Ernährungssektor auf bis zu 30 Prozent geschätzt werden. Hierbei werden beispielsweise der Einsatz der Marker-gestützten Selektion (MAS) in Pflanzen- und Tierzüchtung, die Verwendung von gentechnisch hergestellten Enzymen bei Futtermittelzusätzen bzw. die Nutzung gentechnisch hergestellter veterinärmedizinischer Diagnostika und Medikamente miteinberechnet. In Europa werden laut JRC-Studie insgesamt 388 Agrarunternehmen gezählt, die nach den Kriterien der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) als *biotechnologisch aktiv* eingestuft werden können.

Herausforderung: Verlässliche Datenbasis

Gleichzeitig weist die Studie aber auch auf eine wenig belastbare Datenbasis hin, da biotechnologische Aktivitäten bei den meisten im Agrar- und Ernährungssektor tätigen Unternehmen nicht direkt ausgewiesen werden – weder im Umsatz noch in den Mitarbeiterzahlen. Dennoch wurde anhand einschlägiger Datenbanken der Biotechnologie-relevante Umsatz im Agrar-Ernährungsbereich der EU-Mitgliedsstaaten auf ca. drei Milliarden Euro taxiert (Datenbasis: Jahr 2004). An erster Stelle rangiert dabei Großbritannien (700 Mio. Euro), gefolgt von Belgien (500 Mio. Euro). Deutschland befindet sich mit 244 Millionen Euro im europäischen Mittelfeld, vergleichbar mit Spanien (254

Innovativer Mittelstand als Basis für neue Anwendungen in Landwirtschaft und Industrie

Die Ideen für neue Anwendungen aus der modernen Pflanzenforschung werden oft beim innovativen Mittelstand entwickelt. Dies nutzen auch Großunternehmen aus, um sich einen steten Ideennachschub zu sichern. So sind bei BASF gleich zwei Biotechnologie-Unternehmen für die Forschung zuständig: metanomics GmbH und Sungene GmbH. Beide wurden einst als Joint Venture mit renommierten Forschungseinrichtungen ins Leben gerufen. So ist metanomics im Jahr 1998 von Wissenschaftlern vom Max-Planck-Institut für Pflanzenphysiologie in Göltingen

gemeinsam mit der BASF gegründet worden, um die Rolle einzelner Pflanzengene sowie der Stoffwechselprodukte zu analysieren. Inzwischen beschäftigt metanomics in Berlin mehr als 100 Personen und hat sich mit der Tochter metanomics health um das Forschungsfeld der Nutrigenomik erweitert.

Ebenfalls im Jahr 1998 wurde Sungene gestartet, ein Joint Venture von BASF mit dem Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK) in Gatersleben. Das Unternehmen entwickelt Rapspflanzen, die mit einem hohen Vitamin-E-Gehalt ausgestattet sind und so als nachwachsender Rohstoff genutzt werden könnten. Derzeit arbeiten bei Sungene knapp 60 Mitarbeiter.

Aber auch Bayer CropScience setzt auf Pflanzenbiotechnologie-Unternehmen als Ideenschmiede: 2006 hat das Großunternehmen die in Halle (Saale) ansässige Icon Genetics übernommen. Dort entwickeln Forscher Tabakpflanzen, die therapeutische Eiweiße in ihren Blättern herstellen können – ein Beispiel dafür, wie Pflanzen- und Gesundheitsforschung immer mehr zusammenwachsen. Da Tabak für andere Zwecke bereits im industriellen Maßstab angebaut wird, hoffen die Wissenschaftler, mit den Pflanzen einen kostengünstigen Herstellungsweg für biotechnologische Arzneimittel entwickeln zu können.



Biotechnologie-Unternehmen dienen Großunternehmen der Agrarindustrie oft als Ideenschmiede für innovative Anwendungen.



Bislang liegt der Anteil der erneuerbaren Energien am Treibstoffmarkt in Deutschland bei 6,6 Prozent.

Mio. Euro) und Italien (226 Mio. Euro). Wie schwierig solche Zahlen jedoch zu erheben sind, wird an Großunternehmen wie der in Ludwigshafen ansässigen BASF deutlich, die neben der Biotechnologie noch eine Reihe von anderen Geschäftsfeldern unterhält. So wird im Geschäftsbericht der Umsatz in der Sparte Pflanzenschutz für das Jahr 2006 mit drei Milliarden Euro angegeben. Darüber hinaus besitzt der Konzern eine auf Forschung und Entwicklung konzentrierte BASF Plant Science GmbH sowie Unternehmenstöchter mit ausschließlich pflanzenbiotechnologischen Aktivitäten (Metanomics GmbH; Sungene GmbH). Des Weiteren ist BASF im Jahr 2007 eine große Allianz mit dem US-Konzern Monsanto eingegangen, um u. a. gemeinsam in der Pflanzenbiotechnologie zu arbeiten. Derlei Aktivitäten in einer Zahl zusammenzufassen, fällt schwer und macht die Erhebung verlässlicher Daten enorm schwierig.

Deutschland: Tradition der Pflanzzüchter

Neben Großunternehmen wie BASF oder Bayer kann Deutschland auf eine traditionell stark aufgestellte Szene an Pflanzzüchtern verweisen. Viele Unternehmen bestehen bereits seit hundert Jahren und länger. So zählt allein der Bundesverband Deutscher Pflanzzüchter (BDP) insgesamt 130 Mitglieder. Hiervon sind allerdings nicht alle tatsächlich biotechnologisch aktiv.

Nach Angaben der im Auftrag des BMBF geführten Onlineplattform BIOTECHNOLOGIE.DE gibt es insgesamt 41 Agrarunternehmen mit Sitz in Deutschland, die sich mit Biotechnologie als einem Geschäftsfeld neben anderen beschäftigen. Hinzukommen 29 Agrarunternehmen, deren Hauptbetätigungsfeld Biotechnologie ist und nach den Kriterien der OECD als *dediziertes Biotechnologie-Unternehmen* angesehen werden können. Diese

haben im Jahr 2006 zusammen einen Umsatz von rund 35 Millionen Euro erwirtschaftet. Die meisten dieser Firmen sind im Norden bzw. in der Mitte Deutschlands angesiedelt (*siehe Karte unten*). Angesichts von deutschlandweit knapp 500 solcher dedizierten Biotech-Unternehmen stellen die pflanzenbiotechnologischen Aktivitäten mit knapp 6% nur einen kleinen Teil der gesamten Biotech-Branche dar. Die überwiegende Mehrheit dieser Firmen (82%) beschäftigt zudem weniger als zehn Mitarbeiter. Insgesamt weisen die Pflanzenbiotechnologie-Firmen nur etwa rund 600 Angestellte auf. Darüber hinaus können laut BIOTECHNOLOGIE.DE noch etwa 1.500 Biotech-Mitarbeiter in den 41 Unternehmen identifiziert werden, deren Geschäftsfeld sich nicht nur auf Biotechnologie beschränkt. Andere Studien, wie etwa die des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung (DIW) gehen davon aus, dass die Biotechnologie einen großen Einfluss auf weit mehr Mitarbeiter hat – auch in den vor- und nachgelagerten Sektoren. Dabei werden den deutschen Pflanzzüchtungsunternehmen, die auf Methoden der Biotechnologie zurückgreifen, etwas mehr als 4.000 Mitarbeiter in Deutschland zugerechnet, der Landwirtschaft rund 200.000 und der Umwelttechnik knapp 25.000 Beschäftigte. In der



Geografische Verteilung der biotechnologisch aktiven Unternehmen (orangene Punkte) sowie der dedizierten Biotechnologie-Unternehmen (hellgelbe Punkte) in Deutschland, die im Agrarsektor tätig sind.

Lebensmittelindustrie liegt die Zahl bei bis zu 400.000, hier spielen allerdings insbesondere Methoden und Produkte der industriellen Biotechnologie (z. B. gentechnisch hergestellte Enzyme für die Futtermittelproduktion) eine Rolle.

Bioenergie mit Wachstumschancen

Angesichts der zunehmenden Bedeutung der Bioenergie – insbesondere im Feld der Biomasse – lässt sich für die Zukunft auch hier eine stetig wachsende Rolle der Biotechnologie annehmen. Anhand von Daten, die im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) erhoben wurden, konnten 2006 rund 95.000 Beschäftigte dem Segment der Biomasse zugeordnet werden – bei rund 231.000 Arbeitsplätzen im gesamten Bioenergie-Sektor. Dies entspricht gegenüber dem Jahr 2004 einem Plus von 40 Prozent für den Bereich Biomasse. Darüber hinaus nimmt die Biomasse mit Abstand den größten Anteil am Gesamtumsatz ein, der mit erneuerbaren Energien in Deutschland erwirtschaftet wird. Dieser Gesamtumsatz lag laut BMU-Analyse im Jahr 2006 bei 22,9 Milliarden Euro, die Biomasse ist demnach für 9,1 Milliarden Euro verantwortlich. Dabei kommen insgesamt 6,1 Milliarden Euro durch dem Einsatz von Biomasse-Anlagen zur Strom- und Wärmer-

Tabellen: Beitrag der erneuerbaren Energien zur Energiebereitstellung in Deutschland

Anteil erneuerbarer Energien		
am gesamten Primärenergieverbrauch berechnet nach Wirkungsgradmethode	5,6%	Biomasse: 71%
am gesamten Bruttostromverbrauch	11,5%	Biomasse: 22%
an der gesamten Wärmebereitstellung	6%	Biomasse: 84%
am gesamten Straßenverkehr	6,6%	Biodiesel: 72% Pflanzenöl: 19% Bioethanol: 9%

Quelle: BMU (Stand 11/2007)

zeugung bzw. zur Gewinnung von Biokraftstoffen zusammen. Rund drei Milliarden Euro betrug 2006 die Neuinvestitionen in Biomasse-Anlagen. Angesichts der Steigerungsraten in den vergangenen Jahren und der ehrgeizigen Klimaziele, die sich die Bundesregierung für die kommenden Jahre gesetzt hat, halten Experten für den gesamten Bioenergie-Sektor im Jahr 2020 eine Steigerung auf 400.000 Arbeitsplätze für möglich.

Aus der Genomforschung in die züchterische Praxis

Allein in der Pflanzengenomforschung haben sich seit dem Start der BMBF-Initiative GABI Ergebnisse aus mehr als 160 Projekten angesammelt. Damit dieses wertvolle Wissen den Pflanzenzüchtern bei ihrer täglichen Arbeit auch zugute kommen kann, müssen die wachsenden GABI-Ressourcen effizient gespeichert und verwaltet werden. Dieser Aufgabe haben sich Wissenschaftler der Universität



Um Erkenntnisse aus der Genomforschung für die Praxis zu nutzen, muss ein effizienter Wissenstransfer sichergestellt sein.

Hohenheim gemeinsam mit Industriepartnern im Projekt GABI-BRAIN angenommen. Inzwischen ist ein integriertes Datenbanksystem entstanden, in dem übergreifend über alle untersuchten Kulturarten phänotypische und genomische Daten aus Zuchtprogrammen gespeichert, validiert und später ausgewertet werden können. Darüber hinaus hat das Projektteam eine Software entwickelt, die sich zur praxisnahen Simulation einzelner Züchtungsschritte und teilweise ganzer Zuchtprogramme einsetzen lässt. Damit können Pflanzenzüchter beispielsweise bereits zu Beginn eines Zuchtprogramms die optimale Strategie zur Auswahl vielversprechender Pflanzen ermitteln. Dies ist vor allem dann hilfreich, wenn es gilt, mehrere neue Eigenschaften in einer Sorte zu vereinigen. Dritter Baustein von GABI-BRAIN ist die Entwicklung von statistischen Methoden und Software-Programmen, die den Anwender bei der Kartierung von Erbinformationen bei Pflanzen unterstützt. Derartige Kartierungen sind erforderlich, um festzuhalten, wo sich bestimmte Gensequenzen im Erbgut befinden.

Projekt im BMBF-Programm GABI:

„GABI-BRAIN: Sicherung des Wissenstransfers aus GABI-Projekten in die züchterische Praxis“

Koordination: Universität Hohenheim

Herausforderungen für die Zukunft

Pflanzen stehen im Zentrum vieler wissenschaftlicher Disziplinen und Branchen. Um die aktuellen Herausforderungen zu meistern, ist eine interdisziplinäre Herangehensweise künftig noch stärker als bisher gefragt – auf nationaler und internationaler Ebene.

Pflanzen spielen nicht nur in Landwirtschaft und Ernährung, sondern auch in der chemischen und pharmazeutischen Industrie sowie der Bioenergie-Branche eine wichtige Rolle. Was hierzulande oft fehlt, sind interdisziplinäre Ansätze, um Instituts- oder Fakultätsgrenzen zu überwinden bzw. eine engere Vernetzung zwischen grundlagen- und anwendungsorientierter Forschung herzustellen. Dies gilt in Deutschland beispielsweise für die Agrar- und Ernährungswissenschaften. Aus diesem Grund hat das BMBF unter dem Dach der „Zukunftsinitiative Bioenergie und gesunde Ernährung“ einen Schwerpunkt auf die Einrichtung von Kompetenznetzwerken gelegt. Damit soll der Zersplitterung der Forschungslandschaft entgegen gewirkt und die Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen universitären Einrichtungen untereinander verbessert werden. Darüber hinaus ist eine stärkere Vernetzung akademischer Arbeitsgruppen mit Unternehmen der Agrar- und Ernäh-



Künftig sollen Ernährungswissenschaften und Agrarwissenschaften enger miteinander kooperieren.

rungsindustrie gefordert, um zu ganzheitlichen Konzepten in der Nutzung des Rohstoffes Pflanze zu kommen. Zum Aufbau der Kompetenznetzwerke wird das BMBF bis zum Jahr 2012 zunächst 40 Millionen Euro bereitstellen. Zu den inhaltlichen Schwerpunkten, die im Rahmen der Kompetenznetze bearbeitet werden sollen, zählen folgende Themenfelder:

- **Strukturwandel im ländlichen Raum**
- **Globalisierung der Wirtschaftsbeziehungen auf dem Agrarsektor**
- **Biodiversität von Pflanzen und Tieren unter veränderten Umweltbedingungen**
- **Einsatz moderner Methoden der Biotechnologie an Nutzpflanzen und Nutztieren sowie deren Anwendung in der Praxis**
- **balancierte Tierproduktion**
- **Ernährungsforschung z. B. mit biomedizinischen Fragestellungen**
- **Umweltschutz und Qualitätssicherung (Tiergesundheit, sichere Lebensmittel, etc.) entlang von landwirtschaftlichen Wertschöpfungsketten**
- **Agrarlandschaftsforschung sowie die energetische und stoffliche Nutzung von Biomasse insbesondere unter Einbeziehung gekoppelter Nutzungskonzepte mit Berücksichtigung der Treibhausgasbilanzen.**

Inzwischen ist aber auch klar, dass sich viele Fragen der Pflanzengenom-, Agrar- und Ernährungsforschung nicht allein auf nationaler Ebene lösen lassen. Aus diesem Grund pflegen deutsche Wissenschaftler schon seit langem enge Kontakte zu ihren internationalen Kollegen. So besteht auf dem Gebiet der Pflanzengenomforschung schon seit den 90er Jahren eine enge Zusammenarbeit mit Frankreich und dessen Génoplante-Programm. Dies spiegelte sich in zahlreichen gemeinsamen Forschungsprojekten wider und bildete auch die Basis zur Etablierung des europäischen „ERA-NET Plant Genomics“ im Jahr 2004. „European Research Area“-Netzwerke wurden von der Europäischen Kommission als Konzept etabliert, um die Zusammenarbeit zwischen europäischen Forschungseinrichtungen besser zu koordinieren – beispielsweise um unnötige Doppelarbeiten in den unterschiedlichen Ländern zu unterbinden und gleichzeitig Synergien auf europäischer Ebene zu schaffen. Im „ERA-NET Plant Genomics“ sind aktuell 17 Organisationen aus 15 europäischen Ländern aktiv. Im Jahr 2007 wurden dabei insgesamt 14 transnationale Forschungsverbände als Public-Private-Partnerships ins Leben gerufen, darunter 12 mit deutscher Beteiligung, in die vom BMBF bislang acht Millionen Euro geflossen sind. Ähnliche Netzwerke mit deutscher Beteiligung bestehen unter anderem für die Bioenergie (ERA-NET Bioenergy), die industrielle Biotechnologie (ERA-NET

IB), die Systembiologie (EraSysBio) und in der Förderung von Biotechnologie-Unternehmen (Eurotransbio). Des Weiteren sind deutsche Wissenschaftler an etlichen Forschungsprojekten beteiligt, die im 7. Forschungsrahmenprogramm der Europäischen Union gefördert werden (*Beispiel Seite 35*). Darüber hinaus gibt es Bemühungen, die Zusammenarbeit einzelner Länder auf eine qualitativ noch höhere Stufe zu heben. So hat Deutschland gemeinsam mit Frankreich und Spanien im Herbst 2007 die „Transnational Plant Alliance for Novel Technologies – towards implementing the Knowledge-Based Bio-Economy in Europe“ (PLANT-KBBE) geschlossen. Die drei Länder haben hierfür Fördermittel in Höhe von insgesamt 20 Millionen Euro zugesagt, um eine Anfang 2008 veröffentlichte, erste gemeinsame Ausschreibung zu finanzieren (*siehe Kasten unten*).

Aber auch außerhalb Europas gibt es starke Allianzen mit deutscher Beteiligung auf dem Gebiet der Pflanzenforschung – beispielsweise mit Kanada. So wurde unter dem Dach des Pflanzengenomforschungs-Programms GABI im Jahr 2004 ein

zusätzlicher Schwerpunkt GABI-Kanada ins Leben gerufen. Hierbei laufen derzeit zwei gemeinsame Verbundprojekte. Handlungsbedarf besteht allerdings auch auf nationaler Ebene. So hat die vom BMBF zur Beratung der Forschungspolitik ins Leben gerufene Forschungsunion im September 2007 ihre Empfehlungen zum Thema Pflanze verabschiedet. Darin wird unter anderem die Notwendigkeit einer konsistenten strategischen Weiterentwicklung des Innovationsfeldes betont. Inhaltlich bestehen die aktuellen Herausforderungen insbesondere in einer intelligenten Verzahnung von Systembiologie, Pflanzengenomforschung, Biotechnologie und den Anwenderbranchen Landwirtschaft, Ernährung sowie chemische Industrie. So wächst beispielsweise der Bedarf, phänotypische Eigenschaften von Pflanzen auf genetischer Ebene für die verschiedensten Pflanzenarten so umfassend wie möglich zu lokalisieren und kartieren bzw. existierende genotypische und phänotypische Zusammenhänge in einer Datenbank zusammenzuführen. Erste Ansätze für eine systembiologische Herangehensweise

PLANT-KBBE: Deutschland kooperiert mit Frankreich und Spanien in der Pflanzenforschung

Die Zusammenarbeit deutscher Pflanzenforscher mit französischen und spanischen Arbeitsgruppen ist nicht neu. Seit den 90er Jahren bestehen insbesondere auf dem Gebiet der Pflanzengenomforschung sehr enge Kontakte zwischen den drei europäischen Nachbarländern. Im Oktober 2007 hat diese Kooperation nun eine neue Qualität erreicht. So wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), dem spanischen Ministerio de Educación y Ciencia (MEC) sowie dem Ministère de l'Enseignement supérieur de la Recherche und der Forschungsagentur Agence Nationale de la Recherche (ANR) für Frankreich die „Transnational Plant Alliance for Novel Technologies – towards implementing the Knowledge-Based Bio-Economy in Europe“ (PLANT-KBBE) unterzeichnet. Diese Vereinbarung umfasst für die kommenden drei Jahre



Deutschland, Frankreich und Spanien heben ihre Zusammenarbeit in der Pflanzenforschung auf eine qualitativ neue Stufe.

unter anderem jährliche gemeinsame Ausschreibungen, für die sich akademisch und unternehmerisch geführte transnationale Konsortien mit Vertretern der beteiligten Länder, sowie anderer vor allem europäischer Partner, bewerben können.

Die erste dieser drei Ausschreibungen ist Anfang 2008 mit einem Fördervolumen von ca. 20 Millionen Euro veröffentlicht worden. Gefragt sind dabei vor allem Konsortien, die sich nicht allein auf pflanzenbiotechnologische Aspekte beschränken, sondern auch Themenfelder wie Mikrobiologie, Systembiologie oder Bioprozesstechnik in einem Forschungs- oder Entwicklungsprojekt integrieren. Durch die länderübergreifende Zusammenarbeit sollen vorhandene Ressourcen und Technologien effektiv genutzt werden, um unnötige Doppel- und Parallelarbeiten zu verhindern und alle Kapazitäten transnational zu bündeln. Gleichzeitig sollen in den Verbänden möglichst unterschiedliche Vertreter der Wertschöpfungskette miteinander zusammenarbeiten, um einer Umsetzung der Projektvorhaben in die Praxis gezielt den Weg zu ebnen. Auch die Beteiligung von kleinen und mittleren Unternehmen ist ausdrücklich erwünscht. Inhaltlich soll die effizientere und zielgerichtetere Entwicklung neuer Pflanzen im Mittelpunkt stehen – sei es zur Nutzung als Energieträger, für industrielle Anwendungen als Rohstoff-Lieferant für Biomaterialien bzw. Arzneimittel oder als Basis zur Gewinnung gesünderer sowie sicherer Nahrungs- und Futtermittel.

Mehr Informationen:

Projekträger Jülich (PtJ),

Ansprechpartner ist Dr. Rainer Büschges

Tel.: 02461-61-8782; r.bueschges@fz-juelich.de



Die Grünalge *Chlamydomonas reinhardtii* wird systembiologisch als Modell untersucht.

an Fragestellungen in der Pflanzenforschung existieren auch bereits. So hat im Jahr 2007 – gefördert unter dem Dach der BMBF-Systembiologie-Initiative „Forschungseinheiten der Systembiologie“ (FORSYS) – ein Netzwerk aus 16 Arbeitsgruppen aus den Bereichen Biologie, Biochemie, Informatik, Mathematik, Physik und Chemie mit dem Projekttitel „GoFORSYS“ seine Arbeit aufgenommen. Koordiniert wird der regionale Verbund durch das Max-Planck-Institut für Molekulare Pflanzenphysiologie in Golm. Beteiligt sind neben der Universität Potsdam, das Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung in Potsdam sowie das Biotechnologie-Unternehmen Metanomics GmbH in Berlin. Zentrales Ziel von GoFORSYS ist es, den Zusammenhang zwischen Photosynthese und Biomasseproduktion aufzuklären. Als Modellsystem soll zunächst die einzellige Grünalge *Chlamydomonas reinhardtii* dienen. Mittels modernster Technologie werden umfangreiche Daten zur Aktivität von Genen, Eiweißen und Stoffwechselprodukten erfasst. Die erhaltenen Daten werden dann unter Verwendung bioinformatischer Verfahren gesichtet und mathematisch zur Simulation zellulärer und physiologischer Prozesse weiter bearbeitet. Dabei sollen Modelle etabliert werden, die Vorhersagen über das pflanzliche Wachstum und die Biomasseproduktion ermöglichen. Dies wird es den Wissenschaftlern erlauben, biologische Engpässe dieser zentralen Prozesse zu identifizieren. In einer späteren Phase können die gewonnenen Erkenntnisse zudem auf höhere Pflanzen übertragen werden und sollen schließlich Eingang in aktuelle Züchtungsvorhaben finden.

Für die Umsetzung der GoFORSYS-Arbeiten stellt das BMBF bis zum Jahr 2012 13,4 Millionen Euro zur Verfügung. Für die gesamte FORSYS-Initiative, in der vier Standorte als systembiologische Zentren gefördert werden, hat das BMBF 45 Millionen Euro investiert. Darüber hinaus wurde 2007 „FORSYS-Partner“

Bioraffinerie: Biotechnologische Reststoffverwertung bei der Biodiesel-Produktion

Allein in Deutschland werden aus Rapsöl pro Jahr etwa drei Millionen Tonnen Biodiesel gewonnen. Ein erhebliches Abfallprodukt bei diesem Prozess ist Glycerin, das dabei in Mengen von ca. 300.000 Tonnen entsteht. Glycerin ist in der Industrie ein interessanter Rohstoff: Daraus wird beispielsweise 1,3-Propandiol gewonnen – ein hervorragendes Material für Kunststoffe, besonders geeignet zur Herstellung von Autolacken, Teppichen und Textilien. Derzeit kann das in der Biodiesel-Produktion anfallende Glycerin allerdings nur teilweise in 1,3-Propandiol umgewandelt werden – in einem noch dazu sehr stark Energie verbrauchendem Prozess. Um dieses Problem zu lösen, haben sich Wissenschaftler und Unternehmen aus Deutschland, Österreich, Luxemburg und Griechenland in einem europäischen Projekt unter Koordination der Technischen Universität Hamburg-Harburg (TUHH) zusammengefunden. Das Konsortium hat sich zum Ziel gesetzt, ein biotechnologie-basiertes Bioraffinerie-Modell zu erarbeiten, das die stoffliche Nutzung mit der Gewinnung von Bioenergie koppelt. Dafür stehen für die nächsten drei Jahre zwei Millionen Euro Fördergelder aus dem Siebten EU-Forschungsrahmenprogramm bereit. Durch ein integriertes Herstellungsverfahren soll die Umwandlung von Glycerin künftig so gestaltet werden, dass am Ende kein Reststoff mehr übrig bleibt, sondern vielmehr Energie in Form von Biogas sowie Düngemittel gleichzeitig gewonnen werden.

Projekt im 7. EU-Forschungsrahmenprogramm:

„Integrierte biologische Umwandlung von Glycerin in höherwertige Produkte sowie Biogas im Pilotmaßstab“

Koordination: Prof. Dr. An-Ping Zeng, Technische Universität Hamburg-Harburg



Wenn Raps zu Biodiesel verarbeitet wird, fällt Glycerin an.

gestartet, um Kooperationen von Unternehmen und anderen Forschungseinrichtungen mit diesen Standorten zu erleichtern, Kapazitäten außerhalb dieser Zentren zu stärken und einen Transfer zu befördern.

Rechtlicher Rahmen für die Grüne Gentechnik

Neben der Weiterentwicklung von Infrastruktur und inhaltlichen Zielsetzungen werden aber auch die gesetzlichen Rahmenbedingungen den aktuellen Erfordernissen entsprechend angepasst. So wurde Ende Januar 2008 die Novelle des Deutschen Gentechnik-Gesetzes vom Deutschen Bundestag verabschiedet, das die rechtliche Grundlage für Forschung und Anwendung der Grünen Gentechnik in Deutschland darstellt und die EU-Richtlinie (2001/18/EG) über die Freisetzung von genetisch veränderten Organismen (GVO) in nationales Recht umsetzt. Mit der Änderung können Wissenschaftler künftig einfacher auf diesem Feld arbeiten, gleichzeitig gewährleisten die neuen Koexistenzregeln das Nebeneinander der verschiedenen kommerziellen Anbauformen (ökologisch, konventionell, mit gv-Pflanzen) und ermöglichen Transparenz sowie Wahlfreiheit für den Verbraucher. Die Neuregelungen im Überblick:

weniger Bürokratie: Für Arbeiten in geschlossenen gentechnischen Anlagen gilt in den untersten beiden Sicherheitsstufen nunmehr teilweise ein Anzeige- statt Anmeldeverfahren; die sog. Vereinfachten Verfahren werden rechtlich abgesichert.
Entsorgung von nicht zugelassenen gentechnisch veränderten Organismen: Produkte, die Anteile von nicht zugelassenen gv-Organismen aufweisen, dürfen thermisch verwertet oder industriell verarbeitet werden. Allerdings muss sichergestellt sein,

dass keine schädlichen Auswirkungen auf die Umwelt eintreten und sie nicht in die Lebensmittelkette gelangen.

Einhaltung der guten fachlichen Praxis: Mit der Gentechnik-Pflanzenerzeugungsverordnung sollen für den Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen Sorgfaltspflichten eingeführt werden. Sie gelten unter anderem für Anbau, Ernte, Transport, Lagerung, eingesetzte Gegenstände und Kontrolle auf Pflanzendurchwuchs. Diese allgemeinen Bestimmungen werden durch spezielle Vorgaben für verschiedene Pflanzenarten ergänzt, wobei bisher nur für Mais Details ausgearbeitet wurden.

Einführung von Mindestabständen: Für den Anbau von gv-Mais soll gegenüber konventionellen Maiskulturen ein Mindestabstand von 150 Metern festgelegt werden. In der Nachbarschaft von ökologischen Maiskulturen soll ein Mindestabstand von 300 Metern vorgeschrieben sein. Will ein Landwirt gv-Saatgut anbauen, muss er seine Nachbarn mindestens drei Monate vor der Aussaat informieren: schriftlich und mit einem Hinweis auf die Rechte des Nachbarn. Hat der Nachbar keine Einwände, gelten 150 Meter Mindestabstand, man kann sich allerdings auch auf geringere Abstände einigen. Hierfür wurden die Auflagen erhöht. Eine derartige Vereinbarung muss im Standortregister festgehalten werden. Rechte Dritter dürfen nicht beeinträchtigt werden. Ist der Nachbar dagegen nicht einverstanden, ist ein Mindestabstand von 300 Metern einzuhalten.

Kennzeichnung: Die Kennzeichnungsmöglichkeit mit dem Etikett „Ohne Gentechnik“ wird erweitert und jetzt im „EG-Durchführungsgesetz“ geregelt. Die Neuregelung erleichtert insbesondere eine Kennzeichnung für tierische Produkte wie Milch und Fleisch.

Kontakt für Förderprogramme des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Aktuelle Förderprogramme des Bundesministeriums für Bildung und Forschung in der Pflanzengenom-, Agrar-, Ernährungs- und Bioenergieforschung:

- BioEnergie 2021
- GABI-FUTURE
- PLANT-KBBE
- Biomedizinische Ernährungsforschung
- Kompetenznetze in der Agrar- und Ernährungsforschung
- Biologische Sicherheitsforschung
- BioIndustrie 2021
- ERA-NET Plant Genomics
- Systembiologie (FORSYS, FORSYS-Partner)
- KMU-innovativ (Biotechnologie – BioChance)
- GO-Bio
- Eurotransbio

Koordination der Förderprogramme erfolgt durch:

Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
Geschäftsbereich Biologie
52425 Jülich
Tel.: 02461-61-5543 (Sekretariat)
Fax: 02461-61-6999
E-Mail: ptj-bio@fz-juelich.de

Informationen und Ansprechpartner:

www.fz-juelich.de/ptj/biotechnologie
www.biotechnologie.de

Kurzüberblick: Vermehrung und Auskreuzung



Mais (Familie: Süßgräser)

Vermehrung

Überwiegend durch Fremdbefruchtung, da die männlichen Blüten einer Pflanze vor den weiblichen reifen. Der Pollen der männlichen Blüten wird durch Wind verbreitet und bleibt an den klebrigen Narbenfäden der weiblichen Blüten hängen.

Herkunft und Auskreuzung

Die Vorfahren des Kulturmais stammen ursprünglich aus den Tropen Mittelamerikas. Eine Auskreuzung ist daher nur in Süd- und Mittelamerika möglich. In Europa hat Mais keine verwandten Wildkräuter oder Wildsorten.



Weizen (Familie: Süßgräser)

Vermehrung

Überwiegend Selbstbefruchtung bevor sich die Zwitterblüten entfalten. In seltenen Fällen kann es zu Fremdbefruchtung kommen. Diese wird durch trocken-warmes Klima begünstigt. Die Pollen der Gräser werden durch den Wind verbreitet.

Herkunft und Auskreuzung

Die „Wurzeln“ des Weizens liegen in Vorderasien. Hier entstanden erste Kulturformen des Weizens wie Einkorn und Emmer, aus denen durch Einkreuzen von Wildgrasarten wie dem Gänsefußgras der Weizen hervorging. Alle Weizen-Arten sind Kulturarten. Die Wahrscheinlichkeit der Auskreuzung von Weizen wird als minimal angesehen. Die nächst verwandten Arten sind Gerste und Quecke.



Raps (Familie: Kreuzblütler)

Vermehrung

Überwiegend durch Fremdbefruchtung. Die weiblichen Blüten werden u.a. über Bienen, zum Teil auch durch den Wind bestäubt. Daneben kann ebenso Selbstbefruchtung stattfinden.

Herkunft und Auskreuzung

Raps ist eine noch sehr junge Nutzpflanze, die aus einer Kreuzung aus Kohl und Rüben entstanden ist. Sie kann sich demnach mit Wildem Kohl, Rüben, Schwarzem und Weißem Senf, Grau- und Ackersenf kreuzen.



Kartoffel (Familie: Nachtschattengewächse)

Vermehrung

Sowohl ungeschlechtlich als auch geschlechtlich. Bei ersterer wachsen aus den Knollen Triebe, die Spross und Wurzeln bilden. Bei der geschlechtlichen Vermehrung durch Bestäubung der Blüten überwiegt die Selbstbefruchtung, aber auch Fremdbefruchtung durch Insekten- und Windbestäubung ist möglich. Da die Blüten keinen Nektar bilden, sind sie allerdings für Insekten unattraktiv.

Herkunft und Auskreuzung

Die Heimat der Kartoffel liegt in Südamerika. Wildarten kommen nur in Nord- und Südamerika vor. In Europa hat die Kartoffel zwei verwandte Arten, den Bittersüßen Nachtschatten (*S. dulcamara*) und den Schwarzen Nachtschatten (*S. nigrum*). Mit beiden kann sich die Kartoffel kreuzen, die Wahrscheinlichkeit wird aber aufgrund der vorherrschenden Selbstbefruchtung als minimal eingeschätzt.

Glossar

Agrobacterium tumefaciens

Bodenbakterium, welches von Natur aus die Fähigkeit besitzt, Teile seines Erbmateri­als auf Pflanzenzellen zu übertragen; wird deswegen in der Gentechnik als „Werkzeug“ verwendet.

Allel

Ein Allel ist eine von mehreren möglichen Ausprägungen eines Gens. Auf den paarweise vorhandenen Chromosomen befinden sich somit zwei alternative Formen des gleichen Gens. Beispielsweise gibt es ein Allel für die rote und ein Allel für die weiße Blütenfarbe.

Aminosäuren

Aminosäuren sind eine Klasse organischer Moleküle, die als Bausteine der Proteine dienen. Es sind 20 proteinbildende Aminosäuren bekannt.

Amylose, Amylopektin (Stärke)

In den Stärkekörnern der Pflanzen (z. B. in Kartoffeln) liegt die Stärke in zwei unterschiedlichen Varianten vor: Amylose (20-30%) und Amylopektin (70-80%), die jeweils unterschiedliche Eigenschaften besitzen.

Antibiotikaresistenz-Gen

Verschiedene Mikroorganismen besitzen Gene, die ihnen eine Resistenz gegen die natürlicherweise von Schimmelpilzen gebildeten Antibiotika verleihen. Diese Gene werden in der Gentechnik verwendet, um transformierte Pflanzen oder Mikroorganismen zu „markieren“. (siehe *Markergene*)

Arabidopsis thaliana (Ackerschmalwand)

Arabidopsis ist für Pflanzenbiologen eine beliebte Modellpflanze, ähnlich der Maus für die Säugetierforschung. Arabidopsis ist ein unscheinbares Kohlgewächs (Brassicaceae) und z. B. verwandt mit Raps, Kresse, Blumenkohl, Broccoli und Chinakohl.

Bacillus thuringiensis (Bt)

Bodenbakterium, das ein für Fraßinsekten giftiges Kristallprotein bildet; wird als biologisches Schädlingsbekämpfungsmittel eingesetzt. Das wirksame Protein wird von den Bt-Bakterien in einer ungiftigen Form (Protoxin) gebildet. Erst im Darm bestimmter Fraßinsekten wird es in eine giftige Variante (Delta-Endotoxin) umgewandelt, die über spezifische Rezeptoren an die Darmwand der Insekten bindet und diese zerstört.

Biotechnologie

Darunter wird die Anwendung von Naturwissenschaft und Technologie an lebenden Organismen, deren Teilen sowie Produkten und Modellen von ihnen zwecks Veränderung von lebender oder nichtlebender Materie zur Erweiterung des Wis-

sensstandes, zur Herstellung von Gütern und zur Bereitstellung von Dienstleistungen verstanden.

Biopolymer

Eine komplexe Verbindung aus Ketten oder verzweigten Biomolekülen, die aus gleichen oder gleichartigen Einheiten bestehen.

cisgen

Diese Bezeichnung gilt für Pflanzen, deren Erbgut mit gentechnischen Verfahren mindestens ein Gen der gleichen Art hinzugefügt wurde.

DNA

DNA (engl. Abk. für Desoxyribonukleinsäure) ist die Trägerin der Erbinformation. Sie enthält in Form von Genen die Bauanleitungen für Ribonukleinsäuren (RNA) und Proteine, die für die Regulation aller biologischen Zellprozesse notwendig sind.

Genexpressionsanalysen

Solche Verfahren liefern Informationen darüber, welche Gene in einer Zelle aktiv sind, das heißt über Boten-RNA umgeschrieben (Transkription) und in Proteine übersetzt (Translation) werden. Der gesamte Prozess wird als Expression bezeichnet.

Genotyp

Der Genotyp bezeichnet die Art eines oder mehrerer Allele einer genetischen Organisationseinheit. Im Gegensatz zum Phänotyp können genotypische Merkmale in der Regel nur mit molekularbiologischen Methoden nachgewiesen werden.

Gentechnik

Die Gentechnik ist ein Teilgebiet der Biotechnologie. Unter gentechnischen Verfahren wird die Analyse und gezielte Veränderung des Erbguts von Organismen oder Zellen verstanden.

Hybridzucht

Damit wollen Züchter Pflanzen mit neuen Eigenschaften erzeugen. Hierunter wird die Kreuzung von genetisch unterschiedlichen Pflanzenlinien verstanden – entweder der gleichen oder einer anderen Art. Dies führt in der Regel zum sogenannten Heterosis-Effekt, also verbesserten Eigenschaften wie etwa optimiertem Wuchs, erhöhter Fruchtausbeute oder Stresstoleranz.

Kartierung

Unter Kartierung wird die physikalische oder genetische Darstellung von bestimmten funktionalen Abschnitten der Desoxyribonukleinsäure (DNA) auf den Chromosomen verstanden. Sie kommt u. a. bei der Entwicklung neuer Sorten zum Einsatz.

Markergene

Markergene werden in der molekularbiologischen Forschung eingesetzt, um den erfolgreichen Transfer und die Expression von Genen bei gentechnischen Veränderungen nachzuverfolgen oder darauf „selektieren“ zu können. Markergene werden dabei gemeinsam mit dem Gen eingeschleust, das dem Organismus neue Eigenschaften verleihen soll. Pflanzenbiologen verwenden u. a. Antibiotikaresistenz-Gene als Markergene.

Marker-gestützte Selektion

Mit diesem Verfahren können schon sehr früh im Züchtungsprozess diejenigen Pflanzen zielgerichtet herausortiert werden, die auf molekularer Ebene das gewünschte Merkmal aufweisen. Damit müssen – im Vergleich zur klassischen Züchtung – nicht mehr so viele Nachkommen der Pflanzen angebaut und im Testanbau auf ihre Praxistauglichkeit überprüft werden. Gleichzeitig ist eine viel tiefergehende Analyse hinsichtlich von Wechselwirkungen verschiedener Eigenschaften möglich. Werden Sorten auf diese Weise gezüchtet, wird inzwischen auch vom *Smart breeding* (Selection with Molecular Markers and Advanced Reproductive Technologies) gesprochen.

Metabolom

Das Metabolom bezeichnet die Gesamtheit aller Stoffwechselprodukte (Metabolite), die in einer Zelle oder einem Organismus zu einem bestimmten Zeitpunkt oder unter einer gewissen Bedingung vorkommen. Mithilfe der Technik der so genannten Metabolomics versucht man, diese Gesamtheit zu erfassen und zu beschreiben.

molekulare Marker

Molekulare Marker sind bestimmte Sequenzunterschiede zweier unterschiedlicher DNAs, die bekannt und nachweisbar sind. Dies kann etwa der Unterschied in einem einzelnen Nukleotid (SNP, „single nucleotide polymorphism“) oder das Fehlen ganzer Sequenzabschnitte (Indel, „Insertion/Deletion“) sein.

Molecular Pharming

Bei diesem neuen Anwendungsgebiet der Biotechnologie werden Gene meist tierischen oder menschlichen Ursprungs in Pflanzen oder landwirtschaftliche Nutztiere eingeführt. Ziel ist die Nutzung der Pflanze beziehungsweise des Tieres als ein effizientes biologisches System zur Produktion pharmazeutisch oder therapeutisch wirksamer Substanzen wie Antikörper, Impfstoffe, Blut- und anderer Proteine. Diese Arzneien werden auch als *Plant made Pharmaceuticals* bezeichnet.

Phänotyp

Als phänotypische Merkmale werden alle äußerlich sicht- oder direkt messbaren Eigenschaften eines Organismus oder einer

Pflanze bezeichnet. Typische Beispiele bei Pflanzen sind etwa die Blütenfarbe oder das Wachstum. Im Gegensatz dazu können genotypische Merkmale nur mit molekularbiologischen Methoden nachgewiesen werden.

QTL

Quantitative trait loci (QTL) sind bestimmte Abschnitte des Genoms einer Pflanze, die für eine quantitative Eigenschaft der Pflanze verantwortlich ist, wie beispielsweise die Anzahl an Samen. Solche QTLs werden durch genetische Verfahren ermittelt.

Rekombination

Die Umorganisation innerhalb von DNA-Molekülen ist ein natürlicher, vom Zufall abhängiger Vorgang. Er ist die Grundlage für die Entstehung genetischer Variabilität und ein wesentlicher Faktor der Evolution. Es sind verschiedene Vorgänge bekannt, die zu einer genetischen Rekombination führen. Bei einer *homologen Rekombination* sind gleiche oder gleichartige DNA-Abschnitte eines Chromosoms beteiligt, die untereinander Teile austauschen. Bei einer *nicht homologen Rekombination* werden „fremde“ DNA-Bruchstücke eingefügt. Dies geschieht etwa durch „springende Gene“ (Transposons). In der Biotechnologie werden Rekombinationen gezielt vorgenommen.

Rückkreuzung

Die Rückkreuzung ist ein genetisches Verfahren zur Analyse von Genotypen, die nach einer Kreuzung nicht direkt erkennbar (rezessiv) sind. Durch die Kreuzung mit einem der Genotypen der Eltern kann auf diese Weise herausgefunden werden, ob die entsprechende Linie rein- oder mischerbig war.

Sorte

Als Sorte im Sinne der Pflanzenzüchtung gelten Kulturpflanzen, wenn sie spezielle Merkmale haben, die sie von anderen Sorten der gleichen Pflanzenart oder Rasse unterscheiden und ein spezielles Zulassungsverfahren beim Bundessortenamt durchlaufen haben.

transgen

Diese Bezeichnung gilt für Pflanzen, deren Erbgut mit gentechnischen Methoden mindestens ein zusätzliches Gen einer fremden Art hinzugefügt wurde.

Wildtyp

Der Wildtyp ist die Bezeichnung für ein Gen oder einen Organismus in natürlicher Ausprägung, so wie sie in der Evolution entstanden sind.

Weiterführende Informationen

BioProfil Nutrigenomik/BioTop Berlin-Brandenburg (Hrsg.): „Nutrigenomik – Forschung in Deutschland“, Oktober 2006.

biotechnologie.de: „Die Deutsche Biotechnologie-Branche 2007“, Daten und Fakten, Berlin 2007.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklungen, November 2007.

Büro für Technikfolgenabschätzung (TAB) des Deutschen Bundestages: „Grüne Gentechnik – transgene Pflanzen der 2. und 3. Generation“, April 2006.

Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) und Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI): „Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigungspotenziale der Biotechnologie in Deutschland“, Februar 2007.

EuropaBio/EPPO (Hrsg.): Pflanzen für die Zukunft, Eine Vision für die europäische Pflanzenbiotechnologie, 2003.

Joint Research Centre (JRC) im Auftrag der Europäischen Kommission: „Contributions of modern biotechnology to European policy objectives“, Januar 2007.

Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (Hrsg.): Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Band 31, „Symposium Energiepflanzen 2007“.

Gemeinschaft zur Förderung der privaten Pflanzenzüchtung e. V.: „Geschäftsbericht 2007“.

GenomXpress Sonderausgabe: „Die Highlights aus der zweiten GABI-Förderperiode 2004-2007“, März 2007.

Helmholtz-Zentrum München (ehemals GSF Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit): „Grüne Gentechnik in Forschung und Anwendung“, Magazin mensch+umwelt Spezial, Ausgabe 17, 2004/05.

Institut für Energie- und Umweltforschung (IFEU): „Erneuerbare Energien kompakt: Ergebnisse systemanalytischer Studien“, Mai 2007.

International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (ISAAA): „Global status of Biotech/GM crops 2007“, Februar 2008.

Knight, John et. al.: „Acceptance of GM food – an experiment in six countries“, Nature Biotechnology, Ausgabe 25, S. 507-508, 2007.

Marvier, Michelle et al.: „A Meta-Analysis of Effects of Bt Cotton and Maize on Nontarget Invertebrates“, Science, Ausgabe 316, Nr. 5830, S. 1475 - 1477, 2007.

Reski, Ralf/Rensing, Stefan et al.: „The Physcomitrella Genome Reveals Evolutionary Insights into the Conquest of Land by Plants“, Science, Ausgabe 319, Nr. 5859, S. 64 - 69, 2008.

Spiller, Achim: „Zur Akzeptanz von gentechnisch verändertem Saatgut in der deutschen Landwirtschaft – Ergebnisse einer empirischen Studie“, Universität Göttingen, März 2007.

Zeddies, Jürgen: „Rohstoffverfügbarkeit für die Produktion von Biokraftstoffen in Deutschland und in der EU-25“, Universität Hohenheim, Oktober 2006.

Nützliche Webseiten:

www.biotechnologie.de

www.biosicherheit.de

www.bioenergie2021.de

www.erneuerbare-energien.de

www.fnr.de

www.nachwachsende-rohstoffe.de

www.transgen.de

www.nutrigenomik.de

www.fz-juelich.de/ptj/rahmenprogramm-biotechnologie

Weitere Publikationen des BMBF

Weiterführende Informationen zur Biotechnologie im Publikationsangebot des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Kostenlose Bestellmöglichkeit unter www.bmbf.de (Service/ Publikationen).



Die Hightech-Strategie für Deutschland

(Kurzfassung) Bonn, Berlin 2006



Die Hightech-Strategie für Deutschland

(Langfassung) Bonn, Berlin 2006



KMU-innovativ

Vorfahrt für Spitzenforschung im Mittelstand; Bonn, Berlin 2007



Weiße Biotechnologie

Chance für neue Produkte und umweltschonende Prozesse; Bonn, Berlin 2007



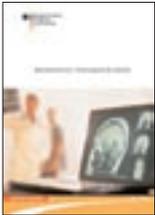
Die Zukunft ist süß

Möglichkeiten der Glykobiotechnologie; Bonn, Berlin 2007



Biotechnologie – Made in Germany

Chancen für die Medizin (DVD); Bonn, Berlin 2007

**Bernstein Zentren – Forschung für die Zukunft**

Bonn, Berlin 2006

**Herz in Gefahr?**

Ursachen, Prävention, Therapie – Ergebnisse der Herzkreislauf-
forschung; Bonn, Berlin 2006

**Bericht zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands 2007**

Bonn, Berlin 2007

**Forschung und Innovation in Deutschland 2007**

Im Spiegel der Statistik; Bonn, Berlin 2007

**BioRegionen in Deutschland**

Starke Impulse für die nationale Technologieentwicklung;
Bonn, Berlin 2005

**Unternehmen Region**

7 Punkte für Wachstum und Innovation; Bonn, Berlin 2007

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unentgeltlich abgegeben. Sie ist nicht zum gewerblichen Vertrieb bestimmt. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerberinnen/Wahlwerbern oder Wahlhelferinnen/Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen sowie für Wahlen zum Europäischen Parlament.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen und an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung.

Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Schrift der Empfängerin/dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Bundesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

