



Reiche Gurkenernte: Im Gewächshaus von Nunhems in den Niederlanden wollen die Pflanzzüchter (v. li.) Wil Wilmer, Astrid Oispuu und John Geelen Samen aus dem Gemüse extrahieren. Die Gurken werden ausschließlich zur Produktion der Samen angebaut und sind deshalb besonders lang.



Biotechnologie für die Pflanzenzüchtung

Auf der Spur der grünen Moleküle

Die nachhaltige Ernährung der wachsenden Weltbevölkerung zählt zu den großen Herausforderungen unserer Zeit. Dafür müssen die Erträge der weltweiten Agrarproduktion erheblich steigen. Neue Technologien und moderne Zuchtverfahren können helfen, die Herausforderungen zu meistern. Forscher von Bayer CropScience unterziehen Pflanzen deshalb einem Fitnessprogramm: Mithilfe modernster Biotechnologie und neuesten Züchtungsmethoden können sie Gewächse gezielter auswählen und effektiver kreuzen – und so robustere und zugleich ertragreichere Sorten züchten.



Der Treffer in der Masse: Mit vollautomatischen Genanalysen und molekularen Markern untersuchen die Forscher (v. li.) Paul Buddiger und Fiona Knubben-Schot im Nunhems-Biotechnologielabor Proben von mehreren Tausend Pflanzen pro Tag. Die Ergebnisse helfen bei der gezielten Entwicklung von Gemüsesorten.



Kostbarer Nachwuchs: In wenigen Tagen ist der Gurkenkeimling aus der aufsitzenden Samenhülse gewachsen. Die entwickelte Pflanze liefert dann einen wertvollen Beitrag für den Gemüseanbau weltweit.



Biotechnologie für scharfes Gemüse:
Nunhems-Mitarbeiter Peter Keunen erntet
frische Chilischoten. Wie scharf das Gemüse
schmecken wird, wissen die Züchter schon,
bevor sich die Schoten entwickelt haben.



Gurken-Kunst im Labor: In einer Petrischale gefüllt mit einer Nährlösung haben die Biotechnologie-Experten und Pflanzenzüchter von Bayer CropScience Gemüsesamen keimen lassen.

Es wird eng auf unserem Planeten – und die Nahrung immer knapper: Im Jahr 2025 muss ein Hektar Ackerland, also etwa die Fläche eines Fußballfeldes, fünf Menschen ernähren. 1960 brauchten nur zwei Menschen davon satt zu werden. Aber die wachsende Weltbevölkerung ist nur eine der Herausforderungen. Denn während jedes Jahr rund 80 Millionen Menschen mehr auf der Erde leben, bleibt der Anteil von Äckern und Feldern allenfalls gleich.

Wachsende Weltbevölkerung: Im Jahr 2050 leben neun Milliarden Menschen – und wollen satt werden

Die Folgen des Klimawandels setzen den Bauern weltweit ebenfalls zu: Eine durchschnittliche globale Erwärmung um einige Grad kann dramatische Wetterphänomene auslösen. Frost, Hagel, Hitzeeinbrüche oder ein plötzlicher Schädlingsüberfall zerstören heute bereits über Nacht die Ernte eines ganzen Jahres. Dazu kommen Dürren und Überschwemmungen, steigende Meeresspiegel und die damit verbundene Versalzung des Grundwassers. Selbst bei bester Pflege ihrer Felder verlieren die Bauern in einigen Teilen der Welt häufig zwischen 30 und 70 Prozent ihrer Ernten.

Die Landwirtschaft steht also vor der wohl größten Herausforderung ihrer zehntausendjährigen Geschichte. Lebensmittel, Fasern und alternative Kraftstoffe müssen künftig in immer größeren Mengen und unter schwierigen Bedingungen produziert werden. Denn wachsender Wohlstand in Schwellenländern wie China, Russland, Brasilien und Indien lässt auch den Konsum proteinreicher Nahrung steigen. Aber immer noch leiden weltweit rund eine Milliarde Menschen unter Hunger.

Biotechnologie macht Pflanzen tolerant gegen Dürre, Frost und Schädlinge

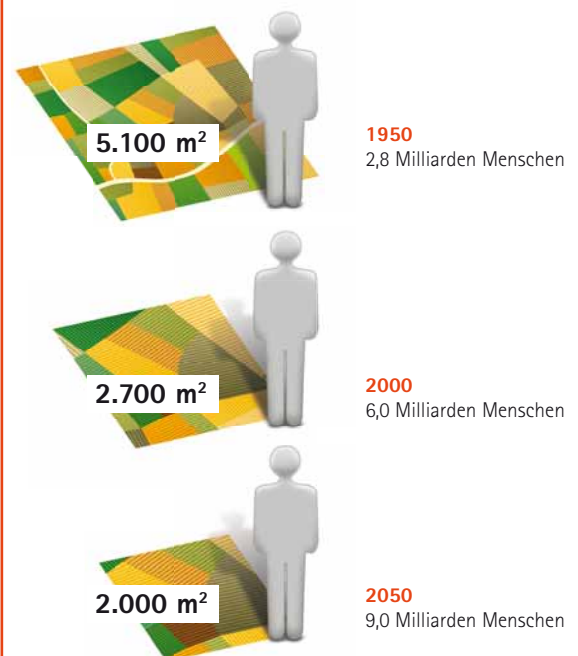
Um die Ernährung zu sichern und die derzeitigen globalen Herausforderungen zu bewältigen, wollen die Pflanzenforscher in den nächsten Jahren mittels moderner Biotechnologie den Züchtungsfortschritt beschleunigen und neue Pflanzeigenschaften entwickeln. Aber bereits heute ergänzen Biochemiker und Genexperten die Arbeit der Züchter mit neuen Methoden entscheidend, denn: „Die moderne Pflanzenzüchtung mittels Biotechnologie ermöglicht einen Blick tief ins Innere der Pflanzen – durch die Blätter, Stängel und Wurzeln bis ins Innerste einer jeden Zelle, in das Erbgut im Zellkern“, erklärt Dr. Johan Botterman, bei Bayer CropScience Leiter der Produktforschung bei BioScience.

Interdisziplinäre Teams in Gent und die Kollegen von Nunhems – die Gemüsesaatgut-Spezialisten von Bayer CropScience – unterziehen beispielsweise Reis, Baumwolle, Raps und Tomaten einem echten Fitnessprogramm: Sie verbessern

den Geschmack, die Lagerfähigkeit und die Verarbeitungsmöglichkeiten von Gemüse und machen Kulturpflanzen tolerant gegen Stressfaktoren wie Dürre, Frost oder Nährstoffmangel – und auch gegen Schadinsekten und Krankheiten. „Wir wollen so nicht nur helfen, die wachsende Weltbevölkerung mit ausreichenden Mengen an qualitativ hochwertigen Lebensmitteln zu bezahlbaren Preisen zu versorgen“, sagt Botterman. Sondern die Pflanzen der Zukunft sollen sich auch noch besser in eine umweltgerechte und klimaverträgliche Landwirtschaft einfügen – also weniger Wasser verbrauchen und mehr Ertrag liefern.

Dazu verknüpfen die Bayer-Forscher biotechnologische Methoden mit der langjährigen Erfahrung von Züchtern beim Kreuzen und Selektieren. Während die Gentechnik – also die Pflanzen-Biotechnologie der ersten Stunde – dem „Genpool“ vieler Kulturpflanzen vor allem einzelne Gene hinzufügte, sollen neuartige Auswahltechniken Nutzpflanzen mit weiter verbesserten Eigenschaften hervorbringen – und das innerhalb kürzester Zeit: Waren in der rein konventionellen Züchtung für die Entwicklung einer Sorte noch etwa zehn Jahre notwendig, kann die zusätzliche Nutzung biotechnologischer Methoden

Immer mehr Menschen



Wachsende Weltbevölkerung: Jährlich kommen rund 80 Millionen Menschen auf der Erde hinzu. Die verfügbare Fläche pro Kopf für Äcker und Felder schrumpft immer weiter.



31

Bayer research _ 22

Forschen für die Zukunft: Mit seinem interdisziplinären Team will Dr. Johan Botterman (kl. Foto), Leiter Produktforschung BioScience bei Bayer CropScience, helfen, die Ernährung der Weltbevölkerung zu sichern. Zur Analyse neuer Züchtungserfolge bereitet Labormitarbeiter Dimitri Paelinck (Foto li.) verschiedene Pflanzenproben für die Gefriertrocknung vor.

die Auswahlprozesse heute auf knapp die Hälfte verkürzen. Gentechnik und andere biotechnologische Werkzeuge haben die Pflanzenforschung bereits grundlegend verändert. Die grüne Gentechnik widmet sich unter anderem Themen wie Schädlings- und Unkrautbekämpfung durch Insektenresistenz und Herbizidtoleranz sowie Pflanzeigenschaften. Mittels Biotechnologie arbeiten Pflanzenforscher und Züchter jetzt noch intensiver daran, Merkmale wie Stresstoleranz gegen Dürre, Nährstoff- und Lichtmangel, Ertragssteigerung sowie die Qualität zu verbessern.

Eine der modernen Züchtungsmethoden, die die Forscher bereits nutzen, heißt Molecular Breeding – zu Deutsch: molekulare Züchtung. Damit rückt die Arbeit der Züchter und Pflanzenforscher immer näher zusammen: „Dank der Fortschritte in der Molekularbiologie ist es heute möglich, Eigenschaften von Pflanzen auf Basis ihrer Gene zu beschreiben. Und je mehr wir mithilfe der Biotechnologie über die Pflanzen erfahren, desto besser können wir erkennen, welche Mechanismen und damit welche Gen-Netzwerke bestimmten Merkmalen zugrunde liegen“, erklärt Botterman. Dank der molekularen Analyse im Labor können die Forscher bei BioScience heute – auf genetischer Ebene – genauer sehen, was die einzelnen Pflanzen in einem Züchtungsprogramm unterscheidet. Denn die sogenannte molekulare Markeranalyse ergibt einen genetischen Fingerabdruck, der die Eigenschaften einer Pflanze individuell kennzeichnet und sie charakterisiert – so wie ein Barcode ein Produkt kennzeichnet. Damit finden die Bayer-Forscher her-

aus, wie sich bestimmte Umwelteinflüsse beispielsweise auf den Ertrag auswirken. Und noch ein weiterer Vorteil kommt hinzu: „Mithilfe molekularer Marker können wir auch gleich nach mehreren Genen und damit Eigenschaften in einer Pflanze fahnden“, so Benjamin Laga, einer der Gruppenleiter des Genetik-Teams bei BioScience in Gent. Denn besonders Merkmale wie eine verbesserte Photosynthese-Leistung und Nährstoffaufnahme sowie ein gesteigerter Zuckertransport setzen sich meist aus einem komplizierten Geflecht von mehreren genetischen Komponenten zusammen, die sich leicht erkennen lassen. Sind solche Eigenschaften einmal identifiziert, können sie auch in Zukunft bei anderen Pflanzen diagnostiziert werden – und wertvolle Hinweise für die Züchtung geben.

Züchtung 2.0: Die Molekularbiologie spart Zeit, Kosten und Platz im Gewächshaus

Bereits vor rund 10.000 Jahren haben Menschen versucht, auf ihren Äckern gezielt Gewächse mit besonderen Eigenschaften auszuwählen, zu kreuzen und so möglichst viele gute Eigenschaften zu vereinen. Die Genomforschung hat die Züchtung aber deutlich forciert: Der Augustinermönch und Pionier auf dem Gebiet der Genetik, Gregor Mendel, musste 1860 noch länger darauf warten, ob seine Erbsenpflanzen im Klostergarten rot oder weiß blühten. Heute gibt es viele Analysemethoden, die – wie ein Blick mit der Lupe – viel mehr über eine Pflanze preisgeben, als mit dem bloßen Auge zu erkennen ist. So wissen die Züchtungsexperten von Nunhems zum Beispiel

Schnipsel im Erbgut

Um die Merkmale einer Pflanze besser analysieren zu können, produzieren Züchter heute daraus genetische Fingerabdrücke. Diese Markerkombinationen dienen wie ein Strichcode zur Identifizierung bestimmter Pflanzenmerkmale. Besonders gute Markierungen liefert derzeit die sogenannte SNP-Analyse. Mit SNP – kurz für single nucleotide polymorphism (deutsch: Einzelnukleotid-Polymorphismen) – werden Variationen von einzelnen Basenpaaren in einem DNA-Strang bezeichnet. Diese SNPs – wie „snips“, also Schnipsel ausgesprochen – sind zufällig im Erbgut verteilte Punktmutationen, winzige genetische Unterschiede, die bei Pflanzen, Tieren und Menschen von Generation zu Generation weitervererbt werden. Da viele von ihnen mit bestimmten Merkmalen korrelieren, sind sie als Orientierungshilfen im Erbgut geeignet – so wie Kilometersteine an der Autobahn.

schon lange bevor sich die Chilischoten an einer Pflanze ausbilden, ob diese mehr oder weniger scharf schmecken werden. „Eine derart gezielte Selektion spart enorm viel Entwicklungszeit, Platz im Gewächshaus und auf den Versuchsfeldern – und damit auch Geld“, erklärt Dr. Jan van den Berg, Globaler Leiter molekulare Züchtung bei Nunhems, einen ökonomischen Aspekt der molekularbiologischen Pflanzenzüchtung.

Zusammen mit einem Kollegenkreis aus Molekulargenetikern, Biochemikern und Bioinformatikern arbeitet van den Berg bei über zehn Gemüsepflanzen an Merkmalen, die mit der Qualität der Früchte, den Resistenzen gegen Krankheiten und dem Ertrag zusammenhängen. Damit Molecular Breeding effizient eingesetzt werden kann, müssen die Pflanzen mittels der sogenannten Phänotypisierung – oder auch Phenomics genannt – genau charakterisiert werden. Diese Technik beschäftigt sich ebenfalls mit Merkmalen wie Ertrag und Stresstoleranz. „Mit diesem neuen Mess- und Analysemethodenspektrum wollen wir sehr früh bestimmte Reaktionen in den Pflanzen registrieren, um dann auch rechtzeitig gegenlenken zu können“, sagt Dr. Michael Metzloff, bei Bayer CropScience Manager Forschungskooperationen bei BioScience. So erzeugt zum Beispiel abiotischer Stress wie Trockenheit oder Kälte bei Pflanzen eine Art Fieber: „Wenn wir aber regelmäßig die Temperatur jeder einzelnen Pflanze auf dem Feld messen, erkennen wir bereits sehr früh, welche von ihnen unter einem erhöhten Stresspegel leidet“, erklärt Metzloff.

Um diese und andere wichtige Parameter wie Photosyntheseleistung, Nährstoffaufnahme und Wachstumsrate zu katalogisieren und noch besser interpretieren zu können, wurde am



Standort Gent eine neue Einrichtung gebaut: In einem eigens dafür konzipierten Treibhaus werden Reis-, Raps- und Baumwoll-Sprösslinge in Zukunft auf Wachstum und Ertragsleistung hin untersucht: Ein vollautomatisches 3-D-Kamerasystem registriert dann unter kontrollierter Luftfeuchtigkeit und Wasserzufuhr kontinuierlich Daten wie Sprosshöhe, Wuchsform sowie Länge und Dicke der Blätter. Damit will das Genter BioScience-Team lernen, kleinste Reaktionen der Pflanzen auf ihre Umgebung zu interpretieren, und so noch einen Schritt über die bisherige Pflanzenforschung hinausgehen. Das Ziel der Molekularbiologen bei BioScience: mit ihren Vorhersagen den Züchtern wertvolle Hinweise für die Entwicklung neuer Sorten geben, statt rückblickend bestimmte Erscheinungsmerkmale mit Genen in Verbindung zu bringen.

Vom Züchter zum Pflanzendesigner: Bioinformatik sorgt für höhere Ernteerträge

Und dieser Trend wird sich laut Metzloff auch auf die moderne Landwirtschaft ausweiten: „Der Bauer muss seine Pflanzen noch regelmäßiger, noch intensiver und noch genauer überwachen, um festzustellen, ob sie tatsächlich gedeihen“, so der Biologe.

Und auch die fortschreitende Automatisierung auf den Feldern wird ihren Teil dazu beitragen. In Australien ist Metzloffs Vision beispielsweise schon Wirklichkeit: Dort fahren bereits Bauern mit ihren Testtraktoren über die Felder. Spezielle Sonden mit Verbindung zu Satelliten-Navigationssystemen registrieren, wo es zu trocken oder zu feucht ist und wo noch mehr gedüngt werden sollte. Die Landwirte verstehen sehr genau, wie es ihren



33



Bayer research _ 22

Pflanzen-Biotechnologie ist Teamarbeit: Im Labor im belgischen Gent (gr. Foto li.) scannt Dimitri Paelinck einzelne Pflanzenproben, während Stefaan Verbouw (gr. Foto o.) Laborgeräte zur DNA-Analyse befüllt und Dr. Michael Metzläff (kl. Foto li.) am PC Züchtungsmodelle interpretiert. Benjamin Laga (Foto o. li.) diskutiert neue Ansätze für die Rapsforschung und Renée Dekkers (Foto o. re.) lagert im Kühlraum frische Pflanzenzöglinge fürs Gewächshaus.

Sprösslingen geht, wo es im Boden an Nährstoffen mangelt und bei welchem Keimling sich die ersten Stresssignale ausbreiten. „Es wird nicht ausreichen, ein einzelnes Gen für Stresstoleranz in die Pflanzen einzubauen – dafür sind Merkmale wie Dürre- oder Frosttoleranz viel zu komplex. Aber in Zukunft können wir durch Genkombinationen sicher noch stresstolerantere und damit besser angepasste Pflanzen anbieten“, sagt Botterman.

Die Arbeit der Pflanzenzüchter verlagert sich immer öfter vom Feld ins Labor – und vor den Computer: „Wenn wir heute ein Experiment an einem Tag durchführen, dauert die Analyse der Daten eine Woche“, erklärt Laga. Wo derart viele Daten gesammelt werden, sind Bioinformatiker und Statistiker mit ihren Modellverfahren gefragt: Allein in Gent ist der Anteil an Bioinformatikern unter den 300 Mitarbeitern innerhalb

weniger Jahre von fünf auf mehr als 30 gestiegen. Wie sie verlässliche Daten mit ihren molekularen Markern gewinnen können, wissen die Bayer-Forscher mittlerweile sehr gut. Aber die eigentliche Herausforderung besteht in der statistischen Auswertung und Interpretation all der Ergebnisse, die in den vergangenen Jahren von den Züchtern bei Bayer CropScience gewonnen und notiert wurden. Laga: „Der gleiche Versuch kann zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Besonders wenn wir auf den Feldern je nach Jahr und Region immer wieder unterschiedliche Umweltbedingungen vorfinden.“ Deshalb wollen die BioScience-Experten ihre Datenbanken in den kommenden Jahren noch intensiver und umfangreicher mit Informationen über Ertrag, Schädlingsbefall, Sonnenscheindauer, Herbizideinsatz und vielem mehr füttern.



Qualitätscheck für Saatgut: Der Labortechniker Jan Bergs begutachtet Melonenpflänzchen nach dem Test in der Klimakammer.

Haben sie genügend Daten für die Analyse gesammelt, können die Biotechnologen relevante Marker mit statistischen Berechnungen noch besser erkennen. Das ermöglicht ihnen eine genauere Vorhersage, was in einer Pflanze passiert, wenn sie ein bestimmtes Gen verändern – oder einen der vielen Faktoren, die die Gen-Netzwerke kontrollieren. Mittels Computeranalysen wollen die Forscher und Züchter dann sogar komplette Kreuzungspläne für Neuzüchtungen aufstellen: „Unsere Rechenmodelle liefern mittlerweile sehr zuverlässige Prognosen – auch ohne Feldversuch.“ Die umfangreiche Arbeit der Züchter wird so um innovative Methoden ergänzt und noch effektiver. „Wir haben damit völlig neue Werkzeuge für die Züchtung in der Hand“, betont Botterman.

Auch die internationale Zusammenarbeit gewinnt bei Bayer CropScience zunehmend an Bedeutung. So kooperieren die Forscher am Innovationszentrum in Gent bereits mit zahlreichen Unternehmen, Universitäten und anderen Forschungsinstitutionen weltweit. „Wir wollen neue Technologien in Zukunft noch intensiver integrieren“, so Botterman. Durch die Übernahme der Athenix Corp. im Jahr 2009 hat Bayer CropScience seine Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in den USA – speziell bei Mais und Sojabohnen – weiter ausgedehnt. Die Forschungsgruppe hat neue Pflanzeigenschaften für die Kontrolle von Fadenwürmern und Insekten entwickelt und gehört zum neuen Innovationszentrum in Morrisville, North Carolina, USA. Botterman: „Da die Landwirte gerade in westlichen Ländern immer öfter über Schäden durch Fadenwürmer

klagen, werden Resistenzgene gegen die Nematoden immer wichtiger.“ Weil die Würmer über die Wurzeln der Zuchtplanzen herfallen, halten sie sich meist im Boden versteckt und sind mit Pflanzenschutzmitteln nur sehr schwer zu bekämpfen. Die BioScience-Forscher prüfen auch, wie man sich die Innovationskraft in Asien zunutze machen kann. „Denn gerade für Länder wie China mit stark wachsender Bevölkerung werden Pflanzen immer wichtiger, die Nährstoffe und Wasser optimal nutzen und auch bei weniger fruchtbaren Bodenverhältnissen möglichst viel Ertrag liefern“, so Botterman.

Epigenetik: Gen-Schalter für Stresstoleranz und Wachstum finden

Um Pflanzen fit zu machen für höhere Erträge und gesteigerte Widerstandskraft, setzen die Genter Biotechnologen auch auf den noch sehr jungen Bereich der Epigenetik. Dieser Forschungszweig befasst sich mit den Einflüssen der Umwelt auf die genetischen Netzwerke. Damit konnten die Bayer-Forscher zum Beispiel aufklären, warum Rapspflanzen trotz identischer genetischer Ausstattung manchmal kräftig wachsen, aber teilweise auch kleinwüchsig bleiben. Der Grund: Bei Stress durch Licht- oder Nährstoffmangel entstehen kurze einsträngige Moleküle der Ribonukleinsäure (RNA) in den Rapszellen, die einzelne Gene abschalten und dadurch das Pflanzenwachstum hemmen können. Wenn Zellbiologen solche epigenetischen

Mechanismen noch besser deuten lernen, könnten sie in Zukunft auf diesem Weg auch noch gezielter Gene an- und ausschalten.

Die grüne Gentechnik ist wichtig für die Forschung zu Schädlings- und Unkrautbekämpfungsmethoden: So stand das Bakterium *Bacillus thuringiensis* Pate für das sogenannte Bt-Konzept: der erste gentechnische Ansatz in der Schädlingsbekämpfung bei Mais und Baumwolle. Denn die Mikrobe bildet Eiweiße, die sich im Darm von Raupen in eine giftige Form umwandeln und diesen durchlöchern. Gleichzeitig lähmt das Protein auch die Fresswerkzeuge der Schadinsekten.

Die grüne Gentechnik hilft, den CO₂-Ausstoß in der Landwirtschaft zu senken

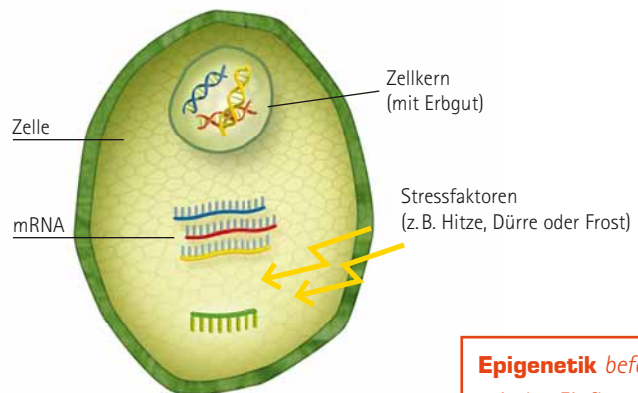
Nach der Identifizierung des Bakterien-Gens lag die Idee nahe, dass Pflanzen ihren Schutz auch selbst produzieren könnten. Voraussetzung: Sie tragen das Gen zusätzlich in ihrem Erbgut. Dafür isolierten Zellbiologen das Bt-Gen im Labor, vermehrten es und brachten es mithilfe eines weiteren Bakteriums – dem *Agrobacterium tumefaciens* – in die Kulturpflanzen. Seit der Entdeckung dieses gentechnischen Naturtalents nutzen Biotechnologen weltweit den Mikroorganismus: Sie schleusen damit fremde DNA mit den Bestandteilen für neue Merkmale wie Insektenresistenz in eine Pflanzenzelle ein und integrieren sie in deren Genom. Pflanzen mit Bt-Gen können sich so ganz alleine gegen Raupen wehren. Solche Schutzkonzepte mit implantierten natürlichen Wirkstoffen sind für die weltweite Ernährungssicherung sehr wichtig: Allein in Europa werden bis zu 40 Prozent der Ernte durch Insekten und andere Schädlinge vernichtet – in Entwicklungsländern sogar rund 80 Prozent.

Neben der Schädlingsbekämpfung hat die Gentechnik eine effektivere Nutzung von Pflanzenschutzmitteln ermöglicht. Die Herausforderung: Breitbandherbizide wie das vielfach verwendete Glufosinat schädigen alle Pflanzen auf einem Feld gleichermaßen. Sie unterscheiden also nicht zwischen Nutzpflanzen und Unkraut. Doch Pflanzenforscher entwickelten eine Lösung: Ein System aus herbizidtoleranten Pflanzen und dazu passenden komplementären Pflanzenschutzmitteln ermöglicht eine einfache und wirksame Anwendung, die die Nutzpflanzen schont. Im US-amerikanischen Sojaanbau haben sich die herbizidtoleranten Sorten inzwischen fast flächendeckend durchgesetzt. Und das bringt gleich mehrere Vorteile: Denn ein großer Teil der US-Landwirte kommt inzwischen ganz ohne die Vernichtung des Unkrauts durch Pflügen aus. Dadurch wird der Boden geschont: Der nicht zerpflegte Boden ist widerstandsfähiger gegen Erosion. Der Acker nimmt so beispielsweise Starkregen nicht nur schneller auf, sondern speichert Wasser und Nährstoffe besser und länger als im gepflügten Zustand. Und noch ein Vorteil: Der verringerte

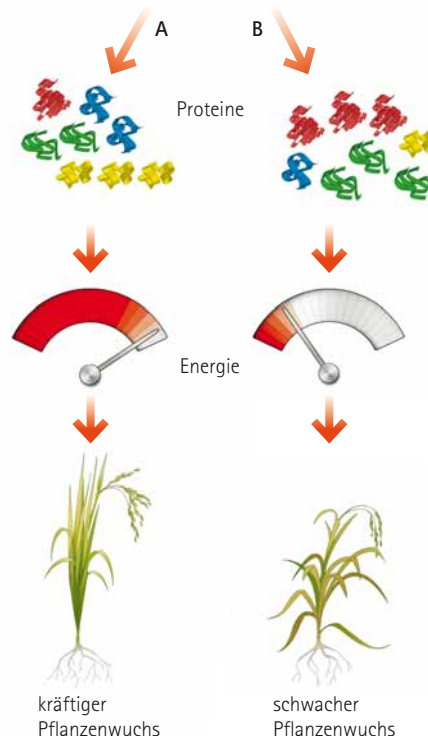
Maschineneinsatz reduziert zudem den Kraftstoffverbrauch und den Ausstoß klimaschädlicher CO₂-Gase.

Es bedarf nicht mehr unbedingt gentechnischer Methoden allein, um die Pflanzen fit zu machen gegen Schädlingsplagen. Als Alternative zur Ausstattung der Gewächse mit fremdem Erbgut gehen die Bayer-Forscher auch neue Wege: Sie arbeiten verstärkt daran, den Stoffwechsel der Pflanzen auf bestimmte Umweltbedingungen hin zu optimieren. Grundlage bildet die genetische Ausstattung der Pflanzen. Die Bayer-Forscher ver-

Gen-Schalter finden

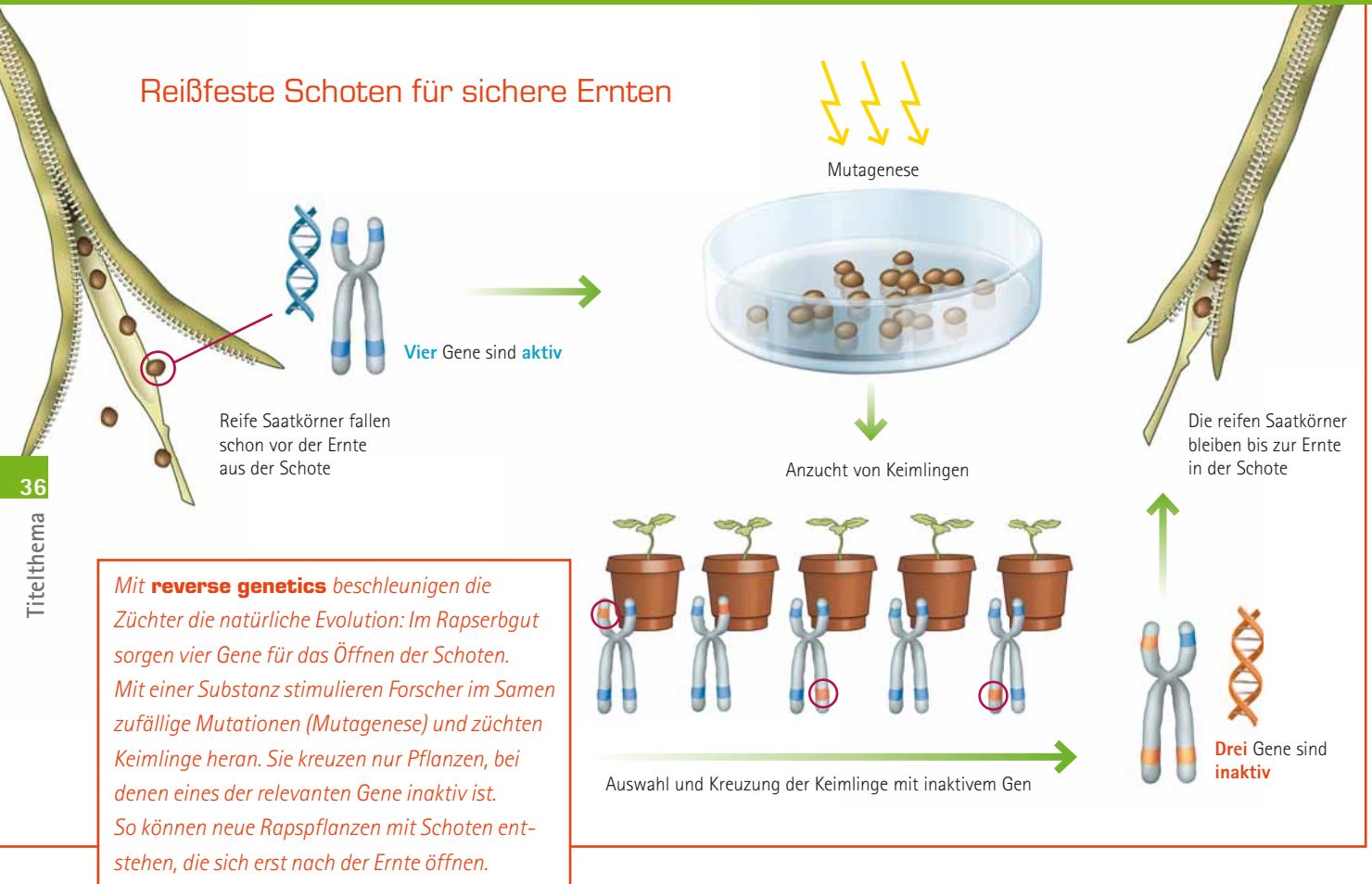


microRNA wird durch äußere Stressfaktoren in der Pflanze aktiviert. Sie steuert, wie viel und welche Proteine produziert werden.



Epigenetik befasst sich mit den Einflüssen der Umwelt auf genetische Netzwerke. Damit klärten Bayer-Forscher auf, warum Rapspflanzen trotz identischer Gene manchmal kräftig wachsen, teilweise aber kleinwüchsig bleiben: Laufen Zellvorgänge nach Weg A, besitzt die Pflanze einen hohen Energievorrat und wächst kräftig. Mit dieser Pflanze züchtet man weiter. Abläufe nach Variante B führen zu niedrigem Energiehaushalt und einem schwachen Pflanzenwuchs. Mit diesem Wissen könnten Forscher in Zukunft noch gezielter Gene an- und ausschalten.

Reißfeste Schoten für sichere Ernten



stehen diese Basis heute so gut, dass sie erkennen, wo und wann welche Genfunktion entscheidend ist. Die Informationen über Schlüsselgene erhalten die Wissenschaftler auch nicht mehr nur aus der Genforschung an Bakterien, sondern ebenfalls aus sogenannten Modellpflanzen wie der Ackereschmalwand. Oder direkt aus dem Erbgut der Kulturpflanze. „Das verdanken wir den Fortschritten in der Erbgut-Sequenzierung“, sagt Metzlauff.

Reverse genetics: Die natürliche Evolution beim Saatgut treffsicher beschleunigen

Die Pflanzenforschung hat weltweit mittlerweile ein Niveau erreicht, das vor zehn Jahren noch undenkbar gewesen wäre. Und Bayer CropScience hat seinen Teil dazu beigetragen: Gemeinsam mit mehreren Partnern entschlüsselte ein Team um Dr. Bart Lambert, Manager Produktforschung für Ölsaaten, das Rapsgenom. Auf Basis der 30.000 Pflanzengene nutzte Lambert anschließend einen neuen Ansatz: das sogenannte reverse genetics. Reverse – also rückwärts – heißt diese Methode deshalb, weil hier ein neuer Phänotyp aus einer Kombination pflanzeigener Gene entsteht, die im Labor durch die sogenannte Mutagenese verändert und mittels Molecular Breeding in einer einzigen Pflanze oder Sorte

vereint wurden. „Wir verändern ein Gen oder Gen-Netzwerk so, dass die Pflanze ein neues Erscheinungsmerkmal erhält“, sagt Lambert. Beim reverse genetics wird Saatgut mit einer Substanz behandelt, die Mutationen auslöst, die zufällig über das gesamte Erbgut verteilt sind.

Gen-Netzwerke verändern und Pflanzen völlig neue Eigenschaften verleihen

„Solche Veränderungen passieren auch in der Natur. Aber wir beschleunigen diesen Evolutionsprozess gezielt“, schildert Lambert den Vorteil der Methode. Aus Tausenden von zufällig mutierten Saatgut-Genomen wählen die Forscher diejenigen aus, die eine vielversprechende Mutation in ihrem Zielgen tragen. Dafür haben die BioScience-Forscher eine sehr schnelle und treffsichere Fahndungsmethode etabliert. Diese vervielfältigt und sequenziert den gewünschten Genabschnitt. „Dafür müssen wir das Gen und seine Funktion genau kennen“, so Lambert. Durch geschickte Auswahl kombinieren er und sein Team einzelne mutierte Pflanzen in mehreren Kreuzungs- und Selektionsschritten miteinander.

Mit reverse genetics möchte Bayer CropScience eines Problems Herr werden, das viele Landwirte im Rapsanbau beschäftigt: Saatkörner fallen häufig noch vor der Ernte aus den Schoten der reifen Rapspflanzen auf den Boden und sind damit unbrauchbar. BioScience-Forscher arbeiten deshalb an der

Entwicklung von Pflanzen mit Schoten, die nicht so leicht aufreißen. Dafür verändern sie die Aktivität eines bestimmten Gens. Dieses ist an der Entstehung eines Gewebes beteiligt, das die Schote zusammenhält. Wird die Frucht reif, zerfällt das Gewebe. Aber unter ungünstigen Bedingungen passiert dies zu früh, die Schote reißt auf und die Saatkörner treten vorzeitig aus.

Mit molekularen Markern zu höheren Erträgen und gesunden Fettsäuren im Rapsöl

Neben den reißfesten Schoten verfolgt Lambert mit seinem Rapsteam noch weitere Pläne mit der „Rückwärts-Methode“. Entsprechend gezielt haben die Rapsforscher auch die Fettsäure-Biosynthese beeinflusst. Denn obwohl Raps derzeit eines der gesündesten Speiseöle mit einer geringen Anzahl von gesättigten Fettsäuren ist, entstanden durch die Verarbeitungsprozesse in der Lebensmittelindustrie oftmals sogenannte trans-Fettsäuren. Diese können aber zu Herz-Kreislauf-Erkrankungen führen. Forscher veränderten den Stoffwechsel deshalb so, dass die Pflanzen jetzt überwiegend Fettsäuren produzieren, bei deren Weiterverarbeitung keine schädlichen Nebenprodukte entstehen.

Da die neue Rapsorte mit hohem Ölsäure- und geringem Linolensäure-Gehalt jedoch wenig ertragreich war, ging der Züchtungsprozess noch weiter, um die Ertragskapazität zu steigern. Und auch dabei kam den Bayer-Forschern ihre langjährige Erfahrung mit dem Molecular Breeding zugute: In einem speziellen Verfahren – dem sogenannten marker assisted backcrossing – wurden die veränderten Pflanzen mit ertragreichen Sorten gekreuzt und die nachfolgenden Generationen dann selektiert. Und zwar so, dass sie möglichst viele Eigenschaften der ertragreichen Sorte plus das Merkmal für das günstige Ölprofil trugen. Bisher waren dafür sechs Kreuzungsschritte notwendig. „Dank der modernen

Öl-Karriere in Gelb

Vom Lampenöl zum Lebensmittel: Seit 1974 gilt Raps als Lebens- und Futtermittel. Damals kamen unter dem Namen „Null-Raps“ erstmals Sorten auf den Markt, die sich für Speiseöl eignen. Und seit den 1990er-Jahren hat Raps nach Soja den zweithöchsten Anteil am Weltmarkt für Ölsaaten (2009: 54,1 Millionen Tonnen Rapssamen). Die neuen Sorten haben sich unter dem Namen „Canola“ etabliert: Eine Abkürzung für Canadian oil, low acid. Denn die Sorte wurde ursprünglich in Kanada, dem weltweit größten Raps-Erzeugerland, entwickelt. Im Oktober 2009 gelang es Bayer-Forschern, das Canola-Erbgut komplett zu entschlüsseln. Sie arbeiteten in Kooperation mit zwei öffentlichen Forschungsinstituten, dem Beijing Genomics Institute Shenzhen in China und der University of Queensland in Australien sowie dem niederländischen Biotech-Unternehmen Keygene in Wageningen.

Marker-Technologie schaffen wir es allerdings schon nach drei Generationen, zu hundert Prozent die gewünschten Pflanzen zu erhalten“, erklärt Laga. Bei einer Generationsdauer von durchschnittlich vier bis sechs Monaten erspart dies etwa ein Jahr Entwicklungszeit. Wertvolle Zeitersparnis, die sich auch die Hybridzüchtung immer mehr zunutze macht. Diese



Wertvolle Multiplikation: Dr. Jan van den Berg, Globaler Leiter molekulare Züchtung bei Nunhems in den Niederlanden, im Labor, wo die Forscher durch schnelle und geschickte Schnitte mit dem Skalpell junge Gurkenpflänzchen mit wertvollen Eigenschaften vervielfältigen.



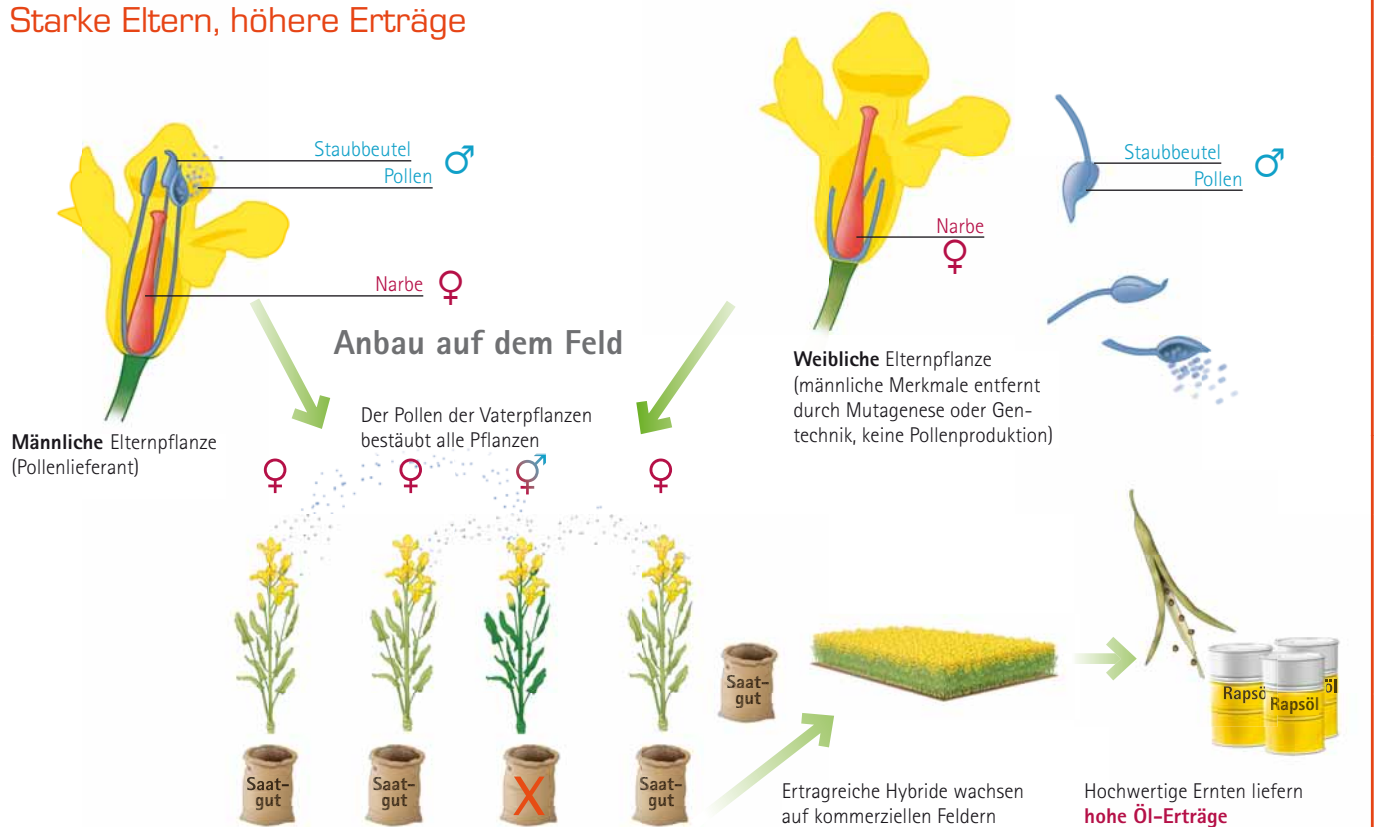
Methode beruht auf einem faszinierenden Phänomen: Werden zwei reinrassige und genetisch möglichst unterschiedliche Elternlinien gekreuzt, entstehen Nachkommen mit erhöhter Leistungsfähigkeit. Die neuen Hybride sind ertragreicher und stresstoleranter als konventionelle Sorten.

Hybridsorten: Effizient kreuzen für mehr Ernteertrag und Stresstoleranz bei Raps und Reis

Diesen Effekt nennt man Heterosis. Mit seinen ertragreichen InVigor®-Hybriden ist Bayer CropScience beispielsweise Marktführer unter den Hybrid-Rapssaar-Anbietern. Auch bei Reis gehört das Unternehmen mit den Arize™-Hybridsorten zu den führenden Anbietern. „Das Zuchtverfahren selbst ist kein Geheimnis. Der Trick liegt vielmehr darin, Elterngenerationen mit den richtigen Eigenschaften und passend zu den jewei-

ligen Klimabedingungen auszuwählen“, sagt Paul Degreef, Globaler Leiter Züchtung bei Nunhems. Um möglichst nah an den Wünschen ihrer Kunden zu sein, betreibt Nunhems 26 Zuchtstellen in 14 Ländern sowie drei Forschungszentren. Die Stärke der Nunhems-Forscher ist ihre globale Infrastruktur, in der sie weltweit nach bestimmten Eigenschaften suchen können: Sie kooperieren mit internationalen Kollegen und tauschen Germplasma aus – das sind Saatgut-Sorten, die bereits ein oder zwei interessante Eigenschaften tragen. Auch dabei sind die molekularen Marker wichtig: „Sie sollen aus dem großen Pool an existierendem Saatgut die vielversprechendsten Samenkörner herausfischen und damit den Auswahl-Prozess beschleunigen und besser steuern“, erklärt Rapszüchter Dirk Decherf von BioScience bei Bayer CropScience. Um festzustellen, welche Rapspflanzen ein erwünschtes Merkmal tragen, genügt es, ein Stück vom Blatt mit ins Labor zu nehmen und dort mit molekularen Markern

Starke Eltern, höhere Erträge



Hybridsorten nehmen bei den meisten Gemüsesorten und im Mais-, Reis- und Rapsanbau immer mehr zu: Um eine Hybridsorte herzustellen, die höhere Erträge bietet, entwickeln Züchter reinrassige männliche und weibliche Elternlinien, die die gewünschten Eigenschaften besitzen. Die Vaterpflanze sorgt für die Bestäubung und nur das Saatgut der weiblichen Pflanze wird zum Anbau der hoch ertragreichen kommerziellen Hybridpflanze genutzt.



nach den gewünschten Genen zu fahnden. Auch zur Bestimmung einer Krankheitsresistenz muss eine Pflanze heute nicht mehr testweise mit einem bestimmten Erreger infiziert werden. Ein Blick mit der molekularen Lupe reicht aus, um festzustellen, ob die Pflanze die relevanten Marker in sich trägt. Die molekularen Marker ermöglichen eine enorme Vielfalt an neuen Pflanzen, die mittlerweile auch nur in kleinen Nuancen und je nach Kundenwunsch variiert werden können. So hat Nunhems mehr als die Hälfte der 2.500 Sorten an Gemüsesaatgut allein in den vergangenen sechs Jahren entwickelt: „Die Nachfrage nach mehr Ertrag, aber auch nach Qualitätsmerkmalen wie neuen Geschmacksrichtungen und beispielsweise mehr Aroma steigt“, sagt Degreef.

Genforschung revolutioniert die Züchtung – Feldversuch bleibt das wichtigste Experiment

Die Genforschung hat die moderne Züchtung also revolutioniert: Molekulare Marker und die enormen Fortschritte bei der Technologie zur Genomsequenzierung helfen Pflanzen und deren Eigenschaften gezielter als bisher auszuwählen und effektiver zu kreuzen. Und auch wenn die Arbeit der Züchter – statt auf dem Feld – immer öfter im Labor und vor dem PC

stattfindet, bleibt sie immer noch eine Kunst, denn: „Anders als im Gewächshaus können wir Temperatur, Licht oder Feuchtigkeit in der freien Natur nach wie vor nicht exakt einstellen“, sagt Botterman. Und auch Metzloff weiß: „Vieles, was man im Labor sieht, bestätigt sich dann draußen im Feld doch nicht ganz.“ Deshalb bleibt letztlich der Feldversuch das entscheidende Experiment für die Forscher von Bayer CropScience.

Zellbiologie erkunden:
Mit modernen Methoden unterstützen Maria Hendricks, Joop Hillen und Miny Sillekens die Pflanzenzüchter im Labor.



www.podcast.bayer.de

Das Bayer-Podcast-Center bietet einen Hintergrundfilm zum Thema.



www.research.bayer.de/pflanzenzuechtung

Weiterführende Links und Literaturtipps



www.research.bayer.de/unterrichtsmaterialien-biotechnologie

Zu „Biotechnologie für die Pflanzenzüchtung: Auf der Spur der grünen Moleküle“ gibt es auch Material für den Schulunterricht.