

# InterNutrition POINT

## Aktuelles zur grünen Biotechnologie

Nr. 174  
Juli/August 2016

### Inhalt

- Tomaten: Voller Geschmack ohne weich zu werden .....S. 1*  
*Ernährung: Gesundheitsfördernde Omega-3 Fettsäuren aus Rapsöl ....S. 2*  
*Insektenresistenz: Schädlingsabwehr nur da, wo es wirklich beisst ....S. 3*  
*Neue Züchtungsverfahren: Virusresistente Gurken und trockentoleranter Mais durch CRISPR/Cas9 Erbgut-Korrektur..... S. 4*  
*Neue Züchtungsverfahren: Akademien der Wissenschaften Schweiz sehen grosses Potential, aber Anpassungsbedarf bei der Regulierung S. 5*

### Tomaten



**Tomaten-Vielfalt.**  
Vielen modernen Sorten mangelt es an Geschmack.  
Photo ©: Elenathewise / canstockphoto.com

### Voller Geschmack ohne weich zu werden

Alte Tomatensorten, wie sie in manchen Gärten wachsen, überraschen mit einer grossen Formen- und Farbenvielfalt, und vor allem mit ihrem köstlichen Aroma. Im Vergleich dazu sind viele der Tomatensorten aus dem Handel zwar optisch makellos, geschmacklich aber eine Enttäuschung. Das liegt auch daran, dass viele der kommerziell angebauten Tomatensorten das Zuchtmerkmal «verzögerte Reifung» tragen. Dies führt dazu, dass die Tomaten die volle Reife erst langsam erlangen und so lange haltbar bleiben – ein entscheidender Vorteil bei den heutigen weiten Handelswegen. Allerdings bewirkt diese Eigenschaft auch eine verlangsamte Geschmacksentwicklung und einen reduzierten Nährwert. Der Vorteil von massenhaft und preiswert produzierten Tomaten wird mit Einbussen beim Genuss erkaufte.

Forscher aus Grossbritannien und den USA haben jetzt ein Enzym identifiziert, das eine Schlüsselrolle bei der Tomatenreife spielt. Pectat-Lyase baut die feste Zellwand der Tomatenzellen ab und bewirkt, dass vollreife Früchte weich werden. Wenn Tomatenpflanzen ein antisense-Transgen eingebaut wurde, das die Produktion von Pectat-Lyase abschaltet, bleiben die Früchte auch ganz ausgereift fest und stabil. Alle anderen Reifungsvorgänge, wie Farbumschlag und die chemischen Veränderungen, die Geschmack und Aroma bestimmen, waren in diesen Früchten unbeeinflusst. Tatsächlich konnten die reif geernteten Früchte 14 Tage ohne Qualitätsverlust bei Raumtemperatur gelagert werden, während unveränderte Kontrollfrüchte nach dieser Zeit matschig und schrumpelig waren.

Es ist den Forschern laut eigener Einschätzung damit zum ersten Mal gelungen, die Erweichung der Tomaten von den anderen Reife-Prozessen abzukoppeln, ohne diese nachteilig zu beeinflussen. Sie hoffen, damit einen Beitrag zur Züchtung wohlschmeckender Tomatensorten mit dem Aroma vollreifer Früchte zu leisten, die gleichwohl transportfähig und lange haltbar sind. Die Wichtigkeit der Pectat-Lyase hierfür war zuvor nicht bekannt, und konnte mit Hilfe des gentechnischen Ansatzes rasch nachgewiesen werden. Mit dem gewonnenen Wissen kann jetzt gezielt in natürlichen Tomatensorten oder nach erbgutverändernden Behandlungen (Mutagenese) nach Varianten mit reduzierter Pectat-Lyase-Aktivität gesucht werden. Auch mit Hilfe moderner Verfahren zur Erbgut-Korrektur ist es möglich, solche Sorten ohne den Einbau fremdes Erbmateriale zu erreichen – das haben die For-

scher in Vorversuchen bereits gezeigt. Für ihre weitere Produktentwicklung wollen sie jedoch statt von leicht handhabbaren Laborsorten von Elite-Tomatensorten ausgehen, die einen optimalen Geschmack mit guten agronomischen Eigenschaften kombinieren.

Sie haben dabei von den ungünstigen Erfahrungen bei der Einführung der Flavr-Savr-Tomate gelernt, die 1994 in den USA als erste gentechnisch veränderte Lebensmittel-Pflanze zum Verzehr zugelassen wurde. Bei dieser auch als «Anti-Matsch-Tomate» berühmt gewordene Sorte war durch eine gentechnische Veränderung ebenfalls ein Enzym, das am Abbau der Zellwand in Tomaten beteiligt ist (Polygalacturonidase), ausgeschaltet. Die Hoffnung damals war, dass diese Früchte reif am Strauch geerntet, und dann mit vollem Aroma zum Verkauf transportiert werden konnten. Es stellte sich jedoch heraus, dass die Früchte trotzdem weich wurden und beim Transport litten. Die Erträge waren niedrig, da die Forscher für die gentechnische Veränderung eine für den kommerziellen Anbau wenig geeignete Sorte verwendet hatten. Und der schlimmste Fehler: die verwendete Tomatensorte war von Natur aus auch voll ausgereift wenig aromatisch, und der mässige Geschmack wurde durch die gentechnische Veränderung nicht beeinflusst. So wurde die Flavr-Savr-Tomate als Frischgemüse sowohl wirtschaftlich als auch in der Gunst der Konsumenten nach kurzer Euphorie ein Flop. Mit dem umfangreichen Wissen, das in den letzten Jahrzehnten bei der Pflanzenzüchtung – auch mit Hilfe der Gentechnik – dazugekommen ist, besteht jetzt die Hoffnung, dass in den nächsten Jahren neue Tomaten mit dem vollen Geschmack der alten Sorten auf den Markt kommen.

**Quellen:** Selman Uluisik et al. 2016, [Genetic improvement of tomato by targeted control of fruit softening](#), Nature Biotechnology advance online publication (25.07.2016), doi:10.1038/nbt.3602; [Salad days – tomatoes that last longer and still taste good](#), Biotechnology and Biological Sciences Research Council, 25.07.2016; Kevin M Folta & Harry J Klee 2016, [Sensory sacrifices when we mass-produce mass produce](#), Horticulture Research 3:16032 (doi:10.1038/hortres.2016.32); [The Flavr Savr™ tomato: Mistakes Shorten First Approved GMO's Shelf Life](#), Genetic Engineering & Biotechnology News, 12.04.2016

## Ernährung

### Gesundheitsfördernde Omega-3 Fettsäuren aus Rapsöl

Langkettige, mehrfach ungesättigte Omega-3 Fettsäuren (LC-PUFA), wie DHA und EPA, sind wichtige Bestandteile einer gesunden Ernährung. Der Mensch benötigt diese Substanzen zwar, kann sie aber nicht selber aus einfachen Grundbausteinen herstellen. Die Omega-3 Fettsäuren werden für die ungestörte Embryonalentwicklung benötigt, wirken sich günstig auf die Herz-Kreislauf-Gesundheit aus, und spielen eine wichtige Rolle für die Hirnfunktion. In der Natur werden diese speziellen Fettsäuren fast ausschliesslich von mikroskopischen Meeresalgen produziert, und finden sich durch Anreicherung entlang der Nahrungskette dann auch in Meeresfischen.

Eine nachhaltige Versorgung mit ausreichenden Mengen von Omega-3 Fettsäuren wird durch die Überfischung der Weltmeere immer schwieriger. Forscher arbeiten daher an verschiedenen alternativen Quellen für die wertvollen Nahrungsbestandteile. So wurden auch schon Pflanzen, die von Natur aus keine Omega-3 Fettsäuren herstellen können, durch den Einbau einer Reihe von zusätzlichen Stoffwechselgenen dazu gebracht ([POINT 145, Januar 2014](#)). Allerdings mussten hierzu bis zu sieben zusätzliche Gene in die Pflanze Leindotter eingeführt werden, um die pflanzeigenen Fettsäuren Schritt für Schritt zu den gewünschten LC-PUFA umzubauen. Ausserdem entstanden hierbei Nebenprodukte, die bei Lagerung mit dem Sauerstoff

der Luft reagieren und so das Produkt schnell ranzig werden lassen.

Forschern des Saatgut-Herstellers Dow AgroSciences ist es jetzt gelungen, mit einem anderen gentechnischen Ansatz Raps so zu verändern, dass sein Öl die Omega-3 Fettsäuren DHA und EPA enthält. Ein Verzehr von 14 Gramm dieses Öls, z. B. in einem Salat-Dressing, würde ausreichen um die empfohlene Tagesmenge für Omega-3 LC-PUFA aufzunehmen.

Statt wie bei den vorherigen Ansätzen auf die pflanzeneigene Fettsäuresynthese aufzubauen und deren Produkte in einer Vielzahl von Stoffwechselschritten zu den gewünschten Produkten umzubauen, setzten die Forscher durch eine geschickte Auswahl von nur vier Genen aus Mikroalgen den Pflanzen ein Omega-3 Produktionssystem ein, das unabhängig von der übrigen Fettsäure-Synthese läuft. Dadurch wird auch der normale Fettstoffwechsel der Pflanzen nicht gestört, und es entstehen keine unerwünschten Nebenprodukte, die sich ungünstig auf die Produkthaltbarkeit auswirken.

Rapspflanzen mit den zusätzlichen Mikroalgen-Genen zeigten beim Anbau im Freiland keine veränderten agronomischen Eigenschaften, auch der Ertrag blieb unverändert. Eine 9-monatige Lagerung der Rapssamen führte nur zu einem minimalen Rückgang des DHA-Gehaltes, was die Langzeitstabilität bestätigt. Das Rapsöl aus diesen Pflanzen enthielt nach Pressung und Reinigung 3.7% DHA und 0.7% EPA, die übrige Zusammensetzung war praktisch unverändert. Damit könnte dieses Rapsöl schon in geringen Mengen einen positiven Beitrag für die Versorgung mit den gesundheitsfördernden Omega-3 Fettsäuren in der täglichen Ernährung leisten.

Der hier verfolgte Ansatz mit der Übertragung von vier Mikroalgen-Genen funktioniert auch, um Sojaöl mit Omega-3 Fettsäuren anzureichern, wie die Forscher in Vorversuchen zeigen konnten. Auch andere Saatgut-Unternehmen arbeiten mit Hochdruck an der Entwicklung von Ölpflanzen mit gesteigertem Omega-3-Fettsäuregehalt – der Markt für gesundheitsfördernde Nahrungsmittel und das Interesse der Konsumenten daran ist gross.

**Quellen:** Terence A. Walsh et al. 2016, [Canola engineered with a microalgal polyketide synthase-like system produces oil enriched in docosahexaenoic acid](#), Nature Biotechnology 34:881–887; [Dow a step closer to commercializing canola oil with meaningful levels of DHA omega-3](#), foodnavigator-usa.com, 12.07.2016

## Insekten-Resistenz

### Schädlingsabwehr nur da, wo es wirklich beisst

Nutzpflanzen, die durch die eigene Produktion insekten-abwehrender Substanzen Schädlinge im Zaum halten können, erleichtern den Pflanzenschutz für den Landwirt und senken den Bedarf an teuren Insektiziden. Das funktioniert seit dem ersten grossflächigen Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen im Jahr 1996 so gut, dass heute knapp die Hälfte der weltweiten Anbaufläche für Biotech-Nutzpflanzen aus insektenresistenten Sorten besteht. Besonders wichtig sind dabei Mais- und Baumwollsorten, die das hochspezifische insektizide Bt-Eiweiss (ursprünglich aus einem Bodenbakterium) produzieren.

Üblicherweise wird die Alesung des Bt-Gens in diesen Pflanzen von einem konstant aktiven Steuerelement, dem Promotor, angetrieben. So wird das Bt-Eiweiss auch dann produziert, wenn gar kein Befall mit Schädlingen vorliegt. Ein türkisches Forscherteam hat jetzt einen genetischen Trick verwendet, um das Bt Insektenresistenzgen gezielt nur bei Frass-Schäden an der Pflanze zu aktivieren. Sie koppelten das Bt-Gen statt mit einem konstant aktiven Promotor mit einem Promotor aus Spargelpflanzen, der bei

Verwundung der Blätter aktiviert wird. Gentechnisch veränderte Baumwollpflanzen mit diesem Konstrukt zeigten nach einer mechanischen Verletzung mit Nadeln eine deutliche Produktion von Bt-Eiweiss, in Bio-Assays waren die Blätter resistent gegen Frass durch Raupen der Baumwollmotte und der Zuckerrübenmotte, zweier wichtiger Baumwoll-Schädlinge. In unverletzten Pflanzenteilen dagegen sammelte sich kein Bt-Eiweiss an.

In weiterführenden Arbeiten wollen die Forscher das System noch weiter verbessern und charakterisieren. Sie gehen davon aus, dass die regulierte Ablesung des Bt-Eiweisses nur bei Schädlingsbefall den Energieverbrauch der Pflanzen für eine unnötige Produktion und mögliche nachteilige Auswirkungen auf den Ertrag reduziert, und der Eintrag von Bt-Eiweiss in die Umwelt, z. B. durch abgestorbene Pflanzenteile nach der Ernte, minimiert werden kann.

**Quelle:** Emine Anayol et al. 2016, [Towards better insect management strategy: restriction of insecticidal gene expression to biting sites in transgenic cotton](#), Plant Biotechnology Reports 10:83-94

## Neue Züchtungs- verfahren

### Virusresistente Gurken und trockentoleranter Mais durch CRISPR/Cas9 Erbgut-Korrektur

Neue molekularbiologische Verfahren, durch die gezielte Schnitte an vorbestimmten Orten im Erbgut von Lebewesen gesetzt werden können, revolutionieren momentan die biologische Grundlagenforschung. Während die neuen Methoden permanent weiter verbessert und verfeinert werden, nimmt auch ihre praktische Anwendung ständig zu – auch in der Pflanzenzüchtung. Ein unter dem Namen «CRISPR/Cas9-Technologie» bekannt gewordenes Verfahren ermöglicht die gezielten Erbgut-Veränderungen auf besonders einfache Weise. Durch die geringen Kosten ist das Verfahren auch für kleine Forschungslabors und für Wissenschaftler in weniger wohlhabenden Ländern erschwinglich.

Ein Forscherteam aus Israel berichtet über die Entwicklung Virus-resistenter Gurken mit Hilfe der CRISPR/Cas9-Technologie. Durch einen gezielten Schnitt in das Erbgut schalteten sie das Gurken-Gen *eIF4E* aus, das für die Pflanzen nicht notwendig ist, aber von verschiedenen Pflanzenviren für die Vermehrung und Ausbreitung genutzt wird. Nach dem präzisen Schnitt werden die Erbgut-Enden durch die Pflanzenzelle selber wieder unpräzise zusammengefügt, so dass kurze Erbgutstücke verloren gingen. Das mit einem kleinen Fehler reparierte Gen funktioniert nicht mehr, um die Vermehrung der Viren zu unterstützen. Tatsächlich waren Gurkenpflanzen, die nur die mit CRISPR/Cas9 veränderte Genvariante trugen, immun gegen das «Cucumber vein yellowing virus», das die Gurken-Adernvergilbung auslöst und grosse Schäden verursacht. Auch gegen zwei weitere Pflanzenviren, «Zucchini yellow mosaic virus» und «Papaya ringspot mosaic virus» wurde Resistenz beobachtet. Die mit diesem Verfahren entwickelten krankheitsresistenten Gurkenpflanzen enthalten keine Fremd-DNA. Die beobachteten kleinen Veränderungen im Gurken-Erbgut können ebenfalls natürlich entstehen. Ohne genaues Wissen über den Herstellungsprozess wäre es nicht möglich zu entscheiden, ob die Pflanzen im Labor verändert wurden oder so der Natur entstammen.

Wissenschaftler des Saatgutunternehmens DuPont Pioneer aus den USA setzten die CRISPR/Cas9-Technologie ein, um eine dürre-tolerantere Mais-sorte zu entwickeln. Dabei führten sie nicht nur einen präzisen Schnitt in

das Erbgut ein, sondern fügten an der Schnittstelle ein Segment mit Mais-eigener Gensequenz ein. Sie wussten, dass eine von einem artfremden Promotor-Element getriebene verstärkte Ablesung des Maisgens ARGOS8 in gentechnisch veränderten Maispflanzen zu einer verbesserten Trockentoleranz führte. Sie suchten erfolglos in über 400 verschiedenen natürlichen Maissorten nach solchen mit einer spontanen, starken Ablesung des Gens. Sie beschlossen daher, den starken Mais-Promotor des GOS2 Gens vor das ARGOS8 Gen einzufügen, um so dessen Ablesung zu verstärken. Sie fügten mit dem CRISPR/Cas9 System einen Schnitt ein, und führten gleichzeitig ein Genabschnitt in die Pflanze ein, der den starken GOS2-Promotor als Ablese-signal trug. Der zugefügte Genabschnitt wurde bei der Reparatur der Schnittstelle in mehreren Fällen mit eingebaut. Dies führte wie erhofft zu einer verstärkten Ablesung des ARGOS8-Gens. Die Maispflanzen zeigten unter normalen, ausreichend bewässerten Bedingungen keine Unterschiede zu der unveränderten Kontrollsorte. Bei Dürrestress während der Blüte ging der Ertrag der verbesserten Pflanzen jedoch weniger stark zurück, unter diesen Bedingungen lieferten sie einen Mehrertrag von etwa 4%.

Auch in diesem Fall wurden den Pflanzen keine artfremden Erbinformationen zugefügt. Spontane Umlagerungen des genetischen Materials, die zu dem gleichen Resultat führen wie der hier beschriebene genetische Eingriff, kommen gelegentlich auch in der Natur vor. Die Autoren weisen auf die enormen Möglichkeiten hin, welche die neuen genetischen Verfahren für die Pflanzenzüchtung bieten, um die verfügbare genetische Variabilität für Züchtungszwecke zu erhöhen.

In den USA fallen mit Hilfe der CRISPR/Cas9 Technologie entwickelte Pflanzen, die keine artfremde DNA tragen und bei deren Herstellung keine Pflanzen-Krankheitserreger verwendet wurden, nicht unter die Zulassungsbestimmungen für den Anbau gentechnisch veränderte Organismen. In Europa ist die rechtliche Einstufung so entstandener Pflanzen dagegen noch ungewiss, da weder in der Schweiz noch in der EU die gesetzlichen Bestimmungen die neuen technischen Verfahren berücksichtigen. Diese rechtliche Unsicherheit bremst Innovationen in der Pflanzenzüchtung und schafft so Probleme auch für die Forschung.

**Quellen:** Jeyabharathy Chandrasekaran et al. 2016, [Development of broad virus resistance in non-transgenic cucumber using CRISPR/Cas9 technology](#), Molecular Plant Pathology 17:1140–1153; Jinrui Shi et al. 2016, [ARGOS8 variants generated by CRISPR-Cas9 improve maize grain yield under field drought stress conditions](#). Plant Biotechnol. J. (online 17.08.2016, [doi:10.1111/pbi.12603](#))

## Neue Züchtungs- verfahren

### **Akademien der Wissenschaften Schweiz sehen grosses Potential, aber Anpassungsbedarf bei der Regulierung**

In einem neuen Fact Sheet geben die Akademien der Wissenschaften Schweiz einen guten Überblick zum aktuellen Stand der Wissenschaft im Bereich der neuen Pflanzenzüchtungstechniken. Neue molekularbiologische Verfahren ermöglichen präzise Veränderungen im Pflanzenerbgut. In vielen Fällen sind die dabei entstehenden Pflanzen nicht von Varianten, die auch in der Natur entstehen können, zu unterscheiden, da keine artfremde Erbinformation übertragen wird. Dabei sind die neuen Techniken wesentlich schneller als klassische Züchtungsverfahren. Mit den neuen Verfahren können Pflanzen entwickelt werden, die effizienter die vorhandenen Ressourcen ausnutzen und weniger anfällig für Klimastress oder Pflanzenkrankheiten sind, und so auch in der Schweiz zu einer umweltverträglicheren, wirtschaft-



licheren und nachhaltigeren Landwirtschaft beitragen könnten.

Problematisch ist allerdings die rechtliche Unsicherheit, wie die mit den neuen Züchtungsverfahren entwickelten Pflanzen reguliert werden sollen und ob sie als «gentechnisch veränderte Organismen» (GVO) einzustufen sind. Für diese gelten – zusätzlich zu der ohnehin strengen, mehrjährigen Sortenprüfung, die jede neue Pflanzensorte durchlaufen muss – umfangreiche zusätzliche Zulassungsanforderungen und Auflagen. Die Bestimmungen hierfür wurden in einer Zeit entwickelt, als vermutet wurde dass gentechnisch veränderte Pflanzen ein erhöhtes Risiko für Mensch, Tier und Umwelt mit sich bringen könnten. Aufgrund der umfangreichen Erfahrung ist heute klar, dass dies nicht der Fall ist und dass es keine gentech-spezifischen Risiken gibt. Da weltweit immer mehr Nutzpflanzen mit Hilfe der neuen Züchtungsverfahren entwickelt werden, muss dringend abgeklärt werden ob diese in der Schweiz den strengen Auflagen des Gentechnik-Gesetzes (GTG) unterstehen sollen. Aus naturwissenschaftlicher Sicht gibt es laut den Akademien keinen Grund, solche Pflanzen strenger zu regulieren als herkömmlich gezüchtete Sorten.

Die Akademien diskutieren in ihrem Fact Sheet verschiedene rechtliche Szenarien für den künftigen Umgang mit den neuen Züchtungsverfahren in der Schweiz. Das bestehende Gentechnik-Gesetz lässt hier verschiedene Interpretationen zu, die sich entweder sehr restriktiv auf einen künftigen Anbau der neuen Pflanzensorten in der Schweiz auswirken würden, oder diesen unter klaren Voraussetzungen ermöglichen würden. Auch durch eine Anpassung der Bestimmungen der Freisetzung-Verordnung wäre eine Klärung möglich. Beispielsweise könnten mit eng definierten Verfahren erzeugte Pflanzen, z. B. solche mit punktförmigen Erbgutveränderungen, vom Geltungsbereich der Gentechnik-Bestimmungen ausgenommen werden. Eine weitere Handlungsoption wäre ein Paradigmenwechsel von der bestehenden teilweise prozessorientierten hin zu einer rein produktorientierten Regulierung, die sich nur auf die Beurteilung der neuen Eigenschaften einer Pflanze abstützt, unabhängig vom Züchtungsverfahren. Dieses Vorgehen wäre aus wissenschaftlicher Sicht angezeigt. Nach Ansicht der Akademien liesse sich so eine Regulierung schaffen, die mit den rasanten technologischen Entwicklungen in der Pflanzenzüchtung mithalten kann und ohne Verzicht auf den Schutz von Mensch, Tier und Umwelt die Nutzung der Vorteile der neuen Technologien ermöglichen würde.

**Quellen:** Akademien der Wissenschaften Schweiz (2016): [Neue Pflanzenzüchtungstechniken für die Schweizer Landwirtschaft – grosses Potenzial, offene Zukunft \(PDF\)](#). Swiss Academies Factsheets 11 (4); [Neue Pflanzenzüchtungstechniken: Regulierung heutigem Kenntnisstand anpassen](#), Medienmitteilung Akademie der Naturwissenschaften Schweiz SCNAT, 18.08.2016

## Kontakt und Impressum



POINT erscheint monatlich in elektronischer Form ([Archiv](#) der vorherigen Ausgaben). Der Newsletter fasst aktuelle Meldungen aus Forschung und Anwendung rund um die grüne Biotechnologie zusammen. Für ein kostenloses Abonnement können Sie sich per [e-mail](#) an – und abmelden. Wir freuen uns auf Ihre Fragen und Anregungen!

Text und Redaktion: [Jan Lucht](#)

scienceindustries, Postfach, CH-8021 Zürich

Telefon: 044 368 17 63

e-mail: [jan.lucht@scienceindustries.ch](mailto:jan.lucht@scienceindustries.ch)

*Eine Initiative von*

**scienceINDUSTRIES**  
S W I T Z E R L A N D