

# Neue Technologien in der Pflanzenforschung – eine Alternative zu Pflanzenschutzmitteln?

Tagungsband zur Fachtagung Dialog Grün

**Conference Proceedings**

**Publication date:**

2018-04-17

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000258288>

**Rights / license:**

[Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](#)



Universität  
Zürich <sup>UZH</sup>

**ETH** zürich



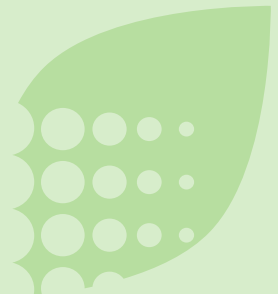
Universität  
Basel

Zurich-Basel Plant Science Center

## Fachtagung Dialog Grün 8. Juni 2016, ETH Zürich



Neue Technologien in der  
Pflanzenforschung –  
eine Alternative zu  
Pflanzenschutzmitteln?



Titelfoto

© Caixia Gao. Chinesischen Wissenschaftlern ist es mit Hilfe der CRISPR/Cas Technologie gelungen, eine gegen Mehltau resistente Weizensorte (rechts im Bild) zu züchten.

Referenz: WANG Y., CHENG X., SHAN Q., ZHANG Y., LIU J., GAO C., QIU J.L. (2014): Simultaneous editing of three homoeoalleles in hexaploid bread wheat confers heritable resistance to powdery mildew.

*Nature Biotechnology*, 32: 947–951.

# **Neue Technologien in der Pflanzenforschung – eine Alternative zu Pflanzenschutzmitteln?**

**Herausgegeben von:  
Manuela Dahinden  
Jörg Romeis  
Liselotte Selter  
Gerd Folkers**

**Fachtagung Dialog Grün  
des Zurich-Basel Plant Science Center und  
Collegium Helveticum  
8. Juni 2016, ETH Zürich**

Manuela Dahinden, Jörg Romeis, Liselotte Selter, Gerd Folkers (2018):  
Neue Technologien in der Pflanzenforschung – eine Alternative zu  
Pflanzenschutzmitteln? Zurich-Basel Plant Science Center, Zürich.  
ISBN: 978-3-906327-61-7

# Inhaltsverzeichnis

<b>Editorial .....</b>	<b>2</b>
------------------------	----------

Eva Reinhard

<b>10 Jahre Millennium Ecosystem Assessment Report: Der Pflanzenschutz bleibt eine Herausforderung .....</b>	<b>4</b>
--	----------

## **SESSION I:**

### **NEUE TECHNOLOGIEN UND ANSÄTZE – PFLANZEN DIE SICH SELBER VOR KRANKHEITEN SCHÜTZEN**

Patrick Schweizer

<b>Wirtsinduziertes Gen-silencing: Resultat menschlichen Genies oder Mitfahrgelegenheit eines natürlichen Phänomens? .....</b>	<b>20</b>
--	-----------

Klaus Schläppi

<b>Das Pflanzenmikrobiom nutzbar machen .....</b>	<b>26</b>
---	-----------

Markus Hardegger

<b>Mikro- und Nanotechnologien im Pflanzenschutz .....</b>	<b>32</b>
--	-----------

Michael Thieme

<b>Der mobile Teil des Pflanzengenoms als Ressource für den zukünftigen Pflanzenschutz .....</b>	<b>36</b>
--	-----------

## **SESSION II:**

### **GENOM-EDITIERUNG – DAS POTENTIAL VON CRISPR/CAS9**

Johannes Fütterer

<b>Anwendungen neuer Techniken zur gezielten Genomveränderung bei Pflanzen .....</b>	<b>42</b>
--	-----------

Joachim Schiemann

<b>Ruhe vor dem Sturm: Wie werden die neuen Technologien reguliert? .....</b>	<b>48</b>
---	-----------

**SESSION III:**

**WIE LÄSST SICH DIE GESELLSCHAFTLICHE AKZEPTANZ FÜR NEUE TECHNOLOGIEN ERHÖHEN?**

Georg Simonis

**Anwendungsmöglichkeiten partizipativer Technologieabschätzung in der Politikberatung ..... 56**

Armin Grunwald

**Transformative Wissenschaft und das Konzept der Technikzukünfte ..... 76**

Liselotte Selter & Manuela Dahinden

**Zusammenfassung der Podiumsdiskussion ..... 82**

Manuela Dahinden & Melanie Paschke

**Reflexion:**

**Wie kann gesellschaftliche Akzeptanz für neue Technologien entstehen? .....91**

# Liste der geladenen Expertinnen und Experten

## Referierende

Dr. **Eva Reinhard**, Vizedirektorin Eidgenössisches Departement für Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF, Bundesamt für Landwirtschaft BLW, Direktionsbereich landwirtschaftliche Produktionsmittel

Dr. **Patrick Schweizer**, Leiter der Forschungsgruppe Pathogenstress-Genomik am Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung IPK, Deutschland

Dr. **Klaus Schläppi**, Teamleiter Rhizosphärenökologie, Agroscope Institut für Nachhaltigkeitswissenschaften, Gruppe Pflanzen-Boden-Interaktionen

Dr. **Markus Hardegger**, Leiter Fachbereich Genetische Ressourcen und Technologien, Bundesamt für Landwirtschaft BLW

**Michael Thieme**, Doktorand am Departement Umweltwissenschaften, Universität Basel

Dr. **Johannes Fütterer**, Departement Biologie, ETH Zürich

Prof. **Joachim Schiemann**, Direktor des Instituts für die Sicherheit biotechnologischer Verfahren bei Pflanzen am Julius-Kühn Institut, Deutschland

Prof. **Georg Simonis**, Fakultät für Kultur und Sozialwissenschaften, FernUniversität Hagen, Deutschland

Prof. **Armin Grunwald**, Leiter des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse ITAS, Leiter des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag TAB, Deutschland



## Podiumsgäste

Dr. **Isabel Hunger-Glaser**, Geschäftsführerin Eidg. Fachkommission für Biologische Sicherheit EFBS

Dr. **Sergio Bellucci**, Geschäftsleiter Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung TA-SWISS

Dr. **Jörg Romeis**, Forschungsgruppenleiter für Biosicherheit am Agroscope im Reckenholz

**David Brugger**, Leiter Geschäftsbereich Pflanzenbau, Schweizer Bauernverband SVB

**Michel Rudin**, Gesellschafts- und Konsumexperte

## Moderation

**Matthias Holenstein**, Stiftung Risiko-Dialog

## Organisation

Dr. **Manuela Dahinden**, Geschäftsführerin, Zurich-Basel Plant Science Center

Dr. **Jörg Romeis**, Forschungsgruppenleiter, Agroscope im Reckenholz

Prof. **Gerd Folkers**, ehemaliger Direktor des Collegium Helveticum

Dr. **Jan Lucht**, scienceindustries

Dr. **Liselotte Selter**, Zurich-Basel Plant Science Center

## Präsentationen

Alle Präsentationen sind auf der Webseite des Zurich-Basel Plant Science Center abrufbar.

► [www.plantsciences.uzh.ch/de/outreach/fachtagung.html](http://www.plantsciences.uzh.ch/de/outreach/fachtagung.html)

# Abkürzungsverzeichnis

<b>acatec</b>	Deutsche Akademie der Technikwissenschaften
<b>ART</b>	Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon
<b>BAFU</b>	Bundesamt für Umwelt
<b>BLW</b>	Bundesamt für Landwirtschaft
<b>Cas9</b>	Endonuklease
<b>CRISPR</b>	Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats
<b>DNA</b>	Desoxyribonukleinsäure
<b>dsRNA</b>	Double stranded RNA
<b>EC</b>	European Commission
<b>EFBS</b>	Eidgenössische Fachkommission für biologische Sicherheit
<b>EFSA</b>	Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit
<b>EU</b>	Europäische Union
<b>FiBL</b>	Forschungsinstitut für biologischen Landbau
<b>GenTG</b>	Gesetz zur Regelung der Gentechnik
<b>GVP</b>	Gentechnisch Veränderte Pflanzen
<b>GVO</b>	Gentechnisch Veränderte Organismen
<b>HIGS</b>	Host-induced gene silencing
<b>HR</b>	Homologe Rekombination
<b>miRNA</b>	Micro RNA
<b>MEA</b>	Millenium Ecosystem Assessment
<b>NHEJ</b>	Nonhomologous End Joining
<b>PSM</b>	Pflanzenschutzmittel
<b>ODM</b>	Oligonukleotid-gesteuerte Mutagenese
<b>OECD</b>	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
<b>REACH</b>	EU-Chemikalienverordnung
<b>RNA</b>	Ribonukleinsäure
<b>RNAi</b>	RNA-Interferenz
<b>SNPs</b>	Single Nucleotide Polymorphismus
<b>siRNA</b>	Small interference RNA
<b>TA</b>	Technologiefolgen-Abschätzung
<b>TEs</b>	Transposons
<b>TTIP</b>	Transatlantische Freihandelsabkommen
<b>WBF</b>	Eidgenössisches Departement für Wirtschaft, Bildung und Forschung
<b>ZFN</b>	Zinkfinger-Nukleasen
<b>Zn</b>	Zink

### **Danksagung**

Die Fachtagung wurde ermöglicht durch die finanzielle Unterstützung von:

OPO Stiftung

Scienceindustries

Bundesamt für Landwirtschaft

Kanton Zürich / Baudirektion / Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft

Syngenta Crop Protection AG

## Editorial

Die Fachtagung war die Siebente in einer wissenschaftlichen Veranstaltungsreihe die alle zwei Jahre vom Zurich-Basel Plant Science Center in Zusammenarbeit mit dem Collegium Helveticum organisiert wird. Das Ziel dieser Fachtagungen ist es, mit einem breiten Publikum die Chancen und Risiken neuer Technologien aus der Pflanzenforschung zu diskutieren. Die Referenten werden gebeten Forschungsergebnisse leicht verständlich zu präsentieren und in einen gesellschaftspolitischen Kontext (Nutzbarkeit) zu stellen. Auf der abschliessenden Podiumsdiskussion werden rechtliche, ethische und gesellschaftliche Fragen mit Vertretern aus Bundesämtern, kantonaler Verwaltung, Politik, Wirtschaft und Bürgerforen diskutiert.

12

Während bei den bisherigen Fachtagungen die Sichtbarkeit, Akzeptanz und Regulation der Grünen Gentechnik im Vordergrund standen, hat sich diese Fachtagung Technologien wie der RNA Interferenz, Genom-Editierung, Nanotechnologie und Microbiomics gewidmet. Die Anwendbarkeit dieser Technologien für den Pflanzenschutz wurde diskutiert. Dabei ging es auch um die Frage, ob durch partizipative Technologiefolgeabschätzung die Akzeptanz für neue Technologien in der Gesellschaft erhöht werden kann.

In dem folgenden Tagungsband wurden die Diskussionen und Empfehlungen festgehalten und ein Handlungsbedarf formuliert. Damit möchten wir einen Beitrag zur Technologiefolgeabschätzung und politischen Entscheidungsfindung in der Schweiz leisten.

Die Tagungsbände der vergangenen Fachtagungen sind erhältlich auf:

► [www.plantsciences.uzh.ch/de/outreach/fachtagung/fachtagungarchiv.html](http://www.plantsciences.uzh.ch/de/outreach/fachtagung/fachtagungarchiv.html)

# Organisatoren

## Zurich-Basel Plant Science Center

13 Das Zurich-Basel Plant Science Center ist ein Kompetenzzentrum für Pflanzenwissenschaften an den Universitäten Zürich und Basel sowie der ETH Zürich. Es besteht seit 1998 und umfasst 32 Forschungsgruppen mit rund 600 Mitarbeitenden. Die vielfältige Forschung innerhalb des Zentrums bildet das Fundament für Lehre und Zusammenarbeit. Seit 2010 bietet das Zurich-Basel Plant Science Center ein spezialisiertes Doktorandenprogramm in «Sciences and Policy» an. Mehr als 50 Doktoranden erhalten neben ihrer Forschungsarbeit einen vertieften Einblick in die Politik- und Verbandsarbeit und werden so auf ihre Rolle als Vermittler wissenschaftlicher Ergebnisse an die Öffentlichkeit vorbereitet.

Den Mitgliedern des Zurich-Basel Plant Science Center ist der wissenschaftliche Austausch und Technologietransfer ein wichtiges Anliegen. Zahlreiche Veranstaltungen haben zum Ziel, neuste Forschungsergebnisse zu vermitteln und deren Relevanz, mit Vertretern aus Politik, Wirtschaft, Verwaltung und der interessierten Öffentlichkeit zu diskutieren. Beispiele sind öffentliche Diskussionsrunden wie z. B. die Fachtagungen Dialog Grün, Zukunftsforen, Schulklassenworkshops, Lehrerweiterbildungen sowie Wissenschaftsferienlager.

► [www.plantsciences.ch](http://www.plantsciences.ch)

## Collegium Helveticum

Das gemeinsam von der Universität Zürich und der ETH Zürich getragene Collegium Helveticum schafft als Laboratorium für Transdisziplinarität den Rahmen für die Erarbeitung neuer Perspektiven in projektgebundenen Prozessen des disziplinären Austauschs. Durch die transdisziplinäre Entwicklung von Konzepten und Verfahren wird in der Untersuchung komplexer Fragestellungen über disziplinär etabliertes Wissen hinausgegangen.

► [www.collegium.ethz.ch](http://www.collegium.ethz.ch)

# 10 Jahre Millennium Ecosystem Assessment Report: Der Pflanzenschutz bleibt eine Herausforderung

*Eva Reinhard*

Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln ist eine verbreitete und oft unerlässliche Massnahme, um Ernteerträge zu sichern. Auch der biologische Anbau kommt nicht ohne Pflanzenschutzmittel aus. Immer öfters wird aber die Notwendigkeit ihres Einsatzes kritisch hinterfragt. Die Begriffe «Pflanzenschutzmittel» und insbesondere «Pestizide» sind negativ besetzt. Bereits der Nachweis geringster Spuren solcher Chemikalien in der Umwelt und auf Lebensmitteln wird als Risiko empfunden, vor dem man geschützt werden möchte.

Pflanzenschutzmittel müssen biologisch aktiv sein, um gegen Schadorganismen zu wirken, d. h. sie müssen in Lebensvorgänge eingreifen. Sind sie also in zu hohen Konzentrationen zur falschen Zeit am falschen Ort, können sie sich negativ auf Nichtzielorganismen wie Insekten, die Lebensvorgänge in der Umwelt allgemein oder die menschliche Gesundheit auswirken. Um das Risiko solcher unerwünschten Nebenwirkungen auf ein Minimum einzuschränken, hat der Staat ein aufwändiges Zulassungsverfahren etabliert. Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln wird an strenge Bedingungen geknüpft und bereits bestehende Bewilligungen werden regelmässig anhand neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse und Erfahrungen aus der Praxis überprüft. Der Risikobeurteilung nachgeschaltet ist das Risikomanagement. Dieses berücksichtigt auch gesellschaftliche Anliegen und zieht diese in die Abwägung verschiedener Aspekte wie der Wirksamkeit, des Nutzens und der möglichen Risiken mit ein.

Trotz der bestehenden, hohen Regulierungsdichte im Bereich der Pflanzenschutzmittelzulassung und -anwendung wird der Staat weiter mit Forderungen nach einschneidenden Risikoreduktionsmassnahmen oder gar dem vollständigen Verzicht auf Pflanzenschutzmittel konfrontiert. Unausweichlich entstehen dabei Zielkonflikte. Die Gesellschaft erwartet vom Staat nicht nur eine Produktion ohne Pflanzenschutzmitteleinsatz, sondern gleichzeitig auch den Zugang zu genügend und preiswerten Nahrungsmitteln von hoher Qualität (auch optisch). Wird auf eine kritische Auseinandersetzung mit dem Thema «Nachhaltigkeit» verzichtet, z. B.

durch die Rückweisung rationaler Argumente, kann dieses Spannungsfeld zu negativen Auswirkungen führen. Es droht die Gefahr, dass die Landwirtschaft ohne anerkannte wissenschaftliche Evidenz in der Wahl ihrer Produktionsmethoden und -mittel eingeschränkt wird und somit eine wichtige Grundlage für ihre Multifunktionalität einbüsst. Andererseits kann der öffentliche Druck auch als Katalysator für Innovationen im Dienste der ökologischen, aber auch ökonomischen und sozialen Dimension der Nachhaltigkeit wirken.

15 Wie aber lässt sich die Multifunktionalität bzw. Nachhaltigkeit der landwirtschaftlichen Produktion beschreiben, so dass daraus – durch kritische, rationale Auseinandersetzung – der nötige und geeignete Handlungsbedarf abgeleitet werden kann? Eine wertvolle Grundlage dafür bietet das Konzept der Ökosystemdienstleistungen (ecosystem services), das mit dem Erscheinen des Millennium Ecosystem Assessment im Jahre 2005 einer breiten Öffentlichkeit bekannt gemacht wurde (MEA, 2005). Es beschreibt die Bedeutung der Ökosysteme anhand derer Eigenschaften und Funktionen und den daraus resultierenden Leistungen, die dem menschlichen Wohlergehen dienen. Der Bericht der Vereinten Nationen vergegenwärtigt den Druck auf die Funktionen und Leistungen unserer Ökosysteme in Folge von Umweltverschmutzung oder einer nicht an das natürliche Potential angepassten Nutzung. Basierend auf dem Konzept der Ökosystemdienstleistungen wurden weitere Konzepte und Modelle entwickelt, welche helfen, die Systemgrenze der multifunktionalen Landwirtschaft zu beschreiben und das darin enthaltene Wissen zu strukturieren. So lassen sich aus den komplexen Ursache-Wirkungszusammenhängen die für die Nachhaltigkeit relevanten Schlüsselfaktoren identifizieren. Über die gezielte Steuerung solcher Schlüsselfaktoren sollte die Nachhaltigkeit der Landwirtschaft einfacher und effektiver gewährleistet werden können – im Dienste der Gesellschaft.

Im Bereich des Pflanzenschutzes erhofft man sich viel von Innovation und neuen Technologien. Gewünscht wird, die Schadorganismendichte mit einer breiten Palette von präventiven Schutzmassnahmen zu verringern, so dass erst als letzte Alternative auf chemische Pflanzenschutzmittel in der nötigen Menge und zum optimalen Zeitpunkt zugegriffen werden muss. Dies entspricht dem Prinzip des integrierten Pflanzenschutzes. Wird das Zusammenspiel verschiedener Lebensvorgänge im Agrarökosystem verstanden, können die landwirtschaftlichen Produktionsweisen nachhaltig verändert werden. Es können Möglichkeiten zur Mitigation oder Adaptation an externe Treiber wie z. B. den Klimawandel und zur Anpassung der Produktionsintensitäten an bestimmte Standorte ausgearbeitet, aber auch die Anforderungen von Konsumenten und Gesellschaft besser berück-

sichtigt werden. Um dieses Ziel zu erreichen, bedarf es allerdings auf allen Ebenen noch viel innovativer, vorausschauender Arbeit sowie einen konstanten Dialog zwischen Vertretern der Landwirtschaft, Forschung, Öffentlichkeit und der Politik.

#### LITERATUR

Millenium Ecosystem Assessment MEA (2005): Ecosystems and human well-being: synthesis. Washington, DC: *Island Press*.





## **Session I**

# **Neue Technologien und Ansätze – Pflanzen die sich selber vor Krankheiten schützen**



# Wirtsinduziertes Gen-silencing: Resultat menschlichen Genies oder Mitfahrgelegenheit eines natürlichen Phänomens?

*Patrick Schweizer*

Chemischer Pflanzenschutz gegen Krankheiten, Unkräuter und Schädlinge ist aus der modernen Landwirtschaft nicht mehr wegzudenken. Im Falle von Krankheiten, die von filamentösen Krankheitserregern der Oomyceten und Pilze verursacht werden, spielen Fungizide eine bedeutende Rolle (Leadbeater, 2015). Dies hat sich exemplarisch im Anbaujahr 2016 in der Schweiz gezeigt. Der Verzicht auf Fungizide hatte einen massivem Infektionsdruck durch Schadpilze zur Folge und führte zu schweren Ertrags- und Qualitätseinbußen im Weizenanbau (Schueler, 2016). Zwei Herausforderungen begrenzen jedoch die Wirksamkeit von Fungiziden in Europa: Die sich ausbreitenden Resistenzen der Organismen gegen Fungizide und der in der Richtlinie 2009/128/EG des europäischen Parlaments und des Rates zusammengefasste politische Wille, den Einsatz von synthetischen Pflanzenschutzmitteln zu reduzieren. Diese Richtlinie wurde in verschiedenen Ländern inzwischen in nationale Aktionspläne umgesetzt, mit zeitlichen Zielvorgaben.

Als Alternative zum chemischen Pflanzenschutz ist die Erhöhung von Krankheitsresistenzen von herausragender Bedeutung. Die Verbesserung der Resistenzeigenschaften kann sowohl über die herkömmliche, merkmalsbasierte Züchtung, über die genom-basierte Züchtung, als auch über Gentechnik erreicht werden. Dabei nutzen die Züchter und Biotechnologen eine vielfältige Palette von Abwehr- und Resistenzmechanismen, welche die Pflanzen über Millionen von Jahren der Ko-Evolution mit Schadorganismen entwickelt haben, um deren Angriffe abzuwehren und die Schädwirkungen auf ein für die jeweilige Art tolerierbares Mass zu begrenzen (Boller and He, 2009). Einige dieser Abwehrprodukte spielen in der Kulturgeschichte der Menschheit eine überragende Rolle, wie zum Beispiel das insektenabwehrende Alkaloid Nikotin, welches in der kultivierten Tabakpflanze und in verwandten Wildarten der Familie der Nachtschattengewächse gelagert wird. Weitere prominente Beispiele sind das Pilzgift Resveratrol der Weinrebe und weiterer Pflanzen, welches eine vielfältige gesundheitsfördernde Wirkung auf den Menschen zu haben scheint oder das pflanzliche Stress- und Abwehrhormon Salicylsäure, welches als glycosyliertes

Derivat aus der Rinde von Weiden (*Salix sp.*) gewonnen wird und eine Historie als Heilmittel hat. Es ist als Wirkstoff des Aspirins in praktisch jeder Hausapotheke zu finden ist (Métraux et al., 1990). Weniger bekannt sind proteinartige Abwehr- und Resistenzfaktoren der Pflanzen, und praktisch unbekannt sind Ribonukleinsäure (RNA) Moleküle mit Abwehrfunktion. Diese wurden vor rund 20 Jahren als aktives Prinzip der Homologie-basierten pflanzlichen Virusresistenz entdeckt. Entsprechende transgene Sorten von Papaya und Kartoffel erreichten den Markt (Collinge et al., 2010). Die Entdeckung der kleinen interferierenden RNAs (engl. siRNAs) und der micro RNAs (miRNAs) als Schlüsselmoleküle des eukaryontischen *Gen-silencing*, mit dem sowohl mobile genetische Elemente (Transposons) kontrolliert als auch Gene reguliert werden, löste einen Forschungsboom insbesondere in der medizinischen Forschung aus, wo man vielfältige therapeutische Anwendungsmöglichkeiten sieht. In den Pflanzen wurde schnell klar, dass siRNAs das aktive Prinzip der sogenannten Sequenzhomologie-basierten Virusresistenz darstellen (Soosaar et al., 2005).

21

### Wirtsinduziertes Gen-silencing

Erst seit relativ kurzer Zeit ist bekannt, dass *silencing* RNAs – seien es nun längere doppelsträngige RNAs oder daraus hervorgehende kurze siRNAs von meist 21 Basenlänge – Pflanzen nicht nur gegen Viren sondern auch gegen Insekten, Nematoden (Fadenwürmer) und gegen die filamentösen Krankheitserreger der Oomyceten und Pilze schützen können (Baulcombe, 2015; Weiberg & Jin, 2015). Eine entsprechende Verbesserung der Resistenz gegen diese Erreger wurde in transgenen Pflanzen oder mittels *virusinduziertem Gen-silencing* (engl. VIGS) erreicht. Den so geschützten Pflanzen ist gemeinsam, dass sie *silencing* RNAs enthalten, welche kein Zielgen des Wirtes sondern die des Erregers angreifen und die entsprechende Boten-RNA abbauen. Das Phänomen wird meist als «pflanzenvermittelte RNAi» oder *wirtsinduziertes Gen-silencing* (engl. HIGS) bezeichnet. Im Fall kauender Insekten und Zellsaft-aufnehmender Wurzelnematoden gelangt die *silencing* RNA in den Magen-Darmtrakt und kann entweder dort oder – nach Resorption – auch anderswo im Körper seine toxische Wirkung entfalten. Für filamentöse Erreger (Pilze und Oomyceten) stellen sich aber noch eine Reihe von grundlegenden Fragen, die den Transport der *silencing* RNA aus der Pflanze und in die Pathogene betreffen. Es erscheint möglich, dass der Export aus den Pflanzenzellen vorwiegend über den exosomal Sekretionsweg erfolgt, die Aufnahme in die Erreger hingegen durch Endozytose bewirkt wird. All dies nimmt allerdings nicht weg, dass die Existenz von HIGS gegen

filamentöse Krankheitserreger inzwischen an einer hinreichend grossen Anzahl an Wirts-Pathogeninteraktionen dokumentiert ist (Koch et al., 2013; Panwar et al., 2013; Pliego et al., 2013; Govindarajulu et al., 2015; Sanju et al., 2015; Andrade et al., 2016; Zhang et al., 2016). Im Folgenden konzentriere ich mich auf HIGS gegen pilzliche Erreger, welche global gesehen die verbreitetste und mit den massivsten Ertragseinbussen einhergehende Pathogengruppe darstellt.

### HIGS durch Transgene

Die Entdeckung von HIGS gegen den Getreidemehltaupilz *Blumeria graminis* basiert auf einer Zufallsbeobachtung im Verlauf eines RNAi Screenings für pflanzliche Abwehrgene: Es stellte sich heraus, dass eines der RNAi Konstrukte mit deutlich resistenzinduzierender Wirkung nicht wie erwartet gegen ein Wirtsgen der Gerste sondern gegen ein Mehltau-Gen gerichtet war, welches irrtümlicherweise nicht aus dem Gensatz des Screens herausgefiltert wurde. Weitere Zielgene des Mehltaupilzes mit einer resistenzfördernden Wirkung bei HIGS bestätigten die erste Beobachtung (Nowara et al., 2010). Dieser und ein Bericht über HIGS gegen *Fusarium verticillioides* (Tinoco et al., 2010), initiierten eine Reihe weiterer Untersuchungen zu HIGS gegen phytopathogene Pilze (s. obenstehende Zitate). Die Stärke des mittels HIGS erreichten Schutzes variierte dabei von partiell bis praktisch vollständig, was darauf hindeutet, dass HIGS – wie RNAi gegen Organismuseigene Gene – ein quantitatives Phänomen ist und die Auswahl der jeweiligen Zielgene sorgfältig erfolgen muss. Sinnvolle Kriterien dafür dürften sein: (1) Kodiert das Zielgen für ein Fungizidtarget? (2) Ist es ein Einzelkopien-Gen ohne genetische Redundanz? (3) Existieren Daten zu letalen oder nicht-pathogenen Mutanten des Zielgens im fraglichen Pathogen? (4) Ist das Zielgen als besonders wichtig für bestimmte Signalketten oder Stoffwechselwege bekannt? Letztendlich werden aber immer Pilotstudien darüber entscheiden müssen, ob ein HIGS Zielgen vielversprechend ist oder nicht.

22

### Der HIGS Mechanismus

Der HIGS zugrundeliegende Mechanismus ist noch sehr unvollständig erforscht. So ist unklar, ob die aktiv transportierten Komponenten lange, doppelsträngig RNAs oder kurze, prozessierte siRNAs oder miRNAs sind. Das aufsehenerregende Beispiel von HIGS in transplastomischen Kartoffelpflanzen, welche die gebildeten transgene dsRNA nicht prozessieren, deutet aber darauf hin, dass zumindest gegen Insekten lange dsRNA sehr effizient wirkt (Zhang et al., 2015). Als Transportweg der HIGS Moleküle kommt die gezielte Sekretion

am Ort des versuchten Pathogenangriffs in Frage, wo sich u. a. auch exosomale Partikel in der Zellwand anhäufen (Meyer et al., 2009). Diese Organellen wurden in verschiedenen menschlichen Zelltypen als Vehikel für RNA inklusive siRNA beschrieben (Lee et al., 2012; Wahlgren et al., 2012) und könnten sich evolutionär von einem archaischen Pathogenabwehrmechanismus ableiten, der in Pflanzen erhalten blieb (Abb. 1). Pathogene könnten dann diese exosomalen Partikel entweder via Endocytose oder mittels RNA-Membrantransport nach Lyse der Partikel aufnehmen.

23

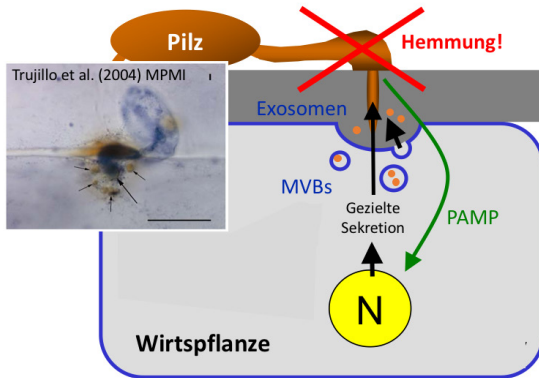


Abb. 1: Transport von *silencing* RNA von der Wirtspflanze in das Pathogen

### HIGS – ein natürliches Phänomen?

Bis jetzt wurde HIGS als biotechnologische Methode dargestellt. Natürlich stellt sich die Frage, ob wir als Biotechnologen einmal mehr die Natur kopieren, welche HIGS möglicherweise seit Jahrmillionen im ko-evolutionären Wettrüsten zwischen Pflanzen und Pathogenen einsetzt. Erste Hinweise auf einen Austausch von natürlichen *silencing* RNAs zwischen filamentösen Pathogenen und Pflanzen stammen aus Experimenten, in denen gezeigt wurde, dass erstere sowohl *silencing* Suppressoren als auch FIGS (*Fungus-induced gene silencing*) RNAs gegen pflanzliche Zielgene der Abwehr sekretieren (Weiberg et al., 2013; Qiao et al., 2015). Diese Berichte legen nahe, dass Pathogene ähnlich wie Viren die pflanzliche RNAi Maschinerie manipulieren, und dass *silencing* RNAs in beide Richtungen der Interaktion ausgetauscht werden können. Eine wichtige offene Frage ist momentan, ob es natürliche pflanzliche *silencing* RNAs gibt, die entweder präformiert vorliegen oder während

eines Befalls akkumulieren. Erste Ergebnisse aus der Sequenzierung von Bibliotheken kleiner RNAs der Weizen-*Fusarium* Interaktion deuten darauf hin, dass solche Moleküle im Pflanzengenom kodiert werden, bei Befall akkumulieren und potenziell essenzielle Zielgene im Pilz attackieren (K. Slominska und P. Schweizer, unpubliziert).

## Ausblick

HIGS gegen filamentöse Pathogene und weitere Schadorganismen bietet eine biotechnologische Option von hohem Anwendungspotenzial. Stärken sind: (1) das erwartete Fehlen von Nebeneffekten (*non-target silencing*) in transgenen Pflanzen und in (symbiontischen) nicht-Zielorganismen infolge der Sequenzspezifität des HIGS Effektes – eine sorgfältige Auswahl der Zielgene vorausgesetzt; (2) die Tatsache, dass es für HIGS-Zielorganismen extrem schwierig sein dürfte, Resistenzen aufzubauen, da Punktmutationen der Zielgene den HIGS Effekt erwartungsgemäss nur marginal reduzieren. Eine Mutation der *silencing* Maschinerie dürfte wiederum die Fitness der Zielorganismen stark kompromittieren und im praktischen Anbau ein Problem darstellen. Multiple Resistenzen durch Multi-Zielgen-Konstrukte sind ebenfalls eine attraktive Option.

Unter der Annahme, dass HIGS als ein natürliches Phänomen angesehen wird, eröffnen sich weitere Möglichkeiten für die Pflanzenzüchtung. Das Auffinden der Gen-Loci und der Gene, welche das Merkmal am stärksten positiv beeinflussen, wären denn ein prioritär zu bearbeitendes Forschungsfeld, gefolgt von der Suche nach wertvollen Allelen in pflanzen genetischen Ressourcen und deren gezielte Einkreuzung.

24

## LITERATUR

- ANDRADE C. M., TINOCO M. L. P., RIETH A. F., MAIA F. C. O., ARAGAO F. J. L. (2016): Host-induced gene silencing in the necrotrophic fungal pathogen *Sclerotinia sclerotiorum*. *Plant Pathology*, 65: 626–632.
- BAULCOMBE D. C. (2015): VIGS, HIGS and FIGS: small RNA silencing in the interactions of viruses or filamentous organisms with their plant hosts. *Current Opinion in Plant Biology*, 26: 141–146.
- BOLLER T., HE S. Y. (2009): Innate Immunity in Plants: an arms race between pattern recognition receptors in plants and effectors in microbial pathogens. *Science*, 324: 742–744.
- COLLINGE D. B., JORGENSEN H. J. L., LUND O. S., LYNGKJAER M. F. (2010): Engineering pathogen resistance in crop plants: current trends and future prospects. In N. K. VanAlfen, G. Bruening, J. E. Leach, eds, *Annual Review of Phytopathology*, 48: 269–291.
- GOVINDARAJULU M., EPSTEIN L., WROBLEWSKI T., MICHELMORE R. W. (2015): Host-induced gene silencing inhibits the biotrophic pathogen causing downy mildew of lettuce. *Plant Biotechnology Journal*, 13(7): 875–83.



- KOCH A., KUMAR N., WEBER L., KELLER H., IMANI J., KOGEL K.-H. (2013): Host-induced gene silencing of cytochrome P450 lanosterol C14 alpha-demethylase-encoding genes confers strong resistance to *Fusarium* species. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110: 19324–19329.
- LEADBEATER A. (2015): Recent developments and challenges in chemical disease control. *Plant Protection Science*, 51: 163–169.
- LEE Y., EL ANDALOUSSI S., WOOD M. J. A. (2012): Exosomes and microvesicles: extracellular vesicles for genetic information transfer and gene therapy. *Human Molecular Genetics*, 21: R125–R134.
- MÉTRAUX J. P., SIGNER H., RYALS J., WARD E., WYSS BENZ M., GAUDIN J., RASCHDORF K., SCHMID E., BLUM W., INVERARDI B. (1990): Increase in salicylic acid at the onset of systemic acquired resistance in cucumber. *Science*, 250: 1004–1006.
- MEYER D., PAJONK S., MICALI C., O'CONNELL R., SCHULZE-LEFERT P. (2009): Extracellular transport and integration of plant secretory proteins into pathogen-induced cell wall compartments. *Plant Journal*, 57: 986–999.
- NOWARA D., GAY A., LACOMME C., SHAW J., RIDOUT C., DOUCHKOV D., HENSEL G., KUMLEHN J., SCHWEIZER P. (2010): HIGs: Host-induced gene silencing in the obligate biotrophic fungal pathogen *Blumeria graminis*. *Plant Cell*, 22: 3130–3141.
- PANWAR V., MCCALLUM B., BAKKEREN G. (2013): Host-induced gene silencing of wheat leaf rust fungus *Puccinia triticina* pathogenicity genes mediated by the *Barley stripe mosaic virus*. *Plant Molecular Biology*, 81: 595–608.
- PLIEGO C., NOWARA D., BONCIANI G., GHEORGHE D.M., XU R., SURANA P., WHIGHAM E., NETTLETON D., BOGDANOVA A. J., WISE R., SCHWEIZER P., BINDSCHEDLER L. V., SPANU P. D. (2013): Host-induced gene silencing in barley powdery mildew reveals a class of ribonuclease-like effectors. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 26: 633–642.
- QIAO Y., SHI J., ZHAI Y., HOU Y., MA W. (2015): Phytophthora effector targets a novel component of small RNA pathway in plants to promote infection. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112: 5850–5855.
- SANJU S., SIDDAPPA S., THAKUR A., SHUKLA P. K., SRIVASTAVA N., PATTANAYAK D., SHARMA S., SINGH B. P. (2015): Host-mediated gene silencing of a single effector gene from the potato pathogen *Phytophthora infestans* imparts partial resistance to late blight disease. *Functional & Integrative Genomics*, 15: 697–706.
- SCHUELER A. (2016): Miserable Weizenernte im Kanton Zürich - Wer ist schuld an der Missernte? In *Neue Zürcher Zeitung*, Vol 237, Zürich.
- SOOSAAR J. L. M., BURCH-SMITH T. M., DINESH-KUMAR S. P. (2005): Mechanisms of plant resistance to viruses. *Nature Reviews Microbiology*, 3: 789–798.
- TINOCO M. L. P., DIAS B. B. A., DALL'ASTA R. C., PAMPHILE J. A., ARAGAO F. J. L. (2010): In vivo trans-specific gene silencing in fungal cells by in planta expression of a double-stranded RNA. *BMC Biology*, 31, 8: 27. DOI: 10.1186/1741-7007-8-27.
- WAHLGREN J., KARLSON T. D., BRISLERT M., SANI F. V., TELEMO E., SUNNERHAGEN P., VALADI H. (2012): Plasma exosomes can deliver exogenous short interfering RNA to monocytes and lymphocytes. *Nucleic Acids Research*, 1, 40 (17). DOI: 10.1093/nar/gks463.
- WEIBERG A., JIN H. (2015): Small RNAs – the secret agents in the plant-pathogen interactions. *Current Opinion in Plant Biology*, 26: 87–94.
- WEIBERG A., WANG M., LIN F. M., ZHAO H. W., ZHANG Z. H., KALOSHIAN I., HUANG H. D., JIN H. L. (2013): Fungal small RNAs suppress plant immunity by hijacking host RNA interference pathways. *Science*, 342: 118–123.
- ZHANG J., KHAN S. A., HASSE C., RUF S., HECKEL D. G., BOCK R. (2015): Full crop protection from an insect pest by expression of long double-stranded RNAs in plastids. *Science*, 347: 991–994.
- ZHANG T., JIN Y., ZHAO J. H., GAO F., ZHOU B. J., FANG Y. Y., GUO H. S. (2016): Host-induced gene silencing of the target gene in fungal cells confers effective resistance to the cotton wilt disease pathogen *Verticillium dahliae*. *Molecular Plant*, 9: 939–942.

# Das Pflanzenmikrobiom nutzbar machen

Klaus Schläppi

Pflanzen werden von einer Vielzahl von Mikroorganismen besiedelt, die sich spezifisch an den Lebensraum von Pflanzen angepasst haben. Pflanzen tragen beispielsweise einige hundert verschiedene Bakterienarten ( $\sim 10^6$ – $10^7$  Bakterienzellen pro  $\text{cm}^2$  Blattoberfläche) auf ihren Blättern und beherbergen auch tausende von unterschiedlichen Bakterienarten ( $\sim 10^6$ – $10^9$  Bakterienzellen pro g Wurzel) an den Wurzeln. Ein Mikrobiom besteht vorwiegend aus Bakterien und Pilzen und beinhaltet zudem weitere ein- und wenigzellige Mikroorganismen, wie Mikroalgen oder Protozoen. Die Mikroorganismen haben sowohl als Individualisten als auch im Kollektiv einen starken Einfluss auf das Pflanzenwachstum. Der Begriff Mikrobiom bezeichnet die komplexe mikrobielle Lebensgemeinschaft und schliesst auch deren funktionellen Eigenschaften mit ein. Es sind die spezifischen Eigenschaften der einzelnen Mikrobiommitglieder, die die Wirtspflanze in der Nährstoffversorgung, dem Abbau von Schadstoffen oder auch bei der Abwehr gegen Schädlinge oder Krankheiten unterstützen. Über die Wirtspflanze hinaus erfüllt das Pflanzenmikrobiom wichtige Funktionen in Ökosystemen, wo es beispielsweise die Regulation der Nährstoffkreisläufe oder die Diversität und Produktivität von Pflanzengemeinschaften beeinflusst (Übersicht zum Pflanzenmikrobiom: Bulgarelli et al., 2013).

26

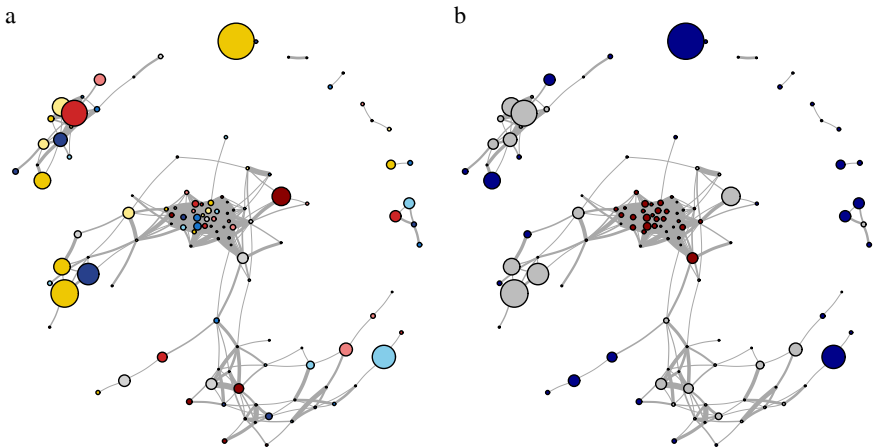
## Wie wird ein Mikrobiom gemessen?

Heute wird ein Mikrobiom meist basierend auf dem Erbgut (der DNA) der mikrobiellen Gemeinschaft und mittels modernster Sequenzieretechnologie einfach und preiswert erfasst (Knief, 2014). Man spricht vom «Sequenzieren», da die Information des Erbguts in der Sequenz - der Abfolge - der DNA enthalten ist. Die Sequenzierung von DNA hat den grossen Vorteil, dass auch Mikroorganismen erfasst werden, die nicht kultiviert werden können. Je nach Art der DNA, die sequenziert wird, lassen sich auch funktionelle Eigenschaften des Mikrobioms erfassen. Die Sequenzieretechnologie hat in jüngster Vergangenheit eine regelrechte Revolution erlebt und man spricht von *Next-generation-* oder *High-throughput sequencing*.

Heute werden in einer Reaktion Millionen von Sequenzen von hunderten von Proben gleichzeitig generiert. Die Sequenzen können den verschiedenen Mikroorganismen zugeordnet werden und erlauben einen Einblick in «Wer ist Wer?». Auch die Häufigkeiten der einzelnen Mikroorganismen im Mikrobiom werden bestimmt (Abb. 1a). Bedeutsamer jedoch ist, dass sich ein Mikrobiom mit der Vielzahl an Information in seiner Gesamtheit abbilden lässt. So werden komplexe Netzwerke von gemeinsam interagierenden Mikroorganismen erfasst. Gewisse Mikroben sind stark miteinander vernetzt und wiederum andere funktionieren im Netzwerk als Individualisten (Abb. 1b).

**Abb. 1: Mikrobiom von Maiswurzeln.** Um das Wurzelmikrobiom von Mais zu erfassen, wurde die DNA der Wurzeln und deren Mikroorganismen isoliert, Teile davon sequenziert und daraus die verschiedenen Mikroorganismen bestimmt. (a) Die unterschiedlichen Mikroorganismen (Punkte) gehören zu verschiedenen taxonomischen Gruppen (verschiedene Farben). Die Grösse des Punktes entspricht der relativen Häufigkeit der einzelnen Mitglieder im Mikrobiom und Linien verbinden positiv interagierende Mikroorganismen. Die Liniendicke entspricht der Korrelationsstärke. (b) Stark, sowie schwach vernetzte Mikroorganismen sind mit rot respektive blau markiert. *Daten von Klaus Schläppi, noch nicht publiziert.*

27



### Nützliche Eigenschaften des Pflanzenmikrobioms

Im Pflanzenmikrobiom steckt ein grosses biologisches Potential, um die Pflanze zu schützen oder im Wachstum zu unterstützen. Die Pflanzenschutz-relevanten Eigenschaften der Mikrobiommitglieder lassen sich nach ihrer Wirkungsweise grob in drei Gruppen einteilen (Lugtenberg und Kamilova, 2009): (1) Die Nützlinge un-

terdrücken das Wachstum von Schädlingen, beispielsweise durch die Synthese von antimikrobiellen Verbindungen und funktionieren somit als direkte Antagonisten von Schädlingen. (2) Alleine das Vorhandensein einer symptomlosen mikrobiellen Gemeinschaft kann das Etablieren von schädlichen Mikroorganismen verhindern. Mechanistisch gesehen wird vermutet, dass diese Nützlinge besser an die ökologische Nische angepasst sind und sich gegen die Schädlinge erfolgreich im Konkurrenzkampf um Nährstoffe behaupten. (3) Bei Kontakt zwischen Pflanze und Mikroorganismen wird eine systemische Resistenz hervorgerufen. Hier tragen die Mikroben zur Immunisierung der Pflanze bei (für mehr Informationen: Pieterse et al., 2014). Die Pflanze ist beispielsweise nach Kontakt mit gewissen Wurzelbakterien in erhöhter Alarmbereitschaft und hat weniger Blattschäden nach Befall mit Viren, Insekten oder Pathogenen.

### Labor vs. Feldversuch

Man kennt heute eine Vielzahl von Mikroorganismen mit Eigenschaften, die im Pflanzenschutz nützlich sein können. Solch nützliche Bakterien- und Pilzarten sind zum Beispiel aus den Gattungen *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Streptomyces* respektive *Trichoderma*, *Ampelomyces* oder *Beauveria* bekannt. Aus einigen dieser Mikroorganismen wurden agronomische Produkte zur biologischen Kontrolle von Schädlingen entwickelt. Oft ist die Wirksamkeit von solchen «biocontrol» Mikroorganismen unter kontrollierten Bedingungen (z. B. im Labor mit sterilisierter Erde) und im direkten 1:1 Kontakt mit dem Schädling am grössten. Hingegen zeigt die Applikation von Mikroorganismen unter Feldbedingungen oft noch nicht die gewünschte Wirkung. Während die nützlichen Eigenschaften von individuellen Mikrobiommitgliedern relativ gut untersucht sind, ist deren Ausprägung im ganzheitlichen Kontext des Mikrobioms noch kaum erforscht. Die Vermutung liegt nahe, dass die nützlichen Eigenschaften der zugegebenen Mikroorganismen durch das Vorhandensein des natürlichen und stabilen Mikrobioms und/oder wegen der komplexen Umweltbedingungen, wie beispielsweise verschiedener Bodentypen und variabler klimatischer Bedingungen, wenig zu tragen kommen.

28

### Das Pflanzenmikrobiom nutzbar machen

Die Grundidee besteht darin, sich der nützlichen Eigenschaften des Pflanzenmikrobioms zu bedienen, um die Pflanze vor Schädlingen zu schützen und sie im Wachstum zu unterstützen (Abb. 2). Mögliche Ansätze bestehen im Zugeben von Mikroorganismen mit nützlichen Eigenschaften oder im Fördern der Nützlinge im Pflanzenmikrobiom (siehe auch: Berg, 2009; Schläppi und Bulgarelli, 2015).

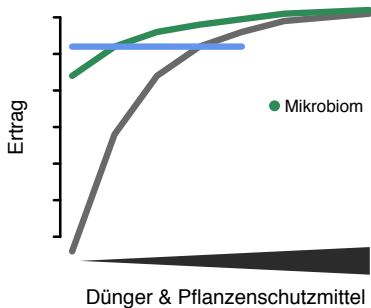
**INOKULATION:** Hier werden gezielt Organismen mit nützlichen Eigenschaften ins Feld gebracht. Wie oben angedeutet, kann das grosse Potential von «biocontrol» Mikroorganismen noch nicht zuverlässig und vorhersehbar genutzt werden. Es ist anzunehmen, dass es eine Rolle spielt, inwiefern der eingebrachte Mikroorganismus oder die zugegeben nützlichen Eigenschaften in das existierende Netzwerk von Mikroorganismen passen. Die Mikrobiomik bietet sich als molekulargenetisches Diagnostiktool an, um eine Inokulation von seltenen oder abundanten oder schwach oder stark vernetzten nützlichen Mikroorganismen gezielt vornehmen zu können. Ein Beispiel: Um die optimale Nährstoffversorgung in seinem Feld sicherzustellen, sendet ein Bauer eine Bodenprobe seines Feldes ins Labor. Basierend auf den Analyseergebnissen passt er die Düngergabe an. Analog zu solch routinemässigen Analysen von geochemischen Bodenparametern, könnte auch das Mikrobiom eines Feldes erfasst werden, um daraus die an das Feld angepassten, vielversprechendsten mikrobiellen Nützlinge für eine gezielte Inokulation zu finden (Schläppi und Bulgarelli, 2015).

**AGRARMANAGEMENT:** Mit dem Anbau von Leguminosen werden gezielt nützliche Eigenschaften von Mikroorganismen ausgenutzt. Leguminosen wie zum Beispiel die Ackerbohne oder der Klee bilden eine Symbiose mit stickstofffixierenden Knöllchenbakterien (Gattung *Rhizobium*) und werden in der Fruchtfolge für eine natürliche Stickstoffanreicherung im Boden benutzt. Analog zu diesem Beispiel gilt es für den Pflanzenschutz die Anbaumethoden zu finden, die für mikrobielle Nützlinge und ihre Eigenschaften förderlich sind. Es ist zur Zeit noch wenig bekannt, wie sich verschiedene Anbaumethoden, wie z. B. der Einsatz von geeigneten Wirtspflanzen, Plug, Herbiziden, Pestiziden, mineralischem Dünger, Gülle, Kompost oder unterschiedliche Fruchtfolgen mit Gründüngungen oder Zwischenfrüchten, auf die Pflanzenschutz-relevanten Eigenschaften des Pflanzenmikrobioms auswirken. Ziel wäre es, ein Agrarmanagement zu entwickeln, welche das Vorhandensein und/oder die Häufigkeit von nützlichen Bakterien oder Pilzen wie *Bacillus* oder *Pseudomonas* respektive *Trichoderma* oder *Beauveria* fördert.

**PFLANZENÜCHTUNG:** Bei diesem Ansatz werden die nützlichen Eigenschaften des Mikrobiom durch die Pflanze gefördert. Pflanzen scheiden durch ihre Wurzeln kontinuierlich einen komplexen Cocktail von chemischen Verbindungen, sogenannte Wurzelexudate, in den umliegenden Boden aus. Mittels Wurzelexudaten nimmt die Pflanze Einfluss auf die Zusammensetzung und Funktion ihres Wurzelmikrobioms. Die genauen Mechanismen, mit welchen die Pflanze die nützlichen Eigenschaften im Mikrobiom fördert, sind noch weitgehend unerforscht. Bis heute ist zum Beispiel kein Pflanzengen gefunden worden, für das in Zuchtprogrammen

selektioniert werden könnte. Ziel wäre es, Pflanzen züchten zu können, die verbessert auf mikrobielle Nützlinge ansprechen oder die ein Mikrobiom mit erhöhten Pflanzenschutzigenschaften aufweisen. Ein Beispiel wären Pflanzensorten, die vermehrt nützliche Antagonisten an ihren Wurzeln beherbergen und deshalb weniger anfällig gegen bodenbürtige Krankheiten sind. Es gilt zu bedenken, dass die heutigen Pflanzensorten unter Bedingungen mit hoher Nährstoffverfügbarkeit und dem Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel selektioniert worden sind. Daher ist es gut möglich, dass alternative Zuchtprogramme unter niedrigerer Nährstoffverfügbarkeit und ohne Einsatz von Pflanzenschutzmitteln nötig sind, um neue Sorten mit nützlichen Mikrobiomeigenschaften zu identifizieren.

Abb. 2: Mikrobiomik für die Nachhaltigkeit



**Graue Linie:** Die Erträge von Pflanzen können durch den Einsatz von Düngern und Pflanzenschutzmitteln gesteigert werden.

**Grüne Linie:** Die Pflanzenenerträge können durch nützliche Eigenschaften des Mikrobioms verbessert werden.

**Blaue Linie:** Die Nutzbarmachung des Pflanzenmikrobioms erlaubt es, die Erträge bei reduziertem Einsatz agrochemischer Produkte aufrecht zu erhalten und verbessert damit die Nachhaltigkeit der Landwirtschaft.

30

### Mikrobiomik für die Nachhaltigkeit

Die hohen Erträge der modernen Landwirtschaft beruhen grösstenteils auf agrochemischen Anbaupraktiken. Viele der agrochemischen Produkte hängen von endlichen Ressourcen oder energieintensiven Herstellungsverfahren ab und verursachen Umweltprobleme wie Kontaminierungen oder Eutrophierung von natürlichen Ökosystemen. Die «Next-generation Agrarwirtschaft» verlangt nach alternativen Strategien, um die Produktivität auch bei vermindertem Einsatz von agrochemischen Produkten hoch zu halten. Die heutigen Pflanzenenerträge können durch agrochemische Intensivierung kaum mehr gesteigert werden, da neben zunehmenden Umweltproblemen auch das Pflanzenwachstum an physiologische Grenzen stösst. Daher sehe ich das Potential der Mikrobiomik weniger im weiteren Steigern der Erträge als im Aufrechterhalten der hohen Erträge bei reduzierter agrochemischer Bewirtschaftung (Abb. 2). In diesem Sinne verspricht die Nutzbarmachung des

# Pflanzenmikrobioms neue Perspektiven für die Optimierung des Pflanzenwachstums und zur Verbesserung der Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft.

## LITERATUR

BERG G. (2009): Plant–microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture. *Appl Microbiol Biotechnol*, 84: 11–18.

BULGARELLI D., SCHLÄPPI K., SPAEPEN S., VER LOREN VAN THEMAAT E., SCHULZE-LEFERT P. (2013): Structure and functions of the bacterial microbiota of plants. *Annu Rev Plant Biol* 64: 807–38.

HU L., ROBERT C.A.M., CADOT S. ZHANG X., YE M LI B., MANZO D., CHERVET N., STEINGER T., VAN DER HEIJDEN M., SCHLAEPPI K., ERB M. (2017): Root exudates determine plant growth and defense by shaping the rhizosphere microbiota. (*under review*).

KNIEF C. (2014): Analysis of plant microbe interactions in the era of next generation sequencing technologies. *Front Plant Sci* 5:216.

LUGTENBERG B., KAMILOVA F. (2009): Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria. *Annu Rev Microbiol*, 63: 541–556.

PIETERSE C. M. J., ZAMIOUDIS C., BERENDSEN R. L., WELLER D. M., VAN WEES S. C. M., BAKKER P. A. H. M. (2014): Induced systemic resistance by beneficial microbes. *Annu Rev Phytopathol*, 52: 347–75.

SCHLÄPPI K., BULGARELLI D. (2015): The plant microbiome at work. *Mol Plant-Microbe Interact*, 28: 212–217.

# Mikro- und Nanotechnologien im Pflanzenschutz

Markus Hardegger

Die Grösse von Nanomaterialien liegt, wie der Name sagt, im Nanobereich, also einem millionstel Millimeter. Diese Grössenordnung entspricht der Grösse von Proteinen und liegt zwischen Molekülen und Mikromaterialien. Mikromaterialien sind umgangssprachlich bekannt als Pigmente, Pulver oder Puder. Die chemischen Eigenschaften von Molekülen sind vielfältig aber allen gemeinsam ist, dass sie in der Natur mittels chemischen Reaktionen verändert werden. Die besonderen Eigenschaften von Nanomaterialien machen die physikalische grosse Oberfläche aus. Diese Oberfläche ist anpassbar durch Beschichtung oder chemische Modifikationen. Durch die Nanostruktur sind die chemischen Reaktionen schneller und effizienter gegenüber der Mikroform.

32

Die Nanotechnologie wird vor allem in den Materialwissenschaften und bei Medikamenten angewandt. Neue Rastertunnelmikroskope ermöglichen die Erforschung der Nanostruktur, insbesondere von Oberflächen. Die Natur (Lotus-Effekt) wurde für die Entwicklung von Nanoanwendungen als Vorbild genommen. Selbstreinigende oder verschleissfeste Oberflächen sind auf dem Markt erhältlich. Die gut bekannten neuen Kohlenstoffnanoröhrchen ermöglichen zum Beispiel die Herstellung von leichten Verbundstoffen für den Verkehr (Velorahmen, Flugzeugteile etc.). Mittels der Nanotechnologie kann auch die Miniaturisierung zur Herstellung von Nanoteilchen (z. B. Sensoren) vorangetrieben werden.

## Anwendung in der Landwirtschaft

In der Landwirtschaft beginnt gerade die Kommerzialisierung als Dünger oder Pflanzenschutzmittel. In der Schweiz wurden bisher noch keine Pflanzenschutzmittel oder Dünger mit Nanomaterialien bewilligt – im Gegensatz zu Frankreich. Gemäss den Informationen des französischen Nanoregisters [www.r-nano.fr](http://www.r-nano.fr) stammen dort die meisten Meldungen (mehr als 10.000 im Jahr 2015) aus dem Bereich Land- und Forstwirtschaft. Die Tatsache, dass in der Schweiz Nanomaterialien noch nicht bewilligt sind, ist sehr wahrscheinlich ein Hinweis auf eine lokale Vertriebsstruktur entsprechender Produkte (beispielsweise durch die Bauerngenossenschaft, Landi, oder Fenaco), im Gegensatz zu einer zentralisierten Vertriebsstruktur wie in Frank-



reich. Die Wirksubstanzen welche dort als Nanomaterialien vertrieben werden, sind Feststoffe oder sehr schwer wasserlösliche Stoffe. In der Regel handelt es sich um Herbizide, Insektizide oder Nährstoffe. Feststoffe und schwer wasserlösliche Stoffe können mittels Suspensionen mit den vorhandenen Feldspritzen ausgebracht werden. Dabei dient das Nanomaterial als Hilfsstoff, um beispielsweise den Wirkstoff kontrolliert freisetzen zu können. Für die Anwendung von Nanomaterialien in der Landwirtschaft sind somit keine Änderungen an der Infrastruktur notwendig. Die gleichmässiger und feinere Verteilung von Nanomaterialien auf Pflanzen und Schädlingen ermöglicht eine Reduktion der Wirkstoffmenge. Den potenziell verbesserten Eigenschaften von Pflanzenschutzmitteln und Düngern mit Nanomaterialien steht bei deren Anwendung ein deutlich erhöhter Eintrag in die Böden gegenüber. Dieser könnte das 1.000-fache der momentan von Experten vorhergesagten Frachten über die Atmosphäre betragen. Entsprechend wären auch die Bodenlebewesen und Nutzpflanzen stärker exponiert (Gogos et al., 2012).

33

Der Aufnahmemechanismus von Partikeln respektive Nanopartikeln in die Zellen ist vielfältig. Die Aufnahme reicht von passiver Diffusion bis zur aktiven Aufnahme mittels Zytose. Die Aufnahme von Nanomaterialien über die Lunge ist für den Menschen am gefährlichsten, weil die Nanomaterialien bis in die kleinsten Lungenbläschen vordringen können. Deshalb haben Hersteller von Nanomaterialien Massnahmen zum Schutz ihrer Arbeiter zu treffen. Das nationale Forschungsprogramm «Chancen und Risiken von Nanomaterialien» NFP 64 beschäftigte sich in verschiedenen Projekten mit diesen Aufnahmemechanismen.<sup>1</sup> Im Projekt von Thomas Bucheli am Agroscope Reckenholz-Tänikon wurde die Verwendung von Nanopartikeln in Pflanzenschutzmitteln untersucht. Der Einsatz von Nanomaterialien in der Landwirtschaft führt zu reduzierten Aufwandmengen, höherer Effizienz und umweltschonenden Anwendungen, aber auch zu einer stärkeren Belastung von Bodenlebewesen (Gogos et al., 2012). An der Empa, dem interdisziplinären Forschungsinstitut des ETH-Bereichs für Materialwissenschaften und Technologieentwicklung, wurde erforscht, ob Kupfer bei Holzschutzmitteln in nanopartikelbasierter Form vom Holz besser aufgenommen wird. An der Eawag, der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, haben schliesslich zwei Projekte die Aufnahme metallischer Nanopartikel über Biofilme und Wasserorganismen untersucht.

---

<sup>1</sup> Abschlussbericht: [www.nfp64.ch/SiteCollectionDocuments/Schlussbrochure\\_NFP64\\_D.pdf](http://www.nfp64.ch/SiteCollectionDocuments/Schlussbrochure_NFP64_D.pdf)

## Zulassungsverfahren

Die Risiken von Medikamenten, Düngern und Pflanzenschutzmitteln werden im Zulassungsverfahren bezüglich verschiedener Risiken für Mensch sowie Tier und Umwelt geprüft. Das Bundesamt für Landwirtschaft prüft Pflanzenschutzmittel und Dünger, das Swissmedic prüft Medikamente. Das Inverkehrbringen von Chemikalien unterliegt in der Schweiz der Selbstkontrolle der Firma oder der inverkehrbringenden Person. Der Inverkehrbringer hat die Gesundheit der Menschen oder der Umwelt sicherzustellen. Er muss das Produkt einstufen, korrekt verpacken und kennzeichnen sowie für gewerbliche Abnehmer ein Sicherheitsdatenblatt zur Verfügung stellen. Als Hilfestellung gibt es vom Bund eine Anleitung zur Selbstkontrolle.<sup>2</sup> Zusätzlich zu den vorhandenen Regelungen ist eine weitergehende Regulierung angedacht. Nanomaterialien sollen im Rahmen des Chemikalienrechts als neuer Stoff angemeldet werden. Das Anmeldedossier soll gemäss den Vorgaben nach REACH erstellt werden. REACH ist eine Verordnung der Europäischen Union, die erlassen wurde, um den Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt vor den Risiken, die durch Chemikalien entstehen können, zu verbessern. Darüber hinaus hat REACH zum Ziel, Alternativmethoden zur Ermittlung schädlicher Wirkungen von Stoffen zu fördern und die Anzahl von Tierversuchen zu verringern. Weiterhin sind die Testrichtlinien der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) zu berücksichtigen.

34

Unter [www.infonano.ch](http://www.infonano.ch) befinden sich Wegleitungen für Test- und Beurteilungsmethoden von Nanomaterialien. Im Weiteren wird geprüft, ob eine Meldepflicht für Firmen eingeführt werden soll, die Nanomaterialien herstellen und weiterverarbeiten. Etwas Vergleichbares wie das französische Nanoregister. Meldepflichtig wäre jede Firma, die Nanomaterialien herstellt oder weiterverarbeitet, unabhängig der Menge und der Einstufung.

## Konsumentenumfragen

Verschiedene Studien zeigen, dass Bürger und Konsumenten Anwendungen von Nanomaterialien vor allem in Lebensmitteln oder bei Lebensmittelverpackungen kritischer beurteilen oder ablehnen (z. B. Publikationen von TA-SWISS und dem Europäischen Parlament). An öffentlichen Podien im Rahmen der mobilen Ausstellung Expo Nano, welche das NFP 64 in der Öffentlichkeit begleitete, wurden diese Aspekte durch besorgte Bürgerinnen und Bürger diskutiert.

---

<sup>2</sup> [www.bag.admin.ch/bag/de/home/themen/mensch-gesundheit/chemikalien/nanotechnologie/sicherer-umgang-mit-nanomaterialien/vorsorgeraster-nanomaterialien-webanwendung.html](http://www.bag.admin.ch/bag/de/home/themen/mensch-gesundheit/chemikalien/nanotechnologie/sicherer-umgang-mit-nanomaterialien/vorsorgeraster-nanomaterialien-webanwendung.html)

Die Rolle der Forschenden war es auf den Podien, Fakten zu sicheren Anwendungsgebieten der Nanotechnologie zu liefern sowie auf offene Fragen bzw. auf Risikofelder hinzuweisen. Bei der Revision des Lebensmittelrechts soll dieser Umstand beachtet werden. Das heisst, Nanomaterialien in Lebensmitteln sollen einer spezifischen Zulassungspflicht unterstellt werden. Zusätzlich soll eine Deklarationspflicht für Nanomaterialien in Lebensmitteln und Kosmetika eingeführt werden. Entsprechende Inhaltsstoffen müssten dann klar erwähnt werden, z. B. Siliziumdioxid Nano.

#### LITERATUR

GOGOS A., KNAUER K., BUCHELI T. D. (2012): Nanomaterials in plant protection and fertilization: current state, foreseen applications, and research priorities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60: 9781–9792.

35

PUBLIFOCUS (2006): Nanotechnologien und ihre Bedeutung für Gesundheit und Umwelt. «Nanotechnologien in der Schweiz: Herausforderungen erkannt». Bericht eines Dialogverfahrens, Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung, TA-P 8/2006 d, Bern, 2006. ISBN-Nr. 3-908174-25-2.

EUROPEAN PARLIAMENT (2009): Science and technology options assessment: nanotechnology in the food sector. IP/A/Scientific Foresight Unit STOA/2009-09, PE 424.755.

# Der mobile Teil des Pflanzengenoms als Ressource für den zukünftigen Pflanzenschutz

*Michael Thieme*

Sogenannte springende Gene oder Transposons (TEs) wurden bereits Mitte des 20. Jahrhunderts erstmals von Barbara McClintock beschrieben, wofür für sie im Jahre 1983 mit dem Nobelpreis ausgezeichnet wurde (McClintock, 1950). Bei ihrer Arbeit mit Mais fiel McClintock auf, dass es oft zu Doppelstrangbrüchen im Genom kam. Außerdem war mit bloßem Auge feststellbar, dass manche Maiskörner eine dunklere Färbung aufwiesen als andere. Bei genauerer Untersuchung stellte sie fest, dass sich mobile genetische Elemente, in diesem Fall durch einen «cut and paste» Mechanismus im Genom bewegen können. Je nachdem in welcher Entwicklungsstufe ein Farbgen, durch ein TE unterbrochen wird, entstehen eher hellere oder dunklere Maiskörner. Heute weiß man, dass es neben diesen sogenannten DNA-TEs, welche sich durch einen «cut and paste» Mechanismus bewegen auch Elemente gibt (sog. Retrotransposons, retroTEs), die sich durch einen «copy and paste» Mechanismus im Genom vermehren können. Alle mobilen Elemente zusammen werden als das sog. «Mobilome» bezeichnet.

Betrachtet man die Genome unserer Nutzpflanzen genauer, so stellt man fest, dass sie im Prinzip nichts anderes sind als riesige Sammlungen von TEs. Dabei machen retroTEs in den meisten Fällen den grössten Anteil aus. Zwar besitzen längst nicht mehr alle TEs in Pflanzengenomen die Fähigkeit sich zu bewegen oder sich zu vermehren, jedoch machen sie immerhin bis zu rund 85 % (Mais) des Genoms aus. Aufgrund der Tatsache, dass TEs durch eine unkontrollierte Bewegung im Genom natürlich auch erheblichen Schaden anrichten können, werden sie von der Pflanze streng überwacht. Bis vor wenigen Jahren wurden TEs v.a. als parasitäre, eigennützige Elemente abgestempelt, die ihrem Wirt nur Schaden zufügen können. Dank neuer Labortechniken (z. B. Oxford Nanopore Sequencing) die es erlauben TEs besser zu untersuchen, ist heute zunehmend ein Meinungswechsel in der Fachwelt zu beobachten. So wird der grosse Anteil von TEs im Pflanzengenomen als eine genetische Schatztruhe bezeichnet (Mirouze und Vitte, 2014).

Es gibt inzwischen eine Reihe schöner Beispiele welche die wichtigen Funktionen von TEs für die Pflanze verdeutlichen. So können TEs eine Art Bindeglied zwischen dem Genom und der Umwelt darstellen. Am Beispiel der Blutorange soll dies ge-

nauer erläutert werden: Klassische gelbe Orangen besitzen eine natürliche Mutation neben einem Gen welches für die rote Färbung des Fruchtfleisches verantwortlich ist. Aufgrund dieser Mutation ist das Gen für die Färbung des Fruchtfleisches inaktiv und das Fruchtfleisch der Orange bleibt gelb. Die sizilianische Blutorange «Tarocco» besitzt neben dem entsprechenden Gen eine Insertion eines retroTEs, welches selbst Kälte wahrnehmen kann. Interessanterweise führt die Wahrnehmung von Kälte durch dieses retroTE zu einer Aktivierung des benachbarten Gens für den roten Farbstoff der Blutorange (Butelli et al., 2012). Das bedeutet, dass TEs Umwelteinflüsse, in diesem Fall Kälte, wahrnehmen und an benachbarte Gene vermitteln können. Kurz gesagt: **TEs können benachbarte Gene stressresponsiv machen.**

Neben dieser erstaunlichen Eigenschaft, als stress-abhängiger genetischer Schalter im Genom zu fungieren, können insbesondere retroTEs durch ihren «cut and paste» Mechanismus einen auftretenden Stress auch für ihre eigene Vermehrung verwenden. In der Modellpflanze Ackerschmalwand (*Arabidopsis thaliana*) konnte gezeigt werden, dass das retroTE-*ONSEN* (japanisch für heiße Quelle) nach einem Hitzestress bei 37°C neue DNA-Kopien von sich selbst herstellen kann (Ito et al., 2011). Normalerweise werden diese neu gebildeten freien *ONSEN*-Kopien wieder abgebaut und das retroTE-*ONSEN* stillgelegt. Wie bereits angedeutet, liegt der Grund hierfür in der strengen und ausgefeilten Regulation von TEs durch die Pflanze. Als Konsequenz dieser strikten Überwachung ließen sich TEs bisher nicht effizient für die Züchtung nutzbar machen.

37

### Induktion von Hitzetoleranz

Um eine gezielte Vermehrung von retroTEs ohne Gentechnik zu erreichen, verfolgen wir den Ansatz einer transienten Inhibierung des Regulationsmechanismus. Unter Verwendung zweier Inhibitoren, ist es uns gelungen die Abwehrmechanismen gezielt und für eine kurze, definierte Zeitspanne zu umgehen (Thieme et al., 2017). Bei Zugabe der Inhibitoren während eines auftretenden Hitzestresses konnten wir die Anzahl der neu gebildeten freien *ONSEN*-Kopien etwa verfünffachen. In den Nachkommen konnten wir durch genetische Analyse erstmals neue stabil integrierte *ONSEN*-Kopien detektieren. Somit ist es uns gelungen, mit hoher Effizienz und ohne Verwendung gentechnischer Methoden, das hitze-reponsive retroTE *ONSEN* im Wildtyp zu vermehren. Durch Untersuchung der Kinder-, Enkel- und Urenkel-Generationen der erzeugten Linien konnten wir nachweisen, dass die Vermehrung von *ONSEN* einmalig während der Behandlung stattfindet und die neuen *ONSEN*-Kopien über Generationen sehr stabil im Genom integriert bleiben. Erwartungsgemäß konnten wir zudem einen starken Effekt dieser neuen *ONSEN*-Kopien

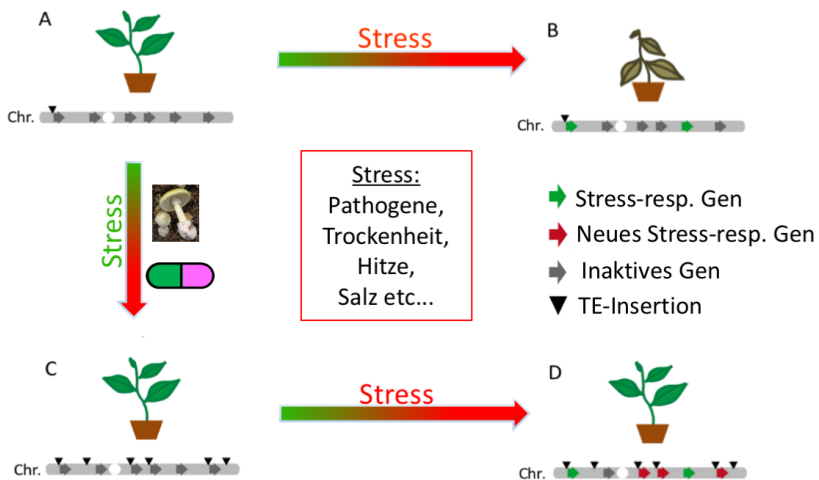
auf den Phänotyp nachweisen. Interessanterweise konnten wir beobachten, dass die Wachstumsbedingungen, ähnlich wie oben für die Blutorange beschrieben, einen starken Einfluss auf die Phänotypen der erzeugten Linien hatten. So zeigten manche Pflanzen abhängig von Temperatur und Tageslänge eine erhöhte Biomasse oder verfrühte Blühzeit im Vergleich zu den Kontrollpflanzen.

Durch die Amplifikation von *ONSEN* lässt sich eine enorme genetische und phänotypische Diversität erzeugen. Vorläufige Daten weisen zudem darauf hin, dass einige der generierten Linien mit mehr *ONSEN*-Kopien eine erhöhte Hitzetoleranz im Vergleich zum Wildtyp aufweisen.

Da sich Ergebnisse mit der Modellpflanze *Arabidopsis* nur beschränkt auf unsere Nutzpflanzen übertragen lassen, haben wir in einer Kollaboration mit Forschenden in Montpellier den Effekt der Behandlung auf Reis-Keimlinge untersucht. Auch in dieser fern verwandten, sehr wichtigen Nutzpflanze konnten wir mit Hilfe gezielter DNA-Sequenzierungen aller mobilen Elemente nach Behandlung mit den beiden Substanzen die Aktivierung eines retroTEs nachweisen. Diese Daten sprechen dafür, dass unsere Methode universell in praktisch allen Pflanzen anwendbar ist.

38

**Abb. 1: Schematische Darstellung der stressabhängigen Aktivierung von Retrotransposons (retroTEs) für die Pflanzenzüchtung.** A) Normales Wachstum der Pflanze unter optimalen Bedingungen. B) Absterben der Pflanze durch Stress. C) Vorübergehende Inhibierung der Transposonabwehr in Kombination mit Stress führt zur gezielten stabilen Vermehrung stress-resp. retroTEs im Pflanzengenom. D) Erneutes Auftreten desselben Stresses führt, vermittelt durch neue retroTE-Insertionen, zur Aktivierung zusätzlicher Gene und dadurch erhöhten Stresstoleranz der Pflanze.



## Retrotransposons als genetische Ressource

Unter der Annahme, dass Pflanzen für eine breite Palette von Stressarten eine entsprechendes TE als genetisches Backup bereit halten, welches wir dank unserer Behandlung jetzt gezielt aktivieren und im Falle von retroTEs vermehren können, stellen TEs und insbesondere retroTEs eine sehr vielversprechende genetische Ressource für die Pflanzenzüchtung dar.

In gewisser Weise gleicht die stressabhängige Vermehrung von retroTEs (mit dem Ziel eine erhöhte Stresstoleranz für genau denselben Stress zu erreichen) einer gerichteten Evolution nach der Theorie von Jean-Baptiste de Lamarck. Die Erinnerung an einen erlebten Stress wird demnach indirekt durch neue retroTE-Insertionen stabil an die Folgegeneration weiter gegeben.

Auch wenn dieser Ansatz noch in der Entwicklung ist, ergibt sich daraus ein erhebliches Potential für die Einsparung von Pflanzenschutzmitteln. Während beim klassischen Ansatz versucht wird, durch Pflanzenschutzmittel einen bestimmten Stress, zum Beispiel Pathogene zu bekämpfen, verwendet unsere Methode genau diesen Stress, um natürliche Prozesse in der Pflanze zu stimulieren, die in den Nachkommen zu einer gesteigerten und stabilen Stresstoleranz führen. Derartig verbesserte Nutzpflanzen (mit neuen stress-responsiven Genen) sind in geringerem Ausmass auf die grossflächige Anwendung von Pflanzenschutzmitteln angewiesen.

39

### LITERATUR

MCCLINTOCK B. (1950): The origin and behavior of mutable loci in maize. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 36, 344–355.

BUTELLI E., LICCIARDELLO C., ZHANG Y., LIU J., MACKAY S., BAILEY P., REFORGIATO-RECUPERO G., MARTIN C. (2012): Retrotransposons control fruit-specific, cold-dependent accumulation of anthocyanins in blood oranges. *Plant Cell*, 24, 1242–1255.

ITO H., GAUBERT H., BUCHER E., MIROUZE M., VAILLANT I., PASZKOWSKI J. (2011): An siRNA pathway prevents transgenerational retrotransposition in plants subjected to stress. *Nature*, 472, 115–119.

MIROUZE M., VITTE C. (2014): Transposable elements, a treasure trove to decipher epigenetic variation: insights from Arabidopsis and crop epigenomes. *J Exp Bot*, 65: 2801–2812.

THIEME M., LANCIANO S., BALZERGUE S., DACCORD N., MIROUZE M., BUCHER E. (2017): Inhibition of RNA polymerase II allows controlled mobilisation of retrotransposons for plant breeding. *Genome Biol*, 18: 134.

## **Session II**

# **Genom Editierung – Das Potential von CRISPR/Cas9**





# Anwendungsmöglichkeiten neuer Techniken zur gezielten Genomveränderung bei Pflanzen

Johannes Fütterer

In den letzten Jahren wurden molekularbiologische Methoden entwickelt, mit denen gezielt Mutationen ins Genom höherer Organismen eingeführt werden können – man bezeichnet diese Methoden als Genom-Editierung (engl. *Genom-Editierung*). Durch *Genom-Editierung* lassen sich präzise Veränderungen in Genen und ihren Expressionskontrollsignalen durchführen. Damit ist es Forschenden möglich, Funktionen von Genen zu untersuchen oder anwendungsorientierte Eigenschaften zu erzeugen. Das Anwendungsspektrum reicht von einzelnen Zellen zu kompletten Organismen und von wissenschaftlicher Grundlagenforschung zu Gentherapie bei Mensch und Tier und zu gezielter Pflanzenzüchtung (Bortesi und Fischer, 2015; Osakabe und Osakabe, 2015). Die Methoden verwenden verschiedene Prinzipien, um eine Zielsequenz im jeweiligen Genom möglichst genau zu erkennen und an diesem Ort Mutationen zu erzeugen. Im Folgenden werden die Methoden kurz erläutert.

42

## Sequenzerkennung durch Proteine

Verschiedene Proteinklassen besitzen Domänen zur Sequenz-spezifischen DNA-Bindung. Dabei interagieren bestimmte Aminosäuren in räumlich genau definierten Proteinstrukturen mit bestimmten Bausteinen (Basen) der DNA. Der Erkennungscode, der von den sogenannten Zink(Zn)-Finger Proteinen und von den TALE (*transcription activator like effector*)-Proteinen verwendet wird, wurde so weit entschlüsselt, dass entsprechende Proteindomänen mit einer gewünschten Spezifität entworfen und gentechnisch produziert werden können. Typischerweise erkennt eine einzelne Bindungsdomäne zwei bis drei Basen der DNA. Erhöhte Spezifität entsteht durch das Zusammenwirken mehrerer solcher Domänen, bei Zn-Finger Proteinen typischerweise 3 bis 6, bei TALE-Proteinen 10 bis 12. Die Erkennung der DNA-Sequenz ist dabei meist nicht absolut genau. Natürlicherweise besitzen diese DNA-bindenden Proteine neben der Sequenzerkennungsdomäne noch andere Domänen, die meist zur Kontrolle der Genexpression am Erkennungsort dienen. Diese zusätzlichen Domänen können gegen andere ausgetauscht werden. So wird z. B. aus einem TALE eine TALE-Nuklease (TALEN) oder aus einem Zn-Finger Protein

eine Zn-Finger-Nuklease. Die zusätzliche Nuklease-Domäne bewirkt, dass am Erkennungsort die DNA zerschnitten wird. Für die Anwendung muss ein Gen für ein Zn-Finger oder TALE-Protein konstruiert und im Zielorganismus exprimiert werden. Für jede neue Erkennungsstelle muss ein neues Gen entworfen und getestet werden.

### Sequenzerkennung durch Nukleinsäuren

43 Ein einzelsträngiges DNA- oder RNA-Molekül kann über spezifische Basenpaarung eine stabile Bindung mit einem komplementären DNA oder RNA Strang ausbilden. Dieser Prozess ist sehr Sequenz-spezifisch und effizient. Bei der CRISPR/Cas9 Methode wird ein speziell strukturiertes RNA-Molekül in einem Komplex mit einem Cas-Protein benutzt, um eine etwa 20 Basen lange, komplementäre Region einer zellulären DNA zu erkennen und durch im Cas-Protein enthaltene Nuklease-Aktivitäten zu zerschneiden. Der Prozess ist ein natürlicher Abwehrmechanismus gegen invasive DNA in Bakterien (Horvath und Barrangou, 2010), lässt sich aber entsprechend modulieren und in Zellen aller Organismen anwenden. Für die Anwendung muss ein Cas-Protein exprimiert und eine kurze RNA (guide RNA = gRNA) generiert werden. Für eine Änderung des Zielorts kann einfach eine neue gRNA produziert werden.

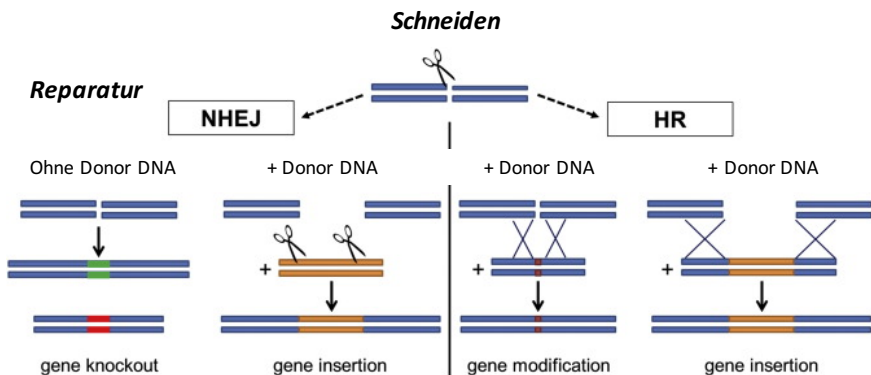
Die DNA-Erkennung kann auch über ein kurzes, synthetisches DNA-Molekül erfolgen, das in die Zellen eingebracht wird. Das Molekül wird die genomische DNA an der komplementären Stelle binden. Wenn das zugefügte DNA-Molekül eine kleine Veränderung gegenüber der genomischen Sequenz enthält, wird die fehlgepaarte Stelle repariert und dabei eventuell die gewünschte Mutation im Genom eingeführt.

### Mutation am Zielort

Nukleasen schneiden, je nach Aktivität, einen oder beide Stränge des DNA-Doppelstrangs. Solche DNA-Strangbrüche treten durch Umwelteinflüsse auch zufällig auf, und alle Zellen besitzen Mechanismen, solche Schäden zu reparieren. Beim einfachsten Mechanismus NHEJ (*non-homologous end joining*) werden die freien DNA-Enden einfach wieder verknüpft, allerdings gehen dabei meist einige Basen an der Bruchstelle verloren (Deletion) oder werden zugefügt (Insertion), d. h. es entstehen Sequenzveränderungen (Mutationen) am Ort des Strangbruchs. Je nach Art der Mutation wird das kodierte Protein kleine Änderungen haben oder gar nicht mehr produziert werden. Diese Methode wird häufig genutzt, um Gene gezielt zu zerstören, d. h. ihre Funktion komplett auszuschalten.

In diploiden Organismen, die von allen Genen zwei weitgehend identische Kopien besitzen, kann über homologe Rekombination (HR) die Sequenzinformation des intakten Gens als Vorlage für die Reparatur des defekten Gens benutzt werden. Homologe Rekombination lässt sich nutzen, um an der durch das Erkennungsmodul bestimmten Schnittstelle auch bestimmte Mutationen einzuführen. Dazu muss nur zusätzlich ein DNA-Fragment angeboten werden, dass zur Reparatur der Schnittstelle mit der gewünschten neuen Sequenz benutzt werden kann (Bortesi und Fischer, 2015).

**Abb. 1: Das CRISPR/Cas9 System.** Nach dem Schneiden wird eine Mutation durch zelluläre Reparatur erzeugt (nach Bortesi and Fischer, 2015). NHEJ: *Non-homologous end joining* (fehlerhaft; meist mit Deletionen oder kurzen Insertionen / HR: Homologe Rekombination (genau; ermöglicht gezielte Integration einer Genvariante)



## Methoden-Entwicklung

Die beschriebenen Methoden sind in der Anwendung unterschiedlich effizient. Der CRISPR/Cas9 Methode wird im Augenblick das grösste Potential zugeschrieben. Das erforderliche Cas-Protein und die Ziel-bestimmende gRNA werden entweder von einem stabil ins Genom integrierten Transgen oder einem viralen Genom exprimiert oder direkt als RNA/Protein-Komplex in Zellen eingeschleust. Verschiedene Computerprogramme stehen zur Auswahl geeigneter Zielsequenzen zur Verfügung. So ist es möglich, unerwünschte Effekte auf andere Genorte weitgehend zu vermeiden oder geeignete Sequenzen, für die gleichzeitige Mutagenese verschiedener Gene (z. B. in Genfamilien) zu definieren. Für die effiziente Expres-

sion von Cas-Protein und RNA stehen verschiedene Expressionssignale und Codon-optimierte Genversionen zur Verfügung. Die Bereitstellung eines weiteren DNA-Fragments zur DNA-Reparatur über HR ist noch etwas schwieriger, aber auch mit den vorhandenen Methoden ist die Effizienz bereits gross genug, um Anwendungen zu erlauben.

Die genaue Art der Mutation über NHEJ ist naturgemäss zufällig, d. h. bei jedem DNA-Schnitt könnte eine andere Insertions- oder Deletions-Mutation entstehen. Um einen Organismus mit einer genau bestimmten Mutation zu erhalten, muss dieser aus einer einzelnen Zelle mit dieser bestimmten Mutation entstehen, entweder durch normale Entwicklung aus einer befruchteten Eizelle oder durch Regeneration aus Einzelzellen. Auf diese Weise können aus zunächst uneinheitlichen Elternorganismen mit verschiedenen Mutationen in verschiedenen Zellen einheitlich mutierte Nachkommen gewonnen werden. Durch Kreuzung lässt sich auch ein eventuell zunächst vorhandenes Transgen aus der Nachkommenschaft entfernen, so dass als einzige Genom-Veränderung die gewünschte Mutation zurückbleibt.

45

Auswahl der Zielsequenz und Dauer der Anwesenheit des Cas-Proteins bestimmen weitgehend die Zahl der unerwünschten Effekte auf andere Sequenzen (off-target-effects). Eine Sequenzanalyse des Genoms nach der Mutagenese, zeigt, dass mit den heute angewandten Methoden, solche Effekte gegen Null minimiert werden können (Ding et al., 2016).

## Anwendungen bei Pflanzen

Die gezielte Mutagenese bei Pflanzen befindet sich noch in einem Anfangsstadium. Für die Anwendung müssen Methoden optimiert werden. Trotzdem gibt es bereits zahlreiche Beispiele, die das Potenzial aufzeigen. Durch TALENs oder CRISPR/Cas9 können Testgene effizient inaktiviert oder gezielt modifiziert, sowie Expressionskontrollsignale entfernt oder ausgetauscht werden. Besonders für die Grundlagenforschung und zur Aufklärung von Genfunktionen ist die Möglichkeit interessant, bestimmte Gene verlässlich und komplett zu inaktivieren. Bestehende Methoden leisten dies oft nicht. Für den landwirtschaftlichen Gebrauch gibt es bereits Beispiele für Pathogen-Resistenz, Herbizid-tolerante Stoffwechselfgene, oder Genvarianten, die über männliche Sterilität die Hybridzucht erleichtern könnten.

### *Mehltau-resistenter Weizen*

Das pflanzliche MLO-Gen erleichtert die Infektion von Getreiden durch den Mehлтаupilze (*Blumeria graminis* f. sp. *Tritici*) indem es die pflanzliche Abwehrreaktion reduziert. Bei Gerste werden schon lange Zuchtlinien verwendet, die wegen

eines defekten MLO-Gens eine gute und dauerhafte Mehлтаuresistenz besitzen. Im hexaploiden Weizen, der sechs Kopien des MLO-Gens enthält, war es jetzt möglich, durch gezielte Mutagenese alle sechs Kopien gleichzeitig zu inaktivieren und so auch in Weizen experimentell die erwünschte Mehлтаuresistenz zu erzeugen (Wang et al., 2014).

### ***Herbizid-resistente Pflanzen***

Für Herbizid-resistente Pflanzen werden die Zielgene der jeweiligen Herbizide spezifisch so mutiert, dass die entsprechenden Proteine nicht mehr vom Herbizid inhibiert werden können. Als Vorlage dienen dabei Mutationen aus natürlich resistenten Genotypen von Nutzpflanzen oder Unkräutern, die in ein entsprechendes DNA-Fragment eingebaut und als Substrat für die DNA-Reparatur durch HR am Ort des CRISPR/Cas9 Schnitts verwendet werden (z. B. Svitashv et al., 2015). Herbizidresistenz wurde auch schon durch kurze, synthetische DNA-Stücke ohne extra DNA-Schnitt eingeführt ([www.cibus.com](http://www.cibus.com)). Mutationen zur Herbizid-Resistenz führen zu einer einfach selektierbaren Eigenschaft – die Zellen oder Pflanzen wachsen in Gegenwart des Herbizids. Deshalb eignet sich dieser Mutationsprozess besonders gut zur Methodenoptimierung und wird nicht nur wegen des Anwendungspotentials sondern auch zur Methodenentwicklung verwendet.

46

Andere Zielgene haben Funktionen im Stoffwechsel und der Verteilung von Stoffwechselprodukten, bei der Fruchtreifung, in der Interaktion von Pflanzen mit Pathogenen oder Umweltfaktoren etc. Die Zahl der möglichen Zielgene ist unbegrenzt, besonders wenn die Methoden zur gezielten Sequenzmutation durch HR (im Gegensatz zur einfachen Gen-Inaktivierung durch NHEJ) effizienter würden.

Ein weiterer Anwendungsbereich bei Pflanzen könnte die Verteidigung gegen invasive DNA sein – analog zur ursprünglichen Funktion des CRISPR/Cas9 Systems in Bakterien (Chaparro-Garcia et al., 2015). Pflanzen DNA-Viren lassen sich bisher kaum bekämpfen. Es ist trotz einiger vielversprechender Ansätze aber noch offen, ob das CRISPR/Cas9 System effizient genug arbeiten würde um invasive virale DNA komplett zu neutralisieren.

### **Analyse mutierter Pflanzen**

Nachdem die zur Mutation benötigten Zn-Finger-, TALEN- oder CRISPR/Cas-Gene durch Kreuzung aus einer Pflanzenlinie entfernt wurden, unterscheidet sich das neue Genom nur durch die Mutation im Zielgen. Die Art der Mutation wird

durch DNA-Sequenzierung genau bestimmt und die Auswirkung der Mutation auf die Genexpression oder Proteinfunktion kann durch Analyse der RNA und der Eigenschaften der veränderten Pflanze genau ermittelt werden. Wenn erforderlich, lassen sich die gesamten Genome der betroffenen Pflanzen durch Sequenzierung charakterisieren und nach unerwünschten Begleitmutationen durchsuchen.

Bei den kurzen Insertionen, Deletionen oder Punktmutationen am Ort des eingeführten DNA-Schnitts handelt es sich um die gleiche Art von Mutationen, die auch für die natürlich auftretende Variabilität von Pflanzen und Tieren verantwortlich sind. Die natürliche Variabilität entsteht durch Umwelteinflüsse auf die Genome, z. B. natürliche radioaktive Strahlung, reaktive Stoffwechselprodukte oder auch Fehler bei der Replikation und Vererbung der DNA. In der Zucht gibt es langjährige Erfahrung mit dieser Art von Mutationen und auch mit künstlicher Erhöhung der natürlichen Mutationsraten zur Erzeugung von mehr genetischer Variabilität (Mutationszucht). Eine spezifische Regulation der Zulassung von Genom-editierten Pflanzen für den Anbau wäre deshalb technisch problematisch, da sich diese Pflanzen nicht von solchen aus den herkömmlichen Züchtungsverfahren unterscheiden lassen.

47

#### LITERATUR

- BORTESI L., FISCHER R. (2015): The CRISPR/Cas9 system for plant Genom-Editierung and beyond. *Biotechnology Advances*, 33: 41–52.
- CHAPARRO-GARCIA A., KAMOUN S., NEKRASOV V. (2015): Boosting plant immunity with CRISPR/Cas. *Genome Biology*, 19: 254.
- DING Y., HONG L., CHEN L.L., Xie K. (2016): Recent advances in Genom-Editierung using CRISPR/Cas9. *Frontiers Plant Science*, 7: 703.
- HORVATH P., BARRANGOU R. (2010): CRISPR/Cas, the immune system of Bacteria and Archaea. *Science*, 327: 167–170.
- OSAKABE Y., OSAKABE K. (2015): Genom-Editierung with engineered nucleases in plants. *Plant and Cell Physiology*, 56: 389–400.
- SVITASHEV S., YOUNG J. K., SCHWARTZ C., GAO H., FALCO S. C., CIGAN A. M. (2015): Targeted mutagenesis, precise gene editing, and site-specific gene insertion in maize using Cas9 and guide RNA. *Plant Physiology*, 169: 931–945.
- WANG Y., CHENG X., SHAN Q., ZHANG Y., LIU J., GAO C., QIU J.-L. (2014) Simultaneous editing of three homoeoalleles in hexaploid bread wheat confers heritable resistance to powdery mildew. *Nature Biotechnology*, 32: 947–951.

Im Anschluss an die Fachtagung hat Johannes Fütterer einen Blogbeitrag zum Thema «Neue Züchtungsmethoden für Pflanzen» im ETH Zukunftsblog veröffentlicht:

[www.ethz.ch/de/news-und-veranstaltungen/eth-news/news/2016/09/neue-zuechtungsmethoden-fuer-pflanzen.html](http://www.ethz.ch/de/news-und-veranstaltungen/eth-news/news/2016/09/neue-zuechtungsmethoden-fuer-pflanzen.html)

# Ruhe vor dem Sturm: Wie werden die neuen Technologien reguliert?

*Thorben Sprink, Frank Hartung und Joachim Schiemann*

Bereits im Oktober 2007 berief die Europäische Kommission eine Expertengruppe ein, mit dem Auftrag, eine Bewertung der neuen Züchtungstechniken im Kontext der europäischen GVO-Regulierung vorzunehmen. Im Februar 2012 wurde der Europäischen Kommission ein Abschlussbericht vorgelegt und den zuständigen nationalen Behörden der Europäischen Mitgliedsstaaten zur Verfügung gestellt. Allerdings wurde der Bericht bis heute (September 2016) nicht formell veröffentlicht. In einem Schreiben der Europäischen Kommission an die zuständigen nationalen Behörden der Europäischen Mitgliedsstaaten vom Juni 2015 wird folgendes dargelegt:

48

«Being aware that the current legal uncertainty is unsatisfactory, the Commission' services are committed to present their legal analysis to the Competent Authorities and stakeholders before final adoption by the Commission foreseen before the end of this year.»

Bis heute (September 2016) hat die Europäische Kommission keine juristische Bewertung der neuen Züchtungstechniken vorgelegt. In ihrer Ausgabe vom 26. April 2016 berichtete die TAZ folgendes: «Die EU-Kommission verschiebt ihre Entscheidung über ‚neue Züchtungsmethoden‘ wie CRISPR/Cas seit Monaten. Derzeit überlege sie, ob eine juristische Analyse nötig ist, teilte Sprecher Enrico Brivio mit. Doch er riet bereits jetzt, nicht alle neuen Technologien als ‚versteckte‘ gentechnisch veränderte Organismen zu behandeln. Mit dem geplanten TTIP-Freihandelsabkommen zwischen USA und EU habe das aber – anders als von Kritikern befürchtet – nichts zu tun».

Im Anhang IA Teil 1 der Richtlinie 2001/18/EC ist eine Liste von Techniken aufgeführt, die zu einer genetischen [im Sinne von gentechnischen] Modifikation führen. Anhang IA Teil 2 enthält Techniken, die zu keiner genetischen Modifikation führen. Im Anhang IB werden Verfahren/Methoden der genetischen Veränderung gelistet, «aus denen Organismen hervorgehen, die von der Richtlinie auszuschließen sind, vorausgesetzt, es werden nur solche rekombinanten Nukleinsäuremoleküle oder genetisch veränderten Organismen verwendet, die in einem oder mehre-



ren der folgenden Verfahren bzw. nach einer oder mehreren der folgenden Methoden hervorgegangen sind». Diese sind:

1. Mutagenese, und
2. Zellfusion (einschliesslich Protoplastenfusion) von Pflanzenzellen von Organismen, die mittels herkömmlicher Züchtungstechniken genetisches Material austauschen können.

Hierauf bezugnehmend spricht die o. g. Expertengruppe in ihrem Endbericht folgende Empfehlung aus:

### **Techniken, die von der GVO-Regulierung ausgeschlossen werden sollten**

*laut Annex IB (2001/18/EC) und Annex II Teil A (2009/41/EC)*

- Oligonukleotid-gesteuerte Mutagenese (ODM)
- Zinkfinger-Nukleasen (ZFN-1 und -2) (ohne Einführung rekombinanter DNA) [nach heutiger Lesart alle sequenzspezifischen Nukleasen]
- Nachkommen und Produkte aus Pfropfungen mit nicht-GV Pfropfreis
- Nachkommen von Pflanzen erzeugt durch transiente Agro-Infiltration «*sensu stricto*»
- Durch RNA-abhängige DNA-Methylierung erzeugte Pflanzen ohne vererbare Veränderungen in der DNA
- Nachkommen aus dem *reverse breeding* [analog generell Null-Segreganten?]

49

### **Techniken, die im Regulierungsbereich der GVO-Regulierung liegen**

*laut Annex IA Teil 1 (2001/18/EC)*

- Zinkfinger-Nukleasen (ZFN-3) (mit Einführung rekombinanter DNA)
- Cis- und Intragenese
- Nachkommen und Produkte aus Pfropfungen mit GV Pfropfreis
- Durch Agro-Infiltration (floral dip) stabil transformierte Pflanzen und GV Agrobakterien enthaltende Pflanzen
- Durch RNA-abhängige DNA-Methylierung erzeugte Pflanzen mit integrierter rekombinanter DNA
- Alle intermediären Pflanzen, die rekombinante DNA enthalten

Die Techniken ZFN-3 und Cisgenese (und Kombinationen hieraus) könnten ausgeschlossen werden, wenn der entstehende Organismus auch durch «Selbstklonierung» erzeugt werden könnte.

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf Passagen aus dem Kapitel «Schlussfolgerungen und Perspektiven» eines kürzlich von uns in *Plant Cell Reports* veröffentlichten Opinion Papers (Sprink et al., 2016). Hierbei wird der Fokus auf *Genom-Editierung* (mittels sequenzspezifischer Nukleasen [Mega-, Zinkfinger-, TALE-Nukleasen, CRISPR/Cas] und ODM) gelegt.

Die europäische GVO-Gesetzgebung sollte ursprünglich Aspekte von Ungewissheit und Risiko/Sicherheit regulieren. Der wissenschaftliche Fortschritt hat jedoch in den letzten Jahren unsere Erkenntnis über die genetische Struktur, die Interaktionen und den Austausch von genetischem Material zwischen einer Vielzahl von Organismen aus allen Organismenreichen wie Pflanzen, Tiere, Pilze und Bakterien enorm erweitert. Daher sollten im Kontext der Sicherheitsbewertung Pflanzen, die durch Gentechnik oder Genom-Editierung erzeugt wurden, im Verhältnis zur «natürlichen Basislinie» der in der Natur vorkommenden genetischen Variation diskutiert werden. In der Natur erfolgen genetische Veränderungen ständig, zum Beispiel durch Änderung der Nukleotidabfolge, intragenomische DNA-Neuanordnungen sowie durch Aneignung von Fremd-DNA-Segmenten durch horizontalen Gentransfer. Innerhalb von Spezies kann die genetische Variation – einschliesslich Einzelnukleotid-Polymorphismen (SNPs) und Retrotransposons – enorm gross sein und horizontaler Gentransfer tritt offenbar häufiger auf als zunächst erwartet (Kyndt et al., 2015). Vergleichbare genetische Veränderungen können auch durch gentechnische Verfahren oder durch *Genom-Editierung* erzeugt werden. Die Risiko-Abschätzungen dieser Techniken sollten daher in der gleichen Größenordnung vorgenommen werden wie für Veränderungen innerhalb der natürlichen genetischen Variation oder der von konventionellen Züchtungsmethoden (Arber, 2010). Aus wissenschaftlicher Sicht ist es daher sinnvoll anzunehmen, dass durch Genom-Editierung hervorgerufene genetische Veränderungen nicht *per se* ein zusätzliches Risiko darstellen.

Die ursprüngliche Intention der Gesetzgeber war es, sowohl Aspekte des Herstellungsprozesses als auch des Produktes bei der Definition eines GVO zu berücksichtigen. Die einseitige Fokussierung auf eine *Prozess*-orientierte Interpretation kann fehlerhaft und missverständlich sein. Bei der Argumentation, dass Techniken des Genom-Editierung automatisch als Gentechnik klassifiziert und entsprechend reguliert werden sollten, wird übersehen, dass die gegenwärtige GVO-Regulierung sowohl *Prozess*- als auch *Produkt*-orientiert ist (Abbott, 2015). Die Klassifizierung als Gentechnik wird umso problematischer, wenn die Produkte bestimmter Genom-Editierung Techniken nicht von Produkten zu unterscheiden sind, die durch konventionelle oder Mutationszüchtung erzeugt wurden. Daher sollte in den Fällen, in

denen die Anwendung einer bestimmten Technik nicht zur Einführung von «fremder» DNA oder einer neuen DNA-Rekombination geführt hat, die resultierende Pflanze nicht als GVO reguliert werden. Diese Sichtweise wird durch die zuständigen nationalen Behörden zahlreicher Europäischer Mitgliedsstaaten und die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) geteilt.

Für die Produkte neuer Züchtungstechnologien einschliesslich des *Genom-Editierung* wurden mehrere alternative Regulierungssysteme vorgeschlagen. Huang et al. (2016) schlagen ein 5-Schritt-Verfahren vor:

- (1) Minimierung des Risikos einer unbeabsichtigten Freisetzung aus Laboratorien und aus Feldversuchen,
- (2) Nachweis der Abwesenheit von «fremden» DNA-Sequenzen,
- (3) Dokumentation der DNA-Veränderungen am Zielort,
- (4) Nachweis der Abwesenheit von unbeabsichtigten sekundären *Genom-Editierung* Ereignissen und
- (5) Dokumentation der vier oben genannten Punkte in einem entsprechenden Antrag auf Marktzulassung.

51

Wenn alle fünf Punkte erfüllt werden, sollte die durch Genom-Editierung erzeugte Pflanze den gleichen Regulierungen zur Marktzulassung unterliegen wie Pflanzen, die durch konventionelle Züchtung erzeugt wurden. Schwachpunkt dieses Modells ist der Punkt 4, da auch hier eine unnötig hohe Wertung auf Veränderungen an Nicht-Zielorten gelegt wird. Solche Veränderungen treten in gleicher Weise bei der konventionellen und besonders bei der Mutationszüchtung in höherer Frequenz auf und werden trotzdem nicht als erhöhtes Risiko gewertet. Es gibt daher keine rationale Begründung für die Annahme, dass eine geringere Anzahl an unbeabsichtigten Veränderungen risikoreicher sei als die in der konventionellen Züchtung vermehrt auftretenden unbeabsichtigten Veränderungen.

Barton et al. (1997) schlagen das «Stanford Model» für die Regulierung von Freilandversuchen mit Pflanzen vor, die durch Gentechnik oder Genom-Editierung erzeugt wurden. Ein weiteres ähnlich flexibles Modell wird von Araki und Ishii (2015) vorgeschlagen, das ein Kontinuum von genetischen Veränderungen festlegt, die von minimalen (Leaky- oder Null-Mutationen) zu grossen (Transgenese) Veränderungen führen. Der Vorteil dieses Modells besteht darin, dass es ausreichend Flexibilität beinhaltet, mit einem relativ *Prozess*-orientierten Regulierungssystem zu starten, das für viele Stakeholder politisch akzeptabel wäre, und eine Verschiebung zu einer mehr *Produkt*-orientierten Interpretation ermöglicht, wenn die entsprechende wissenschaftliche Evidenz akkumuliert wird und die Produkte eine «history of safe

use» erlangen. Alle diese Modelle haben ihre jeweiligen Vorteile und sollten als Inspiration für die Entwicklung eines dynamischeren Regulierungssystems in Europa verstanden werden, das flexibel genug ist, um gegenwärtigen und künftigen Pflanzenforschungs- und Züchtungstechniken gerecht zu werden.

Bei der Diskussion über konsistente Kriterien für ein international harmonisiertes Regulierungssystem sollte es in erster Linie darum gehen, dass mittels neuer Züchtungstechniken entwickelte Pflanzen nicht anders reguliert werden als mit früheren Züchtungsmethoden erzeugte Pflanzen, wenn sie ähnlich oder nicht unterscheidbar von diesen sind. Dies träfe für folgende genetische Veränderungen zu:

- (1) Es liegt keine neue Kombination von genetischem Material (d. h. keine stabile Insertion von einem oder mehreren Genen, die Teil eines genetischen Konstrukts sind) vor, oder
- (2) Die erzeugte Pflanze enthält stabil integrierte genetische Information aus einer sexuell kompatiblen Pflanzenart, oder
- (3) Die genetische Veränderung ist das Ergebnis einer spontanen, induzierten oder gerichteten Mutation.

Da eine Entscheidung auf Europäischer Ebene in absehbarer Zeit nicht zu erwarten ist, sollte die Entscheidungsfindung in den Europäischen Mitgliedsstaaten forciert werden, d. h. es sollten insbesondere in öffentlich finanzierten Forschungsinstitutionen mittels Genom-Editierung modifizierte Pflanzen erzeugt und auf allen Ebenen (Labor, Gewächshaus, Freiland) behördliche Klärungen herbeigeführt werden. Um die juristische Bewertung der verwendeten Techniken und der damit modifizierten Pflanzen möglichst einfach zu gestalten, werden von uns Forschungsarbeiten durchgeführt, bei denen ohne den Einsatz von rekombinanter DNA sequenzspezifisch Mutationen bei Pflanzen erzeugt werden. Unter Einsatz von rekombinant hergestelltem und aufgereinigtem Cas9-Protein (durch entsprechende Reinigungstechniken frei von DNA) zusammen mit den entsprechenden guide-RNA-Molekülen werden einzelne Mutationen in das Genom von *Arabidopsis thaliana* eingeführt, die auch auf natürliche Art und Weise bzw. analog zur physikalischen oder chemischen Mutagenese entstehen könnten. Durch Polyethylenglykol (PEG) vermittelte Fusion von *Arabidopsis*-Protoplasten und Vesikeln, die Cas9-Protein und isolierte guide-RNA enthalten, werden die gewünschten Mutationen erzeugt. Da RNA als alleinige Nukleinsäure für die Induktion der Mutationen genutzt wird, wird keine rekombinante DNA in die Protoplasten und das Pflanzengenom eingebracht. Sowohl die eingesetzten RNAs als auch das Cas9-Protein werden in-

nerhalb kurzer Zeit von den Zell-eigenen Nukleasen/Proteasen abgebaut. Die mittels Gewebekultur regenerierten Pflanzen sind daher frei von rekombinanten Nucleinsäuren. Die Arbeiten beschränken sich zunächst auf Labor und Gewächshaus. Entsprechend unserer Bewertung handelt es sich hierbei nicht um gentechnische Arbeiten gemäss dem deutschen Gesetz zur Regelung der Gentechnik (GenTG) und bei den resultierenden Organismen gemäss § 3 Nr. 3a. Buchst. b GenTG nicht um gentechnisch veränderte Organismen. Anfang 2016 haben wir die zuständigen Behörden in zwei Bundesländern um eine zeitnahe Mitteilung gebeten, ob sie unsere Einschätzung teilen, damit wir die entsprechenden Arbeiten in Zukunft ausserhalb des GenTG-Regelungsbereiches durchführen können.

#### LITERATUR

53

- ABBOTT A. (2015): Europe's genetically edited plants stuck in legal limbo. *Nature*, 528: 319–320.
- ARAKI M., ISHII T. (2015): Towards social acceptance of plant breeding by Genom-Editierung. *Trends in Plant Science*, 20(3): 145–149.
- ARBER W. (2010): Genetic engineering compared to natural genetic variations. *New Biotechnology*, 27(5): 517–521.
- BARTON J., Crandon J., Kennedy D., Miller H. (1997): A model protocol to assess the risks of agricultural introductions. *Nature Biotechnology*, 15: 845–848.
- HUANG S., WEIGEL D., BEACHY R. N., LI J. (2016): A proposed regulatory framework for genome-edited crops. *Nature Genetics*, 48(2): 109–111.
- KYNDT T. et al (2015) The genome of cultivated sweet potato contains *Agrobacterium* T-DNAs with expressed genes: an example of a naturally transgenic food crop. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(18): 5844–5849.
- MILLER H. I. (2010): The regulation of agricultural biotechnology: science shows a better way. *New Biotechnology*, 27(5): 628–634.
- SPRINK T., ERIKSSON D., SCHIEMANN J., HARTUNG F. (2016): Regulatory hurdles for Genom-Editierung: process- vs. product-based approaches in different regulatory contexts. *Plant Cell Rep*, 35 (7): 1493–1506.

## **Session III**

**Wie kann gesellschaftliche Akzeptanz  
für neue Technologien entstehen?**



# Anwendungsmöglichkeiten partizipativer Technologiefolgenabschätzung in der Politikberatung

*Georg Simonis*

In der Politik wurde und wird immer wieder darauf vertraut, durch die Beteiligung von Bürgern und Stakeholdern gesellschaftliche Konflikte über die Art und Weise der Nutzung neuer, in Teilen risikobehafteter, Technologien einvernehmlich zu regeln, so auch im Falle des Akzeptanzkonflikts über die Freisetzung und landwirtschaftliche Nutzung gentechnisch veränderter Organismen (GVO). Sobald unterschiedliche Interessen (Nutzenverteilung) und Wertvorstellungen (Nachhaltigkeit) aufeinander prallen, führt dieser politisch-strategische Ansatz der Beteiligung von Laien und Stakeholdern nicht zum gewünschten Resultat. So wird heute in der einschlägigen Wissenschaft (Weitze & Pühler, u.a. 2012; van den Daele, 2012; Gill, 2012; acatech, 2016) nicht mehr die Meinung vertreten, dass Beteiligung der Königsweg zur Förderung von gesellschaftlicher Akzeptanz ist. Dennoch wird die Beteiligung von Bürgern und Stakeholdern an Projekten und Verfahren der Technikfolgenabschätzung als ein zunehmend wichtiges Moment der Politikberatung eingestuft. Die Teilnahme von Akteuren aus der Gesellschaft an Prozessen der Bewertung von neuen Technologien erlaubt die Förderung ganz unterschiedlicher Ziele, von der Information über Präferenzen der Zivilgesellschaft bis zur Gestaltung von Einsatzformen neuer technischer Systeme und deren Verwendungskontexten (Gloede, 1995; Joss & Belluci, 2002; Grunwald, 2010; Abels & Bora, 2013). In den nachfolgenden Überlegungen soll gezeigt werden, welche unterschiedlichen Ziele von Einrichtungen der Politikberatung, die Verfahren partizipativer Technikfolgenabschätzung (pTA) in ihre Beratungstätigkeit integrieren, verfolgt werden oder zukünftig angestrebt werden könnten, um Dissonanzen der Entwicklungsdynamiken von Wissenschaft, Technik und Gesellschaft im Bereich der gesellschaftlichen Nutzung moderner biotechnologischer Verfahren möglichst zu vermeiden.

56

## **Politikberatung über Technikfolgen**

In der sich schnell entwickelnden Wissensgesellschaft gewinnt die Politikberatung zunehmend an Bedeutung (Mayntz, 2006; Weingart & Lentsch, 2008; Weingart & Wagner, 2015). Die Einrichtungen der Politikberatung haben die Aufgabe übernommen, die Akteure der Politik über den Zustand der Welt auf der Grundlage des



vorhandenen wissenschaftlichen Wissens wissenschaftlich zu beraten; und zwar einerseits darüber, ob sich in der Gesellschaft und der Umwelt bedrohliche Entwicklungen erkennen lassen, zu deren Vermeidung politische Gegenmassnahmen erforderlich erscheinen, und andererseits darüber, wie die Erfolge bereits eingeleiteter Massnahmen (Programme) zu beurteilen sind und welche politischen Handlungsprogramme gemäss des ermittelten Impacts erforderlich und möglich erscheinen. Die wissenschaftliche Politikberatung hat, abstrakt formuliert, eine Vermittlungsfunktion zwischen den Akteuren der Politik und den Akteuren der Gesellschaft einschliesslich der Wissenschaft (siehe Abb. 1).

57

Ohne wissenschaftliche Beratung könnten sich die politischen Akteure in der postmodernen, durch die wissenschaftlich-technische Zivilisation geprägten Welt des Anthropozän (Crutzen, 2002) mit heute über 7 Mrd. Menschen und einer höchst ungewissen Zukunft mit bald 10 Mrd. Menschen (2050?) und zunehmendem Klimawandel immer weniger orientieren und sich auf politische Massnahmen verständigen<sup>1</sup>, von deren Notwendigkeit, Effektivität und Effizienz die betroffenen Stakeholder und die Wählerschaft insgesamt überzeugt werden müssen. In welchem Umfang sich die politischen Akteure tatsächlich beraten lassen, hängt allerdings von einer Vielzahl von Faktoren ab, so von der Qualität der Beratungsleistungen der Anbieter bis zur Bereitschaft der politischen Akteure, auf unangenehme Botschaften nicht mit Beratungsresistenz zu reagieren (Weingart & Wagner, 2015). Das Politikfeld, auf das sich die Beratung bezieht, stellt dabei einen weiteren Faktor dar, der die Aufgeschlossenheit der Politik gegenüber Beratungsleistungen zu erklären hilft. In dem hier zu diskutierenden Falle geht es um die Abschätzung von Chancen und Risiken neuer Biotechnologien in der Landwirtschaft und damit um ein Politikfeld, das vom Konflikt mit fest etablierten Lagern über die Nutzung gentechnisch modifizierter Pflanzen geprägt ist (Gill, 1991; Göpfert, 2009; Hampel & Torgersen, 2010; Conrad, 2010; Grimm & Schleissing, 2012; van den Daele, 2012).

---

<sup>1</sup> Die Geschichte und die Berichte des Weltklimarats (IPCC) können als Beispiel für die ganze Palette von Problemen dienen, die von der Wissenschaft, der wissenschaftlichen Politikberatung sowie der politischen Öffentlichkeit gemeistert werden müssen, bis Regierungen damit beginnen, sich auf neue, wissenschaftlich ermittelte, zukünftige und damit unsichere Verhältnisse einzustellen (Beck, 2009; Otto, 2015).

Abb. 1: Wissenschaftlicher Politikberatung mit integrierter partizipativer Technikfolgenabschätzung



Q: eigene Darstellung

Spezialisierte Einrichtungen wissenschaftlicher Politikberatung sind im Politikfeld der Technologiepolitik, ausgehend von den Vereinigten Staaten mit der Gründung des Office of Technology Assessment (OTA) im amerikanischen Kongress (1972), erst in den 70er und 80er Jahren des letzten Jahrhunderts entstanden (Grunwald, 2010, S. 65ff). Dieser Institutionalierungsprozess ist bis heute noch nicht abgeschlossen (Petermann, 1999). In den ersten Jahrzehnten institutionalisierter Technikfolgenabschätzung (TA) spielten Verfahren und Projekte partizipativer TA kaum eine Rolle. Die Möglichkeiten von Teilnahmeverfahren zur Verbesserung von Beratungsleistungen der TA-Einrichtungen wurden erst langsam erkannt (Hennen, 1999; Grunwald, 2000; Abels & Bora, 2004), als sich herausstellte, dass die Anwender, Konsumenten und indirekt Betroffenen der gesellschaftlichen Diffusion neuer Technologien (u.a. in den Bereichen der zivilen Nutzung der Kernenergie, des betrieblichen Einsatzes und der Gestaltung von Automatisierungstechnologien, der neuen Biotechnologien, Kommunikationstechnologie, Infrastrukturtechnologien) auf die Einsatzplanung sowie die regulativen Vorgaben der Politik und auf den vermeintlichen wissenschaftlich-technologischen Fortschritt unerwartet mit Protest und Eigensinn reagierten. Was zunächst der Politik und den Anbietern der neuen technischen Möglichkeiten als Informationsdefizit unwissender Laien erschien, stellte sich, als sich die Sozialwissenschaften der Erklärung des Protestverhaltens verstärkt zuwandten, als ein komplexes Faktorenbündel heraus, das sich mit der Kategorie des gesellschaftlichen Eigensinns vielleicht am prägnantesten zusammenfassend beschreiben lässt.

Das Konzept der partizipativen Technikfolgenabschätzung und -bewertung wird von Abels und Bora bereits im Hinblick auf Politikberatung definiert. Sie verstehen unter pTA «Instrumente und Methoden ..., die auf eine Beteiligung von Laien und/oder InteressenvertreterInnen (Stakeholder) an TA-Prozessen abzielen und die in unterschiedlicher Weise in Politikberatung eingebunden sind.» (Abels & Bora, 2013; S. 109, siehe auch Gloede, 1995; Joss & Belluci, 2002; Abels & Bora, 2004; Grunwald, 2000). Bei der Gruppe der Stakeholder müssen Vertreter von korporativen Akteuren (Scharpf, 1997), also von hierarchisch strukturierten Organisationen, wie Unternehmen, Kommunen, Verbänden oder auch Vereinen, von kollektiven Akteuren aus der Zivilgesellschaft, einerseits von Repräsentanten schwach organisierter sozialer Bewegungen, andererseits von Aggregaten kollektiven Verhaltens, unterschieden werden (Dolata & Schrape, 2013, S. 26). Je nach Art der bei den Akteuren durch die Entwicklung und Diffusion neuer Technologien ausgelösten Betroffenheiten (negativ, positiv, teils/teils, unbeteiligt) variieren sowohl deren Bewertungen, als auch die Reaktions- und Verarbeitungsmuster (siehe Abschnitt 3). Konsens- und Akzeptanzfindung entwickelt sich, sobald sich die Bewertungsmaßstäbe stärker unterscheiden, zu komplexen Verhandlungssystemen.

59

Unabhängig davon, ob sich innerhalb der an einem konkreten TA-Verfahren beteiligten Akteure ein Konsens einstellt, von dem angenommen werden kann, dass er stellvertretend die Gesellschaft repräsentiert, was eine sehr voraussetzungsvolle Konstellation und Annahme ist, lässt sich mit partizipativen Verfahren der Technikbewertung ein Kranz unterschiedlicher Ziele verfolgen, wie Vermittlung von Wissen über neue Technologien, Information gesellschaftlicher Akteure über politische Ziele und Planungen zur Nutzung neuer Technologien, Motivierung gesellschaftlicher Akteure zur Beteiligung an der betrieblichen und überbetrieblichen Gestaltung neuer Technologien, Förderung von Innovationspotenzialen, Ermittlung von Nutzerinteressen (Wertberücksichtigung), Beteiligung an Planungsprozessen (Raumplanung, Infrastrukturplanung, Netzwerkausbau), Beteiligung der Stakeholder und Bürger an der Formulierung von Leitbildern zukünftiger Techniknutzung, Stärkung der Legitimation politischen und unternehmerischen Handelns durch und im Dialog mit Betroffenen, z. B. durch die Vereinbarung von Kompensationsleistungen, und insgesamt: Beiträge zur Sicherung der gesellschaftlichen Einbettung und damit auch von Akzeptanz dynamischer Technikentwicklung – zumindest in Teilen der Gesellschaft durch die Beteiligung interessierter gesellschaftlicher Akteure an der Entwicklung und Ausgestaltung der wissenschaftlich-technischen Zivilisation.

Das Schema der Abb. 1 verweist darauf, dass pTA-Verfahren von den Einrichtungen der Politikberatung zunächst organisiert werden müssen, um anschließend wissenschaftlich ausgewertet zu werden. Die Ergebnisse des Beteiligungsprojektes müssen dann in einem weiteren Arbeits- und Analyseschritt an die politischen Akteure (Regierung, Parlament, Parteien, Verwaltung) weitergeleitet werden. Parallel zu dieser wissenschaftlichen Aneignung und Vermittlung der Ergebnisse eines pTA-Verfahrens bemächtigt sich auch die Öffentlichkeit (Stakeholder, Medien) der Resultate und Erfahrungen und bereichert die öffentliche sowie die gesellschaftliche Technikkommunikation. Partizipative TA-Projekte hinterlassen Spuren bei den unmittelbar Beteiligten, bei den Organisatoren und wissenschaftlichen Begleitern, den politischen Adressaten des Verfahrens sowie in der breiteren Öffentlichkeit. Eine Wirkungsgeschichte dieser Spuren in der Politik, der Beratungslandschaft, in Wissenschaft und Gesellschaft zu ermitteln, ist nicht trivial. Ausserdem fehlen den an dieser Forschungsthematik interessierten Beratungseinrichtungen (Akademien, Institute, Kommissionen) die Finanzmittel und die politischen Auftraggeber können aus dem Wissen über die Diffusion von Lernerfahrungen aus pTA-Verfahren keinen legitimatorischen Honig saugen.<sup>2</sup>

60

Auch für die zukünftige gesellschaftliche Nutzung gentechnisch basierter Biotechnologien gelten die voranstehenden Hinweise auf die Einsatzmöglichkeiten von pTA. Zwar hat sich der Versuch eines repräsentativen TA-Verfahrens durch das WZB-Projekt «Bewertung und Regulierung von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz (HR-Technik)» in Deutschland als nicht erfolgreich zur Überzeugung der verbraucher- und umweltorientierten Stakeholder vom Nutzen der Grünen Gentechnologie herausgestellt (van den Daele, 2012). Das Verfahren hat jedoch dazu beigetragen, die Konfliktlinien zu klären (Bora, 2009; Striegnitz 2009; Gill, 2012; Boysen, 2012; Einsiedel, 2012). Die sich gegenwärtig wegen zahlreicher neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse abzeichnenden neuen Einsatzmöglichkeiten der Biotechnologien (Sauter et al., 2015), könnten zu einer neuen Sicht und zu einer veränderten Interessenkonstellation führen (Boysen, 2012; Sauter et al., 2015; Niggli et al., 2016), zumal sich der sozial-ökologische Kontext beträchtlich gewandelt hat (siehe Muster pTA).

---

<sup>2</sup> Einen Überblick über die Partizipationslandschaft im Bereich der Biotechnologie gibt Einsiedel (2012), ohne allerdings in die Impactanalyse einzusteigen. Zur aktuellen diskursiv angelegten Begleitforschung der Synbio siehe Sauter et al. (2015) und Weitz et al. (2016).

## Technikkommunikation im Politikzyklus

Partizipative TA-Verfahren, die in die Politikberatung eingebunden sind, werden zwangsläufig auch zum Gegenstand öffentlicher Debatten über die Chancen und Risiken noch unerprobter Technologien. In jeder Phase des Politikprozesses bilden sich typische politische Konstellationen heraus, die auch die Art und Weise, wie über Technologien in der Öffentlichkeit diskutiert wird, beeinflussen. Zur Ermittlung erweiterter politischer Handlungsmöglichkeiten im Politikfeld der Technologiepolitik und der Einbindung von gesellschaftlichen Akteuren sind insbesondere drei Grundkonstellationen des Politikzyklus (Jann & Wegrich, 2009) relevant:

### THEMATISIERUNG / POLITISIERUNG

61

Im Vorfeld von Regierungsentscheidungen zur Institutionalisierung neuer oder der Reform bereits etablierter Regime zur Regulierung von Technologien und deren gesellschaftlicher Anwendung/Nutzung wird in der politischen Öffentlichkeit und im Kreis der politischen Akteure debattiert, ob und welcher Regelungsbedarf besteht und welche politische Relevanz diesem Regelungsbedarf beizumessen wäre.

### REGULIERUNG

In dieser Phase des Politikprozesses wird über die gesetzlichen und administrativen Normen, Prinzipien und Verfahren, mit deren Hilfe die Chancen von Technologien und ihren Anwendungen gesichert und gleichzeitig deren Risiken vermieden werden sollen, gestritten und entschieden.

### IMPLEMENTATION

Schließlich müssen die Normen des Regimes umgesetzt und deren Impact auf die gesellschaftliche Nutzung einer Technologie überprüft werden. Aus der Phase der Umsetzung kann erneut politischer Handlungsbedarf hervorgehen.

In jedem dieser Momente des Politikprozesses wird die Kommunikation zwischen Politik, Öffentlichkeit und Wissenschaft von gesellschaftlichen Leitbildern, Deutungsmustern, politischen Interessen und Handlungsbedingungen mitbeeinflusst. Je nach Phase des Politikkreislaufs können inhaltlich, sozial, temporal und technisch unterschiedlich ausgelegte Beteiligungsverfahren zur Anwendung gelangen: In Zeiten der Thematisierung und Problematisierung (Agenda Setting) bieten sich vor allem dialogische Verfahren der Beteiligung von Stakeholdern und Bürgerinnen an; in der Phase der Konsensbildung und des Entscheidungshandelns lassen sich

partizipative Planungs- und Mediationsverfahren einsetzen; die Implementation politischer Programme kann durch transdisziplinäre Kooperations- und Gestaltungsverfahren sozio-technisch angepasst und sozial abgesichert werden.

### **Moderne Pflanzenzuchtverfahren**

In Europa hat sich der Konflikt über die landwirtschaftliche Nutzung gentechnischer Züchtungsverfahren nicht im vorpolitischen Thematisierungsraum durch die Veranstaltung dialogischer Beteiligungsverfahren (u. a. Konsensuskonferenzen) bewältigen lassen (Einsiedel, 2012; Hampel, 2012). Der Konflikt wurde stattdessen stark politisiert und wird nun im europäischen Mehrebenensystem (Saalbach, 2008; Meyer, 2012) mittels regulativer Politik, die in pluralistische Prozess- und Entscheidungsverfahren eingebunden ist, und auf der nationalen Ebene bearbeitet. Der Konflikt über die landwirtschaftliche Nutzung gentechnisch basierter Biotechnologien wurde auf diese Weise durch ein faktisches Moratorium still gestellt (z. B. Schweizer Moratorium, Dahinden, 2009; Bieri et al., 2013). Sobald aber die etablierten regulatorischen Kompromisslinien verlassen werden, um das regulatorische Regime gewandelten wissenschaftlich-technischen und ökologischen Kontextbedingungen anzupassen, droht der Konflikt erneut aufzubrechen, da sich Gegner und Befürworter weiterhin unversöhnlich gegenüberstehen (Moos, 2009; Eurobarometer, 2010; Boysen, 2012).

Naturgemäß dominieren im politischen Alltagsgeschäft im Handlungsfeld der Technologiepolitik und der beratenden TA Thematisierungskonflikte, bei denen darüber debattiert wird, ob und in welchem Umfang politischer Regelungsbedarf besteht. Zur Bearbeitung von Thematisierungskonflikten wurde seit den 90er Jahren ein breites Spektrum unterschiedlicher Formen von Beteiligungsverfahren (vor allem Dialogverfahren, Konsensuskonferenzen, Szenario-Workshops) erprobt (Abels & Bora, 2013). In seltenen Fällen (Atomenergie, Grüne Gentechnologie, Infrastrukturvorhaben) mutierte der Chancen-Risiko-Diskurs zwischen Politik, Wissenschaft und Gesellschaft zu einem Akzeptanzkonflikt, der nur auf der politischen Ebene durch die Etablierung eines mehrheitsfähigen Regulierungsregimes zu bewältigen ist.

Bei gesellschaftlich umstrittenen Technologien steigt die Konfliktintensität, wenn politische (u. a. Verabschiedung von Gesetzen und Verordnungen zur Regulierung der gesellschaftlichen Nutzung einer Technologie) und politisch-administrative Entscheidungen (u. a. Genehmigung von Baumassnahmen oder von Freisetzung) anstehen. Sobald ein politisches Technologieregime institutionalisiert ist, sinkt dann wegen Gewöhnungseffekten, und weil andere Themen die Aufmerksamkeit bean-

spruchen, der Konfliktpegel wieder (Dolata & Werle, 2007; Bender, 2007; Rip, 2007). Soll ein einmal eingeschlagener Technisierungspfad wieder verlassen werden, brechen mit einiger Wahrscheinlichkeit die alten Konfliktlinien wieder auf. Für die Fortsetzung des bestehenden Pfades spricht dessen institutionelle regulatorische Etablierung und seine mehrheitliche Akzeptanz (Theorem der Pfadabhängigkeit). Auf der Basis dieses Theorems ist zu erwarten, dass Moratorien bezüglich des Verbots der Freisetzung von GVO immer wieder verlängert werden. Zwar ist nicht ausgeschlossen, dass neue gesellschaftliche Verhältnisse, insbesondere auch neue wissenschaftliche Erkenntnisse, zu einer Modifikation des politisch institutionalisierten Technikregimes führen können, aber es müssen erhebliche Lernschranken in Politik und Gesellschaft überwunden werden, dass dies möglich wird. Partizipative TA-Verfahren können hierzu, sofern ihr Format den gesellschaftlichen Verhältnissen angemessen ist, einen Beitrag leisten.

### 63 **Muster partizipativer Technikfolgenabschätzung**

Hinsichtlich der Art der Beteiligung von Laien und Stakeholdern an Projekten der Technikfolgenabschätzung und -bewertung lassen sich drei Muster der vorherrschenden Kommunikationsstruktur unterscheiden (siehe auch Abb. 2): Die treibende Kraft für die Veranstaltung von hierarchisch (top-down) angelegten pTA-Verfahren sind in der Regel die Anbieter neuer technologischer Systeme aus Wissenschaft und Wirtschaft sowie politische Akteure (Parteien; Exekutive) einschliesslich der staatlichen Genehmigungs- und Regulierungsbehörden, die sich von den neuen Technologien ökonomische und politische Vorteile (Arbeitsplätze, Exportchancen) erhoffen und die sich über mögliche Risiken und Akzeptanzschranken mit den Stakeholdern und der Gesellschaft verständigen möchten. In der Sprache der Regimetheorie sind dies die «Norm-Maker», also jene Akteure, die das Angebot einer neuen Technologie politisch regulieren (TYP 1). Dagegen werden bottom-up Verfahren häufig von «unten» angestrengt, also von den «Norm-Takern», die die Normen eines politischen Technologieregimes umzusetzen und zu beachten haben. Eine besondere Gruppe der «Norm-Taker» sind die Unternehmen sowie die Beschäftigten mit ihren Interessenvertretungen, die innerbetrieblich neue Produktionssysteme einführen und betreiben müssen und an einer sozialverträglichen Gestaltung ihrer Arbeitsbedingungen Interesse haben (TYP 2). Sofern die Sicherung (Erhaltung) von Gemeingütern (Commons), wie die Biodiversität und lokale Resilienz, im Zentrum von TA-Verfahren steht und Akteure der Zivilgesellschaft zusammen mit den jeweiligen Stakeholdern nach Technik gestützten Problemlösungen suchen, ergibt sich ein weiteres Muster eines bottom-up strukturierten pTA-Typs (TYP 3).

Tab. 1: Typen von partizipativer Technikfolgenabschätzung

Akteure	Bewertungsperspektive	Inhaltliche Rahmung	Kommunikation	pTA Verfahren
<i>Norm</i> - Maker	Angebot	Chancen / Risiken	top-down	Information Dialog Konsensbildung
<i>Norm</i> - Taker	Nutzer	Kosten / Nutzen	bottom-up	Sozialverträgliche Technikgestaltung
Zivilgesellschaft	System / Problemlösung	Sicherung von Gemeinschaftsgütern	bottom-up	transdisziplinäre Problembearbeitung Monitoring

Quelle: eigene Darstellung

In der Regel finden wir Verfahren, die top-down angelegt sind, bei denen Wissenschaftler und andere Experten mit Laien und Stakeholdern die Chancen und Risiken einer neuen Technologie abklären. Die Expertenseite besitzt, was das wissenschaftlich-technische Wissen bezüglich der zu bewertenden Technologie anbelangt, einen Wissensvorsprung, der auch durch die Beteiligung von «Gegenexperten», die von den Stakeholdern oder den Laien in manchen TA-Verfahren als zusätzliche Dialogteilnehmer benannt werden können, nicht kompensierbar ist. Selbst wenn sich die Veranstalter von partizipativen TA-Verfahren darum bemühen, durch die Betonung der Gleichgewichtigkeit der Teilnehmer bei der Technikbewertung die strukturelle Asymmetrie im Bereich des Expertenwissens zu kompensieren, so bleibt doch das Wissensgefälle bezüglich der Funktionsbedingungen der neuen Technologie bestehen.

Im Gegensatz zu top-down TA-Verfahren begegnen sich bei bottom-up Verfahren alle Beteiligten auf der gleichen Handlungsebene. Zur Bewältigung einer gemeinsamen Problemlage müssen neben wissenschaftlichen auch gesellschaftliche (soziale), wirtschaftliche, rechtliche und politische Leistungen erbracht werden und sind praktische Fähigkeiten (Beobachtungstätigkeit, Organisation) und Ressourcen (tradiertes Wissen) erforderlich. In die Kategorie der horizontalen Verfahren der pTA fallen Beteiligungsprojekte, wie die Planungszelle, Zukunftswerkstätten oder



auch Mediationsverfahren zwischen Befürwortern und Gegnern von Infrastrukturanlagen. Bei bottom-up strukturierten pTA-Verfahren wird nicht eine spezifische Technologie auf ihre Chancen und Risiken hin befragt. Im Zentrum stehen komplexe, anthropogen verursachte, wissenschaftlich, aber noch nicht hinreichend verstandene, gesellschaftliche Probleme, wie z. B. die abnehmende Biodiversität oder der Klimawandel, zu deren Bewältigung verschiedene, sich noch in der Entwicklung befindende technische Instrumente und Verfahren eingesetzt werden könnten, über deren Effektivität, Effizienz und gesellschaftliche Akzeptanz bislang noch kein Konsens besteht. Ziel horizontaler TA-Verfahren (bspw. der Planungszelle oder von partizipativer Technikgestaltung von Arbeitsplätzen) ist die Konzipierung eines konsensfähigen Lösungsraumes. Technologien und technische Systeme werden in bottom-up Projekten daraufhin geprüft, ob sie konsensfähige Strategien und Lösungen zur Bewältigung drängender betrieblicher, überbetrieblicher oder gesellschaftlicher Probleme bieten.

65

### **Wandel der Kontextbedingungen**

Unter veränderten Kontextbedingungen passen sich, trotz pfadabhängiger Stabilität, auch etablierte Regulierungsregime von Technologien (Rip & Kemp, 1998; Barben, 2007; Kuhlmann, 2010; Simonis, 2013) den sich wandelnden sozial-ökologischen und technologischen Verhältnissen an, allerdings jeweils mehr oder weniger erfolgreich. Im Politikfeld der gentechnisch basierten Biotechnologien zeichnet sich gegenwärtig ein Wandel der Rahmenbedingungen ab, der zu einer Modifikation des Technologieregimes sowie der gesellschaftlichen Konfliktformation, in die das Regime eingebettet ist, führen dürfte. Neben der schnellen Entwicklung neuer biologischer Erkenntnisse (Sauter et al., 2015; Sarewitz, 2015) und neuer Biotechnologien (u. a. CRISPER/Cas), die auch Gegenstand der Fachtagung Dialog Grün waren, wandeln sich insbesondere die ökologischen Verhältnisse auf dem Globus (u. a. Klimawandel, Verlust an Biodiversität, Degradation von Böden, Verschmutzung und Versauerung der Weltmeere) bei weiterhin zunehmender Weltbevölkerung und der Attraktion von Lebensstilen mit einem übergroßen ökologischen Fußabdruck, dies alles mit der Konsequenz, dass die Anforderungen an die Erträge der landwirtschaftlich nutzbaren Flächen weiter steigen, im globalen Süden die Regenwälder zunehmend bedroht sind und im industrialisierten Norden Grünflächen breitflächig versiegelt werden (OECD, 2012; IRP/UNEP, 2016; Westhoek et al., 2016).

Ein Beispiel muss hier zur Verdeutlichung des Drucks, unter den die Regime der Agrotechnologie und der Biotechnologie zunehmend gelangen, ausreichen: Im

Rahmen des im Dezember 2015 paraphierte Übereinkommens von Paris vereinbaren die 195 unterzeichnenden Staaten, dass die Klimaerwärmung deutlich unter 2 °C bleiben solle (Artikel 2/1(a), UNFCCC, 2015). Zur Umsetzung dieses Ziels soll in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts «Klimaneutralität» bei den Treibhausgas (THG)-Emissionen erreicht werden (Art. 4.1). Die EU hat vor dem Hintergrund dieser globalen (multilateralen) Beschlusslage die Selbstverpflichtung übernommen, bis Mitte des Jahrhunderts – das sind noch knapp 35 Jahre – die THG-Emissionen auf 80-95 % gegenüber dem Niveau von 1990 zu vermindern (Europäische Kommission, 2011; Council of the European Union, 2015). Würde dieses Ziel ohne Berücksichtigung der THG-Emissionen aus dem Bereich der Landnutzung (LULUCF: Land Use, Land-Use Change and Forestry) angestrebt, würden im Jahr 2050 etwa 70 % der THG-Emissionen der Union auf den Bereich der Landwirtschaft entfallen. Diese Zahl verdeutlicht, in welchem Umfang bereits heute die Agrarwirtschaft mit einem globalen THG-Anteil von ca. 11 % (Smith et al., 2014, S. 822 ff; Wollenberg et al., 2016) und der gesamte Sektor der Landnutzung mit einem Anteil von etwa 24 % nicht-nachhaltig betrieben werden.

Unter den aktuellen und sich ohne Gegenmassnahmen weiter verschlechternden Rahmenbedingungen gewinnt das neue Leitbild der «nachhaltigen Intensivierung» der Landwirtschaft (Garnett et al., 2013) an Zugkraft. Für seine Konkretisierung und Realisierung stellt sich nicht allein die innovationspolitische Frage, in welcher Weise die Agrarforschung und die neuen Biotechnologien zu dessen Ausarbeitung und Umsetzung einen Beitrag leisten könnten, sondern auch die politische Querschnitts-problematik, mit welchen politischen Programmen es gelingen könnte, nachhaltige agrotechnische Regime in Verbindung mit nachhaltigeren Konsumformen politisch und gesellschaftlich durchzusetzen. Der neue Kontext bedeutet für viele erprobte Technologien der Landnutzung eine schwere Herausforderung. Gleichzeitig eröffnen sich für die Entwicklung und Nutzung der neuen Biotechnologien große, in Politik und Gesellschaft bisher allerdings kaum wahrgenommene Chancen, sofern die Stakeholder, die Landwirte, die Konsumenten, die Naturschützer, also Gesellschaft und Politik insgesamt, von dem Nutzen und dem Nachhaltigkeitspotenzial der Anwendungsmöglichkeiten der neuen Biotechnologien überzeugt werden können (Niggli et al., 2016). Dazu müssten allerdings alte Konfliktlinien überwunden werden. Wie könnte das gelingen?

## Perspektiven für pTA in der Biotechnologie

In der Bundesrepublik Deutschland, aber auch in der Schweiz und in Österreich, hat die Durchführung von pTA-Verfahren nicht die Vorbehalte der Verbraucher, sowie insbesondere der Verbraucher- und Naturschutzverbände, gegenüber dem Nutzen der Anwendungsmöglichkeiten der Grünen Gentechnologie in der Landwirtschaft ausräumen können (Weitze & Pühler, u.a. 2012; van den Daele, 2012; Einsiedel, 2012). Abschliessend soll daher die Frage aufgeworfen werden, ob durch eine Neuausrichtung von pTA-Verfahren, und zwar im Sinne ihrer Horizontalisierung, von diesem Ansatz nicht doch ein Beitrag zur Versöhnung von Technik und Gesellschaft in diesem wichtigen Handlungsfeld geleistet werden könnte.

67

Wir erleben gegenwärtig, vor dem Hintergrund der sich abzeichnenden sozial-ökologischen Krise des Globus, eine sich verbreiternde Diskussion über die Einsatzmöglichkeiten transdisziplinärer Forschungsmethoden (Schneidewind & Singer-Brodowski, 2013; Bergmann, 2014; Bergmann, 2010; Wissenschaftsrat, 2015; Gethmann, 2015). Das Konzept der transdisziplinären Forschung zielt auf einen Forschungsansatz, bei dem komplexe gesellschaftliche Probleme von Vertretern unterschiedlicher Wissenschaftsdisziplinen gemeinsam mit Akteuren (Stakeholdern) aus Politik und Gesellschaft untersucht und auch praktisch bearbeitet werden (Bergmann, 2014). Zur Bewältigung drängender gesellschaftlicher Probleme werden aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse unterschiedlicher Disziplinen herangezogen und in der praktischen Erfahrung vertieft. Neueste technologische Instrumente werden hinsichtlich ihres möglichen Beitrags zur Problemlösung untersucht. Dabei wird der Nutzen neuer Technologien vor dem Hintergrund der Vermeidung oder wenigstens der Verminderung der Risiken für globale Gemeingüter bewertet. Die Abwägung zwischen zukünftigem individuellem Nutzen und gesellschaftlichen Risiken verschiebt sich hin zur stärkeren Gewichtung von Chancen und Möglichkeiten der Bewältigung bereits eingetretener und zukünftig drohender Problemlagen.

Sollte sich diese Beobachtung bestätigen, kann damit gerechnet werden, dass sich in horizontal und transdisziplinär ausgerichteten pTA-Verfahren zur nachhaltigen Gestaltung der (lokalen) Landnutzung und der «food security» die Bewertung gentechnisch gestützter Biotechnologien seitens der Laien und der gesellschaftlichen Stakeholder des Natur- und Verbraucherschutzes ändert. Sofern sich in der gemeinsamen Suche nach Lösungen für drohende oder bereits eingetretene Gefährdungen durch die Verwendung biotechnologischer Verfahren Lösungen abzeichnen, die

von konventionellen Verfahren nicht geleistet werden können, sollte sich auch ein langsamer Wandel der Einstellungen gegenüber dem Einsatz moderner biotechnologischer Verfahren in der Landwirtschaft/Landnutzung einstellen. Da sich die globalen Gefährdungspotentiale immer auch in spezifischen lokalen Ereignissen artikulieren, eignen sich transdisziplinäre Projekte wegen ihres hohen Kooperationsbedarfs für Untersuchungen im lokalen Raum. Besonders für gefährdete Ökosysteme (Alpenraum, exponierte Süd- und Trockenlagen, Flusstäler etc.) bieten sich transdisziplinäre Forschungsprojekte an, um die bisherigen Formen der Landnutzung auf den Prüfstand zu stellen. In der Tat ist in der Landwirtschaft ein immenser Forschungsbedarf entstanden (Europäische Kommission, 2016; DAFA, 2015a; DAFA 2015b), da tradierte Praktiken in Anbetracht der Herausforderungen (u.a. Artensterben, Klimawandel, Bodenerosion und -degradation, Nahrungsmittelbedarf, Bedarf für nachwachsende Rohstoffe) auf den Prüfstand gehören (Rockstrom et al., 2009; OECD, 2012; IPCC, 2014; Steffen et al., 2015).

Problemzentrierte transdisziplinäre Forschungsarbeiten im Bereich der Landnutzung, so auch im Bereich der Landwirtschaft, beziehen sich primär auf systemische Fragestellungen. Analysiert aus der Perspektive der im Jahre 2015 von der UN Vollversammlung verabschiedeten Ziele nachhaltiger Entwicklung (UN, 2015) und des EU-Nachhaltigkeitsprogramms (Council of the European Union, 2009) gelangt die Gesamtheit der Umweltleistungen eines lokalen Raumes in den Blickpunkt. Von den Landwirten und von allen Akteuren, die an der Raumordnung beteiligt sind, wird nun gefordert, dass nicht die Erträge von Monokulturen maximiert, sondern die Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Produktionssysteme optimiert werden. Das strategische Konzept der nachhaltigen Intensivierung der Landwirtschaft bezieht sich auf lokale Produktionssysteme unter Einbeziehung aller Umweltfaktoren (Biodiversität, Wasser) und nicht auf monokulturellen Pflanzenbau oder die hoch spezialisierte Massentierhaltung (Garnett et al., 2013; Campbell et al., 2014).

Die systemische Ausrichtung transdisziplinärer Forschung im Bereich der Landnutzung, speziell der Landwirtschaft, impliziert auch, dass in jedem Projekt eine größere Anzahl von Biotechnologien auf ihre Effektivität, Chancen, Risiken und Kosten befragt und verglichen werden. Damit ergibt sich für TA-Projekte eine interessante Perspektive. Die technologisch instrumentelle Ausrichtung transdisziplinärer Forschung lässt sich zum Ausgangspunkt systematischer Technikoptimierung für den lokalen Raum machen. Im Hinblick auf ihren Einsatz in landwirtschaftlichen Produktionssystemen müssten sich die neuen Biotechnolo-

gien im Vergleich zu anderen Technologien, z. B. des ökologischen Landbaus, und hinsichtlich ihrer Chancen und Risiken zur Sicherung ökologischer Nachhaltigkeit bewähren.

Im Unterschied zu den technikzentrierten, top-down ausgerichteten TA-Verfahren werden in horizontalen, problemzentrierten TA-Verfahren, die untersuchten Technologien primär hinsichtlich ihrer systemspezifischen Problemlösungskapazität analysiert, erprobt und bewertet. Für den Erfolg von bottom-up Verfahren ist die zu Beginn des Projektes stattfindende Problemanalyse der beteiligten Akteure von entscheidender Bedeutung. Wenn man sich bspw. darauf verständigt, dass die Erhaltung der lokalen Biodiversität und eine Verminderung der THG-Emissionen des untersuchten Produktionssystems und eine Steigerung seiner Resilienz gegenüber den Folgen des Klimawandels erreicht werden sollten, schränkt dieser Konsens die Auswahl verfügbarer Technologien zur Erhöhung der Intensität landwirtschaftlicher Produktion nicht unerheblich ein. Die Sicherung der sozial-ökologischen Stabilität (Resilienz) lokaler Lebensräume müsste auch in der auf Anwendungen in der Landwirtschaft orientierten Biotechnologie zu einem breit akzeptierten, handlungsleitenden Leitbild aufsteigen.

69

Horizontal und transdisziplinär angelegte TA-Verfahren im ländlichen Raum können an bereits etablierten Beteiligungsformen für die Generierung lokalen sozial-ökologischen Wissens anknüpfen, wie an Aktivitäten der lokalen Agendaprozesse (Born & Kreuzer, 2002; Haan et al., 2000; Kernitzky & Niederl, 2013), der Citizen Sciences (Hagner, 2012; Finke, 2014; Riesch & Potter, 2014; Ruiz-Mallen et al., 2016; Bonn et al., 2016), der Stadtplanung nach Umweltkatastrophen (z. B. in New York nach dem Wirbelsturm Sandy) oder der lokalen Infrastrukturplanung im Rahmen von Planungszellen (Dienel, 2002; Dienel et al., 2014). Tatsächlich wird vor allem auf der EU-Ebene, im Rahmen des Horizons 2020 Programms, über transdisziplinäre TA-Verfahren mit einer starken Beteiligungskomponente für das biotechnologische Handlungsfeld nachgedacht. Im Presto-Projekt (GMO-ERA-Net) wurden Kriterien zur Einbeziehung von Stakeholdern in biotechnologische Gestaltungsprojekte formuliert (Karner et al., 2015, Rauschen u.a. 2015). Das vom ITAS/Karlsruhe koordinierte SYNENERGENE-Projekt entwickelt auf der Basis horizontaler Kooperation Ideen für ein Leitbild der zukünftigen Nutzung der Ergebnisse und Methoden der synthetischen Biologie. Auf der Ebene der Bundesrepublik steuert das Thünen-Institut für ökologischen Landbau ein mehrjähriges Projekt mit vielen Partnern, das die Klimawirkungen und die Nachhaltigkeit von unterschiedlichen Landbausystemen miteinander vergleicht, wobei auf der systemischen

Handlungsebene der landwirtschaftlichen Betriebe immer zahlreiche Stakeholder zur Erfassung der Monitoringdaten zusammenwirken (Hülsbergen, 2014; Hülsbergen & Rahmann, 2015).

### Ein knappes Fazit

Für die Einrichtungen der Politikberatung mit dem Schwerpunkt Landnutzung, Landwirtschaft und Ökologie zeichnet sich ein neues Handlungsfeld für transdisziplinäre TA-Vorhaben ab. Damit jedoch partizipative Projekte transdisziplinärer TA-Verfahren einen realen Einfluss auf die biotechnologische Entwicklung erhalten, müssten ihre Anzahl ausgeweitet und die Stakeholder, vor allem die Landwirte, die Gemeinden und die Anbieter moderner biotechnologischer Produkte, von deren Nutzen überzeugt werden. Darüber hinaus müssten sie koordiniert und ihre Ergebnisse müssten unter Beteiligung der Stakeholder für die politischen Entscheidungsträger auf der lokalen wie auf der Bundes- und EU-Ebene wissenschaftlich und politisch ausgewertet werden. Auf diese Weise könnten der partizipativen Technikfolgenabschätzung in der Politikberatung neue Anwendungsmöglichkeiten erschlossen werden. Zwar gibt es keine Garantie, dass pTA im Rahmen multidisziplinärer Forschungs- und Gestaltungsprojekte zu einem breiten Konsens der Gesellschaft über die zukünftige Nutzung gentechnisch basierter Biotechnologien führt. Ein Beitrag zur zukünftigen Landnutzung würde aber auf jeden Fall geleistet. Um die «große Transformation» (WBGU, 2011) zur Bewältigung des Klimawandels und zur Verminderung der globalen Umweltrisiken im Rahmen demokratischer Verhältnisse politisch, wissenschaftlich-technisch und gesellschaftlich auch im Bereich der Landnutzung in Angriff zu nehmen, gibt es wohl kaum einen anderen als den beschwerlichen Weg der Aufklärung, der gemeinsamen Problemdefinition und der Kooperation mit lokalen Stakeholdern und Bürgern vor Ort.

70

#### LITERATUR

ABELS G., BORA A. (2004): Demokratische Technikbewertung. Bielefeld: transcript.

ABELS G., BORA A. (2013): Partizipative Technikfolgenabschätzung und -bewertung. In: Georg Simonis (Hrsg.), Konzepte und Verfahren der Technikfolgenabschätzung. Wiesbaden: Springer VS, 109–128.

ACATECH – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (2016): Technik gemeinsam gestalten. Frühzeitige Einbindung der Öffentlichkeit am Beispiel der Künstlichen Fotosynthese. München: Utz, Herbert.

ALEMANN U. VON, SCHATZ H., SIMONIS G. und u.a. (1992) Leitbilder sozialverträglicher Technikgestaltung. Ergebnisbericht des Projektträgers zum NRW-Landesprogramm «Mensch und Technik - Sozialverträgliche Technikgestaltung». Opladen: Westdt. Verlag.

- BARBEN D. (2007): Changing regimes of science and politics: comparative and transnational perspectives for a world in transition. *Science and Public Policy*, 13: 55–69.
- BECK S. (2009): Das Klimaexperiment und der IPCC. Schnittstellen zwischen Wissenschaft und Politik in den internationalen Beziehungen. Marburg: Metropolis.
- BENDER G. (2007): Wechselwirkung zwischen Technik und institutionellen Strukturen versus Technologieentwicklung als Institutionalisierungsprozess. In: Ulrich Dolata und Raymund Werle (Hrsg.), *Gesellschaft und die Macht der Technik. Sozioökonomischer und institutioneller Wandel durch Technisierung*. Frankfurt am Main: Campus-Verlag, 45–62.
- BERGMANN M. (2010): *Methoden transdisziplinärer Forschung. Ein Überblick mit Anwendungsbeispielen*. Frankfurt am Main [u.a.]: Campus-Verlag.
- BERGMANN M. (2014): *Transdisziplinäre Forschungsprozesse*. Lüneburg.
- BIERI A., GLOGGER B., HOFFMANN C., NÄGELI S. (2013): *Grüne Gentechnik in der Schweiz. Chancen nutzen, Risiken vermeiden, Kompetenzen erhalten*. Bern, Abschlussbericht des Nationalen Forschungsprogramms «Nutzen und Risiken der Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen» (NFP 59).
- BONN A., VOHLAND K. und u.a. (2016): *Grünbuch Citizen Science Strategie 2020 für Deutschland*. Berlin.
- BORA A. (2009): Wissenschafts- und Technikkonflikte in demokratischen Gesellschaften – Zur Bedeutung «alternativer» Verfahren in der Technikbewertung. In: Jörg Göpfert (Hrsg.), *Konfliktfelder beackern. Dialog- und Partizipationsverfahren bei fundamentalen Technikkonflikten am Beispiel der Grünen Gentechnik*. Berlin, Münster: Lit, 185–201.
- BORN M., KREUZER K. (2002): *Nachhaltigkeit Lokal. Lokale Agenda 21 in Deutschland. Eine Zwischenbilanz 10 Jahre nach Rio*. Bonn.
- BOYSEN M. (2012): Grüne Gentechnik: Konflikte mit Fortsetzung bei der synthetischen Biologie? In: Marc-Denis Weitze und Pühler, Alfred, u.a. (Hrsg.), *Biotechnologie-Kommunikation. Kontroversen, Analysen, Aktivitäten*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 15–64.
- CAMPBELL B. M., THORNTON P., ZOUGMORÉ R., VAN ASTEN P., LIPPER L. (2014): Sustainable intensification. What is its role in climate smart agriculture? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 8: 39–43.
- JOBST C. (2010): Ein lokaler Umweltkonflikt in Latenz: Grüne Gentechnik und Entwicklungspfade der Pflanzenbiotechnologie. In: Peter H. Feindt (Hrsg.), *Umwelt- und Technikkonflikte*. Wiesbaden: Springer VS, 163–180.
- COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION (2009): *Review of EU Sustainable Development Strategy. Presidency Report*. Brüssel.
- COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION (2015): *Intended Nationally Determined Contribution of the EU and its Member States*. Brüssel.
- CRUTZEN P. J. (2002): Geology of mankind. *Nature*, 415, 23. DOI: 10.1038/415023a.
- DAFA (2015a): *Ökologische Lebensmittelwirtschaft. Forschungsstrategie der DAFA*. Braunschweig.
- DAFA (2015b): *Grünland innovativ nutzen und Ressourcen schützen. Forschungsstrategie der Deutschen Agrarforschungsallianz*. Braunschweig.
- DAHINDEN U. (2009): Direkte Demokratie als ein Verfahren zur Konfliktbearbeitung? Die Gentechnologiedebatte in der Schweiz. In: Jörg Göpfert (Hrsg.), *Konfliktfelder beackern. Dialog- und Partizipationsverfahren bei fundamentalen Technikkonflikten am Beispiel der Grünen Gentechnik*. Berlin, Münster: Lit, 153–167.
- DIENEL H.-L. (Hrsg.) (2014): *Die Qualität von Bürgerbeteiligungsverfahren. Evaluation und Sicherung von Standards am Beispiel von Planungszellen und Bürgergutachten*. Stuttgart: Steiner, Franz.
- DIENEL P.C. (2002): *Die Planungszelle. Der Bürger als Chance ; mit Statusreport 2002*. Wiesbaden: Westdt. Verlag.
- DOLATA U. (2011): *Wandel durch Technik. Eine Theorie soziotechnischer Transformation*. Frankfurt am Main: Campus.

- DOLATA U., SCHRAPE J.-F. (2013): Zwischen Individuum und Organisation. Neue kollektive Handlungskonstellationen im Internet. Stuttgart.
- DOLATA U., WERLE R. (2007): Bringing technology back in: Technik als Einflussfaktor sozioökonomischen und institutionellen Wandels. In: Ulrich Dolata und Raymund Werle (Hrsg.), Gesellschaft und die Macht der Technik. Sozioökonomischer und institutioneller Wandel durch Technisierung. Frankfurt am Main: Campus-Verl., 15–43.
- EINSIDEL E. (2012): The landscape of public participation on biotechnology. In: Marc-Denis Weitze und Pühler, Alfred, u.a. (Hrsg.), Biotechnologie-Kommunikation. Kontroversen, Analysen, Aktivitäten. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 379–412.
- EUROBAROMETER (2010): Biotechnology. Report. Cambridge.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (2011): Energiefahrplan 2050. Brüssel.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (2016): Designing the path. A strategic approach to EU agricultural research & innovation. Conference report. Brüssel.
- FINKE P. (2014): Citizen Science. Das unterschätzte Wissen der Laien. München: oekom verlag.
- GARNETT T., APPLEBY M. C., BALMFORD A., BATEMAN I. J., BENTON T. G., BLOOMER P., BURLINGAME B., DAWKINS M., DOLAN L., FRASER D., HERRERO M., HOFFMANN I., SMITH P., THORNTON P. K., TOULMIN C., VERMEULEN S. J., GODFRAY H. C. J. (2013): Sustainable intensification in agriculture: premises and policies. *Science*, 341: 33–34.
- GETHMANN C. F. (2015): Interdisciplinary research and transdisciplinary validity claims. Cham: Springer.
- GILL B. (1991): Gentechnik ohne Politik. Wie die Brisanz der Synthetischen Biologie von wissenschaftlichen Institutionen, Ethik- und anderen Kommissionen systematisch verdrängt wurde. Frankfurt/New York: Campus
- GILL B. (2012): Utilitaristische Motive der Kritik - Warum die Europäischen Bauern mehrheitlich nicht so begeistert von der Gentechnik sind. In: Marc-Denis Weitze und Pühler, Alfred, u.a. (Hrsg.), Biotechnologie-Kommunikation. Kontroversen, Analysen, Aktivitäten. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 65–68.
- GLOEDE F. (1995): Technology Policy, Technology Assessment and Participation. In: René v. Schomberg (Hrsg.), Contested technology. Ethics, risk and public debate. Tilburg: International Centre for Human and Public Affairs, 119–142.
- GÖPFERT J. (Hrsg.) (2009): Konfliktfelder beackern. Dialog- und Partizipationsverfahren bei fundamentalen Technikkonflikten am Beispiel der Grünen Gentechnik. Berlin, Münster: Lit.
- GRIMM H., SCHLEISSING S. (Hrsg.) (2012): Grüne Gentechnik. Zwischen Forschungsfreiheit und Anwendungsrisiko. Baden-Baden: Nomos.
- GRUNWALD A. (2000): Partizipative Technikfolgenabschätzung – wohin? Einführung in den Schwerpunkt. *Zeitschrift des ITAS zur Technikfolgenabschätzung (TATuP)*, 9: 3–11.
- GRUNWALD A. (2010): Technikfolgenabschätzung – eine Einführung. Berlin: Ed. Sigma.
- HAAN G. DE, KUCKARTZ U., RHEINGANZ-HEINKE A. (2000): Bürgerbeteiligung in Lokale Agenda 21 - Initiativen. Opladen: Leske + Budrich.
- HAGNER M. (2012): Wissenschaft und Demokratie. Berlin: Suhrkamp.
- HAMPEL J. (2012): Risiko in der Debatte um die Grüne Gentechnik: Zur Klärung der Divergenz von Experten- und Laieneinschätzung. In: Grimm, Herwig, Schleissing, Stephan (Hrsg.), Grüne Gentechnik. Zwischen Forschungsfreiheit und Anwendungsrisiko. Baden-Baden: Nomos, 133–149.
- HAMPEL J., TORGERSEN H. (2010): Der Konflikt um die Grüne Gentechnik und seine regulative Rahmung. Frames, Gates und die Veränderung der europäischen Politik zur Grünen Gentechnik. In: Peter H. Feindt (Hrsg.), Umwelt- und Technikkonflikte. Wiesbaden: Springer VS, 143–162.



HENNEN L. (1999): Partizipation und Technikfolgenabschätzung. In: Stephan Bröchler (Hrsg.), Handbuch Technikfolgenabschätzung. Berlin: Ed. Sigma, 565–571.

HÜLSBERGEN K.-J. (2014): Perspektiven des ökologischen Landbaus - Beitrag der Agrarforschung. Präsentation. Berlin. Hülsbergen, Kurt-Jürgen und Gerold Rahmann (Hrsg.). 2015. Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme - Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben. Forschungsergebnisse 2013–2014. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut.

IPCC (2014): Climate change 2014. Synthesis Report: Genf.

IRP/UNEP (2016): Unlocking the sustainable potential of land resources: evaluation systems, strategies and tools. A report of the Working Group on Land and Soils of the International Resource Panel. Paris: UNESCO.

JANN W., WEGRICH K. (2009): Phasenmodelle und Politikprozesse: Der Policy Cycle. In: Klaus Schubert (Hrsg.), Lehrbuch der Politikfeldanalyse 2.0. München: Oldenbourg, 75–113.

JOSS S., BELLUCI S. (Hrsg.) (2002): Participatory technology assessment. European perspectives. London: Center for the Study of Democracy.

KARNER S., ADDUCI G., RACOVITA M. SPÖK A. (2015) Stakeholder involvement strategy for the implementation phase of the ERA-Net.

KERNITZKYI M., NIEDERL A., KULMER V. und u.a. (2013): Ökonomische Wirkungsanalyse der Lokalen Agenda 21 Prozesse in Österreich. Graz/Wien.

73

KUHLMANN S. (2010): TA als Tanz: Zur Governance technologischer Innovation. Neue Aufgaben des Technology Assessment. In: Georg Aichholzer (Hrsg.), Technology Governance. Der Beitrag der Technikfolgenabschätzung. Berlin: Edition Sigma, 41–57.

MAYNTZ R. (2006): Die Organisation wissenschaftlicher Politikberatung in Deutschland. In: Heidelberger Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), Politikberatung in Deutschland. Wiesbaden: Springer VS, 115–122.

MEYER R. (2012): Grüne Gentechnik im Kontext landwirtschaftlicher Entwicklung – Reflexion gesellschaftlicher Kontroversen durch Technikfolgenabschätzung. In: Grimm, Herwig, Schleissing, Stephan (Hrsg.), Grüne Gentechnik. Zwischen Forschungsfreiheit und Anwendungsrisiko. Baden-Baden: Nomos, 369–386.

MOOS T. (2009): Der Konflikt um die Grüne Gentechnik in den neuen Bundesländern. In: Jörg Göpfert (Hrsg.), Konfliktfelder beackern. Dialog- und Partizipationsverfahren bei fundamentalen Technikkonflikten am Beispiel der Grünen Gentechnik. Berlin, Münster: Lit, 19–43.

NIGGLI U., WILLER H., BAKER B. P. (2016): A global vision and strategy for organic farming research. Frick.

OECD (2012): OECD Environmental outlook to 2050: OECD Publishing.

OTTO D. (2015): Potenziale und Grenzen von epistemic communities. Eine Analyse des Weltklimas und der Klimarahmenkonvention. Münster: Lit.

PETERMANN T. (1999): Einführung: Technikfolgen-Abschätzung - Konstituierung und Ausdifferenzierung eines Leitbildes. In: Stephan Bröchler (Hrsg.), Handbuch Technikfolgenabschätzung. Berlin: Ed. Sigma, 17–49.

RAUSCHEN S. und u.a. (2015): Strategic implementation plan for an ERA-Net on GMO impact research.

RIESCH H., POTTER C. (2014): Citizen science as seen by scientists: Methodological, epistemological and ethical dimensions. *SAGE Journals. Public Understanding of Science*, 23: 107–120.

RIP A. (2007): Die Verzahnung von technologischen und sozialen Determinanten und die Ambivalenzen von Handlungsträgerschaft im «Constructive Technology Assessment». In: Ulrich Dolata und Raymund Werle (Hrsg.), Gesellschaft und die Macht der Technik. Sozioökonomischer und institutioneller Wandel durch Technisierung. Frankfurt am Main: Campus-Verl., 83–104.

RIP A., KEMP R. (1998): Technological change. In: Steve Rayner und Elizabeth L. Malone (Hrsg.), Human choice and climate

change. Columbus, OH: Batelle Press, 327–399.

ROCKSTROM J., STEFFEN W., NOONE K., PERSSON A., F. STUART 3RD CHAPIN, ERIC F. LAMBIN, TIMOTHY M. LENTON, SCHEFFER M., FOLKE C., SCHELLNHUBER H.J., NYKVIST B., DE WIT C.A., HUGHES T., VAN DER LEEUW S., RODHE H., SORLIN S., SNYDER P.K., COSTANZA R., SVEDIN U., FALKENMARK M., KARLBERG L., CORELL R.W., FABRY V.J., HANSEN J., WALKER B., LIVERMAN D., RICHARDSON K., CRUTZEN P., FOLEY J.A. (2009): A safe operating space for humanity. *Nature*, 461: 472–475.

RUIZ-MALLEN I., RIBOLI-SASCO L., RIBRAULT C., HERAS M., LAGUNA D. PERIE L. (2016): Citizen science: toward transformative learning. *SAGE Journals. Science Communication*, 38 (4). DOI: 10.1177/1075547016642241.

SAALBACH K-P. (2008): Analyse der Wirkung des technischen Wandels auf die Politik am Beispiel der Gen- und Biotechnologie. Osnabrück: Koentopp.

SAREWITZ D. (2015): CRISPR: Science can't solve it. *Nature*, 522: 413–414.

SAUTER A., ALBRECHT S. und u.a. (2015): Synthetische Biologie - die nächste Stufe der Bio- und Gentechnologie. Berlin.

SCHARPF F. W. (1997): Games real actors play. Actor-centered institutionalism in policy research. Boulder/Oxford: Westview Press.

SCHNEIDEWIND, UWE UND MANDY SINGER-BRODOWSKI. 2013. Transformative Wissenschaft. Klimawandel im deutschen Wissenschafts- und Hochschulsystem. Marburg: Metropolis Verlag

SIMONIS G. (2013): Technology governance. In: Georg Simonis (Hrsg.), Konzepte und Verfahren der Technikfolgenabschätzung. Wiesbaden: Springer VS, 161–186.

SMITH P., BUSTAMANTE M. und u.a. (2014): Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: IPCC (Hrsg.), Climate change 2014: mitigation of climate change. Contribution of WG III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge: Cambridge University Press, 811–922.

STEFFEN W., RICHARDSON K., ROCKSTROM J., CORNELL S.E., FETZER I., BENNETT E.M., BIGGS R., CARPENTER S.R., DE VRIES W., DE WIT C.A., FOLKE C., GERTEN D., HEINKE J., MACE G.M., PERSSON L.M., RAMANATHAN V., REYERS B., SÖRLIN S. (2015): Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. *Science*, 347: 1259855. DOI: 10.1126/science.1259855.

STREECK W. (2009): Re-forming capitalism. Institutional change in the German political economy. Oxford, UK: Oxford University Press.

STREECK W., THELEN K. A. (2005): Introduction: Institutional change in advanced political economies. In: Wolfgang Streeck und Kathleen A. Thelen (Hrsg.), Beyond continuity. Institutional change in advanced political economies. Oxford, New York: Oxford University Press, 1–39.

STRIEGNITZ M. (2009): Diskursive Verfahren in einer verfahrenen Situation? Perspektiven zur Weiterführung der Diskussion über Grüne Gentechnik. In: Jörg Göpfert (Hrsg.), Konfliktfelder beackern. Dialog- und Partizipationsverfahren bei fundamentalen Technikkonflikten am Beispiel der Grünen Gentechnik. Berlin, Münster: Lit, 203–221.

UN (2015): Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development.

UNFCCC (2015): Adoption of the Paris Agreement. Paris.

VAN DEN DAELE W. (2012): Grenzen der Konfliktlösung durch Dialog: Wäre die Blockade der grünen Gentechnik in Europa durch bessere Wissenschaftskommunikation vermeidbar gewesen? In: Marc-Denis Weitze und Pühler, Alfred, u.a. (Hrsg.), Biotechnologie-Kommunikation. Kontroversen, Analysen, Aktivitäten. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 413–426.

WBGU (2011): Welt im Wandel: Gesellschaftsvertrag für eine grosse Transformation. [Hauptgutachten]. Berlin: Wiss. Beirat d. Bundesregierung Globale Umweltveränderungen.

WEINGART P., LENTSCH J. (2008): Wissen, Beraten, Entscheiden. Form und Funktion wissenschaftlicher Politikberatung in Deutschland. Weilerswist: Velbrück.

WEINGART P., WAGNER G. G. (Hrsg.) (2015): Wissenschaftliche Politikberatung im Praxistest. Weilerswist: Velbrück.

WEITZE M-D., GRUNWALD A., PÜHLER A., HECKL W. M. (2016): Kommunikation Neuer Technologien. Das Beispiel Biotechnologie. *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis*, 25: 48–57.

WEITZE M-D., PÜHLER A., u.a. (Hrsg.) (2012): *Biotechnologie-Kommunikation. Kontroversen, Analysen, Aktivitäten*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.

WESTHOEK H., INGRAM J., BERKUM S. VAN, HAJER M. (2016): *Food systems and natural resources*. Nairobi: United Nations Environment Programme.

WISSENSCHAFTSRAT (2015): *Zum wissenschaftspolitischen Diskurs über grosse gesellschaftliche Herausforderungen*. Köln.

WOLLENBERG, E., RICHARDS M., SMITH P., HAVLIK P., OBERSTEINER M., TUBIELLO F.N., HEROLD M., GERBER P., CARTER S., REISINGER A., VUUREN D. VAN, DICKIE A., NEUFELDT H., SANDER B. O., WASSMANN R., SOMMER R., AMONETTE J. E., FALCUCCI A., HERRERO M., OPIO C., ROMAN-CUESTA R., STEHFEST E., WESTHOEK H., ORTIZ-MONASTERIO I., SARKOTA T., RUFINO M. C., THORNTON P. K., VERCHOT L., WEST P. C., SOUSSANA J-F., BAEDEKER T., SADLER M., VERMEULEN S., CAMPBELL B. M. (2016): Reducing emissions from agriculture to meet the 2 degrees °C target. *Global change biology*, 22 (12): 3859–3864.

# Transformative Forschung und das Konzept der Technikzukünfte

Armin Grunwald

## Überblick und Gedankengang

In der transformativen Wissenschaft wird die Rolle der Wissenschaften gegenüber ihrem klassischen Selbstbild erweitert und ihre Funktion in der Transformation der Gesellschaft Richtung nachhaltige Entwicklung betont. In ihren technischen Disziplinen hat Wissenschaft immer schon transformativ gewirkt, indem sie den technischen Fortschritt betrieben und ihn für die Transformation der agrarischen Gesellschaft zu einer Industriegesellschaft nutzbar gemacht hat. Während diese Prozesse bislang hauptsächlich zwischen den Technikwissenschaften und der Wirtschaft abgelaufen sind, ist der Anspruch der transformativen Wissenschaft, die relevanten Prozesse der Meinungsbildung und Entscheidung über die Agenda der Wissenschaften und die Nutzung ihrer Ergebnisse zur Bewältigung der *grand challenges* in einer transparenten Weise unter Beteiligung weiterer Kreise der Gesellschaft zu betreiben. Das Konzept der Technikzukünfte bietet sich in diesem Zusammenhang als Medium von Zukunftsdebatten und Technikgestaltung an, weil es die gesellschaftliche Auseinandersetzung mit zukünftigen Technologien bereits in frühen und damit der Gestaltung offenen Stadien der Technikentwicklung erlaubt. Diese Möglichkeit schafft die Relation zum Thema der Technikakzeptanz. Hier kann es zwar nicht unmittelbar um die Akzeptanz einzelner Technologien gehen, aber durch frühzeitige und offene Kommunikation um Vertrauen in den Gestaltungsprozess selbst, also um eine Akzeptanz *zweiter Ordnung*. Dies wird anhand eines Fallbeispiels zur Künstlichen Fotosynthese erläutert.

76

## Transformative Forschung

Eine relativ junge Form des Zusammenwirkens von Wissenschaft und Praxis stellt die *transformative Forschung* dar (Schneidewind & Singer-Brodowski, 2013).

«Transformative Wissenschaft versteht sich dabei als eine Wissenschaft, die als Katalysator für gesellschaftliche Veränderungsprozesse wirkt [...]. Der Begriff der transformativen Wissenschaft lehnt sich an die vom WBGU (2011) geprägte Definition einer «transformativen Forschung» an. Transformative Wissenschaft ist demnach eine Wissenschaft, die «Umbaupro-

zesse durch spezifische Innovationen [...] befördert. Sie unterstützt Transformationsprozesse konkret durch die Entwicklung von Lösungen sowie technischen und sozialen Innovationen; dies schliesst Verbreitungsprozesse in Wirtschaft und Gesellschaft sowie die Möglichkeiten zu deren Beschleunigung ein und erfordert zumindest in Teilen systemische Betrachtungsweisen sowie inter- und transdisziplinäre Vorgehensweisen, darunter die Beteiligung von Stakeholdern» (WBGU 2011, S. 374).

Es wird damit die Rolle der Wissenschaft als eines Praxisakteurs betont. Wissenschaft soll nun auch aktiv in das Geschehen eingreifen und Veränderungsprozesse nicht nur forschend, reflektierend und beratend in engem Kontakt zur Praxis begleiten, sondern diese auf der normativen Grundlage der Nachhaltigkeit und der Verantwortung aktiv betreiben.

### Das Konzept der Technikzukünfte

77

Die moderne Gesellschaft betreibt ihre Weiterentwicklung seit der industriellen Revolution und der Durchsetzung der technik- und innovationsabhängigen industriellen Mobilitäts- und Konsumgesellschaft hauptsächlich im Medium der Technik. Der wissenschaftlich-technische Fortschritt und die damit verbundenen Möglichkeiten, aber auch seine Grenzen, Rückschläge und die nicht intendierten Folgen prägen gesellschaftliche Debatten. Gemeinsam ist ihnen, dass sie, sobald sie beginnen über Gestaltung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts nachzudenken, nicht umhin können, sich mit *Technikzukünften* zu befassen (acatech, 2012; Grunwald, 2012). Diese prägen das Entwicklungshandeln in den Ingenieurwissenschaften und gehen in die Vorstellungen einer zukünftigen Gesellschaft ein, z. B. über die Erwartungen an erheblich höhere Ressourceneffizienz. Zukünfte werden «um Technik herum» konstruiert und verbreitet, z. B. in Form der Visionen und Utopien der Nanotechnologie, als Zukünfte der Energieversorgung oder als Zukunftsvisionen des Verhältnisses von Mensch und Natur.

Technikzukünfte wandern in die gesellschaftlichen Debatten hinein, initiieren, strukturieren und rahmen Chancen- und Risikokommunikation, beeinflussen öffentliche Technikwahrnehmung, Forschungsförderung und politische Entscheidungen. Technikgestaltung benötigt Bewertung und Bewertungen benötigen Vorstellungen der zukünftigen Entwicklungen – Ziele, Potentiale, Szenarien, Risiken etc. – im Kontext der jeweiligen Technik – sie muss also mit Technikzukünften arbeiten. Technikzukünfte stellen damit einen gemeinsamen Bezugsrahmen für Bewertungen und Gestaltungsansätze aus den unterschiedlichsten Gebieten dar, von der Philosophie bis hin zu den Ingenieurwissenschaften, aber auch transdisziplinär

in die Gesellschaft hinein (Grunwald, 2012).

Beispiele für Technikzukünfte sind etwa die von Wernher von Braun mit großem Erfolg gesellschaftlich verbreiteten und an sehr unterschiedliche politische Auftraggeber adressierten Raumfahrtzukünfte, die Vision einer Energieüberflussesgesellschaft (früher mit Kernenergie als Hoffnungsträger, heute mit den erneuerbaren Energien), neue Mensch/Maschine-Schnittstellen (z. B. im *human enhancement* oder in der Robotik), das Versprechen der Sicherung der Welternährung durch genetisch veränderte Nahrungsmittel (GMO) sowie die Aussicht auf technisch optimierte Organismen für Biomasseerzeugung in der synthetischen Biologie. Neben diesen positiv gemeinten Zukunftsvorstellungen gehören aber auch düstere Zukunftsbilder in das Spektrum, wie z. B. der Kontrollverlust des Menschen (Joy, 2000).

Im Zusammenhang mit Akzeptanz ist besonders interessant, dass diese Technikzukünfte in der Regel in sehr frühen Entwicklungsstadien von Technik entstehen und dann auch direkt als Medium des Dialogs mit der Gesellschaft genutzt werden können. Offene Kommunikation in frühen Stadien von Technikdebatten kann, so die Erwartung, vor möglichen kommunikativen Verhärtungen schützen und Gestaltungsmöglichkeiten eröffnen (acatech, 2012; Grunwald, 2012). Eine Diskussion mit Bürger/innen und Stakeholdern kann stattfinden, ohne dass schon konkrete Interessen berührt sind oder Vormeinungen bestehen. Für die Wissenschaft ergibt sich dadurch die Möglichkeit der aktiven Aufnahme von Anregungen und Fragen aus der ausserwissenschaftlichen Welt. Ein offener und transparenter Dialog zwischen Wissenschaft und Gesellschaft würde die gesamte Entwicklung von ihren Anfängen an begleiten, so dass eine nachträgliche Akzeptanzbeschaffung an deren Ende (die sowieso nicht möglich ist, s.u.) nicht erforderlich wäre.

78

### Das Beispiel der Künstlichen Fotosynthese<sup>1</sup>

Zur Biotechnologie-Kommunikation wurden in den vergangenen Jahren immer neue Formate erprobt, die dem Dialog zwischen Wissenschaft und Gesellschaft dienen sollen. Neben Informationsangeboten auf Papier, im Fernsehen und Internet sind dies beispielsweise Dialogveranstaltungen wie Bürgerkonferenzen oder Ausstellungen mit Besucherlaboren. Trotz allem ist Akzeptanz für Grüne Gentechnik in Deutschland bis heute nicht gegeben, obwohl von einer generellen Technikfeindlichkeit nicht die Rede sein kann (acatech, 2011).

<sup>1</sup> Dieses Kapitel folgt eng der Darstellung in Weitzte et al. 2016. Vgl. ausführlicher den entsprechenden acatech IMPULS (acatech, 2016).

Im Projekt «Künstliche Fotosynthese – Entwicklung von Technikzukünften» der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech) wurde eruiert, wie die Öffentlichkeit in die Entwicklung von Technikzukünften (acatech, 2012) einbezogen werden kann. Als Innovationsfeld wurde die «Künstliche Fotosynthese» gewählt. Vor dem Hintergrund eines wachsenden globalen Energiebedarfs, schwindender fossiler Energieträger und dem Wunsch, die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren, verspricht die «Künstliche Fotosynthese», zum Energiemix der Zukunft einen wichtigen Beitrag leisten zu können. Nach dem Vorbild der Pflanzen nutzt sie Sonnenlicht, um aus Wasser und CO<sub>2</sub> energiereiche Verbindungen oder elektrische Energie bereitzustellen.

79

Verschiedene biobasierte Ansätze der «Künstlichen Fotosynthese» werden verfolgt, deren technischen Realisierungsmöglichkeiten bislang allenfalls in Ansätzen erkennbar sind. So könnte der Wirkungsgrad des natürlichen fotosynthetischen Systems erhöht werden, etwa mittels Gentechnik oder Synthetischer Biologie. Als ergänzend können Ansätze der lichtabhängigen Metallkatalyse betrachtet werden, bei denen CO<sub>2</sub> etwa durch Fotokatalyse zu Methanol reduziert wird. Eine technische Nutzung liegt in weiter Ferne.

Im Unterschied etwa zu Kernenergie und Grüner Gentechnik handelt es sich bei der «Künstlichen Fotosynthese» um ein durch Kontroversen bzw. verfestigte Meinungsbilder noch nicht vorbelastetes Feld. Jedoch können durch den möglichen Einsatz von Gentechnik oder Schwermetall-Katalysatoren auch kontroverse umweltrelevante und ethische Fragen erwachsen.

Um die «Künstliche Fotosynthese» in ihrem frühen Forschungsstadium für interessierte Bürger verständlich zu machen, entwarf die Projektgruppe unterschiedliche Technikzukünfte. Forschungsergebnisse, -themen und Erwartungen wurden journalistisch in Geschichten über eine mögliche gesellschaftliche Zukunft mit «Künstlicher Fotosynthese» übersetzt. Die Technikzukünfte zur «Künstlichen Fotosynthese» drehen sich um Mikroalgen und Wasserlinsen, die als grüne Zellfabriken energiereiche Stoffe produzieren; oder um Nanokügelchen, die in einem elektrokatalytischem Prozess aus Wasser und CO<sub>2</sub>-haltigen Industrieabgasen energiereiches Methangas herstellen. Eine weitere Technikzukunft beschreibt transparente organische Solarzellen, die als Baumaterialien aus Gebäudefassaden ein Kraftwerk zur Stromproduktion machen. Auf verschiedenen Dialogveranstaltungen stellte acatech diese Technikzukünfte interessierten Laien, Studierenden sowie Schülern vor und diskutierte sie mit ihnen. Die Formate reichten von Science Cafés über ein Seminar bis hin zum Comic-Workshop, bei dem die Teilnehmer ihre Vorstellungen in Zeichnungen visualisierten.

Die Projektgruppe lernte die Anregungen, Wahrnehmungen und Kritik der Teilnehmer kennen, ebenso ihre Einschätzung der Chancen und Risiken der Künstlichen Fotosynthese. Befürchtungen betrafen die Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen, kritische Fragen den Wirkungsgrad und die Wirtschaftlichkeit der Technologie. Auch der Wasser- und Energieverbrauch sowie der Einsatz von Dünger wurden skeptisch betrachtet. Als Chance bewerteten die Teilnehmer die Verwendung von Industrieabgasen (nach Weitze et al., 2016).

Der Ansatz der Technikzukünfte hat sich in den Dialogformaten bewährt. Die Geschichten eröffneten den Teilnehmern einen Zugang zur «Künstlichen Fotosynthese», machten die Technologie für Laien verständlich und dienten als Ausgangspunkt für Diskussionen. Dies ist insbesondere deswegen erwähnenswert, weil eine häufige Befürchtung, dass Beteiligungsformate erst dann auf Interesse stoßen, wenn konkrete Interessen berührt sind, hier widerlegt werden konnte. Damit wurde ein Anfang für einen konstruktiven Dialog gesetzt – nicht mehr aber auch nicht weniger.

### **Akzeptanz zweiter Ordnung**

Akzeptanz kann man entgegen der häufigen Wortverwendung und auch entgegen entsprechenden Erwartungen weder beschaffen noch erzeugen. Akzeptanz stellt sich ein oder auch nicht. Freilich sind Bedingungen beeinflussbar, die der Akzeptanz mehr oder weniger förderlich sind. Dabei ist daran zu denken, dass Akzeptanzprobleme häufig gar nicht an die Technik gebunden sind, sondern an deren gesellschaftlicher Einbettung (z. B. Stuttgart21), etwa weil die Bevölkerung mit der Information und Einbindung unzufrieden ist.

Auch muss beachtet werden, dass individuelle Abwägungen in der Akzeptanz der Bevölkerung eine große Rolle spielen. Häufig geht es um ganz konkrete Fragen nach dem Nutzen und Risiko *für mich*. Demgegenüber blenden politische oder wissenschaftliche Positionen diese Ebene oft aus und verweisen z. B. auf abstrakte volkswirtschaftliche Argumente. Diese erreichen aber die Ebene der individuellen Abwägungen gar nicht.

So gesehen könnte man die Akzeptanzverweigerung gegenüber der Grünen Gentechnik in gewisser Weise rational nennen: die Vorteile sind abstrakt und kommen, so die Wahrnehmung, Volkswirtschaften und Konzernen zugute, während eventuelle Risiken beim Verbraucher landen würden.

Akzeptanzkonflikte sind oft auch Konflikte um Technikzukünfte – was werden die Folgen bestimmter Technologien sein und für wen werden sie was bedeuten? Die transformative Wissenschaft thematisiert Technikzukünfte partizipativ bereits



in sehr frühem Stadium. Damit kann Akzeptanz für Forschung, Technik oder konkrete Produkte nicht «geschaffen» werden. Aber, durch offenen und transparenten Dialog «auf Augenhöhe» wird Vertrauen aufgebaut. Durch dieses Vertrauen kann es Veränderungen im gesellschaftlichen Klima kommen: Dialog und Kooperation statt Konfrontation, Ko-Design von Technik statt nachträglicher Behebung von Akzeptanzproblemen. Dies wäre eine «Akzeptanz zweiter Ordnung»: Akzeptanz einer gesellschaftlichen Arbeitsteilung im Vertrauen darauf, dass ein offener Dialog über Chancen und Risiken geführt wird. Dieses Vertrauen freilich muss erworben und sorgsam gehütet werden.

#### LITERATUR

81

ACATECH – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (2011): Akzeptanz von Technik und Infrastrukturen. Anmerkungen zu einem aktuellen gesellschaftlichen Problem (acatech Position). Heidelberg.

ACATECH – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (2012): Technikzukünfte. Vorausdenken – Erstellen – Bewerten (acatech Impuls). Heidelberg.

ACATECH – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (2016): Technik gemeinsam gestalten. Frühzeitige Einbindung der Öffentlichkeit am Beispiel der Künstlichen Fotosynthese. (acatech Impuls). Heidelberg.

GRUNWALD A. (2012): Technikzukünfte als Medium von Zukunftsdebatten und Technikgestaltung. KIT Scientific Publishing, Karlsruhe.

JOY B. (2000): Act now to keep new technologies out of destructive hands. *New Perspectives Quarterly*, 17(3): 12–14.

SCHNEIDEWIND U., SINGER-BRODOWSKI M. (2013): Transformative Wissenschaft. Klimawandel im deutschen Wissenschafts- und Hochschulsystem. Marburg: Metropolis.

WBGU - Wissenschaftlicher Beirat für Globale Umweltveränderungen (2011): Welt im Wandel: Gesellschaftsvertrag für eine grosse Transformation. Berlin: WBGU.

WEITZE M.-D., GRUNWALD A., PÜHLER A., HECKL W.M. (2016): Kommunikation Neuer Technologien. Das Beispiel Biotechnologie. *Technikfolgenabschätzung - Theorie und Praxis*, 25: 48–57.

# Podiumsdiskussion



# Zusammenfassung der Podiumsdiskussion

*Liselotte Selter und Manuela Dahinden*

Im Anschluss an die Referate folgte eine Podiumsdiskussion unter dem Titel: Wie kann Partizipation in der Forschungsgestaltung eingesetzt werden und wie beeinflusst dies die Akzeptanz der erarbeiteten Erkenntnisse? Podiumsgäste waren Frau Dr. Isabel Hunger-Glaser, Geschäftsführerin der Eidg. Fachkommission für Biologische Sicherheit, Dr. Sergio Bellucci, Geschäftsleiter von TA-SWISS, Dr. Jörg Romeis, Forschungsgruppenleiter für Biosicherheit am Agroscope, David Brugger, Leiter des Geschäftsbereich Pflanzenbau vom Schweizerischen Bauernverband und Michel Rudin, Gesellschafts- und Konsumexperte.

Matthias Holenstein, Geschäftsleiter der Stiftung Risiko-Dialog, eröffnete als Moderator die Diskussion mit der Frage: Welche der vorgestellten Themen erfordern eine Debatte? Frau Hunger-Glaser verwies auf Genom-Editierung und betonte, dass in erster Linie Wissen in der Lage sei, Vertrauen zu schaffen. Ihrer Ansicht nach, wäre es wichtig mehr, besser und verständlicher zu kommunizieren und aufzuzeigen, dass Genom-Editierung nicht zwingend mit GVO gleichzusetzen ist. Wie bei jeder anderen Technologie käme es darauf an, zu hinterfragen, wozu die Technologie verwendet und genutzt wird. Genau diese Punkte sollten der Gesellschaft besser kommuniziert werden. Herr Bellucci betonte, dass diese Kommunikation bereits früh beginnen und nicht lediglich aus Information und Aufklärung bestehen sollte. Viel wichtiger sei ein Dialog auf gleicher Augenhöhe. Man müsse verstehen, welche Themen und Fragen für die Gesellschaft von Bedeutung sind, und insbesondere, auch mitschwingende Emotionen wahr- und ernstnehmen. Damit eine Technologie Anklang findet, muss jeder Mensch den spezifischen Nutzen dieser Technologie für sich selbst erkennen. Die Frage von Herrn Holenstein, ob denn jetzt der richtige Zeitpunkt für die Kommunikation zu neuen Pflanzenzüchtungstechnologien sei, bejahte Herr Bellucci. Oftmals werde eher zu spät als zu früh kommuniziert, für eine Technologie wie CRISPR/Cas beispielsweise, sei der Moment jetzt ideal. Zur Frage, welche inhaltlichen Themen eine Debatte erfordern, nahm Jörg Romeis Stellung. Er ist der Ansicht, dass die Diskussion sich nicht zu stark um die Technologie drehen sollte, sondern dass der Gesellschaft vor allem die Anwendungen der

84

Es ist oft zu spät, aber selten zu früh.

Sergio Bellucci

Technologie vor Augen geführt werden muss. Die Bevölkerung muss erkennen, worin die Herausforderungen bestehen und welche Optionen zur Verfügung stehen – z. B. ob weniger Pestizide eingesetzt werden sollen oder, ob sich die Schweiz entscheidet, den Selbstversorgungsgrad zu erhöhen. Als Europäer diskutieren wir aus der Perspektive einer Überflussgesellschaft. Neue Technologien entwickeln sich

Der Nutzen von neuen Technologien muss in den Kontext der landwirtschaftlichen Praxis gestellt werden.

Jörg Romeis

mit hoher Geschwindigkeit. Oft sind Debatten zu neuen Technologien veraltet. Herr Holenstein richtete sich anschliessend an David Brugger vom Schweizer Bauernverband und fragte, welche Themen aus Sicht der Landwirtschaft drängend seien. David Brugger erklärte, dass der

Schweizer Bauernverband mit sehr vielen guten Vorschlägen überhäuft würde. Die Industrie habe in den letzten Jahren eine Vielzahl von Verfahren und Technologien entwickelt, allerdings ohne die Produzenten in diese Entwicklung miteinzubeziehen. Herr Brugger stellte fest, dass ein regelmässiger Austausch zwischen Industrie und Konsumenten stattfindet, jedoch nicht zwischen Industrie und dem Produzenten. Letztere stünden allerdings unter dem Druck, einerseits, ihre Produkte verkaufen zu können und andererseits, eine Produktion zu gewährleisten, die wirtschaftlich, ökologisch und nachhaltig sei. Herr Holenstein wandte sich daraufhin an Michel Rudin mit der Frage, welche Themen aus der Perspektive der Konsumenten wichtig seien? Herr Rudin äusserte diesbezüglich, dass er eine Romantisierung der Landwirtschaft feststelle. Den Konsumenten sei oftmals gar nicht bewusst, was Ernährungssicherheit tatsächlich bedeute. Er bezweifelt zudem, dass der Konsument GVO Produkte verweigern würde – im Moment hätte der Konsument schlichtweg gar nicht die Wahl. Michel Rudin wandte sich schliesslich an David Brugger und äusserte sich bezüglich den Ursachen für fehlende Akzeptanz. Seiner Ansicht nach sei der Schweizer Bauernverband direkt mitverantwortlich, vermutlich, um eine Insel für den Verkauf seiner Bioprodukte zu schaffen. «Man will sich eine Bio-Insel schaffen».

85

Auf diese Äusserung folgte eine Klarstellung durch David Brugger: Der Schweizer Bauernverband verfolge die Entwicklung neuer Technologien sehr genau und beschäftige sich intensiv mit dieser Thematik. Erst daraus ergebe sich die entsprechende oder fehlende Zustimmung. Frau Hunger-Glaser entgegnete darauf, dass sich in der Volksabstimmung von 2005, 55 % der Wählerbeteiligten für eine GVO-freie Landwirtschaft ausgesprochen hatten, 45 % hätten eine Landwirtschaft mit GVO akzeptiert. Bei einer Wählerbeteiligung von 42 %, bedeutet dies, dass 23 % der Bevölkerung eine Landwirtschaft mit GVO gemäss Abstimmung abgelehnt hätten. Man könne deshalb nicht pauschal behaupten, dass die Schweizer Bevölkerung

kein GVO akzeptiere. Im Jahr 2012 haben sich 62 Volksvertreter im Nationalrat gegen eine Verlängerung des Moratoriums ausgesprochen, 112 stimmten dafür. Jörg Romeis bestätigte, dass der Schweizer Bauernverband keine Technologie-feindliche Organisation sei. Er bemerkte weiter, dass jeder Schweizer gleichwohl über Wahlfreiheit verfüge: Wer z. B. sein Fleisch aus nicht-schweizerischer Produktion konsumiere, esse Fleisch, das mit GVO-Futtermitteln erzeugt wurde. Sergio Bellucci fügte an, dass gerade bei Diskussionen im Bereich von Lebensmitteln, Emotionen eine grosse Rolle spielen. Ob etwas von der Gesellschaft akzeptiert würde, hänge sehr stark davon ab, ob das Individuum einen Nutzen für sich erkennen könne. Dies wird allerdings für den Konsumenten immer schwieriger, u. a. weil die Labels immer komplizierter werden.

Herr Holenstein ging anschliessend zur Frage über, wie die Partizipation der Gesellschaft in der Forschung optimiert werden könnte. Er wollte von den Podiumsgästen erfahren, in welche Prozesse Forscher die Bevölkerung besser einbinden könnten und welche Erfahrungen diesbezüglich schon gemacht wurden. Jörg Romeis nahm als Erster Stellung und berichtete von dem kürzlich abgeschlossenen EU-Projekt GRACE (GMO Risk Assessment and Communication of Evidence), bei dem es darum ging, Fütterungsstudien durchzuführen und alternative Methoden, zur Untersuchung gesundheitlicher Auswirkungen von gentechnisch veränderten Pflanzen zu testen.<sup>1</sup> Als Teil dieses Projektes, durchsuchte ein Europäisches Team von Forscher aus öffentlichen Institutionen, alle zur Verfügung stehenden Publikationen im Bereich der Risikoforschung von GVO Pflanzen. Ziel war es, Nachweise über die Risiken und Möglichkeiten von GMO Pflanzen im Hinblick auf die Gesundheit, Umwelt und Sozioökonomie zu sammeln und Standards zu entwickeln, mit denen wissenschaftliche Publikationen nach bestimmten Kriterien erfasst und ausgewertet werden können. Es wurden beispielsweise standardisierte Protokolle entwickelt, um bei Tierversuche die Risiken und Nutzen von GMO Produkten zu evaluieren. Die Empfehlungen und Protokolle wurden an diverse Stakeholder geschickt, mit der Bitte ein Feedback zu geben. Das Versuchsdesign wurde somit unter Miteinbezug von Stakeholdern entwickelt. Solch ein Verfahren sei zwar aufwendig, erfordere zwingend mehr Ressourcen und behindere ein Stück weit auch den Forschungsprozess, das Forschungsprojekt sei durch diesen Miteinbezug allerdings auf ein viel solideres Fundament gestellt. «Man macht sich das Leben nicht einfacher, aber die Resultate werden besser». Er sagte auch, dass es unklar ist, ob ein partizipativer Prozess die Akzeptanz erhöht. «Er ist jedoch sehr wertvoll».

---

<sup>1</sup> Zusammenfassung der Resultate des EU Projekts GRACE: [www.grace-fp7.eu/](http://www.grace-fp7.eu/)

Herr Bellucci plädierte für eine horizontale anstatt hierarchische Partizipation. Es muss auch ein Feedback an die Wissenschaft geben, man kann nicht nur erwarten, dass die Wissenschaft die Politik füttert.

Sergio Bellucci betonte nochmals, dass die Bevölkerung früh sensibilisiert werden sollte und man die Bürger fragen sollte, welche Themen der Forschung für sie von Interesse seien. Dies wurde bereits mehrfach gemacht, unter anderen im Rahmen des EU-Projekts CIMULACT, bei welchem TA-SWISS mitgewirkt habe.<sup>2</sup> Das Resultat sei oftmals das Gleiche: Die Bürger interessierten sich insbesondere für das Thema Ernährung.

### Bürger haben andere Realitäten als Forscher.

Michel Rudin

Michel Rudin äusserte sich daraufhin zum Thema Realitäten. Der Forschungsblick ist voller Visionen, der auf spezielle Mentalitäten und Realitäten aufbaut. Aber wie sieht das in der Praxis aus? Was bedeutet dies im praktischen

87

Alltag für den Bürger. Gerade im Bereich der Politik, in dem Herr Rudin auch tätig ist und Erfahrungen sammle, sei es für die Entscheidungsfindung ausserordentlich wichtig herauszufinden, was die Wähler beschäftige, um zu verstehen, wie man ihnen etwas verkaufen könne. Smarte Ideen wären nötig, um die Bürger besser zu erreichen. Herr Rudin beklagte, dass ihm pro Abstimmungsperiode 2500 Seiten vorliegen. Das zu lesen ist einfach nicht möglich. «Parlamentarier müssen einfach besser abgeholt werden». Die Wissenschaftler müssen in die politische Entscheidungsfindung mit einbezogen werden. Frau Hunger-Glaser fügte an, dass man heutzutage mehr den je mit einer Informationsflut konfrontiert sei. In England habe man deshalb eine Umfrage gestartet und die Bevölkerung gefragt, was Sie zum Thema GVO noch wissen möchte. Als Resultat entstand eine interaktive Webseite.<sup>3</sup> Frau Hunger-Glaser liess die Frage im Raum, ob solch eine Befragung in der Schweiz auch durchgeführt werden sollte. Herr Holenstein fragte darauf hin, ob das Dilemma vielleicht darin bestehe, den richtigen Zeitpunkt für solch eine Umfrage zu finden? Er richtete die Frage an David Brugger, wie dieser den Stand der aktuellen Forschung einschätze. Herr Brugger erklärte, dass die derzeitigen Anforderungen der Produzenten konstant ansteigen. Für Kartoffeln mit Drahtwurmbefall gilt heute beispielsweise von Seiten der Abnehmer eine Null-Toleranz. Parallel dazu werden Bewilligungen für Pflanzenschutzmittel (PSM) zur Drahtwurmbekämpfung gestrichen.

<sup>2</sup> Zusammenfassung der Resultate des EU Projekts CIMULACT: [www.cimulact.eu](http://www.cimulact.eu)

<sup>3</sup> <https://royalsociety.org/topics-policy/projects/gm-plants/>

Die neuen Technologien wie z. B. RNAi, *Genom-Editierung* oder *microbials* sind bei den Bauern noch nicht angekommen. Um diese für die Landwirte wirklich nutzbar zu machen, müssen sie konkrete Lösungen bieten. Dazu zählen Lösungen für eine nachhaltige Intensivierung (mehr mit weniger erreichen), weniger PSM-Einsatz in der Landwirtschaft (50–80 %)⁴ wie auch der Wunsch, Lebensmittel ohne jegliche Rückstände zur Verfügung zu stellen. Die Landwirtschaft der Schweiz stehe unter dem enormen Druck, in Zukunft, die gleiche oder noch bessere Produkte, mit weniger Hilfsstoffeinsatz zu produzieren. Gleichzeitig müssen jedoch Anforderungen wie z. B. Liefersicherheit erfüllt sein. Mit der erforderlichen Reduktion des PSM-Einsatzes steigt das Risiko in der landwirtschaftlichen Produktion deutlich an. Hier müssen neue Lösungsansätze gefunden werden wozu die «neuen Technologien» in Zukunft einen wichtigen Beitrag leisten könnten.

Momentan existiert aus Sicht der Landwirte kein Markt für die neuen Technologien.

David Brugger

Herr Holenstein widmete sich schliesslich der Frage nach der Regulation der neuen Pflanzenzüchtungsverfahren und forderte die Gäste auf, Stellung zu nehmen. Frau Hunger-Glaser vertrat klar die Meinung, dass die Schweiz einen Schritt vorwärts machen sollte und nicht auf Entscheidungen der EU warten solle. Ihrer Ansicht nach sollten Technologien, die Mutationen erzeugen, die natürlich erzeugten Mutationen ähneln, auf keinen Fall streng reguliert werden. Ebenso sei vielleicht eine neue Definition von «GVO» erforderlich, gerade in Bezug auf die CRISPR/Cas Technologie sei dies von Bedeutung. Ob es sich bei einem Produkt um ein GVO Produkt handle oder nicht, sollte durch die Grösse der Mutationen festgelegt werden, wobei sie 20 Basenpaare als die obere Grenze erachtete. Falls ein Produkt weniger als 20 veränderte Basenpaare enthielte, sollte es nicht als GVO Produkt deklariert werden müssen. Zudem kann man Mutationen unter 20 Basenpaare bisher schlecht nachweisen. *Aus dem Publikum:* Herr Daniel Fischer vom Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL des Kanton Zürich fragte darauf hin, woher diese Beschränkung auf 20 Basenpaare käme, da bei Erbkrankheiten bereits mehrfach gezeigt worden sei, dass sich bereits die Mutation eines einzelnen Basenpaares schädlich auswirken könnte. Ebenso müsste man sich dann fragen, ob Genveränderungen, die durch Züchtungen erzeugt werden, und natürlicherweise nicht auftreten würden, auch als GVO deklariert werden müssten.

4 Der Bundesrat hat am 6. September 2017 den Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln verabschiedet. Die Risiken sollen halbiert und Alternativen zum chemischen Pflanzenschutz gefördert werden. [www.blw.admin.ch/blw/de/home/nachhaltige-produktion/pflanzenschutz/aktionsplan.html](http://www.blw.admin.ch/blw/de/home/nachhaltige-produktion/pflanzenschutz/aktionsplan.html)



Frau Hunger-Glaser antwortete daraufhin, dass die Gefahr eines Produktes selbstverständlich für jeden einzelnen Fall evaluiert werden müsste. Auch sprach sie sich klar gegen eine Täuschung des Konsumenten aus. Es dürfe nicht geschehen, dass für dasselbe Produkt, je nach Herkunft, unterschiedliche Regulationen und dementsprechende Deklarationen existieren.

Das Produkt muss sicher sein.

Isabel Hunger-Glaser

89

Sergio Bellucci erwiderte, dass dies jedoch wieder heissen würde, dass die Schweiz auf die Entscheidungen der anderen Länder warten müsse. Frau Hunger-Glaser erklärte die Eidg. Fachkommission für Biologische Sicherheit vertrete die Meinung, dass Produkte mit Punktmutationen basierend auf neuen Pflanzenzüchtungstechnologien nicht als GVO deklariert werden sollten. Europa habe sich diesbezüglich allerdings noch nicht entschieden. Jörg Romeis korrigierte, dass sich zwar Europa als solches nicht entschieden habe, aber einige Länder wie z. B. England oder Schweden jedoch sehr wohl klare Entscheidungen gefällt hätten. Beispielsweise hätten sie sich klar für den Anbau des Herbizid-resistenten Raps der Firma Cibus<sup>5</sup> ausgesprochen. Auch in den Vereinigten Staaten habe man sich entschieden, wie mit den Produkten der Genom-Editierung umzugehen sei, insbesondere vor dem Hintergrund, dass man die Änderungen oft nicht von denen unterscheiden kann, die durch konventionelle Zuchtverfahren erzeugt wurden. Jörg Romeis stellte die Frage in den Raum, wie man etwas regulieren könne, das man nicht nachweisen kann?

Michael Rudin fügte an, dass sich die Situation für die Schweizer Landwirtschaft durch das Transatlantische Freihandelsabkommen (TTIP) vermutlich noch verschlechtern würde. Falls die USA und die EU ein Freihandelsabkommen beschliessen, dass auch im Agrarbereich freien Markt zulässt, und die Schweiz dieses Abkommen ebenfalls unterzeichnet, so würde die Schweizer Landwirtschaft wahrscheinlich noch mehr unter Druck kommen. Die Preise wären niedriger und die Produkte hätten nicht dieselben Standards. Momentan wird die Schweizer Landwirtschaft zwar stark mit Subventionen unterstützt, andererseits wird sie aber auch stark reguliert. Er sei der Meinung, dass die Schweiz sehr kritisch und skeptisch sei, der Nutzen aber die Moral schaffe, im Sinne von «wenn du etwas erst einmal hast, dann bist du auch dafür».

*Aus dem Publikum:* Martin Bossard von Bio Suisse meldete sich darauf zu Wort mit der Frage, weshalb die Forderung der Bio-Landwirtschaft im Podium nicht vertreten sei. Die Realität sähe heute immer noch so aus, dass GVO Produkte nicht auf

<sup>5</sup> Eine ausführliche Beschreibung: [https://naturwissenschaften.ch/topics/green\\_genetic\\_engineering/culture/new\\_breeding\\_techniques/case\\_study\\_cibus\\_herbicide\\_resistant\\_canola](https://naturwissenschaften.ch/topics/green_genetic_engineering/culture/new_breeding_techniques/case_study_cibus_herbicide_resistant_canola)

dem Markt vertreten seien und ein Beweis, dass GVOs nützlich seien, weiterhin ausstehe.

Die Schweiz brauche die bisher vorhandenen GVO Produkte nicht. Die Forderung, die weiterhin im Raume stehe, betreffe die Deklarationspflicht von GVO. Auch nach dem TTIP Abkommen sollten Produkte gemäss den EU Vorschriften gekennzeichnet werden. TTIP muss regeln, dass EU Produkte nicht benachteiligt werden. Jörg Romeis fragte erneut, wie man etwas kennzeichnen kann, das man nicht nachweisen kann? Fleisch das mit GVO Futtermitteln produziert wurde, sei auch nicht gekennzeichnet.

Auf die Äusserung von Herrn Bossard, dass der Beweis zum Nutzen von GVO noch immer ausstehe, entgegnete Jörg Romeis, dass nur, weil noch kein nützliches Produkt entwickelt worden sei, dies nicht bedeute, dass die Technologie an sich nicht nützlich sei. Man solle beispielsweise auf keinen Fall eine Technologie verhindern, welche zur Lösung einer Krankheit beitragen könnte, nur weil die Krankheit aktuell in der Schweiz kein Thema sei. Ausserdem sei die Knollenfäule-resistente Kartoffel<sup>6</sup> an der Agroscope forsch, extrem interessant für die Schweiz. Sergio Bellucci ergänzte, dass es wichtig sei, nicht nur die Risiken abzuschätzen, sondern auch die Chancen und die Vorteile. Risikofreie Technologien gäbe es nicht, wichtig sei die Debatte die geführt werde. David Brugger betonte, dass sich der Schweizer Bauernverband gegenüber den neuen Technologien nicht verschliesse. Aber auch er stelle fest, dass der Beweis für die Anwendung von GVO noch immer fehle.

90

Joachim Schiemann vom Julius-Kühn Institut in Deutschland, kam nochmals auf das Thema Deklarationspflicht zu sprechen. Transparenz ist selbstverständlich, eine Deklarationspflicht macht aber wenig Sinn, da auch Produkte, welche durch chemische oder physikalische Mutagenese hergestellt wurden, dementsprechend deklariert werden müssten. In Deutschland gab es eine Initiative, die forderte, dass nicht nur aus GVO, sondern auch mit Hilfe von GVO (z. B. Vitamine, Enzyme, Aromastoffe) hergestellte Lebensmittel mit dem Zusatz «Hergestellt mit Hilfe von» versehen werden sollten. Wäre dies umgesetzt worden, müssten wahrscheinlich 80 % aller verarbeiteten Lebensmittel deklariert werden. Erstaunlicherweise bekämpft Greenpeace diese Deklarationspflicht stark. Joachim Schiemann vermutet, dass der Grund dafür darin liegt, dass der Verbraucher durch diese Deklarationspflicht erkennen würde, dass er als Konsument seit Jahrzehnten mit GVO zu tun hat.

Patrick Schweizer, Referent und Wissenschaftler am Leibnitz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung in Deutschland, ergänzte, dass er eine

<sup>6</sup> Eine ausführliche Beschreibung: [https://naturwissenschaften.ch/topics/green\\_genetic\\_engineering/agriculture/gmo\\_switzerland/gmo\\_potatoes](https://naturwissenschaften.ch/topics/green_genetic_engineering/agriculture/gmo_switzerland/gmo_potatoes)

grosse Problematik in der Mystifizierung biologischer Landwirtschaft sehe. Alles was durch biologische Produktion entstanden ist, wird als gut wahrgenommen. Es könne gut sein, dass dies tatsächlich so sei, aber die Debatte über Produktionsmethoden sollte dringend entmystifiziert werden. Als Beispiel nannte Herr Schweizer die biologische Weinproduktion. Diese sei ohne den Einsatz von Pestiziden beispielsweise fast unmöglich. Dem fügte Michel Rudin hinzu, dass der Bund sogar finanzielle Mittel für die qualitative Analyse von Produkten aufbringe. Die Branchenorganisation der Schweizer Landwirtschaft, Proviande, erhalte beispielsweise Geld zur Vermarktung von Schweizer Fleisch. Der Qualitätsaspekt (Produktionsstand) bleibe bei der Werbung jedoch zumeist aussen vor. David Brugger betonte, dass man die Bio und konventionelle Landwirtschaft nicht gegeneinander ausspielen sollte. Das derzeitige übertriebene Bio-Marketing schadet im Prinzip der Gesamtlandwirtschaft.

91

Frau Hunger-Glaser fügte an, dass in der Schweiz eine Toleranz von 0.5 % GVO in Lebensmitteln nicht deklariert werden müsse.<sup>7</sup> Ausserdem konsumiere bereits viele Bürger GVO. In der Medizin gäbe es über 500 zugelassene GVO Arzneimittel, Vitaminprodukte etc – eine Debatte über diese, existiere erstaunlicherweise jedoch nicht. Sergio Bellucci konnte sich dies gut erklären: Als Krebspatient sei man gern bereit auf ein GVO Produkt zurückzugreifen, wenn der persönliche Nutzen, in diesem Falle das Überleben grösser sei als das Risiko.

In einer Abschlussrunde fragte Matthias Holenstein woran die Gäste bei unbeschränkten Mitteln und einer Zeit von einem Jahr arbeiten würden, um diese Debatte voranzutreiben. Sergio Bellucci antwortete, dass die Forschung allein nicht weiterkäme. Man müsse Konsumenten, Produzenten und weitere Stakeholders ins Boot holen, eventuell auch an den Hochschulen. Frau Hunger-Glaser ergänzte, dass man insbesondere an der Kommunikation arbeiten solle. Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler sollten lernen, ihr Wissen auch vor Laien verständlich zu präsentieren. David Brugger antwortete, dass er sich stärker den wissenschaftlichen Ansätzen widmen würde und Jörg Romeis ergänzte, dass kein Lobbying betrieben werden sollte, sondern durch Tage der offenen Tür, Transparenz geschaffen werden sollte. Markus Rudin wiederum würde sich innerhalb eines Jahres in Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern der Entwicklung einer Plattform für Konsumenten widmen.

---

7 Verordnung des Eidgenössische Departement des Innern (EDI) über gentechnisch veränderte Lebensmittel: [www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20050176/index.html](http://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20050176/index.html)

# Reflexion

## Wie kann gesellschaftliche Akzeptanz für neue Technologien entstehen?

*Manuela Dahinden & Melanie Paschke*

93

Am Zurich-Basel Plant Science Center arbeiten Forschende der Pflanzen- und Umweltwissenschaften an neuen Methoden für den Pflanzenschutz. Von der Grundlagenforschung bis zur Anwendung ist es gewöhnlich ein langer Weg. Die Wechselwirkungen zwischen Pflanze und Krankheitserreger werden bis ins Detail untersucht. Anpassungsmechanismen an Wassermangel, Kälte und Hitze werden entschlüsselt. Diese neuen Erkenntnisse helfen, widerstandsfähigere und ertragsreichere Kulturpflanzen zu züchten. Oft wird dabei das Erbgut von Kulturpflanzen analysiert und verändert. Dafür braucht es computergestützte Sequenzierungstechnologien und molekularbiologische Werkzeuge. Die Technologien und Werkzeuge werden ständig weiterentwickelt. Die Züchtung von Kulturpflanzen wird somit effizienter.

Nicht immer findet die Entwicklung von neuen Technologien eine Akzeptanz in der Gesellschaft. Ein Beispiel ist die Grüne Gentechnologie. Obwohl sie in weiten Teilen der Welt seit mehr als zwanzig Jahren in der Landwirtschaft eingesetzt wird, stösst sie auf Ablehnung und Diskrepanz in der Schweiz. Die negativ behaftete öffentliche Diskussion um die Grüne Gentechnik wurde durch die Veröffentlichung der Ergebnisse des Nationalen Forschungsprogramms (NFP) 59 (Programmsynthese NFP 59, 2012) sowie anderer zahlreichen Studien zur biologischen Sicherheitsforschung nicht verändert. Es herrschen unterschiedliche Risikowahrnehmungen – sowohl in der Wissenschaft als auch in der Politik und Bevölkerung. Ein Moratorium verbietet den Anbau von gentechnischen Pflanzen in der Schweiz (siehe u.a. BAFU, 2015).

Das Ziel dieser Fachtagung war es, neue Technologien für den Pflanzenschutz zu präsentieren. Das Publikum war eingeladen, mit den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, die Vorteile und Herausforderungen dieser neuen Technologien im landwirtschaftlichen Einsatz und im Rahmen der gegebenen rechtlichen Bedingungen in der Schweiz zu diskutieren. Präsentiert wurden ersten Forschungsideen bis hin zu konkreten Produkten. Je nach Technologie befinden wir uns in unterschiedlichen Stadien der gesellschaftlichen Debatte. Die Anwendung von «Neuen

Züchtungstechniken», wie CRISPR/Cas9, dominierten die Diskussion. Dem möchten wir in dem folgenden zusammenfassenden Beitrag auch Rechnung tragen. Wir möchten zwei Fragen beantworten: Was fördert und was hindert die Anwendung von «Neuen Züchtungstechniken»? Wie kann in der Gesellschaft Akzeptanz für «Neue Züchtungstechniken» entstehen?

### **Die Rolle der Pflanzenforschung im Technologiezeitalter**

Noch nie gab es eine so rasante Entwicklung von neuen Technologien (Jaeger, 2017). Neue Technologien haben per se etwas Fortschrittliches an sich, führen jedoch nicht automatisch zu einer nachhaltigen Wirtschaft. Ganz im Gegenteil, wir steuern auf eine ökologische Krise zu. Die Verfügbarkeit von fruchtbaren Böden und natürlichen Ressourcen nimmt ab, das Klima wandelt sich und wir erleben das sechste grosse Artensterben in der Erdgeschichte (Arsenault, 2014; IPCC, 2014; Kolbert, 2014). Eine der Ursachen ist ein massloser Ressourcenverbrauch: Wir verbrauchen mehr als die Erde regenerieren vermag. Ein Umdenken ist daher dringend notwendig. Technischer Fortschritt muss mit einer Minderung des Ressourcenverbrauchs einhergehen.

Für die Landwirtschaft bedeutet dies: Ertragssteigerung bei gleichzeitig weniger Einsatz von Dünger- und Pestiziden. Der im September 2017 vom Bundesrat veröffentlichte Aktionsplan für Pflanzenschutzmittel (BLW, 2017a) setzt sich zum Ziel, die Risiken der Pestizidanwendung in Bezug auf z. B. Boden- und Trinkwasserbelastung, langfristig um 50 % zu reduzieren. Dies entspricht einer Einsparung von Pflanzenschutzmitteln um etwa 12 %. Im landwirtschaftlichen Anbau, so befürchten Landwirtinnen und Landwirte, führt die Einsparung von Pflanzenschutzmitteln zu Ertragseinbussen – speziell bei Obst, Kartoffeln und Gemüse (siehe u. a. die Stellungnahme des Berner Bauern Verbands zum Aktionsplan, 2016). Sie wünschen sich eine praxisnahe Forschung und Beratung. Frau Dr. Eva Reinhard, (ehemals stv. Direktorin Bundesamt für Landwirtschaft, derzeitige Direktorin von Agroscope) verweist in ihrem Beitrag (S. 14 ff) auf den Bedarf an neuen Technologien für eine nachhaltige und wettbewerbsfähige Schweizer Landwirtschaft. Eine Herausforderung, der sich die Pflanzenforschung seit vielen Jahren stellt.

Im Rahmen dieser Fachtagung wurden einige der Forschungsergebnisse vorgestellt. Dazu zählen Düngemittel auf mikrobiologischer Basis, um die Immunabwehr und somit das Wachstum der Kulturpflanzen zu stärken oder neue Ansätze in der molekulargenetischen Resistenzforschung. Bei letzterem zeigt die CRISPR/Cas9-Methode ein grosses Potential, den Züchtungsprozess von resistenten und widerstandsfähigeren Sorten zu beschleunigen.

## Chancen und Herausforderungen neuer Technologien für den Pflanzenschutz

*Kulturpflanzen resistenter machen:* Die Züchtung von resistenten Kulturpflanzen ist eine Herausforderung. Die Resistenzeigenschaften werden im Feld innerhalb weniger Anbauperioden vom Pflanzenpathogen überwunden. Daher besteht ein ständiger Bedarf, Resistenzeigenschaften zu finden, die von dem Pathogen nicht durchbrochen werden können. Neue molekularbiologische Methoden wie CRISPR/Cas9 ermöglichen es, Gene gezielt auszuschalten, zu entfernen, hinzuzufügen oder durch Mutationen zu verändern. Interessant ist dies für polyploide Kulturpflanzen wie z. B. der hexaploide Weizen. Durch die Anwendung der CRISPR/Cas9-Methode ist es möglich, alle sechs Kopien des pflanzlichen MLO-Gens gleichzeitig zu inaktivieren, um so eine erwünschte Mehlauresistenz zu erzeugen (Wang et al., 2014). Dr. Johannes Fütterer beschreibt in seinem Beitrag (S. 42 ff.) weitere Beispiele für die gezielte Veränderung von Resistenzgenen.

95 Parallel dazu suchen Forschende nach Genen, welche die Immunabwehr der Pflanze stärken. Zum Beispiel Gene zur Produktion von Phytoanticipinen – antimikrobiell wirkende Metaboliten. Aber auch Gene, die den Aufbau von mechanischen Barrieren wie Wachsschichten oder gegen den Pathogenbefall stabile Zellwände begünstigen (Deeks und Sanchez-Rodriguez, 2016). Hierbei erweisen sich Wildvarietäten und alte Landsorten als Schatzkisten. Diese sind oft widerstandsfähiger gegen Pathogene. Forschende bemühen sich deshalb die Genome und agronomischen Merkmale dieser in Vergessenheit geratener Sorten zu entschlüsseln und Landwirten und Pflanzenzüchtern zugänglich zu machen.

Im Unterschied zur klassischen Gentechnik hat CRISPR/Cas9 viele Vorteile. Die Methode ist kostengünstig und hinterlässt keine artfremden Erbgutabschnitte von Bakterien und Viren. Bezüglich Sicherheit wird die CRISPR/Cas9-Methode aufgrund ihrer Präzision hinterfragt (SAG, 2016). CRISPR/Cas9 kann «Off-target Effekte», d. h. Mutationen ausserhalb des Zielgens verursachen. Off-target Effekte werden allerdings bei jedem Züchtungsprozess beobachtet und können durch Sequenzierung nachgewiesen werden. Die Anwendung von CRISPR/Cas9 wird zudem fortlaufend optimiert. Um die Präzision zu erhöhen, kommen sogenannte Nickasen zum Einsatz (Cong et al., 2013). Dies sind Proteine, die nur einen der beiden DNA-Stränge durchtrennen. Für einen vollständigen DNA-Bruch müssen dann zwei Enzyme mit ihren „guide“-RNAs an derselben DNA-Sequenz binden.

*Schädlingsbekämpfung mit RNA-Interferenz:* Die RNA-Interferenz (RNAi) ist ein natürlicher Mechanismus, mit dem sich Pflanzen gegen bestimmte Viren wehren. Das RNAi-System der Pflanze erkennt fremde Virus-RNA und zerlegt sie in viele

kleine Stücke, sogenannte «small interfering RNAs» (siRNAs, ~25 Basenpaare). Diese docken an die mRNA (Boten-RNA) des Virus an und verhindern die Produktion von wichtigen Proteinen. Das Virus ist nicht überlebensfähig und wird unschädlich. Ein Ziel der Forschung ist es, die pflanzliche RNAi-Maschinerie anzukurbeln, um die Vermehrung eines Virus wirksam zu stoppen. Dr. habil. Patrick Schweizer beschreibt in seinem Beitrag (S. 20 ff.) wie man Pflanzen dazu bringen kann, mehr siRNAs zu produzieren. Dazu wird «double-stranded RNA» (dsRNA, 800-1000 Basenpaare) in Form eines Transgens in die Pflanze eingebracht und von pflanzeigenen Enzymen zu siRNAs verdaut. Alternativ kann man dsRNA *in vitro* produzieren und als Rohextrakt auf die Pflanze aufsprühen. Wird die Pflanze von einem Frassschädling befallen, nimmt dieser die dsRNA über die Nahrung auf und zerstört damit seine eigene Boten-RNA. Dies führt zu einem verlangsamten Wachstum des Schädlings. Speziell in Coleopteren (z. B. Kartoffelkäfer) ist diese Anwendung sehr erfolgreich (Baum et al., 2007), ebenso bei der Bekämpfung von Milben und Viren in Honigbienen (IPBES, 2016). Um sicher zu gehen, dass die ausgesprühten dsRNAs weder der Honigbiene noch andere Insekten schadet, suchen Forschende nach möglichst spezifischen Sequenzen, die nur gezielt auf das Pathogen wirken. Zurzeit weiss man in vielen Arten noch nicht genug über die Stringenz der Spezifität, d. h. wie viele «Mismatches» eine Sequenz zu Nicht-Zielgenen haben kann.

*Immunabwehr mit Mikroben stärken:* Weitere Forschungsansätze beschäftigen sich mit der Analyse von Mikroben, welche die Wurzeln und Blätter von Pflanzen besiedeln. Dr. Klaus Schläppi beschreibt in seinem Beitrag (S. 26 ff.), wie Kulturpflanzen durch die Zugabe von Bodenmikroben widerstandsfähiger werden. Er verweist auf Ansätze, die zum Ziel haben, Pflanzen zu züchten, die über ihre Wurzeln vorteilhafte Mikroben anlocken (siehe auch Dessaux et al., 2016). Oft sind dies Bakteriengemeinschaften, die mithilfe antibiotisch wirksamer Substanzen Schädlinge abwehren (z. B. Pseudomonas-Bakterien). Auf diese Weise könnten Pflanzenschutzmittel eingespart werden. Weil dabei ausschliesslich biologische Ressourcen genutzt werden, ist dieser Ansatz für die Biolandwirtschaft von grossem Interesse (Hunziker et al., 2015). Die Mikroben können als Dünger im Boden ausgesetzt werden. In der landwirtschaftlichen Praxis könnte die Mikrobenanalyse mit dem Düngerverkauf verknüpft werden. Die Landwirtin oder der Landwirt senden eine Bodenprobe in ein Labor ein, dort wird die Bodenbeschaffenheit und das Vorhandensein von Mikroben analysiert. Das Labor sendet ein Mikroben-Cocktail zur Inokulation zurück. Die Forschung steht hier vor der Herausforderung, die richtige Kombination von



Mikroben zu finden. Je nach Kombination zeigen die Mikroben eine andere Wirkung. Mikroben unter kontrollierten Bedingungen (sterilisierte Erde im Gewächshaus) zeigen eine andere Wirkung als unter natürlichen Bedingungen im Feld. Weitere Fragen, an denen Forschende arbeiten, sind: Wie stabil sind die Immunisierungen und welche Anbaumethoden fördern die nützlichen Eigenschaften des Pflanzenmikrobioms?

97

*Epigenetik - das Gedächtnis von Pflanzen nutzen:* Forschende konnten zeigen, dass Pflanzen in der zweiten Generation widerstandsfähiger sind, wenn die erste Generation mit einem Pathogen in Kontakt war (Luna et al., 2012). Offenbar können sich Pflanzen an den Pathogenbefall erinnern. Die Bildung eines epigenetischen Gedächtnisses basiert auf zwei biochemischen Mechanismen: DNA-Methylierung und Histon-Modifikation. Bei der DNA-Methylierung werden Methylgruppen gezielt an Nukleotide in der DNA angefügt oder von diesen entfernt, was die Aktivität von nahegelegenen Genen verändert. Bei der Histon-Modifikation werden strukturelle DNA-Veränderungen vorgenommen, die Gene mehr oder weniger leicht lesbar machen. Diese beiden natürlichen Mechanismen werden von der (Pflanzen)-Zelle genutzt, um gezielt Gene zu aktivieren oder zu deaktivieren. Michael Thieme präsentiert in seinem Beitrag (Seiten 36 ff.) einen ganz neuen Ansatz, um Gene zu aktivieren oder deaktivieren. Er untersucht die Rolle von Transposons (TEs). TEs sind genetische Elemente, die sich nach einem Stress (z. B. Kälte) im Genom vermehren können (Makarevitch et al., 2015). Je nachdem, wo sich die neuen Kopien im Genom platzieren, können sie die Aktivität der benachbarten Gene beeinflussen. Aufgrund einer strengen epigenetischen Kontrolle vermehren sich TEs normalerweise nur selten. In Zusammenarbeit mit Forschenden in Montpellier und Angers konnte Michael unter Zugabe von  $\alpha$ -Amanitin (ein Polymerase II Inhibitor) und Zebularin (einem Inhibitor von DNA-Methylierung) diesen natürlichen Schutz unterdrücken und TEs im Genom vermehren. Erste Versuche mit *Arabidopsis* haben gezeigt, dass die Vermehrung von TEs zu einer grossen phänotypischen Diversität in den nächsten Generationen führt. Weitere Untersuchungen werden zeigen, ob diese Diversität zur Entwicklung von resistenten Pflanzen genutzt werden kann.

*Präzise Freisetzung von Pflanzenschutzmitteln:* Mit Hilfe von Nanopartikeln ist es möglich, Feststoffe und schwer wasserlösliche Stoffe (wie z. B. Insektizide und Herbizide) kontrolliert freizusetzen. In Nanopartikel verpackt, können sie gleichmässiger auf Pflanzen und auf Schädlingen verteilt werden. Die Wirkstoffe sind zudem vor dem Abbau durch Licht geschützt. Das ermöglicht eine Reduktion der Wirksub-

stanzmenge. Dr. Markus Hardegger betont in seinem Beitrag (S. 32 ff.), dass die Verwendung von Nanopartikel im Pflanzenschutz noch weiterer Forschung bedarf. Unklar ist, wie sich die Ausbringung von Nanopartikeln in die Umwelt langfristig auswirken wird.

Während der Fachtagung nicht angesprochen wurden die vielversprechenden Fortschritte in der Präzisionslandwirtschaft. Ziel der Präzisionslandwirtschaft ist es, die landwirtschaftliche Bewirtschaftung an die Variabilität der Standort- und Bestandsparameter eines Feldes anzupassen. Mithilfe von technischen Hilfsmitteln wie Sensoren und Agrardrohnen können Landwirtinnen und Landwirte den Gesundheitszustand einzelner Pflanzen im Feld erfassen. Die Menge von eingesetztem Wasser, Dünger und Pflanzenschutzmittel kann Pflanzen- und Standortbezogen angepasst werden (Walter et al., 2017).

**FAZIT:** Die oben genannten Technologien haben das Potential die Umweltrisiken der konventionellen Landwirtschaft zu verkleinern. Es müssen weniger Pestizide eingesetzt werden und das Pflanzenwachstum kann bei gleichbleibender Anbaufläche optimiert werden. Es gibt noch Forschungsbedarf, bevor die Technologien zum Einsatz kommen können. CRISPR/Cas9 eröffnet neue Dimensionen für die molekularbiologische Grundlagenforschung und Pflanzenzüchtung.

98

### **Warum tut sich die regulatorische Praxis mit «Neuen Züchtungstechniken» schwer?**

Unter dem Begriff „Neue Züchtungstechniken“ werden molekularbiologische Techniken zusammengefasst, mit denen sich das Erbgut von Pflanzen präzise verändern lässt. Dazu zählen Cisgenese, Intragenese, Oligonukleotid-dirigierte Mutagenese, *Genom-Editierung* mit Designer-Endonukleasen (z. B. TALEN, CRISPR/Cas9) und RNAi (SCNAT, 2016). Professor Joachim Schiemann beschreibt in seinem Beitrag (S. 48 ff.) die derzeitigen rechtlichen Rahmenbedingungen für „Neue Züchtungstechniken“ in Europa. Debattiert wird ob sie unter das GMO Gesetz fallen sollen oder nicht.

Die Debatte wird auch in der Schweiz geführt. Das heutige Bundesgesetz über die Gentechnik im Ausserhumanbereich (GTG), Kap. 1, Art. 5 sagt aus:

«Gentechnisch veränderte Organismen (GVO) sind Organismen, deren genetisches Material so verändert worden ist wie dies unter natürlichen Bedingungen durch Kreuzen oder natürliche Rekombination nicht vorkommt.» (GTG, 2003)

Nun stellt sich die Frage: Wenn eine neue, molekularbiologische Methode wie CRISPR/Cas9 im Genom zielgerichtete Veränderungen auslöst, welche durch konventionelle Züchtung oder zufällige Mutation ebenfalls entstehen könnten, ist das entstehende Produkt dann als GVO oder als Nicht-GVO zu beurteilen? Die Eidgenössische Fachkommission für biologische Sicherheit (EFBS) kommentiert dazu in ihrem 2016 erschienenen Bericht:

«Bei einer strikten Interpretation des Gesetzes bedeutet dies, dass jede mittels Gentechnik gezüchtete Pflanze unter das GTG fällt und nur nach einer aufwendigen Prüfung bewilligt werden kann. Selbst dann, wenn nur während des Prozesses Methoden der Gentechnik angewandt wurden und im Endprodukt keine fremden Gene mehr enthalten sind». (EFBS, 2016)

99

Die EFBS befürwortet daher eine produktbasierte Regelung für die „Neuen Züchtungstechniken“. Die Risiko-Abschätzungen der Produkte sollte in der gleichen Größenordnung vorgenommen werden, wie für Veränderungen, die durch natürliche genetische Variation oder durch konventionellen Züchtungsmethoden entstanden sind, solange kein artfremdes Material übertragen wird. Ein Beispiel einer produktbezogenen Auslegung stammt aus Deutschland: So hat das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) im Februar 2015 beschlossen, dass Raps, bei dem die Resistenzmutation durch Oligonukleotid-dirigierte Mutagenese ausgelöst wurde, nicht als GVO einzuschätzen ist. Laut Stellungnahme wird kein rekombinantes Material in die Pflanze eingeführt und nur solche Mutationen herbeigeführt, wie sie auch spontan oder nach Anwendung von Mutagenen auftreten könnten (BLV, 2015).

Gegner der Produktregulierung befürchten, dass Pflanzen mit neuen Eigenschaften in die Umwelt gelangen, bevor eine Langzeit-Risikoabschätzung getroffen werden kann. Deshalb fordern sie, die „Neuen Züchtungstechniken“ nach den für GVO erarbeiteten Sorgfaltskriterien und durch das Vorsorgeprinzip zu beurteilen. Die Eidgenössische Ethikkommission für die Biotechnologie im Ausserhumanbereich (EKAH) empfiehlt zu prüfen, ob sich durch die erhöhten Resistenzeigenschaften, die durch die „Neuen Züchtungstechniken“ erreicht werden können, ein systemisches Risiko ergibt, z. B. die schnelle Entstehung und Ausbreitung eines «superresistenten Unkrauts» (EKAH, 2016).

**FAZIT:** Transparenz über Systematik und Ergebnisse der Risikobeurteilung sind Grundvoraussetzung für die Zulassung von „Neuen Züchtungstechniken“. Zum Beispiel ist es wichtig zu wissen, welche Genom-Veränderung vorgenommen

wurden. Eine Herausforderung bleibt die Nachweisbarkeit der angewandten Methode. Genomveränderungen durch „Neuen Züchtungstechniken“ sind je nach Anwendung nicht nachweisbar bzw. nicht von Änderungen zu unterscheiden, die auf natürliche Weise entstanden sind.

### **Welche Faktoren beeinflussen die gesellschaftliche Debatte über die «Neuen Züchtungstechniken»?**

Die „Neuen Züchtungstechniken“ konfrontieren die Gesellschaft mit Problemen, die in zunehmendem Masse mit dem Begriff des Risikos verbunden werden (Abels und Bora, 2004). Als problematisch für die Gesellschaft werden vor allem jene Gefahren empfunden, die gesellschaftlich verursacht sind. Nicht die technischen Risiken, sondern soziale und ethische Risiken und Bedenken stehen im Vordergrund. Der Fokus der gesellschaftlichen Debatte liegt bei den Fragen: Wofür brauchen wir die „Neuen Züchtungstechniken“? Wem nützen sie? Wem gehören sie? Bei der Beantwortung der Fragen, kollidieren unterschiedliche Grundüberzeugungen. Unterschiedliche Akteure vertreten zuweilen widersprüchliche Interessen. Wir stellen einige der Diskussionspunkte exemplarisch vor:

*Landwirte* fragen nach Technologien, die helfen, den Einsatz herkömmlicher Pestizide und Herbizide zu reduzieren. Der Zugang zu den neuen Technologien ist ein wichtiges Thema: Der Schweizer Landwirt möchte über dieselben Möglichkeiten verfügen wie Konkurrenten in Europa und weltweit. USA, Kanada und Schweden haben erste Nutzpflanzen, die mit „Neuen Züchtungstechniken“ erzeugt wurden, für den Markt zugelassen. Die EU und die Schweiz verzögern den Entscheid. Das hat Nachteile für die Landwirte und Züchter. Machen wir ein Denkeperiment: Falls die Schweiz im Alleingang die Einstufung von CRISPR/Cas9-veränderten Nutzpflanzen als GVO vornimmt, erfordert ein Import des entsprechenden Rohprodukts eine Warenflusstrennung und Rückverfolgbarkeit zurück bis zum Anbau im Herkunftsland. Dies erhöht die Importkosten und es ist fraglich, ob eine kontrollierte GVO-freie Mischfutterproduktion in der Schweiz logistisch umsetzbar ist.

Ein weiteres Problem sind unsichere Rechtsbedingungen beim Patent- und Sortenschutz. Strittig ist, welche der „Neuen Züchtungstechniken“ patentfähig sind. Beispiel CRISPR/Cas9: Die Methode selbst ist nicht patentierbar, da es sich um einen natürlich vorkommenden Prozess handelt. CRISPR/Cas9 ist ein aus Bakterien stammender Prozess und funktioniert nicht automatisch in Zellen von anderen Organismen. Die Prozesse, die das möglich machen, müssen Forschende erst entwickeln. Sind diese Prozesse nicht natürlich, wären sie patentierbar. In Folge, können CRISPR/Cas9 veränderte Organismen ebenfalls patentrechtlich geschützt werden.

Züchter und Landwirte werden so der Möglichkeit beraubt, das Saatgut von CRISPR/Cas9 veränderten Kulturpflanzen weiterzuentwickeln. Das Landwirte- und Züchterprivileg<sup>1</sup>, das bei konventionellen Pflanzen im Sortenschutzrecht verankert ist, wird ausgehöhlt. Dies benachteiligt insbesondere Kleinzüchter, die sich die hohen Lizenzabgaben nicht leisten können und begünstigt Konzentrationen im Saatgutsektor.

*Konsumenten* erwarten Transparenz und Wahlfreiheit beim Kauf landwirtschaftlicher Produkte. Die Akzeptanz oder Ablehnung neuer technologischer Entwicklungen ist neben der individuellen Kosten-/Nutzenanalyse auch an Werte und Weltanschauungen gebunden. Teil der Debatte um die «Neuen Züchtungstechniken» ist der Grundsatzstreit darüber, welche Art der Landwirtschaft bevorzugt wird. Die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech) verwies in ihrer Studie zur Biotechnologie-Kommunikation auf die bestehende Kontroverse:

101

«Während die eine Seite transgene Sorten als Elemente einer grundsätzlich falschen Agrarstruktur bewertet und prinzipiell andere Anbauverfahren favorisiert, sind für die andere Seite solche Sorten vorteilhafte technische Innovationen im Rahmen bestehender Anbaustrukturen. [...] Letztendlich steht nicht die Technik [...] in der Kritik, sondern die Gentechnik wird in ihrer Instrumentalisierung zur Durchsetzung einer bestimmten Landwirtschaft kritisiert.» (acatech, 2012)

**FAZIT:** Der Einsatz „Neuer Züchtungstechniken“ hängt davon ab, wie die Vorteile und Risiken von der Bevölkerung und Gesetzgebung bewertet werden. Jede soziale Gruppe hat ein anderes Verständnis zur Bedeutung der Technologie.

### **Kann partizipative Technologieabschätzung Akzeptanz für neuen Technologien in der Gesellschaft erzeugen?**

Unter der Bezeichnung partizipative Technikfolgenabschätzung (pTA) werden Instrumente und Methoden zusammengefasst, die auf eine Beteiligung von Laien und/oder InteressenvertreterInnen (Stakeholder) an Entwicklungs- und Entscheidungsprozessen von neuen Technologien abzielen. Professor Georg Simonis (S. 56 ff.) und Professor Armin Grunwald (S. 76 ff.) weisen in ihren Beiträgen darauf hin, pTA so früh wie möglich einzusetzen, um für mögliche Anwendungsszenarien, gemeinsam zu einem argumentativ begründeten Urteil zu kommen.

<sup>1</sup> Das Züchterprivileg besagt, dass während der Laufzeit des Sortenschutzes, die Züchter geschützte Sorten als Grundlage für weitere Züchtungsarbeiten verwenden dürfen. Damit soll die zügige Entwicklung immer besserer Sorten gewährleistet werden. Je nach Land gibt es unterschiedliche Interpretationen des Züchterprivilegs (für die Schweiz siehe: BLW, 2017 b).

In der Schweiz sind mehrere Akteure an der Technologiefolgeabschätzung und Risikobeurteilung beteiligt. Das Kompetenzzentrum für Technologiefolgen-Abschätzung der Akademien der Wissenschaften Schweiz (TA-SWISS) erarbeitet Empfehlungen bei kontrovers diskutierten Technologiethematen, die dem Parlament und Bundesrat als Hilfsmittel bei Entscheidungen dienen. Im Bereich molekularbiologischer Technologien sind die Biosicherheitsforschung und die Umweltrisikoaabschätzung des Bundesamts für Umwelt (BAFU), des Bundesamts für Landwirtschaft (BLW) und des Bundesamts für Gesundheit (BAG) involviert. Ausserparlamentarische Kommissionen wie die Eidgenössische Fachkommission für biologische Sicherheit (EFBS) und Eidgenössische Ethikkommission für die Biotechnologie im Ausserhumanbereich (EKAH) beraten die Behörden aus ethischer Sicht. Sie unterstützen den Bundesrat und die Bundesämter bei der Vorbereitung von Gesetzen, Verordnungen, Richtlinien und Empfehlungen. In Zusammenarbeit mit Forschungsanstalten, Fachhochschulen und Universitäten werden Testmethoden zu Biosicherheitsfragen (Gefährdung von Mensch und Umwelt) entwickelt.

102

Wenn Forschende oder Behörden, die mit neuen Technologien einhergehenden Risiken aus einem rein disziplinären Kontext beurteilen, könne sie die Risiken und die gesellschaftliche Debatte nur unzureichend beurteilen. Um den Nutzen einer neuen Technologie für Gesellschaft, Umwelt und Wirtschaft zu antizipieren, müssen Chancen und Risiken zusammen mit den verschiedensten Anspruchsgruppen diskutiert und ein Konsensus ausgehandelt werden. Diese können aus zivilgesellschaftlichen Organisationen (NGOs), aus lokalen Initiativen (z. B. Gemüsekooperativen, Gemeinschaftsgärten, Foodsharing.ch, Neue Nachbarschaften) und aus der Wirtschaft (z. B. Coop) kommen. Werthaltungen, Interessen und Bedürfnissen, sowie möglichen Interessenskonflikten müssen abgeholt werden. Die Fragen: Warum? Wer braucht diese Technologie? Wie wirken sich diese Innovationen in der Gesellschaft aus? Sagt wer? müssen gemeinsam beantwortet werden (Stirling, 2010). Fragen nach dem gesellschaftlichen Nutzen der Technologien müssen in den Vordergrund der öffentlichen Diskussion gestellt werden: Wie können verschiedene Anspruchsgruppen von den Technologieentwicklungen profitieren? Wie skalierbar sind diese Technologien in landwirtschaftlichen Produktionsformen und -nischen?

Wird mit der Gesellschaft nicht über Systeminnovationen diskutiert, die darauf zielen, Systeme nachhaltig zu transformieren, so werden Risikodebatten und Systemkritiken, die sich gegen tiefgreifende Änderungen von Lebens-, Arbeits- und Umweltbedingungen richten, in den Vordergrund treten und diese Innovationen

langfristig blockieren (Van den Daele, 2012). Derzeit fehlt es an Formaten, in denen Anliegen der Öffentlichkeit an die Wissenschaft durch Partizipation und Diskussion verhandelt werden und gesellschaftliche Anspruchsgruppen integriert werden können.

**FAZIT:** Partizipative Technologiefolgeabschätzung (pTA) erfordert einen gemeinsamen Lernprozess und eine Verknüpfung verschiedener Akteure, die heute noch einzeln agieren. Es müssen Rahmenbedingungen für Partizipation geschaffen werden, die ein Mitreden, Mitgestalten und Mitentscheiden ermöglichen. Eine demokratische und gesellschaftliche Technikbewertung kann Akzeptanz schaffen.

Die Schaffung von institutionellen Schnittstellen sollte hier mitgedacht werden. Das Zurich-Basel Plant Science Center als Initiator von Forschungs- und Lehrprogrammen im Bereich der gesellschaftlichen Inwertsetzung von Innovationen aus den Pflanzen- und Umweltwissenschaften, möchte folgende Fragen zur Diskussion stellen:

103

- o Welche Rolle und Verantwortung sollen Forschende in einer demokratischen Technikbewertung tragen?
- o Wie kann ein partizipativer Forschungsprozess gestaltet werden?
- o Wie soll der wissenschaftliche Nachwuchs in diesen Prozessen ausgebildet werden?

### Autorinnen

#### Dr. Manuela Dahinden

##### Geschäftsleiterin für Forschung und Kommunikation am Zurich-Basel Plant Science Center

Manuela Dahinden hat Biochemie studiert und im Forschungsschwerpunkt Molekularbiologie promoviert. Seit 2008 ist sie Geschäftsleiterin am Zurich-Basel Plant Science Center. Manuela initiiert und fördert interdisziplinäre Forschungsprogramme und pflegt die Zusammenarbeit mit Partnern aus Industrie, Politik und Bundesverwaltung und anderen Forschungsinstituten. Als Wissenschaftskommunikatorin gestaltet sie den Gesamtauftritt des PSC und fördert den Wissenstransfer in die Gesellschaft. Dazu gehören das Organisieren von Veranstaltungen sowie das Gestalten von Workshops für Schulklassen, Publikationen und Ausstellungen.

#### Dr. Melanie Paschke

##### Geschäftsleiterin für Lehre und Wissenschaft Und Politik am Zurich-Basel Plant Science Center

Melanie Paschke hat Ökologie studiert und im Forschungsschwerpunkt Umweltwissenschaften promoviert. Seit 2007 ist sie Geschäftsleiterin am Zurich-Basel Plant Science Center. Melanie entwickelt als Bildungsexpertin pflanzenwissenschaftlich orientierte Hochschul-Curricula insbesondere für Doktorierende und Postdoktoranden. Melanie initiiert und fördert transdisziplinäre Forschungsprogramme mit dem Ziel, jungen NachwuchswissenschaftlerInnen die Kompetenzen und Werkzeuge für den Wissenstransfer in die Gesellschaft und Politik zu vermitteln.

## LITERATUR

ABELS G., BORA A. (2004): Demokratische Technikbewertung. Bielefeld: transcript.

ACATECH – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (2012): Biotechnologie-Kommunikation. Kontroversen, Analysen, Aktivitäten. Weitzte, Pühler, Heckl, Müller-Röber, Renn, Weingart, Wess (Hrsg.), Springer Verlag.

ARSENAULT, C. (2014): Top soil could be gone in 60 years if degradation continues. UN Official Warns. GREEN, Reuters.

BAFU (2015). Bericht über die Ergebnisse des Vernehmlassungsverfahrens betreffend die Änderung des Bundesgesetzes über die Gentechnik (Berücksichtigung der Ergebnisse des NFP 59 und der GVO-freien Gebiete) und der Koexistenz-Verordnung. Bundesamt für Umwelt, Bern. PDF-Dokument: [www.news.admin.ch/news/message/attachments/43831.pdf](http://www.news.admin.ch/news/message/attachments/43831.pdf)

BAUM J.A., BOGAERT T., CLINTON W., HECK G.R., FELDMAN, P., ILAGAN O., JOHNSON S., PLAETINCK G., MUNYIKWA T., PLEAU M., VAUGHN T., ROBERTS J. (2007): Control of coleopteran insect pests through RNA interference. *Nature Biotechnology*, 25: 1322–1326.

BERNER BAUERN VERBAND (2016): Stellungnahme zum Aktionsplan PSM. PDF-Dokument erhältlich auf [www.bernerbauern.ch](http://www.bernerbauern.ch)

BLV (2015): Antrag der Firma Cibus auf Feststellung, dass mittels des Rapid Trait Development Systems (RTDSTM) hergestellte herbizidresistente Rapslinien keine gentechnisch veränderten Organismen i.S.d. Gentechnikgesetzes darstellen. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. PDF-Dokument: [www.transgen.de/pdf/zulassung/BVL\\_ODMCibus.pdf](http://www.transgen.de/pdf/zulassung/BVL_ODMCibus.pdf)

BLW (2017a): Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Bundesamt für Landwirtschaft, Bern. PDF-Dokument: [www.blw.admin.ch/blw/de/home/nachhaltige-produktion/pflanzenschutz/pflanzenschutzmittel/aktionsplan-pflanzenschutzmittel.html](http://www.blw.admin.ch/blw/de/home/nachhaltige-produktion/pflanzenschutz/pflanzenschutzmittel/aktionsplan-pflanzenschutzmittel.html)

BLW (2017b): Informationen zum Verfahren für den schweizerischen Sortenschutz. PDF-Dokument: [www.blw.admin.ch/blw/de/home/nachhaltige-produktion/pflanzliche-produktion/sortenschutz.html](http://www.blw.admin.ch/blw/de/home/nachhaltige-produktion/pflanzliche-produktion/sortenschutz.html)

CONG L. et al. (2013): Multiplex genome engineering using CRISPR/Cas systems. *Science*, 15; 339(6121): 819–823.

DEEKS M., SANCHEZ-RODRIGUEZ, C. (2016): Seeing is believing: cell biology at the plant–microbe interface. *New Phytologist*, 211 (1): 16–19. Oxford: Wiley-Blackwell.

DESSAUX Y. et al. (2016): Engineering the Rhizosphere. *Trends in Plant Sciences*, 21 (3): 266–278.

EFBS (2016): Bericht der Eidgenössischen Fachkommission für biologische Sicherheit (EFBS) zu Neuen Pflanzenzuchtverfahren. Bern. [http://www.efbs.admin.ch/fileadmin/efbs-dateien/dokumentation/Ansichten/D\\_Bericht\\_EFBS\\_Neue\\_Pflanzenzuchtverfahren.pdf](http://www.efbs.admin.ch/fileadmin/efbs-dateien/dokumentation/Ansichten/D_Bericht_EFBS_Neue_Pflanzenzuchtverfahren.pdf)

EKAH (2016): Neue Pflanzenzüchtungsverfahren – ethische Überlegungen. Bern. PDF-Dokument: [www.ekah.admin.ch/fileadmin/ekah-dateien/dokumentation/publikationen/EKAH\\_Neue\\_Pflanzenzuechtungsverfahren\\_2016.pdf](http://www.ekah.admin.ch/fileadmin/ekah-dateien/dokumentation/publikationen/EKAH_Neue_Pflanzenzuechtungsverfahren_2016.pdf)

GTG (2003): Bundesgesetz über die Gentechnik im Ausserhumanbereich, Gentechnikgesetz, GTG, vom 21. März 2003. PDF-Dokument: [www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19996136/index.html](http://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19996136/index.html)

HUNZIKER L., BÖNISCH D., GROENHAGEN U., BAILLY A., SCHULZ S., WEISSKOPF L. (2015): Pseudomonas strains naturally associated with potato plants produce volatiles with high potential for inhibition of *Phytophthora infestans*. *Appl Environ Microbiol*, 81:821–830.

IPBES (2016): The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on Pollinators, Pollination and Food Production. PDF-Dokument: [www.ipbes.net/sites/default/files/downloads/pdf/spm\\_deliverable\\_3a\\_pollination\\_20170222.pdf](http://www.ipbes.net/sites/default/files/downloads/pdf/spm_deliverable_3a_pollination_20170222.pdf)

IPCC (2014). Climate change 2014: synthesis report. PDF-Dokument: [www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_wcover.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf)



JAEGER, L. (2017): *Supermacht Wissenschaft: Unsere Zukunft zwischen Himmel und Hölle*. Güthersloher Verlagshaus, München.

KOLBERT E. (2014): *The sixth extinction: an unnatural history*. New York: Henry Holt & Co.

LUNA E., BRUCE T. J., ROBERTS M. R., FLORS V., TON J. (2012): Next-generation systemic acquired resistance. *Plant Physiol.*, 158 (2): 844–53.

MAKAREVITCH I., WATERS A. J., WEST P. T., STITZER M., HIRSCH C. N., ROSS-IBARRA J., SPRINGER N. M. (2015): Transposable elements contribute to activation of maize genes in response to abiotic stress. *PLOS Genetics*, 11(10): e1005566.

PROGRAMMSYNTHESE NFP 59 (2012): *Nutzen und Risiken der Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen: Chancen nutzen, Risiken vermeiden, Kompetenzen erhalten*. Leitungsgruppe des Nationalen Forschungsprogramms NFP 59 (Hrsg.), vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, Bern.

SCNAT (2016). *Neue Pflanzenzüchtungstechniken für die Schweizer Landwirtschaft – grosses Potenzial, offene Zukunft*. *Swiss Academies Factsheets*, 11 (4). Akademien der Wissenschaften Schweiz, Bern.

WANG Y., CHENG X., SHAN Q., ZHANG Y., LIU J., GAO C., QIU J-L. (2014): Simultaneous editing of three homoeoalleles in hexaploid bread wheat confers heritable resistance to powdery mildew. *Nature Biotechnology*, 32: 947–951.

SAG (2016): *Schöne neue Gentechnik: Genom-Editierung mit CRISPR/Cas9*. Grundlagenpapier der Schweizer Allianz Gentechfrei. PDF-Dokument erhältlich auf [www.gentechfrei.ch](http://www.gentechfrei.ch)

105

SANTHANAM R., LUJU V.T., WEINHOLD A., GOLDBERG J., OH Y., BALDWIN T. (2015): Native root-associated bacteria rescue a plant from a sudden-wilt disease that emerged during continuous cropping. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112: E5013–E5020.

STIRLING A. (2010): *From enlightenment to enablement: opening up choices for innovation*. In: *The Innovation for Development Report 2009–2010*, Lopez-Claros (Hrg.). Springer International Publishing AG.

VAN DEN DAELE W. (2012): *Grenzen der Konfliktlösung durch Dialog: Wäre die Blockade der grünen Gentechnik in Europa durch bessere Wissenschaftskommunikation vermeidbar gewesen?* In: Marc-Denis Weitzte und Pühler, Alfred, u.a. (Hrsg.), *Biotechnologie-Kommunikation. Kontroversen, Analysen, Aktivitäten*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 413–426.

WALTER A., FINGER R., HUBER R., BUCHMANN N. (2017): *Opinion: Smart farming is key to developing sustainable agriculture*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. DOI:10.1073/pnas.1707462114.



## Folgende Tagungsbände sind bisher erschienen:

DAHINDEN M., ROMEIS J., SELTER L., FOLKERS G. (Hrsg.) (2014): Gentechnikfreie Schweiz – (k)ein Szenario für die Zukunft. Zurich-Basel Plant Science Center, ISBN: 978-3-033-04476-0.

DAHINDEN M., ROMEIS J., KOHLER S., GROSSNIKLAUS U., FOLKERS G. (Hrsg.) (2011): Grüne Gentechnologie: Forschung zwischen Anspruch und Wirklichkeit. Wie weiter nach NFP59 und Moratorium? Idea-Verlag, ISBN: 978-3-88793-286-2.

DAHINDEN M., KOHLER S., SAUTTER C. (Hrsg.) (2009): Koexistenz und Forschungsfreiheit als Nagelprobe für die Grüne Gentechnologie. Idea-Verlag, ISBN: 978-3-88793-266-4.

KOHLER S., MARANTA A., SAUTTER C. (Hrsg.) (2008): Bekämpfung des Feuerbrands in der Schweiz. Traditionelle Lösungen oder Gentechnologie? Idea-Verlag, ISBN: 978-3-88793-256-5.

KOHLER S., MARANTA A., SAUTTER C. (Hrsg.) (2006): Pflanzenbiotechnologie in der Schweiz – Ein Jahr nach der «Gentechfrei-Initiative». PDF Dokument

KOHLER S., MARANTA A., SAUTTER C. (Hrsg.) (2005): Hat die Pflanzenforschung mit gentechnischen Methoden in der Schweiz eine Zukunft? PDF Dokument

Erhältlich auf:

► [www.plantsciences.uzh.ch/de/outreach/fachtagung/fachtagungarchiv.html](http://www.plantsciences.uzh.ch/de/outreach/fachtagung/fachtagungarchiv.html)