

## **Grüne Gentechnologie**

Aktuelle Entwicklungen in Wissenschaft und Wirtschaft

Interdisziplinäre Arbeitsgruppen  
Forschungsberichte

Herausgegeben von der  
Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften

Band 17

# **Grüne Gentechnologie**

## **Aktuelle Entwicklungen in Wissenschaft und Wirtschaft**

### **Supplement zum Gentechnologiebericht**

Bernd Müller-Röber, Ferdinand Hucho, Wolfgang van den Daele, Kristian Köchy,  
Jens Reich, Hans-Jörg Rheinberger, Karl Sperling, Anna M. Wobus, Mathias Boysen  
und Meike Kölsch

mit Beiträgen von Volker Beckmann und Christian Schleyer



Diese Publikation erscheint mit Unterstützung der Senatsverwaltung für Bildung, Wissenschaft und Forschung des Landes Berlin und des Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Brandenburg.

Der Verlag und die Autoren haben alle Sorgfalt walten lassen, um vollständige und akkurate Informationen in diesem Buch zu publizieren. Der Verlag übernimmt weder Garantie noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für die Nutzung dieser Informationen, für deren Wirtschaftlichkeit oder fehlerfreie Funktion für einen bestimmten Zweck. Ferner kann der Verlag für Schäden, die auf einer Fehlfunktion von Programmen oder Ähnliches zurückzuführen sind, nicht haftbar gemacht werden. Auch nicht für die Verletzung von Patent- und anderen Rechten Dritter, die daraus resultieren. Eine telefonische oder schriftliche Beratung durch den Verlag über den Einsatz der Programme ist nicht möglich. Der Verlag übernimmt keine Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren, Programme usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenzeichnungen usw. in diesem Buch berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen. Der Verlag hat sich bemüht, sämtliche Rechteinhaber von Abbildungen zu ermitteln. Sollte dem Verlag gegenüber dennoch der Nachweis der Rechtsinhaberschaft geführt werden, wird das einfache branchenübliche Honorar gezahlt.

#### Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Alle Rechte vorbehalten  
2. überarbeitete Auflage 2007

Herausgeber: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (BBAW)  
Verlegerische Betreuung im Auftrag der BBAW: Forum W – Wissenschaftlicher Verlag, Limburg an der Lahn

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Printed in Germany

**ISBN: 978-3-940647-01-6**

## Vorwort

Die Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (BBAW) sieht in der Beobachtung der Gentechnologie eine Langzeitaufgabe, ein Projekt zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit. Es geht darum, mit interdisziplinärer Aufmerksamkeit eine Hochtechnologie zu begleiten, die wegen ihrer prinzipiellen Neuartigkeit sowohl auf ihr wissenschaftliches und wirtschaftliches Potential als auch auf ihre ökologischen, gesundheitlichen, im umfassenden Sinn gesellschaftlichen Implikationen mit einer gewissen Kontinuität geprüft werden muss. Der Kontinuität dieses Monitorings dient zum einen die Fortschreibung der früher erhobenen Daten, zum anderen der Focus auf neue Gebiete und Themen, die mit wechselnder Brisanz die Öffentlichkeit beschäftigen. Im Jahr 2005 erschien der erste deutsche *Gentechnologiebericht* (Hucho et al., 2005; als pdf-Dokument erhältlich unter [www.bbaw.de/bbaw/Forschung/Forschungsprojekte](http://www.bbaw.de/bbaw/Forschung/Forschungsprojekte)). Er schildert in vier Kapiteln Stand und Bedeutung der Gentechnologie in der Genomforschung, Gendiagnostik, Pflanzenzüchtung und Wirtschaft. Der vorliegende Band schreibt das Monitoring der Gentechnologie für den Bereich der Pflanzenzüchtung fort und ergänzt das Berichtskapitel um weitere Aspekte, ohne dabei alle dort niedergelegten Aspekte aufs Neue zu analysieren und die gesamte Bandbreite des Themas von den denkbaren Anwendungsbereichen über die gesundheitlichen Aspekte bis hin zu der öffentlichen Akzeptanz erneut darzustellen.

Für die Interdisziplinarität des Monitorings steht die bezüglich ihrer Fachdisziplinen breit zusammengesetzte Arbeitsgruppe. Der wissenschaftliche Ansatz beruht auf der Erarbeitung von Indikatoren, das heißt von Kenngrößen, die in ihrer Summe ermöglichen, komplexe, nicht direkt messbare Sachverhalte abzubilden. Eine detaillierte Beschreibung der Arbeitsweise der Arbeitsgruppe ist in der Einleitung zum ersten deutschen *Gentechnologiebericht* niedergelegt.

Ein Wort zur Autorenschaft: Nicht namentlich gekennzeichnete Beiträge werden von der Arbeitsgruppe insgesamt vertreten, Expertisen und Texte von Nicht-Mitgliedern der Arbeitsgruppe tragen Autorennamen. Kernaussagen und Hinweise auf Handlungsbedarf sind Meinungen der Arbeitsgruppe, die nicht notwendigerweise von der BBAW insgesamt vertreten werden (zumal nicht alle Arbeitsgruppenmitglieder zugleich Mitglieder der BBAW sind).

Das Monitoring-Projekt wird fortgesetzt. Nach dem bereits erschienenen Ergänzungsband *Stammzellforschung und Zelltherapie* (Wobus et al., 2006) sind ein Supplement zur Gentherapie, eine Fortschreibung des Kapitels zur Gendiagnostik und schließlich eine zweite Auflage des Gesamtberichts in Vorbereitung.

Berlin im Herbst 2006

Ferdinand Hucho,  
Sprecher der interdisziplinären Arbeitsgruppe Gentechnologiebericht der BBAW

# Inhalt

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>11</b>
<b>2.</b>	<b>Zusammenfassung und Kernaussagen</b>	<b>13</b>
<b>3.</b>	<b>Stand der Wissenschaft und Technik</b>	<b>17</b>
3.1.	Einleitung	<b>17</b>
3.2.	Smart Breeding (Präzisionszucht)	18
3.2.1.	Relevanz der molekularen Pflanzenforschung und Gentechnik für die Etablierung von Smart Breeding	21
3.2.2.	Beispiele für Entwicklungslinien unter Verwendung von Smart Breeding	21
3.2.3.	Einschränkungen des Smart Breeding im Vergleich zur Gentechnik	24
3.2.4.	Vorteile des Smart Breeding im Vergleich zur Techniken, die zu transgenen Pflanzen führen	25
3.3.	Cisgene Pflanzen	26
3.4.	Pflanzen für die Biomasseproduktion	30
3.5.	Genomsequenzierungen	33
3.6.	Genomische Technologien in der Biodiversitäts- und Ökosystemforschung	37
3.7.	Systembiologie / Systems Biology	39
3.8.	Enabling Technologien der gentechnischen Pflanzenzüchtung	39
3.8.1.	Transformationsmethoden	39
3.8.2.	Pflanzliche Expressionssysteme	44
3.9.	Plant-made Pharmaceuticals (PMPs)	45
3.10.	Selektierbare Marker / neue Selektionsverfahren	46

3.11.	Chemical Genetics	48
3.12.	Micro-RNAs	49
3.13.	Erzeugung genetischer Diversität und molekulare Charakterisierung auf der DNA-Ebene	49
3.13.1.	Genaustausch	49
3.13.2.	TILLING-Verfahren	50
3.13.3.	Natürliche Ökotypen	50
3.13.4.	Quantitative Trait Loci	50
3.14.	Phänotypisierung der genetischen Diversität	51
3.14.1.	Erstellung von RNA-Profilen	51
3.14.2.	Protein-Profile	52
3.14.3.	Profilierung von Enzym-Aktivitäten	53
3.14.4.	Metaboliten-Profile	53
<b>4.</b>	<b>Ökonomischer Nutzen der grünen Gentechnologie</b>	<b>55</b>
4.1.	Einleitung	55
4.2.	Weltweite Anbauflächen gentechnisch veränderter Sorten	56
4.3.	Anbau in Deutschland und Europa	62
4.4.	Langfristiger Betrachtungshorizont: Resistenzen, Koexistenz und Markttrennung	63
4.5.	Saatgutsektor und Gewinnverteilung	67
4.6.	Gentechnologie im Lebensmittelsektor	70
4.7.	Beschäftigungswirkung der grünen Gentechnologie	72
4.8.	Zukünftige Ansätze der grünen Gentechnologie	78
4.9.	Fazit	80



---

<b>5.</b>	<b>Neue Formen der Kooperation von Landwirten bei der Befürwortung und Ablehnung der Agro-Gentechnik</b>	<b>83</b>
5.1.	Einleitung	83
5.2.	Unsichere rechtliche Rahmenbedingungen	84
5.3.	Neue Kooperationen im Umgang mit der Agro-Gentechnik – Eine erste Bestandsaufnahme	85
5.3.1.	Kooperationen zur Verhinderung des Anbaus von GVO – Dynamik der Gentechnikfreien Regionen	85
5.3.2.	Kooperationen zum Anbau von GVO – Sind Gentechnik-Regionen im Entstehen?	86
5.3.3.	Kooperationen zur Koexistenz – Eine Unbekannte und Innovationen im Landhandel	86
5.4.	Welche Potentiale haben Kooperationen bei der zukünftigen Befürwortung und Ablehnung der Agro-Gentechnik?	88
5.4.1.	Anreize zum Anbau von GVO	88
5.4.2.	Anreize zur Kooperation	92
5.4.3.	Potentiale zur Bildung von „Gentechnikfreien Regionen“	93
5.4.4.	Potentiale zur Bildung von Gentechnik-Regionen	94
5.4.5.	Potentiale von Kooperationen zur Koexistenz	96
5.5.	Fazit und Ausblick	97
<b>6.</b>	<b>Kontroverse Wissenschaft – wissenschaftliche Kontroverse; ein Gespräch zwischen VDW und BBAW</b>	<b>101</b>
6.1.	Themenbereich „Gesunde Ernährung“	102
6.2.	Themenbereich „Ökologische Risiken“	106
6.3.	Themenbereich „Rechtlicher Rahmen“	108

<b>7.</b>	<b>Problemfelder und Indikatoren zur grünen Gentechnologie</b>	<b>111</b>
7.1.	Methodischer Ansatz des Indikatoren-basierten Monitorings	111
7.2.	Erhobene Indikatoren und Indikatorenkennblätter	117
<b>8.</b>	<b>Handlungsbedarf</b>	<b>167</b>
<b>9.</b>	<b>Literatur und Verzeichnisse</b>	<b>169</b>
9.1.	Literaturverzeichnis	169
9.2.	Abbildungsverzeichnis	179
9.3.	Tabellenverzeichnis	180

# 1. Einleitung

Die öffentliche Debatte in Deutschland um den Einsatz der Gentechnologie hält unverändert an. Gleichzeitig sind die weltweiten Anbauflächen gentechnisch veränderter Pflanzen in den letzten Jahren kontinuierlich angestiegen. Verpasst Deutschland den Anschluss? Während Befürworter der grünen Gentechnologie diese in der Politik beliebte Frage lautstark bejahen, betrachten Kritiker transgener Pflanzen solche bereits als technologisches Alteisen und verweisen auf die Technik des so genannten Smart Breedings. Was sich hinter diesem neuen Begriff verbirgt und in welchem Verhältnis diese Technik zur Gentechnologie steht, wird im vorliegenden Ergänzungsband im Kapitel zum Stand der Forschung und Technik dargestellt. Neben weiteren technischen Entwicklungen der letzten Jahre wird hier der Einsatz der Gentechnologie bei Pflanzen zur Biomasseproduktion angeschnitten, die vor dem Hintergrund boomender Rohstoffmärkte und steigender Energiekosten weiter an Bedeutung gewonnen haben.

Die eingangs provokant formulierte Frage über verpasste Entwicklungschancen verweist nicht nur auf die technologische Entwicklung, sondern auch auf potenzielle ökonomische Nachteile, welche die Nichtnutzung der grünen Gentechnik bedeuten könnte. Welche ökonomischen Potenziale die grüne Gentechnik hat, stellt der zweite Abschnitt vor. Eingegangen wird auf die verschiedenen Argumente, die in der öffentlichen Auseinandersetzung kursieren, unter anderem auf die Entwicklung der Anbauflächen, die Nutzenverteilung, die Vorbedingungen für einen ökonomischen Vorteil jetziger transgener Sorten, die Chancen zukünftiger transgener Sorten und die jeweils damit verknüpften Arbeitsplätze. Im anschließenden Kapitel wird diese ökonomische Betrachtung in Bezug auf die deutsche Situation vertieft, indem Kriterien des Anbaus sowie Kooperationsmodelle unter Landwirten (Gentechnikfreie Regionen, Gentechnik-Regionen, Koexistenzregionen) im Umgang mit der Agro-Gentechnik dargestellt werden.

Einen direkten Blick auf die wissenschaftliche Kontroverse bietet ein weiteres Kapitel. Es dokumentiert ein Gespräch zwischen Vertretern der Vereinigung Deutscher Wissenschaftler (VDW) und der interdisziplinären Arbeitsgruppe Gentechnologiebericht an der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften (BBAW) zur grünen Gentechnologie, speziell zu den besonders umstrittenen Punkten Gesundheit, Ökologie und Rechtsrahmen.

Den Abschluss bilden die Darstellung der gewählten Methodik, um das weitläufige und vielfältig komplex miteinander verzahnte Feld der grünen Gentechnologie aufzugliedern, sowie eine Aktualisierung der im Gentechnologiebericht 2005 vorgestellten Indikatoren, die einen konzentrierten wie vertiefenden Blick auf die Entwicklung der grünen Gentechnologie in den letzten Jahren ermöglichen.

## 2. Zusammenfassung und Kernaussagen

**D**er weltweite Anbau gentechnisch veränderter Sorten konzentriert sich auf die vier Nutzpflanzenarten Soja, Mais, Baumwolle und Raps, sowie auf die Merkmale Schädlingsresistenz und Herbizidtoleranz. Von dem Anbau transgener Sorten können die Landwirte dann profitieren, wenn sich Verluste durch einen Schädlingsbefall reduzieren beziehungsweise Kosten des Unkrautmanagements senken lassen. Die stetige Zunahme des weltweiten Anbaus gentechnisch veränderter Pflanzen zeigt übereinstimmend mit diversen Studien, dass trotz höherer Saatgutkosten für die Landwirte ökonomische Vorteile bestehen.

Im Jahr 2006 hat in Deutschland der kommerzielle Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen auf circa 950 Hektar stattgefunden. Die Rahmenbedingungen, insbesondere die EU-weite nachweisunabhängige Kennzeichnungspflicht und die Koexistenz von transgenen und nicht-transgenen Pflanzen beim Anbau wie bei der Verarbeitung unterscheiden sich deutlich von den Anbauländern mit schnell steigender Anbaurate. Mit einer raschen Diffusion gentechnisch veränderter Sorten ist in Deutschland deswegen nicht zu rechnen.

Das Forschungsgebiet der grünen Gentechnik ist dynamisch und wird weltweit weiterhin intensiv vorangetrieben. Forscher arbeiten derzeit an Pflanzen der zweiten und dritten Generation, bei denen entweder komplexere Stoffwechselwege oder Regulationsmechanismen modifiziert werden oder verschiedene Eigenschaften kombiniert werden. Gleichzeitig haben sich die Zielrichtung der Forschung und damit die anvisierten Produkte erweitert (zum Beispiel Nährstoffeffizienz, veränderte Nährstoffzusammensetzung, Biomasseforschung). Flankiert werden diese Arbeiten in zunehmendem Maße durch die vergleichende Genomforschung, bei der aktuell die Genome mehrerer Pflanzen sequenziert werden. Dies beschleunigt die Identifizierung von Genen und Regulationsmechanismen, die das ökologische Verhalten von Pflanzen bestimmen beziehungsweise für technische Anwendungen relevant sind.

Aktuell werden Verfahren des Smart Breeding (sog. „Präzisionszüchtung“) entwickelt. Hierbei werden Kreuzungen auf klassischem Wege zwischen Individuen einer Art oder zwischen nah

verwandten Arten durchgeführt. Anschließend wird das Vorkommen gewünschter Eigenschaften in den Nachkommen mittels molekularer Marker (direkt auf Genebene) verfolgt. Der positive Tenor der Presseberichterstattung lässt den Schluss zu, dass über Smart Breeding gezüchtete Pflanzen eher vom Verbraucher akzeptiert werden als transgene Pflanzen.

Die zweite aktuelle Entwicklung betrifft cisgene Pflanzen. Diese werden zwar mittels Gentransfermethoden hergestellt, enthalten aber lediglich arteigene DNA-Elemente.

Weder das Smart Breeding noch Cisgentechnologien werden jedoch transgene Pflanzen ersetzen können, und es werden weiterhin über Artgrenzen hinaus gehende Gentransfers notwendig sein, die in der industriellen (weißen) Biotechnologie bereits Standard sind.

Pauschale Einwände gegen die Sicherheit der grünen Gentechnik (Gesundheits- und ökologisches Risiko) können nicht als zentrales Argument gegen den Einsatz der Technik heran gezogen werden. Erkennbaren Risiken wird durch rechtliche Regelungen Rechnung getragen. Zugleich ist allgemein anerkannt, dass ein Monitoring von gentechnisch veränderten Pflanzen nach ihrem Inverkehrbringen sinnvoll ist.

Ob die Durchsetzung der Technik an der Akzeptanz (Kaufbereitschaft) der Verbraucher scheitert, ist offen. Wegen des organisierten gesellschaftlichen Drucks sind Lebensmittelhersteller und -handel trotz der Verankerung der Wahlfreiheit und der damit verbundenen Kennzeichnungsregeln in der Europäischen Union derzeit nicht bereit, Lebensmittel aus gentechnisch veränderten Pflanzen anzubieten.

Die öffentliche Anerkennung der grünen Gentechnik in Deutschland und in der Europäischen Union scheiterte bislang auch am Mangel überzeugender Produkte (Output-traits) der Pflanzen der ersten Generation. Indes haben in den USA und Kanada sowie in mehreren Schwellenländern (Argentinien und China) transgene Pflanzen der ersten Generation (Insektenresistenz, Herbizidresistenz) in den letzten Jahren gemessen am Zuwachs der Anbauflächen erheblich an Bedeutung gewonnen.

Die Fachwissenschaftler befürchten in Deutschland den dauerhaften Verlust wissenschaftlicher Expertise. Gerade junge, gut ausgebildete Nachwuchswissenschaftler könnten sich aufgrund

der unsicheren Zukunft in Deutschland von der grünen Gentechnik abwenden oder ins Ausland gehen. Neuere Entwicklungen wie Smart Breeding und Cisgentechnologien, aber auch die verstärkte Hinwendung zur Biomasseforschung könnten dem entgegenwirken.

Für die grüne Gentechnologie in Deutschland fehlt eine eindeutige Wissenschaftspolitik. Unverändert ist das Vorgehen des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) und des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) nicht abgestimmt. Eine Ökologisierung der Landwirtschaft darf nicht nur als Übergang zum ökologischen Landbau verstanden werden und darf sich nicht den Möglichkeiten der Gentechnologie verschließen. Auf der Ebene der Anwendungsforschung droht die Abkopplung von internationalen Forschungsprogrammen zur grünen Gentechnik.

Zerstörungen von genehmigten Freilandexperimenten gefährden den Erkenntnisgewinn der deutschen Forschung gerade auch zur Risikoabschätzung des Anbaus gentechnisch veränderter Sorten.

Die grüne Gentechnik gewinnt an Bedeutung für Schwellenländer. Dies zeigt sich zum einen an wachsenden Anbauflächen. Darüber hinaus werden auch verstärkt finanzielle Mittel in die eigene Forschung geleitet. Die lizenzkostenfreie Bereitstellung beispielsweise des Golden Rice kann einen wirtschaftlichen und gesundheitlichen Vorteil für Subsistenzbauern darstellen. Zunehmend entwickeln sich in Schwellenländern eigene Forschungsaktivitäten mit Ausrichtung auf lokal wichtige Kulturpflanzen.