

Schriftenreihe des Fraunhofer-Instituts  
für Systemtechnik und Innovationsforschung ISI

---



Klaus Menrad · Sibylle Gaisser  
Bärbel Hüsing · Martina Menrad

---

# Gentechnik in der Landwirtschaft, Pflanzenzucht und Lebensmittelproduktion

Stand und Perspektiven

Mit 25 Abbildungen und 57 Tabellen

**Springer-Verlag**

Berlin Heidelberg GmbH

Dr. Klaus Menrad  
Dr. Sibylle Gaisser  
Dr. Bärbel Hüsing  
Dr. Martina Menrad  
Fraunhofer-Institut für Systemtechnik  
und Innovationsforschung ISI  
Breslauer Straße 48  
76139 Karlsruhe

klaus.menrad@isi.fhg.de  
sibylle.gaisser@isi.fhg.de  
baerbel.huesing@isi.fhg.de  
martina.menrad@isi.fhg.de

ISSN 1431-9659

ISBN 978-3-7908-0021-0    ISBN 978-3-642-57426-9 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-642-57426-9

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.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2003

Ursprünglich erschienen bei Physica-Verlag Heidelberg 2003

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk 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 dürften.

Umschlaggestaltung: Erich Kirchner, Heidelberg

SPIN 10907900    88/3130-5 4 3 2 1 0 – Gedruckt auf säurefreiem Papier

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....XI

Tabellenverzeichnis ..... XIII

1. Einleitung und Problemstellung..... 1

2. Zielsetzung der Studie ..... 3

3. Konzeption und Vorgehensweise ..... 5

3.1 Konzeption der Studie ..... 5

3.2 Vorgehensweise..... 6

4. Tierzucht und landwirtschaftliche Nutztierhaltung..... 11

4.1 Übersicht über Anwendung der Gentechnik ..... 11

4.2 Gendiagnostik und Genanalytik (Genomics) ..... 12

4.2.1 Zielsetzung gendiagnostischer und genanalytischer  
Verfahren in der Tierzucht ..... 12

4.2.2 Methodischer Ansatz der Gendiagnostik..... 13

4.2.3 Weitere Anwendungsbeispiele der Gendiagnostik und  
Genanalytik..... 15

4.2.4 Vorteile und Folgen gendiagnostischer und  
genanalytischer Verfahren in der Tierzucht und  
Tierproduktion ..... 18

4.3 Transgene Tiere ..... 19

4.3.1 Zielsetzung der Herstellung transgener Tiere..... 19

4.3.2 Methoden und Erfolgsraten des Gentransfers ..... 20

4.3.3 Anwendungsbereiche für den Einsatz transgener Tiere in  
der Landwirtschaft..... 25

4.3.3.1 Wachstum ..... 25

4.3.3.2 Krankheitsresistente Tiere ..... 27

4.3.3.3 Milchqualität..... 28

4.3.3.4 Wollproduktion..... 30

4.3.4	Folgen der gentechnischen Veränderung von Tieren .....	31
4.3.5	Gentechnisch veränderte Insekten .....	32
4.3.6	Gentechnisch veränderte Fische .....	32
4.4	Gene Pharming .....	33
4.4.1	Definition und Zielsetzung des Gene Pharming.....	33
4.4.2	Anwendungsbereiche für das Gene Pharming.....	34
4.4.3	Vor- und Nachteile des Gene Pharming im Vergleich mit Alternativen .....	38
4.4.4	Problembereiche des Gene Pharming .....	43
4.4.4.1	Herstellung einer Herde von transgenen Tieren für die Produktion .....	43
4.4.4.2	Pharmawirkstoffe aus der Milch transgener Tiere – Anforderungen an Produkt und Prozess .....	45
4.4.4.3	Ökonomische Notwendigkeit zur Verkürzung des FuE- Prozesses und Zulassungsprozesses .....	46
4.5	Exkurs: Klonierung von Tieren .....	51
4.5.1	Definition Klonierung.....	51
4.5.2	Prinzip der Klonierung .....	52
4.6	Tierernährung und Tiergesundheit .....	55
4.7	Sonstige Anwendungen .....	58
4.8	Stand und Perspektiven .....	58
<b>5.</b>	<b>Pflanzenzucht .....</b>	<b>61</b>
5.1	Übersicht über Anwendung der Gentechnik .....	61
5.2	Methoden und Techniken .....	63
5.2.1	Genomsequenzierung .....	63
5.2.2	Markergestützte Züchtung.....	66
5.2.3	Gentransfer .....	68
5.2.4	Promotoren, Markergene .....	71
5.3	Gentechnik bei landwirtschaftlichen Nutzpflanzen.....	75
5.3.1	Bearbeitete Pflanzenarten .....	76

5.3.2	Ziele der gentechnischen Veränderung .....	76
5.3.3	Eigenschaften.....	78
5.3.3.1	Input-Traits .....	78
5.3.3.2	Output-Traits .....	88
5.4	Gentechnik bei Dauerkulturen und Zierpflanzen .....	92
5.4.1	Obstarten.....	92
5.4.2	Reben.....	94
5.5	Zierpflanzen.....	96
5.6	Gentechnik bei Nicht-Nahrungsmittelpflanzen .....	98
5.6.1	Nachwachsende Rohstoffe .....	98
5.6.2	Phytoremediation.....	100
5.6.3	Pharmazeutika/Wirkstoffproduktion .....	101
5.7	Freisetzungsversuche mit transgenen Pflanzen .....	106
5.8	Stand und Perspektiven .....	114
<b>6.</b>	<b>Forstwirtschaft.....</b>	<b>119</b>
6.1	Übersicht über Anwendungen der Gentechnik.....	119
6.2	Methoden und Techniken .....	121
6.2.1	Gentransfer über <i>Agrobacterium tumefaciens</i> .....	121
6.2.2	Gentransfer über ballistische Verfahren .....	124
6.2.3	Protoplastentransformation.....	124
6.2.4	<i>In-vitro</i> -Regenerationssysteme .....	125
6.3	Gentechnik bei Forstpflanzen.....	125
6.3.1	Pflanzenarten .....	125
6.3.2	Ziele der gentechnischen Veränderung .....	126
6.3.3	Eigenschaften.....	127
6.3.4	Offene Fragen .....	130
6.4	Stand und Perspektiven .....	131

<b>7.</b>	<b>Landwirtschaft (insbesondere Pflanzenbau)</b> .....	<b>133</b>
7.1	Aktueller Stand der kommerziellen Nutzung transgener landwirtschaftlicher Nutzpflanzen.....	133
7.1.1	Länder.....	133
7.1.2	Pflanzenarten .....	137
7.1.3	Eigenschaften.....	142
7.2	Erfahrungen mit dem Anbau transgener Nutzpflanzen .....	143
7.2.1	Inputfaktoren .....	145
7.2.2	Outputfaktoren.....	147
7.2.3	Erfahrungen mit einzelnen Kulturarten .....	148
7.2.4	Fazit .....	155
7.3	Ökonomische Aspekte.....	155
7.3.1	Markt für Saatgut.....	155
7.3.2	Struktur und Aktivitäten von Agrarbiotechnologieunternehmen in Deutschland .....	158
7.3.3	Handel mit transgenen Pflanzen und Verarbeitungsprodukten .....	162
7.3.3.1	Handel mit Soja und Sojaprodukten.....	162
7.3.3.2	Handel mit Mais und Maisprodukten .....	163
7.3.4	Strukturwirkungen in der Landwirtschaft.....	165
7.4	Stand und Perspektiven .....	166
<b>8.</b>	<b>Lebensmittelproduktion</b> .....	<b>169</b>
8.1	Übersicht über die Anwendung der Gentechnik.....	169
8.2	Gendiagnostik und Genanalytik .....	169
8.2.1	Methoden.....	170
8.2.1.1	Molekulare Hybridisierung.....	170
8.2.1.2	Polymerase-Kettenreaktion (PCR) .....	171
8.2.2	Qualitätssicherung .....	173
8.2.2.1	Mikrobielle Kontamination .....	173
8.2.2.2	Art-/Herkunftsnachweis.....	175
8.2.3	Nachweis von gentechnisch veränderten Organismen .....	176

8.3	Herstellung von Hilfs- und Zusatzstoffen .....	176
8.3.1	Enzyme .....	177
8.3.2	Zusatzstoffe .....	184
8.4	Gentechnisch veränderte Starterkulturen.....	186
8.5	Lebensmittel aus gentechnisch veränderten Organismen.....	189
8.6	Stand und Perspektiven .....	190
<b>9.</b>	<b>Sicherheitsforschung und Risikobewertung .....</b>	<b>193</b>
9.1	Potenzielle Risiken durch die Gentechnik.....	193
9.1.1	Risiken durch transgene Tiere .....	193
9.1.2	Risiken durch transgene Pflanzen.....	195
9.1.2.1	Genübertragung zwischen verschiedenen Pflanzenarten und -sorten .....	196
9.1.2.2	Horizontaler Gentransfer .....	199
9.1.2.3	Auswilderung transgener Pflanzen und ihrer Hybride .....	200
9.1.2.4	Auswirkungen auf Tiere im Ökosystem .....	202
9.1.2.5	Resistenzentwicklungen gegen transgene Pflanzen .....	204
9.1.2.6	Entstehen neuer Viren .....	205
9.1.2.7	Nutzungsintensität beim Anbau transgener Pflanzen .....	206
9.1.3	Risiken durch den Verzehr gentechnisch veränderter Lebensmittel .....	208
9.1.3.1	Toxizität.....	208
9.1.3.2	Allergien .....	210
9.1.3.3	Antibiotikaresistenzen .....	213
9.1.4	Monitoring nach Inverkehrbringen.....	216
9.2	Unabsichtliche Kontamination durch gentechnisch verändertes Material .....	217
9.3	Rückverfolgbarkeit gentechnisch veränderter Organismen .....	224
9.4	Nachweismethoden für gentechnisch veränderte Organismen.....	225
9.4.1	Ansatzpunkte für ein Nachweisverfahren.....	225
9.4.2	Phänotypischer Nachweis.....	226



9.4.3	Nachweis der neu eingeführten Proteine .....	227
9.4.4	Nachweis der neu eingeführten DNA (PCR) .....	228
9.4.5	Fazit .....	231
9.5	Stand und Perspektiven .....	232
<b>10.</b>	<b>Rechtliche Regelungen .....</b>	<b>237</b>
10.1	Internationale Regelungen.....	237
10.1.1	Das Übereinkommen über die biologische Vielfalt .....	237
10.1.2	Cartagena Protocol on Biosafety .....	238
10.1.3	Internationale Regelungen zum Schutz geistigen Eigentums .....	239
10.2	Rechtliche Regelungen in der EU .....	240
10.2.1	Systemrichtlinie (98/81/EG).....	240
10.2.2	Freisetzungsrictlinie (90/220/EWG).....	241
10.2.3	Novellierung der Freisetzungsrictlinie (2001/18/EG) .....	243
10.2.4	Novel Food-Verordnung (258/97/EG) .....	245
10.2.5	Vorschläge der EU-Kommission für eine Verordnung über genetisch veränderte Lebens- und Futtermittel sowie zur Rückverfolgbarkeit und Kennzeichnung von GVO und Produkten aus GVO.....	248
10.2.6	Biopatentrichtlinie (98/44/EG).....	252
10.2.7	Weitere Regelungen der EU .....	253
10.3	Nationale Regelungen.....	254
10.3.1	Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetz (LMBG).....	254
10.3.2	Gentechnikgesetz (GenTG) .....	255
10.3.3	Neuartige Lebensmittel- und Lebensmittelzutaten- Verordnung (NLV) .....	257
10.3.4	Saatgutverkehrsgesetz .....	259
10.4	Stand und Perspektiven .....	259
<b>11.</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>263</b>
	<b>Literatur .....</b>	<b>275</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1:	Konzeption der Studie .....	5
Abbildung 4.1:	Reproduktions- und Gentechnik als Teilbereiche der Biotechnologie.....	12
Abbildung 4.2:	Prinzip der Gendiagnostik am Beispiel des „Stressgens“ (RZR) beim Schwein .....	16
Abbildung 4.3:	Prinzip des Herkunftsnachweises von Tieren und tierlichen Produkten durch eine auf einer DNA-Analyse basierenden „genetischen Ohrmarke“ .....	17
Abbildung 4.4:	Schematische Darstellung von Methoden des Gentransfers bei der Maus.....	22
Abbildung 4.5:	Verbleib von Fremd-DNA nach Mikroinjektion.....	23
Abbildung 4.6:	Prinzip des Gene Pharming bei transgenen Nutztieren .....	34
Abbildung 4.7:	Zeitlicher Ablauf der erforderlichen Schritte bis zur Etablierung einer Produktionsherde transgener Schafe oder Ziegen unter Verwendung von Standardtechniken .....	49
Abbildung 4.8:	Unterschied zwischen Klonen und transgener Veränderung von Tieren.....	51
Abbildung 4.9:	Schematische Darstellung des Klonens durch Kerntransfer.....	54
Abbildung 4.10:	Schematische Darstellung des Klonens durch Kerntransfer am Beispiel „Dolly“ .....	55
Abbildung 5.1:	Weltweite Freisetzungsversuche aufgeschlüsselt nach Pflanzenarten (Stand 2001, Zahl der Datenbank-Einträge ca. 10.300).....	106
Abbildung 5.2:	Weltweite Freisetzungsversuche aufgeschlüsselt nach Ländern.....	107
Abbildung 5.3:	Entwicklung der Freisetzungen von GVO in der EU 1990 bis 2001 .....	110
Abbildung 5.4:	Freisetzungen transgener Pflanzen in europäischen Ländern in den Jahren 1990 bis 2001.....	111
Abbildung 5.5:	Anträge zur Freisetzung von GVO in der EU aufgeschlüsselt nach Eigenschaften der transgenen Pflanzen .....	112
Abbildung 7.1:	Entwicklung der Anbauflächen gentechnisch veränderter Nutzpflanzen in den Jahren 1996 bis 2001 .....	133

Abbildung 7.2:	Länderanteile an den weltweiten Anbauflächen gentechnisch veränderter Nutzpflanzen im Jahr 2001 .....	134
Abbildung 7.3:	Diffusionsgrad des kommerziellen Anbaus transgener Nutzpflanzen im Jahr 2001 .....	135
Abbildung 7.4:	Diffusionsgrad des kommerziellen Anbaus transgener Pflanzen in einzelnen Ländern im Jahr 1999 .....	136
Abbildung 7.5:	Zeitliche Entwicklung der weltweiten Anbauflächen von transgenen Sojabohnen, Mais, Baumwolle und Raps .....	139
Abbildung 7.6:	Eigenschaften transgener Pflanzen im zeitlichen Verlauf .....	143
Abbildung 7.7:	Zahl der Beschäftigten in traditionellen Agrarbiotechnologieunternehmen in Deutschland im Jahr 1999 .....	159
Abbildung 7.8:	Gründungsjahr spezialisierter Agrarbiotechnologieunternehmen in Deutschland .....	160
Abbildung 7.9:	Zahl der Beschäftigten in spezialisierten Agrarbiotechnologieunternehmen in Deutschland im Jahr 1999 .....	161

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.1:	Eizellenverbrauch bei Mikroinjektion, sich entwickelnde Föten und Ausbeute an transgenen Tieren für verschiedene Tierarten.....	23
Tabelle 4.2:	Erfolgsraten bei der Produktion transgener Tiere durch Mikroinjektion.....	24
Tabelle 4.3:	Effizienz der Herstellung transgener Rinder – Vergleich von Gentransfer durch somatischen Kernttransfer mit Gentransfer durch Mikroinjektion.....	25
Tabelle 4.4:	Beispiele von landwirtschaftlichen Nutztieren mit einem Transgen, das das Wachstum steigert.....	26
Tabelle 4.5:	Ansätze, Tiere gentechnisch krankheitsresistent zu machen.....	27
Tabelle 4.6:	Einsatz der Gentechnik bei Rindern zur Veränderung von Milcheigenschaften .....	28
Tabelle 4.7:	Gentechnische Ansätze zur Verbesserung der Wollproduktion und -qualität .....	30
Tabelle 4.8:	Wirkstoffe aus transgenen Tieren in der Entwicklungsphase und in der klinischen Prüfung .....	35
Tabelle 4.9:	Vor- und Nachteile verschiedener Alternativen zur Herstellung menschlicher therapeutischer Wirkstoffe .....	38
Tabelle 4.9:	Modellberechnungen zur Ermittlung der Herdengröße transgener Tiere, die erforderlich wären, um den Weltjahresbedarf an ausgewählten menschlichen Pharmawirkstoffen zu decken .....	42
Tabelle 4.10:	Ansätze und Maßnahmen zur Verringerung von wissenschaftlich-wirtschaftlichen Problembereichen des Gene Pharming.....	50
Tabelle 4.11:	Kälberausbeute durch Embryotransfer ohne und mit Embryosplitting (gültig z. B. für Rind, Schaf, Ziege).....	52
Tabelle 4.12:	Anwendungen der Bio- und Gentechnik in der Tierhaltung .....	56
Tabelle 4.13:	Einsatzgebiete von Enzymen als Zusatzstoffe in der Tierernährung .....	57
Tabelle 5.1:	Übersicht zu Gentransfer-Methoden bei Pflanzen .....	69

Tabelle 5.2:	Häufig verwendete Promotoren bei transgenen Pflanzen .....	72
Tabelle 5.3:	Häufig verwendete Markergene bei transgenen Pflanzen .....	74
Tabelle 5.4:	Auswahl gentechnisch veränderter Nutzpflanzen .....	76
Tabelle 5.5:	Beispiele für transgene schädlings- und krankheitsresistente Pflanzen .....	80
Tabelle 5.6:	Transgene herbizidresistente Pflanzen .....	83
Tabelle 5.7:	Beispiele für die Veränderung der Produktqualität durch Gentransfer in Pflanzen .....	90
Tabelle 5.8:	Beispiele für gentechnische Veränderungen bei Obstarten .....	93
Tabelle 5.9:	Beispiele für gentechnische Transformationen bei <i>Vitis vinifera</i> .....	95
Tabelle 5.10:	Beispiele für transgene Pflanzen mit veränderter Blütenfarbe .....	97
Tabelle 5.11:	Beispiele für gentechnische Veränderungen bei Pflanzen für die industrielle Nutzung.....	99
Tabelle 5.12:	Pflanzen mit hyperakkumulierenden Eigenschaften .....	101
Tabelle 5.13:	Beispiele für die Produktion pharmazeutischer Wirkstoffe in transgenen Pflanzen .....	104
Tabelle 5.14:	Anträge zur Freisetzung von gentechnisch veränderten Organismen (GVO) in EU-Ländern aufgeschlüsselt nach Organismen und Ländern. (Stand Juni 2002) .....	109
Tabelle 5.15:	Anträge zur Freisetzung von GMO in der EU aufgeschlüsselt nach Eigenschaften und wichtigsten Kulturpflanzen.....	113
Tabelle 6.1:	Beispiele gentechnischer Forschungsvorhaben an Forstgehölzen .....	120
Tabelle 6.2:	Agrobacterium-Infektionen, die bei Bäumen Tumore induzieren .....	122
Tabelle 6.3:	Weltweite Freisetzungsexperimente mit transgenen Forstgehölzen .....	126

Tabelle 6.4:	Übersicht über Gene, welche in Gehölze eingebracht wurden .....	129
Tabelle 7.1:	Entwicklung der Anbauflächen von transgenen Pflanzen in einzelnen Ländern .....	137
Tabelle 7.2:	Anbauflächen transgener Nutzpflanzen für die kommerzielle Produktion (in Mio. ha) .....	138
Tabelle 7.3:	Gründe für den Anbau von transgenen Nutzpflanzen – Ergebnisse der „Agricultural Research Management Study“ (ARMS) unter US-amerikanischen Landwirten im Jahr 1997 .....	144
Tabelle 7.4:	Vergleich der Einkünfte im Sojaanbau von transgenen und konventionellen Sorten .....	149
Tabelle 7.5:	Vergleich der Wirtschaftlichkeit zwischen <i>Bt</i> -Mais und konventionellen Sorten .....	150
Tabelle 7.6:	Ökonomischer Vergleich von konventionellem und transgenem Raps .....	152
Tabelle 7.7:	Ökonomischer Vergleich von <i>Bt</i> - und konventionellem Baumwollanbau .....	153
Tabelle 7.8:	Unterschied in der Insektizidbehandlung zwischen konventionellen und <i>Bt</i> -Kartoffeln .....	154
Tabelle 7.9:	Geschätzte Binnenmärkte für Saat- und Pflanzgut wichtiger Länder im Jahr 2000 .....	156
Tabelle 7.10:	Weltweite Umsätze mit transgenen Pflanzenprodukten .....	157
Tabelle 7.11:	Top 10-Saatgutunternehmen im Jahr 1998 .....	158
Tabelle 7.12:	Export-Import-Bilanz der EU für Sojabohnen .....	162
Tabelle 7.13:	Importregionen für Soja und Sojaprodukte der EU .....	163
Tabelle 7.14:	Export-Import-Bilanz der EU für Mais .....	164
Tabelle 7.15:	Importregionen für Mais und Maisprodukte der EU (Mio. t) .....	164
Tabelle 8.1:	Geschätzte Anteile der Anwendung von Enzymen aus gentechnisch veränderten Mikroorganismen in der Lebensmittelverarbeitung .....	180

Tabelle 8.2:	Enzyme aus gentechnisch veränderten Mikroorganismen und ihr Einsatz in Lebens- und Futtermitteln .....	181
Tabelle 8.3:	Starterorganismen für Lebensmittelfermentationen, bei denen gentechnische Veränderungen vorgenommen wurden .....	188
Tabelle 9.1:	Wahrscheinlichkeit bzw. Risiko von Auskreuzungen bei ausgewählten transgenen Kulturpflanzen, die in Europa angebaut werden können .....	197
Tabelle 9.2:	Pflanzliche Risikogruppen bezüglich der Verwilderung transgener Pflanzen oder ihrer Hybride.....	202
Tabelle 9.3:	Ökologische Vor- und Nachteile herbizidresistenter transgener Pflanzen gegenüber der konventionellen Unkrautbekämpfung .....	207
Tabelle 9.4:	Kritische Stellen für GVO-Verunreinigungen in der Prozesskette .....	219
Tabelle 9.5:	Isolationsdistanzen bei der Produktion von Saatgut.....	220
Tabelle 9.6:	Geschätzte Rate der zufälligen Kontamination mit gentechnisch verändertem Material auf verschiedene Stationen der landwirtschaftlichen Produktion .....	223
Tabelle 10.1:	Unterschiede in der Kennzeichnung von gentechnisch veränderten Lebensmitteln und Futtermitteln nach der derzeitigen Rechtslage und den Vorschlägen der EU-Kommission im Juli 2001.....	250